



Miljø- og Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

PCB-renovering

Forsøg med renovering med ny miljørigtig
luftdræningsmetode og PCB-prøvetagning
med boremelsesmetode

Miljøprojekt nr. 1847, 2016

Titel:

PCB-renovering – Forsøg med renovering med ny miljørigtig luftdræningsmetode og PCB-prøvetagning med boremetode

Redaktion:

Britt Haker Høegh, Teknologisk Institut
Thomas Witterseh, Teknologisk Institut

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

2016

ISBN nr.

978-87-93435-61-2

Ansvarsfraskrivelse:

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

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	4
Konklusion og sammenfatning	5
1. Indledning	7
2. Luftdræningsmetode	8
2.1 Udvikling af luftdræningsmetode	10
2.2 Design af pumpeenhed	11
2.3 Arbejdsbeskrivelse til etablering af luftdræningssystemet	13
2.4 Pilotprojekter	15
2.4.1 Pilotprojekt med fuldskalaforsøg	16
2.5 Delkonklusion	24
3. Boremelsesmetode	26
3.1 Udvikling af boremelsesmetoden	26
3.1.1 Prøvetagningsværktøj	27
3.1.2 Opvarmning af prøvemateriale	27
3.1.3 Opsamling af prøvemateriale	28
3.1.4 Forholdsregler mod krydskontaminering og fortynding.....	29
3.2 Udtagning af prøver i laboratorium og in-situ	30
3.2.1 Serie 1.....	30
3.2.2 Serie 2	30
3.2.3 Serie 3	31
3.2.4 Serie 4	32
3.3 Valgt prøvetagningsprocedure	33
3.4 Sammenligning af resultater fra boremelsesmetoden med traditionelle prøvetagningsmetoder	33
3.4.1 Serie 1.....	34
3.4.2 Serie 2	35
3.4.3 Serie 3	36
3.4.4 Serie 4	37
3.5 Delkonklusion	37
Referencer	39
Bilag 1: Arbejdsbeskrivelse PCB-luftdræningssystem	40
Bilag 2: Tidsplan PCB-luftdræningssystem	45
Bilag 3: Brev til forespørgsel om mulige pilotprojekter	46
Bilag 4: Målemetoder	48
Bilag 5: Logbog luftmålinger	49
Bilag 6: Vejledning til PCB-prøvetagning med boremelsesmetode Arbejdsbeskrivelse til håndværker	50

Forord

Denne rapport indeholder to delprojekter. Det første delprojekt omhandler udvikling af en luftdræningsmetode til PCB-renovering af bygninger med PCB-holdige elastiske fugemasser. Det andet delprojekt omhandler udvikling af en forenklet udtagningsproces for prøvemateriale til efterfølgende analyse for PCB på traditionel vis.

Projektet blev udført af Teknologisk Institut med deltagelse af G. Tscherning A/S og Hillerød kommune i perioden januar 2013 til juni 2015. Miljøministeriets Miljøteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) 2012 har ydet tilskud til projektet. Projektet blev udført ved teknologiudvikling, casestudier og laboratorieundersøgelser.

Projektets har haft en styregruppe med følgende deltagere:

Jørgen G. Hansen, Miljøstyrelsen (til og med 2014)

Lisbeth Poll Hansen, Miljøstyrelsen (i 2015)

Kathrine Birkemark Olesen, Teknologisk Institut, projektleder

Thomas Witterseh, Teknologisk Institut, delprojektleder DP1

Lene Dalvang, Teknologisk Institut, delprojektleder DP2

Britt Haker Høegh, Teknologisk Institut, delprojektleder DP3 og assisterende projektleder

Martin Nerum Olsen, G. Tscherning A/S (indtil sept. 2013), udførelsesleder

Peter Kongsted, G. Tscherning A/S (fra sept. 2013), udførelsesleder

Thilde Fruergaard Astrup (Miljøstyrelsen) har i 2016 fulgt færdiggørelsen af rapporten.

Projektets følgegruppe bestod af:

Jørgen G. Hansen, Miljøstyrelsen (formand til og med 2014)

Lisbeth Poll Hansen, Miljøstyrelsen (formand i 2015)

Kathrine Birkemark Olesen, Teknologisk Institut, projektleder

Britt Haker Høegh, Teknologisk Institut, delprojektleder DP3 og assisterende projektleder

Lars Gunnarsen, SBI

Torben Trampe, KAB

René Møller Rosendal, Dansk Affaldsforening

Anders Christiansen, KL

Tak til følgegruppen for deres bidrag.

Konklusion og sammenfatning

Luftdræningsmetoden:

Projekt delen om luftdræningsmetoden har haft til formål at udvikle en brugbar og veldokumenteret renoveringsmetode, hvor affaldsmængden af PCB-forurenede bygningsaffald reduceres betragteligt og under minimalt indgreb i bygningen. Samtidig holdes PCB-indholdet i indeklimaet lavt under renoveringen og nedbringes betydeligt efter renovering.

Luftdræningsmetodens markedspotentiale blev i projektets forløb revurderet, idet færre bygninger af tekniske grunde viste sig egnet til dette renoveringskoncept end oprindeligt antaget. Derfor er to fuldskalaforsøg til afprøvning af luftdræningsmetoden blevet opgivet i projektets forløb til fordel for en udvidelse af udvikling af boremetoden. Der er således kun udført ét pilotprojekt til afprøvning af luftdræningsmetoden i projektperioden.

Projektet har vist, at metodens markedspotentiale i praksis er begrænset af, at de fleste PCB-belastede bygninger ikke opfylder de tekniske forudsætninger vedrørende primærkildens beskaffenhed og placering og PCB-koncentration i indeklimaet. Fra bygherresiden blev den nødvendige adgang til drift af pumpeenheder nævnt som afgørende barriere mod etablering af systemet i udlejningsejendomme.

Til gennemførelse af pilotprojektet er der blevet udviklet en pumpeenhed, udarbejdet en arbejdsbeskrivelse, samt foretaget en afprøvning af systemet i stor skala i to lokaler i en udvalgt bygning.

Det gennemførte pilotforsøg har vist, at etableringen af systemet er meget komplekst og teknisk krævende. En udbredt anvendelse af metoden af almindelige håndværkere er derfor behæftet med meget stor risiko for fejl i udførelse, som kan medføre en betydelig forringelse af systemets effekt.

I det gennemførte pilotprojekt er der ikke konstateret et fald af PCB-niveauet i indeklimaet i forsøgslokalerne eller i luften fra drækanalerne, som vurderes at kunne tilskrives effekten fra luftdræningsmetoden. De overordnede variationer tilskrives de årstidsbetingede temperatursvingninger, som er registreret i referencelokal og ved udelufttemperaturmålinger. Årsagen til, at en effekt af luftdræningsmetoden ikke kunne konstateres i pilotprojektet, tilskrives den nævnte kompleksitet af systemet med risiko for udførelsesfejl til følge. Under hvilke omstændigheder der vil kunne opnås en PCB-reducerende effekt, er ikke blevet nærmere undersøgt, eftersom systemets markedspotentiale har vist sig at være begrænset.

Boremetsmetoden:

Projekt delen om boremetoden har haft til formål at udvikle en forenklet udtagningsproces for mineralsk prøvemateriale til efterfølgende analyse for PCB-indhold på traditionel vis. I dag er prøvetagning for PCB-indhold i fx beton forbundet med større destruktive indgreb fx ved udmejsling, eller ved anvendelse af diamantboring. Den nye metode muliggør mere præcis og mindre destruktiv prøvetagning, samt kan udføres med almindeligt håndværktøj. Der er udarbejdet en arbejdsbeskrivelse til anvendelse af prøvetagningsmetoden i praksis.

Resultaterne fra prøver udtaget med boremetoden kan med god tilnærmelse beskrives ved eksponentielle funktioner – om end de opnåede resultater ved boremetoden ligger på et andet niveau end resultater opnået ved mejsling. Mejsling repræsenterer her de traditionelle

prøvetagningsmetoder som fx udtagning af borekerne, afhugning eller udskæring, beskrevet i SBI-anvisning 241 (ref. Andersen, H.V., 2013).

Boremelsmetoden har vist sig at være rimelig robust i dens anvendelsesområde, idet resultaterne indikerer, at det tilsyneladende har været muligt at undgå krydskontaminering af prøver udtaget i forskellige dybder i samme hul. Metoden kan derved tilsyneladende både benyttes i situationer, hvor der bores ind gennem overfladen, hvor fugen oprindeligt har været placeret, og i situationer, hvor der bores ind 'fra siden' i forskellige afstande til den oprindelige fuge. Samtidig kan der ved at bore for, fjernes eventuelle tertiærforureninger fra overfladen eller malingslag, som kan være en primærkilde i sig selv. Herved kan deres eventuelle indflydelse på prøveresultatet undgås.

Boremelsmetoden har en svaghed i forhold til den visuelle vurdering af materialets homogenitet. Når metoden anvendes in situ på emner (konstruktionsdele), der fortsat sidder i bygningen, kan det være svært visuelt at vurdere materialets homogenitet (fx når der udtages prøver fra et vægelement uden synlige kanter). Dermed kan det være svært at vurdere om det udtagne prøvemateriale er repræsentativt i forhold til andelen af betonens komponenter. Til gengæld vil det med metoden være enkelt at udtage flere prøver, som kan analyseres som samleprøve, for derved at opnå et repræsentativt resultat.

Projektet har vist, at boremelsmetoden overordnet set er praktisk anvendelig og giver brugbare resultater. Der er dog observeret en forskel i PCB-niveauet målt på prøvemateriale udtaget med boremels-metoden og prøvemateriale udtaget ved mejsling.

Især for prøver med lavt PCB-niveau viser boremelsmetoden et relativt højere PCB-indhold end mejslingsmetoden. Fænomenet kan muligvis henføres til, at prøvematerialet udtaget ved boremelsmetoden er mere findelt (mindre kornstørrelse), så PCB-molekylerne er mere 'tilgængelige' og bedre kan detekteres, end ved fragmenter, der er udtaget ved mejsling og senere er nedknust i laboratoriet. Ved lavt PCB-indhold har detektionen af hvert enkelt molekyle større indflydelse på resultatet end ved højt PCB-indhold. Det skal i denne sammenhæng nævnes at den reelle PCB-koncentration i materialet ikke kendes, og at analyse af både prøver udtaget på traditionel vis og ved boremelsmetoden anvendes til estimat af PCB-koncentrationen. De opnåede resultater kan, især for emner med lavt PCB-niveau, ikke bekræfte den af Andersen (ref. Andersen, H.V., 2013) formodede risiko for, at boremelsmetoden, på grund af opvarmning af prøvematerialet, underestimerer PCB-niveauet, sammenlignet med traditionelle metoder. Det tyder til gengæld på at oplukningsgraden af prøvematerialet har en større indflydelse på analyseresultaterne.

For at kunne anvende metoden i praksis, vurderes der at være behov for at kende sammenhængen mellem prøveresultater opnået ved boremelsmetoden og ved fx mejsling eller borekerner. Til generel anvendelse af boremelsmetoden vurderes der at være behov for systematisk videreudvikling af metoden ved i første trin at anvende den på flere prøveemner og andre materialetyper (fx tegl), for herefter at kunne opstille en universel korrelation mellem prøveresultater opnået ved boremelsmetoden og ved traditionelle metoder. Når denne korrelation er bestemt, bør metoden i andet trin valideres mod yderligere prøvedata.

Man vil dog kunne anvende boremelsmetoden på afgrænsede projekter, såfremt der indledningsvist etableres en korrelation mellem prøveresultater opnået med boremelsmetoden og med traditionelle metoder for hver materialetype i det pågældende projekt. Prøvedata opnået ved sådanne projekter vil kunne bidrage til systematisk videreudvikling af boremelsmetoden som beskrevet ovenover.

1. Indledning

PCB har været optaget på Stockholm-konventionen for persistente organiske miljøgifte (POP) siden denne blev underskrevet i 2001. Der er efterfølgende sat fokus på at fjerne PCB i bygninger, samt reducere PCB-forurening af det omgivende miljø. PCB kan dampe af til luften eller migrere til omgivende bygningsdele, hvorfor en effektiv fjernelse og opsamling af stoffet er vanskeligt.

I nedenstående anvendes betegnelsen *primærkilde*, om materiale, der er tilsat PCB under produktion, *sekundærkilder* om materiale, der er forurenet ved migration fra primærkilde, og *tertiærkilde* om materiale, der er forurenet via luftforurening.

Ved traditionel renovering af bygninger med PCB-holdige elastiske fuger er udfordringen, at der ofte er tale om en omfattende renoveringsproces med behov for genhusning, samt at der fremkommer store affaldsmængder, når sekundærkilderne fjernes ved afhugning af beton. Såfremt sekundærkilderne ikke fjernes samtidig, vil der fra de sekundære kilder (eksempelvis fugeflanker) ske en fortsat afgasning af PCB til miljøet.

Der er i en indledende afprøvning med opfølgende målinger udført en proof-of-concept af en alternativ renoveringsmetode, som danner grundlag for det foreliggende projekt. Projektet er opdelt i to delprojekter, luftdræningsmetoden og boremelsesmetoden.

Luftdræningsmetode:

Delprojektets formål er at udvikle en brugbar og veldokumenteret renoveringsmetode, hvor affaldsmængden af PCB-forurenet bygningsaffald reduceres betragteligt og under minimalt indgreb i bygningen. Samtidig holdes PCB-indholdet i indeklimaet lavt under renoveringen og nedbringes betydeligt efter renovering.

Boremelsesmetode:

Delprojektets formål er at udvikle en forenklet udtagningsproces for mineralsk prøvemateriale til efterfølgende analyse for PCB på traditionel vis. I dag er prøvetagning for PCB-indhold i fx beton forbundet med større destruktive indgreb. Den nye metode skal muliggøre mere præcis prøvetagning med mindre destruktiv indgriben i konstruktionerne, samt kunne udføres med almindeligt håndværktøj.

2. Luftdræningsmetode

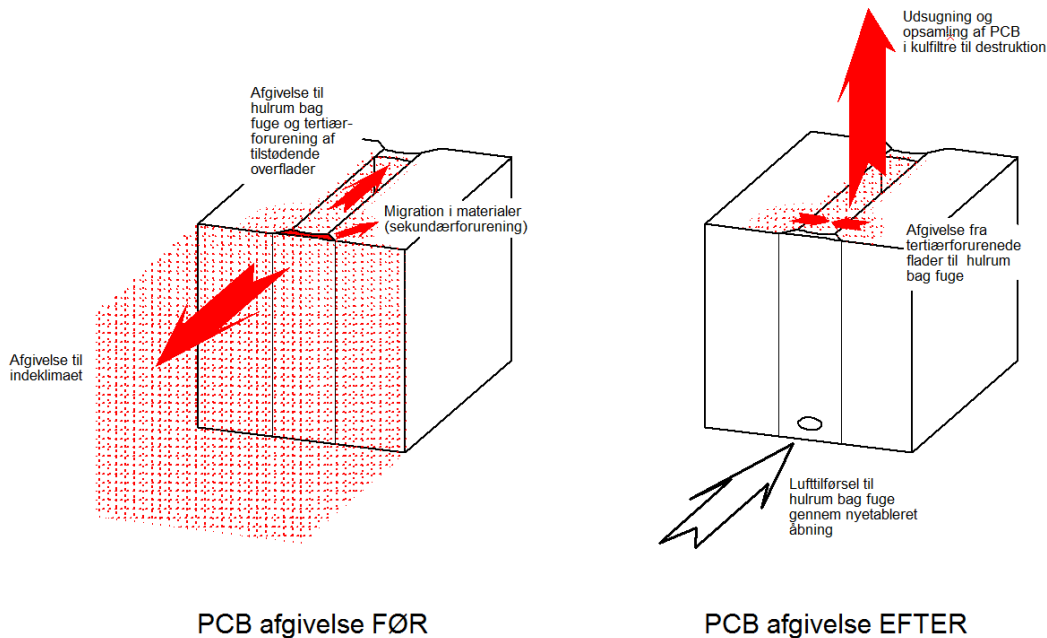
Luftdræningsmetoden er testet i et proof-of-concept, som gav positive resultater. Det nærværende projekt omhandler udvikling af luftdræningsmetoden til en brugbar og veldokumenteret renoveringsmetode. Luftdræningsmetoden er målrettet PCB-renovering af alle typer bygninger med PCB-holdige elastiske fuger mellem bygningsdele, der har et for højt PCB-indhold i indeluften, som ikke kan nedbringes ved enkelte foranstaltninger. Formålet er at fjerne primærkilden under minimalt indgreb i bygningen, hvorved PCB-indholdet i indeklimaet holdes lavt under renoveringen, og under minimal produktion af affald. Ved efterfølgende målrettet udsugning af PCB-afgasning fra sekundærkilder skal PCB-indholdet i indeklimaet nedbringes betydeligt efter renovering. Samtidig skal det undersøges, om PCB fra sekundærkilderne løbende kan bortsuges således, at PCB-koncentrationen i materialerne falder og mængden af farligt affald, når bygningen engang skal nedrives, bliver reduceret. Faldet i PCB-koncentrationen i materialer og indeklimaet skal undersøges med det formål at kunne forudsige, hvor lang tid luftdræningsmetoden skal være installeret, inden der kan opnås acceptable indeklimaværdier og en nedklassificering af PCB-holdigt affald. Den nødvendige driftstid af installationen skønnes umiddelbart til at vare flere år.

På det tidspunkt, da proof-of-concept af luftdræningsmetoden blev afsluttet, blev der til renovering af bygninger med PCB-holdige fuger mellem bygningsdele anvendt følgende metoder med de angivne fordele og ulemper i forhold til den i dette projekt omtalte luftdræningsmetode:

- Bortskæring af byggemateriale for at fjerne PCB-fugen (primærkilde) samt tilstødende sekundært forurenede byggematerialer op til flere cm fra primærkilden.
Fordele: Kilden til PCB fjernes i stor udstrækning.
Ulemper: Arbejdet med borthugning/ bortskæring af byggematerialer medfører store mængder af forurenede byggematerialer, der skal håndteres som farligt affald. Derudover vil bortskæring/borthugning altid, trods omfattende beskyttelsesforanstaltninger, resultere i PCB-holdigt støv, som efterlades i bygningen. Dette fjernes ved rengøring, hvorved dele uundgåeligt ender i almindeligt affald eller spildevand.
- Ved forsegling indkapsles sekundært og/eller tertiært forurenede overflader. Primær- og sekundærkilder er helt eller for det meste fjernet.
Fordele: Afgasning fra forurenede overflader forsinkes, hvilket resulterer i reduktion af PCB-koncentration i indeluften. Mængden af byggeaffald kan være mindre end ved bortskæring.
Ulemper: PCB forbliver i bygningerne og problemet udskydes til nedrivning af bygningen. Hvor PCB-afgasning kun bliver forsinket, forekommer en jævn, dog minimeret, afgasning af PCB til det omgivende miljø.
- Opvarmning eller udbagning af byggematerialer eller indbo foretages for at forcere afgasning af PCB fra byggematerialer.
Fordel: Forsøg viser tendenser til reduktion af sekundære og tertiære forureninger uden at der produceres større mængder forurenede byggeaffald.
Ulemper: Som ved forsegling.

For nærmere information om PCB-renoveringsmetoder henvises til SBI-anvisning 242 (*ref. Andersen, H.V., 2013*)

Ved luftdræningsmetoden fjernes udelukkende fugemateriale (primærkilder), mens de tilstødende byggematerialer forbliver intakte, hvorved affaldsmængden og støvproduktion minimeres. Dernæst skal der med metoden sørges for en aktiv migration af PCB ud af de sekundære kilder, således at PCB vil kunne diffundere ud af byggematerialet og opsamles til senere destruktion og dermed fjernelse fra miljøet. Dette skal foretages ved aktiv ventilation af luftdræningskanalerne og opsamling af den frigivne PCB fra byggematerialerne på aktivt kul, som har høj affinitet for PCB. PCB-mættede kulfiltre skal bortskaffes som farligt affald, så PCB destrueres. Figur 1 illustrerer den beskrevne metodes koncept skematisk.



FIGUR 1: SKEMATISK ILLUSTRATION AF LUFTDRÆNINGSMETODEN.

Vælges alene indkapsling som renoveringsmetode efter at primærkilden er fjernet, forhindres der en eksponering af det nærliggende indeklima og det omgivende miljø. Det er dog gentagne gange blevet påvist, at der i forbindelse med PCB-renoveringsarbejder som fx fjernelse og indkapsling er målt forhøjede niveauer af PCB i indeklimaet, ikke kun under renoveringen, men også i tiden efter renoveringen er afsluttet (ref. Andersen, H.V., 2013). Dette indebærer en påvirkning af de personer, der opholder sig i lokalet.

Med luftdræningsmetoden skal en frigivelse af PCB fra sekundære kilder til brugernes indeklima undgås, ved at sørge for skånsom fjernelse af primærkilden og hurtig etablering af udsugning fra luftdræningskanalerne.

Udvikling af luftdræningsmetoden i dette delprojekt til brugbar og veldokumenteret renoveringsmetode indbefatter følgende:

- Nærmere definition af metoden.
- Udvikling af en prototype af drænpumpen.
- Formulering af en arbejdsbeskrivelse til etablering af drænsystemet.
- Afprøvning af systemet i praksis i pilotprojekter. Erfaringer fra det gennemførte pilotprojekt er afrapporteret sidst i afsnittet.

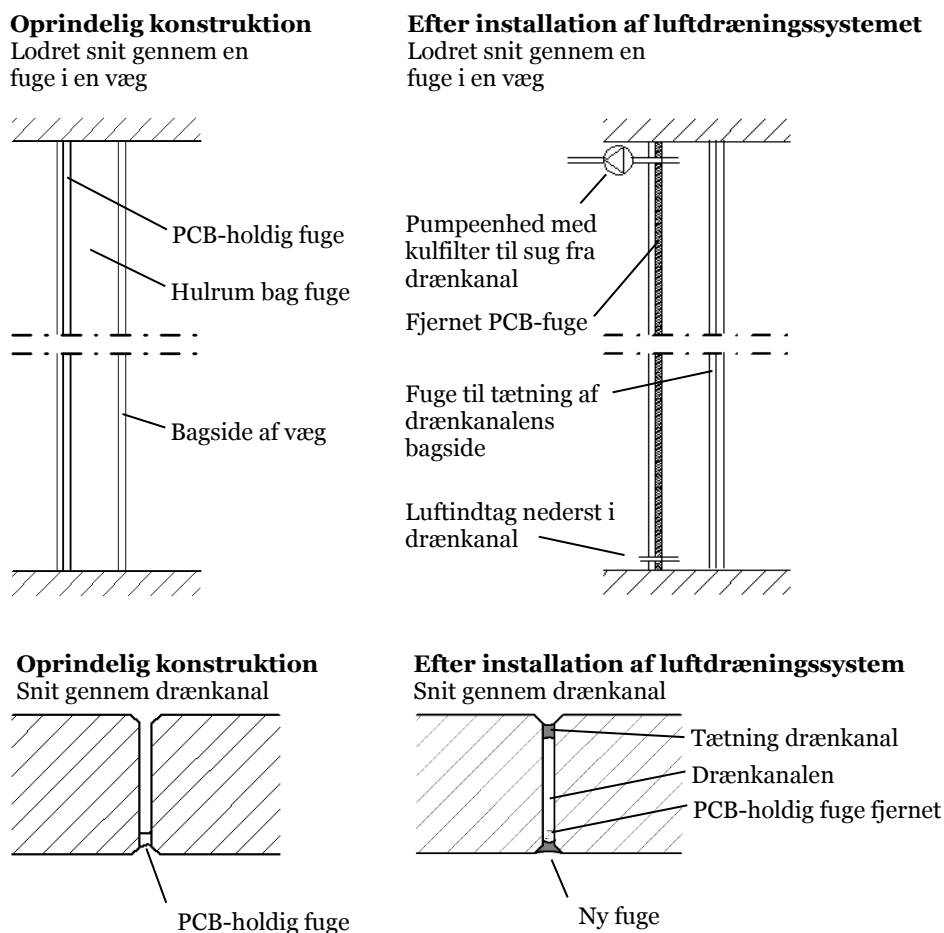
Det var oprindeligt planlagt at gennemføre tre pilotprojekter til afprøvning af luftdræningsmetoden. Grundet vanskeligheder ved at finde egnede cases er den bagvedliggende idé og forretningsmodel for metoden blevet udfordret i en sådan grad, at gennemførelse af de sidste to pilotprojekter er

blevet opgivet, se nærmere beskrivelse af dette i afsnit 2.4 Pilotprojekter. Der er således kun udført ét storskalaforsøg.

I det oprindelige projektoplæg var der påtænkt en opstilling af en matematisk model til simulering af PCB's migration i byggematerialer, herunder beton. Denne model skulle bruges til vurdering af blandt andet luftdræningsmetodens driftstid. Opstilling af migrationsmodellen er afhængig af, at der foreligger en statistisk relevant mængde af data. Idet der kun er gennemført et af de tre pilotprojekter, har der ikke kunnet tilvejebringes det forventede datamateriale, som modellen kan verificeres på. Derfor er dette delprojekt ikke gennemført.

2.1 Udvikling af luftdræningsmetode

Skematisk kan luftdræningsmetodens koncept beskrives som vist i figur 2:



FIGUR 2: SKEMATISK OPSTILLING AF DRÆNSYSTEMET FØR OG EFTER MONTAGE I EN ELEMENTVÆG.

Erfaringer fra proof-of-concept forsøget viser, at koncept derudover skal omfatte følgende:

- Minimalt indgreb i bygningsmasse under arbejdet.
- Sikring af systemet mod utilsigtede indgreb i driftsperioden.
- Krav til drænkanalen vedrørende renhed, lufttæthed og luftgennemgang.
- Metode til lukning af drænkanalen, som tilgodeser æstetiske og tekniske behov.
- Pumpeenhed, der er støjsvag, med passende kapacitet og acceptabel levetid. Det forventes, at systemet skal være i drift i flere år.
- Timer i pumpeenheden til tidsstyring af pumpeaktivitet.
- Passende størrelse af kulfilter i pumpeenheden til filtrering af afkastluft for et acceptabelt serviceinterval.
- Kontrolmulighed for luftgennemgang i fugehulrummet.

- Mulighed for montage af varmelegeme i fugehulrummet.
- Strømuttag og eventuel timer i pumpeenheten til varmelegemet, samt termoføler til registrering af temperaturforhold ved fugeflankerne.
- Strømforsyning.
- Forundersøgelser i fugeflanker til senere bestemmelse af reduktion af PCB-indhold i materialerne.

Luftdræningsmetoden skal tilpasses hver enkelt renoveringsopgave.

Den ovenstående beskrivelse af luftdræningsmetodens koncept danner grundlaget for design af pumpeenheten og udarbejdelse af en arbejdsbeskrivelse til etablering af systemet. Disse emner behandles i de følgende afsnit.

2.2 Design af pumpeenhed

På baggrund af de ønskede egenskaber og forudsætninger for metoden er der udviklet to prototyper af pumpeenheten. I en oprindelig forventning om et stort potentiale for drænmetoden blev der taget kontakt til en kinesisk leverandør med henblik på at udvikle en pumpeenhed med de ønskede egenskaber, der samtidig kunne opfylde ønsket om en lav produktionspris pr. pumpeenhed.

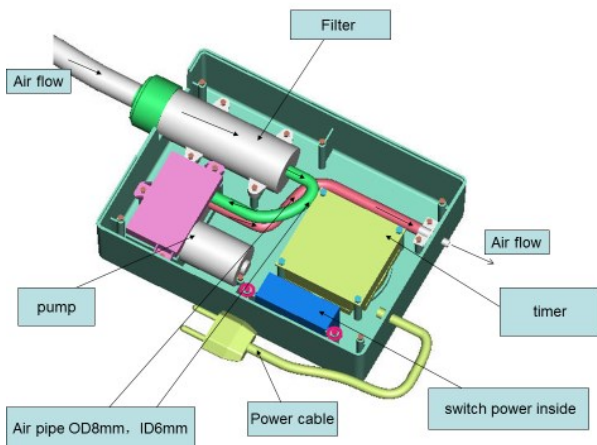
På baggrund af erfaringer fra det forud for dette projekt udførte proof-of-concept af luftdræningsmetoden blev der opstillet en række specifikationer for pumpeenheten:

- Støjsvag, med et lydeffektniveau svarende til en akvariepumpe.
- Vibrationsdæmpende materiale på enhedens anlægsflade ved montage på væg.
- Kapacitet på 130-150 liter pr. time.
- Indbygget elektronisk timer, så driftsperioden kan tilpasses brug af lokaler.
- Indbygget, udskifteligt aktivt kulfilter med lavt tryktab.
- Filteret skal indeholde minimum 35 gram aktivt kul med en kornstørrelse mellem 1 og 2 mm.
- Ønsket levetid på pumpen på minimum 8.000 timer, svarende til ca. 2 års drift.

For at pumpeenheten i givet fald også kan anvendes i lokaler, som er i brug, ønskedes en pumpe med lavt støjniveau. Det vibrationsdæmpende materiale på pumpeenhedens anlægsflade (ved vægmontage) vil modvirke, at støj transmitteres til tilstødende rum via konstruktionen. Pumpekapaciteten er specificeret på baggrund af erfaringer fra proof-of-concept forsøget, hvor en lille akvariepumpe blev benyttet.

Ved at benytte en elektronisk timer, frem for en mekanisk, vil det være muligt at undgå støj fra timeren, ligesom uret vil være sikret med batteri-backup i forbindelse med evt. strømafbrydelse. Den benyttede timer tager dog ikke automatisk højde for sommer-/vintertid.

Specifikationen af kulfilteret er etableret på baggrund af ønsket om lavt tryktab gennem filteret, således at kravene til pumpen (og dermed prisen) kan holdes lave, samtidig med en hensigtsmæssig filterkapacitet for at holde serviceintervallet kort. Kapacitet af kulfiltre til filtrering for PCB er ikke omtalt i litteraturen. Den valgte filterstørrelse vurderes på baggrund af det indledende proof-of-concept forsøg at have en levetid på ca. 6 måneder. Mængden af kul i filteret kunne med fordel være større, for at opnå en længere levetid, men ønsket om en lille kompakt pumpeenhed med filteret indbygget, var afgørende for størrelsen på filteret.



FIGUR 3: PRINCIPSKITSE AF OPBYGNINGEN AF PUMPEENHEDEN (TIL VENSTRE) OG FOTO AF FØRSTE PROTOTYPE (TIL HØJRE).

Evalueringen af første prototype, som vist i figur 3, viste, at den havde enkelte svagheder/mangler, som ønskedes forbedret inden en egentlig produktion blev igangsat:

- Det indbyggede filter udviste problemer med manglende tæthed ved luftindtaget.
- Større filterkapacitet, der ville reducere hyppigheden af udskiftning af filteret, således at dette i de fleste tilfælde skulle udføres højst 1 gang om året.
- Mulighed for tilslutning af varmelegeme til pumpeenheden, samt eventuel yderligere timer, således at varmelegemet kunne styres uafhængigt af pumpen.
- Lavere støjniveau fra pumpen.
- Længere levetid på pumpen. I den første prototype havde pumpen en garanteret levetid på 800 timer.



FIGUR 4: FOTO AF FØRSTE (TIL VENSTRE) OG ANDEN (TIL HØJRE) PROTOTYPE.

Der blev derfor bestilt en anden prototype af pumpen, vist til højre på billedet i figur 4, hvor filterets kapacitet er fordoblet i forhold til første prototype uden at tryktabet i filteret er forøget. Der er endvidere indbygget stikkontakt for tilslutning af fx et varmelegeme til indbygning i drækanalen, dog styres stikkontakten af samme timer som selve pumpen.

På trods af, at der bevidst var blevet valgt en kinesisk leverandør med dansk ejer og daglig leder, viste kommunikation og samarbejde sig at være krævende og behæftet med risiko for misforståelser.

Anden prototype har fortsat en mangel i form af højt støjniveau. Leverandøren har målt lydtrykniveauet fra første prototype i 80 cm's afstand til ca. 60 dBA. Anden prototype har et sammenligneligt lydtrykniveau, der subjektivt vurderes at være for højt. Endvidere er den af leverandøren garanterede levetid på den anvendte pumpe stadig kort, ca. 800 timer, hvilket ved en typisk installation giver en forventet levetid på kun ca. 80 døgn. Leverandøren har opstillet en alternativ løsning med en pumpe med en længere garanteret levetid på ca. 4.000 timer. Med en forventet driftstid på ca. 10 timer pr. døgn vil den estimerede levetid være ca. 400 døgn, hvilket er kort, set i forhold til, at luftdræningsmetoden skal være en langtidsløsning med flere års driftstid.

Serieproduktion af de udviklede pumpeenheder vil være forbundet med en større engangsudgift til fremstilling af støbeform til indbygningskassen mv. (ca. kr. 110.000,-). Udgifter til materialer, komponenter og montage for hver pumpeenhed vil beløbe sig til i alt ca. kr. 170,- inkl. pumpen med kort levetid, og ca. kr. 300,- inkl. pumpen med længere levetid.

De høje engangsudgifter og den korte pumpelevetid taget i betragtning blev det til pilotprojektet besluttet, at Teknologisk Institut selv skulle stå for opbygningen af det nødvendige antal pumpeenheder.

Pumpeenhederne, som vist i figur 5, blev opbygget af en almindelig akvarieluftpumpe, der blev modificeret ved at forsegle pumpehuset og ved på sugesiden at montere en studs for tilslutning af en slange. På afkastet (tryksiden) fra pumpen blev der monteret et kulfilter med ca. 35 gram aktivt kul med primær partikelstørrelse mellem ca. 1 og 2 mm. Pumpeenhederne blev indbygget i en plastindbygningskasse og forsynet med ekstern timer i form af et almindeligt elektronisk tænd/sluk-ur med mulighed for at programmere driftstiden individuelt for ugedagene. Pumpeenhederne havde ikke indbygget tilslutningsmulighed for varmelegeme.



FIGUR 5: PUMPEENHED MED LUFTPUMPE (I HØJRE SIDE) OG KULFILTER (I VENSTRE SIDE) BENYTTET TIL PILOTPROJEKT.

Studsens til luftindtaget (ikke synlig på foto) er udført i 16 mm installationsrør, således at pumpeenheden let kan tilkobles drækanalens afkaststuds med en fleksibel slange.

2.3 Arbejdsbeskrivelse til etablering af luftdræningssystemet

For at kunne opnå de ønskede mål med luftdræningssystemet er en detaljeret beskrivelse af arbejdet og dets udførelse nødvendigt. Første udkast af arbejdsbeskrivelsen blev baseret på erfaringerne fra den indledende proof-of-concept. I takt med nye erfaringer fra fuldskalaforsøget er arbejdsbeskrivelsen sammen med en af projektpartnerne, G. Tscherning A/S, iterativt udviklet og præciseret igennem hele projektets forløb.

Skabelonen for arbejdsbeskrivelsen er udarbejdet på basis af bips beskrivelsesværktøj (*ref. bips. 2014*). Derudover har G. Tscherning A/S leveret de entreprenørmæssige input til et eksempel på en udførelsestidsplan til etablering af luftdræningsmetoden. Disse to dokumenter kan nærlæses i bilag 1: Arbejdsbeskrivelse PCB-luftdræningssystem og bilag 2: Tidsplan PCB-luftdræningssystem. I det

følgende beskrives baggrunden for udførelsesmetoder og -krav, der bliver beskrevet i arbejdsbeskrivelsen.

Idet både de forberedende arbejder og etablering af luftdræningssystemet for det meste ikke er støjende, vil det umiddelbart være muligt at benytte lokalerne under renoveringen. For at denne mulighed kan udnyttes, skal renoveringen tilrettelægges sikkerhedsmæssigt forsvarligt, dvs. med tæt afskærmning, sluse og udsugning af de konkrete arbejdsområder.

For at fremme systemets mål med rensning af sekundærkilderne og for ikke unødigt at belaste kulfiltrene, skal der fjernes mest muligt af primærkilden inden etablering af systemet. Omhyggelig udførelse af dette arbejde skal være omfattet af en indgående tilsynskontrol.

Systemets funktion er afhængig af, at der suges luft fra hele drænkanalernes længde. Dvs. at luftindtag og -afkast etableres i modstående ender af fugerne. Da der ønskes udviklet en metode, der er så let anvendelig i praksis som muligt, tænkes studsene til luftindtag og -afkast i drænkanalen udført i almindeligt 16 mm installationsrør ('elektrikerrør').

Drænkanalerne skal være lufttætte, så der kan opbygges et flow igennem hele kanalen, og for at forhindre, at der suges 'falsk' luft ind i kanalen fra indeklimaet, udefra eller fra konstruktionen. Når dette er opfyldt, kan den højt PCB-forurenet luft med afgang fra sekundærkilderne udsuges og renses i kulfiltret. Under den indledende afprøvning er der indhentet erfaring for, at der er stort behov for en tætning af drænkanalernes bagside, top og bund.

Det er i projektets forløb blevet klart, at kanalernes dimension skal vurderes i forhold til pumpernes sugeevne. Hvis kanalernes tværsnit vurderes at være for lille til, at der kan udføres tætning af drænkanal, fugebagstop og fuge kan der eventuelt monteres et U-profil på fugen for at øge kanalernes tværsnit.

Idet luftgennemgangen gennem kanalen er en central egenskab i systemet, skal denne valideres med en målbar metode, som fx en flowmåling i luftindtaget med pumpeenheten i drift. I fuldskalaforsøget skal denne valideringsmetode kalibreres, dvs. det minimale flow samt acceptabel afvigelse fra det minimale flow bestemmes.

Afgasning fra sekundærkilderne er afhængig af damptrykket og dermed af temperaturen i drænkanalerne. Der ses derfor en chance for, at man kan fremme afgasningen ved at montere en varmetråd i fugerne. Der er dog usikkerhed om, hvornår varmetråden skal være tændt i forhold til pumpernes driftsmønster. Er fugen varm i den periode, hvor pumpeenheten ikke kører (fx i arbejdstider), ses der risiko for øget PCB-belastning af indeklimaet. Af den grund har der været planer om at afprøve anvendelse af varmetråde i nogle af fuldskalaforsøgenes fuger og undersøge, hvilken driftstemperatur og -periode, der er egnet, samt undersøge opvarmningens effekt på systemets funktion. Derfor er der samtidig påtænkt at ilægge termofølere i nogle af fugerne til registrering af fugeflankernes temperatur. Varmetrådene er inden for projektets rammer ikke blevet afprøvet, idet der i pilotprojektets konstruktion ikke var plads til ilægning af varmetråde (se afsnit 2.4.1.3).

Luftdræningssystemet er et langtidstiltag, hvorfor der under etablering af systemet bør tages højde for æstetiske aspekter, samtidig med, at systemet skal kunne demonteres uden større efterreparationer. Derudover skal der ved etablering af systemet tages højde for en sikring mod u hensigtsmæssig brugeradfærd. I den forbindelse anses det umiddelbart for mest hensigtsmæssigt at placere pumpeenheten højt i rummet, uden for fx børns rækkevide. Om muligt kan den placeres over et nedhængt loft. Luftindtaget vil ofte sidde inden for almindelig brugerrækkevidde, hvorfor den skal beskyttes mod fx at blive stoppet til, fjernet eller sparket af med foden. Dette kan eventuelt

gøres ved at montere en kappe eller rist henover studsene til luftindtag. I visse tilfælde kan der være behov for at sikre fugen mod beskadigelse ved at afdække den med en liste.

Til bedømmelse af systemets langtidseffekt, skal der indledningsvis udtages materialeprøver af de sekundært forurenede fugeflanker. Der skal opstilles et indtrængningsprofil af PCB i fugeflankerne, så reduktionen af PCB-indholdet kan vurderes efter endt anvendelse af luftdræningsmetoden.

2.4 Pilotprojekter

Det var planlagt at gennemføre tre pilotprojekter med fuldskalaforsøg af luftdræningsmetoden. Ved projektets begyndelse var der indgået aftale om ét pilotforsøg. Erfaringer og resultater fra dette pilotforsøg beskrives i afsnit 2.4.1.

At finde egnede bygninger til de to resterende pilotprojekter viste sig at være en så stor udfordring, at projektgruppen måtte revidere vurderingen af luftdræningsmetodens markedspotentiale i forhold til antagelserne i projektansøgningen fra 2012. Denne revurdering har i samråd med projektets styregruppe medført, at gennemførelse af de to yderligere pilotprojekter blev opgivet.

Projektgruppen har forespurgt hos kommuner, samarbejdspartnere og nedrivere, for at finde bygninger, der er egnede til pilotprojekter og dermed afprøvning af renoveringen i fuldskalaforsøg. Indledende er der opstillet en række parametre, til vurdering af de konkrete bygningers egnethed som pilotprojekt, se bilag 3: Brev til forespørgsel om mulige pilotprojekter. De rent tekniske parametre har været:

- Eksistens af et vist hulrum bag elastisk fugemasse.
- PCB-niveau i indeklimaet mellem 300 og 3.000 ng/m³ luft.

Brugerrelaterede parametre har været:

- Anvendelse af lokaler, der tillader pilotforsøg, dvs. tilgængelige til etablering af systemet og uanvendte om natten, hvor forsøgs-pumperne skal køre.

De projektrelaterede parametre har været:

- Bygherrens vilje til at finansiere forberedende arbejder, dvs. fjernelse af primærkilde, tilhørende sikkerhedsforanstaltninger og efterfølgende rengøring.
- Placering af lokaler i et brandafsnit eller som minimum i et afgrænset område med egne ventilationsforhold, for at minimere indflydelse af PCB fra tilstødende lokaler.
- Mulighed for at opstarte pilotprojektet fra maj/juni 2014.

Der er indhentet kendskab til 12 bygninger med PCB-holdige bygningsfuger, som stod til renovering inden for projektperioden, var tomme eller stod til nedrivning – en administrativ grundforudsætning for gennemførelse af pilotprojekterne. Af 12 bygninger, som kom i betragtning, viste kun 2 bygninger sig at være egnede til et pilotprojekt. Én anden bygning kunne bruges med forbehold, idet bygningen skal nedrives. Sidstnævnte betyder dog, at luftdræningsmetoden forretningsmæssigt ikke er relevant for bygningsejeren.

De øvrige 9 bygninger viste sig, af forskellige årsager, at være uegnede med hensyn til de tekniske og brugerrelaterede parametre:

Indeklimaets PCB-niveauer:

I mange af bygningerne var PCB-niveauerne så høje, at den luft, der skulle ventileres gennem drækanalen, ville have haft en forholdsvis høj PCB-koncentration, med mindre dræncapacitet til følge. Derfor ville luftdræningssystemet alene ikke være tilstrækkelig til at nedbringe PCB-niveauet i disse lokaler til under Sundhedsstyrelsens nedre aktionsværdi, som lyder på 300 ng PCB/m³ luft (*ref. Sundhedsstyrelsen. 2011*). Dermed ville supplerende tiltag til nedbringelse af PCB-niveauet have været nødvendige. Disse supplerende tiltag ville på den ene side have interfereret med luftdræningssystemets

effekter og på den anden side have undergravet en af systemets udtalte fordele, nemlig den skånsomme, hurtige og ikke-støvende etablering.

Fuger mellem tunge og lette bygningsdele:

Et andet problem var placeringen af fugerne. I 6 af bygningerne var fugerne placeret mellem tunge og lette bygningsdele (vinduer, døre eller lette facadeelementer). Største barriere var, at de lette bygningsdele stod til udskiftning, hvorved etablering af luftdræningsmetoden ikke længere var interessant for bygherrerne.

Udformning af elementsamlinger:

I en af bygningerne, med en PCB-holdig fuge mellem tunge bygningsdele, lå fugen utilgængelig flere centimeter bag vægoverfladen. For at kunne fjerne fugemassen, ville det være nødvendigt at fjerne en del af et tilstødende betonelement. Fugens dybde ville derudover gøre det umuligt at tætte alle revner i hulrummet bag fugen, hvilket er en forudsætning for metodens anvendelse.

I et andet tilfælde var fugehulrummet kun 5 mm dybt og helt fyldt med fugemasse, som havde vedhæftning til fugens flanker samt bagsiden. Det var derfor ikke muligt helt at fjerne primærkilden med ikke støvende metoder, hvorfor systemets udtalte fordel – den skånsomme, hurtige og ikke støvende etablering af luftdræningsmetoden – faldt bort.

Anvendelse af bygningen/lokalet:

5 af bygningerne var beboelsesejendomme – plejehjem eller boliger. Ikke kun selve etableringen, men også drift og vedligehold af luftdræningssystemet kræver adgang til lokalerne. I kontorer eller skolebygninger er servicering af systemet muligt uden særlige tiltag. I beboelsesejendomme er det nødvendigt, at hver eneste beboer tillader regelmæssig adgang til systemet. For bygningsejere var dette et afgørende argument for, at de i givet fald vil vælge en anden renoveringsmetode, idet det kan indebære en krævende proces at skaffe adgang til udlejede boliger.

Derudover er det ønskeligt, at pumperne er i drift i mindst halvdelen af døgnet. Hvis pumperne ikke er lydløse, vil systemet ikke være egnet til boliger, som ofte er i brug døgnet rundt (plejehjem m.m.).

Idet mange af bygningerne blev fravalgt på grund af de tekniske/brugerrelaterede parametre, har der ikke været dialog med alle bygherrer om de projektrelaterede parametre.

2.4.1 Pilotprojekt med fuldskalaforsøg

I en skole i Hillerød Kommune blev der i 2012 konstateret forekomst af PCB i indeklimaet i den del af skolen, der er konstrueret som betonskeletbyggeri. Der blev konstateret PCB-niveauer mellem ca. 1.000 og 3.000 ng/m³ i luften. Efter kortlægning af PCB-forekomsten kunne primærkilden identificeres som elastiske fuger mellem betonelementer. På denne baggrund blev en renovering af hele skolen besluttet, herunder fjernelse af primærkilderne og forbedring af ventilationsforholdene. I den forbindelse stillede projektpartner, Hillerød Kommune, to forsøgslokaler og et referencelokale til rådighed for gennemførelse af et pilotprojekt.

Der blev udvalgt to tilstødende faglokaler (M1 og M2) i en fløj af bygningen til gennemførelse af fuldskalaforsøget og et referencelokale (B1) i en anden fløj til referencemåling af PCB-koncentrationen i indeklimaet.

2.4.1.1 Bygningsforhold ved overtagelse af forsøgslokaler

Bygningen er konstrueret som en Fynsplanskole, dvs. som betonskeletkonstruktion med fladt tag. De PCB-holdige fuger er placeret indvendigt mellem skillevæggens betonelementer til lukning af det lodrette betonelementmelletrum. Derudover er samme fugemasse lagt i en vandret not, der

dannes mellem skillevæggene og betonoverliggeren. Noten er kun ca. 0,5 cm dyb og fugemassen har vedhæftning til begge fugeflanker og fugebagsiden.

PCB-koncentrationen i den indvendige bløde fugemasse er varierende og målt til mellem ca. 110.000 og 135.000 mg/kg. I en fuge i kælderen er der målt 336.000 mg/kg.

Der er ikke fundet andre primærkilder i lokalerne. De øvrige bygningsdele fremstår som følgende:

- Gulve: Linoleumsgulve
- Vægge: Hvidmalede betonoverflader
- Loft: Betondæksunderside, malet. Mellem betondragere er der opsat systemloft af perforerede metalprofiler ilagt en akustikdug.

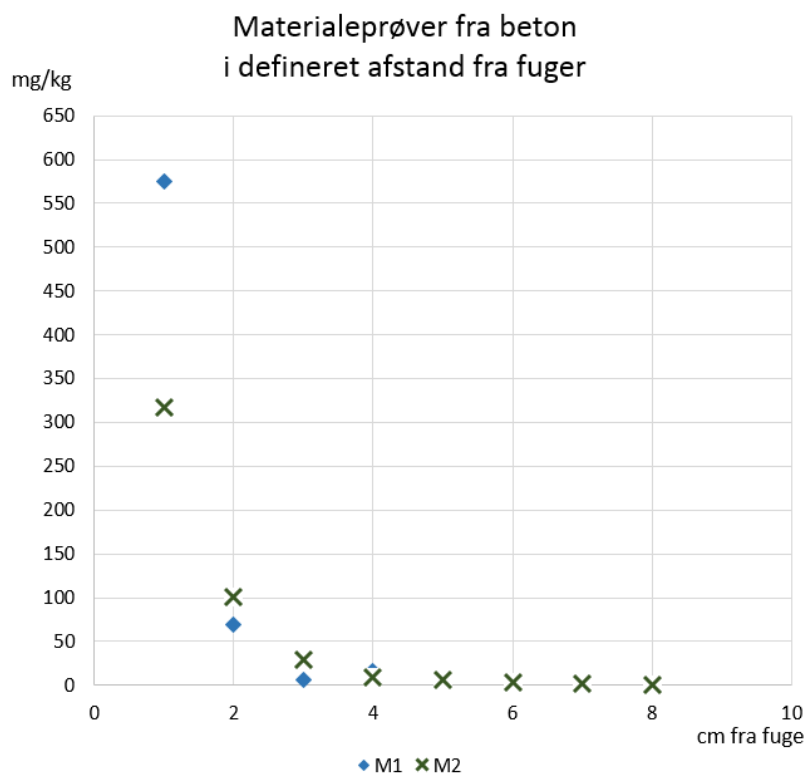
Inden overtagelse af forsøgslokalerne og som en del af kommunens andel af renoveringsprojektet blev primærkilden fjernet fra fugerne. Entreprenøren på opgaven valgte at anvende et hurtiggående elektrisk værktøj langs med fugeflankerne.

Derudover blev der etableret nyt mekanisk ventilation i alle lokaler, dvs. også i forsøgslokalerne. Ved overtagelse af forsøgslokalerne var en grundig rengøring af lokalerne nødvendigt, hvilket efterfølgende blev udført i testlokalerne.

2.4.1.2 Forundersøgelser

Inden etablering af drænsystemet, men efter fjernelse af primærkilden, blev der udført forskellige forundersøgelser, herunder blev der udført luftmålinger i forsøgslokalerne og i referencelokalet. Disse målinger viste, at PCB-niveauet i indeklimaet var forhøjet i forhold til de koncentrationer, der blev målt inden renoveringen og som lå til grund for udvælgelse af lokalerne til pilotprojektet. Dette kunne henledes til, at fjernelsen af primærkilden fejlagtig blev udført med hurtiggående værktøj, dvs. ikke i tråd med luftdræningsmetodens idé om skånsomme indgreb. Det blev derfor besluttet at vente med etablering af luftdræningssystemet, indtil PCB-niveauerne i indeklimaet havde stabiliseret sig. Dette blev opnået i april 2014, hvor der i indeklimaet i forsøgslokalerne, samt i referencelokalet blev målt 2.500 ng/m³ i forsøgslokale M1, 3.734 ng/m³ i forsøgslokale M2 og 3.401 ng/m³ i referencelokale B1. For beskrivelse af målemetoden henvises til bilag 4: Målemetoder.

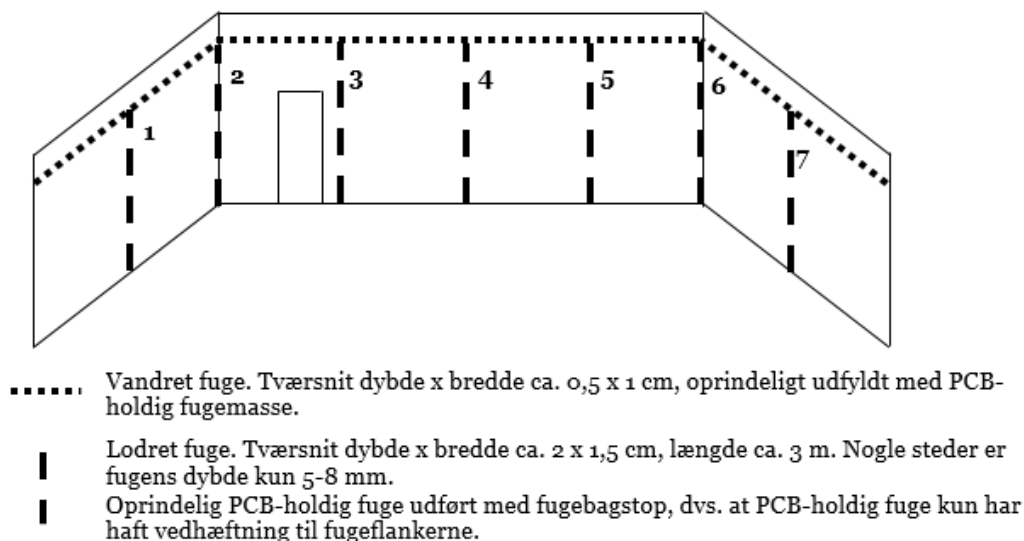
Derudover blev der udtaget PCB-prøver fra betonelementerne ved siden af de elastiske fuger til bestemmelse af PCB-niveauet i fugeflankerne, inden etablering af luftdræningsmetoden. Disse prøver blev udtaget ved at skære en betonklods ud af væggene og findele klodsen på laboratoriet til udtagelse af PCB-prøver i en fast defineret afstand til fugen. Prøveresultaterne er vist i figur 6.



FIGUR 6: PCB-MATERIALEPRØVER FRA FUGEFLANKERNE I FORSØGSLOKALERNE M1 OG M2.

2.4.1.3 Etablering af luftdræningssystemet

Placering af fugerne i lokalerne fremgår af principskitzen i figur 7. For de lodrette fuger er der angivet fugenumre. Der er ingen relevante fuger i facaden.



FIGUR 7: PRINCIPSKITSE FOR PLACERING AF LUFTDRÆNINGSSYSTEMETS FUGER.

Ved etablering af systemet var følgende håndværksfag involveret: nedriver/miljøsanitør, fugemontør og elektriker, samt teknikere fra Teknologisk Institut. På et indledende on-site-møde med G. Tscherning A/S og Teknologisk Institut blev forholdene i den konkrete bygning vurderet, og det blev sammen med håndværkerne diskuteret, hvilke arbejdsmetoder og monteringsløsninger,

der vil give det bedste resultat i forhold til opfyldelse af de i luftdræningsmetoden definerede funktionskrav.

Under dette møde viste det sig, at tværsnittet af den vandrette fuger var så lille, at det ikke var muligt at etablere et hulrum bag den nye fuger, se figur 8. Det blev derfor besluttet ikke at inddrage de vandrette fuger som drækanaler i fuldskalaforsøget, selv om det betyder, at PCB-niveauet i indeklimaet i forsøgslokalerne vil være lidt højere end, hvis fugerne var blevet koblet på luftdræningssystemet. Konsekvensen vil være, at den luft, der bliver ført igennem luftdræningskanalerne, vil have et lidt højere PCB-niveau, og kapaciteten af denne luft til at bortventilere det PCB, der afgives fra fugerflankerne (sekundærkilderne), vil være lidt mindre. Projektets overordnede spørgsmål, hvorvidt luftdræningsmetoden kan reducere PCB-niveauet i indeklimaet og om PCB-indholdet i sekundærkilder vil kunne sænkes, ville stadigvæk kunne besvares.



FIGUR 8: VANDRET FUGE MED MEGET LILLE TVÆRSNITSAREAL OG REVNE I BAGSIDEN AF FUGEN.

Til etablering af den lodrette fuger blev der besluttet og udført en finrensning af fugerne for at fjerne synlige rester af primærfugen. Sprækker og revner i drækanalen blev lukket med fugemasse, så drækanalen blev tæt på bagsiden. Hvor fugerne ikke var dybe nok til, at der kunne dannes en drækanal bag fugebagstop, blev bunden af drækanalen udvidet. Derefter blev der isat et lavprofil fugebånd som fugebagstop. Fugen blev etableret oven på fugebagstop. Der blev anvendt en almindelig bygningsfugemasse, Sikaflex AT-connection. I figur 9 vises udformning af drækanal med fugebagstop og fuger.



FIGUR 9: LODRET DRÆNKANAL ILAGT FUGEBAKSTOP OG NY FUGE.

På grund af fugernes lille dybde og lille tværsnit var det ikke muligt at indlægge et varmelegeme til opvarmning af fugerne. Pumpeenheden blev monteret i toppen af fugen, dog ikke skjult, idet der

ikke var nedhængt loft, se figur 10. Der blev monteret studsere til luftindtag og -udsug i henholdsvis bund og top af fugen. Studsene udgøres af 16 mm installationsrør. Studsen til luftindtag i bunden af fugen blev afdækket, for at forhindre skader på studsen. Til afdækning blev der anvendt et blænddæksel i ramme på underlag, se figur 11.



FIGUR 10: MONTERET PUMPEENHED.



FIGUR 11: AFDÆKNING AF VENTILATIONSINDTAG I BUNDEN AF EN FUGE MED BLÆNDDÆKSEL I RAMME PÅ UNDERLAG.

Under etablering af de nye fuger foran drækanalen blev der udført kontrol af luftflowet på den halve længde af en drækanal. Kontrollen blev udført ved at udlægge røg, som viste, at der var luftgennemstrømning i drækanalen.

Efter endt etablering af alle fugerne blev der til kvalitetssikring af luftgennemgang i drækanalerne udført flowmålinger i alle 14 fuger. Til målingen blev pumpeenheden tilsluttet og tændt, og der blev tilsluttet et kugleflowmeter ved luftindtaget. Ved denne metode var det ikke muligt at konstatere flow gennem de færdige drækanaler.

Der vurderes at være flere mulige årsager til den manglende luftgennemgang:

- De færdige drækanaler i pilotforsøget har et betydeligt mindre tværsnit end ved den forud for dette projekt udførte proof-of-concept forsøg. Modtrykket til etablering af en luftstrøm i drækanalerne kan derfor være stor og muligvis større end pumpeenhedens kapacitet.
- På grund af fugernes lille dybde blev der anvendt et særligt lavprofil fugebånd som bagstop. Når der påføres for meget fugemasse på fugebagstoppet, kan dette blive presset ind i drækanalen, så dens tværsnit bliver reduceret, evt. helt blokeret.
- Ved nedtagning af drænsystemet blev det konstateret, at fugeklatter kan have indsnævret drækanalens tværsnit omkring studserne til luftindtag og -udtag, se figur 12. Derudover blev det konstateret, at der lå meget mineralsk støv i bunden af drækanalerne, som kan

have mindsket drænkanalens tværsnit ved luftindtaget. Støvet kan stamme fra huller til fastgørelse af studsafdækningerne over luftindtagene nederst i drænkanalerne. I nogle tilfælde var hjørner af betonen knækket af under montagen af afdækningerne. Dette kan have medvirket til, at der er blevet suget 'falsk' luft ind i kanalen, hvilket har medført, at der ikke var luftgennemstrømning i hele kanalens længde.



FIGUR 12: FUGEKLAT, DER INDSNÆVRER DRÆNKANALES TVÆRSNIT VED LUFTUDTAG
(FOTO TAGET EFTER FJERNELSE AF STUDS TIL LUFTUDTAG).

2.4.1.4 Drift af luftdræningsmetoden

Luftdræningssystemets idrifttagning fulgte tidsplanen for det øvrige renoveringsprojekt og blev foretaget syv måneder efter etablering af drænkanalerne. Luftpumpernes timere blev programmeret til pumpedrift fra kl. 21 om aftenen til kl. 6 om morgenen.

I driftsperioden blev pumpeenhedernes kulfiltre udskiftet én gang efter ca. 5 måneder.

2.4.1.5 Luftmålinger

Der blev udført målinger af PCB-indholdet i forsøgslokalerne og referencelokalets rumluft undervejs i drænsystemets driftsperiode. Derudover er PCB-indholdet i luft, der suges fra luftudtag i toppen af de 14 drænkanaler, målt.

I figur 13 er udviklingen af PCB-indholdet i rumluften (fuldt optrukne grafer) og tilhørende inde- og udeluftstemperaturer (stiplede grafer) vist. For uddybende informationer, se bilag 5: Logbog luftmålinger.

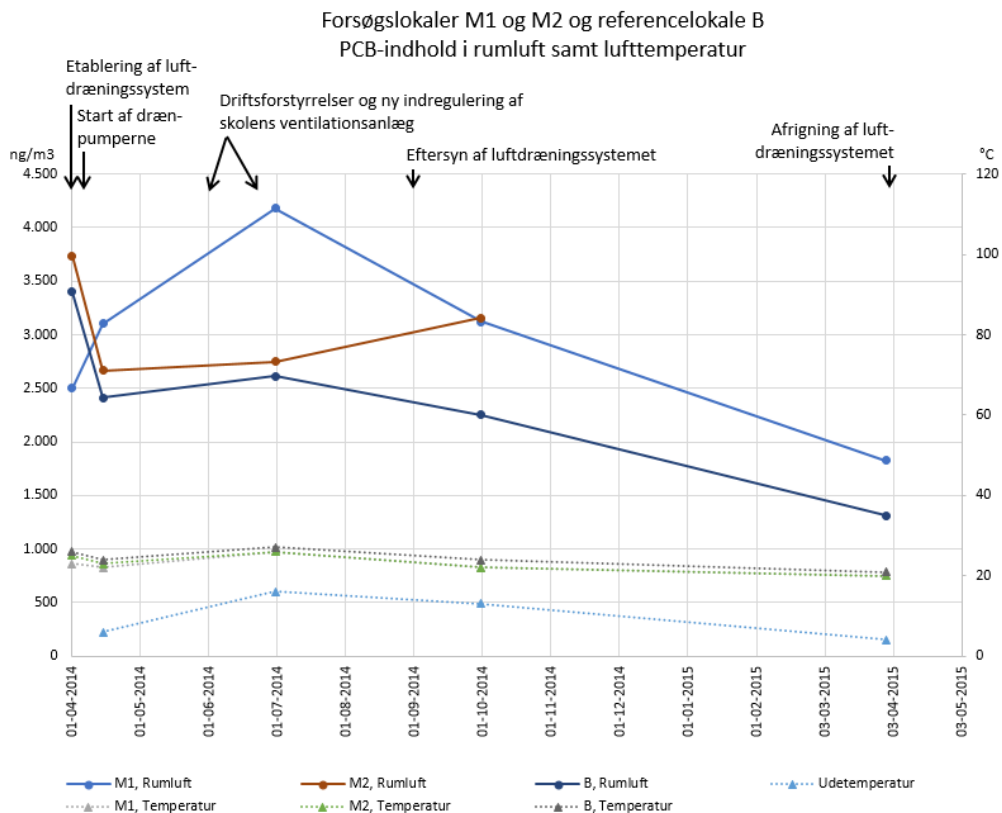
Den første måling er en initial referencemåling i indeklimaet, som er udført dagene inden, at luftdræningssystemet er taget i brug, dvs. inden der er blevet tændt for drænpumperne. Henholdsvis 2 uger og 3 måneder efter idriftsætning af drænpumperne er der udført måleserier, hvor der måles i indeklimaet og i hver af fugerne. Resultaterne er vist i figur 13, 14 og 15.

Midt i 2014 viste det sig, at markedspotentialet for luftdræningsmetoden var mindre end først antaget, og der blev i styregruppen besluttet at ændre fokus i projektet. Derfor blev der 6 måneder efter idrifttagning af drænpumperne kun udført én yderligere måleserie i indeklima og i hver fuge.

Efter endt afrigning af drænpumperne i starten af april 2015 blev der afsluttende udført en indeklimatemåling i M1, M2 og B. Resultater er vist i figur 13. Ved denne måleserie opstod der en fejl med pumpen i M2, hvorfor der ikke foreligger noget resultat af denne måling.

Som det ses af figur 13 følger udvikling af PCB-indholdet i referencelokalets indeluft udviklingen af udetemperaturen.

PCB-niveauerne i udsugningsluften fra de forskellige drænkanaler ligger meget spredt fra under 20.000 ng/m³ til over 250.000 ng/m³ luft, se figur 14 og 15. Ved fem ud af ti serier kan der ses en vis sammenhæng mellem PCB-niveauets svingninger og lokalets temperatur.



FIGUR 13: PCB-INDHOLD I INDELUFTEEN I REFERENCELOKALERNE M1 OG M2, SAMT I FORSØGSLOKALE B. PCB-INDHOLDET ER VIST PÅ VENSTRE Y-AKSE. PÅ HØJRE Y-AKSE ER DER VIST LUFTEMPERATUREN MÅLT I LOKALERNE OG UDENDØRS.

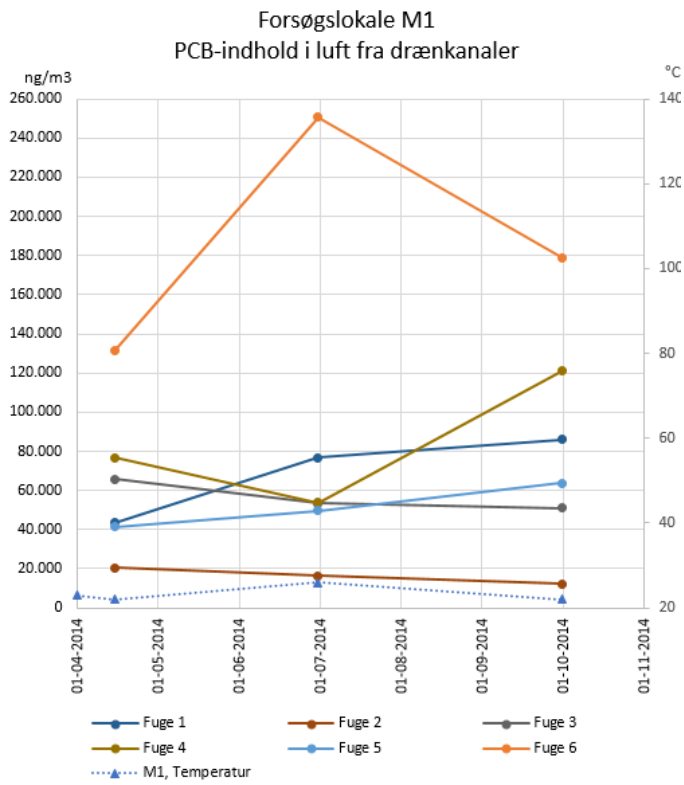
Stigning i PCB-indholdet i forsøgslokale M1's rumluft ved luftdræningens opstart kan ikke umiddelbart forklares. Muligvis stammer den fra en stigning af PCB-indholdet fra fuge 6 (se figur 14) i samme lokale. PCB-indholdet i dens udsugningsluft er forholdsvis højt og stiger fra midt i april til starten af juni. I næste periode falder både fugeluftens PCB-indhold og rumluftens PCB-indhold. Der kan være tale om PCB-holdigt støv, der er blevet suget ud, inden luftdræningssystemet har opnået sin normale funktion.

I forsøgslokale M2 er der en stigning i PCB-indholdet i rumluften fra starten af juli til starten af oktober, som ikke kan forklares ud fra almindelige temperaturudsving. Der har i tiden op til målingen været driftsforstyrrelser af skolens mekaniske ventilationsanlæg i den fløj, hvor forsøgslokalerne er placeret. Derudover viser resultater af målinger i udsugningsluften fra fuge 6 en stigning i PCB-indholdet. Det kan ikke siges, om dette har haft indflydelse på PCB-niveauet i lokalets indeklima.

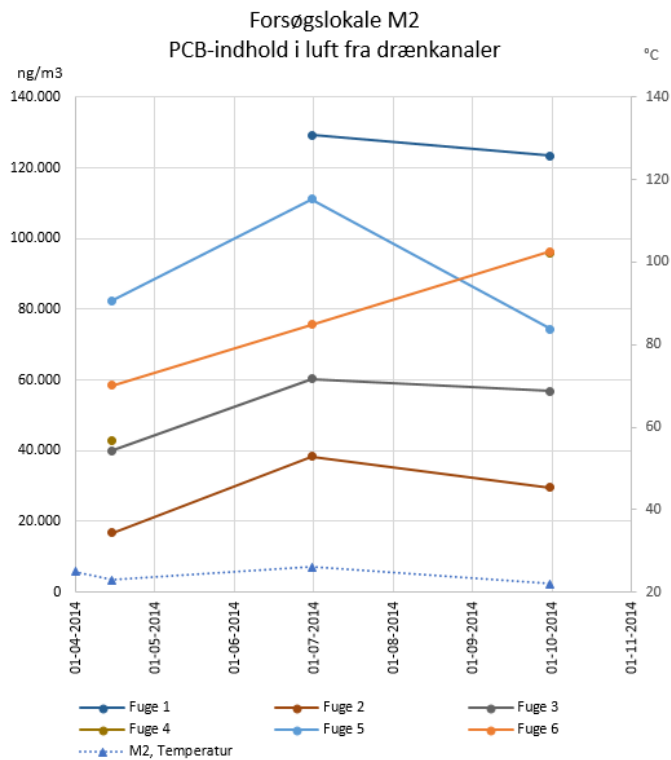
Sidst i august 2014 er kulfiltrene i drænpumperne skiftet. I den følgende måling konstateres et fald af PCB-indholdet i indeluften i lokale M1 og i referencelokalet, samtidig med at udelufttemperaturniveauet falder.

Samlet set er der i forsøgslokalerne M1 og M2 ikke registreret et fald i PCB-indholdet i indeluften, som er større end de temperaturbetingede årstidsvariationer, som kan ses i referencelokale B.

Derfor vurderes det på baggrund af nærværende resultater ikke muligt at kunne konkludere, at luftdræningssystemet har haft en reducerende effekt på PCB-indholdet i indeklimaet.



FIGUR 14: FORSØGSLOKALE M1: PCB-LUFTMÅLINGER I UDSUGNINGSLUFT FRA DRÆNKANALERNE.



FIGUR 15: FORSØGSLOKALE M2: PCB-LUFTMÅLINGER I UDSUGNINGSLUFT FRA DRÆNKANALERNE.

Der er ikke udtaget prøver fra beton til måling af eventuel reduktion af PCB-indhold i fugeflankerne, idet luftmålingerne ikke har givet indikation af, at der er sket en ændring i PCB-niveauet, som kan henledes til luftdræningssystemet.

2.5 Delkonklusion

Det har i projektets forløb vist sig at være en udfordring at finde ejendomme, der faldt i målgruppen for anvendelse af luftdræningsmetoden som konkurrencedygtig PCB-renovering. Det er tekniske og brugerrelaterede forhold, der betyder, at luftdræningsmetoden i mange tilfælde generelt ikke er attraktiv for en professionel bygherre, samt projekterelaterede forhold, der betyder, at luftdræningsmetoden ikke var attraktiv for de professionelle bygherrer med mulige cases til pilotprojekter inden for dette projekts regi.

De tekniske forhold kræver blandt andet, at PCB-niveauerne i indeklimaet ikke er for høje. Er det tilfældet, vil luftdræningsmetoden alene ikke være tilstrækkelig til at nedbringe PCB-niveauet i indeklimaet til et acceptabelt niveau. Derfor vil andre renoveringstiltag være nødvendige og de udtalte fordele af systemet vil gå tabt. Dernæst er placering af fugen af betydning. Er fugen placeret mellem tunge bygningsdele, skal der være plads til etablering af en drækanal med tilstrækkeligt stort tværsnit, hvilket i flere tilfælde har vist sig ikke at være muligt. Derudover har fugen i flere bygninger været placeret mellem tunge bygningsdele og lette facadeelementer. På grund af anvendelsesperioden af PCB-holdig fugemasse og levetiden af de lette facadeelementer står disse elementer højst sandsynligt til udskiftning i den nærmere fremtid. I så fald vil de almindeligt anvendte renoveringsmetoder (bortskæring og forsegling, eller lignende) være mere hensigtsmæssige.

Som brugerrelaterede barrierer for metoden har bygherrer nævnt, at den regelmæssige service af pumpeenhederne til fx skift af kulfiltre kræver adgang til lokalerne. Dette er i udlejningsejendomme forbundet med en krævende administrativ proces, hvilket strider imod bygningsejernes generelle bestræbelser, og derfor er det en afgørende barriere. For bygninger til beboelse gælder derudover, at selv en lille lydbelastning fra pumpeenhederne kan være til gene. Placeringen af pumpeenhederne i boligerne indebærer derfor en risiko for, at enten lejere klager over lydgener eller slår luftdræningssystemet fra, hvilket bygherrerne anså som en vigtig barriere. På baggrund af disse erfaringer er forventningerne til systemets markedspotentiale blevet markant nedjusteret.

Under udvikling af den praktiske del af luftdræningsmetoden har pumpeenhedens produktion været en udfordring. For at holde prisen på pumpeenhederne nede blev det vurderet hensigtsmæssigt at lade produktionen foregå i Kina. Kommunikationen og samarbejde over lang distance og med en vis sprogbarriere viste sig at være krævende og behæftet med risiko for misforståelser.

Det udførte fuldskalaprojekt har derudover synliggjort systemets kompleksitet. Der er mindst tre håndværksfag involveret i etablering af systemet, hvilket øger risikoen for mangler, er fordyrende og øger behovet for at koordinere delopgaverne i forbindelse med etablering af systemet. Derudover er etablering af systemet teknisk krævende, så en udbredt anvendelse af håndværkere, der ikke er fortrolige med systemet, anses for urealistisk. Også dette er en fordyrende faktor.

Under pilotprojektet er PCB-indholdet målt i indeklimaet i to forsøgslokaler og et referencelokale, samt i udsugningsluften fra hvert luftdræningskanal. Der er under anvendelse af luftdræningssystemet i forsøgslokalerne M1 og M2 ikke registreret et fald i PCB-indholdet i indeluften, som er større end de temperaturbetingede årstidsvariationer, som kan ses i referencelokale B.

Derfor vurderes det på baggrund af nærværende resultater ikke muligt at kunne konkludere, at luftdræningssystemet har haft en reducerende effekt på PCB-indholdet i pilotprojektets indeklime. Det skal tages i betragtning at fjernelsen af primærkilden ikke udelukkende er foregået med de mest skånsomme metoder, samt at det under etablering af luftdræningssystemet har været udfordrende at skabe fuld luftgennemgang gennem kanalerne. Disse forhold vurderes at være årsag til udeblivelsen af luftdræningsmetodens PCB-reducerende effekt, hvilket var blevet observeret i proof-of-concept, gennemført forud for projektet. Under hvilke omstændigheder der vil kunne opnås en PCB-reducerende effekt, er ikke nærmere blevet undersøgt, eftersom systemets markedspotentiale har vist sig at være begrænset.

3. Boremelsesmetode

Dette delprojekt omhandler udvikling af en simpel metode til udtagning af prøver i beton til analyse for PCB. Metoden benytter prøvetagning fra borehuller og omtales i det følgende som boremelsesmetoden. I første fase udvikles metoden til udtagning af prøvematerialet. Delprojektets anden fase omhandler sammenligning af resultater opnået med den nye prøvetagningsmetode med hidtil anvendte metoder, for at danne et bedømmelsesgrundlag for analyseresultaternes pålidelighed. Analyse af PCB-indholdet i materialet foretages på laboratorium på traditionel vis (se bilag 4: Målemetoder).

Under håndtering af PCB-forureneede bygninger er der, både i forbindelse med renovering og nedrivning, ofte et behov for omfattende prøvetagning for bestemmelse af PCB-indholdet i byggematerialer. Prøvetagningsmetoden for PCB i mineralske materialer, som fx beton, udføres i dag destruktivt ved at skære eller udmejsle større områder af betonelementer ud, for at måle PCB-indholdet i specifikke punkter af materialet, blandt andet til opstilling af indtrængningsprofiler bag elastiske fuger. Dette er et større indgreb, som ofte kræver brug af tungt og kraftigt værktøj, kan medføre, at armering overskæres, er bekosteligt og ikke altid muligt.

Manglende kendskab til PCB-indholdet i specifikke punkter i materialet er ofte årsag til, at der – ud fra et forsigtighedsprincip – fjernes mere materiale end nødvendigt. Der er derfor behov for udvikling af en simpel metode til udtagning af små prøver til analyse af PCB i specifikke dybder af de efterladte kontaminede byggematerialer. En sådan metode vil være et afgørende led i udvikling af teknologier til fjernelse af PCB, og til reduktion af mængden af forurenede byggeaffald. En metode til udtagning af prøver i form af opsamling af støv fra borehuller skitseres i SBI-anvisning 241 (*ref. Andersen, H.V., 2013*). I anvisningen beskrives en sådan metodes begrænsninger og ulemper, primært i form af risikoen for, at analyse af det udborede materiale vil underestimere PCB-indholdet, på grund af varmepåvirkningen og deraf følgende afdampning af PCB fra boremelet. Der er derfor behov for, at der foretages en egentlig udvikling af en simpel boremelsesmetode, hvor det undersøges, hvorvidt PCB-indholdet i en boremelsprøve vil blive underestimeret i forhold til traditionelle metoder, fx udmejsling.

3.1 Udvikling af boremelsesmetoden

Udviklingen af boremelsesmetoden omfatter udvikling af selve prøvetagningsprocessen, så prøvetagningen kan udføres sikkerheds- og miljømæssigt forsvarligt, samt at boremel kan opsamles i den definerede dybde/afstand, fornødne mængde og kvalitet. Derudover skal boremelsesmetoden udvikles således, at krydskontaminering eller fortynding så vidt muligt forhindres.

En ny metode til prøvetagning skal være let at anvende i praksis og give pålidelige resultater. Dette er de væsentligste forudsætninger for, at metoden vil opnå væsentlig udbredelse og anerkendelse. Forhold, der har været vurderet i forbindelse med udviklingen af metoden, er:

Udførelse uden brug af specialværktøj

- Det er ønskeligt, at prøvetagningen så vidt muligt kan foretages ved hjælp af almindeligt håndværktøj, der findes i en 'almindelig værktøjskasse', og uden store sikkerheds- og miljømæssige foranstaltninger. Det er samtidig et ønske, at prøvetagningen kan foretages af fx håndværkere eller rådgivere og udføres efter en kort instruks.

Opvarmning af prøvemateriale

- Under boring i beton udvikles meget varme. Varmen vil kunne påvirke indholdet af PCB i prøvematerialet. Der ønskes derfor udviklet en fremgangsmåde, der begrænser varmeudviklingen mest muligt.

Opsamling af prøvemateriale

- Det er vigtigt, at prøvetagningsproceduren tager hensyn til risici for krydskontaminering og inhomogenitet af materialet. Under udtagning og opsamling af prøvemateriale er der risiko for, at én prøve forurenes af prøvemateriale fra en anden. Benyttes det samme værktøj til flere prøvetagninger er der mulighed for, at værktøjet kan forurene prøverne. Derudover giver materialets inhomogenitet ofte udfordringer i forbindelse med opsamling af repræsentativt prøvemateriale, især ved små prøvestørrelser.

Disse emner behandles uddybende i de følgende afsnit.

3.1.1 Prøvetagningsværktøj

Det er valgt at anvende en slagboremaskine monteret med et almindeligt betonbor, da det er 'almindeligt', lettilgængeligt og let håndtérbart værktøj.

I samarbejde med en af projektpartnerne (G. Tscherning A/S) blev der indledningsvis udført en række forsøg med et særligt betonbor med indbyggede kanaler, beregnet for boring og bortsugning af boremel i én arbejdsgang. Betonbor og øvrigt værktøj til disse forsøg blev stillet til rådighed af projektpartneren. Dette bor blev dog fravalgt, da det viste sig svært at rengøre boret tilstrækkeligt til at undgå krydskontaminering af prøver. Endvidere indebar anvendelsen af boret, at der skulle benyttes en støvsuger og filter til opsamling af det udborede materiale. Opsamling af støvet er et andet aspekt af metoden, som beskrives nærmere i afsnittet om opsamling af prøvemateriale.

Ved ikke at benytte en boremaskine med aktivt sug til opsamling af boremelet opstår der dog en risiko for, at PCB-holdigt støv spredes under prøvetagningen. Det er derfor vigtigt, at prøvetageren benytter passende åndedrætsværn for at undgå eksponering. Ligeledes er det nødvendigt at foretage afdækning af prøvetagningsområdet til opsamling af støv og at foretage rengøring omkring prøvetagningsstedet efter prøvetagningen, såfremt der udtages prøver i lokaler, der fortsat benyttes. Erfaringen fra udviklingen af metoden viser, at der er stor forskel på støvspredningen, afhængigt af hvor kraftigt værktøj, der benyttes, samt materialets beskaffenhed (hårdhed).

Det kan være nødvendigt først at udbore/fjerne lidt af materialet, for derefter at opsamle boremel fra det område, som ønskes undersøgt. For det første for at sikre, at prøvematerialet udtages fra den ønskede dybde. Her kan der med fordel anvendes en boremaskine med stop, eller den korrekte dybde kan kontrolleres med en skydelære. For det andet for at fjerne malingslag og det yderste lag af betonens overflade, for at sikre, at eventuel PCB-holdig maling eller tertiærforurening af betonoverfladen ikke har indflydelse på prøvematerialet (se i øvrigt afsnit 3.1.4 Forholdsregler mod krydskontaminering og fortynding).

3.1.2 Opvarmning af prøvemateriale

Under prøvetagningen i mineralisk materiale udvikles der, foruden støv, også varme. Opvarmningen mistænkes at kunne påvirke PCB-indholdet i prøvematerialet. Ved varmeudviklingen under boringen opvarmes både bor og materiale. Under opvarmningen kan PCB afgasse fra det faste materiale og adsorberes i boremelet, således at den efterfølgende analyse vil overestimere PCB-indholdet i materialet. Tilsvarende kan opvarmningen af boremelet medføre, at PCB afgasser fra boremelet, således at en analyse vil underestimere PCB-indholdet.

For at udvælge en metode med mindst mulig varmeudvikling blev der indledningsvis udført en række forsøg med varierende borehastighed og diameter på det anvendte bor. Ved disse

undersøgelser blev der foretaget temperaturmålinger i borehul og -mel. Det viste sig, at varmeudviklingen under forskellige borehastigheder ikke gav anledning til højere temperatur i borehul og -mel ved høj borehastighed sammenlignet med lavere borehastighed. Dette svarer til erfaringer fra G. Tscherning A/S. Der blev ved de udførte forsøg målt temperaturer i boremelet på ca. 45-55 °C (målt med infrarød overfladetemperaturmåler). Af hensyn til temperaturstigningen af materialet er det derfor ikke fordelagtigt at foretage en særlig 'skånsom' boring. Der er dog en tendens til, at der sker en større spredning af støv, når boringen foretages ved højere omdrejningstal.

Der kunne under de indledende undersøgelser af varmeudviklingen under boring heller ikke konstateres forskel på temperaturen af borehul og boremel ved boring med forskellige borediametre, ø6, ø8 eller ø10 mm betonbor. Ligeledes konstateredes ingen temperaturforskkel ved 'opboring' af et forboret 6 mm hul til et 8 mm hul.

Damptrykket er generelt lavt for alle PCB-kongener (PCB-forbindelser), men damptrykket er meget afhængigt af temperaturen, og temperaturstigningen på boremelet under prøvetagningen kan medføre en forøget afdampning af PCB. Der findes i litteraturen beskrivelse af undersøgelser, der viser, at emissionsfaktoren for de undersøgte kongener stiger med en faktor 5-9 for hver 10 °C temperaturstigning i intervallet 10-50 °C (ref. Guo et al., 2011).

3.1.3 Opsamling af prøvemateriale

Forskellige metoder til opsamling af prøvematerialet er blevet vurderet.

Opsamling af støv på et membranfilter monteret i en filterkassette monteret på en støvsuger er en fremgangsmåde, der benyttes i andre sammenhænge, fx i forbindelse med støvopsamling til undersøgelse for allergener fra husstøvmider. Inspireret af denne metode blev der foretaget forsøg med opsamling af boremel ved hjælp af et lettere modificeret mundstykke beregnet til støvopsamling på membranfilter (Figur 16).



FIGUR 16: MODIFICERET MUNDSTYKKE TIL OPSAMLING AF BOREMEL. HER OPSAMLES BOREMEL PÅ ALUFOLIE MONTERET I MUNDSTYKKET (UDEN STØVSUGER).

Gennem et hul i mundstykket er det muligt at bore vandret ind i materialet, der ønskes undersøgt, og samtidig holde mundstykket mod materialet. Ved at montere mundstykket på en støvsuger er det samtidig muligt at opsamle det producerede boremel. Ved at opsamle boremelet med støvsuger er der dog risiko for, at den kraftige luftgennemstrømning vil forcere afgasningen fra prøvematerialets enorme overflade og dermed reducere PCB-indholdet.

Alternativt kan der foretages passiv opsamling af boremelet i en filterkassette. Anvendes en filterkassette, evt. monteret i et mundstykke, der kan holdes tæt mod materialeoverfladen, kan en del af støvsprengningen til omgivelserne undgås. Benyttes filterkassette og/eller mundstykke er det vigtigt at være opmærksom på risikoen for krydskontaminering prøverne imellem. Hvis det samme værktøj og mundstykke benyttes til at opsamle flere prøver er det vigtigt, at det rengøres mellem hver prøvetagning, da rester af boremel fra én prøve let kan overføres til en anden. Særligt i mundstykket er der risiko for, at der sætter sig boremel i/på overfladen.

Det viste sig mest praktisk at anvende engangsmaterialer til prøveopsamlingen. Her er der anvendt en plastpose med lynlås til opsamling af boremelet, som fæstnes til prøveemnet med et stykke tape. På grund af lynlåsen har posen en tendens til at 'klappe sammen'. Plastposen kan evt. holdes åben med en halv overskåret engangskop, som klemmes i posens åbning. Derefter overføres boremelet til en egnet emballage, fx aluminiumsfolie.

3.1.4 Forholdsregler mod krydskontaminering og fortynding

For at opnå adgang til egnet prøvematerialet i den ønskede placering (afstand fra primærkilde/dybde fra overfladen) i prøveemnet skal der overholdes forhold under boreprocessen, der minimerer risiko for krydskontaminering/fortynding af prøvematerialet.

Afhængig af primærkildens placering kan det være nødvendigt først at udbore/fjerne lidt af materialet og støvsuge hullet, for derefter at opsamle boremel fra det område, som ønskes undersøgt. Til at sikre, at prøvematerialet udtages fra den ønskede dybde, kan der med fordel anvendes en boremaskine med stop. Alternativt kan borehullets dybde kontrolleres med en skydelære. Når der er boret for til den ønskede dybde, udtages der boremel under yderligere 5-10 mm boring. Interval af boreddybden eller middeldybden og center af hullet benyttes til at angive afstanden til primærkilden. Opsamles der boremel fra fx kun 2 mm's yderligere boring vil det (teoretisk) være muligt at opnå en mere nøjagtig bestemmelse af PCB-indholdet i en given afstand fra primærkilden, men samtidig kan materialets inhomogenitet medføre, at det opsamlede boremel stammer fra en enkelt delkomponent i betonen (fx en sten), som ikke er repræsentativ for den gennemsnitlige PCB-koncentration i den givne dybde. Dette kan være svært at afgøre ud fra boremelets udseende.

Udtages der boremel fra flere dybder fra samme hul, er det vigtigt, at hullet forud for hver opsamling af boremel til analyse renses, fx støvsuges, således at boremel fra én dybde ikke blandes med boremel fra en anden dybde, og dermed 'forurener' prøvematerialet. Af hensyn til metodens enkelhed er den forsøgt anvendt uden den normalt anbefalede rengøring af prøvetagningsværktøj (her: betonbor) med acetone mellem de enkelte prøveudtagninger. En rengøring vil dog altid være påkrævet, hvor der bores i andre materialer end ren beton – eksempelvis igennem malingslag eller fugerester. I nævnte tilfælde skal udstyret rengøres inden yderligere prøvetagning.

Da mængden af prøvemateriale, der opsamles, er begrænset, kan betonmaterialets inhomogenitet påvirke analyseresultaterne. Benyttes et meget lille bor er der en (teoretisk) mulighed for, at det opsamlede prøvemateriale udelukkende stammer fra en sten i tilslagsmaterialet, hvor PCB-koncentrationen er væsentligt lavere, end den gennemsnitlige koncentration i betonen. Modsat er der en risiko for, at det opsamlede prøvemateriale udelukkende stammer fra et mere porøst område i betonen, hvor PCB-koncentrationen er højere end gennemsnittet. Indflydelsen af dette forhold på PCB-indholdet i boremelet er meget afhængigt af betonmaterialets sammensætning, herunder særligt tilslagsmaterialernes kornstørrelse.

Ved at benytte et bor med stor diameter mindskes risikoen for, at det opsamlede boremel udelukkende stammer fra én delkomponent i betonen. At benytte et større bor kræver dog en kraftigere boremaskine.

Til udtagning af prøvemateriale med boremetsmetoden er det tilstræbt at anvende en fremgangsmåde, der på den ene side tager højde for de kritiske forhold, der er identificeret under udviklingen af metoden. På den anden side er prøvetagningen tilstræbt udført så enkelt som muligt og under forhold svarende til dagligdagssituationer.

Disse overvejelser er indgået i prøveudtagning af boremelsprøver både i laboratorium og in-situ, som beskrives i næste afsnit.

3.2 Udtagning af prøver i laboratorium og in-situ

Overvejelserne fra det foregående afsnit om art af prøvetagningsværktøj, opvarmning af materiale, opsamling af boremel og forholdsregler mod krydskontaminering og fortynding er anvendt under udtagning af prøvemateriale til delprojektets anden fase.

Til afprøvning af metoden har G. Tscherning A/S og Statens Byggeforskningsinstitut været behjælpelige med at indhente betonemner fra 3 bygninger, der var under renovering, eller stod for at skulle renoveres. I serie 1-3 gengivet nedenfor er prøvematerialet udtaget i laboratoriet fra emner, der var skåret ud af konstruktionen. Serie 4 stammer fra en bygning, som en anden projektpartner, Hillerød Kommune, har stillet til rådighed. Her er prøvematerialet udtaget in situ i bygningen.

Fugens (primærkildens) indhold af PCB, ligesom kongen-fordelingen, varierer mellem de 4 serier. En samlet oversigt over kongenfordeling og det totale PCB-indhold i primærkilderne i de 4 serier er gengivet i Tabel 1 i afsnit 3.4.

3.2.1 Serie 1

Emnerne bestod af udvendige vinduesbrystninger, der var udtaget fra en kontorbygning. Prøverne blev udtaget fra brystningspladens betonramme (Figur 17). Betonen viste sig at have tilslagsmateriale med stor kornstørrelse, og var meget hård at bearbejde. Der er i denne serie boret ind i materialet fra den overflade, hvor fugen oprindeligt var placeret. Der er derfor udtaget boremelsprøver ved forskellige dybder i samme borehul.



FIGUR 17: SERIE 1. DELE AF BETONRAMMEN SES TIL VENSTRE I BILLEDET.

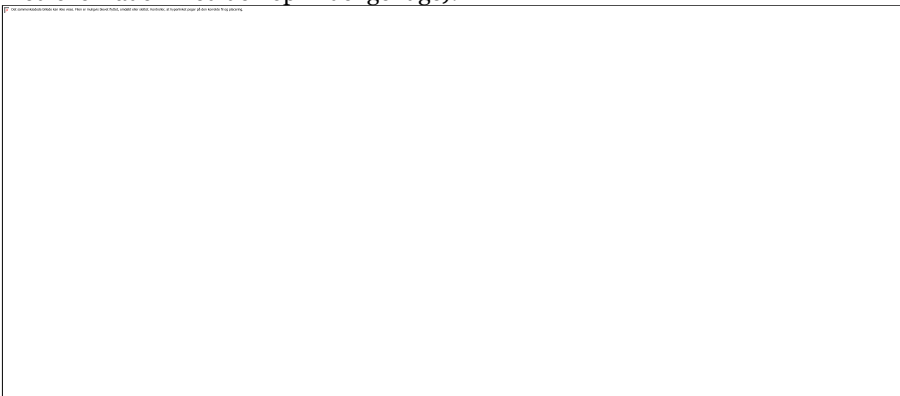
3.2.2 Serie 2

Disse emner er udskåret langs kanten fra indvendige døråbninger i et boligbyggeri. Emnerne er ca. 10 cm brede (Figur 18). Betonens tilslagsmateriale vurderes at have lille kornstørrelse.



FIGUR 18: SERIE 2. BETONEMNE MED RESTER AF FUGE.

I denne serie har der på grund af fugens placering på prøveemnerne været mulighed for at udtage prøver ved boremetsmetoden i to prøveserier. Prøveserierne er skematisk vist på Figur 19. I den ene serie (kraftig stiplet på figuren) er der boret et hul gennem den overflade, hvor fugen oprindeligt var placeret. Der er således boret for, og efterfølgende udtaget prøver i forskellige dybder i det samme hul. I den anden serie (fint stiplet på figuren) er der boret vinkelret på første boreserie og herved udtaget én prøve i hvert hul, som er boret i forskellige afstande af den oprindelige fuge (parallelt med overfladen med den oprindelige fuge).



FIGUR 19: TO PRØVEUDTAGNINGSTYPER: GENNEM FUGE (KRAFTIG STIPLET) OG I FORSKELLIG AFSTAND TIL FUGEN (FINT STIPLET).

3.2.3 Serie 3

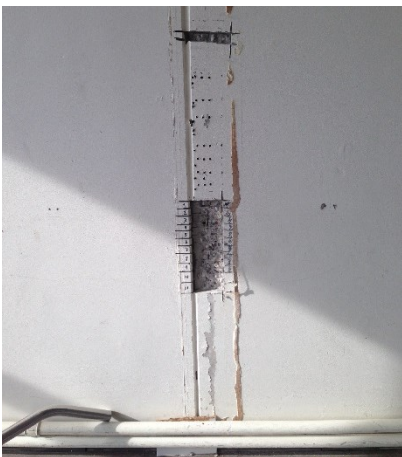
Disse emner er udtaget fra betonsøjler i en skole (Figur 20). Betonen vurderes at have tilslagsmateriale med mellem kornstørrelse (i forhold til serie 1 og 2). Der er i denne serie boret ind i materialet fra den overflade, hvor fugen oprindeligt var placeret. Der er derfor udtaget boremelsprøver ved forskellige dybder i samme borehul.



FIGUR 20: SERIE 3. PRØVEEMNE I LABORATORIET.

3.2.4 Serie 4

Disse emner er udtaget fra indvendige vægge i en Fynsplanskole. Prøvemateriale fra disse emner er udtaget in situ. Betonen vurderes at have tilslagsmateriale med kornstørrelse svarende til serie 3. Der er i denne prøveserie udtaget boremel fra forskellige borehuller og samme dybde i hvert hul. Boremelet er således udtaget fra hullet i forskellig afstand fra fugen (Figur 21).



FIGUR 21: PRØVEUDTAGINGSSTEDET FOR SERIE 4.

Det var oprindeligt planlagt at anvende yderligere 2 traditionelle metoder ud over boremeletmetoden: Udmejsling af materiale og udboring af større borekerner, der efterfølgende opskæres. For begge metoders vedkommende skal prøvematerialet nedknuses/findeles, inden det kan analyseres. Til nedknusningsproceduren findes ingen standardiseret procesbeskrivelse.

Udmejslingen sikrer prøvetagning uden opvarmning af materialet og reducerer risikoen for kontaminering gennem prøvetagningsudstyret. Ulempen er, at anvendeligheden af metoden er afhængigt af materialet. Er materialet meget hårdt, springer brudstykker af og der er risiko for forveksling af brudstykker og deres oprindelige placering i prøveemnet (afstand til primærkilden). Er betonen af meget dårlig kvalitet kan man risikere, at den smuldrer under bearbejdningen. Herved er der risiko for både forveksling af brudstykker og deres oprindelige placering i prøveemnet, samt at der er risiko for, at man ikke kan udtage alle de ønskede prøver fra alle ønskede placeringer, når betonen først er skallet af.

Den oprindeligt planlagte prøvetagning ved udtagning af borekerne viste sig svært at benytte i praksis. Metoden besværliggøres af, at der skal benyttes vand til køling, ligesom der ved udtagning af en borekerne med en gennemgående fuger er risiko for forurening af borekernen, idet fugemassen kan blive smurt rundt på borekernen under boringen. I 2 tilfælde var de tilgængelige prøveemner for små til, at der kunne udtages borekerner, ligesom der for prøveserien, udtaget på stedet i en bygning i brug, heller ikke var mulighed for at udtage borekerner. Der er derfor kun udtaget borekerner i serie 1.

Ved boremelmetoden er der af hensyn til materialets inhomogenitet opsamlet boremel fra 3 borehuller, der er analyseret som samleprøve. For at få sammenlignelige resultater er prøvematerialet, så vidt muligt, udtaget i samme afstand fra primærkilden ved alle 3 metoder. Boremelet behøver ikke yderligere nedknusning eller forberedelse før analyse i laboratoriet.

3.3 Valgt prøvetagningsprocedure

På baggrund af de overvejelserne og erfaringer fremlagt i de forrige afsnit er der derfor valgt at udtage prøver med følgende værktøj og metode:

- Slagboremaskine, 600 W
- ø 6mm betonbor
- Plastpose med lynlås til opsamling af boremel
- Tape til at fæstne lynlåsposen på prøveemnet
- Halv overskåret engangskop til at holde posen åben
- Evt. alufolie til at pakke boremel ind.

Der er udarbejdet en arbejdsbeskrivelse til prøvetageren, hvor anvendelsen af boremelmetoden er beskrevet separat og uden tilknytning til teksten i nærværende rapport. Beskrivelsen er opstillet og formuleret således, at den kan benyttes af personer, der ikke har særligt kendskab til PCB i bygninger, og/eller har erfaring med den praktiske metodik ved prøvetagning. Arbejdsbeskrivelsen er rigt illustreret med foto af praktiske forhold i forbindelse med prøvetagningen.

Arbejdsbeskrivelsen er gengivet i bilag 6: Vejledning til PCB-prøvetagning med boremelmetode
Arbejdsbeskrivelse til håndværker.

3.4 Sammenligning af resultater fra boremelmetoden med traditionelle prøvetagningsmetoder

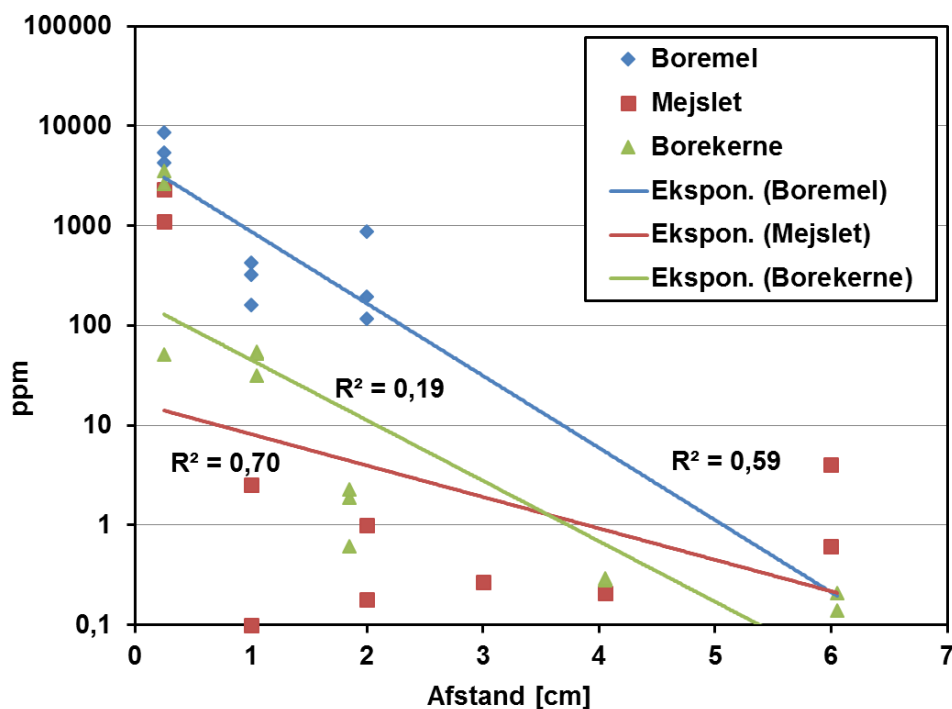
Resultaterne opnået ved både boremelmetode og de traditionelle prøvetagningsmetoder er grafisk fremstillet som indtrængningsprofiler. Der foreligger kun begrænset viden om indtrængningsprofiler (ref. Andersen et al., 2013 og Teknologisk Institut, 2014). Selv om der ikke foreligger præcis viden om den konkrete udformning af indtrængningsprofiler, så vides det, at PCB-koncentrationen i sekundært forurenede mineralske byggematerialer aftager eksponentielt med afstanden til primærkilden. På den måde kan resultaterne ikke kun sammenlignes prøvemethoderne imellem, men også i forhold til deres forventelige niveau i forhold til den viden vi har om indtrængningsprofiler. I Tabel 1 er kongenfordelingen og det totale PCB-indhold i primærkilden i de 4 forsøgsserier angivet.

Tabel 1 Primærkildernes kongenfordeling og totale PCB-indhold

	PCB 28 [ppm]	PCB 52 [ppm]	PCB 101 [ppm]	PCB 118 [ppm]	PCB 138 [ppm]	PCB 153 [ppm]	PCB 180 [ppm]	Total [ppm]
Serie 1	700	1.200	3.600	3.100	4.100	2.000	740	77.200
Serie 2	2.090	8.620	4.290	4.700	180	744	153	104.000
Serie 3	18	1.640	3.480	2.300	2.150	2.060	363	60.000
Serie 4	7.600	14.200	6.020	4.530	910	430	86	168.880

På de følgende figurer er resultaterne angivet separat for hver serie. Figureerne viser PCB-koncentrationen i de udtagne prøver (lodret akse) som funktion af afstanden til primærkilden (PCB-holdig fugt) (vandret akse). Figureerne viser resultaterne opnået ved boremels-metoden sammenlignet med resultater opnået ved prøvet udtaget ved mejsling og/eller fra borekerne. Figureerne er udformet således, at akserne dækker samme interval for alle 4 serier.

3.4.1 Serie 1



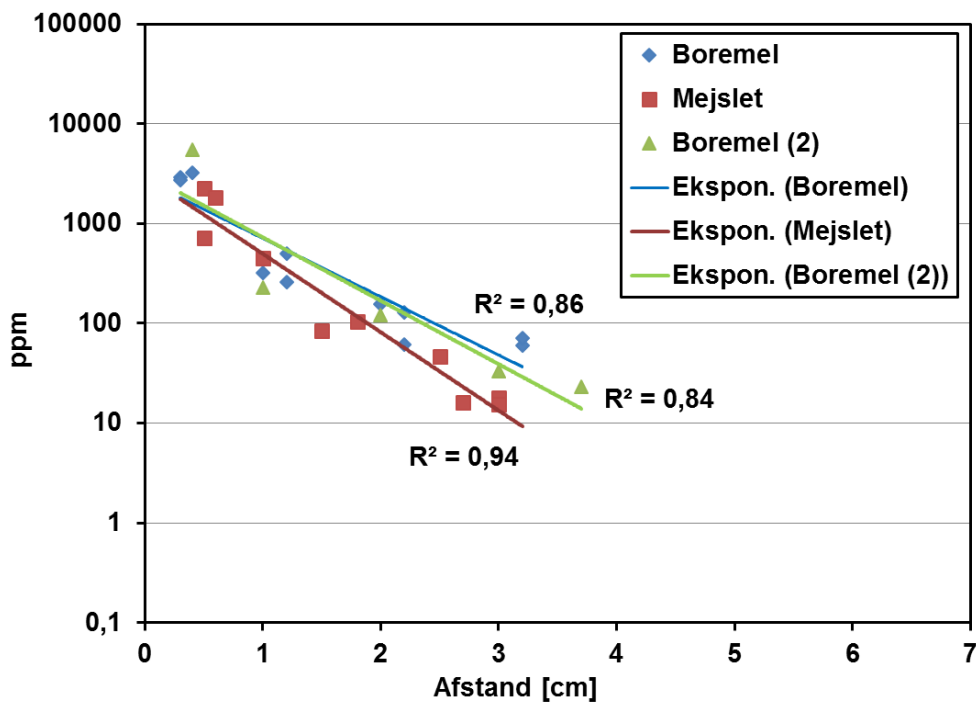
FIGUR 22: SERIE 1, RESULTATER FOR BOREMELSPRØVER (BLÅ), UDMEJSLEDE PRØVER (RØD) OG PRØVER UDTAGET FRA STORE BOREKERNER (GRØN).

De blå punkter (samt tendenslinje) på Figur 22 viser koncentrationer målt i boremel. De røde punkter (og tendenslinje) viser koncentrationer målt i prøver udtaget ved mejsling. Grønne punkter (og tendenslinje) angiver koncentrationer målt i prøver udtaget fra borekerne.

Denne prøveserie er den eneste, for hvilken der er foretaget analyse af prøver udtaget fra borekerner. Det ses, at en eksponentiel regressionslinje med rimelighed passer på de målte koncentrationer ved boremelmetoden og i borekerne. De målte koncentrationer i prøver udtaget ved mejsling viser stor variation og kan kun svært forklares ved en eksponentiel funktion. Deres determinationskoefficient (R^2) for den eksponentielle funktion kan kun forklare ca. 20 % af den observerede variation.

Det ses af resultaterne i serie 1 (Figur 22), at boremelmetoden finder højere PCB-indhold i materialet end de to øvrige metoder.

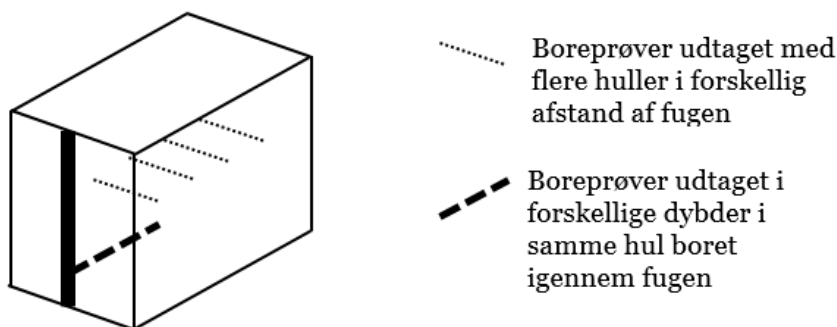
3.4.2 Serie 2



FIGUR 23: SERIE 2, RESULTATER FOR TO RÆKKER AF BOREMELSPRØVER (BLÅ OG GRØN) OG EN RÆKKE AF UDMEJSLEDE PRØVER (RØD).

På Figur 23 viser de blå punkter (samt tendenslinje) koncentrationer målt i boremel ved boring fra fugesiden. De røde punkter (og tendenslinje) viser koncentrationer målt i prøver udtaget ved mejsling. Grønne punkter (og tendenslinje) angiver koncentrationer målt i prøver udtaget ved flere borehuller i forskellig afstand til fugen parallelt med fladen, hvor fugen oprindeligt var placeret.

Som nævnt i tidligere afsnit har der i denne serie på grund af fugens placering på prøveemnerne været mulighed for at udtage prøver ved boremelmetoden i to prøveserier. I den ene serie (blå serie på Figur 23, kraftig stippet på Figur 24) er der boret et hul gennem overfladen, hvor fugen oprindeligt var placeret. Der er således boret for, og efterfølgende udtaget prøver i forskellige dybder i det samme hul. I den anden serie (grøn serie på Figur 23, fint stippet på Figur 24) er der boret vinkelret på første boreserie og herved udtaget én prøve i hvert hul, som er boret i forskellige afstande af den oprindelige fuge (parallelt med overfladen med den oprindelige fuge).



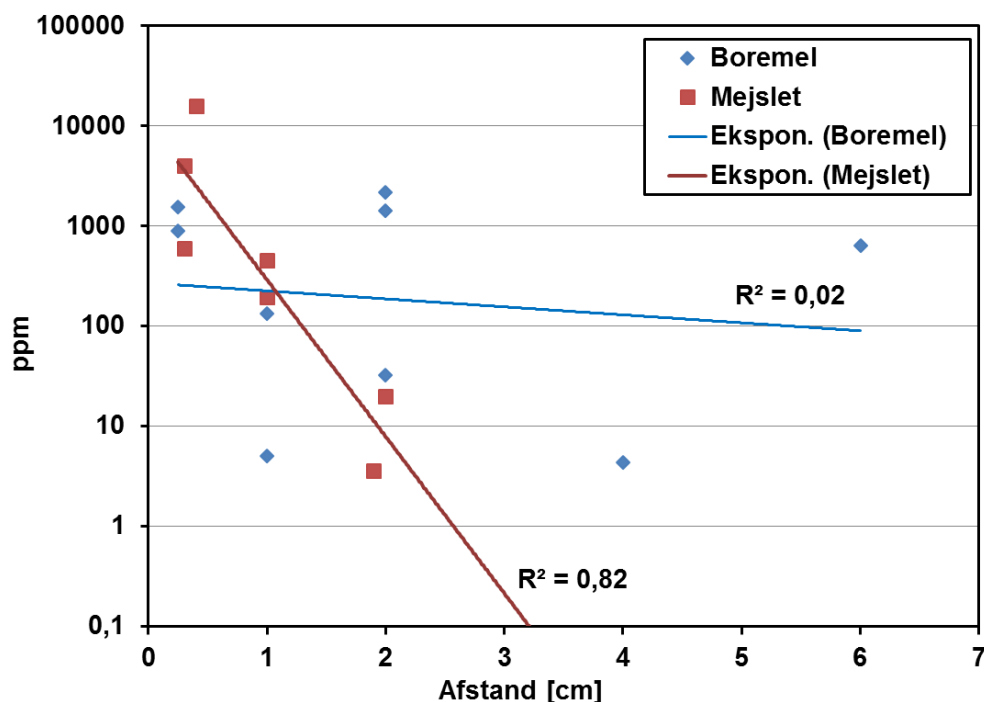
FIGUR 24: TO PRØVEUDTAGNINGSTYPER IGENNEM FUGE (KRAFTIG STIPILET) OG I FORSKELLIG AFSTAND TIL FUGEN (FINT STIPILET).

Det ses af resultaterne i serie 2 (Figur 23), at der er god overensstemmelse mellem de målte koncentrationer i de to serier udtaget ved boremelsmetoden. Dette indikerer, at det tilsyneladende har været muligt at undgå kontaminering af prøvemateriale udtaget ved forskellige dybder i det samme borehul.

Samtidig udviser prøverne, udtaget med boremelsmetoden, en tendens til et højere PCB-indhold end prøver, udtaget ved mejsling. På trods af det kan resultaterne fra de to metoder betegnes som sammenlignelige og af samme størrelsesorden (ref. Gunnarsen et al., 2014).

Determinationskoefficienten viser, at de indlagte eksponentielle tendenslinjer passer godt på datapunkterne ($R^2 > 0,8$) og forklarer hovedparten af variationen mellem observationerne.

3.4.3 Serie 3

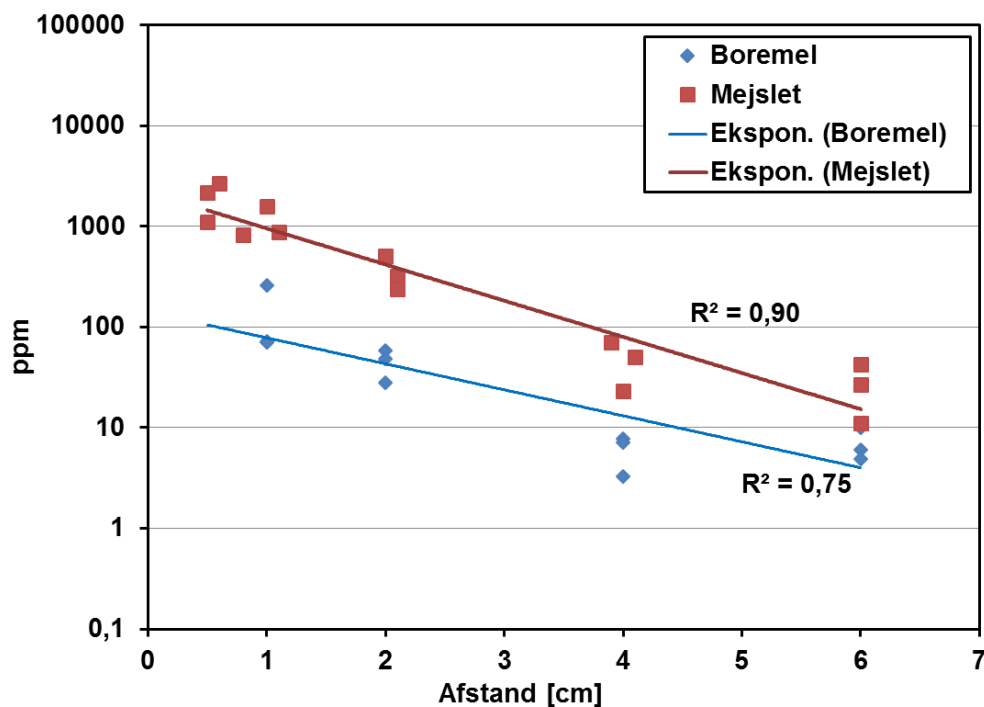


FIGUR 25: SERIE 3, RESULTATER FOR BOREMELSPRØVER (BLÅ) OG UDMEJSLEDE PRØVER (RØD).

De blå punkter (samt tendenslinje) på Figur 25 viser koncentrationer målt i boremel ved boring. De røde punkter (og tendenslinje) viser koncentrationer målt i prøver udtaget ved mejsling.

I serie 3 (Figur 25) ses der, for resultaterne opnået ved mejsling, en god determinationskoefficient for den indlagte eksponentielle tendenslinje. Der ses derimod ikke nogen klar tendens i resultaterne opnået ved boremelsmetoden, og determinationskoefficienten for den indlagte eksponentielle tendenslinje er så dårlig, at der ikke er tale om en eksponentiel sammenhæng mellem resultaterne – hvilket ellers er forventeligt for indtrængningsprofiler. Årsagen til dette kan muligvis være manglende omhu ved prøveudtagningen, og dermed krydskontaminering af alle eller nogle af prøverne udtaget gennem det samme borehul (med udtagning af det mest forurenede materiale først).

3.4.4 Serie 4



FIGUR 26: SERIE 4, RESULTATER FOR BOREMELSPRØVER (BLÅ) OG UDMEJSLER PRØVER (RØD).

På Figur 26 viser de blå punkter (samt tendenslinje) koncentrationer målt i boremel ved boring. De røde punkter (og tendenslinje) viser koncentrationer målt i prøver udtaget ved mejsling.

Der ses god overensstemmelse mellem de målte koncentrationer og de indlagte eksponentielle funktioner, idet R^2 i begge tilfælde er tæt på eller højere end 0,8. I denne prøveserie er det højeste indhold af PCB fundet i prøver udtaget ved mejsling. Dette er i modsætning til prøveserie 1 (Figur 22) og 2 (Figur 23), hvor det højeste indhold findes i prøver udtaget med boremelsmetoden.

3.5 Delkonklusion

Der er i dette delprojekt udviklet en simpel metode til prøvetagning af mineralsk materiale til bestemmelse af PCB-indhold ved hjælp af opsamling af boremel med almindeligt værktøj og hjælpemidler. Der er udarbejdet en arbejdsbeskrivelse af den praktiske udførelse af prøvetagningen. Efterfølgende er der udført sammenlignende prøvetagning med boremelsmetoden og to traditionelle prøvetagningsmetoder.

I 3 ud af de 4 gennemførte prøveserier ses der i resultaterne et eksponentielt fald i PCB-indholdet som funktion af afstanden til primærkilden, når dette bestemmes med boremelsmetoden. I 2 ud af disse 3 tilfælde udviser prøver udtaget med boremelsmetoden et højere indhold af PCB, end i prøver udtaget ved mejsling. Determinationskoefficienten for de eksponentielle funktioner, der er tilpasset målepunkterne, er sammenlignelige for de to metoder, og viser, at de målte koncentrationer som funktion af afstanden til primærkilden, med god tilnærmelse kan beskrives ved de eksponentielle funktioner. Dette resultat er på baggrund af den foreliggende viden om indtrængningsprofiler forventeligt. Det støtter tillige vurderingen af, at der med boremelsmetoden kan opnås analyseresultater, der med samme tydelighed som ved udmejsling, kan påvise indholdet af PCB i beton – om end de opnåede resultater i nogle tilfælde ligger på et andet niveau end resultater opnået ved mejsling.

Boremelsesmetoden har vist sig at være rimelig robust i dens anvendelsesområde, idet resultaterne indikerer, at det tilsyneladende har været muligt at undgå krydskontaminering af prøver udtaget i forskellige dybder i samme hul. Metoden kan derved tilsyneladende både benyttes i situationer, hvor der bores ind gennem overfladen, hvor fugen oprindeligt har været placeret, og i situationer, hvor der bores ind 'fra siden' i forskellige afstande til den oprindelige fuge. Samtidig kan der ved at bore for (udboring af de første 2-5 mm) fjernes eventuelle tertiærforureninger fra overfladen eller malingslag, som kan være en primærkilde i sig selv. Herved kan deres eventuelle indflydelse på prøveresultatet undgås.

De indlagte tendenslinjer for boremelsesmetoden viser i alle tilfælde en mindre stejl hældning, end tendenslinjerne for mejslingsmetoden. Dette indikerer, at boremelsesmetoden viser et relativt højere PCB-indhold end mejslingsmetoden for prøver med lavt PCB-niveau. Dette er tilfældet ved prøver udtaget i større afstand til primærkilden, eller kan være relevant, når primærkilden har et lavt PCB-indhold. Fænomenet kan muligvis henføres til, at prøvematerialet udtaget ved boremelsesmetoden er mere findelt (mindre kornstørrelse), end de fragmenter, der udtages ved mejsling og senere nedknuces i laboratoriet. Den lille kornstørrelse opnået ved boremelsesmetoden kan betyde, at dette prøvemateriale er mere 'oplukket' og at PCB-indholdet dermed er mere 'tilgængeligt' i analysen, end ved mejslede og senere nedknupte prøver. Dette forhold kan have særlig betydning ved lavt PCB-indhold, hvor der er færre PCB-molekyler til stede i prøvematerialet, og hvor en bedre 'oplukning' kan medføre en højere detektion af de, relativt set, få tilstedeværende PCB-molekyler. Herved kan de opnåede resultater for emner med lavt PCB-niveau ikke bekræfte den af Andersen (*ref. Andersen, H.V., 2013*) formodede risiko for, at metoden underestimerer PCB-niveauet, sammenlignet med traditionelle metoder.

Boremelsesmetoden har en svaghed i forhold til den visuelle vurdering af materialets homogenitet. Når metoden anvendes in situ på emner (konstruktionsdele), der fortsat sidder i bygningen, kan det være svært visuelt at vurdere materialets homogenitet (fx når der udtages prøver fra et vægelement uden synlige kanter). Dermed kan det være svært at vurdere om det udtagne prøvemateriale er repræsentativt. De opnåede resultater viser dog i 3 ud af 4 tilfælde en god sammenhæng mellem PCB-indhold og afstand til primærkilden, hvilket indikerer, at de udtagne prøver har været repræsentative for materialet.

Projektet har vist, at boremelsesmetoden overordnet set er praktisk anvendelig og giver brugbare resultater. Der er dog observeret en forskel i PCB-niveauet målt på prøvemateriale udtaget med boremelsesmetoden og prøvemateriale udtaget ved mejsling.

For at kunne anvende metoden og foretage vurdering af prøveresultaterne i praksis, vurderes der dermed at være behov for at kende sammenhængen mellem prøveresultater opnået ved boremelsesmetoden og ved fx mejsling eller borekerner. Til generel anvendelse af boremelsesmetoden vurderes der at være behov for systematisk videreudvikling af metoden ved i første trin at anvende den på flere prøveemner og andre materialetyper (fx tegl), for herefter at kunne opstille en universel korrelation mellem prøveresultater opnået ved boremelsesmetoden og ved traditionelle metoder. Når denne korrelation er bestemt, bør metoden i andet trin valideres mod yderligere prøvedata.

Man vil dog kunne anvende boremelsesmetoden på afgrænsede projekter, såfremt der indledningsvist etableres en korrelation mellem prøveresultater opnået med boremelsesmetoden og med traditionelle metoder for hver materialetype i det pågældende projekt. Prøvedata opnået ved sådanne projekter vil kunne bidrage til systematisk videreudvikling af boremelsesmetoden som beskrevet ovenover.

Referencer

Andersen, H.V. (2013). Undersøgelser og vurdering af PCB i bygninger (SBI- anvisning 241). Statens Byggeforskningsinstitut. Ålborg Universitet. København.

Andersen, H.V. (2013). Renovering af bygninger med PCB (SBI- anvisning 242). Statens Byggeforskningsinstitut. Ålborg Universitet. København.

Andersen, H.V., Gunnarsen, L., Kampmann, K. (2013). Kortlægning af eksisterende viden om indtrængning af PCB fra fuger til beton - en litteraturgennemgang. Miljøprojekt nr. 1464. Miljøstyrelsen. København.

bips (byggeri-informationsteknologi-produktivitet-samarbejde). BIPS-beskrivelsesværktøj. Version 2014. www.bips.dk.

Gunnarsen, L., Witterseh, T., Olesen, K.B. (2014). *Validation of simple method for determination of penetration of PCB in concrete*. Proceedings of Indoor Air 2014, Hong Kong.

Guo, Z., Liu, X., Krebs, K.A., Stinson, R.A., Nardin, J.A., Pope, R.H., Roache, N.F. (2011). Laboratory Study of Polychlorinated Biphenyl (PCB) Contamination and Mitigation in Buildings, Part 1. Emissions from Selected primary Sources (EPA/600/R-11/156. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC.

Sundhedsstyrelsen (2011). PCB og Sundhed: Sundhedsstyrelsens bidrag til tværministerielt faktaark om PCB. PCB notat. København.

Teknologisk Institut (2014). Sundheds- og arbejdsmiljørigtig metode til fjernelse af fuger med og uden PCB. Delprojekt: Håndtering af mørtelfuger ved siden af elastiske PCB-holdige fuger. Forebyggelsesfonden. København.

Bilag 1: Arbejdsbeskrivelse PCB-luftdræningssystem

Bygherre	Byggesag
Entreprise	Dato : xx.xx.xxx
Arbejdsbeskrivelse – Fuger	Rev.dato :
4. Bygningsdelsbeskrivelser	Side : 1/5
Paradigme for bygningsdelsbeskrivelser for fuger	

Udarbejdet:

Kontrolleret:

Godkendt:

4. Bygningsdelsbeskrivelser

Montage af PCB-drænsystem

4.1 Orientering

I forbindelse med PCB-renoveringen skal der etableres et PCB-drænsystem i et afgrænset område.

4.2 Omfang

Etablering af PCB-drænsystemet indeholder

Beskrivelse	Antal
1. Rengøring af fugeflanker	<X> lbm fuger
2. Lufttæt fugning af alle drænkanalers bagsider og etablering af ny bygningsfuge	<X> lbm fuger
3. Levering og montage af varmetråd i drænkanal	<X> stk.
4. Levering og montage af studs som luftindtag og -udsugning	<X> stk.
5. Montage af pumpeenhed	<X> stk.
6. Isætning af måleudstyr	<X> stk.
7. <Eventuelt afdækning af færdig fuger med liste eller lignende>	<X> lbm fuger

Følgende leveres ikke, men monteres under arbejdet

- Pumpeenhed, inkl. slanger (*Leveres af Teknologisk Institut*)
- Måleudstyr (*Leveres af Teknologisk Institut*)

Følgende leveres, men monteres under andet arbejde

Tilslutning af følgende elektriske komponenter til elnet:

- <Varmetråd>

Følgende leveres og monteres under andet arbejde

- Afskærmning og ventilation af området.
Afskærmningen opsættes med udsugning, sluser som indgang og med tilstrækkeligt arbejdsrum foran fugerne. Arbejdsområdet skal dog optage så lidt plads i lokalerne som muligt. Dette for at muliggøre brug af lokalerne under renoveringen. (*Leveres af nedrivningsentreprenør*)
- Miljøvogn (*Leveres af nedrivningsentreprenør*)
- El-arbejder: Etablering af elforsyning til pumpeenhed og varmetråde. Der etableres en stikkontakt til hver pumpeenhed. Elforsyningen etableres, så det let kan demonteres, men om muligt skjult (fx over nedhængt loft).
- Malerarbejder: Retablering af overflader efter endt etablering af systemet

4.3 Lokalisering

PCB-drænsystemet etableres i følgende område:

4.4 Tegningshenviisning

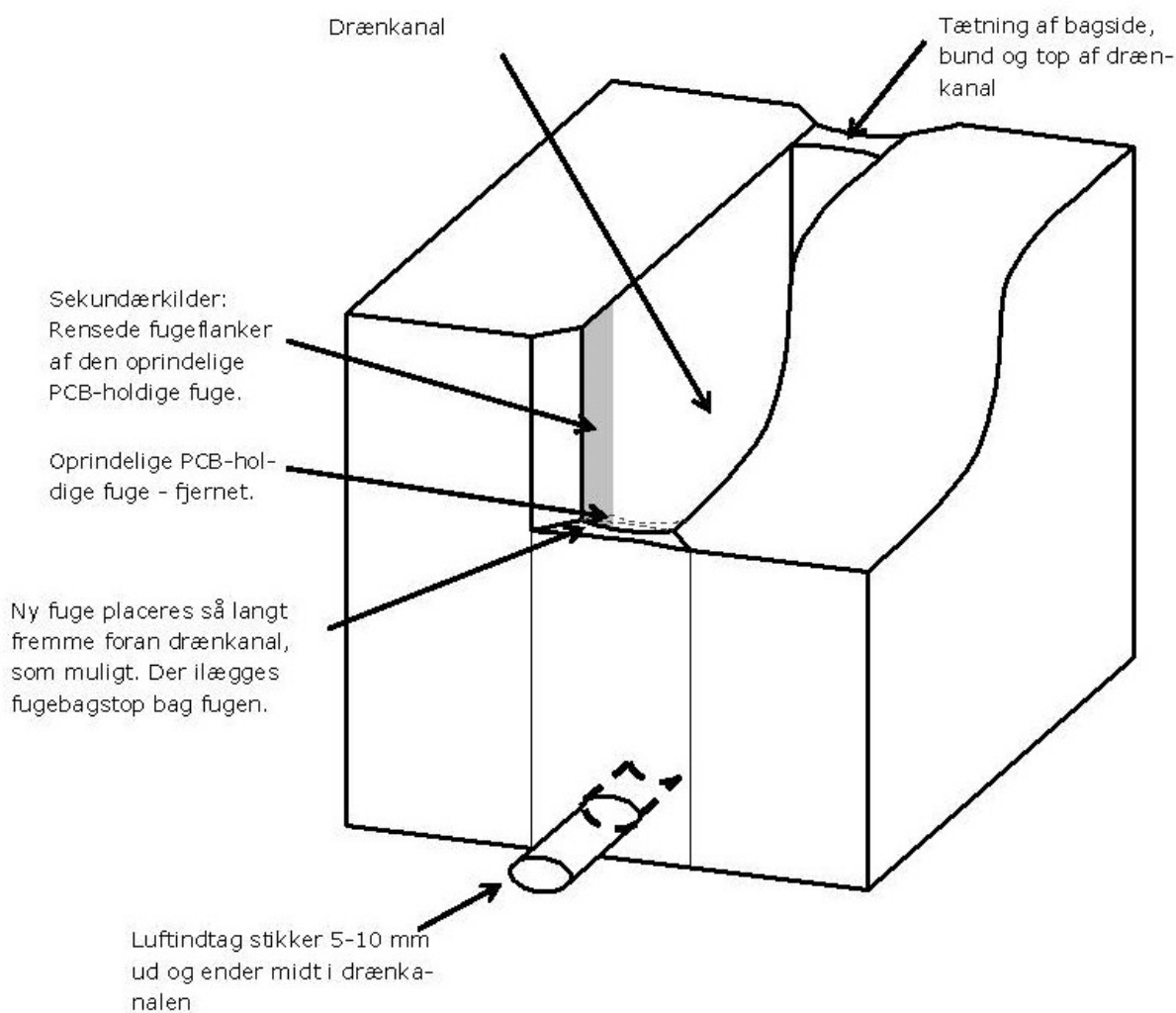
Hovedtegninger: <x>
Oversigtstegninger: <x>
Bygningsdelstegninger: <x>
Tegning over drænkanalernes sektioner: <x>

Bygherre**Byggesag**

Entreprise
Arbejdsbeskrivelse – Fuger
4. Bygningsdelsbeskrivelser
Paradigme for bygningsdelsbeskrivelser for fuger

Dato : xx.xx.xxx
Rev.dato :
Side : 2/5

Detaljetejning:

**4.5****Koordinering**

Der koordineres med

- Forudgående PCB-sanering
- Nedhængte lofter

Entreprise	Dato	:	xx.xx.xxx
Arbejdsbeskrivelse – Fuger	Rev.dato	:	
4. Bygningsdelsbeskrivelser	Side	:	3/5
Paradigme for bygningsdelsbeskrivelser for fuger			

4.6 Tilstødende bygningsdele

Forudgående bygningsdele/arbejder

- Lokaler er ryddede.
- Arbejdsområdet er afskærmet, afdækket og ventileret efter reglerne.
- Indledende materialeprøver af sekundært forurenede fugeflanke er udtaget. Der er fremstillet et indtrængningsprofil af PCB i det tilstødende materiale og resultaterne er noteret til senere bestemmelse af reduktion af PCB-indhold i materialerne.
- PCB-holdig fugemasse er fjernet med en hobbykniv eller på anden vis, der ikke opvarmer fugemassen eller fremmer afgang.
- Paneler af nedhængte lofter omkring fugen er nedtaget, bæresystem er ikke nedtaget.

Efterfølgende bygningsdele/arbejder

- El-arbejder – tilslutning af elektrisk udstyr.
- Eventuelle malerarbejder.

4.7 Projektering

<x>

4.8 Undersøgelser

<x>

4.9 Materialer og produkter

Fugebagstop: <Passende til fugebredden og i en dimension, der efterlader en luftkanal (drænkanalen) bag fugen.>

Fugemasse: <fx Sikaflex AT connection>

Varmetråd: <I en dimension, der ikke udfylder hele drænkanalens hulrum.>

Studse til luftindtag og -udsugning: <16 mm installationsrør>

Afdækning af luftindtag: <Blænddæksel i ramme på underlag>

4.10 Udførelse

1. Rengøring af fugeflanker:
 - Fugeflankerne rengøres for rester af fugemasse, dvs. resterende fugemasse kradses af med en hobbykniv.
2. Lufttæt fugning af alle drænkanalers bagsider (bagside, top og bund) og etablering af ny bygningsfuge:
 - Drænkanal undersøges for samlinger, huller og/eller revner. Hvor der findes samlinger, huller og/eller revner, tætnes disse med fugemasse.
 - I henhold til tegning <XXX> udføres en lufttæt afskærmning mellem drænkanalernes forskellige sektioner.
 - Der ilægges fugebagstop til sikring af fugemassens funktion.
 - Den nye fuge etableres så langt femme i drænkanalen som muligt, så mest mulig areal af den oprindelige fugeflanke er placeret i drænkanalen.
3. Levering og montage af varmetråd i fugemellemrummet:
 - Varmetråden ilægges i fugemellemrummet i hele fugens længde og så tæt på den oprindelige fuge, som muligt. Fastgøres ved behov til en overflade i fugemellemrummet. Varmetrådens tilledning skal gennembyrde den nye fuge

Entreprise	Dato	:	xx.xx.xxx
Arbejdsbeskrivelse – Fuger	Rev.dato	:	
4. Bygningsdelsbeskrivelser	Side	:	4/5
Paradigme for bygningsdelsbeskrivelser for fuger			

samme sted som udsugningsstuds. Gennembrydning udføres lufttæt.

4. Levering og montage af studs som luftindtag og -udsugning:
Studse for luftindtag og -udsugning udkæres af installationsrør som vist på detaljetegning og monteres i de to modsatte ender af fugen, ca. 2 cm fra fugens ender. Studsen skal ende midt i fugemellemrummet, så lufttilstrømningen kan ske uhindret. Studsen skal stikke 5-10 mm ud af den nye fuge. Gennembrydning udføres lufttæt.
Luftindtaget skal sikres mod utilsigtet brugeradfærd, fx mod at bliver tilstoppet, udtaget eller sparket af med foden ved at montere <et blænddæksel i ramme på underlag.>
5. Montage af pumpeenhed:
Pumpeenhed monteres om muligt skjult, fx over det nedhængte loft. Pumpehuset er forsynet med monteringsøje for skruemontage. Fastgørelsesmidler skal være skruer og eventuelt patentband, så udstyret kan demonteres ved behov. Enheden placeres og fastgøres således, at alle udskiftelige dele af udstyret kan nedtages/udskiftes. Slangen mellem pumpeenheden og studs til luftudsugning monteres.
6. Isætning af evt. måleudstyr:
Leveret måleudstyr placeres i fugemellemrummet efter anvisning af Teknologisk Institut. Gennembrydninger af eventuelle ledninger tættes lufttæt med ny fuge.
7. <Eventuelt afdækning af færdig fuge med liste eller lignende>

4.11 Mål og tolerancer

Efter etablering af systemet kontrolleres luftgennemgang gennem drækanalen ved at måle luftflow igennem det tætnede fugemellemrum.

4.12 Prøver

Der udføres en prøve på en drækanal med ny fuge på ca. 2,5 m, som skal godkendes af Teknologisk Institut, inden de øvrige fuger udføres. Under tilsynet udføres prøve for luftgennemgang gennem drækanalen som beskrevet under *Mål og Tolerancer*, samt at fuge skæres op til inspektion af tætning af drækanalens bagsider. Retablering af denne fuge er indeholdt i nærværende arbejde.

4.13 Arbejds miljø

Der må påregnes høj PCB-indhold i indeklimaet og i fugeflankerne. Der skal anvendes sikkerhedsudstyr efter gældende regler. Der henvises til BAR-vejledningen: <http://www.pcb-guiden.dk/vejledning-pcb-byggematerialer>

4.14 Kontrol

- I. Teknologisk Institut tilkaldes inden lukning af drækanalen med den nye fuge til kontrol af udført arbejde. Alt skal være kontrolleret i egenkontrol, protokol fremsendt til tilsynet inden tilsynets besøg. Følgende kontrolleres:
 - Tætning af bag-, over- og underside af drækanal, inkl. vedhæftning af fugemasse til underlaget – 100 % visuel kontrol af Teknologisk Institut.

Bygherre**Byggesag**

Entreprise	Dato	:	xx.xx.xxx
Arbejdsbeskrivelse – Fuger	Rev.dato	:	
4. Bygningsdelsbeskrivelser	Side	:	5/5
Paradigme for bygningsdelsbeskrivelser for fuger			

- Montage af evt. måleudstyr i fugemellemrum – 100% visuel kontrol af Teknologisk Institut.
- II. Teknologisk Institut tilkaldes efter udført arbejde og egenkontrol. Protokol af egenkontrol fremsendes inden tilsynets besøg. Følgende kontrolleres:
 - Placering og tætning af ventilationsindtag og –udsug – 100 % visuel kontrol af Teknologisk Institut.
 - Tæthed af ny fuge.
 - Tilslutning af pumpeenhed til ventilationsudsug.

4.15**D&V-dokumentation**

Produktdatablade af alle anvendte materialer.

4.16**Planlægning**

<x>

Bilag 3: Brev til forespørgsel om mulige pilotprojekter



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Gregersensvej
DK-2630 Taastrup
Telefon 72 20 20 00
Telefax 72 20 20 19

info@teknologisk.dk
www.teknologisk.dk

Til den rette vedkommende

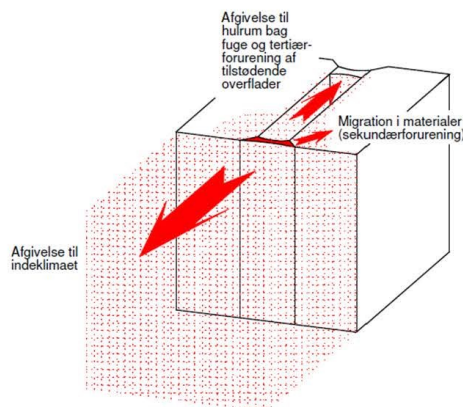
"PCB renovering med ny miljørigtig luftdræningsmetode" - Ønsker til mulige pilotprojekter

Kort beskrivelse af projektet:

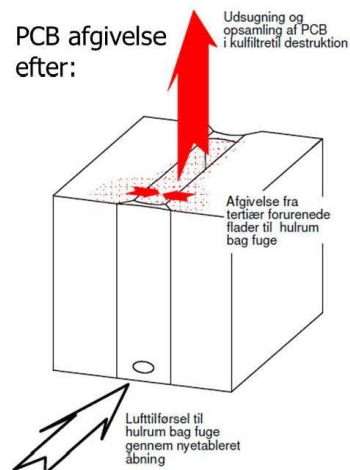
Formålet med luftdræningsmetoden er at nedbringe indeluftens PCB-koncentration med en metode, der samtidig indebærer minimale indgreb under udførelsen, producerer minimale mængder af byggeaffald, minimerer PCB-emissioner til atmosfæren ved at opsamle og destruere emissioner fra sekundærkilder.

Konceptet af metoden er at fjerne de elastiske fuger, som er primærkilden. Derefter tættes hulrummet bag denne oprindelige fuge, så der dannes en afgrænset luftkanal. Der etableres en ny fuge med luftindtag og -udtag i hhv. den ene og den anden ende af luftkanalen. Slutlig monteres en pumpe med en kulfilterenhed, som suger luft ud af luftkanalen. Denne luft indeholder emissioner fra de sekundært forurenede områder, bl.a. af overflader, de oprindelige fuger (primærkilderne) er fjernet fra. Emissionerne opsamles i filtret og hindres dermed at forurene indeluften.

PCB afgivelse før:



PCB afgivelse efter:



11. feb. 2014
BRH

For at en bygning kan være med i projektet skal visse randbetingelser være opfyldt. Der er tale om følgende kriterier:

1. Primærkilde

Den primære PCB-kilde i bygningen bør helst kun være en elastisk fugemasse med et vist hulrum bagved. Vi tilstræber at finde bygninger af forskellige konstruktionstyper og med forskellige PCB-niveauer og sammensætninger i primærkilden.

2. PCB-indhold i indeklimaet

PCB-niveaet i indeklimaet bør helst ligge mellem 300 og 3.000 ng/m³.

3. Mulige prøvelokaler

Prøvelokaler bør helst danne en enhed, hvor luftskifte mellem enheden og andre områder kan (næsten) udelukkes, fx et brandafsnit.

4. Bygherrens bidrag

Der er i projektet midler til etablering og drift af drænsystemet, samt kontrolmålinger til opfølgning af PCB-niveaet i indeklimaet. Der er dog ikke midler til fjernelse af primærkilden. Deltagelse i projektet kræver, at bygherren bidrager med den indledende klargøring af lokaler, dvs. fjernelse af primærkilde, som helst kun foretages med en hobbykniv, tilhørende afdækning, afskærmning og andre sikkerhedsforanstaltninger og efterfølgende rengøring.

5. Brug af lokaler under forsøget

Det er muligt og ønskeligt, at lokalerne er i brug under projektet. Systemet indebærer, at der i ca. 12 timer om dagen bliver suget luft ud af hulrummet bag fugen. Dette foregår ved hjælp af pumper, som afgiver lidt støj. Derfor er kontor- eller institutionslokaler meget egnede, da pumperne kan køre om natten, når lokalerne ikke er i brug.

6. Tidsplan

Forberedelse af lokalerne bør om muligt kunne være afsluttet inden for et par måneder, således at drænsystemet senest kan etableres i maj/juni 2014.

Bilag 4: Målemetoder

Luftmålinger i indeklimaet:

Luftmålingerne i indeklimaet er tilrettelagt og gennemført, så der er sikret så ensartede målebetingelser som muligt. Følgende procedure er anvendt:

- Lufte ud i lokalerne 8 timer før opstart af prøvetagning.
- Lukke døre og vinduer i lokalerne.
- Placere luftpumper min. 1 m fra vægge og ca. 1-1,5 m over gulv.
- Start af prøveopsamling ca. kl. 22.
- Fire-timers målinger med et XAD2-rør og en Gillian 5000 luftpumpe med et flow på 2,6 l/min, dvs. opsamling af 0,624 m³ luft.

Luftmålinger af luft, suget ud af drækanalerne:

Til måling af PCB-indhold af luft, suget ud af drækanalerne, er drænpumperne koblet fra drækanalerne. Der er koblet en slange med et XAD2-rør og en Gillian 5000 luftpumpe på studs til luftudtag. Der er udført fire-timers målinger med et XAD2-rør og en Gillian 5000 luftpumpe med et flow på 2,6 l/min, dvs. opsamling af 0,624 m³ luft. Disse målinger er udført samtidig med de ovenover beskrevne luftmålinger i indeklimaet.

Metodebeskrivelse af analyse af luftmålinger:

Der er anvendt den akkrediterede metode OT021.

Analyse SKC adsorptionsfiltre XAD-2 OVS for indhold af 7 udvalgte PCB'er:

Hver sektion med XAD-2 (hovedsektion og kontrolsektion) blev analyseret separat.

Ekstraktion med dichlormethan tilsat C13- mærket intern standard af hexachlorbenzen ved mekanisk udrystning efterfulgt af analyse ved kapillar gaschromatografi med massespektrometrisk detektion (GC-MS).

Metodebeskrivelse af analyse af materialeprøver:

Der er udført analyse af materialeprøver af fugemasse og af knust beton.

Der er anvendt den samme analysemetode for begge prøvetyper.

Analyse for indhold af 7 udvalgte PCB'er:

En delprøve af materialet blev ekstraheret med cyclohexan/acetone eller dichlormethan, tilsat C13- mærket intern standard af hexachlorbenzen ved ultralyd og mekanisk udrystning. Ekstraktet blev analyseret ved kapillar gaschromatografi med massespektrometrisk detektion (GC-MS).

Der blev udført enkeltbestemmelse.

Bilag 5: Logbog luftmålinger

- 1.4.2014, Måleserie 1:
Initial måling af rumluft.
- 2.4.2014, Luftdræningssystem tilsluttes, dvs. drænpumperne sættes i gang.
- 16.4.2014, Måleserie 2:
Måling af rumluft og udsugningsluft fra drækanalerne.
- 2.7.2014, Måleserie 3:
Ventilationsanlæg i området har ikke kørt optimalt i en periode. En uge efter indregulering af anlægget blev denne måleserie af rumluft og luft fra drækanalerne foretaget.
- 28.8.2014, Eftersyn af systemet med udskiftning af kulfiltrene i alle pumpeenheder:
Ved 3 af drækanalerne var slangerne mellem drækanal og pumpeenheden løs. Timerne af 3 af pumpeenhederne bliver re-programmeret efter driftsforstyrrelser.
- 1.10.2014, Måleserie 4:
Måling af rumluft og luft fra drækanalerne.
- 31.3.2015, Måleserie 5:
Afrigning af systemet med efterfølgende måling af rumluft. Skolens ventilationssystem var ikke i drift grundet påskeferie. Prøverør fra målingen i forsøgslokale M2 knækker, så resultatet ikke kan analyseres.

Måleserie	1	2	3	4	5
Dato	01-04-2014	15-04-2014	01-07-2014	01-10-2014	31-03-2015
Klokkeslæt	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
Udetemperatur		6	16	13	4
Luftfugtighed		69	64	95	87
M1, Temperatur	23	22	26	22	20
M1, Luftfugtighed	26	36	39	51	34
Fuge 1		43.486	76.891	86.141	
Fuge 2		20.329	16.245	12.362	
Fuge 3		65.688	53.421	51.046	
Fuge 4		76.848	53.870	120.842	
Fuge 5		41.242	49.679	63.560	
Fuge 6		131.364	250.694	179.022	
M1, Rumluft	2.500	3.104	4.178	3.119	1.827
M2, Temperatur	25	23	26	22	20
M2, Luftfugtighed	23	31	36	51	35
Fuge 1			129.264	123.379	
Fuge 2		16.847	38.429	29.638	
Fuge 3		40.000	60.369	56.736	
Fuge 4		42.804		95.982	
Fuge 5		82.373	111.144	74.287	
Fuge 6		58.413	75.684	96.338	
M2, Rumluft	3.734	2.665	2.748	3.159	
B, Temperatur	26	24	27	24	21
B, Luftfugtighed	24	28	35	51	30
B, Rumluft	3.401	2.410	2.612	2.253	1.314

SAMMENSTILLING AF LUFTMÅLERESULTATER I ng PCB / m³ LUFT

Bilag 6: Vejledning til PCB-prøvetagning med boremetode Arbejdsbeskrivelse til håndværker

Baggrund

PCB er et produkt, der frem til 1977 blev anvendt i fuger og betonmaling. PCB ophobes i dyr og mennesker og giver anledning til giftvirkninger efter flere års eksponering. PCB er i stand til at vandre i materialer, og dermed er det ikke kun de materialer, det oprindeligt var tilsat, der i dag er kontaminerede. I det følgende gennemgås en simpel metode til prøvetagning for at bestemme PCB-indhold. Fremgangsmåden er udarbejdet således, at den kan foretages med almindeligt håndværktøj.

Arbejdsbeskrivelse

Personlige værnemidler

Der skal anvendes handsker og åndedrætsværn, der er egnet til beskyttelse mod PCB. Her henvises til PCB-guiden, tilgængeligt online eller SBI-anvisning 241, Undersøgelser af vurdering af PCB i bygninger.

Nødvendige remedier

Værktøj:

- Slagboremaskine eller borehammer
- ø6 mm betonbor
- Skydelære (hvis boremaskine er uden afstandsstop)
- Egnet støvsuger

Praktisk udstyr:

- Notatblok og kuglepen
- Poser til prøvetagning
- Overskåret engangsplastikkop
- Tape
- Aluminiumsfolie



VÆRKTØJ TIL PRØVETAGNING



PRAKTISK UDSTYR TIL PRØVETAGNING

Forberedelse

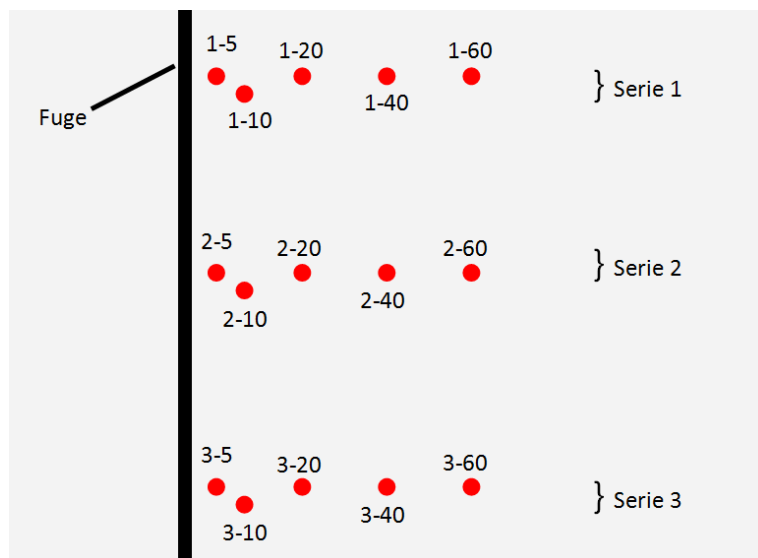
Inden prøvetagningen fastlægges antal, placering og nummerering af prøver. Ved større prøveserier eller opstilling af et indtrængningsprofil tegnes en skitse af prøvetagningssteder med angivelse af prøvenummer på papir og om muligt på prøveemnet. Prøvens placering (afstand til primærkilden) angives ved at anvende borehullets centrum.

Da materialets inhomogenitet kan give anledning til unøjagtigheder, udtages der mindst 3 prøver af boremel pr. målepunkt. Disse 3 prøver udtages i afstande af mindst 5-10 mm til hinanden, men i samme afstand til primærkilden (fx en elastisk fuger eller en PCB-holdig malebehandling).

Eksempel på prøveplacering til opstilling af et indtrængningsprofil:

Prøverne kan passende mærkes "serienr.-afstand" (fx "prøve 2-10" er således prøven udboret 10 mm fra fugen i serie 2).

Det kan af praktiske årsager være nødvendigt at tage prøverne en smule forskudt af hinanden.



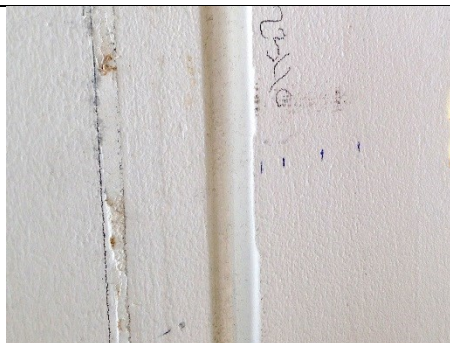
Fremgangsmåde

I korte træk er fremgangsmåden som følger.

1. Bor for, hvis fugen ikke flugter med betonoverfladen. Noter forboret dybde
2. Rens overfladen og borehullet ved at støvsuge
3. Påsæt mærket pose til opsamling af prøvemateriale
4. Bor prøve ud
5. Posen fjernes, prøvemateriale overføres til og pakkes i aluminiumsfolie
6. Noter den borede dybde

I det følgende gennemgås punkterne mere detaljeret

- 1 Til udtagning af prøven skal der først forbores. Dette har to formål. For det første skal de yderste mm af materialets overflade fjernes, for at forhindre krydskontaminering fra andre kilder (fx PCB-holdig maling) eller anden forurening (fx fra højt PCB-niveau i indeklimaet). For det andet kan man – ved at bore for – definere, hvor i materialet prøven skal udtages. Skal prøvematerialet fx udtages fra beton umiddelbart ud for en fuger, der ikke flugter med betonoverfladen, forbores, til den dybde, fugen ligger bag betonoverfalden. Den forborede dybde noteres.



- 2 Overfladen og borehullet skal renses ved brug af støvsuger. Dette gøres for at prøven ikke kontamineres med materiale fra overfladen med mindre eller mere PCB-indhold.



- 3 Pose til opsamling af prøvemateriale kan påklæbes væggen med et stykke tape. Det er nødvendigt posen holdes åben således, at prøvematerialet ikke drysser ved siden af. Hvis posen lukker, kan fx en overskåren engangskop anvendes til at holde den åben.

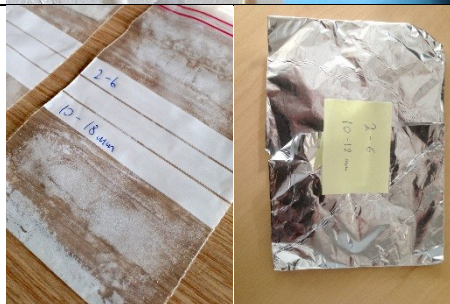
Posen skal være afmærket tydeligt, så det er muligt at vide, hvor prøven er taget.



- 4 Prøven bores ud. Sidder fugen eksempelvis 10 mm inde i væggen og er 15 mm dyb, tages boremelsprøven fra en dybde på 10 mm til 25 mm.



- 5 Posen fjernes fra væggen. Prøvematerialet overføres til og pakkes ind i aluminiumsfolie

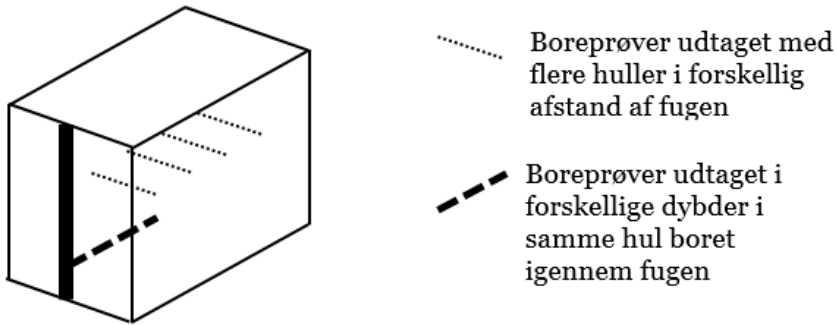


- 6 Den borede dybde og afstand noteres. Afstanden angives til center i hullet. Dybde angives som enten dybdens interval (fx 10-20 mm) eller middeldybde (fx \emptyset 15 mm).

	1-5	1-10	1-20
Prøveserie 1	10-20	11-20	11-22
Prøveserie 2	10-20	10-20	10-21
Prøveserie 3	10-20	10-20	10-22

Afhængigt af fugens placering i konstruktionsdelen og tilgængeligheden af fugen kan det være praktisk at udtage prøver fra flere dybder i samme borehul, fremfor at udtage prøver fra separate huller.

På nedenstående figur ses en skitse af de to prøvetagninger. I den ene serie (kraftig stiptet på figuren) er der boret et hul gennem overfladen, hvor fugen oprindeligt var placeret. Der er således boret for, og efterfølgende udtaget prøver i forskellige dybder i det samme hul. I den anden serie (fint stiptet på figuren) er der boret vinkelret på første boreserie og herved udtaget én prøve i hvert hul, som er boret i forskellige afstande af den oprindelige fuge (parallelt med overfladen med den oprindelige fuge).



Udtages der boremel fra flere dybder fra samme hul, er det vigtigt, at hullet forud for hver opsamling af boremel til analyse renses, fx støvsuges, således at boremel fra en dybde ikke blandes med boremel fra en anden dybde, og dermed 'forurener' prøvematerialet.

PCB-renovering

Denne rapport indeholder to delprojekter. Det første delprojekt omhandler udvikling af en luftdræningsmetode til PCB-renovering af bygninger med PCB-holdige elastiske fugemasser. Det andet delprojekt omhandler udvikling af en forenklet udtagningsproces for prøvemateriale til efterfølgende analyse for PCB på traditionel vis.

Projekt delen om luftdræningsmetoden har haft til formål at udvikle en brugbar og veldokumenteret renoveringsmetode, hvor affaldsmængden af PCB-forurenede bygningsaffald reduceres betragteligt og under minimalt indgreb i bygningen. Samtidig holdes PCB-indholdet i indeklimaet lavt under renoveringen og nedbringes betydeligt efter renovering.

Projektet har vist, at metodens markedspotentiale i praksis er begrænset af, at de fleste PCB-belastede bygninger ikke opfylder de tekniske forudsætninger vedrørende primærkildens beskaffenhed og placering og PCB-koncentration i indeklimaet. Fra bygherresiden blev den nødvendige adgang til drift af pumpeenheder nævnt som afgørende barriere mod etablering af systemet i udlejningsejendomme.

Projektet har vist, at boremelsesmetoden overordnet set er praktisk anvendelig og giver brugbare resultater. Der er dog observeret en forskel i PCB-niveauet målt på prøvemateriale udtaget med boremels-metoden og prøvemateriale udtaget ved mejsling.

For at kunne anvende metoden i praksis, vurderes der at være behov for at kende sammenhængen mellem prøveresultater opnået ved boremelsesmetoden og ved fx mejsling eller borekerner.



**Miljø- og
Fødevareministeriet**
Miljøstyrelsen

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

www.mst.dk