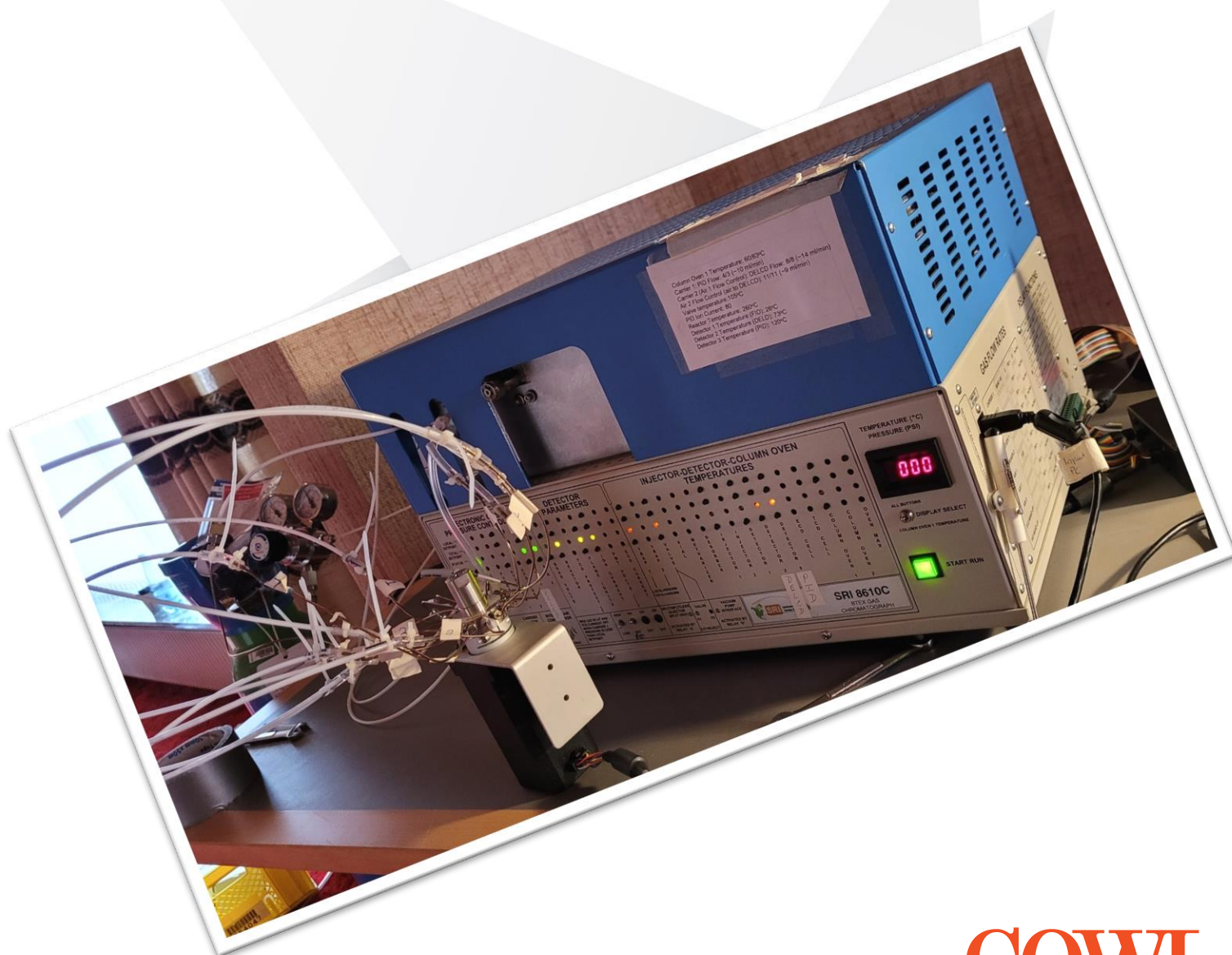


OKTOBER 2023

REGION MIDTJYLLAND, REGIONAL UDVIKLING, KONTORET FOR JORDFORURENING

AFPRØVNING AF MÅLEUDSTYR TIL AUTOMATISEREDE LUFTMÅLINGER, VAPORSAFE

RAPPORT



COWI

OKTOBER 2023

REGION MIDTJYLLAND, REGIONAL UDVIKLING, KONTORET FOR JORDFORURENING

AFPRØVNING AF MÅLEUDSTYR TIL AUTOMATISEREDE LUFTMÅLINGER, VAPORSAFE

RAPPORT

PROJEKTNR.

A232114

DOKUMENTNR.

A232114-003

VERSION

2.0

UDGIVELSESDATO

12. oktober 2023

BESKRIVELSE

Rapport

UDARBEJDET

Bjarke Hoffmark

KONTROLLERET

Tage V. Bote

GODKENDT

Bjarke Hoffmark

INDHOLD

1	Indledning	5
1.1	Læsevejledning	5
1.2	Resumé	5
1.3	Kort præsentation af testhuset i Roslev	7
1.4	Baggrund og formål	8
1.5	Identifikation af anvendeligt udstyr til automatiserede målinger af VOC'er	10
2	Beskrivelse af VaporSafe og praktisk anvendelse	14
2.1	Opsætning af GC	14
2.2	Prøvetagninger	16
2.3	Dataopsamling og dataoverførsel	19
2.4	Øvrigt måleudstyr	20
2.5	Klargøring til automatiseret prøvetagning	21
2.6	Økonomi	25
2.7	Gennemførte forsøg	27
3	Manuel prøvetagning (descrete mode)	29
3.1	Forsøg 1A – direkte spredningsveje	29
3.2	Forsøg 1B - afstand bag vandlås	34
3.3	Forsøg 1C – træk-og-slip på toilet	38
3.4	Sammenfatning manuel prøvetagning (descrete mode)	41
4	Automatiserede målinger	43
4.1	Forsøgsplan	43
4.2	Baseline-målinger	48
4.3	Blowerdoor – forcerede bidrag fra terrændæk og kloak	56
4.4	Forsøg 2 – bidrag fra terrændæk og afløb i bad/toilet	59
4.5	Sammenfatning automatiserede målinger	65

5	Læring
---	--------

66

BILAG

Bilag A	Situationsplaner, testhus Roslev
Bilag B	Beskrivelse af dashboard
Bilag C	Oprindelig forsøgsplan
Bilag D	Analyserapport, manuel prøvetagning, discrete mode-sampling
Bilag E	Dataudtræk, excel-fil: Automatiserede målinger og datakanaler
Bilag F	Målinger med øvrigt udstyr
F.1	Vejrstation
F.2	Trykdifferensmålere

1 Indledning

Region Midtjylland har i 2021 inviteret til gennemførelse af ideforslag til udviklingsprojekter til løsning af regionernes forureningsrelaterede udfordringer vedr. sikring af indeluft og beskyttelse af grundvand i forbindelse med jord- og grundvandsforureninger. Projekterne er tiltænkt gennemført i og omkring Region Midtjyllands testhus i Roslev. Huset er tidligere anvendt til renseri og bolig, men har siden 2019 været benyttet af Region Midtjylland som testhus. Et af de projekter som det blev valgt at igangsætte, var demonstrationsprojekt omhandlende automatiserede målinger af poreluft og indeluft m.v.

1.1 Læsevejledning

I rapportens kapitel 1 gives en kort præsentation af testhuset i Roslev, herunder formål og baggrund for anvendelse af automatiserede målinger. Kapitlet afsluttes med identifikation af anvendeligt udstyr til automatiserede målinger af VOC'er. Kapitel 2 omhandler praktisk anvendelse af VaporSafe-udstyret og øvrigt anvendt måleudstyr, herunder økonomisk overblik for anvendelsen. Kapitel 2 afsluttes med et overblik over de konkrete gennemførte forsøg i testhuset, hvorpå kapitel 3 behandler gennemførte forsøg afledt af manuel prøvetagning (descrete mode) og kapitel 4 behandler gennemførte forsøg afledt af automatiserede målinger. I kapitel 5 er der afslutningsvist opsummeret i forhold til de konkrete læringer fra projektets gennemførelse. Komplet datasæt fra de automatiserede målinger er vedlagt som digital udgave i Bilag E, med det formål på sigt at give mulighed for evt. yderligere behandling af det omfangsrige datasæt.

1.2 Resumé

Dette demonstrationsprojekt omhandler automatiserede målinger med udstyret VaporSafe. VaporSafe består af bl.a. en transportabel gaschromatograf, en manifold og et styresystem (software), hvormed der kan gennemføres luftmålinger og analyse af f.eks. klorerede opløsningsmidler i løbet af ganske få minutter direkte på en undersøgelseslokalitet. Systemet muliggør bl.a. at der kan opsættes en automatiseret prøvetagningssekvens med prøvetagning ca. hvert 10 minut, hvor data gemmes i skyen og som derpå er tilgængelige via et online dashboard. Ved afprøvning af udstyret, er der gennemført en række forsøg, hvor der bl.a. er anvendt en blowerdoor til at forcere luftpåvirkning af testhuset. I

projektet er Region Midtjyllands meget omfattende monitoringsprogram forsøgt indarbejdet i såvel demonstrationsprojektets forsøgsplanlægning som i den efterfølgende databehandling. Region Midtjyllands monitoringsprogram har bl.a. omfattet automatiserede trykdifferensmålinger, automatiserede radonmålinger, samt kulrørs- og ORSA-rørs målinger.

På baggrund af de gennemførte forsøg med manuelle målinger kan det konkluderes at:

- > Det er muligt at udtage en luftprøve og derpå have et analyseresultatet ca. 10 minutter senere.
- > Den korte periode for prøvetagning og et afledt resultat kan give en hurtig afklaring af, om en potentiel spredningsvej er aktiv eller ej og med hvilken betydning/størrelse den har. Ved sammenligning med en traditionel passiv gennemsnitmåling eller fluxmåling, vurderes det at være et virkeligt stærkt værktøj.
- > Metoden afdækker, at det kan være vanskeligt at udtage en "repræsentativ" prøve i forbindelse med et dynamisk afløbssystem, hvor koncentrationerne varierer meget over forholdsvis korte tidsintervaller – så hvornår har skal vi mon udtaget en "repræsentativ" prøve?

De gennemførte forsøg med automatiserede målinger har vist at det ud fra udviklingen i luftkoncentrationerne er muligt at:

- > Identificere forskellige kilder/spredningsveje. Konkret har det været muligt under baselinemålingerne at se to forskellige kilder/spredningsveje for henholdsvis PCE og cis-DCE, hvor spredningsvejen for cis-DCE er via afløbssystemet, mens PCE i højere grad vurderes at skyldes spredning fra poreluften og intern spredning i indeluften.
- > Konstatere pludselige ændringer i forureningens spredningsmønster, i projektet eksemplificeret ved, at det kunne konstateres, at målepunktet på gulvafløbet i badeværelset blev åbnet og ikke lukket et døgn efter blowerdoor forsøgene var standset.
- > Vise dynamik i spredningsmønsteret. I projektet er dette konkretiseret ved at udviklingen i poreluftkoncentrationerne som følge af blowerdoor forsøgene viste en sandsynlig diffusionsbegrænset poreluftkoncentration under stuegulvet, mens der ikke sås samme tendens i poreluften under soveværelset.

På baggrund af afprøvningen af udstyret, er der uddraget en række læringer (kapitel 5), som vurderes at være relevante i forhold til at få udbredt kendskab til automatiserede målinger relateret til indeluftundersøgelser.

1.3 Kort præsentation af testhuset i Roslev

Region Midtjylland erhvervede testhuset Rybjergvej 3, Roslev i oktober 2019, idet det var billigere for regionen at købe huset, end at sikre indeluften i boligen mod påvirkning fra den underliggende forurening.

På indstilling fra Jordforureningskontoret blev det i 2019 politisk besluttet, at Jordforureningskontoret kan anvende ejendommen Rybjergvej 3 som testhus i en periode på 5 år. Herefter skal det beslottes, om der fortsat er grundlag for at anvende ejendommen som testhus, ellers skal huset nedrives.

Testhuset er et ét-plans hus på 163 m² med en garage på 18 m² opført i 1962, beliggende på en 247 m² grund.



Figur 1.1. Kortudsnit af Rybjergvej 3 (gult markeret). Fodafttrykket til bygningen fylder næsten hele matriklen. Nabogrunden mod øst, Rybjergvej 3A til hører Rybjergvej 5.

Geologi

Lokaliteten ligger i et morænelandskab. Geologien vurderes generelt at være opbygget af 15 m kvartært sand og grus, der underlejres af tertiært ler. Det primære magasin er knyttet til de kvartære sand- og gruslag.

På lokaliteten er fundet fyld til 0,7-3,6 m.u.t., under fyldet er truffet fint-mellemkornet sand til omkring 4 m.u.t., herunder er truffet svagt sandet silt til 12 m.u.t.

Vandspejlet træffes fra 0,5-1,5 m.u.t. Der er tale om et terrænnært grundvandsmagasin, der vurderes at være delvis sammenhængende. Strømningsretningen vurderes at være mod øst til nordøst.

Påvist forurening

Der er på og omkring Rybjergvej 3 påvist jordforurening på op til 1,7 mg/kg PCE, men i de fleste jordprøver er der ikke påvist chlorerede opløsningsmidler over detektionsgrænsen.

I grundvandet er påvist op til 21.000 µg/l PCE, 340 µg/l TCE, 680 µg/l DCE og 62 µg/l vinylchlorid.

I poreluftmålinger udenfor bygningen er der påvist op til 22.000 µg/m³ PCE og 1.500 µg/m³ TCE.

I poreluftmålinger under gulv på Rybjergvej 3 er der påvist op til 9.800 µg/m³ PCE, 100 µg/m³ TCE og 2 µg/m³ vinylchlorid. Der er kun målt indhold af vinylchlorid i én prøve ud af 198.

I indeluften er påvist op til 42 µg/m³ PCE, 4,6 µg/m³ TCE, 18 µg/m³ DCE og 2,1 µg/m³ vinylchlorid.

I målinger bag vandlåse i huset er påvist op til 180 µg/m³ PCE, 78 µg/m³ TCE, 215 µg/m³ DCE og 47 µg/m³ vinylchlorid.

I kloaksamlebrønde uden for huset er påvist op til 330 µg/m³ PCE, 99 µg/m³ TCE, 365 µg/m³ DCE og 140 µg/m³ vinylchlorid. Det vurderes umiddelbart, at vinylchlorid-indholdet i indeluften stammer fra kloaksystemet, idet der generelt ikke måles vinylchlorid i poreluftmålinger under gulv.

Situationsplaner med indretning af huset, prøvetagningsplaceringer, herunder foreningsudbredelser er vedlagt i Bilag A.

Der kan læses mere om testhuset på Region Midtjyllands hjemmeside:

<https://www.ru.rm.dk/klima-og-miljo/jordforurening/projekter/testhus-i-roslev>

1.4 Baggrund og formål

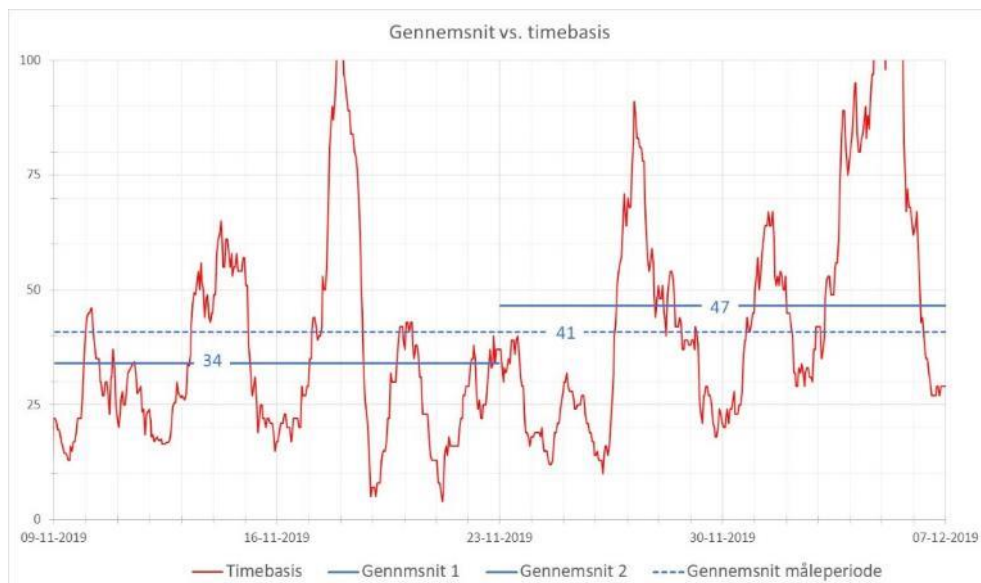
Anvendelsen af automatiserede målinger af VOC'er i forbindelse med indeluftsager er stærkt stigende, specielt i USA. Dette skyldes bl.a. at indeluftundersøgelser i USA primært er baseret på målinger med canisters, som er en både dyr, langsom og arbejdskrævende undersøgelsesmetode til at dokumentere påvirkning i indeluften, hvilket fordrer en alternativ tilgang. De automatiserede måleredskaber kan således være med til effektivt at belyse en problemstilling, hvormed f.eks. afværgetiltag kan afprøves og den afledt effekt kan dokumenteres.

Automatiserede målinger er et utroligt stærkt redskab, når påvirkningen af indeluften i en bygning ønskes undersøgt. Idéen er, at man ud fra det "mønster" de tidlige variationer giver, kan afklare hvilke aktive spredningsveje der har særlig betydning.

Kontinuerte/automatiserede målinger et vidt begreb, som i realiteten blot dækker over, at der udføres målinger med et vist interval, og at resultatet af disse målinger logges og gemmes. Det er COWIs erfaring, at det at udføre automatiserede målinger ikke altid er lige til og at det er nødvendigt at have gennemtænkt undersøgelsesforløbet nøje i forhold til forventningerne om relevante udfald.

For eksempel er logningsintervallet vigtigt. Hvis intervallet er for langt, vil man ikke kunne identificere de mekanismer som styrer de tidlige variationer, og hvis intervallet er for kort, så risikerer man at have så mange datasæt, at man ikke kan overskue data - det bliver svært at se skoven for træer. Et eksempel herpå kunne være trykdifferensmålinger, hvor en del målere kan levere målinger med et interval på 1/10 sekund eller hyppigere. En uges målinger med et interval på 1/10 sekund giver godt 6 millioner målinger. Ud over at det er mange målinger at holde styr på, så er der ofte nogle meget hurtige variationer i trykdifferensen som giver "støj" på signalet, og som man på en eller anden måde skal filtrere fra, f.eks. ved at udregne middelværdien over et vist tidsinterval. Det at anvende en løbende middelværdi kan også give problemer, hvilket automatiserede radonmålinger er et godt eksempel på. De billigste elektroniske radonmålere laver typisk en måling en gang i timen, men målingen er ikke en øjebliksmåling, men en gennemsnitsmåling over radonkoncentrationen de sidste 24 timer. Dette bevirker at målingerne på timebasis ikke kan anvendes til at vurdere hændelser som ændrer radonkoncentrationen på time niveau. F.eks. kan natsænkninger af et ventilationssystem forventeligt registreres som en opadgående tendens for radonkoncentrationen, uden at det præcise tidspunkt for afledt effekt kan bestemmes.

Forskellen på automatiserede målinger og traditionelle enkeltmålinger (f.eks. ORSA-rørsmålinger) er forsøgt illustreret i Figur 1.2, hvor der er vist et datasæt med rød graf baseret på en indeluftmåling én gang i timen – det er ikke afgørende for eksemplet, men data kunne f.eks. være udtryk for koncentrationen af VOC'er i indeluften. Til illustration af enkeltmålingerne er der indlagt 3 forskellige perioder med blå grafer, som hver især giver anledning til en forskellig gennemsnitsbetragtning og hvor de forholdsvis store udsving af den røde graf på ingen måde kommer til udtryk. Der er angivet et gennemsnit for den første del af tidsserien (gennemsnit 1) på 34 og tilsvarende i den sidste del af tidsserien (gennemsnit 2) på 47. For hele måleperioden (blå stiplede graf) udgør gennemsnittet 41. Hvilken måleperiode tillægger vi størst værdi og hvad med de minimum og maksimum værdier med tæt på en faktor 100 forskel vi ikke opdager? I forhold til en traditionel risikovurdering af indeluftpåvirkningen, giver den røde kurve (de automatiserede målinger) ikke nødvendigvis et bedre grundlag end en gennemsnitsmåling, men hvis forløbet af den røde kurve kan kobles op på brugeradfærd, påvirkning fra vind og vejr eller trykforhold under gulvkonstruktionen, så kan mønstret fra de automatiserede målinger "afslører" de mest betydningsfulde faktorer for eksponering til indeluften og dermed kunne give svaret på en relevant afværgestrategi – **Løsningen ligger i mønstret!**



Figur 1.2. Data som gennemsnit eller på timebasis.

Formål

Projektets formål er at opnå danske erfaringer med måleudstyr til automatiserede målinger for klorerede kulbrinter i inde- og poreluft samt afløbsinstallationer under danske forhold. Hvorledes og i hvilke situationer kan udstyret med fordel indgå i dansk undersøgelseskontekst, hvad er de økonomiske forhold som priser for leje af udstyr, opsætning og etablering af målepunkter holdt op mod traditionelle målinger, herunder tilgængeligheden af udstyret, og udstyrets anvendelighed i forhold til danske grænseværdier. Det er desuden projektets formål at få udbredt det opnåede kendskab til branchen som helhed.

Det har ikke været formålet at gennemføre undersøgelser til klarlægning af den konceptuelle forståelse for den konkrete testlokalitet, men alene at opnå erfaringer med anvendelse af udstyret. Region Midtjyllands testhus har således været anvendt for ikke at være begrænset af hensyn til evt. beboere. Samtidig har testhuset dannet grundlaget for at kunne sammenligne data og koncentrationsmålinger på tværs af udstyrstyper og målemetoder.

Afledt af det omfangsrige datagrundlag relateret til testhuset, er der i Bilag F behandlet data vedr. Region Midtjyllands opsatte vejrstation, trykdifferens- og radonmålere. Bilaget er ikke direkte relateret til afprøvning af udstyret fra VaporSafe, men der gives her en gennemgang af hvorledes de automatiserede måleserier kan indgå i den konceptuelle forståelse af bl.a. effekten af de gennemførte blowerdoor-forsøg og dermed hvordan disse kan understøtte og supplere konklusionerne afledt af de automatiserede målinger.

1.5 Identifikation af anvendeligt udstyr til automatiserede målinger af VOC'er

Egnet udstyr

I arbejdet forud for COWIs fremsendte ideforslag, har COWI foretaget en afsøgning af "markedet" for måleudstyr/entreprenører/leverandører, der kunne gøre

det muligt, at udføre automatiserede målinger for VOC'er i Region Midtjyllands testhus. COWI identificerede 3 producenter af måleudstyr, der kan anvendes til automatiserede målinger i Danmark, og som COWI bekendt ikke tidligere er afprøvet i Danmark i forbindelse med forureningsundersøgelser relateret til indeluft.

For at vurdere hvilket udstyr der er bedst egnet til opgaven, var det nødvendigt at identificeret de forhold, der har betydning for projektets gennemførelse f.eks. hvilke parametre/stoffer kan udstyret måle, detektionsgrænser, målehyppighed, pris m.fl. COWI opstillede på den baggrund en screeningsmatrix som de tre producenters måleudstyr kunne holdes op imod. Screeningsmatrixen fremgår af Tabel 1.1. Ud fra screeningsmatrixen vurderede COWI på baggrund af plus/minus-angivelser, at måleudstyr fra VaporSafe var det bedst egnede. COWIs udformning af projektet blev derfor baseret på denne producents udstyr og tilgang til opgaven.

I teksten under Tabel 1.1, er der givet en uddybning af overvejelser og vurderinger som har indgået i en samlet vurdering af udstyret. Teksten er medtaget i rapporten idet COWI finder, at de overvejelser der beskrives, tilsvarende vil være væsentlige ved fremtidige overvejelser omkring anvendelse af udstyr til automatiserede målinger i indeluft.

Tabel 1.1. Screeningsmatrix, anvendeligt måleudstyr.

Emne	Advanced Energy, Lumasense Technologies	Score	Groundswell Technologies/Hartman Environmental Geoscience, VaporSafe	Score	Syft Technologies, SIFT-MS	Score
Analysemetode baseret på	Infrarød absorption og fotoakustisk detektion (PAS)	++	Gaskromatografi-massespektrometri (GC-MS)	++	Ion flow massespektrometri (Selected ion flow tube mass spectrometry, SIFT-MS)	++
Kontinuerte målinger, antal tilgængelige målepunkter	6, 12 eller 24 målepunkter via manifold	+	16 målepunkter via manifold	-	Uendeligt antal via manifold	++
Online adgang til resultater	Ja	+	Ja	+	Ja	+
Analyseparametre	VOC'er	+	VOC'er	+	VOC'er	+
Detektionsgrænser	TCE: 70 µg/m ³ PCE: 140 µg/m ³ VC: 255 µg/m ³	-	TCE: 0,1-1,0 µg/m ³ PCE: 0,6-6,0 µg/m ³ VC: Ca. 1 µg/m ³	++	TCE: Ca. 5 µg/m ³ PCE: Ca. 10 µg/m ³ VC: Ca. 1 µg/m ³	+
Prøvetagningsfrekvens, analysehastighed	16 min.	-	10 min.	+	8 min.	++
Online visning af øvrige driftsdata	Nej	-	Ja	++	Nej	-
Støjgener	Hørbart, lavt niveau	+	Hørbart, lavt niveau	+	Ukendt	+
Udstyrets størrelse	PC, detektor og manifold, ca. 35 kg.	+	PC, detektor og manifold, ca. 30 kg.	+	Samlet enhed, fryseskabsstørrelse, ca. 100 kg.	-
Robusthed i felt	Robust, dog ikke vejrbestandig ved udvendig opstilling i dansk vintervejr	+	Mindre robust, kræver tempereret opstilling (f.eks. indvendigt eller i følgebil)	-	Robust, dog ikke vejrbestandig ved udvendig opstilling i dansk vintervejr	+
Tilgængelighed af udstyr	Dansk producent	++	Amerikansk producent, udstyr er tilgængeligt via Belgien, alternativt USA	+	Australsk producent	-
Leveringstid af udstyr til Danmark	Ca. 1 måned	+	Ca. 1 måned	+	Ukendt	-
Økonomi, udstyrsleje / udstyrskøb	Kun køb, ca. 650.000 kr.	+	Mulighed for leje, ca. 200.000 kr.	++	Kun køb, ca. 1.000.000 kr.	-

Detektionsgrænser

De screenede udstyrstyper er alle udfordret på detektionsgrænser som resultat af analysehastighed, idet en lavere detektionsgrænse fordrer en længere analysestid. Hovedparten af udstyrstyperne anvendes typisk i forbindelse med proces- og arbejdsmiljø, hvor kravene til detektionsgrænser er væsentligt højere end det er ønskeligt i Danmark, når der foretages evaluering af afdampning af jord- og

grundvandsforurening til indeluften. VaporSafe er det udstyr, der kan opnå de laveste detektionsgrænser, på mellem 1 og 1/10-del af afdampningskriteriet for TCE og PCE, inden for en rimelig prøvetagningstid. Øvrigt udstyr ligger langt fra acceptable anvendelige detektionsgrænser. I forbindelse med screening af udstyret, var det ikke muligt at fastslå VaporSafes detektionsgrænse for VC, men det vurderes vanskeligt at opnå en detektionsgrænse på 0,04 µg/m³. Det vurderes mest sandsynligt, at VC vil kunne bestemmes i et niveau svarende til niveauet for PCE og TCE.

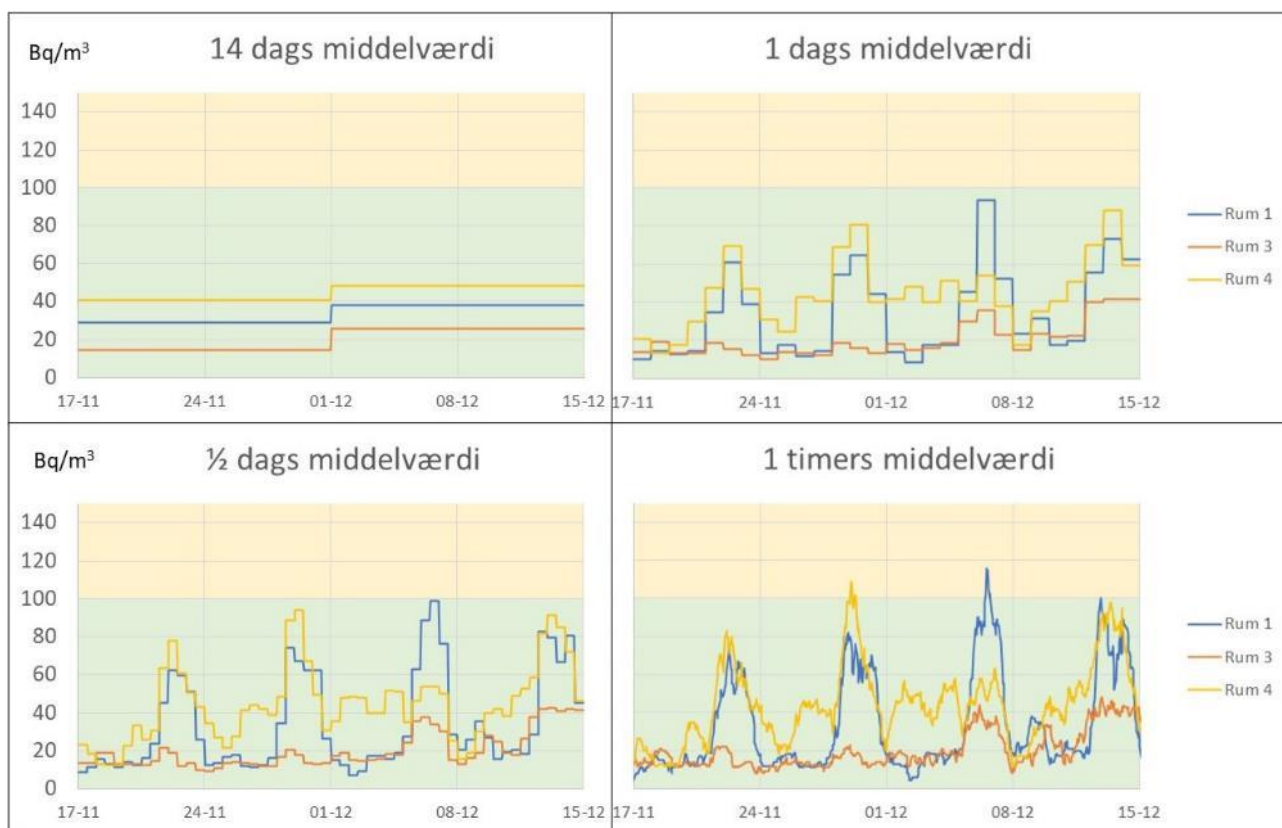
Af Region Midtjyllands invitation til ideforslag og af testhusets hjemmeside fremgik det, at resultater fra regionens tidligere undersøgelser i testhuset viste, at koncentrationerne i testhuset er så høje, at en detektionsgrænse for PCE på 1 µg/m³ ikke vil være problematisk. Hverken i forhold til målinger under gulv, i afløbssystemet eller i indeluften, bortset fra i et enkelt målepunkt relateret til indeluften.

For TCE vil en detektionsgrænse på 1 µg/m³ ikke udgøre en udfordring i forhold til målinger i afløbssystemet eller under gulv. For koncentrationer i indeluften må detektionsgrænsen ikke være højere end 0,1-0,3 µg/m³ for at det forventede koncentrationsniveau kan dokumenteres. For VC vil en detektionsgrænse på 1 µg/m³ ikke udgøre en udfordring i relation til målinger på afløbssystemet. Målingerne for VC i indeluften og poreluft vil i lighed med det udførte kontrolprogram ikke kunne dokumenteres. En forbedret detektionsgrænse på 0,1 µg/m³ vil formentlig ikke ændre på dette.

Hyppighed af datasæt Med et udgangspunkt for en analyseperiode af VOC'er (inkl. opsamling) på 10 minutter pr. målepunkt, så vil det være muligt at gennemføre en prøvetagningssekvens/runde for 16 målepunkter (15 målepunkter + "blank prøvetagning" mellem høje koncentrationer/poreluft og lave koncentrationer/indeluft) på 160 minutter (2 timer og 40 minutter), svarende til 9 prøvetagningsrunder i døgnet. Hvis udstyret kører permanent, vil der samlet kunne analyseres godt 1.000 prøver over en periode på 7 dage.

Hvilken opløsning/tidsfrekvens har vi brug for at have for at opnå tilstrækkelig "kontinuerligt" datasæt? Frekvensen for dataopsamlingen vil have betydning for hvilke detaljer og konklusioner, der kan udledes af data og den tidlige variation. Nedenfor i Figur 1.3 er givet en række grafiske afbildninger af det samme datasæt til illustration af betydningen af at foretage midling over forskellige tidsperioder. Data er i eksemplet baseret på radondata, men kunne tilsvarende være et udtryk for målte koncentrationer af VOC'er i pore- og indeluft. Det er tydeligt at se, at det er vanskeligt at tolke på tidlige variationer ved midling over 14 dage. Ved et dagligt datasæt kan der ses "toppe" og "dale" i data. Rum 1 (blå graf) og rum 3 (orange graf) følger den samme tendens og er formentlig påvirket på samme vis. Rum 4 (orange graf) er dog væsentligt anderledes påvirket med lavere udsving. Ved 4 og 1 timers middelværdi ses en langt højere opløselighed, hvor "toppe" og "dale" bliver væsentligt mere tydelige og detaljerede. (graf for 4 timers middelværdi er ikke medtaget i Figur 1.3) COWI vurderer med bl.a. baggrund i det illustrerede eksempel, at et datasæt af koncentrationsmålin-

ger af VOC'er i inde- og poreluft, vil kunne give en fornuftig opløselighed til illustration af tidslig variation, såfremt der opsamles data for en tidsperiode af varighed mellem 1-4 timer.



Figur 1.3. Eksempel på midling af datasæt over forskellige tidsperioder.

2 Beskrivelse af VaporSafe og praktisk anvendelse

2.1 Opsætning af GC

Hovedkomponenten i VaporSafe udstyret udgøres af en transportabel gaschromatograf (GC) med en DELCD og PID-detektor (SRI 8610C), der kan anvendes på to måder, enten til automatiserede målinger eller til manuelle målinger.

De automatiserede målinger (continuous sampling) udføres ved at tilkoble en prøvetagningsmanifold til GC'ens injektionsport, som muliggør en sekventiel prøveopsamling og på den måde automatiseret analyse af et antal prøvetagningspunkter (op til 16 stk.). Ved de automatiserede målinger, gemmes data i skyen og data er derpå tilgængelige via et online dashboard.

Hvis prøvetagningsmanifolden ikke monteres, kan GC'en anvendes til analyse af enkelt luftprøver ved direkte injektion i GC'en i det følgende kaldet manuel prøvetagning (descrete sampling).

Levering og opsætning af udstyret, er sket via VaporSafes samarbejdspartner i Belgien, Group Van Vooren.

I nedpakket tilstand vejer udstyret 58 kg og det kan pakkes ned i to transportkasser på en halvpalle hvor det udgør 0,41 m³. Hertil skal der anvendes en trykflaske med bæregas, som skal tilsluttes GC'en.

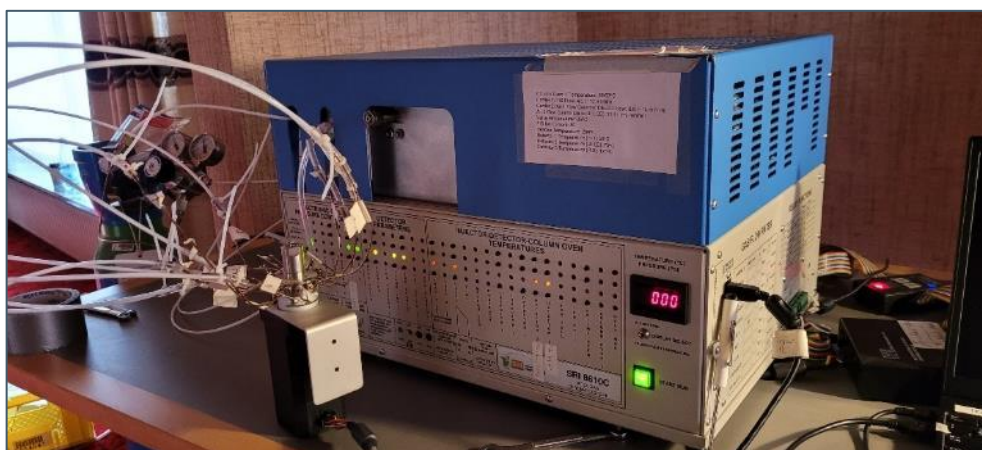


Figur 2.1. Nedpakket udstyr.

I det følgende er de enkelte komponenter kort gennemgået.

Gaschromotograf (GC) GC'en er af typen SRI 8610C og fremgår af Figur 2.2. GC'en er udstyret med to detektorer: En DELCD-detektor og en PID-detektor. Set i en dansk kontekst, kunne man have forventet, at GC'en var udstyret med en ECD-detektor, idet denne type detektor har en bedre respons i forhold til de klorerede kulbrinter, hvormed der vil kunne opnås lavere detektionsgrænser. Årsagen til at der ikke anvendes en ECD-detektor er, at ECD-detektoren har en radioaktiv kilde. Ifølge VaporSafe er transportreglerne vedr. radioaktive kilder så restriktive i store dele af Europa, at anvendelse af en ECD-detektor i praksis er vanskelig at anvende i transportabelt udstyr.

GC'en skal opstilles i tempererede og tørre omgivelser og forsynes af en konstant strømkilde med enten 230 eller 110 volt. Elforsyningen kan principielt leveres af en generator.



Figur 2.2. Gaschromotograf (GC) med en DELCD og PID-detektor (SRI 8610C).

Bæregas

Som bæregas til GC'en er der anvendt syntetisk oxygen i laboratorie-kvalitet svarende til kvalitet 5.0 (renhed $\geq 99,9999\%$). Bæregassen opbevares i en trykflaske.

I forbindelse med transport betegnes trykflasker som farligt gods. Det er derfor omstændigt og bekosteligt at sende trykflasken til og fra VaporSafe i Belgien. Med baggrund heri, blev det til dette projekt valgt, at trykflasken blev leveret til lokaliteten af en dansk leverandør (Air Liquide), og at trykflasken derfor ikke blev leveret som en del af det øvrige VaporSafe-udstyr.

Hos Air Liquide kan den ønskede kvalitet af bæregassen fås i form af Alphagaz 2. Ved dette projekt er der anvendt en trykflaskebeholderstørrelse på 10 liter (indhold på 2.000 liter), hvilket til fulde udgjorde et mere end nødvendigt omfang. Til trykflasken er der monteret en regulator/manometer med et afgangstryk på ca. 4 bar (50-60 psi) via en 1/8-udgang, hvortil fødeslange til GC'en kan tilsluttes.



Figur 2.3.
10 liters trykflaske med oxygen og monteret regulator.

2.2 Prøvetagninger

VaporSafe GC kan anvendes til enten manuel prøvetagning (descrete sampling) og til automatiserede målinger (continuous sampling). Manuelle målinger er i nærværende projekt anvendt i forhold til kildeopsporing, eller i situationer med en kortvarig men mere dynamisk prøvetagningssekvens (se kapitel 3), mens de automatiserede målinger er anvendt i perioder hvor der ønskes en længerevarende regelmæssig prøvetagning fra et eller flere målepunkter (se kapitel 4).

Manuel prøvetagning

I lighed med andre typer af GC'er, har denne GC en injektionsport som kan anvendes i forbindelse med manuel prøvetagning. De manuelle prøver udtages med en 200 ml glassprøjte. I praksis er der anvendt 2 ens glassprøjter, som på gentagende vis er anvendt efter hinanden i forbindelse med udtagelse af de manuelle prøver. Når en glassprøjte havde været anvendt, blev denne adskilt og lagt til "afstripping" oven på GC'ens låg med rist til afledning af varme. Det er VaporSafes erfaring at denne metode er tilstrækkelig til at sikre, at der ikke sker afsmitning til de næste prøver. I situationer hvor udstyret anvendes på forureninger hvor glassprøjterne kræver en bedre rensning, kan der f.eks. anvendes flere glassprøjter så sprøjterne får en længere opholdstid. Dette kan kombineres med at lægge sprøjterne til rensning i en miniovn, så der kan opnås en højere temperatur.

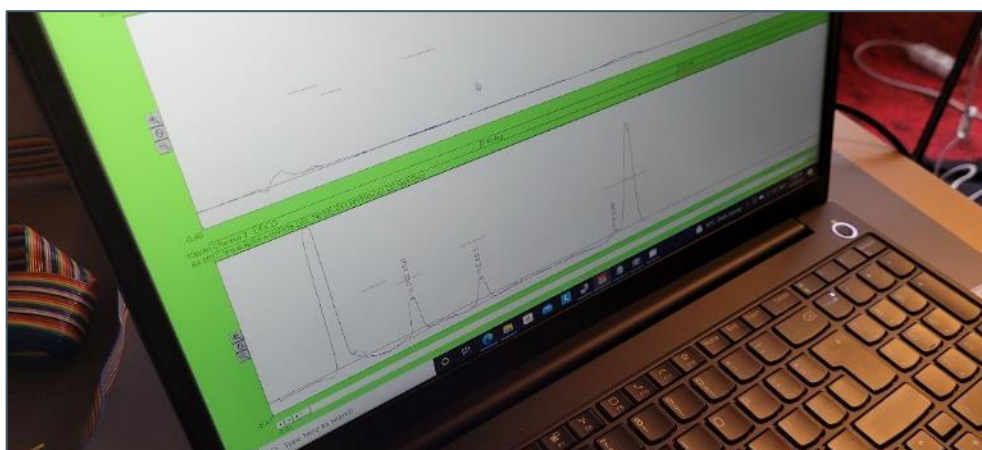
Dataregistrering og opsamling foretages ligeledes manuelt, af operatøren af GC'en. Data kan aflæses manuelt via PC efter analyse eller alternativt udlæses i et Excel regneark.



Figur 2.4. Manuel prøveudtagning med 200 ml glassprøjte.



Figur 2.5. Manuel injektion af luftprøve på 25 ml.



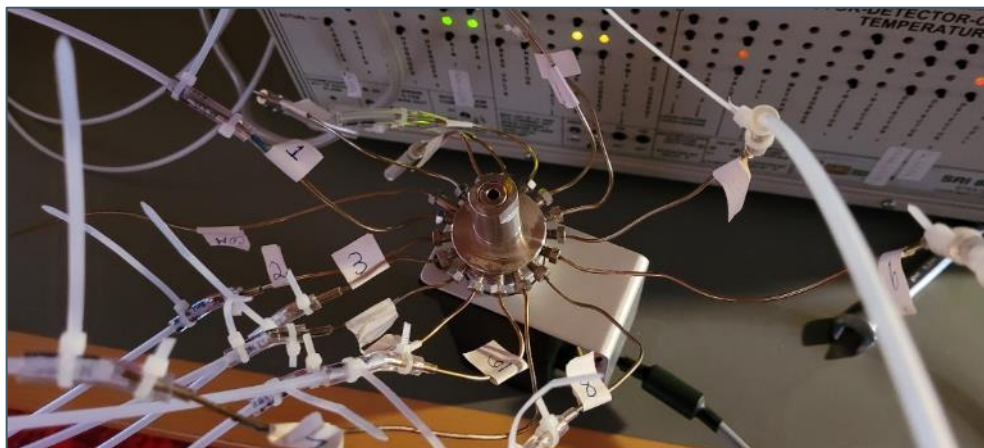
Figur 2.6. Chromatogram fra software til GC-databehandling.

Automatiseret
prøvetagning

Til styring af flere prøvetagningskanaler anvendes en manifold (Figur 2.7). Manifolden har mulighed for tilkobling af op til 16 prøvetagningspunkter via prøve-

tagningsslange. Skift mellem manuel prøvetagning og automatiseret prøvetagning, er en forholdsvis enkel manøvre, idet manifolden tilsluttes til GC'en på ca. 10 minutter hvorpå den efterfølgende prøvetagningssekvens styres elektronisk.

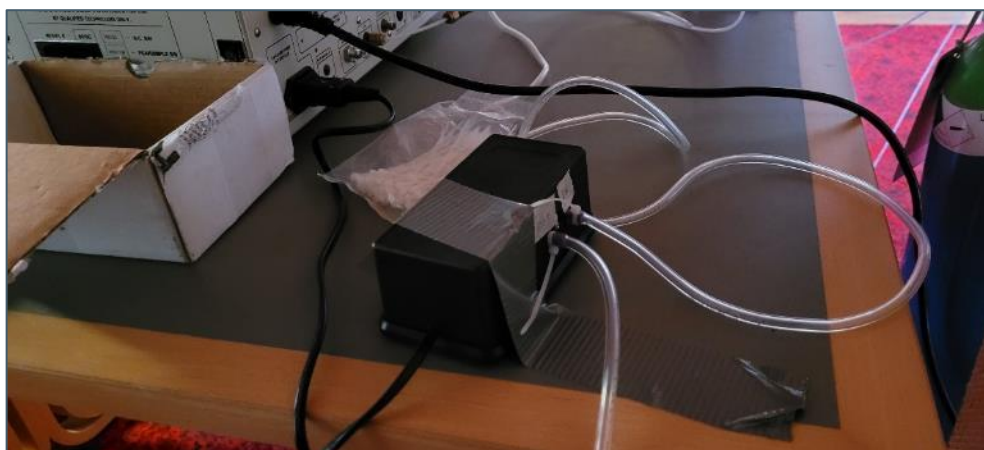
Injektion af luftprøve fra respektive kanaler til manifolden, styres via en todelt kanalvælger og styringsenhed (Figur 2.8). Styringsenheden programmeres ved at uploade "step-filer", der angiver hvornår og i hvilken rækkefølge de enkelte kanaler skal prøvetages og derpå analyseres. Styringsenheden varetager ligeledes renpumpning af de udlagte prøvetagningsslanger mellem de enkelte prøvetagninger samt opsamlingstiden af luftprøven og derpå injektion af denne i GC'en. Selve forpumpning og opsamlingen af luftprøven varetages af en ekstern tilsluttet pumpe (Figur 2.9). For pumpen skal det særligt bemærkes, at afkastluften herfra under renpumpning ledes direkte til indeluften, medmindre der er monteret en afkastslange herpå som f.eks. ledes til udeluften. Konkret blev der for projektet monteret en afkastslange på pumpens afgang, som blev ført til udeluften via gennemføring i vinduesramme (Figur 2.10).



Figur 2.7. 16-kanals manifold.



Figur 2.8. Todelt kanalvælger og styringsenhed til manifold.



Figur 2.9. Ekstern pumpe til forpumpning og opsamling af luftprøver.



Figur 2.10. Gennemføring af afkastluft fra pumpe (nedre gennemføring) ført rundt om hushjørne. Øverst gennemføring af prøvetagningspunkt til blank-prøvetagning (udeluft).

2.3 Dataopsamling og dataoverførsel

Data opsamling

Data opsamles via en "base station" (Figur 2.11) og en PC koblet på nettet, hvorpå data sendes ud i skyen og data derpå kan tilgås online via et dashboard. Anvendelsen af dashboardet er kort beskrevet sidst i nærværende kapitel. Supplerende beskrivelse er vedlagt i Bilag B. For at data kan uploades til skyen kræves et hotspot på undersøgelseslokaliteten, som enten VaporSafe eller kunden kan oprette. For at have online-adgang til data, er det ligeledes nødvendigt at have internet opkobling, f.eks. via mobiltelefon eller internet dogle.



Figur 2.11. "Base station" til dataopsamling.

2.4 Øvrigt måleudstyr

Vejrstation

Som en del af datasættet, blev der logget vejrdata via lokalt opsat vejrstation på ejendommen (se Figur 2.12). Vejrstationens dataenhed har trådløs kontakt til hhv. indvendig- (central placering) og udvendig (ikke udsat for direkte sollys) temperaturmåler, barometertryk, nedbørsmængde (regn, ikke sne), fugtighed, vindhastighed og vindretning. Vejrdata kan fysisk aflæses via et display og data sendes og logges samtidig i dashboardet (se Figur 2.13). Lokalt vejrdata blev logget hvert 5. minut. Som alternativ til en lokal vejrstation, kan der trækkes vejrdata fra en lang række online tilgængelige vejrstationer. Blot fordi det var muligt, blev der ligeledes logget vejrdata fra Aalborg Lufthavn med datasæt 3-4 gange i timen. Ud fra de prædefinerede og tilgængelige vejrstationer, hvor Aalborg Lufthavn den tættest beliggende. Det vil forventeligt være muligt at inddrage vejrdata fra en endnu mere lokal vejrstation.



Figur 2.12. Lokal vejrstation monteret i forbindelse med ejendommen (markeret med rød ring).



Figur 2.13. Vejrstationens dataenhed og display.

Trykdifferensmåler

Som supplement til de øvrige datapunkter, blev der monteret to differenstrykloggere med direkte kobling til dashboardet (Figur 2.14). Differenstrykmålingerne blev gennemført i forbindelse med to målepunkter etableret gennem gulv i hhv. stue og gangareal til ejendommen. De opsamlede trykdata overføres trådløst til dashboardet via "base station". Der er logget differenstryk mellem poreluft og indeluft hvert 15. minut.



Figur 2.14. Monteret differenstryklogger (monteret på rød plade) på målepunkt gennem gulvkonstruktion. Via Y-stykke er der ligeledes monteret "traditionel" "offline" differenstryklogging.

2.5 Klargøring til automatiseret prøvetagning

Prøvetagningsslange

Til udlægning af prøvetagningsslanger mellem prøvepunkt og manifold, er der anvendt en 1/8" Airlite Nylaflow trykslange med en indvendig diameter på ca. 2,5 mm (Figur 2.15). Slangen er forholdsvis stiv og "selvbærende" men kan ikke håndtere skarpe knæk (mindre end 90 grader), idet den ikke er "selvudrettende" efter et "knæk". Selve overgangen/fastgørelsen af Nylaflow slangen til manifolden eller et målepunkt/prøvetagningsstuds, kan ske med et kort silikoneovergangsstykke med indvendig diameter der muliggør indvendig montering af Nylaflow slangen/prøvetagningsstuds i overgangstykket (Figur 2.16). I den forbindelse er det væsentligt at sikre sig, at der ikke er direkte kontakt mellem luftflowet af prøvetagningen og silikonestykket (med risiko for at f.eks. klorerede opløsningsmidler bindes i silikonen og ikke bliver analyseret).



Figur 2.15. Prøvetagningsslange til udlægning mellem prøvepunkt og manifold.



Figur 2.16. Montering af Nylaflow slange med silikone-overgangsstykke på prøvetagningsstuds. Nylaflow slangen er ført hele vejen igennem silikone-overgangsstykket og indvendigt i prøvetagningsstuds (placering markeret med rød pil), så der ikke er kontakt mellem silikonen og luftflowet inde i Nylaflow slangen.

Ved målinger direkte i indeluften, er der fremført prøvetagningsslange til respektive rum med en central placering ca. 2 m over gulv. Ved dette projekt var det ønsket at gennemføre målinger, hvor husets enkelte rum havde mulighed for at blive afgrænset af hinanden via lukkede døre jf. de behandlede undersøgelser i kapitel 4. Dette forhold havde vi ikke overvejet forud for monteringen, hvorfor løsningen blev (grundet husets status som testhus – den var nok ikke gået hos en privat grundejer), at bore huller igennem dørkarme og føre slangerne igennem disse. Gennemføringer blev efter montering af slanger "tætnet" med gaffa-tape (Figur 2.17).



Figur 2.17. Gennemføring af prøvetagningslanger via dørkarme og efterfølgende tætning med tape (endnu ikke gennemført fuldstændigt på dette eksempel).

Fremføring af prøvetagningslangerne til målestudse og målinger i indeluften, blev samlet i en "central"-føringsvej via ophængning i lamper og med tape i loftet (Figur 2.18). Der blev ved projektet ikke anvendt ressourcer på at opnå en "pæn" føringsvej. Såfremt udstyret anvendes i et beboet hus eller over en længere tidsperiode, så kan det overvejes at benytte yderligere ressourcer til en mere optimal og brugervenlig føringsvej for de enkelte prøvetagningslanger.



Figur 2.18. Føringsvej for prøvetagningslanger ophængt via loft.

Kalibrering

Forud for levering af GC'en, var denne kalibreret af VaporSafe inden afrejse fra Belgien. Kalibreringen foretages med en standardgas med relevante komponenter. På den konkrete sag medbragte VaporSafe en tedlar-pose med standardgas, frem for at skulle transportere en trykflaske til Danmark. Prøve af standardgasen blev indledningsvist analyseret efter opstilling af GC'en til sikring af, at transporten ikke havde givet anledning til ændringer i kalibreringen. VaporSafe oplyste, at det normal vis ikke er nødvendigt at foretage yderligere kalibrering under kortere driftsperioder (få uger) idet både PID og DELCD-detektoren er meget stabil. I tilfælde af flere måneders automatiseret drift, bør det dog kontrolleres at der ikke ses forskydning af standardkurven og deraf dataprojektionen.

Detektionsgrænser

Forud for leveringen af udstyret, har der været dialog med VaporSafe omkring detektionsgrænser for relevante klorerede opløsningsmidler og de væsentligste nedbrydningsprodukter hertil. Udgangspunktet for ønskede detektionsgrænser var 1/10-del af gældende afdampningskriterier. Da detektionsgrænsen bl.a. er afhængig af det opsamlede volumen af luftprøven og tiden for selve analysens gennemførelse afledt af den anvendte kolonne opsætning, så spiller antallet af ønskede datapunkter direkte ind i den afledte mulige detektionsgrænse. Der skal således foretages en opvejning af, hvor mange prøvetagningspunkter og med hvilken tidsfrekvens de skal analyseres for fortsat at give en (forventet) tilstrækkelig tidlig opløsning. Konkret er der for dette projekt ikke foretaget analyse af vinylklorid (VC), dels da detektionsgrænsen forventelig ville ende i omegnen af 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ og at kolonne setup'et ikke var tilgængeligt hos den Belgiske leverandør, dels at der på testlokaliteten tidligere primært er målt indhold af VC i forbindelse med afløbsinstallationen og i mindre grad i relation til indeluften. Det er derfor ikke afklaret i forbindelse med projektet, med hvilken detektionsgrænse at VC kan detekteres.

Konkret er der under de automatiserede prøvetagninger (1 prøve hvert ca. 10. minut) opnået detektionsgrænser som angivet i Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Sammenligning af angivet detektionsgrænse og laveste målte indhold ved automatiserede prøvetagninger.

Stof	PCE	TCE	cis-DCE	trans-DCE
Angivet detektionsgrænse ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,0	0,1	0,1	0,1
Laveste målte indhold ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,12	0,07	0,02	0,08

Prøvetagningssekvens

Når rækkefølgen af de enkelte prøvetagningspunkter til automatiseret prøvetagning skal planlægges, så er det relevant at være opmærksom på et evt. skift mellem analyse af høje koncentrationer og lave koncentrationer for derved at undgå "overeksponering" af udstyret og "medslæb" ved den efterfølgende analyse. Dette forhold kan f.eks. afklares ved en indledende manuel prøvetagning og analyse af ønskede prøvetagningspunkter, hvorved "høje" og "lave" kan adskilles. Imellem kørslen af en "høj-" og "lav-" koncentration, kan der køres en "blank" prøve bestående af f.eks. udeluft. Dette vil være medvirkende til at undgå evt. krydskontaminering af prøven med det lave indhold.

Konkret er der for de automatiserede prøvetagninger kørt en prøvetagningssekvens som angivet i Tabel 2.2, svarende til automatiserede målinger i 5 indeluft-, 4 poreluft- og 1 kloakmålepunkt(er).

Tabel 2.2. Prøvetagningssekvens, automatiseret prøvetagning. Prøve-ID henviser til placering som angivet i situationsplaner i Bilag A.

Prøve nr.	Prøve ID	Placering	Maks. TCE/PCE-koncentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
P1	IL1002	Stue, øst (indeluft)	0,6 / 43,1
P2	IL1003	Soveværelse (indeluft)	0,3 / 16,2
P3	IL1005	Badeværelse (indeluft)	0,5 / 15,4
P4	IL1006	Gang (indeluft)	1,8 / 19,3
P5	MP1013	Badeværelse (poreluft)	37,7 / 207
P6	MP1003	Soveværelse (poreluft)	2,7 / 268
P7	MP1006	Gang (poreluft)	8,5 / 717
P8	MP1002	Stue, øst (poreluft)	5,0 / 170
P9	Blank	Udeluft, vest-facade	0,8 / 4,0
P10	IL1004	Køkken (indeluft)	0,46 / 41,8
P11	LS1005	Gulvafløb, badeværelse (luftprøve)	133 / 224
P12	Blank	Udeluft, vest-facade (ikke udtaget)	-

Med baggrund i ovenstående prøvetagningssekvens og argumentationen for anvendelsen af blanke-prøvetagninger, så burde den blanke prøve P9 være indlagt som "ny" prøve P12, inden sekvensen med de "lave" koncentrationer i indeluften for P1 blev genoptaget. Alternativt at der var indlagt to blanke prøvetagninger som hhv. prøve P9 og P12.

Renspumpning

Forud for prøveopsamlingen fra de enkelte målepunkter, er der som en del af prøvetagningssekvensen (via step-files) foretaget renpumpning af prøvetagningsslangen. Omfanget af renpumpning kan differentieres til hvert enkelt punkt i forhold til længden af den udlagte slange. For hver ca. 200 meter slange står der 1 liter luft. I praksis blev der taget udgangspunkt i den længste af de udlagte slangelængder, hvorpå renpumpningen blev fastsat til 2 minutter á 0,1 l/min. (svarende til ca. 40 m slange).

Dashboard

Efter tilknytning af brugeradgang til det konkrete projekt, fås der online-adgang til dashboardet via et link. Beskrivelse af dashboard er vedlagt i Bilag B.

2.6 Økonomi

Til dette demonstrationsprojekt, har VaporSafes Belgiske samarbejdspartner, Group Van Vooren, leveret udstyr på lejebasis samt operatør og assistent på timebasis i forbindelse med opsætning og introduktion til udstyret. COWI har efterfølgende varetaget drift af udstyret med online backup fra VaporSafe, hvorpå

udstyret er nedpakket og returneret. I alt har udstyret været anvendt på lokaliteten i samlet 9 døgn.

Alt efter hvilket setup et konkret projekt har og i hvilket omfang at en evt. rådgiver bidrager til gennemførelsen af de fysiske undersøgelser, så vil det være relevant at overveje, hvorvidt det er muligt at gennemføre projektet alene med en VaporSafe operatør uden brug af en VaporSafe assistent.

Af Tabel 2.3 fremgår et økonomisk overblik af leverancen for anvendelse af udstyret. Der er i nedenstående ikke inkluderet COWIs bidrag i forhold til projektets gennemførelse, tilstedeværelse på lokaliteten eller databehandling og formidling.

Tabel 2.3. Økonomisk overblik af VaporSafe-ydelser. Yderligere rådgiverydelser er ikke inkluderet i sammenstillingen.

Post	Enhed	Antal	I alt, kr.
Mobilisering, kalibrering af GC, projekt oprettelse	Stk.	1	11.500
Rejseomkostninger, VaporSafe teknikere (2 stk.), transport af udstyr	Stk.	1	32.000
Overnatning, forplejning, VaporSafe teknikere (2 x 3 dage)	Dage	6	6.700
VaporSafe operatør, arbejdstimer i Danmark, opsætning og introduktion af udstyr (ekskl. nedpakning og returnering af udstyr)	Timer	24	25.000
VaporSafe assistent, arbejdstimer i Danmark, opsætning og introduktion af udstyr (ekskl. nedpakning og returnering af udstyr)	Timer	24	19.500
Oxygen, 5.0, trykflaske og reduktionsventil/manometer	Stk.	1	1.500
Prøvetagningsslange	m	500	1.800
Lokalt internetnetværk	Dage	9	1.200
Levering af differenstrykmålere, logning af data (2 stk.)	Dage	18	13.500
Indledende manuelle målinger (descrete sampling, ekskl. operatør)	Dage	1	13.500
Automatiserede monitorering (continuous sampling, ekskl. operator)	Dage	8	131.000
Lokal vejstation, levering og opsætning og logning af data	Dage	9	5.000
Fragt, returnering af udstyr (Danmark-Belgien)	Stk.	1	2.500
Samlet			264.700

Ovenstående økonomi kan omtrentligt opdeles i nedenstående fordelinger:

- > Opstartsydelse: Ca. 100.000 kr.
- > Leje pr. dag: Ca. 18.500 kr.

2.7 Gennemførte forsøg

De gennemførte forsøg er designet med henblik på at afprøve VaporSafe's udstyr i forhold til hvordan udstyret kunne tænkes anvendt ved undersøgelser af påvirkningen af indeluft i dansk kontekst. Forsøgene er opdelt i tre typer:

- > Manuelle målinger (descrete mode) angivet med blå farve i tidslinjen herunder. Forsøgene er beskrevet i kapitel 3.
- > Automatiserede målinger (continuous sampling) som under to forskellige forhold:
 - > Baseline målinger. Målingerne foregår mens der ikke foregår undersøgelsesaktivitet i huset, der kan påvirke koncentrationerne i indeluften. Baseline perioderne er primært tiltænkt for at se hvordan koncentrationerne indeluften i testhuset varierer under "normale" forhold (i dette tilfælde, svarende til en ubeboet bolig), uden at der etableres ændringer i forhold til luftskifte, trykgradient mm. Baseline perioderne anvendes også til at sikre, at der er opstået stabile forhold i forhold til det setup som de aktive målinger skal udføres under. Baseline perioderne er beskrevet i kapitel 4.2 og angivet med grøn farve i forsøgsplanen herunder.
 - > Aktiv indgriben i husets tryk og ventilationsforhold i form af blowerdoor forsøg. Forsøgene er beskrevet i kapitel 4.3 og kapitel 4.4.

Den oprindeligt planlagte forsøgsplan, forud for de efterfølgende konkrete tilpasninger på lokaliteten, er vedlagt i Bilag C. Den konkrete gennemførte forsøgsplan fremgår i en forenklet version i Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Den gennemførte forsøgsplan.

	torsdag	fredag	lørdag	søndag	mandag	tirsdag	onsdag	torsdag	fredag
Klokken	24.02.22	25.02.22	26.02.22	27.02.22	28.02.22	01.03.22	02.03.22	03.03.22	04.03.22
	Døgn 1	Døgn 2	Døgn 3	Døgn 4	Døgn 5	Døgn 6	Døgn 7	Døgn 8	Døgn 9
0-1						Åben afløb i badevær.			
1-2									
2-3						Lukket afløb i køkken			
3-4									
4-5									
5-6									
6-7									
7-8									
8-9	Opsætning af udstyr	Forsøg 1B målinger bag vandlås			Forsøg 2A Blowerdoor (svagt Δp) + bidrag fra: afløb i badevær. terrændæk	Forsøg 2C Blowerdoor (høj Δp) +bidrag fra afløb i badevær. terrændæk			
9-10									
10-11	Forsøg 1A kilde- opsporing	Forsøg 1C mål. bag wc efter skyld							
11-12									
12-13		Baseline 2							
13-14									
14-15									Nedtagning af udstyr
15-16									+oprydning
16-17									
17-18	Baseline 1	Åben afløb i badevær.			Forsøg 2B Blowerdoor (mellem Δp) + bidrag fra afløb i badevær. terrændæk	Baseline 1 Alle afløb lukket			
18-19									
19-20									
20-21	Alle afløb lukket	Lukket afløb i køkken							
21-22									
22-23									
23-24									

3 Manuel prøvetagning (descrete mode)

Indledningsvis er udstyret anvendt til analyse af enkeltprøver udtaget med 200 ml glassprøjte, hvorpå luftprøven manuelt er introduceret i injektionsporten på GC'en. Til glassprøjten kan der evt. monteres en kanyle i forbindelse med prøveudtagelsen. Volumen for prøvetagningen udgøres af 25 ml luft.

Ved dette projekt, har den manuelle prøvetagning haft to formål.

- 1 Afsøgning og evaluering af direkte spredningsveje
- 2 Klarlægning af størrelsesordener for prøvetagninger til opsætning af automatiseret prøvetagningssekvens (så der kan gives et indledende bud på adskillelse af "høje" og "lave" koncentrationer jf. den opsatte 'prøvetagningssekvens' (se også kapitel 2).

Detaljerede
forsøgsbeskrivelse

Der er til afklaring af den manuelle prøvetagning, gennemført en række forsøg relateret til direkte spredningsveje og udvikling af koncentrationer i forbindelse med afløbsinstallationer. Detaljerede beskrivelser af de gennemførte forsøg, fremgår af kapitel 3.1-3.3. Konklusionerne herfra er opsummeret nedenfor.

3.1 Forsøg 1A – direkte spredningsveje

Til evaluering af metodens anvendelighed til detektering af direkte spredningsveje, er der bl.a. gennemført målinger i forbindelse med en visuel revne i stuegulv under gulvtæppe, ved nogle rørgennemføringer af jernrør i gulvet til bryggerset samt i forbindelse med teknikskab ved indføring af vand, varme og el. De gennemførte målinger er behandlet i de følgende kapitler.

Revne i gulv

Under gulvtæppe i stue mod ydervæg til den østlige facade, er der konstateret en visuel revne i betondækket. Revnen er tidligere udbedret ved genstøbning/spartling af denne. Revnen fremgår af Figur 3.1 med en mørkere grå farve for det spartlede område i sammenligning med det tilstødende lysere betondæk. Revnen udgør et visuelt forløb over en strækning på ca. 3 meter med revnevidder op til ca. 1,5 mm. Af Figur 3.2 fremgår et close-up af revnen på et forløb over ca. 50 cm.



Figur 3.1. Revne ved ydervæg i stue under gulvtæppe. Revnen er tidligere udbedret, hvilket ses at det mørkere spartlede område.



Figur 3.2. Tættere kig på revne i stuegulv. Flere steder optræder revnen med vidder mellem 1,0-1,5 mm.

Uden på forhånd at have en fornemmelse af, om opsamling og analyse af en luftprøve i forbindelse med revnen kunne dokumentere en spredningsvej, blev der udtaget en række prøver i forbindelse med revnen. Som udgangspunkt blev der for hver 30 cm af revnen, udtaget en luftprøve. Prøverne blev udtaget med kanyler indsat i en 1-2 cm dybde af revnen. Yderligere blev der for et enkelt punkt udtaget en prøve i overfladen til revnen, samtidig med at målingen med udtagelse af luftprøve nede i revnen, blev gentaget i to af de tidligere prøvetagede punkter.

Analyseresultaterne fremgår af Tabel 3.1.

Tabel 3.1. *Analyseresultater, manuel prøvetagning, revne i gulv. Cm-angivelsen svarer til afstand fra væg mod badeværelset og mod syd jf. Figur 3.1 og Figur 3.2.*

Afstand fra væg mod badeværelse / ID	Tid	DELCD-detektor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		trans-1,2 DCE	cis-1,2 DCE	TCE	PCE
10 cm, overflade	13:47	-	-	-	2,8
10 cm, nål	13:54	-	4,48	1,59	12,54
40 cm, nål	14:01	-	9,72	6,34	41,58
70 cm, nål	14:10	-	1,6	1,17	10,43
100 cm, nål	14:16	-	6,24	3,59	29,9
130 cm, nål	14:23	0,148	0,108	0,036	9,31
160 cm, nål	14:30	0,12	0,24	0,30	8,28
190 cm, nål	14:36	-	3,68	2,29	64,16
220 cm, nål	14:43	-	3,80	1,73	81,28
	15:05	-	1,56	0,98	44,87
250 cm, nål	14:50	-	4,92	2,39	85,35
280 cm, nål	14:57	-	5,32	3,66	111,06
	15:12	-	5,20	2,50	93,91
Baggrunds niveau, stue*	-	0,01	2,25	0,73	19,5

*Gennemsnit af 33 på hinanden følgende gennemførte målerunder af 14-dages varighed med ORSA-rør for målepunkt IL1002 og IL1008 i perioden marts 2020 til juli 2021 (som udtryk for et gennemsnitligt baggrunds niveau i stuen).

For alle prøvetagningerne ses der potentiale til, at disse for PCE og TCE kan udgøre et bidrag til indeluften der overskrider afdampningskriterierne. Hovedparten af resultaterne er i flere niveauer over et baggrunds niveau i indeluften, hvorfor revnen samlet set tolkes som en betydende spredningsvej. Der ses forholdsvis stor varians inden for korte afstande mellem de enkelte prøvetagninger i revnen med en tendens til, at jo længere mod den centrale del af rummet at revnen er placeret, jo højere koncentrationer kan der måles, hvilket i nogen grad understøttes af den konceptuelle forståelse af forureningen på ejendommen med en centralt placeret poreluftsky.

Ved den første prøvetagning på afstand 10 cm, er der mere end en faktor 4 forskel mellem PCE-indholdet, alt efter om der er udtaget luftprøve lige over revnen eller nede i revnen. Det højeste indhold ses nede i revnen.

Ved længde 220 cm er der udtaget to luftprøver som er udtaget og analyseret med 22 minutters mellemrum. Der ses en ca. halvering af de påviste koncentrationer mellem prøvetagningen kl. 14:43 og 15:05. Årsagen hertil kan muligvis skyldes tidlig variation.

Ved ovenstående prøvetagningssekvens, er der i løbet af 85 minutter udtaget og analyseret 13 luftprøver, svarende til ca. 6,5 minutter pr. prøve.

Jernrør i gulvkonstruktion

I bryggerset i ejendommen, blev der lokaliseret to overskårede ca. Ø25 mm jernrør som stak op af gulvkonstruktionen. Foto fremgår af Figur 3.3. Det er uvist hvad rørgennemføringerne har været brugt til, men der kan evt. være tale om en placering af en tidligere gennemløbs-radiator. Rørene var delvist tilstoppe/støbte i niveau for gulvet. Der blev fra begge rørgennemføringer udtaget en luftprøve via glassprøjte med kanyler, som derpå blev analyseret. Analyseresultaterne fremgår af Tabel 3.2. Bryggerset er ikke opvarmet som den øvrige del af ejendommen.



Figur 3.3. Lokaliserede jernrør i gulvkonstruktion i bryggers (røde markeringer).

Tabel 3.2. Analyseresultater, manuel prøvetagning, jernrør i gulvkonstruktion.

ID	Tid	DELCD-detektor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		trans-1,2 DCE	cis-1,2 DCE	TCE	PCE
Jernrør, vest, 5.1	11:07	0,09	0,16	0,03	5,46
Jernrør, øst, 5.2	11:20	-	0,24	0,34	22,78
Baggrunds niveau, bryggers*	-	0,10	0,42	0,16	1,00

*Gennemsnit af 33 på hinanden følgende gennemførte målerunder af 14-dages varighed med ORSA-rør for målepunkt IL1001 i perioden marts 2020 til juli 2021 (som udtryk for et gennemsnitligt baggrunds niveau i bryggers).

De gennemførte målinger illustrerer blot, at selv små spredningsveje for en poreluftforurening til indeluften kan udgøre et ikke uvæsentligt bidrag og at udstyret kan anvendes til at opsøge og klarlægge betydende spredningsveje. Særligt de påviste PCE-koncentrationer ligger langt over baggrundsniveauet, hvilket dog ikke er tilsvarende entydigt for hhv. trans-1,2 DCE, cis-1,2 DCE og TCE.

Teknikskab

Teknikskabe, og særligt den type hvor rørgennemføringer via betondækket ikke er omkringstøbt, eller at der på anden vis ikke er foretaget tætning i forbindelse med rørene, er en oplagt og ofte set spredningsvej for en poreluftforurening til indeluften.

I den konkrete ejendom, udgøres 'teknikskabet' af en let forsatsvæg etableret i forbindelse med tegl-opmuret ydermur og denne udgør samtidig delvis vægkonstruktion til stuen. Teknikskabet er tilgængeligt via en låge i træ. Bunden af teknikskabet udgøres i store træk af betondækket, som tilsvarende dækker fodaftrykket til den øvrige bolig. I forbindelse med en af rørgennemføringerne, er der etableret en isoleret trækasse, hvor det lader til at kondensisoleringen er ført til et niveau under overkant af betondækket – med andre ord, at rørgennemføringer i teknikskabet kun er delvist tætnet.

Med afsæt heri, blev der udtaget en luftprøve med glassprøjte inde i teknikskabet. Glassprøjten blev ført ind så fysisk tæt som muligt i forbindelse med overgang mellem den støbte bund og "trækassen", se Figur 3.4 hvor prøveplacering er markeret med rød pil, hvorpå luftprøven blev udtaget. Analyseresultater fremgår af Tabel 3.3.



Figur 3.4. Bund af teknikskab set fra "adgangsvej" via trælåge i stue. Prøvetagningsplacering er markeret med rød pil.

Tabel 3.3. Analyseresultater, manuel prøvetagning, bund af teknikskab.

ID	Tid	DELCD-detektor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		trans-1,2 DCE	cis-1,2 DCE	TCE	PCE
Teknikskab, 2A.1	15:20	-	0,12	0,08	18,96
Baggrundsniveau, stue*	-	0,01	2,25	0,73	19,5

*Gennemsnit af 33 på hinanden følgende gennemførte målerunder af 14-dages varighed med ORSA-rør for målepunkt IL1002 og IL1008 i perioden marts 2020 til juli 2021 (som udtryk for et gennemsnitligt baggrundsniveau i stuen).

Ved sammenligning med baggrundsniveauet i stuen, kan det ikke entydigt klarlægges hvorvidt rørgennemføringerne udgør en egentlig spredningsvej, eller om de påviste indhold blot er et udtryk for den generelle belastning af indeluften forårsaget af spredning over betondækket.

3.2 Forsøg 1B - afstand bag vandlås

Formålet med målingerne var at undersøge, om det er muligt med de manuelle målinger at foretage målinger bag en vandlås, uden at ændre væsentligt på de ligevægtskoncentrationer der er hersker i luften i afløbssystemet (rørene) bag vandlåsen. Det var desuden formålet at undersøge, om der kunne registreres ændringer i koncentrationer med stigende afstand til vandlåsen.

Af den oprindelige forsøgsplan, var det planen at forsøget skulle udføres på afløbet fra køkkenvasken. Afløbet fra køkken har Region Midtjylland fået ændret, så det har samme udførsel som gulvafløbet i badeværelset, se Figur 3.5.



Figur 3.5. Udformning af prøvetagningspunkt LS1004 afløb fra køkkenvask.

Forsøget kunne dog ikke udføres fra dette målepunkt, idet regionen tidligere havde fået afløbet afblændet ved skelbrønden, men også fordi det blev fundet en død rotte i rørene umiddelbart bag vandlåsen, hvormed det var nødvendigt at adskille målepunktet, for at fjerne rothen. Herved blev ligevægtskoncentrationerne i rørene forstyrret. Det blev derfor aftalt at flytte forsøget til gulvafløbet i badeværelset.

Forsøget blev derfor i stedet gennemført i målepunktet i badeværelset (LS1005). For at forsøget kunne gennemføres var det nødvendigt at ændre en smule på opbygningen af målepunktet. Først blev målepunktet lukket med den store kugleventil i den øverste del af målepunktet, herefter blev toppen af målepunktet ændret til en top med et 8 mm hul, hvorigennem der kunne trækkes en ca. 4 m lang 8 mm slange (slangen er Ø8 mm udvendig og Ø5 mm indvendig hvilket giver et samlet volumen i slangen på knapt 80 ml). Målepunktet blev åbnet og slangen blev presset ind i afløbssystemet så slangens åbning blev placeret 3 m bag "vandlåsen". Montering af slangen blev foretaget om eftermiddagen på den første måledag, hvorpå prøvetagningen blev udført den følgende dag. Det blev sikret, at afløbet fra toilet og håndvask ikke var anvendt før, efter at prøvetagningen var gennemført den næste formiddag. Mellem etablering og målinger var der således ca. 12 timer, hvor ligevægt i systemet kunne indstilles.

For at minimere påvirkningen af luft i afløbssystemet blev prøvetagningen foretaget ved at "renpumpe" med slangens volumen svarende til 80 ml luft med den ene af to glaskanyler, og herefter udtage en frisk 25 ml prøve med den anden glaskanyle. Første måling blev foretaget med slangen presset ind til ca. 3 m bag vandlåsen, herefter blev slangen trukket ca. 0,5 m tilbage og en ny prøve blev udtaget o.s.v. Afstandene hvor prøverne blev udtaget fremgår af Tabel 3.4.



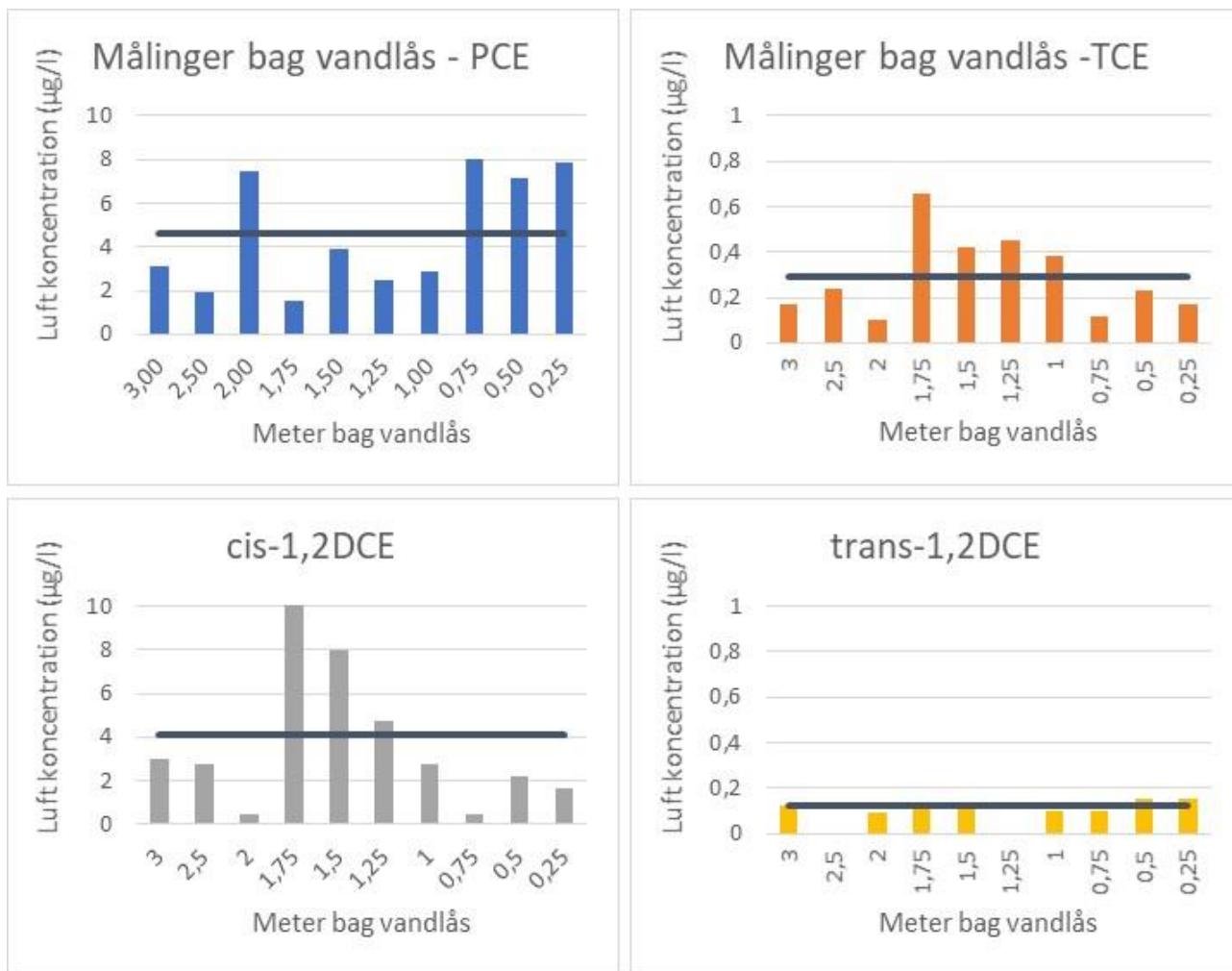
Figur 3.6. Prøvetagning af luft i afløbssystemet bag målepunkt LS1005. Prøven bliver udtaget optil ca. 3 m bag "vandlåsen".

Tabel 3.4. Resultater af målinger i afløbssystemet bag vandlåsen i målepunkt LS1005 monteret på gulvafløbet i bad/toilet. Resultaterne er givet for måling på DELCD-detektor

meter bag vandlås	DELCD-detektor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	Tid	PCE	TCE	cis-1,2 DCE	trans-1,2 DCE
3,0 m	i.r.	3,10	0,17	2,98	0,12
2,5 m	i.r.	1,89	0,24	2,79	i.p.
2,0 m	i.r.	7,50	0,10	0,48	0,09
1,75 m	i.r.	1,53	0,66	14,84	0,14
1,5 m	i.r.	3,93	0,42	8,00	0,11
1,25 m	i.r.	2,48	0,45	4,72	i.p.
1,0 m	i.r.	2,90	0,38	2,76	0,10
0,75 m	i.r.	8,04	0,12	0,48	0,10
0,5 m	10:00	7,17	0,23	2,24	0,15
0,25 m	10:07	7,84	0,17	1,68	0,15
gennemsnit	-	4,64	0,29	4,09	0,12

i.r.: Ikke registreret

Ved hver prøvetagning er der udtaget ca. 0,11 l luft, hvilket svarer til den mængde luft der står i ca. 13 cm af et Ø110 mm rør eller ca. 28 cm af et Ø75 mm rør. For rørdimensioner mindre end Ø75 mm vil en luftprøve på 0,11 liter være så stor, at den vil udgøre en anseelig del af luften der står i røret, hvis luften er stillestående i røret.



Figur 3.7 Illustration af resultater af målinger i afløbssystemet bag vandlåsen i målepunkt LS1005. De enkelte værdier (søjlerne) og gennemsnittet (linjerne) fremgår af Tabel 3.4.

Ved de udførte målinger har der ikke kunnet ses en tendens for udvikling af koncentrationerne i afløbsrøret i afstanden 0-3 m bag "vandlåsen". De målte koncentrationer varierer med $\pm$ en faktor ca. 2 i forhold til gennemsnitskoncentrationen. Variationerne kan ikke udelukkes at være udtryk for tidslige variationer. Variationerne i de målte koncentrationerne kan muligvis også være et udtryk for den kombinerede usikkerhed ved prøvetagning og analyse. Ved målingerne ses der ikke samme tendens for de forskellige stoffer, f.eks. ses at koncentrationen PCE i punktet 2,0 m er ca. 3 gange højere end koncentrationen i punktet 1,25 m, men for TCE er koncentrationen ca. 5 gange lavere, og for cis 1,2 DCE er koncentrationen ca. 10 gange lavere.

Forsøget har ikke bidraget til tilstrækkelige resultater, hvorfor der ikke er afledt konklusioner om metodens anvendelighed hertil.

3.3 Forsøg 1C – træk-og-slip på toilet

Formålet med forsøget var at undersøge, hvorledes koncentrationerne i afløbssystemet bliver påvirket af toiletskyl. Det var forventet at toiletskyl vil bevirke,

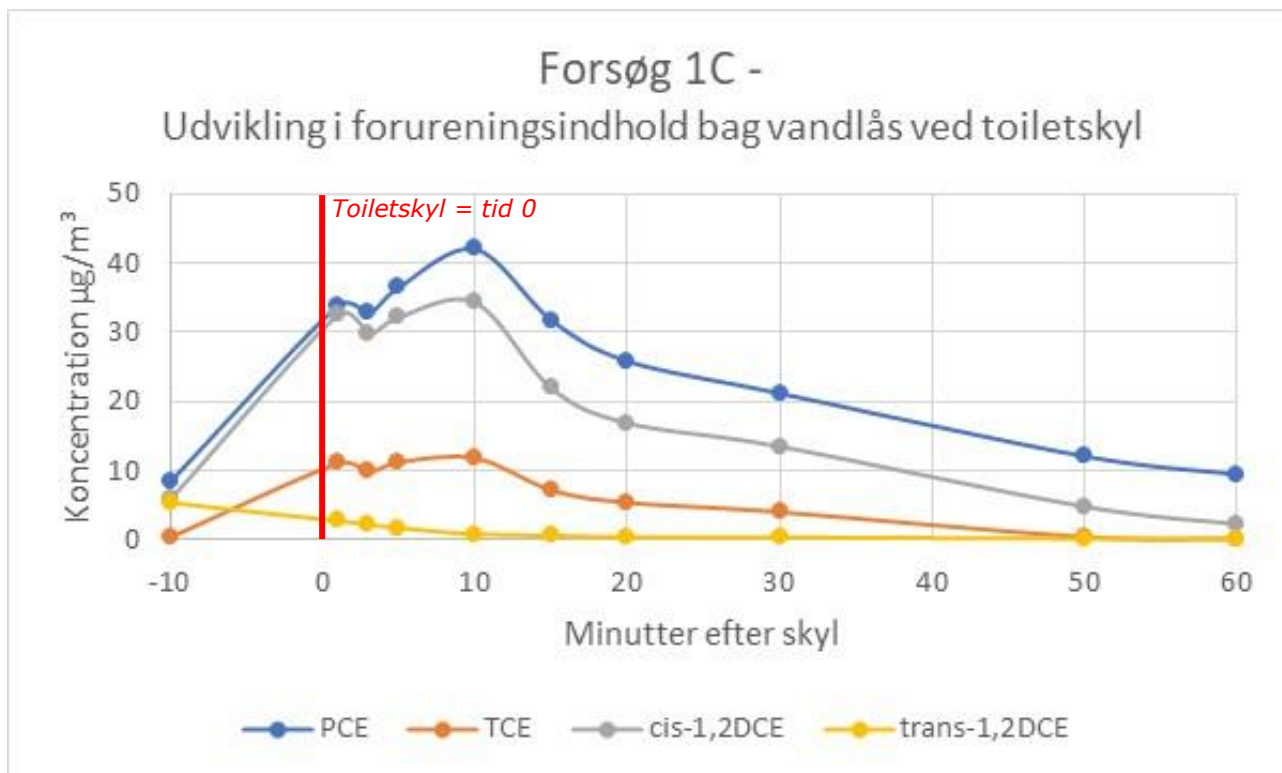
at der åbnes op for at luft fra afløbssystemet vil kunne undslippe til indeluften, men også at indeluft vil kunne trænge ned i afløbssystemet og dermed påvirke koncentrationsniveauet i afløbsledningerne bag vandlåsen.

Forsøget er gennemført ved at foretage målinger på et af de faste målepunkter i LS1005, som er monteret på gulvafløbet i bad/toilettet. Til forsøget var to glas-kanyler tilgængelige til prøvetagning. Første måling blev foretaget ca. 10 minutter inden at der blev skyllet ud i toilettet, idet dette gav mulighed for at alle prøver, på trods af en analysetid på knapt 10 minutter, kunne udtages, som anført i Tabel 3.5, idet prøverne kunne afvente i glassprøjten indtil de kunne injiceres i GC'en. Det er ikke undersøgt, hvorvidt det at prøven afventede i glassprøjten, havde indvirkning på analyseresultatet. Resultaterne er anført i Tabel 3.5 og illustreret i Figur 3.8.

Tabel 3.5. Resultater af målinger i afløbssystemet efter skyl i toilettet. Målingerne er foretaget i målepunkt LS1005 monteret på gulvafløbet i bad/toilet. Resultaterne er givet for måling på DELCD-detektor

Måletidspunkt	DELCD-detektor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	PCE	TCE	cis-1,2 DCE	trans-1,2 DCE
"-10" min (før skyl)	8,42	0,55	6,04	5,37
Skyl				
1 min efter skyl	33,93	11,23	32,68	2,78
3 min. efter skyl	32,80	9,98	29,92	2,29
5 min. efter skyl	36,58	11,41	32,32	1,80
10 min. efter skyl	42,09	11,98	34,44	0,90
15 min. efter skyl	31,79	7,37	22,04	0,70
20 min. efter skyl	25,85	5,53	17,00	0,49
30 min. efter skyl	21,18	4,16	13,60	0,45
50 min. efter skyl	12,08	0,56	4,92	0,26
60 min. efter skyl	9,41	0,29	2,36	0,19
Baggrundsniveau, indeluft toilet*	11,41	1,03	17,44	0,13

**Gennemsnit af 34 på hinanden følgende gennemførte målerunder af 14-dages varighed med ORSA-rør for målepunkt IL1005 i perioden marts 2020 til juli 2021 (som udtryk for et gennemsnitligt baggrundsniveau i toilet-rummet/badeværelse).*



Figur 3.8. Illustration af koncentrationsudviklingen i afløbssystemet (LS1005) efter toiletskyl. Toiletskyl = tid 0 er markeret med rød lodret streg.

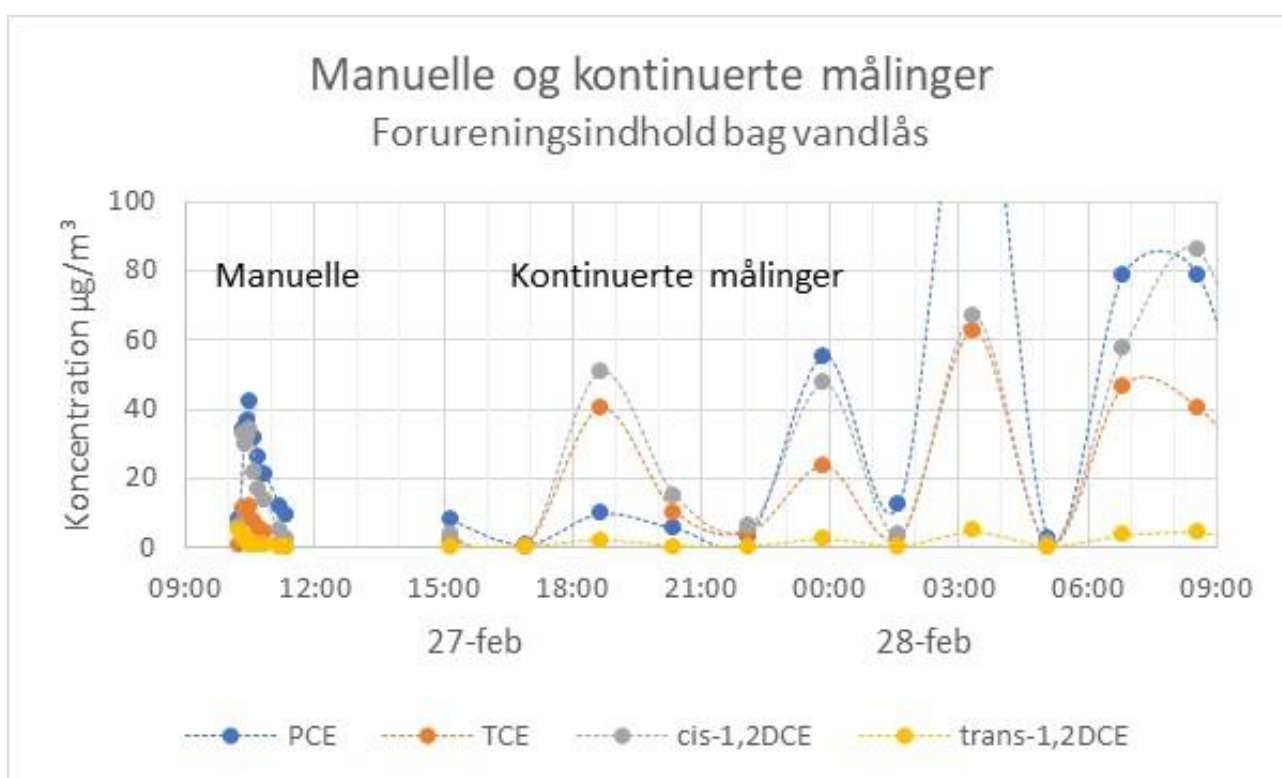
Som det fremgår af Figur 3.8, så ses der, undtaget for trans-1,2 DCE, en momentan kraftig stigning i luftkoncentrationen ved gulv afløbet, når der foretages skyl i toilettet. Stigningen i koncentrationer er fortsat stigende de næste 10 minutter, hvorefter koncentrationerne langsomt aftager, og når tilbage til baggrundskoncentrationen/udgangskoncentrationen efter ca. 1 time. Udgangskoncentrationerne (før skyl, og ca. 1 time efter skyl) ligger på niveau med koncentrationerne der blev målt ved forsøg 1B – målinger bag vandlåsen. Til sammenligning er indholdene i afløbsinstallationen "tilbage" på niveau, eller under baggrundsniveauet i indeluften i toilet-rummet/badeværelset, 50 minutter efter toiletskyllet. Dette indikerer, at de øgede koncentrationer er afledt af afløbssystemet som spredningsvej og ikke som et resultat af at afløbssystemet påvirkes af "højere" koncentrationer fra indeluften.

Inden forsøg 1C (træk-og-slip på toilet) blev gennemført, var det COWIs forventning, at koncentrationerne i afløbssystemet ville falde og ikke stige, som følge af at der foretages skyl i toilettet. Ud fra enkeltmålingerne har COWI ingen forklaring på, at der under forsøget kortvarigt ses stigende koncentrationer. Det skal i den forbindelse bemærkes, at det etablerede målepunkt i forbindelse med gulv afløbet, LS1005, ikke er det samme punkt som toilettet. Dette kan muligvis have en indvirkning på luften i målepunktet.

Målepunkt LS1005 var også omfattet af de automatiserede målinger, der blev igangsat om eftermiddagen nogle timer efter at forsøg 1C blev gennemført. I Figur 3.9 er resultaterne fra forsøg 1C sammenholdt med de første af de automatiserede målinger. Som det kan ses, er der stor variation på de automatiserede

målinger, også i perioder hvor afløbssystemet ikke er i brug. Der er således tale om et meget dynamisk system, hvor koncentrationerne varierer meget over forholdsvis korte tidsintervaller. De påviste variationer ville forventeligt ikke have været mulige at dokumentere ved mere traditionelle undersøgelsesmetoder.

Ud fra kurveforløbet ved forsøg 1C (se Figur 3.8) er det tydeligt, at det at trække ud i toilettet giver en opblanding af luften i afløbssystemet, som påvirker den aktuelle koncentration, men hvorvidt det giver anledning til stigende eller faldende koncentrationer, kan ikke vurderes på forhånd. Det er COWIs vurdering, at hvis forsøg 1C var foretaget på et andet tidspunkt med væsentlig højere "start" koncentrationer, er det sandsynligt at koncentrationerne i stedet ville være faldet umiddelbart efter skyllet.



Figur 3.9. Illustration af koncentrationsudviklingen i afløbssystemet (LS1005) ved henholdsvis manuelle målinger (efter toiletskyl) og "kontinuerte" målinger, med en måling ca. hver anden time.

3.4 Sammenfatning manuel prøvetagning (descrete mode)

På baggrund af de gennemførte forsøg kan det konkluderes at:

- > Det er muligt at udtage en luftprøve og derpå have et analyseresultatet ca. 10 minutter senere.
- > Den korte periode for prøvetagning og et afledt resultat kan give en hurtig afklaring af, om en potentiel spredningsvej er aktiv eller ej og med hvilken betydning/størrelse den har. Ved sammenligning med en traditionel passiv

gennemsnitmåling eller fluxmåling, vurderes det at være et virkeligt stærkt værktøj.

- > Metoden afdækker, at det kan være vanskeligt at udtage en "repræsentativ" prøve i forbindelse med et dynamisk afløbssystem, hvor koncentrationerne varierer meget over forholdsvis korte tidsintervaller – så hvornår har skal vi mon udtaget en "repræsentativ" prøve?

4 Automatiserede målinger

Automatiserede målinger er et utroligt stærkt redskab, når påvirkningen af indeluften i en bygning ønskes undersøgt. Idéen er, at man ud fra det "mønster" de tidlige variationer giver, kan afklare hvilke aktive spredningsveje der har særlig betydning for indeluftkoncentrationerne og hvilke forhold der påvirker de spredningsveje der måles i bygningen.

De opsamlede data for de automatiserede målinger og datakanaler er vedlagt som en Excel-fil som Bilag E.

Formål

Formålet med de automatiserede målinger der er udført i forbindelse med nærværende projekt, var at undersøge VaporSafes udstyr anvendelighed, herunder at uddrage erfaringer i forhold til dansk undersøgelseskontekst.

4.1 Forsøgsplan

Anvendelse af blowerdoor

For at belyse hvordan de kontinuerte målinger kan give et mønster, der kan anvendes i den konceptuelle forståelse af forureningskilde og spredningsvej, var der oprindeligt tænkt udført en række test hvor forskellige spredningsveje blev forsøgt aktiveret, f.eks. afløbssystemet på badeværelset, eller revner i terrændækket. I alt var der planlagt 3 forskellige testsituationer. For at sikre, at de enkelte spredningsveje blev aktiveret, og at denne effekt kunne eftervises ved de automatiserede målinger, blev det besluttet at forstærke effekterne ved anvendelse af blowerdoor.

Hvad er en blowerdoor? I forbindelse med bl.a. energimærkning af bygninger, udføres der en test af tætheden af byggeriet med henblik på at eftervise krav til varmetab. Tæthedsprøvnin-gen med blowerdoor foregår ved hjælp af en ventilator, en "kunstig dør" og en trykmåler. Den kunstige dør monteres i karmen af f.eks. en yderdør, terras-sedør eller i et vindue. I den kunstige dør er monteret en ventilator som anven-des til enten at skabe undertryk eller overtryk i bygningen ved at ventilatoren puster luft ind i bygningen (overtryk) eller at ventilatoren vendes så den suger luft ud af bygningen (undertryk). Ved en traditionel blowerdoor test registreres ventilatorens ydelse, og opnåede trykforskel mellem ude og inde hvorved kon-struktionens utæthed måles ved forskellige trykforskelle. Testen tager få timer

at gennemføre. Blowerdoor testen afslører utætheder i dampspærren ved ind-dækninger, el-installationer, samlinger, døre og vinduer samt andre utilsigtede utætheder. I forbindelse med prøvningen kan man lokalisere utæthederne ved at anvende termografi eller en røgpen.

Blowerdoor i testhuset Allerede i forbindelse med første forsøg kunne det dog fastslås, at anvendelse af blowerdoor, ikke var anvendelig til formålet. I stedet for at blowerdooren forstærker effekten af spredningsvejene for poreluften, så bevirkede utætheder i husets klimaskærm, at koncentrationerne i indeluften faldt på grund af fortynningen med indsivende udeluft. En anden og vigtigere betydning for projektet var, at anvendelsen af blowerdoor også påvirkede poreluftkoncentrationen i flere målepunkter under gulv, idet koncentrationerne blev væsentligt lavere end inden forsøget blev igangsat. Dette bevirkede, at det blev besluttet at standse forsøgene med blowerdoor, og at de sidste tre forsøgsdage med automatiserede målinger blev anvendt til at belyse hvor hurtigt poreluftkoncentrationer og indeluftkoncentrationer blev regenereret, herunder til belysning af de tidlige variationer i indeluft- og poreluftkoncentrationer (kaldet baselinemålinger). Den gennemførte forsøgsplan er vist i Tabel 2.4 (side 28).

4.1.1 Prøvetagningssekvens

For at teste hvor let/svært det var at ændre på hvilke målepunkter/porte som VaporSafes udstyr medtager ved de automatiserede målinger, var det planlagt, at de tre blowerdoor-forsøg skulle gennemføres med hver sit sæt af prøvetagningspunkter, eller at de samme målepunkter skulle medtages, men at der skulle ændres på rækkefølgen af målepunkterne (prøvetagningssekvensen). Samtidigt med at det blev besluttet kun at køre baseline de tre sidste forsøgsdage blev det også besluttet ikke at ændre på prøvetagningssekvensen.

Ved den gennemførte test har det således ikke været muligt at afprøve proceduren for ændringer i prøvetagningssekvensen.

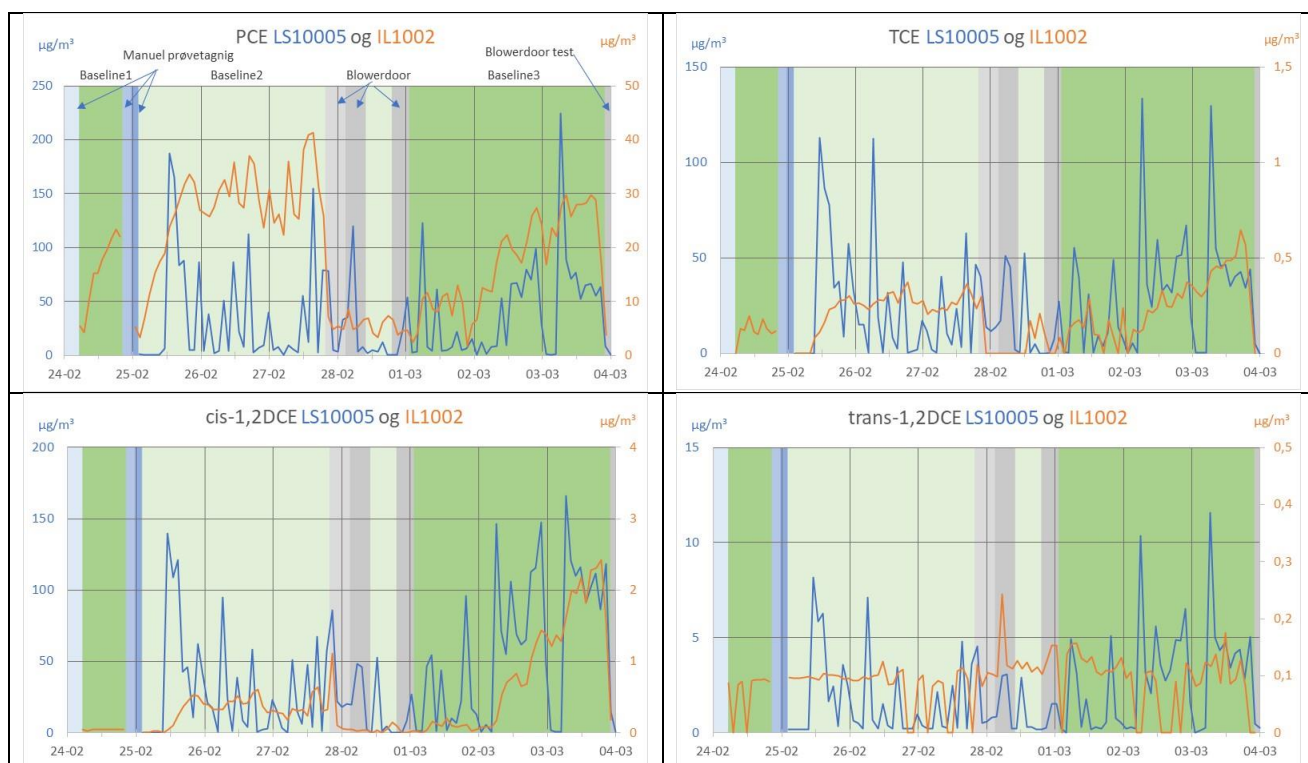
4.1.2 Risiko for krydskontaminering

En begrænsning i prøvetagningssekvensen og dermed en mulig begrænsning i forsøgsplanen er risikoen for krydskontaminering mellem målepunkter med stor forskel i koncentrationsniveauerne.

For at minimere risikoen for krydskontaminering, er prøvetagningen planlagt så målepunkterne analyseres efter forventede koncentrationsniveauer med de laveste koncentrationsniveauer først, og de højeste til sidst. Inden der skiftes tilbage til de lave koncentrationer, indsættes en blank prøve for at undgå afsmitning fra den foregående prøve. Som det fremgår af Tabel 2.2 (side 25), var det planlagt at der først analyseres på målepunkter hvor koncentrationerne forventes at være lave (indeluftprøverne) for stue (IL1002), soveværelse (IL1003), toilet (IL1005) og gangen (IL1006). Herefter på målepunkter med højere koncentrationer (poreluftprøverne) for toilet (MP1013), soveværelse (MP1003), gangen (MP1006) og stue (MP1002). Herefter en blank prøve (udeluft) inden der igen

måles på indeluften i køkken (IL1004) og gulvafløb toilet (LS1005), hvorefter sekvensen gentages.

Efterfølgende er det konstateret, at der var en fejl i prøvetagningssekvensen for prøven fra gulvafløb (LS1005), idet denne skulle være udført sammen med porluftprøverne og ikke sammen med indeluftprøverne. Da der kan forekomme høje koncentrationer i LS1005 var der risiko for at dette kan have påvirket målingen i indeluftprøven IL002, svarende til den efterfølgende prøve. For at kontrollere om dette er tilfældet, er der i Figur 4.1 foretaget en sammenligning af de målte koncentrationer i de to målepunkter.



Figur 4.1. Sammenligning af tidsserier for LS1005 og IL1002.

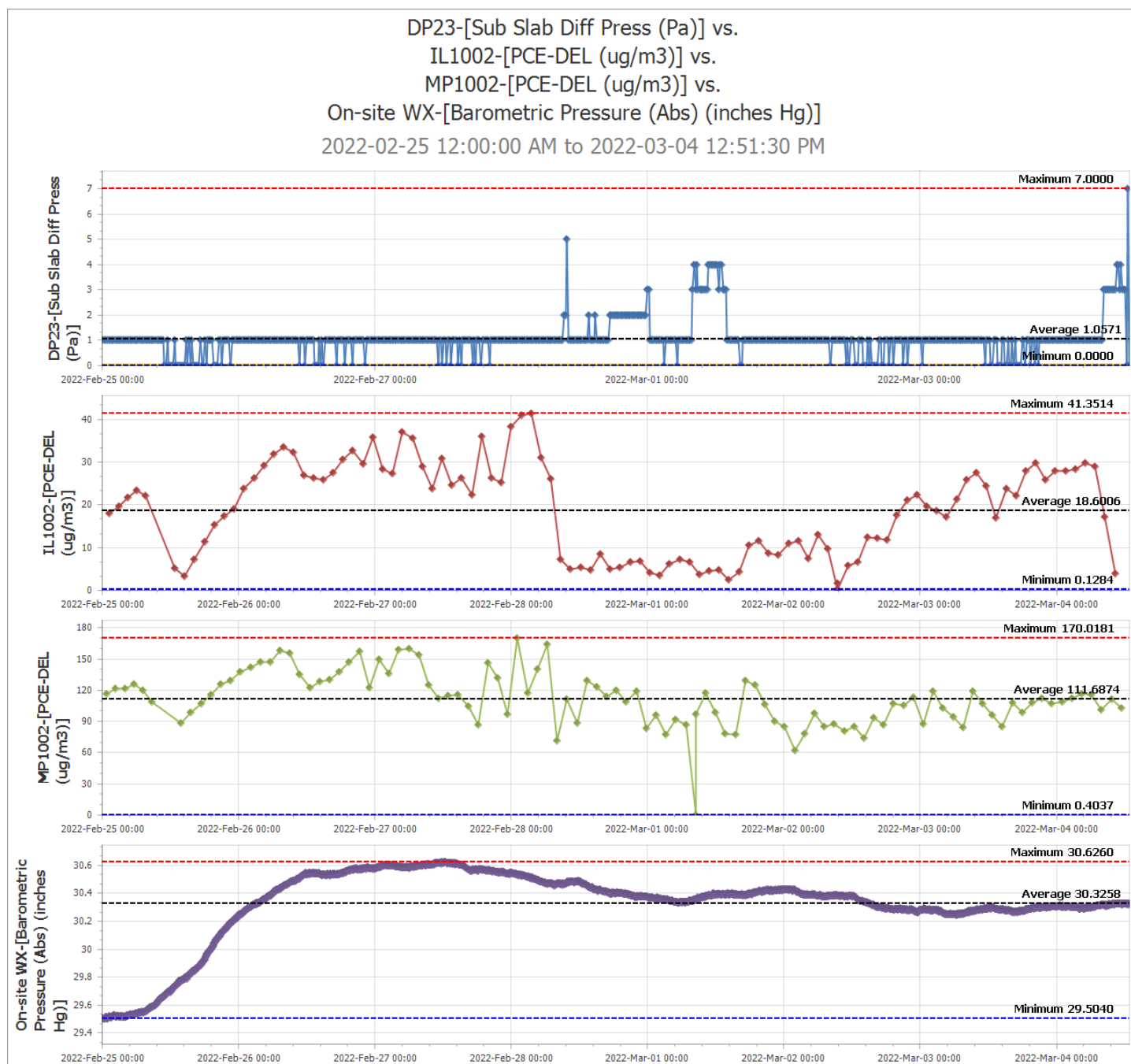
Som det fremgår af Figur 4.1, er der enkelte punkter hvor der kunne være tegn på, at koncentrationerne for IL1002 er påvirket af koncentrationerne i LS1005, f.eks. omkring den 3. marts for parametrene PCE, TCE og cis-1,2 DCE, men der er også mange steder hvor koncentrationsudviklingen i LS1005 ikke følges i IL1002. Der vurderes derfor ikke, at der er sket væsentlig krydskontaminering af IL1002.

Som beskrevet ovenfor er der ved målingerne i forsøgshuset i Roslev ikke konstateret tegn på krydskontaminering. Med baggrund heri vurderer COWI, at der med den anvendte opsætning, er lille risiko for krydskontaminering ved målingerne. Anvendelsen af udstyret har desuden vist, at operatørerne af udstyret har flere muligheder for at sikre mod eventuel krydskontaminering, såfremt der skulle opstå mistanke herom under målingerne. Som anvendt under nærværende forsøg, kan der indskydes en blank prøve mellem prøvetagningspunkter

med meget høje koncentrationer og efterfølgende punkter med meget lave koncentrationer. Det er tilsvarende muligt at prøvetage to gange fra prøven med lave koncentrationer, eller at øge mængden af luft som manifold og GC gennemskyldes med ved hver prøvetagning, og dermed reducere eller helt eliminere risikoen for krydskontaminering.

4.1.3 Visualisering af data

En vigtig del i anvendelsen af VaporSafes udstyr er muligheden for online at følge resultaterne af de udførte målinger, hvilket giver projektlederen mulighed for løbende at kunne tilpasse undersøgelsesforløbet/forsøgsplanen, f.eks. som beskrevet ovenfor i forhold til risiko for krydskontaminering. Som beskrevet i kapitel 2, følges resultaterne via VaporSafe's dashboard. En del af nærværende projekt har derfor været at afprøve anvendeligheden af dashboardet. Dashboardets funktioner og opsætning er i detaljer beskrevet i Bilag B. Udover resultater fra GC'en, kan der i dashboardet tilknyttes en række sensorer, herunder f.eks. en vejrstation og trykdifferensmålere. Dette er ligeledes afprøvet ved projektet.



Figur 4.2. Eksempel på skærbillede fra VaporSafes dashboard, hvor man under Time Series-Stacked (se Figur 5.2), online kan følge resultaterne på op til seks sensorers måleværdier, her illustreret ved trykdifferens måling (blå øverst), PCE-koncentrationen i to målepunkter (rød og grøn kurve i midten) og udviklingen i lufttrykket fra lokalt opsat vejrstation (lilla nederst).

I dashboardet kan resultaterne fra målingerne følges online med tidsserier som f.eks. dem der er vist i Figur 4.2. I skærbilledet kan følges tidsserien for op til 6 parametre. Umiddelbart kan dette virke som et stort antal tidsserier, men i praksis vurderer COWI at dette er en begrænsning i forhold til at holde overblik over måledata. Med op til 16 målepunkter hvor der måles for f.eks. 4 stoffer (PCE, TCE, cis- og trans-DCE), to trykdifferensmålere og en vejrstation, så kan der optegnes tidsserier for ca. 70 parametre. Det kan derfor være svært at overskue data når der kun kan ses 6 tidsserier ad gangen.

Dashboardet har dog været en stor gevinst i forhold til udførelse af projektet, og relevante parametre blev forholdsvis enkelt lokaliseret ift. til hvilke det var vigtigt at følge for at få et overblik over resultaterne.

Dashboardets giver forholdsvis begrænsede muligheder for opsætning af tidsserierne. COWI vurderer derfor, at dashboardet ikke er anvendeligt i forhold til endelig afrapportering af målingerne. Der er dog også muligt at udtrække data til MS Excel eller ASCII-fil, hvilket COWI har anvendt i forbindelse med nærværende databehandling og afrapportering.

4.2 Baseline-målinger

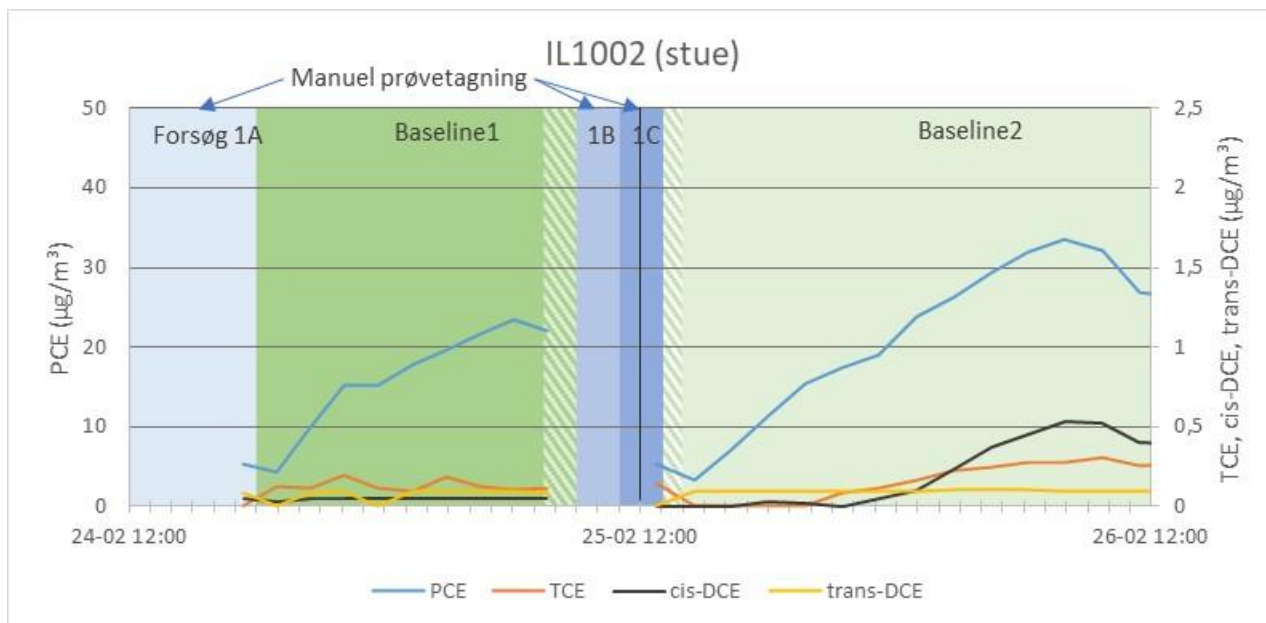
Som det fremgår af forsøgsplanen i Tabel 2.4 så var en stor del af forsøget reserveret til baselinemålinger. Baseline målinger er målinger hvor der ikke er ændret på hverken opsætningen af GC'eren eller på den prøvetagningssekvens (antallet og rækkefølgen af de målepunkter som medtages i måleserien) som GC'en anvender eller på de fysiske forhold i testhuset.

Der kan være flere formål med baselinemålingerne:

- 1 At overvåge og registrere de "naturlige" variationer i luftkoncentrationerne under en given situation. En given situation kunne f.eks. være, at døren til badeværelset lukkes og forsegles inden baselinemålingen startes. Under baseline målingerne følges koncentrationsudviklingen i såvel badeværelse som de øvrige rum. mens de øvrige døre holdes åbne, så luften frit kan bevæge sig rundt i bygningen.
- 2 At overvåge og registrere hvor længe det tager fra en given ændring er udført til en ny ligevægtssituation er indtruffet.
- 3 Perioderne med baseline målinger anvendes også til at sikre, at der er opnået en ligevægtssituation inden et forsøg opstartes, så forsøget kan gennemføres uden at forsøget påvirkes af ændringer i de givne forhold. F.eks. blev forsøg 2A gennemført med "åbent" afløbssystem i badeværelset (via åben prøvetagningsport i forbindelse gulvafløbet), mens afløbssystemet i køkkenet var lukket tæt til. Under Baseline 2 gjaldt de samme forhold som under forsøg 2A, og det primære formål med Baseline 2 var at sikre, at de forsøg og forhold der blev udført før Baseline 2 ikke påvirkede resultaterne af forsøg 2A. Formålet med at måle under Baseline 2A var derfor, at kunne dokumentere at der var ligevægt i systemet samt at undersøge hvor længe der går før den nye ligevægt er indstillet.

4.2.1 Baseline 1

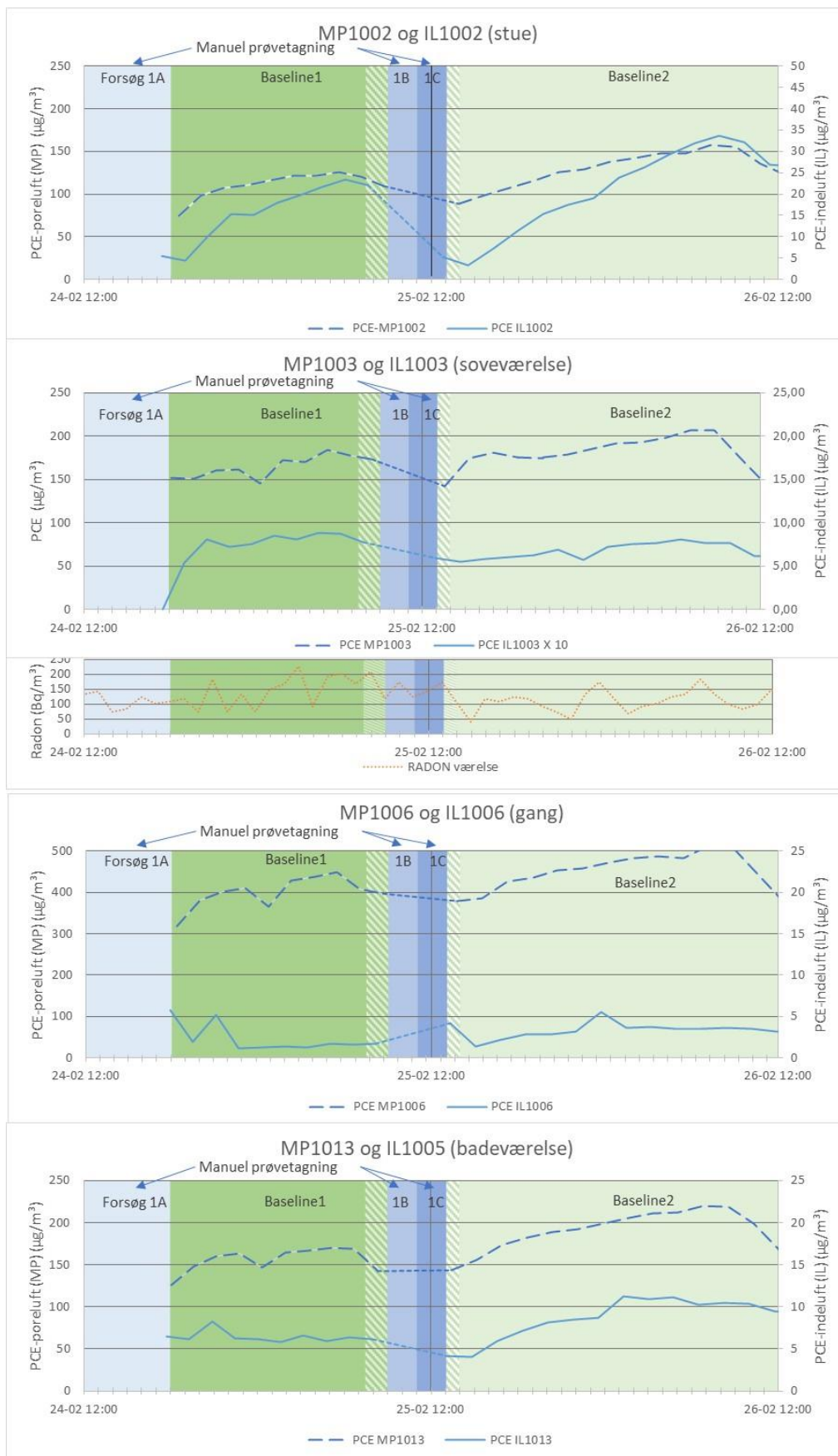
Baseline 1 målinger er automatiserede målinger, der er igangsat efter at den manuelle prøvetagning var afsluttet 1 forsøgsdag, og standset igen om formiddagen på dag 2, hvor der igen blev skiftet om til manuelle målinger. Et eksempel på resultatet af baselinemålinger er givet i Figur 4.3, hvor det er målinger af indeluften i stuen der er afbilledet.



Figur 4.3 Baseline målinger fra indeluft i stuen. I de blå områder foretages manuel prøvetagning jf. forsøgsplanen. De skraverede områder er perioder med baselinemålinger, men hvor personer fra COWI, Region Midtjylland og/eller andre personer tilknyttet forsøgene har opholdt sig i forsøgshuset.

Som det fremgår af Figur 4.3 så ses det, at der både efter forsøg 1A og efter forsøg 1C, er lave indeluftkoncentrationer på ca. 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dvs. ca. $\frac{1}{4}$ af den gennemsnitlige baggrundskoncentration i stuen på 19,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I løbet af baseline 1 hvor der ikke opholder sig personer i huset stiger koncentrationen, for derefter at falde på forsøgssdag 2 hvor der opholder sig personer i huset. De automatiserede målinger viser således at adfærdsmønstret i bygningen kan ændre indeluftkoncentrationen markant, specielt for PCE.

I Figur 4.4 er optegnet baselinemålinger for alle fire målepunkter i indeluften (Stuen IL1002, Soveværelset IL1003, Badeværelset IL1013 og gangen IL1006) og de tilhørende målepunkter under gulv. Figuren viser PCE koncentrationerne i alle 8 målepunkter. I det omfang det er muligt, er poreluftmålingerne afbildet på en skala fra 0-250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mens indeluftmålingerne er afbildet på en skala der er 10 gange lavere fra 0-25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. For soveværelset er ligeledes tilføjet regionens kontinuerte radonmålinger på timebasis.



Figur 4.4 Sammenligning af indeluft og poreluftmålinger ved baseline 1 målinger. For soveværelse endvidere resultater af radonlogninger. Betydning af baggrundsfarverne fremgår af Figur 4.3

Figur 4.4 viser, at den effekt der ses i stuen, ikke blot ses i indeluften, men også i poreluftkoncentrationerne under stuegulvet. Dette skyldes sandsynligvis at der er flere utætheder i gulvkonstruktionen i stuen, og at der derfor sker en udveksling mellem poreluften og indeluften hvor de indbyrdes påvirker hinanden.

Målingerne i soveværelset viser samme tendens, som i stuen, men påvirkningen er ikke så kraftig som i stuen. Dette kan skyldes, at døren til soveværelset er forsøgt, holdt lukket, mens målingerne blev udført. Radonmålingerne, der er udført i soveværelset, viser til en vis grad samme tendens som PCE i indeluften. I perioden mellem forsøg 1A og 1B stiger radonkoncentrationerne. Under forsøgene falder radonkoncentrationerne ikke, men efter forsøg 1C er radonkoncentrationerne faldet til ca. 2/3 af koncentrationen umiddelbart før forsøg 1B.

I både gangen og på badeværelset ses samme tendens for baseline 1, en stigning i koncentrationerne i poreluften, men der ses ikke en tilsvarende stigning i indeluften. Tendensen til at der ses lavere koncentrationer i indeluften efter forsøg 1B og 1C ses heller ikke. Dette kan skyldes, at indeluften i såvel gang som badeværelse bliver påvirket af højere koncentrationer fra luft i stuen og muligvis i soveværelset. I gangen ses desuden væsentlig højere koncentrationer i poreluften end for poreluften under de øvrige rum. Dette resulterer ikke i højere indeluftkoncentrationer i perioder med baselinemålinger (hvor dørene mellem rummene er lukket), hvilket indikerer, at gulvet i gangen er mindre utæt end i stue og soveværelse.

4.2.2 Baseline 2

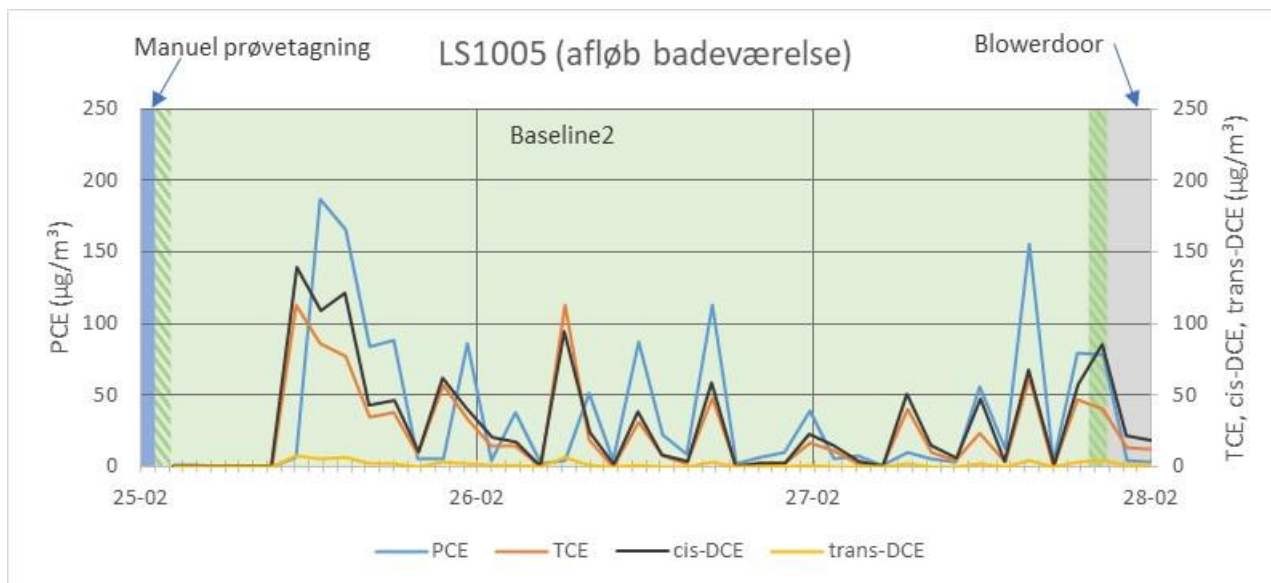
Baseline 2 målinger er automatiserede målinger, der er igangsat efter at den manuelle prøvetagning var afsluttet 2. forsøgsdag (25/2 2022), hvorefter baselinen har kørt weekenden over indtil forsøg med blowerdoor blev igangsat om mandagen på forsøgsdag 5 (28/2-2022).

Baseline 2 målingerne adskiller sig fra baseline 1 målingerne ved, at der ved måleperiodens start blev åbnet for et af prøvetagningspunkterne på afløbssystemet fra badeværelset. På prøvetagningsstudsens var påsat et stykke af den prøvetagningsslange som anvendes til VaporSafes udstyr og illuderer dermed en 2,5 mm sprække til afløbssystemet. Målingerne for baseline 2 er derfor gennemgået med udgangspunkt i de tre målepunkter på badeværelset IL1005 (indeluftmålinger), MP1013 (poreluftmålinger under gulv) og LS1005 (i afløbssystemet).

Luften i afløbssystemet Som det fremgår af Figur 4.5 så kan det ses, at luften i afløbssystemet adskiller sig fra de øvrige målepunkter ved, at koncentrationen af TCE og cis-DCE er mellem 50% og 66% af koncentrationen af PCE. Det kan samtidigt ses, at koncentrationerne varierer meget over tid, imellem meget høje koncentrationer og meget lave koncentrationer, og at det ud fra den forrige målte koncentration ikke er muligt at forudsige hvad koncentrationerne er ved den næste prøvetagning.

Som det fremgår af Figur 4.5 så kan det ses, at koncentrationerne i afløbet er meget lav de første 7-8 timer efter at der er åbnet for prøvetagningspunktet. Herefter stiger koncentrationerne kraftigt til ca. 175 µg PCE/m³ og ca. 135 µg

cis-DCE/m³ og ca. 100 µg TCE/m³. Koncentrationerne er forhøjede i en samlet periode på 7-10 timer, hvorefter variationerne i luftkoncentrationen fortsætter i et lavere niveau i den resterende del af baseline 2.



Figur 4.5 Automatiserede målinger i afløbet fra badeværelset under baseline 2. Datomarkeringen vises kl.12:00 den pågældende dag.

Indeluft på badeværelset

Under baseline 1 er der i indeluften i badeværelset og i de andre rum kun målt meget lave koncentrationer af cis-DCE.

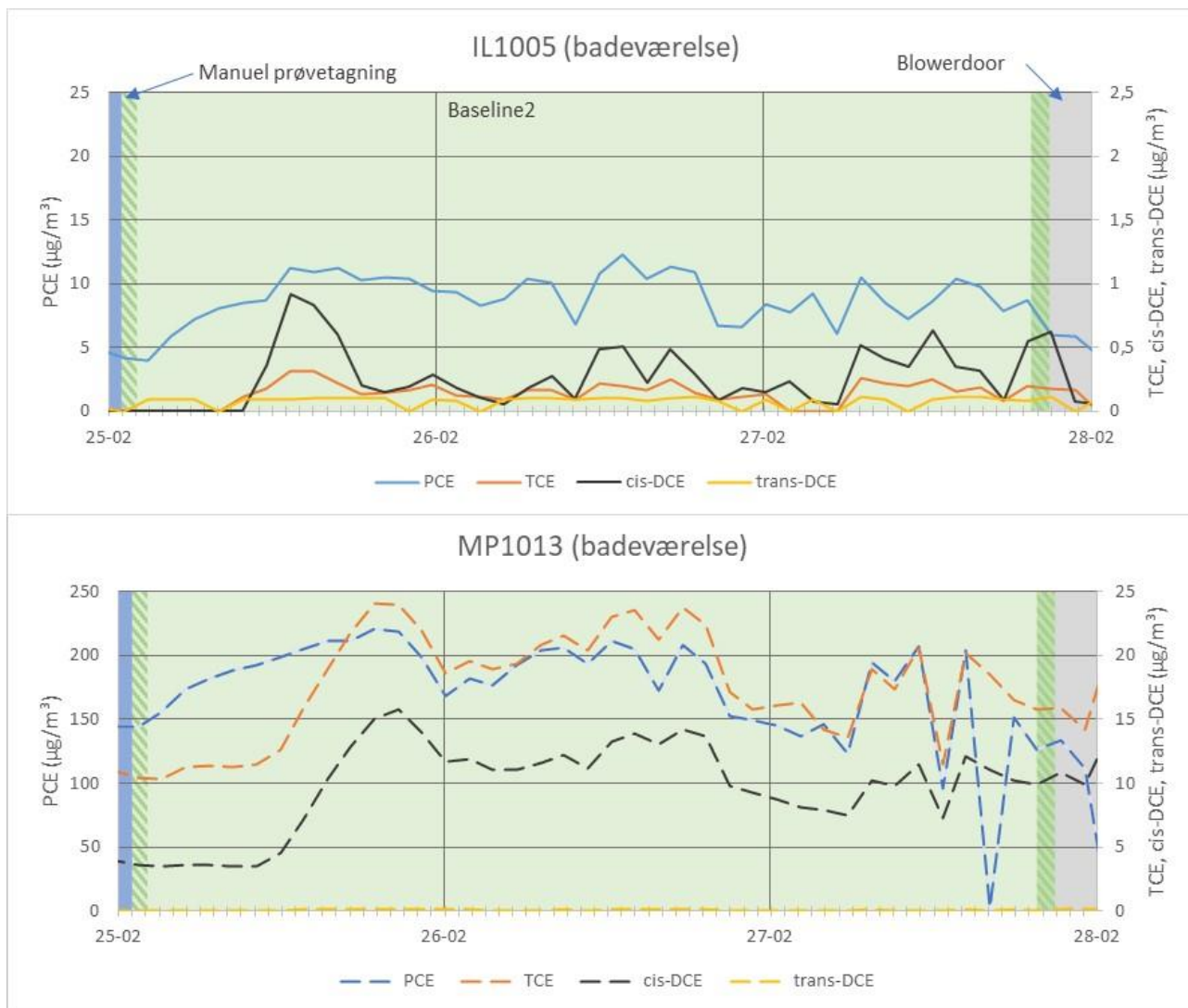
Som det fremgår af Figur 4.6 så er koncentrationerne af PCE stigende i døgnnet efter at forsøgshuset er forladt på forsøgssdag 2 fra ca. 4 til ca. 9 µg/m³. Der er sandsynligvis tale om samme effekt som beskrevet under baseline 1. Om morgenen på dag 3, ca. 12 timer efter at huset blev forladt og ca. 4 timer efter at koncentrationerne i afløbssystemet er begyndt at stige, ses der markante stigninger i indeluften: PCE stiger fra 9 til ca. 11,5 µg/m³, cis-DCE stiger fra 0 til ca. 0,8 µg/m³ og TCE stiger fra 0 til ca. 0,3 µg/m³. Som i afløbet ses en kort periode med høje koncentrationer og efter ca. 8 timer er koncentrationen faldet til et "stabil" niveau for PCE på 9-10 µg/m³ og cis-DCE på 2-3 µg/m³. Koncentrationerne er herefter varierende i den resterende del af baseline 2 men dog ikke så kraftige variationer som der konstateres i afløbet.

Poreluften under badeværelset

I poreluften under badeværelsesgulvet ses også en tidlig udvikling i luftkoncentrationerne. Koncentrationerne af PCE er jævnt stigende det første døgn efter at forsøgshuset er forladt fra ca. 140 µg/m³ til ca. 220 µg/m³. For cis-DCE og TCE ses stabile koncentrationer (knap 4 µg cis-DCE/m³ og ca. 11 µg TCE/m³) de første ca. 13 timer efter at forsøgshuset er forladt. Her efter ses en markant stigning i cis-DCE til 16 µg/m³ og i TCE til 24 µg/m³. Efter nogle timer falder poreluftskoncentrationen til et lavere stabilt niveau på ca. 170 µg PCE/m³, ca. 11 µg cis-DCE/m³ og ca. 19 µg TCE/m³, hvorefter koncentrationerne er varierende i den resterende del af baseline 2.

Der ses således en tilsyneladende påvirkning af både indeluft og poreluft, og da der er højere koncentrationer i poreluften end i indeluften må det vurderes at

der er tale om en direkte påvirkning af poreluften luften f.eks. gennem utætheder i afløbssystemet.



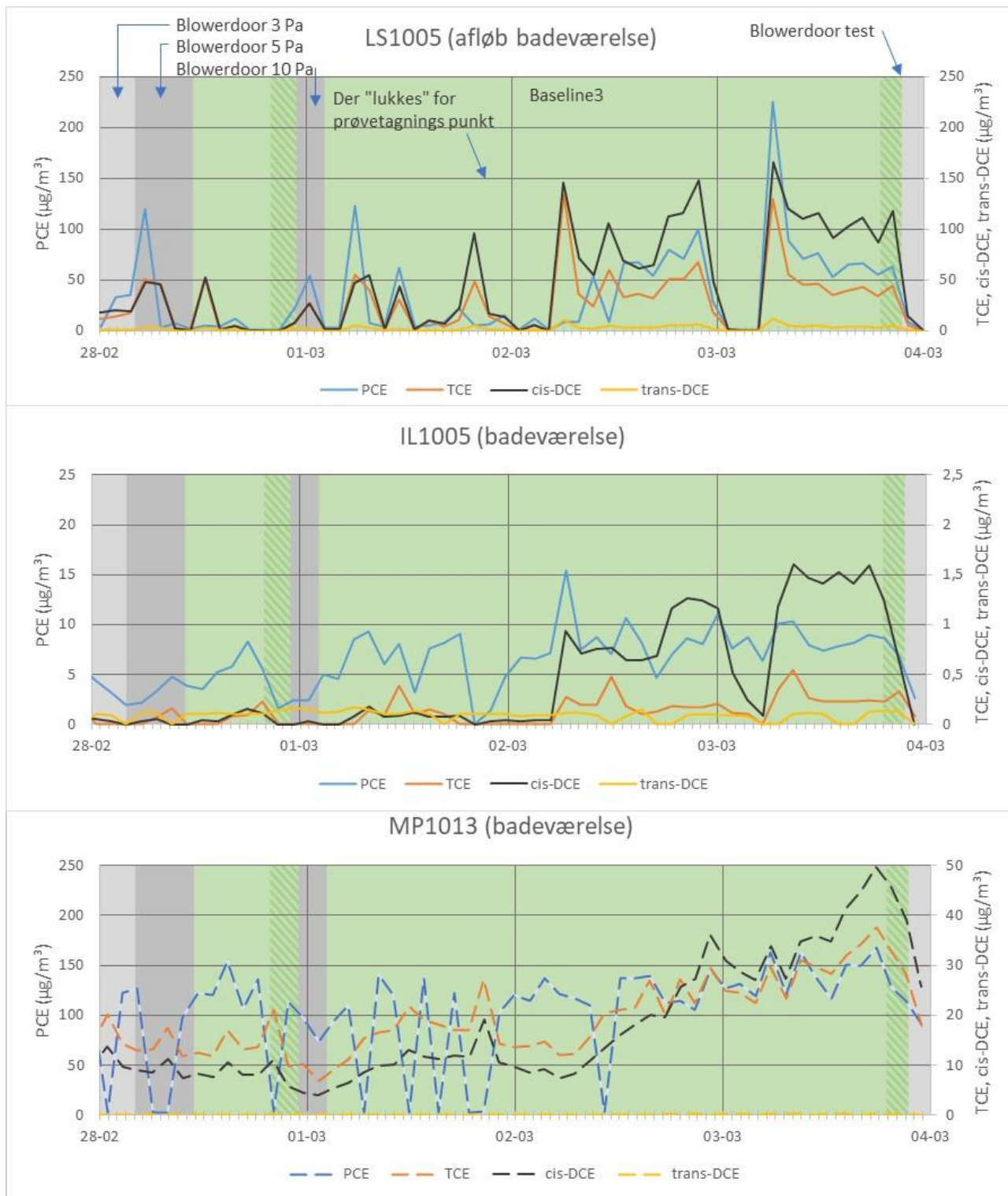
Figur 4.6 Automatiserede målinger af indeluften i badeværelsets (IL1005) og i poreluften under badeværelsesgulvet (MP1013) under baseline 2. Koncentrationsudvikling for indeluftmålinger fremgår med fuldt optrukne kurver, mens koncentrationsudvikling for poreluftmålinger fremgår med stiplede kurver. Datomarkeringen vises kl.12:00 den pågældende dag.

4.2.3 Baseline 3

Baseline 3 målinger er automatiserede målinger, der er udført i perioden efter det første forsøgsrække med blowerdoor var afsluttet på 6. forsøgsdag (1/3 2022) og frem til at forsøget med VaporSafes's udstyr blev stoppet den 4. marts 2022. Baseline 3 blev afsluttet med, at der blev udført en Blowerdoortest for at undersøge forsøgshusets "tæthed". Målingerne for baseline 3 er som for baseline 2 gennemgået med udgangspunkt i de tre målepunkter på badeværelset IL1005 (indeluft), MP1013 (poreluft under gulv) og LS1005 (luft i afløbssystemet). Resultatet af målingerne i de tre målepunkterne fremgår af Figur 4.7

Baseline 3 er planlagt gennemført med følgende forløb:

I starten af baseline 3 perioden, var det planlagt, at et af prøvetagningspunkterne på afløbssystemet fra badeværelset fortsat skulle være åbent, for at illustrere en 2,5 mm sprække til afløbssystemet. Cirka et døgn inde i baseline 3 skulle prøvetagningspunktet lukkes.



Figur 4.7 Automatiserede målinger i henholdsvis afløbet fra badeværelset i indeluft på badeværelset og i poreluft under gulv i badeværelset. Graferne dækker tidsperioden for blowerdoor målingerne og baseline 3. Koncentrationsudvikling for poreluftmålinger fremgår med stiplede kurver. Datomarkeringen vises

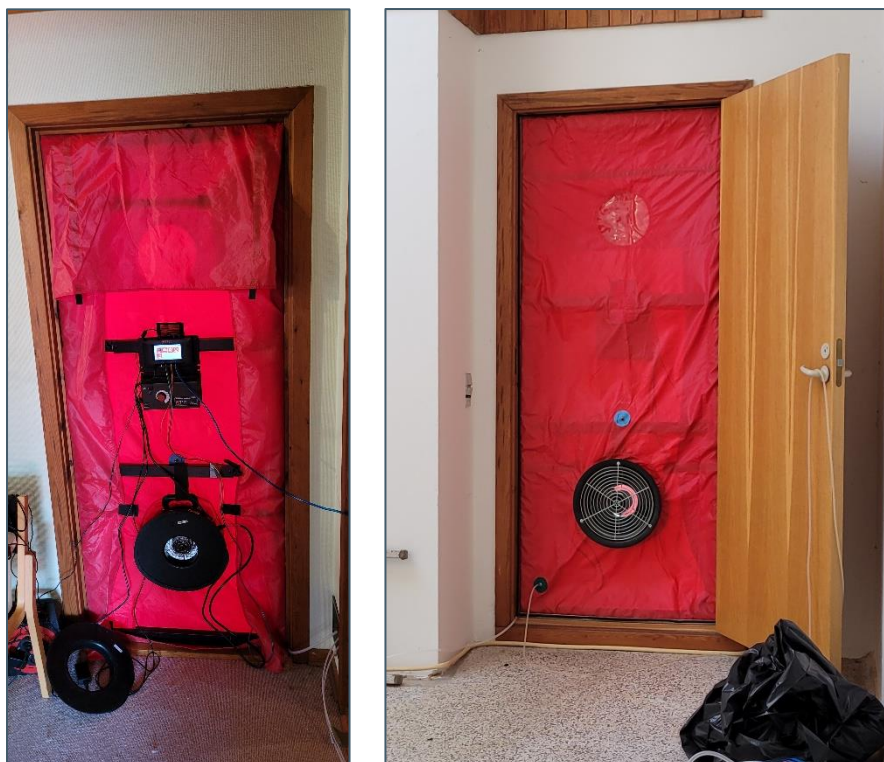
kl.12:00 den pågældende dag.

Målinger i afløbssystemet	Som det fremgår af Figur 4.7, så ligger målingerne under forløbet med blower-door og det første døgn herefter, på niveau med koncentrationerne under baseline 2 (se Figur 4.5) dvs. at koncentrationerne af fire klorerede kulbrinter typisk er lavere end 50 µg/m ³ og ligesom under baseline 2 er der en stor tidslig variation se Figur 4.5. Et døgn efter at blowerdoor forsøgene blev standset, svarende til det tidspunkt hvor det var planlagt at målepunktet skulle lukkes, stiger koncentrationen i afløbet til typisk at ligge mellem 50 og 100 µg/m ³ .
Målinger i poreluften under badeværelset	For målingerne i poreluften under badeværelset, ses en lignende udvikling i koncentrationerne. Indledningsvis ligger koncentrationerne på niveau med baseline 2 målingerne (se Figur 4.6), for efter den 2. marts at stige jævnt til slutningen af målingerne.
Indeluft målinger på badeværelset	Indeluftmålingerne i IL1005 har to forskellige mønstre repræsenteret ved udviklingen i koncentrationerne af henholdsvis PCE og cis-DCE. For begge stoffer er koncentrationen i indeluften på badeværelset tydelig påvirket af blowerdoor forsøget med meget lave koncentrationer til følge. <u>For PCE:</u> Koncentrationen af PCE i indeluften stiger hurtigt efter at blowerdooren er stoppet, både om natten mellem den 28. februar og den 1. marts og efter sidste blowerdoor forsøg. I starten af baseline 3 ligger koncentrationerne af PCE typisk mellem 4 og 9 µg/m³ som under baseline 1 og i slutningen af baseline 2 en smule højere (6-10 µg/m³) som under baseline 2. <u>For cis-DCE:</u> Koncentrationen af cis-DCE i indeluften er under blowerdoor forsøgene meget lave, og lavere end under baseline 2 hvor cis-DCE typisk ligger mellem 10 og 50 µg/m³. Det første døgn efter blowerdoor målingerne forbliver koncentrationerne af cis-DCE lave i indeluften. Om eftermiddagen den 2. marts stiger koncentrationerne i indeluften markant, og følger herefter samme mønster som koncentrationen i afløbssystemet blot en faktor ca. 100 lavere.
Anvendeligheden af VaporSafes udstyr	Med udgangspunkt i målingerne med VaporSafes måleudstyr kan der således ses, at der er to forskellige kilder/spredningsveje for henholdsvis PCE og cis-DCE, hvor spredningsvejen for cis-DCE er via afløbssystemet, mens PCE i højere grad vurderes at skyldes spredning fra poreluften og intern spredning i indeluften. Målingerne i indeluften indikerer ligeledes, at der er sket en fejl under forsøget, således at utætheden til afløbssystemet har været lukket i starten af Baseline 3 og muligvis under blowerdoor forsøgene, og er blevet åbnet – i stedet for lukket – cirka et døgn efter, at forsøgene med blowerdoor er ophørt. Baseline 3 målingerne er således et godt eksempel på styrken ved VaporSafes udstyr idet man ud fra mønsteret i koncentrationsudviklingen dels kan identificere to forskellige spredningsveje, og dels kan identificere at der er tale om fejl

ved det åbnede/lukkede målepunkt der skulle illudere afløbsinstallationen som spredningsvej til indeluften.

4.3 Blowerdoor – forcerede bidrag fra terrændæk og kloak

Til dette forsøg er blowerdooren anvendt til at forsøge at skabe undertryk i bygningen med forventningen og formålet at forcere et forureningsbidrag fra terrændæk og kloak, hvormed forventningen var at påvise et øget forureningsbidrag til indeluften.



Figur 4.8 Blowerdoor: Foto til venstre set fra gangen (indefra) og foto til højre set fra bryggers (udefra).

Hvordan er blowerdoor anvendt i forsøget?

Der er opsat en blowerdoor i døråbningen mellem bryggers og gangen i testhuset. For at ventilatoren fra blowerdooren kunne komme af med luften, er skydedør mellem bryggers og carporten åbnet, og døren til udeluften i carporten er ligeledes åbnet. Af Figur 4.9 ses den udvendige side af carporten med afgangsluft fra blowerdooren. Blowerdooren styres efter et fastsat tryk defineret ud fra forskellen mellem inde- og udeluften. Ved målingen af meget lave trykforskelle som dem der anvendes ved styring af blowerdooren, giver luftens bevægelse over målepunkterne anledning til varierende resultater og dermed usikkerheder ved målingen. For at få mere stabile målinger og afbøde effekten af særligt vindstød foretages udendørsmålingerne i en 'tryk-trykadsobent', der ses som en sort tønne i venstre side af fotoet i Figur 4.9. Absorbenten er indvendigt udstyret med en række lameller, hvormed de varierende trykpåvirkninger som vindstødene producerer, reduceres efterhånden som de forplanter sig gennem tønden, med det formål til sidst at ende som stabile trykforhold ved måleslangen. Hvis

ikke tønden/'tryk-absorbenten' blev anvendt, var det forventningen, at blowerdooren ville stoppe jævnlige på grund af de pludselige ændringer i trykforskellen mellem ude og inde, som vindpåvirkningen ville give.

Hvis 'tryk-absorbenten' ikke blev anvendt og trykstyringen alene skulle baseres på et f.eks. vindpåvirket tryk i udeluften (via slangen ført via bryggers, carport og derpå afsluttet direkte til udeluften), så vil blowerdooren i langt højere grad skulle korrigere herfor, med meget ustabil indvendig trykpåvirkning af bygningen til følge. Det vil derfor være vanskeligere at fastholde et "permanent" undertryk. 'Tryk-absorbenten' modvirker denne effekt, og muliggør derved fastholdelse af et mere permanent og stabilt undertryk, hvilket var udgangspunktet for de planlagte blowerdoor-forsøg.



Figur 4.9. Foto set fra udvendig side af carport og ind i bryggers, svarende til den primære udluftsvej for blowerdooren. Yderligere ses 'tryk-absorbent' som den sorte tønde i venstre del af fotoet.

Indmåling af ydelser

Indledningsvis er blowerdooren testet for at afklare hvilke trykintervaller forsøgene kunne gennemføres med, og til afklaring af, om det giver respons i de målepunkter der er etableret i gulvet i form af ændret trykdifference. Af Tabel 4.1 fremgår testdata i forbindelse med de indledningsvise blowerdoortest. Der er ud fra en target-værdi for undertryk ved blowerdooren, hhv. 3 Pa, 10 Pa og 15 Pa undertryk, registeret en afledt ventilationsydelse (l/s) og det resulterende differensstryk mellem poreluft og indeluft i de etablerede målpunkter gennem gulvkonstruktionen (MP10xx). De respektive målpunkters placering fremgår af Bilag A.

Tabel 4.1. Resultater ved test af blowerdoor.

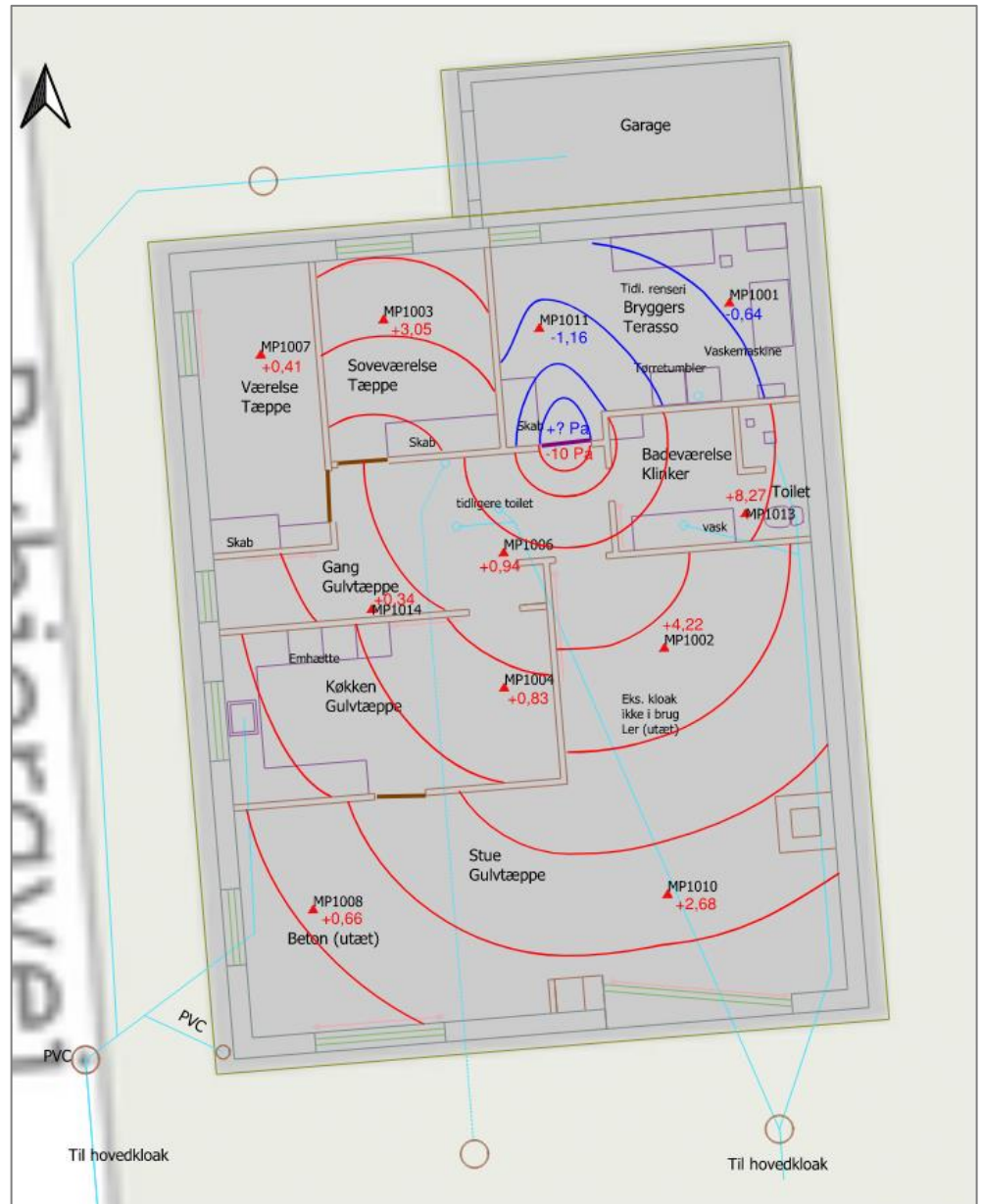
Undertryk blowerdoor	0 Pa	3 Pa	10 Pa	15 Pa
Ydelse blowerdoor	0 l/s	210 l/s	300 l/s	420 l/s
Trykdifference i målepunkter, Pa				
MP1008	0,0	0,3	0,5	0,65
MP1010	0,9	2,0	3,3	4,9
MP1002	0,4	1,6	4,4	6,8
MP1013	0,5	2,6	8,2	11,9
MP1006	0,1	0,2	0,8	1,2
MP1003	0,3	0,9	3,3	4,9
MP1007 (lukket/åben dør)	0,3/0,3	0,3/0,6	0,6/1,9	0,7/2,7
MP1014	0,1	0,2	0,3	0,5

I Figur 4.10 er der givet en illustration af COWIs opfattelse af hvorledes trykfordelingen i huset forplantes under de opsatte blowerdoor forsøg og heraf afledt indbyrdes flowforhold mellem de respektive ruminddelinger.

På baggrund af testen blev det besluttet at gennemføre blowerdoor testene med nedenstående ydelser, repræsenteret som hhv. lavt, mellem og højt niveau.

Der blev ikke konstateret væsentlige forskel i trykdifferencer i målepunkterne alt efter om ventilationsydelsen var 300 l/s (10 Pa) eller 420 l/s (15 Pa). Yderligere kunne det konstateres, at blowerdooren var meget tæt på maksimal ydelse for at kunne levere et undertryk på 15 Pa, hvilket tilsvarende fordrede en lavere ydelse ved gennemførelse af de planlagte langtidsventilationsforsøg. Med afsæt heri blev 'højt niveau' fastsat til 10 Pa undertryk.

- > A) Lavt niveau 3 Pa undertryk
- > B) Mellem niveau 5 Pa undertryk
- > C) Højt niveau 10 Pa undertryk



Figur 4.10 Principskitse for tryk-udbredelsen i indeluften under blowerdoor forsøgene. Luftstrømningen vil foregå vinkelret på isobarerne.

4.4 Forsøg 2 – bidrag fra terrændæk og afløb i bad/toilet

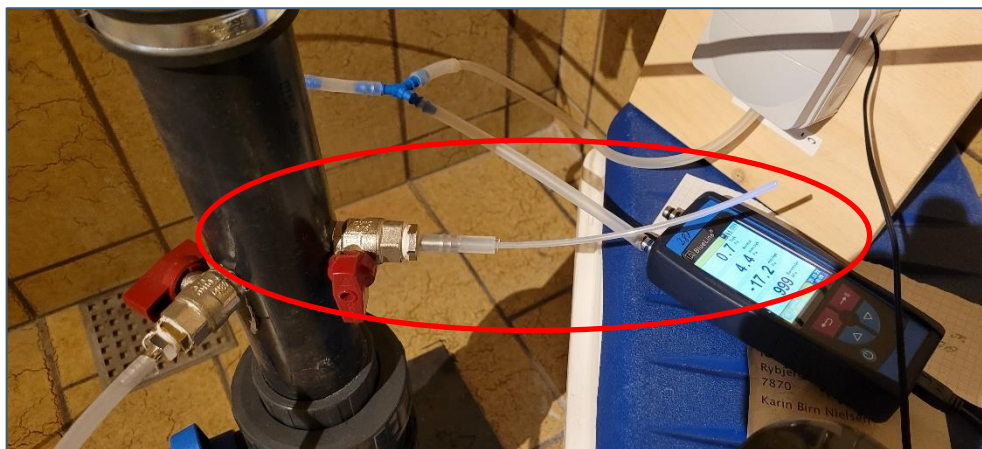
Formål

Formålet med forsøget var at eftervise et forventet øget mobiliseret bidrag fra hhv. terrændæk og afløbssystemet fra bad/toilettet, ved at etablere en opadrettet varieret trykgradient hen over gulvkonstruktionen, hvilket i forsøget dokumenteres med automatiserede målinger i forbindelse med poreluft, indeluft og trykdifferensmålinger i forbindelse med gulvkonstruktionen. Forsøget er gennemført i projektperiodens døgn 5 og 6.

Forsøgs opsætning

Forsøg 2 er gennemført med åben kugleventil i gulvafløb fra badeværelset/toilettet så forsøget kunne illustrere at der er bidrag fra gulvafløbet i bad/toilet. For

at bidraget ikke skulle blive for stort fra kloakken, blev der monteret en prøvetagningslange på kugleventilen med en indre diameter på 2,5 mm, se Figur 4.11. Forsøget illustrerer hermed en mindre utæthed til afløbssystemet.



Figur 4.11. Forsøgsopsætning til illustrering af mindre utæthed i afløbssystemet. Prøvetagningslangen er markeret med rød ring – i en lukket situation, svarende til at der ikke er forureningsbidrag fra afløbssystemet.

Forsøget er gennemført med et undertryk på henholdsvis 3 Pa (forsøg 2A) og 5 Pa (forsøg 2B) om eftermiddagen/aftenen på forsøgsgdag 5, og 10 Pa (forsøg 2C) om formiddagen på forsøgsgdag 6. Imellem måleperioderne på dag 5 og 6, blev der gennemført baseline-målinger (uden at blowerdooren var tændt).

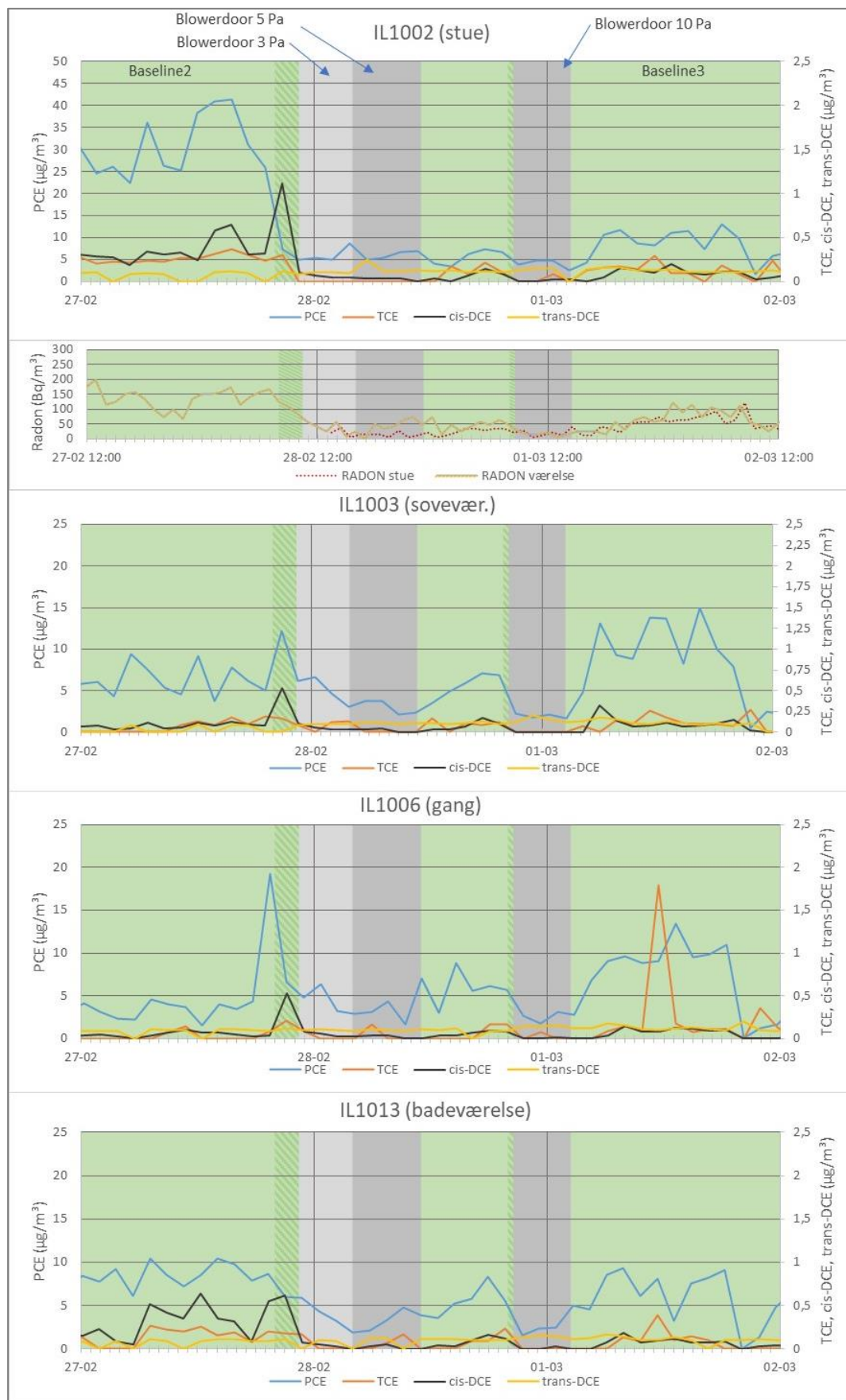
4.4.1 Resultater fra forsøg 2

Målinger under forsøg 2 er en fortsættelse af de automatiserede målinger fra baseline 2. Ved forsøg 2's afslutning fortsættes de automatiserede målinger i baseline 3. Forsøg 2 er udført i perioden fra om formiddagen den 28. februar (forsøgsgdag 5) og frem til om eftermiddagen den 1. marts 2022 (forsøgsgdag 6). Forsøget var opdelt i tre dele. I første del blev der med blowerdooren skabt et undertryk på 3 Pa. Forsøget startede den 28/2 kl. 10.30 og afsluttedes kl. 16, hvor del 2 af forsøget startede ved at undertrykket blev øget til 5 Pa. Anden del af forsøget blev sluttet kl. 23.00 hvor blowerdooren blev slukket. Der blev herefter lavet baselinemålinger hen over natten, indtil tredje del af forsøget kunne startes den 1. marts. kl. 8:30. Ved tredje del af forsøget, blev der med blowerdooren skabt et undertryk på 10 Pa. Dette undertryk havde blowerdooren svært ved at opretholde. Forsøget blev standset kl. 14:30.

Resultat af målingerne er illustreret i Figur 4.12 for alle fire indeluftmålepunkter. Desuden er illustreret de automatiserede timebaserede radonkoncentrationer målt med regionens radonmålere i både stue og værelse.

Som det ses af Figur 4.12 så adskiller indeluftmålingerne i stuen sig fra indeluftmålingerne i soveværelse, i badeværelse og i gangen. I de tre sidstnævnte ses det, at koncentrationerne i indeluften stiger forholdsvis hurtigt efter at blower-

dooren er stoppet. I både soveværelse, badeværelse og gangen ses det, at koncentrationerne er stigende om natten mellem den 28/2 og 1/3 i tidsrummet mellem at blowerdoorforsøget med 5 Pa og 10 Pa. Det ses ligeledes at koncentrationerne i de tre målepunkter stiger hurtigt efter at blowerdoorforsøget med 10 Pa er standset. I modsætning hertil ses det i stuen at koncentrationsniveauet fra baseline 2 falder drastisk under blowerdoorforsøgene, og der ses kun en svag stigning ved baselinemålingerne imellem forsøget med 5 Pa og 10 Pa ligesom koncentrationerne kun stiger svagt under det første døgn af Baseline 3.



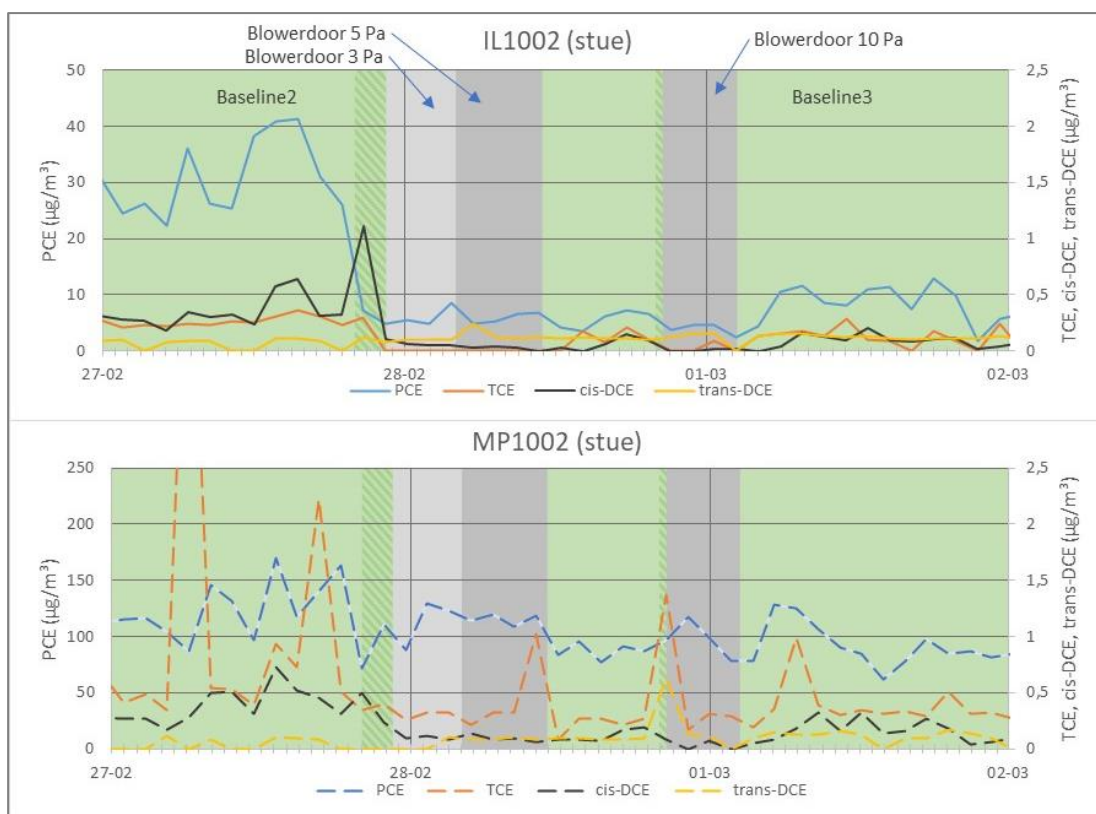
Figur 4.12 Automatiserede målinger i alle fire indeluft målepunkter. Graferne dækker tidsperioden for blowerdoor målingerne. Datomarkeringen vises kl.12:00 den pågældende dag.

Anvendeligheden af VaporSafes Udstyr

Udover at kunne påvise forskelle i koncentrationsudviklingen rummene imellem, så kan VaporSafes udstyr anvendes til vurderinger af dynamikken omkring luftindtrængningen i bygningen og til at opstille en hypotese for hvorfor der opstår disse forskelle mellem stuen og de øvrige rum.

For at illustrere dette, er der i det følgende foretaget en gennemgang og analyse af resultaterne af de målte koncentrationer i stuen (IL1002) og i poreluften under stuegulvet (MP1002) sammenholdt med de tilsvarende målinger i soveværelset (IL1003) og i poreluften under værelsesgulvet (MP1003). Resultaterne af GC-målingerne for poreluften og indeluften i stuen fremgår af Figur 4.13 og tilsvarende målinger for soveværelset fremgår af Figur 4.14.

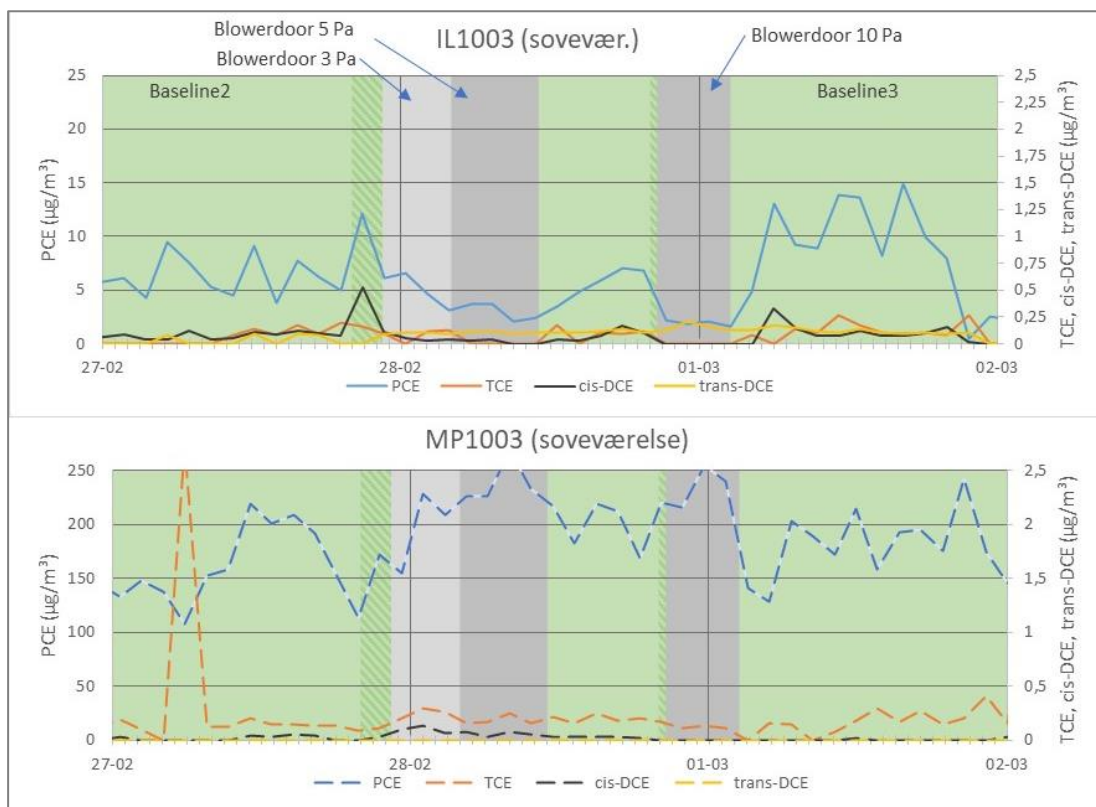
Det var forventet, at indeluftkoncentrationen ville stige under udførelsen af blowerdoor forsøgene, idet en større opadrettet trykgradient over gulvet forventet ville give en større indsivning af poreluft. I stedet ses der faldende koncentrationer som skyldes, at indtrængning af ren udeluft gennem klimaskærmen overskygger den øgede forureningsflux over gulvet. Som det fremgår af Figur 4.13 ses der tilsvarende et koncentrationsfald i poreluftkoncentrationen under stuegulvet. Det ses samtidigt, at koncentrationerne forbliver lave i det første døgn efter at forsøgene er standset. COWI tolker udviklingen i koncentrationsniveau i poreluften, som et muligt tegn på at forureningspåvirkningen er diffusionsbegrænset. Blowerdooren virker som et masseflowforsøg, der bl.a. giver en øget poreluftindtrængning, og dermed en øget ventilation af poreluften under gulv.



Figur 4.13

Automatiserede målinger i indeluft i stuen og i poreluft under gulv i stuen. Graferne dækker tidsperioden omkring og under blowerdoor forsøgene. Koncentrationsudvikling for indeluftmålinger fremgår med fuldt optrukne kurver, mens koncentrationsudvikling for poreluftmålinger fremgår med stiplede kurver.

I målepunkterne i soveværelset ses en noget anderledes koncentrationsudvikling. Koncentrationerne i indeluften falder under blowerdoor forsøget, sandsynligvis af samme årsag som for stuen, men poreluftkoncentrationerne stiger som det ses i Figur 4.14. Dette kan formentlig skyldes, at kraftigere forurenede poreluft mobiliseres enten fra dybereliggende jordlag eller horisontalt under gulvkonstruktionen.



Figur 4.14

Automatiserede målinger i indeluft i soveværelse og i poreluft under gulv i værelset. Graferne dækker tidsperioden omkring og under blowerdoor forsøgene. Koncentrationsudvikling for indeluftmålinger fremgår med fuldt optrukne kurver, mens koncentrationsudvikling for poreluftmålinger fremgår med stiplede kurver.

Eksemplet med målingerne i henholdsvis soveværelse og stue viser, at VaporSafes automatiserede målinger kan være med til at give informationer om udviklingen i indeluft og poreluft, der kan understøtte en konceptuel forståelse for forureningens spredning i jorden, indsivning til og spredning i bygningen, som ikke ville kunne opnås med traditionelle ORSA-rørs og kulrørs målinger.

I nærværende analyse har der ikke været inddraget resultaterne af automatiserede målinger med andre sensorer (trykdifferens, radon og vejrdato). Det er COWIs vurdering at resultaterne fra disse målinger vil kunne underbygge den konceptuelle forståelse og de udførte vurderinger yderligere. Inddragelse af disse data ligger dog uden for nærværende projekt. I Bilag F er der kort behandlet øvrige automatiserede måleinstrumenter, der var installeret i forsøgshuset samtidigt med at nærværende projekt blev gennemført.

4.5 Sammenfatning automatiserede målinger

Resultaterne af de automatiserede GC-målinger viste, at koncentrationerne i indeluften i alle rum under blowerdoor forsøgene var så lave, at det ikke var muligt at identificere de enkelte spredningsvejes karakteristika. GC-målingerne indikerer desuden, at forsøgene med høj ydelse på blowerdooren tilsyneladende bragte uligevægt i indsivningen af poreluft, særligt i relation til stuen. Det blev derfor besluttet at standse yderligere forsøg med blowerdooren, hvorfor de planlagte forsøg 3 og 4 jf. den oprindelige forsøgsplan i Bilag C ikke blev gennemført. I stedet blev der udelukkende kørt baseline-målinger (automatiserede målinger med blowerdooren slukket) i den resterende del af undersøgelsesperioden, for at se om og i givet fald konstatere hvornår de oprindelige forhold igen var opnået.

Det gennemførte forsøg med VaporSafes udstyr har vist at det ud fra udviklingen i luftkoncentrationerne er muligt at:

- > Identificere forskellige kilder/spredningsveje. Konkret har det været muligt under baselinemålingerne at se to forskellige kilder/spredningsveje for henholdsvis PCE og cis-DCE, hvor spredningsvejen for cis-DCE er via afløbssystemet, mens PCE i højere grad vurderes at skyldes spredning fra poreluften og intern spredning i indeluften.
- > Konstatere pludselige ændringer i forureningens spredningsmønster, i projektet eksemplificeret ved, at det kunne konstateres, at målepunktet på gulvafløbet i badeværelset blev åbnet og ikke lukket et døgn efter blowerdoor forsøgene var standset.
- > Vise dynamik i spredningsmønsteret. I projektet er dette konkretiseret ved at udviklingen i poreluftkoncentrationerne som følge af blowerdoor forsøgene viste en sandsynlig diffusionsbegrænset poreluftkoncentration under stuegulvet, mens der ikke sås samme tendens i poreluften under soveværelset.

5 Læring

Der skal ikke være nogen tvivl om, at hyppige datasæt kan være utrolig stærke redskaber til at klarlægge årsager, sammenhænge og konsekvenser i forbindelse med undersøgelser af jord- og grundvandsforurenede lokaliteter. Når datasættet så kan kobles direkte op på koncentrationsmålinger af klorerede kulbrinter som et resultat af en forureningspåvirkning af indeluften i en beboelse, så bliver det et særdeles stærkt redskab i relation til indeluft-sager.

Forcen i det afprøvede udstyr er, at det kan benyttes til at klarlægge:

- > Om der er overskridelser af afdampningskriteriet i indeluften (konkret afprøvet i forhold til de klorerede opløsningsmidler PCE, TCE, trans-1,2 DCE og cis-1,2 DCE).
- > Om en påvist overskridelse i indeluften skyldes en intern kilde eller en generel påvirkning af indeluften fra f.eks. poreluften.
- > Hvis der er en intern kilde til stede, hvad er kilden og hvor er den (er ikke afprøvet i det konkrete projekt)?
- > Hvis der optræder forureningspåvirkning af indeluften, hvilke spredningsveje er så aktive?
- > Hvornår sker påvirkningen, f.eks. specifikke perioder, og i hvor lang tid – er der mønstre i det?
- > Hvilken effekt har det at etablere afværgetiltag?
- > Og virkede afværgetiltagene så tilstrækkeligt?

Forudsætninger

Da de automatiserede målinger i dette setup er ret bekostelige, er det vigtigt at forudsætninger for det planlagte måleprogram er opfyldt. I dette projekt var det en vigtig forudsætning, at blowerdoor kunne anvendes i testhuset. Testhuset er dog så utæt, at blowerdoor programmet ikke kunne gennemføres som planlagt, idet indeluftkoncentrationerne ikke som forventet steg med stigende undertryk i huset, men derimod faldt på grund af stor fortynding med ren udeluft. I bagklogskabens klare lys, burde der have været gennemført en forudgående tæthedstest med blowerdoor inden måleprogrammet blev igangsat.

I andre projekter kan der være andre forudsætninger der er vitale for gennemførelse af et automatiseret måleprogram, det er derfor vigtigt at gennemtænke og eftervise de vigtige forudsætninger inden et automatiseret måleprogram planlægges.

Hensyn til beboere og andre brugere

I dette konkrete projekt har det været muligt, uden særlig hensyntagen til en grundejer/beboer, at afprøve udstyret med afsæt i en teknisk tilgang, der ikke

har skulle tilpasset en beboers daglige brug af ejendommen. Ved en konkret undersøgelse og gennemførelse af automatiserede måleserier i en beboelse, vil der skulle være særligt fokus på at få opsat udstyret, herunder praktiske forhold med at få trukket/ført relevante måleslanger, så beboelsen fortsat vil kunne være tilgængelig og anvendelig. Lukkede og åbnede døre/vinduer skal håndteres, såfremt disse anvendes som føringsveje for slangerne. Et andet relevant parameter er støj fra GC'en. Den konstante drift af GC'en er hørbar og er sammenlignelig med blæserstøj fra en computer. Når luftprøven opsamles og injiceres i GC'en, er der yderligere et "mekanisk" øget lydniveau, som ikke er forenelig med et opholdsrum i en beboelse. Det kunne således overvejes i den "rigtige" undersøgelsessituation at opstille GC mm. i en udvendigt opstillet opvarmet skurvogn eller lignende og derfra trække måleslanger til indvendige relevante målepunkter. Alternativet hertil kunne være at udføre målinger i en periode, hvor beboerne ikke er hjemme.

Opsætning og drift af udstyret

Ved selve opsætning og opstart af udstyret på en lokalitet, anbefales det at VaporSafe leverer en operatør hertil. Operatøren kan herved introducere til anvendelsen af udstyret, hvorpå det efterfølgende vil være muligt for f.eks. en undersøgelsesansvarlig at "drive" udstyret. Den undersøgelsesansvarlige vil efterfølgende kunne afmontere, nedpakke og returnere udstyret. COWI vurderer at det som udgangspunkt vil være passende med én VaporSafe operatør som assisteres af en undersøgelsesansvarlig i forbindelse med den konkrete strategi for undersøgelse, udvælgelse af relevante målepunkter mm.

Klarlægning af fokusområder og afledte spredningsveje

Forud for projektets gennemførelse var det en tese, at den samlede tidshorisont for en gennemført indeluftundersøgelse forventeligt vil kunne nedbringes ved, at der indledningsvist gennemføres en automatiseret baseline målesekvens i alle rum i bygningen der undersøges. Dette vil forventeligt kunne afsløre hvilke rum, med højeste indeluftbidrag, der er relevante at fokusere på med henblik på at indsnævre fokusområdet for opsporing af spredningsveje. Konkret for Testhuset var kendskabet til forureningspåvirkningen på forhånd så velkendt, at den omtalte tilgang ikke til fulde blev bragt i spil, i det det allerede var kendt, at særligt den sydligste del af ejendommen er hårdest belastet af et poreluftbidrag via terrændæk, som i kombination med spredning via kloakken i køkken og badeværelse, giver anledning til, at indeluften i storset alle testhusets rum er belastet væsentligt over ADK. Den konkrete afprøvning af udstyret ved enkeltprøve prøvetagning (manuel prøvetagning), kunne dog i løbet af ganske kort tid (10 minutter) afklare, om en potentiel spredningsvej var relevant eller ej, hvorfor metoden vurderes at være særlig relevant hertil.

Skift mellem automatiseret og enkeltprøve prøvetagning

Skiftet mellem automatiseret prøvetagning og enkeltprøve prøvetagning (manuel prøvetagning / discrete mode) er rent praktisk en forholdsvis enkel manøvre, som kræver én mindre svensknøgle og lidt fingersnilde i forbindelse med montering af manifolden. Skiftet i softwaredelen, og særligt opsætningen af prøvetagningssekvensen (step-filerne, herunder upload til styringsenheden), er væsentligt mere kompliceret og vurderes ikke at kunne gennemføres uden indgående kendskab til systemet. Til dette må der forventes assistance fra VaporSafe,

evt. via online opkoblet support. Såfremt online support er tilgængelige, så vurderes det blot at være en praktikalitet at gennemføre skift mellem enkeltprøve prøvetagning og automatiseret prøvetagning, herunder ændringer i prøvetagningssekvenser.

Rensning af glassprøjter

Enkeltprøver udtages med en 200 ml glassprøjte. VaporSafe har ved det konkrete projekt anvendt to ens glassprøjter, som på gentagende vis er anvendt efter hinanden i forbindelse med udtagelse af de manuelle prøver. Når en glassprøjte har været anvendt, blev denne adskilt og lagt til "afstripping" oven på GC'ens låg med rist til afledning af varme. Det er VaporSafes erfaring, at denne metode er tilstrækkelig til at sikre, at der ikke sker afsmitning til de næste prøver. COWIs erfaringer fra Probing.dk er sammenfaldende med VaporSafes. Ved Probing.dk blev der tilsvarende foretaget analyser på en GC af enkeltmålinger udtaget med glassprøjte, og rengøringsproceduren var sammenlignelig med den af VaporSafe gennemførte. I situationer hvor udstyret anvendes på forureninger hvor glassprøjterne kræver en bedre rensning, kan der f.eks. anvendes flere glassprøjter så sprøjterne får en længere opholdstid ved ovnen. Tilsvarende kan det vælges at lægge sprøjterne til rensning i en miniovn, så der kan opnås en højere temperatur.

Afvigelser på standard

Et udestående punkt, som ikke blev afklaret ved afprøvning af udstyret, var at gennemføre en større serie af duplikater for analyse af klorerede opløsningsmidler via en "standard"-prøve, for herved at afklare hvilken størrelsesorden der kan forventes afvigelser i ved den enkelte prøve kørsel. En oplagt test ville have været at gennemføre f.eks. 10 på hinanden følgende prøve kørsler af standardgassen som derpå kunne sammenlignes. Forud for levering af GC'en, var denne kalibreret af VaporSafe inden afrejse fra Belgien. Kalibreringen foretages med en standardgas med relevante komponenter. På den konkrete sag medbragte VaporSafe en tedlar-pose med standardgas, frem for at skulle transportere en trykflaske til Danmark. Prøve af standardgassen blev indledningsvist analyseret efter opstilling af GC'en til sikring af, at transporten ikke havde givet anledning til ændringer i kalibreringen. VaporSafe oplyste, at det normal vis ikke er nødvendigt at foretage yderligere kalibrering under kortere driftsperioder (få uger) idet både PID og DELCD-detektoren er meget stabil. I tilfælde af flere måneders automatiseret drift, bør det dog kontrolleres at der ikke ses forskydning af standardkurven og deraf dataprojektionen.

Dynamisk undersøgelsesstrategi

Undersøgelsestilgangen med VaporSafe udstyret kan have karakter af en dynamisk undersøgelsestilgang, med både de fordele og ulemper der følger med det.

Kombinationen af manuelle og automatiserede GC-målinger muliggør, at man på relativ kort tid kan afklare betydende spredningsveje og mønstre i påvirkning af indeluften i ejendommen og at man dermed kan fokusere sin undersøgelse/afværge afledt af disse observationer. Det er dog nødvendigt at følge de genererede data meget tæt, særligt i de situationer hvor der opstår uventede resultater.

Det kan være vanskeligt både at bevare overblikket ved de igangværende praktiske arbejdsopgaver ved undersøgelsens gennemførelse, og samtidig have fuldt overblik og de data som løbende tikker ind. Det er særligt svært at uddrage det eller de mest betydende forhold, som kunne give anledning til en ændret undersøgelsestilgang. I flere tilfælde vil man kunne forvente, at betydningen af enkelt detaljer først er mulige at klarlægge/observere i en efterfølgende iteration af databehandlingen hvor man ikke længere er på lokaliteten. Dette vanskeliggør muligheden for at man kan "nå" at agere herpå i den dynamiske undersøgelsestilgang.

I projektet er dette illustreret ved beslutningen af, om det gav mening at fortsætte med blowerdoor forsøgene, om forsøgene skulle ændres eller om de helt skulle indstilles. Målingerne af indeluftkoncentrationerne viste, at den øgede indsivning af udeluft til bygningen var væsentlig større end den øgede poreluftindsivning, og at blowerdoor forsøgene ikke var anvendelige i forhold til at observere forskellige spredningsveje for forureningen. Målingerne af indeluft i stuen og i poreluften under stuegulvet indikerede desuden, at blowerdoor forsøgene havde bragt "systemet ud af balance". Det blev på den baggrund besluttet at standse forsøgene. Efterfølgende databehandling af baselinemålingerne viste dog, at det var muligt at identificere forskellige spredningsveje, også selvom systemet i stuen var ude af ligevægt.

Det anbefales derfor, at der indlægges ekstra tid i måleprogrammet, så det er muligt at ændre strategien og evt. forlænge de automatiserede målinger, hvis de første målinger måtte give "overraskende" resultater.

Tidsserier

Den grafiske afbildning af data i dashboard giver en hurtig og overskuelig løbende tilgang til data, særligt med funktionen for 'Time Series Stacked'. Et væsentligt punkt er dog med hvilken opløsning data gengives, idet data som udgangspunkt gengives med en Y-akse defineret ud for de minimum og maksimum værdier der er registreret i den pågældende tidsperiode. Dette betyder, at "mønstre" kan blive "trykket flade" i tilfælde med længere tidsserier og store varianser i data, hvormed datapræsentation gengives mindre velopløst og nuancer derved går tabt.

Dataeksport fra dashboard

Hvis data fra dashboard eksporteres som f.eks. en Excel-fil, så er det værd at bemærke, at der for ét udtræk maksimalt kan eksporteres 10.000 rækker med data. Begrænsningen heri er et resultat af tidligere (ældre) versioner af Excel (med filekstension .xls), hvor 10.000 rækker var et maksimalt muligt antal der kunne håndteres. Konkret har det for dette projekt betydet, at der måtte eksporteres data af to omgange, svarende til første del af måleperioden og dernæst den resterende del af måleperioden. De to datasæt er herefter kombineret i en Excel-fil-version der kan håndtere mere end 10.000 rækker ad gangen (svarende til filekstension .xlsx). Data for dette projekt fylder samlet 15.110 rækker. Data er vedlagt som excel-fil i Bilag E.

Normalsituation for undersøgelse

Når der implementeres tiltag til at afklare en mulig effekt i forhold til forureningsbidraget til indeluften, så er det et væsentligt opmærksomhedspunkt, at der kan gå "lang" tid inden, at ejendommen er "tilbage" i normalsituation. Konkret blev konsekvensen af den anvendte blowerdoor på testlokaliteten, at de efterfølgende varianter af forsøget ikke var relevante at gennemføre, idet husets "normal" situation for påvirkning af indeluften i specielt stuen tidsmæssigt ikke var genetableret. De automatiserede målinger gav derfor grundlag for at korrigere den planlagte undersøgelsestilgang, hvorpå der i stedet efterfølgende blev gennemført "baseline"-målinger til dokumentation af forureningens påvirkning af indeluften i ejendommen.

Anvendelse af udstyret i udviklingsprojekter

Som nævnt giver automatiserede målinger mulighed for måleserier, der ellers ikke kan opnås med traditionel prøvetagning. Dette gør udstyret yderst anvendeligt i forbindelse med udviklingsprojekter, hvor man skal undersøge/dokumentere hypoteser omkring dynamiske forhold i såvel poreluft som f.eks. indeluft, hulmurer produktionsanlæg, afværgeanlæg m.v.

Den lille luftmængde (25 ml) der skal anvendes til analyse er et andet forhold der kan gøre udstyret anvendeligt i forhold til udviklingsprojekter, hvor ønsket er at forstyrre de eksisterende forhold så lidt som muligt ved undersøgelserne.

Den tredje fordel som udstyret har i forhold til udviklingsprojekter, er muligheden for at se resultatet af analysen umiddelbart efter (10 minutter efter) at prøven er udtaget, hvilket giver mulighed for at ændre på forsøgssetup, gentage prøvetagningen m.v.

Som beskrevet under kapitlet om dynamiske undersøgelser, så kræver det dog en høj grad af fokusering fra projektledere og projektdeltagere for at få det optimale udbytte af udstyret.

Økonomi

Økonomien i leje og brug af udstyret er en ikke uvæsentlig post. På dagsleje basis kan udstyret synes dyrt, men omvendt åbner det tilsvarende op for et utrolig hurtigt overblik og afklaring af en forureningspåvirkning i indeluften. Flere gentagende målerunder med traditionelle gennemsnitsbetragtninger, vil ikke give samme overblik over konsekvensen af de meget dynamiske forhold, som den afledte rikovurdering for indeluften er et resultat af. Til en fremtidig anvendelse af udstyret i undersøgelsesfasen, kunne der f.eks. puljes en række relevante sager, hvorpå disse blev gennemført direkte efter hinanden, for så til sidst at returnere udstyret. Herved forventes det at være muligt, med en lidt længere tidshorisont, at spare ressourcer for den samlede undersøgelse og videre afklaring, ift. til den mere traditionelle tilgang med flere samhørende målerunder over flere år. Herved vurderes det, at det vil være muligt at afklare og prioritere den enkelte lokalitet inden for en væsentlig kortere tidsperiode.

Andre måleinstrumenter

I kapitel 1.5 er der identificeret måleudstyr, som COWI bekendt forud for projektets gennemførelse, ikke er afprøvet i Danmark. Til dette projekt blev der

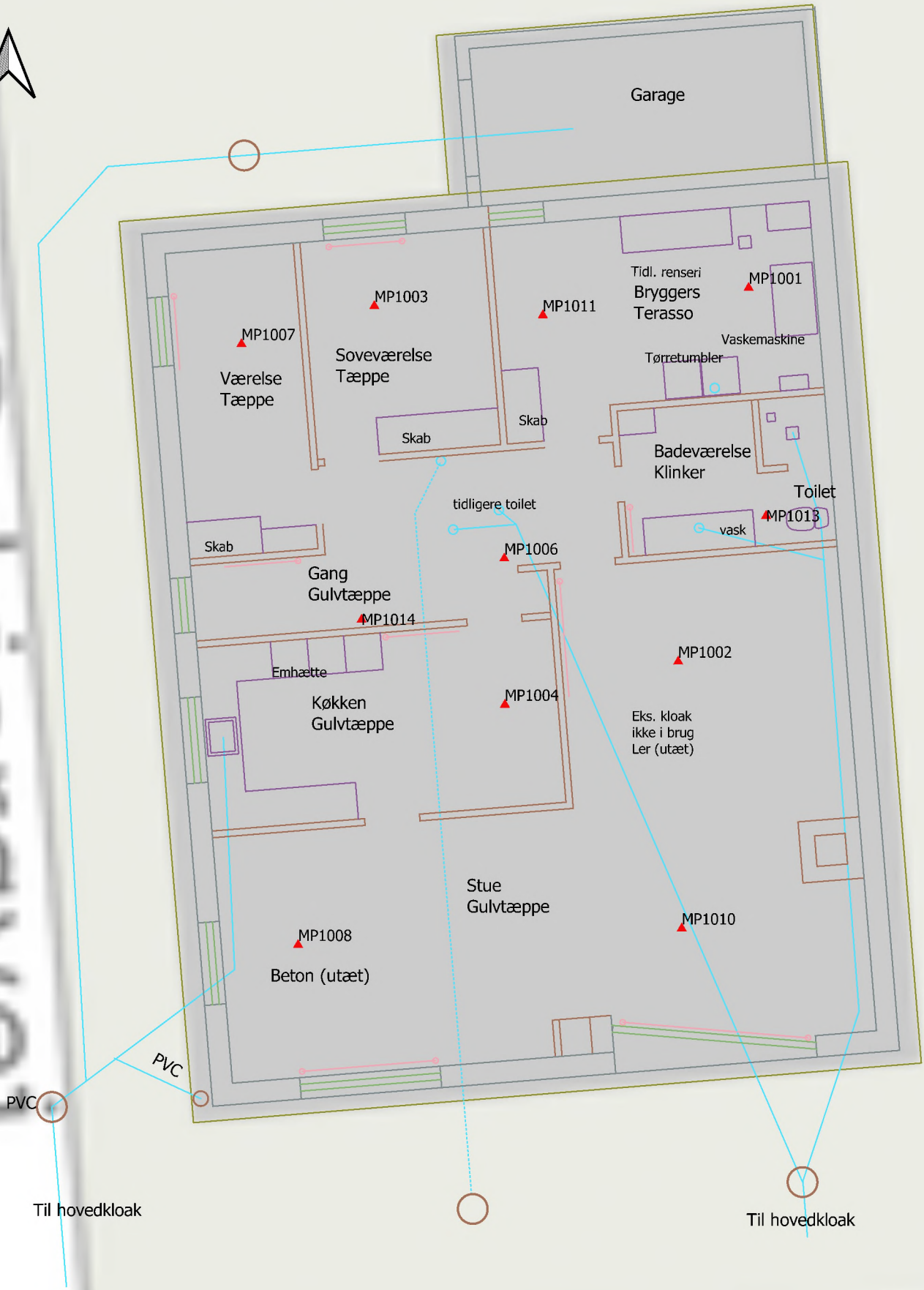
valgt en samlet målepakke fra VaporSafe, med erfaring og udstyr til de ønskede målinger, som f.eks. enkeltprøve opsamling, manifold til flere automatiserede målepunkter m.m.

Der findes andre transportable GC-MS-måleinstrumenter på markedet, både med tilsvarende detektionsgrænser som VaporSafe, men også med højere detektionsgrænser. F.eks. kan der nævnes Hapsite og FROG. Disse instrumenter kan lejes for lavere beløb. Det bør derfor nøje overvejes, hvilke detektionsgrænser og hvilken instrumentering man har behov for i den aktuelle opgave.

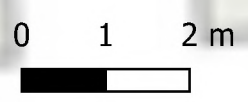
Bilag A Situationsplaner, testhus Roslev



Rvhjælderavej

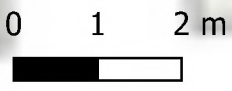
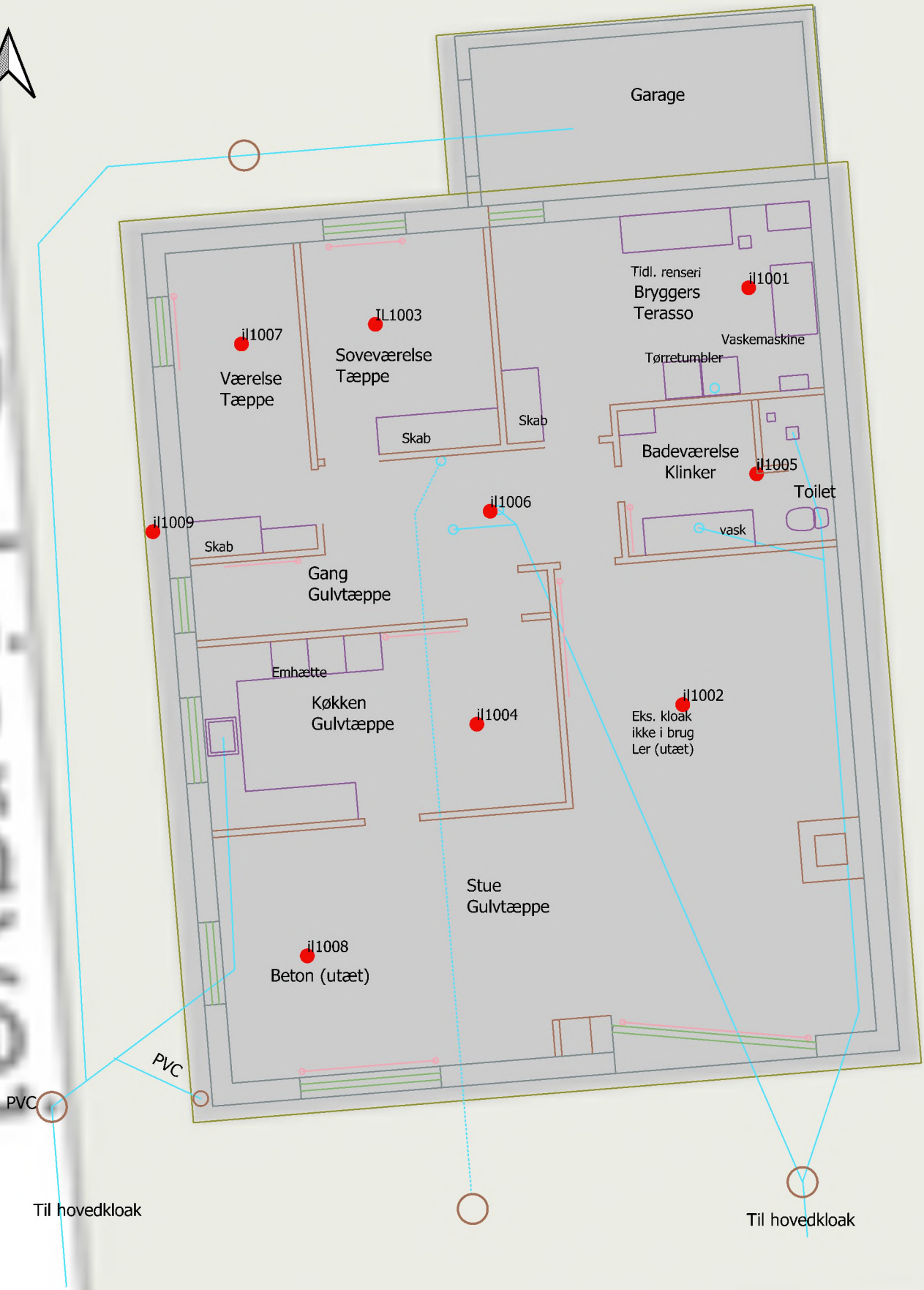


sitpl
▲ poreluft

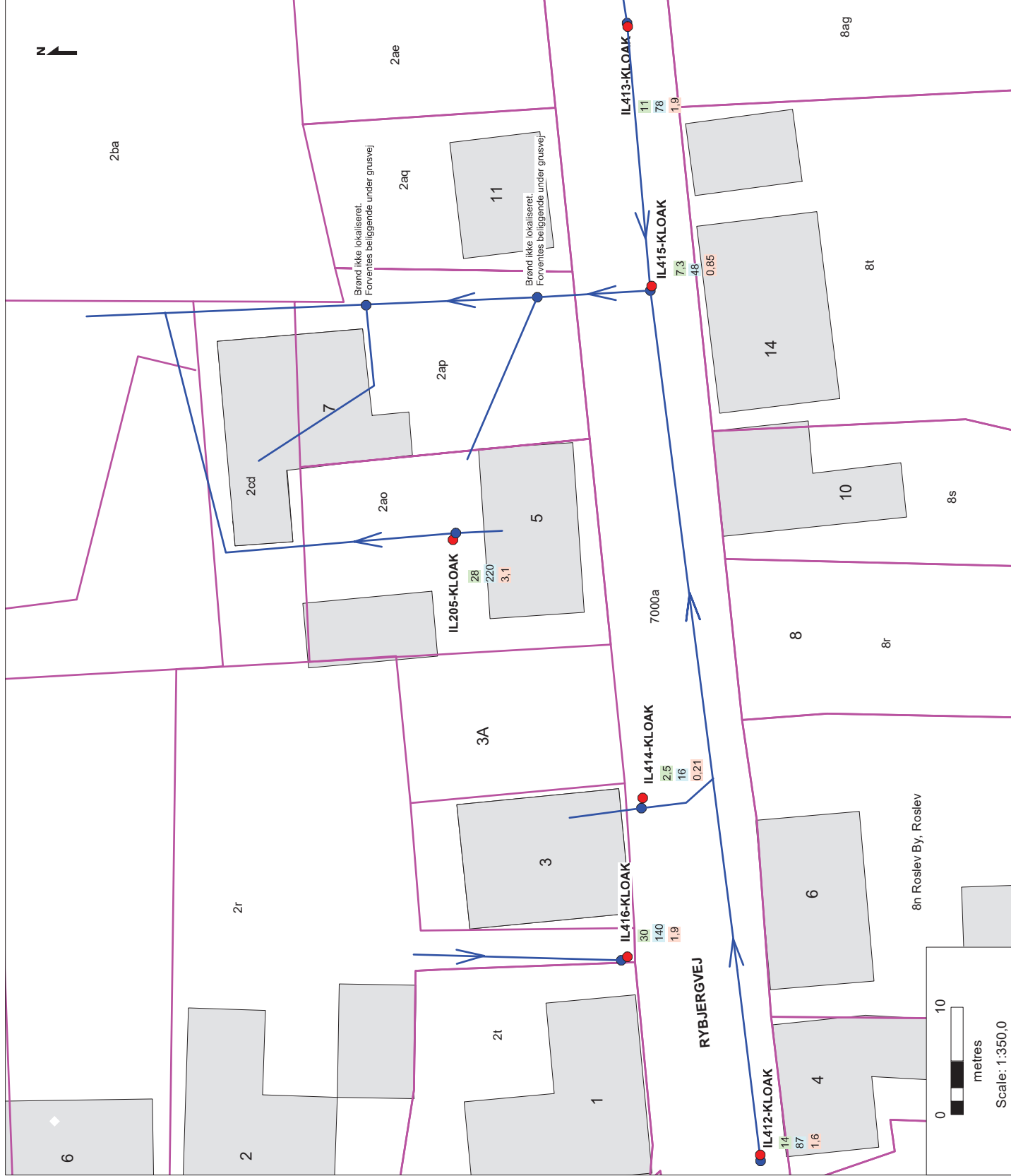




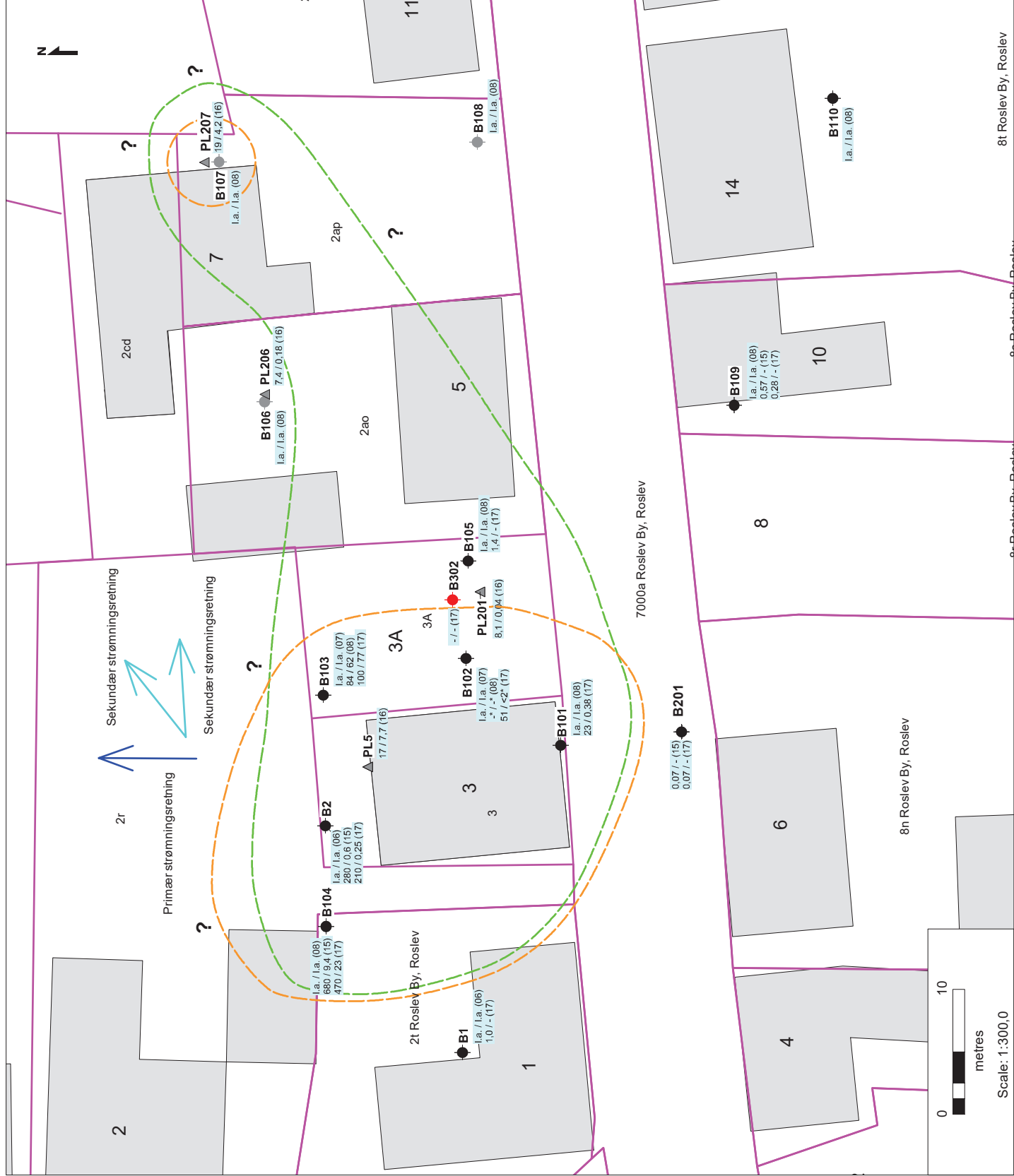
Rvbjergvej



sitpl
● indeluftmåling









Rvbjergvej



0 1 2 m

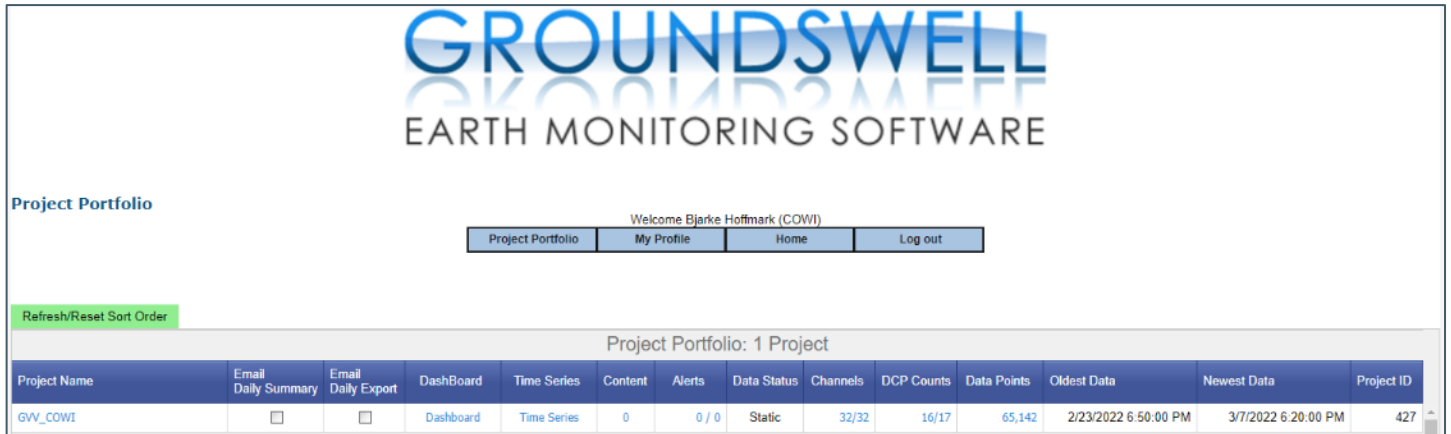
sitpl

● kloak

Bilag B Beskrivelse af dashboard

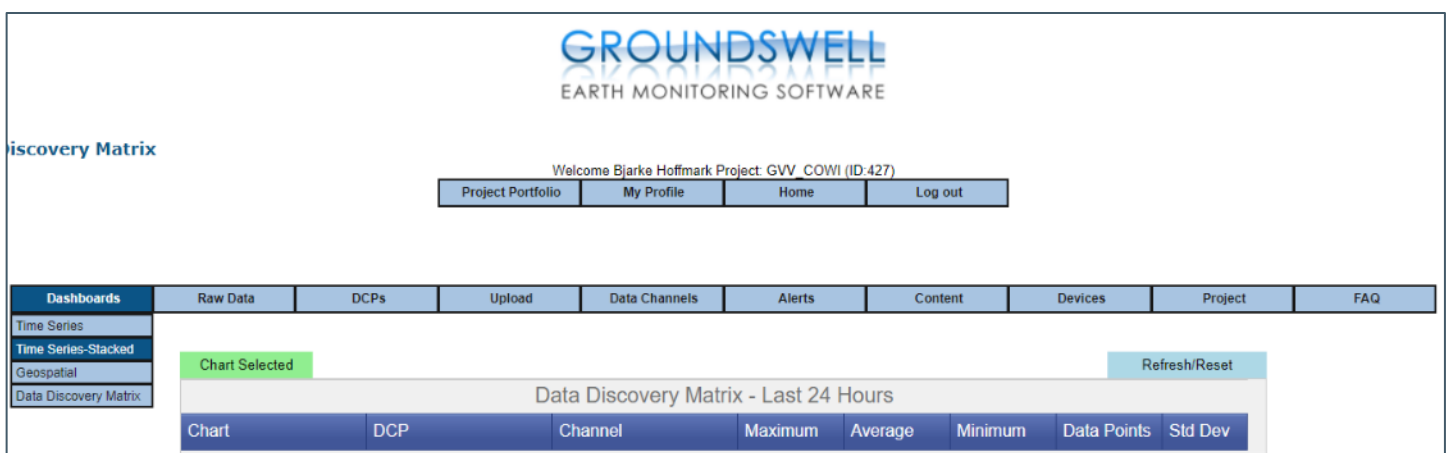
Dashboard

Efter tilknytning af brugeradgang til det konkrete projekt, fås der online-adgang til dashboardet via et link. På velkomstsiden ses en oversigt for projektporteføljen, hvorfra det relevante projekt kan tilgås (Figur 5.1).

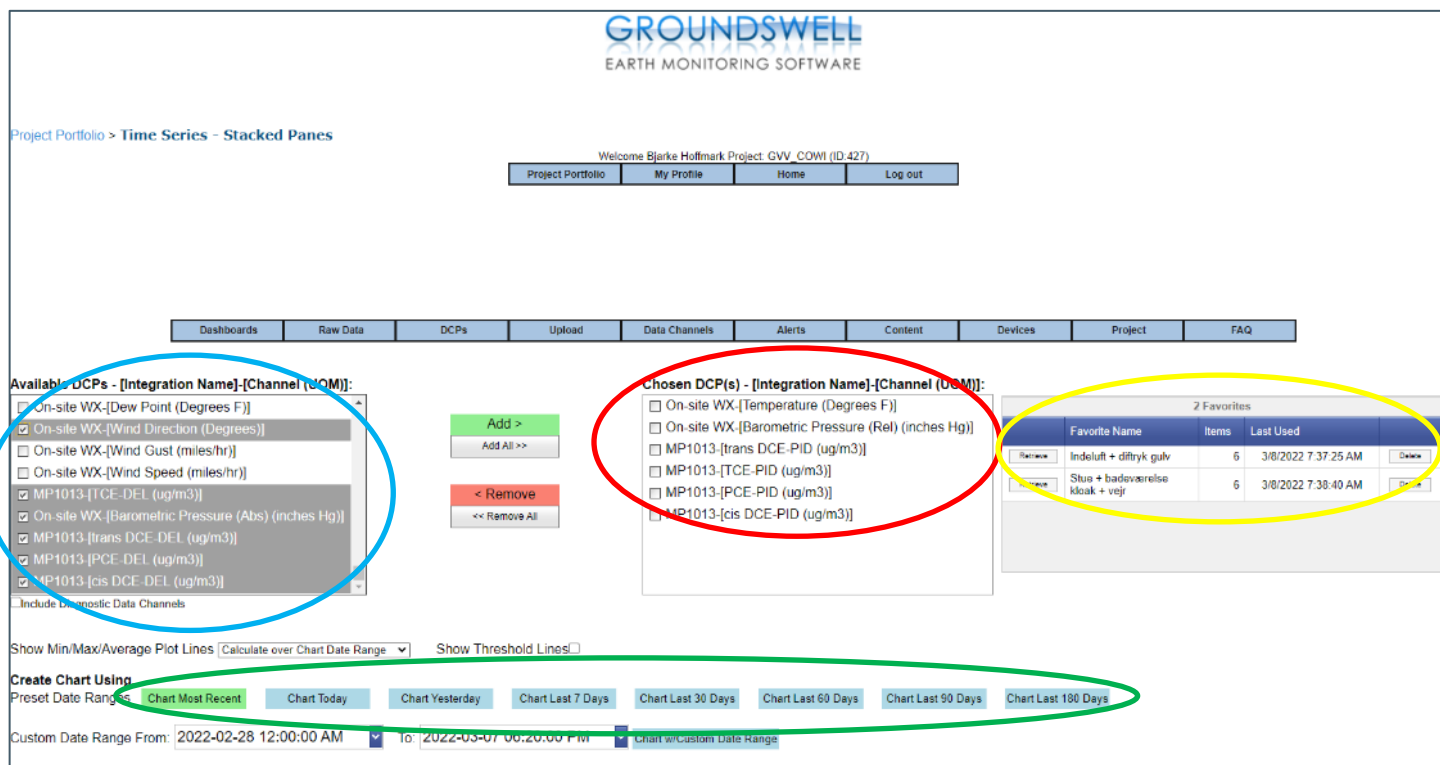


Figur 5.1. Oversigt for projektportefølje.

Via dashboardet er der en række mulige menuvalg, hvor særligt 'Time Series Stacked' udmærker sig ved at give et simpelt overblik over data (Figur 5.2). De enkelte målepunkter (DCP = DataCollectionPoint) kan vælges og fremstilles som tidsserier. En ikke uvæsentlig begrænsning i visningen er dog, at der maksimalt kan udvælges og vises 6 målepunkter ad gangen. Det er muligt at gemme de "favorit" visninger man måtte ønske, så de hurtigt kan genskabes efterhånden som data opsamles. Yderligere er der mulighed for at vælge en række for udvalgte tidsperioder for datagengivelse (Figur 5.3).

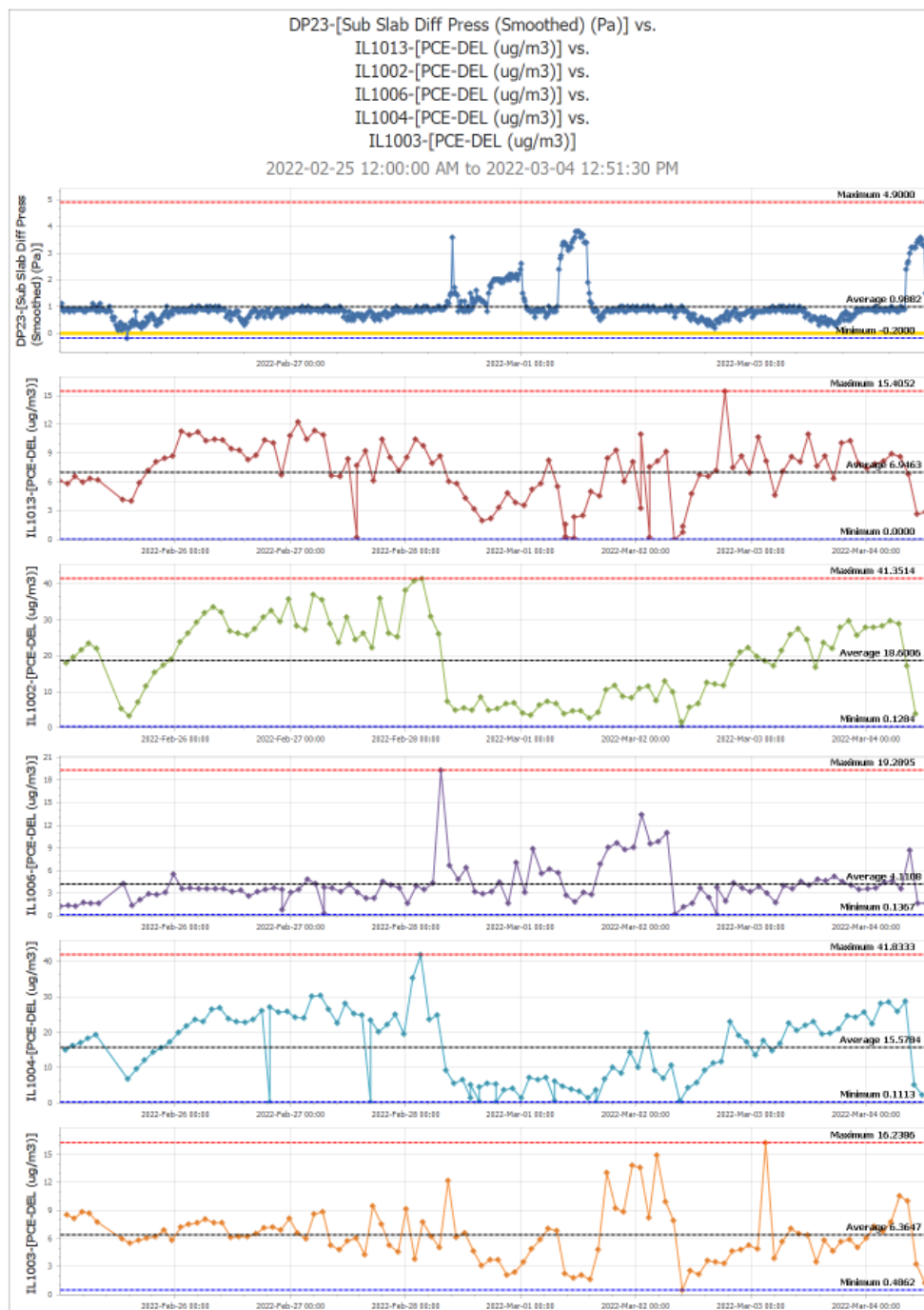


Figur 5.2. Dashboard, menuvalg.



Figur 5.3. Valg af målepunkter til grafisk fremstilling. Udvælgelse af datasæt fremgår med blå markering. Valgte datasæt fremgår med rød markering. Valg af udvalgte tidsperioder er markeret med grøn markering. "Favorit"-visninger kan vælges i området for gul markering.

Når datapunkter og tidsperiode er valgt, genereres der grafisk fremstilling af data som "stabilede" tidsserie, hvormed f.eks. mønstre for et ændret differens-tryk over gulvkonstruktionen kan ses slå igennem i indeluftkoncentrationen. Et eksempel er gengivet i Figur 5.4. De konkrete gennemførte forsøg og resultaterne heraf er behandlet i kapitel 2.7.



Figur 5.4. Online visning af stablede tidsserier. Øverst fremgår differenstræk målinger mellem poreluft og indeluft og de nederste 5 tidsserier udgør indeluftmålinger.

Udover fremstilling af data som tidsserie, er det muligt via georefererede målepunkter at få fremvist konturplots af f.eks. en poreluftudbredelse med baggrundskort som orthofoto. Graden af muligt zoom-niveau er dog begrænset, hvorfor det for det konkrete projekt ikke bidrager til tilstrækkelig opløselighed, idet de enkelte målepunkter er placeret for tæt på hinanden (Figur 5.5). Et forbedringspunkt udover zoom-niveauet kunne være integration af f.eks. en indretningsplan af en bygning med direkte i visningen i dashboardet.



Figur 5.5. Eksempel på konturplot med et ikke tilstrækkelig zoom-niveau for den konkrete sag.

Alle datapunkter kan eksporteres til f.eks. Excel-format i et dataark via dashboardet. Ved eksporteringen af data, kan alle data-kanaler eller enkelte udvælges, herunder tidsperioden herfor.

Bilag C Oprindelig forsøgsplan

Tabel 5.1 Oprindelig forsøgsplan.

Beskrivelse	Målepunkter	Åbne/lukkede døre og afløb	Tese
DAG 1			
Opsætning af udstyr, herunder trækning af slanger til målepunkter			
1: Manuel prøvetagning		Ved alle forsøg er: Hoveddør: lukket Bryggers: lukket Værelse: lukket Øvrige: åbne <u>Køkken/stue: afblændet*</u> Afløb køkken: lukket Afløb toilet: lukket	Afprøvning af prøvetagning "descrete sampling mode", kan den f.eks. anvendes til at identificere spredningsveje
1A: Identifikation af mulige spredningsvej	Indeluft i sprækker bag paneler o.l.	Se ovenfor	Kan revner og sprækker i betondæk lokaliseres som spredningsveje, f.eks. måling under gulvtæppe, teknikskab i stue mfl.?
1B: Koncentration/afstand bag vandlås til køkkenvask	Køkken: LS1004 Afstand: 0,25 m; 0,5 m; 0,75 m; 1,0 m; 1,25 m; 1,5 m; 1,75 m; 2,0 m; 2,5 m; 3,0 m etc. hvis muligt	Se ovenfor	Hvordan ændrer koncentrationen sig bag vandlåsen alt efter hvilken afstand at luftprøven udtages i?
1C: Træk-og-slip WC	Badeværelse: LS1005 Tid i minutter efter skyl: 0; 1; 3; 5; 10; 15; 20; 30; 60; 90; 120 og 150.	Se ovenfor	Hvad er koncentrationen lige bag vandlås til WC og hvor lang tid går der førend at koncentrationen er "tilbage" til koncentrationen forud for skylning? NB! Det tager knap 10 min. at køre én analyse. Hvor hurtigt prøverne kan udtages, vil derfor afhænge af, hvor mange "glas"-kanyler der er til rådighed.
HERFRA automatiserede målinger			
0A: automatiserede målinger Baseline med klokkebidrag fra afløb, badeværelse	Stue: IL1002; MP1002 Sovev.: IL1003; MP1003 Køkken: IL1004; MP1004 <u>Badev.: IL1005; MP1013</u> Afløb toilet: LS1005 Afløb køkken: LS1004 <u>Blank udeluft</u>	Alle døre: lukkede <u>Køkken/stue: afblændet*</u> Afløb køkken: lukket Afløb toilet: åben	Tidslige variationer under "normale" forhold, defineret som: "ingen blowerdoor" og åben kugleventil til kloak i badev. lukket kugleventil til afløb køkken
DAG 2			
2: Forcerede bidrag fra terrændæk og kloak Blowerdoor i bryggersdør laver undertryk i bygningen	Stue: IL1002; MP1002 Sovev.: IL1003; MP1003 Køkken: IL1004; MP1004 <u>Badev.: IL1005; MP1013</u> Afløb toilet: LS1005 <u>Blank udeluft</u>	Hoveddør: lukket Bryggers: Blowerdoor Værelse: lukket Øvrige: åbne <u>Køkken/stue: afblændet*</u> Afløb køkken: lukket Afløb toilet: åben	Hvilket bidrag kan mobiliseres via gulvkonstruktionen og kloakken
2A: Svagt undertryk i bygningen (/3-5 Pa)	Se ovenfor	Se ovenfor	Se ovenfor

Beskrivelse	Målepunkter	Åbne/lukkede døre og afløb	Tese
2B: Moderat undertryk i bygningen /ca. 10 Pa)	Se ovenfor	Se ovenfor	Se ovenfor
2C: Kraftigt undertryk i bygningen /ca. 15 Pa)	Se ovenfor	Se ovenfor	Se ovenfor
0B: Baseline med kloakbidrag fra både køkken og bad, automatiserede målinger	Stue: IL1002; MP1002 Sovev.: IL1003; MP1003 Køkken: IL1004; MP1004 <u>Badev.: IL1005; MP1013</u> Afløb toilet: LS1005 Afløb køkken: LS1004 Blank udeluft	Alle døre: lukkede <u>Køkken/stue: afblændet*</u> Afløb køkken: åben Afløb toilet: åben	Tidslige variationer under "normale" forhold, defineret som: "ingen blowerdoor" og åben kugleventil til kloak i badev. åben kugleventil til afløb køkken
WEEKEND (dag 3-4): 0B fortsat			
DAG5			
3: Forcerede bidrag fra terrændæk, kloak både bad og køkken Blowerdoor i bryggersdør laver undertryk i bygningen	Stue: IL1002; MP1002 Sovev.: IL1003; MP1003 Køkken: IL1004; MP1004 <u>Badev.: IL1005; MP1013</u> Afløb toilet: LS1005 Blank udeluft	Hoveddør: lukket Bryggers: Blowerdoor Værelse: lukket Øvrige: åbne <u>Køkken/stue: afblændet*</u> Afløb køkken: åben Afløb toilet: åben	Hvilket bidrag mobiliseres via gulvkonstruktionen og kloakken fra både toilet og køkken
3A: Svagt undertryk i bygningen /3-5 Pa)	Se ovenfor	Se ovenfor	Se ovenfor
3B: Moderat undertryk i bygningen /ca. 10 Pa)	Se ovenfor	Se ovenfor	Se ovenfor
0B: Baseline med kloakbidrag fra både køkken og bad, automatiserede målinger	Stue: IL1002; MP1002 Sovev.: IL1003; MP1003 Køkken: IL1004; MP1004 <u>Badev.: IL1005; MP1013</u> Afløb toilet: LS1005 Afløb køkken: LS1004 Blank udeluft	Alle døre: lukkede <u>Køkken/stue: afblændet*</u> Afløb køkken: åben Afløb toilet: åben	Tidslige variationer under "normale" forhold, defineret som: "ingen blowerdoor" og åben kugleventil til kloak i badev. åben kugleventil til afløb køkken
DAG 6			
3C: Kraftigt undertryk i bygningen /ca. 15 Pa)	Se ovenfor forsøg 3	Se ovenfor forsøg 3	Se ovenfor forsøg 3
0C: Baseline uden kloakbidrag	Stue: IL1002; MP1002 Sovev.: IL1003; MP1003 Køkken: IL1004; MP1004 <u>Badev.: IL1005; MP1013</u> Afløb toilet: LS1005 Afløb køkken: LS1004 Blank udeluft	Alle døre: lukkede <u>Køkken/stue: afblændet*</u> Afløb køkken: åben Afløb toilet: åben	Tidslige variationer under "normale" forhold, defineret som: "ingen blowerdoor" og lukket kugleventil til kloak i badev. lukket kugleventil til afløb køkken
DAG 7			

Beskrivelse	Målepunkter	Åbne/lukkede døre og afløb	Tese
4: Forcerede bi-drag fra terrændæk, men ikke fra kloak Blowerdoor i bryggersdør laver undertryk i bygningen	Stue: IL1002; MP1002 Sovev.: IL1003; MP1003 Køkken: IL1004; MP1004 <u>Badev.: IL1005; MP1013</u> Afløb toilet: LS1005 Blank udeluft	Hoveddør: lukket Bryggers: Blowerdoor Værelse: lukket Øvrige: åbne <u>Køkken/stue: afblændet*</u> Afløb køkken: lukket Afløb toilet: lukket	Hvilket bidrag kan mobiliseres via gulvkonstruktionen
4A: Svagt undertryk i bygningen /3-5 Pa)	Se ovenfor	Se ovenfor	Se ovenfor
4B: Moderat undertryk i bygningen /ca. 10 Pa)	Se ovenfor	Se ovenfor	Se ovenfor
0C: Baseline uden kloakbidrag	Stue: IL1002; MP1002 Sovev.: IL1003; MP1003 Køkken: IL1004; MP1004 <u>Badev.: IL1005; MP1013</u> Afløb toilet: LS1005 Afløb køkken: LS1004 Blank udeluft	Alle døre: lukkede <u>Køkken/stue: afblændet*</u> Afløb køkken: åben Afløb toilet: åben	Tidslige variationer under "normale" forhold, defineret som: • "ingen blowerdoor" og • lukket kugleventil til kloak i badev. • lukket kugleventil til afløb køkken
DAG 8			
4C: Kraftigt undertryk i bygningen /ca. 15 Pa)	Se ovenfor forsøg 4	Se ovenfor forsøg 4	Se ovenfor forsøg 4
DAG 9			
Nedpakning af udstyr			

*: Døråbning (uden dør) mellem køkken og stue er forud for de gennemførte forsøg, afblændet med kraftig plastic og tape, til nedbringelse af effekt for direkte kontakt af indeluften mellem køkken og stue.

Bilag D Analyserapport, manuel prøvetagning, discrete mode- sampling

														
Site:	Roslev Testhus													
Instrument:	SRI 8610 Gas Chromatograph							General: cis DCE was calculated using the tr DCE calibration file, since our cisDCE calibration file was corrupted.						
Operator:	Brent Van de Wiele & Tom Wuyts							However, this should still give a value that's in the same order of magnitude than when we use a cisDCE calibration file.						
Date:	24.02.2022 - 25.02.2022													
			PID				DELCD							
Sample	Filename	Analysis	tr DCE	cis DCE	TCE	PCE	tr DCE	cis DCE	TCE	PCE	Comments			
ID		Time	(ug/m3)	(ug/m3)	(ug/m3)	(ug/m3)	(ug/m3)	(ug/m3)	(ug/m3)	(ug/m3)				
1A.1	240222-01	13:47								2,8				
1A.2	240222-02	13:54						4,48	1,59	12,54				
1A.3	240222-03	14:01						9,72	6,34	41,58				
1A.4	240222-04	14:10						1,6	1,17	10,43				
1A.5	240222-05	14:16						6,24	3,59	29,9				
1A.6	240222-06	14:23					0,148	0,108	0,036	9,31				
1A.7	240222-07	14:30					0,12	0,24	0,3	8,28				
1A.8	240222-08	14:36						3,68	2,29	64,16				
1A.9	240222-09	14:43						3,8	1,73	81,28				
1A.10	240222-10	14:50						4,92	2,39	85,35				
1A.11	240222-11	14:57						5,32	3,66	111,06				
1A.9	240222-12	15:05						1,56	0,98	44,87				
1A.11	240222-13	15:12						5,2	2,5	93,91				
2A.1	240222-14	15:20						0,12	0,08	18,96				
MP1003	240222-15	15:27						0,18	0,097	157,5				
MP1006	240222-16	15:34				1063,33		0,96	2,38	587,15	PCE concentration from the PID is more accurate than from the DELCD in this case, as the PID is calibrated for concentrations as high as this.			
MP1002	240222-17	15:43				1161,26		0,56	1,26	680,23	PCE concentration from the PID is more accurate than from the DELCD in this case, as the PID is calibrated for concentrations as high as this.			
MP1013	240222-18	15:51						14,36	7,51	96,21				
1B.1	250222-01						0,119	2,976	0,171	3,101				
1B.2	250222-02							2,788	0,241	1,89				
1B.3	250222-03						0,09	0,48	0,1	7,5				
1B.4	250222-04						0,14	14,84	0,66	1,53				
1B.5	250222-05						0,115	8	0,42	3,93				
1B.6	250222-06							4,72	0,45	2,48				
1B.7	250222-07						0,1	2,76	0,38	2,9				
1B.8	250222-08						0,1	0,48	0,12	8,04				
1B.9	250222-09	10:00					0,15	2,24	0,23	7,17				
1B.10	250222-10	10:07					0,15	1,68	0,17	7,84				
1C.1	250222-11	10:13					5,37	6,04	0,55	8,42				
3	250222-12	10:22					2,78	32,68	11,23	33,93	TOILET FLUSH: 10:21			
1C.3	250222-13	10:29					2,29	29,92	9,98	32,8				
1C.4	250222-14	10:35					1,8	32,32	11,41	36,58				
1C.5	250222-15	10:41					0,9	34,44	11,98	42,09				
1C.6	250222-16	10:48					0,7	22,04	7,37	31,79				
1C.7	250222-17	10:54					0,49	17	5,53	25,85				
1C.8	250222-18	11:01					0,45	13,6	4,16	21,18				
5.1	250222-19	11:07					0,09	0,16	0,03	5,46				
1C.9	250222-20	11:14					0,26	4,92	0,56	12,08				
5.2	250222-21	11:20						0,24	0,34	22,78				
1C.10	250222-22	11:27					0,19	2,36	0,29	9,41				

Bilag E Dataudtræk, excel-fil: Automatiserede målinger og datakanaler

Excel-fil kan hentes på Region Midtjyllands hjemmeside:

<https://www.ru.rm.dk/klima-og-miljo/jordforurening/projekter/testhus-i-roslev>

Bilag F Målinger med øvrigt udstyr

I testhuset i Roslev har Region Midtjylland valgt at gennemføre et meget omfattende testprogram, som omfatter hyppige målinger med kulrør i målepunkter under gulv og passive samplere (orsa-rør) til måling i indeluften. Desuden har regionen opsat en række sensorer til automatiserede målinger, herunder en vejrstation, trykdifferensmålere og to typer radonmålere.

I forbindelse med nærværende undersøgelse, er der desuden opsat VaporSafes egen vejrstation, så disse data tilsvarende kunne tilgås via dashboard, hvormed denne integration tilsvarende kunne afprøves.

I nærværende kapitel gives en gennemgang af hvorledes disse automatiserede måleserier, kan indgå i den konceptuelle forståelse af bl.a. effekten af blower-doorforsøgene.

F.1 Vejrstation

Anvendeligheden af den opsatte vejrstation har været forholdsvis begrænset, bl.a. på grund af den korte undersøgelsesperiode, en forholdsvis stabil vejr-situation, men specielt fordi forsøgene med blowerdooren har overskygget eventuel effekt af de vejrmæssige forhold. I kapitel F.4 er vejrdataene anvendt til at vurdere om de effekter der ses på indeluftkoncentrationen af radon m.v. kan tilskrives vejrmæssige forhold eller "brugeradfærden" i bygningen.

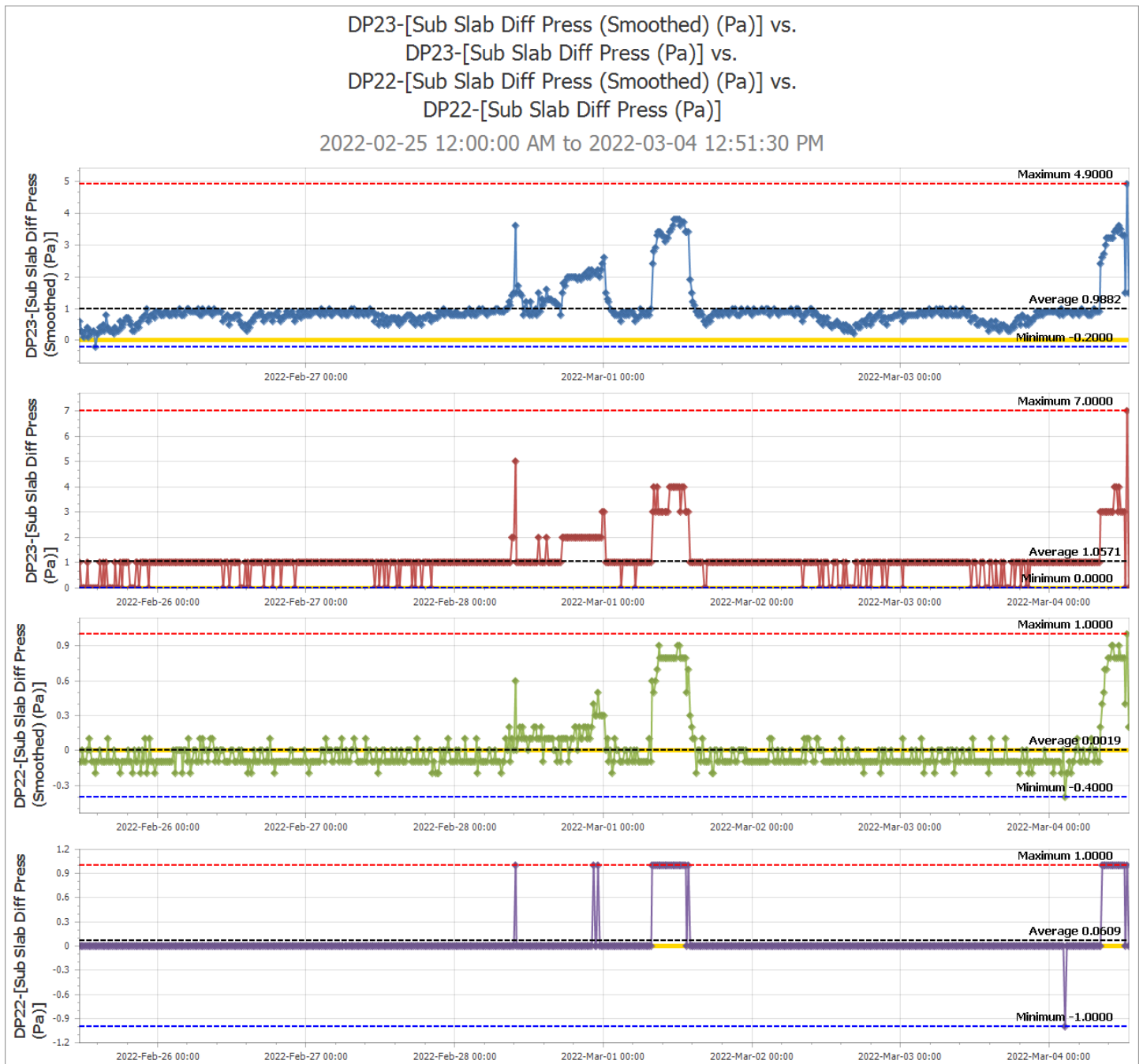
F.2 Trykdifferensmålere

I forbindelse med forsøgene er der opsat to VaporSafe trykdifferensmålere:

- > DP 22 der er opsat i poreluft-målepunkt MP1006 i gangen og
- > DP 23 der er opsat i poreluft-målepunkt MP1010 i stuen

Målepunkternes placeringer fremgår af Bilag A.

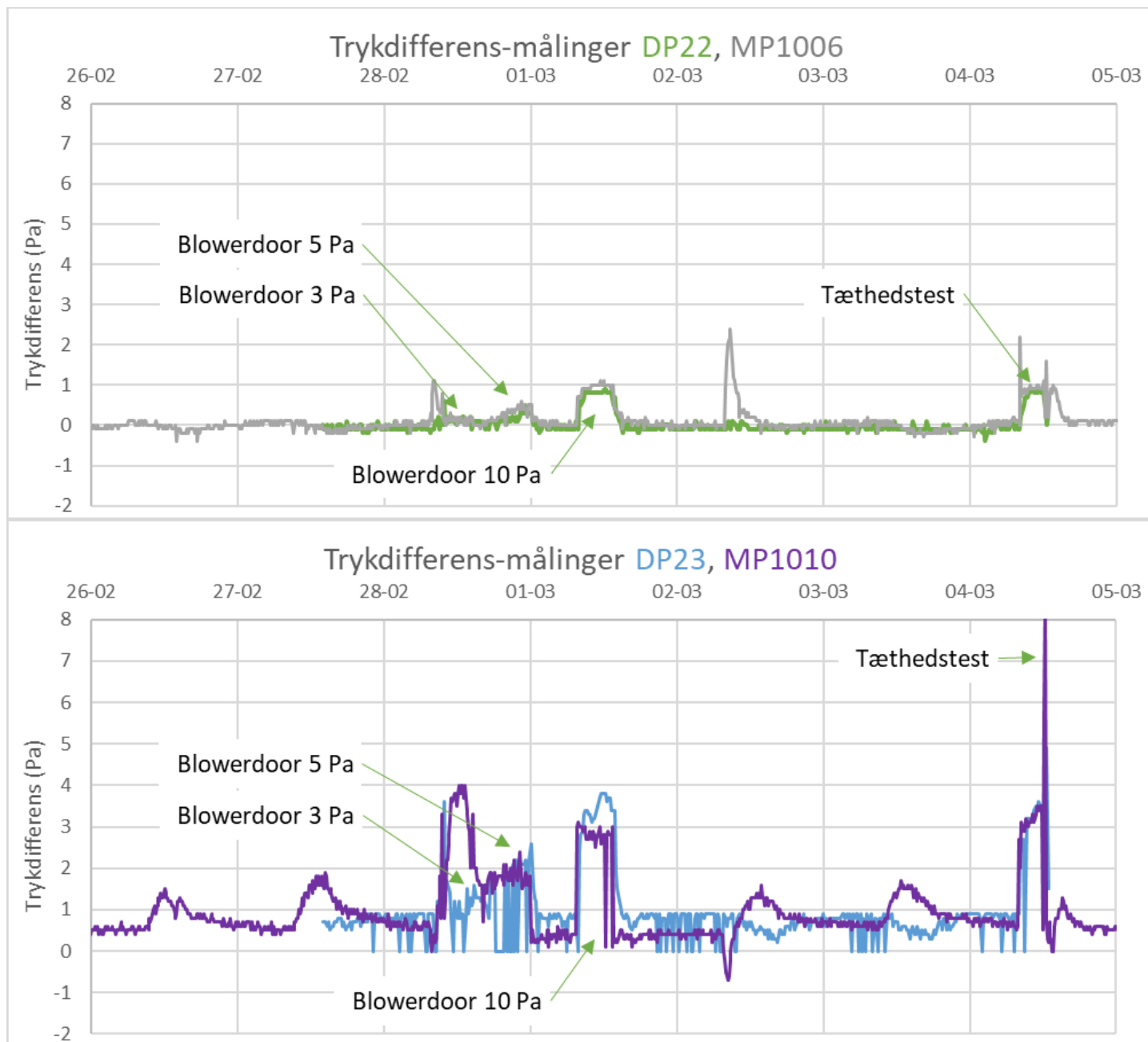
Som det fremgår af Figur 5.6, så kan VaporSafes dashboard vise resultatet af trykdifferensen på to måder, som hhv. "Smoothed" og "normal". Af graferne ses der ved "normal"-visning afrunding til nærmeste hele værdi, mens "Smoothed" viser den eksakte værdi. Specielt ved lave trykforskelle anbefales det at gøre brug af "Smoothed"-visningen for ikke reducere opløseligheden i data.



Figur 5.6. Udskrift af trykdifferensmålinger fra VaporSafes online dashboard (Time Series-Stacked). Et positivt tryk = undertryk i indeluften. De øverste to grafer udgør data for differensstrykmålepunktet i stuen (DP23) som hhv. smoothed og normal-visning. Tilsvarende gør sig gældende for de to nederste grafer som er relateret til differensstrykmålepunktet DP22 placeret i gangen.

I forbindelse med blowerdoor forsøgene er trykdifferens loggerne anvendelige idet de giver en hurtig og tydelig respons. Af Figur 5.6 fremgår meget tydelige ændringer med peaks afledt af de gennemførte blowerdoor forsøg. Ved baseline målinger synes de konkrete trykdifferensmålinger at være mindre anvendelige, idet resultaterne bevæger sig inden for et meget smalt interval for minimum og maksimum værdier, hvorfor de er vanskelige at tolke, i forhold til forureningens påvirkningen af indeluften.

Region Midtjylland har tilsvarende opsat en række loggere til trykdifferens, herunder også i MP1006 og MP1010 hvor de to VaporSafe trykdifferensmålere tilsvarende var monteret. I Figur 5.7 ses en sammenligning af resultaterne fra de fire loggere. Som det fremgår, følger de forskellige loggerne overordnet det samme mønster, men i et detaljeret niveau er der mindre forskelle i de målte værdier. COWI kan ikke forklare disse forskelle, men umiddelbart vurderes det at såvel regionens som VaporSafes loggere giver troværdige og sammenlignelige værdier.



Figur 5.7. Sammenligning af trykdifferens målinger med VaporSafes logger (DP22 og DP23) og regionens loggere i samme målepunkter (MP1006 og MP1010). Det øverste kurveforløb sammenligner hhv. gråt datasæt for regionens differenstræk måler monteret i MP1006 og VaporSafes datasæt med grønt, DP22, monteret i samme målepunkt MP1006. Nedre kurveforløb viser selv samme for målepunktet MP1010 i gangen, med regions data med lilla og VaporSafe data med blå. Et positivt tryk = undertryk i indeluften.