

Erhvervs- og Byggestyrelsen (PCB i indeklima)
 Miljøstyrelsen (PCB i byggematerialer)

COWI A/S

Jens Chr. Skous Vej 9
 8000 Århus C

Telefon 87 39 66 00
 Telefax 87 39 66 60
 www.cowi.dk

Kortlægning af PCB i byggematerialer og i indeklimaet – økonomiske overslag over forskellige undersøgelser

Notat

31. August 2010

Indholdsfortegnelse

Forord		3
1	Kort status over eksisterende undersøgelser af PCB i byggematerialer	4
1.1	Fugemasser	6
1.2	Termoruder	9
1.3	Gulvmasser	11
1.4	Maling	12
1.5	Små kondensatorer	12
1.6	PCB i andre materialer	13
1.7	Mulighed for at lade eksisterende undersøgelser indgå	13
2	Congenerprofiler for PCB i byggematerialer og indeklima	14
2.1	Congenersammensætning af PCB i byggematerialer og indeluft	15
2.1.1	Byggematerialer som kilde til PCB i indeluft	15
2.1.2	Andre kilder til PCB i indeluft	17
2.1.3	Sammenhæng mellem congenerprofiler for PCB i byggematerialer og indeluft	18
2.1.4	Sammenhæng mellem congenerprofiler og total PCB-TEQ	22
2.1.5	Bidrag af de forskellige congenere til total PCB-TEQ	23
2.1.6	Congenersammensætning af blod hos personer der bor i PCB lejligheder	25
2.2	Congenerprofiler og sundhedsvurdering	26
2.3	Forslag til congenere som skal indgå i undersøgelsen	27
3	Kortlægningsmetoder for PCB i byggematerialer	28
3.1	Fugemasser	28
3.2	Termoruder	31
3.3	Gulvmasser	31
3.4	Maling	32

4	Bygningsanvendelser og antal	32
5	Statistiske metoder i relation til kortlægning af PCB i byggematerialer	34
6	Indhold af undersøgelsen af PCB i indemiljøet	40
6.1	Udvælgelse af bygninger	41
6.1.1	Overvejelser i relation til forskellige kilder til PCB i indemiljøet	43
6.1.2	Sammenfatning	45
6.2	Prøvetagning	45
6.3	Supplerende parametre	46
6.4	Analyse	48
7	Overslag over omfang, indhold og økonomi - PCB i byggematerialer	48
7.1	Omkostningselementer	48
7.2	Omkostninger	49
7.2.1	Fugemasser	50
7.2.2	Termoruder	52
7.2.3	Maling	54
7.2.4	Gulvmasser	55
7.2.5	Samlede omkostninger	56
8	Overslag over omfang, indhold og økonomi – PCB i indeklima	56
8.1	Omkostningselementer	56
8.2	Anslåede omkostninger	58
9	Samlede omkostninger af undersøgelse af PCB i byggematerialer og indeklima	61
10	Eventuelle supplerende undersøgelser	63
10.1	Sekundære forureninger	63
10.2	Indberetningsordning	63
11	Referencer	64

Forord

Nærværende notat er udarbejdet ved at flette to delnotater:

- ”Overslag over omfang, indhold og økonomi i forskellige strategier for kortlægning af PCB i byggematerialer” udarbejdet for Miljøstyrelsen (MST)
- ”Kortlægning af PCB i indeklimaet – overslag over omkostninger” udarbejdet for Erhvervs- og Byggestyrelsen (EBST)

Notat om PCB i byggematerialer

Det første notat, som vedrørte en undersøgelse af PCB i byggematerialer i danske bygninger, blev udarbejdet for Miljøstyrelsen i februar 2010. Notatet havde titlen ”Overslag over omfang, indhold og økonomi i forskellige strategier for kortlægning af PCB i byggematerialer”. Notatet indgår i nærværende notat som kapitlerne 1, 3, 4, 5 og 7. Miljøstyrelsen har været ansvarlig for udarbejdelsen af disse kapitler og kvalitetssikring af indholdet.

Notatet blev udarbejdet på grundlag af note fra Miljøstyrelsen af 15. januar 2010 ”Oplæg til rådgiver om projektskitse” vedrørende kortlægning af PCB i byggematerialer i danske bygninger med henblik på at afdække problemets omfang.

Baggrunden var, at Miljøstyrelsen forud for tilrettelæggelsen af en større kortlægning af PCB i byggematerialer i Danmark, hurtigt ville have udarbejdet et overslag over omfang, indhold og økonomi i forskellige kortlægningsstrategier, som spænder fra en fuldt dækkende undersøgelse til en mere målrettet undersøgelse, som fokuserer på et større eller mindre udsnit af bygningsmassen, og et større eller mindre udsnit af de byggevarer, der potentielt kan indeholde PCB. På baggrund af overslaget skulle Arbejdstilsynet, Erhvervs- og Byggestyrelsen og Miljøstyrelsen tage stilling til den overordnede strategi for PCB-kortlægningen.

Notatet indeholdt fortrolige oplysninger om eksisterende undersøgelser stillet til rådighed af relevante aktører, som også indgår i nærværende notat, og en del af denne information skal fjernes, inden notatet spredes til en bredere offentlighed.

MSTs kontaktperson ved udarbejdelse af notatet om PCB i byggematerialer har været Lene Graversen.

Notat om PCB i indeklima

På baggrund af et møde i den tværministerielle arbejdsgruppe bestående af MST, SST, AT, SM og EBST blev det besluttet at udvide det oprindelige notat til også at inkludere målinger af PCB i indeklimaet. EBST har koordineret dette arbejde med COWI.

Dette udvidede notat er udarbejdet i maj 2010. EBST har været ansvarlige for udarbejdelse af notatet om indeklima, som indgår i nærværende notat som kapitlerne 2, 6, 8, 9 og 10.

Formålet med notatet er at danne grundlag for den tværministerielle arbejdsgruppes overvejelser vedrørende en større undersøgelse af PCB i byggematerialer og indemiljøet i Danmark. Den planlagte undersøgelse er en opfølgning til undersøgelsen ”Sundhedsmæssig vurdering af PCB-holdige bygningsfuger” [1], som påviste, at PCB kan findes i betydelige koncentrationer i indeluften i bygninger, hvor der forekommer PCB-holdige bygningsmaterialer.

Formålet med den kommende undersøgelse er for så vidt angår indeklimadelen:

- at få et robust overblik over tilstedeværelsen af PCB i byggematerialer i Danmark,
- at få et overblik over udbredelsen af PCB i indeklima som resultat af tilstedeværelsen af PCB i byggematerialer, og belyse sammenhængen mellem PCB i byggematerialer og PCB i indeluften.
- at sige noget om hvilke PCB kongener, der typisk findes i byggematerialer og i indeklimaet til en vurdering af de gældende aktionsværdier.

Det forventes, at undersøgelsen af PCB i indeklima vil tage udgangspunkt i resultaterne af undersøgelsens første fase hvor der analyseres for PCB i byggematerialer således at der i anden fase fokuseres på de bygninger, hvor der er påvist PCB i forskellige byggematerialer.

En metode til måling af PCB i indeklimaet er for nylig blevet beskrevet og anbefalet i ”Notat til Erhvervs- og Byggestyrelsen om målemetode for indeklimamåling af PCB” fra 2010 [2]. Notatet indeholder foruden den metodiske beskrivelse en grundig gennemgang af resultater af målinger af PCB indeklimaet i Danmark, Sverige, Tyskland, Schweiz, UK og USA. Følgende gennemgang i relation til omfattede kongener skal ses som et supplement til omtalte notat. Notatet er et udkast og skal danne grundlag for Erhvervs- og Byggestyrelsens endelige vejledning til måling af PCB i indeklimaet.

Der er ved udarbejdelsen af indeklimadelen benyttet litteratur, som er citeret i tidligere udarbejdede notater suppleret med relevant litteratur identificeret ved en søgning i litteraturlæseplatforme SCOPUS og PubMed, som indeholder oplysninger om artikler i relevante videnskabelige tidsskrifter.

EBSTs kontaktperson ved udarbejdelsen af notatet om PCB i indeklima har været Ersün Züfer.

Notaterne er udarbejdet af Carsten Lassen, Jan Nielsen, Jens Gundgård og Anne Mette Wilhelmsen, COWI.

1 Kort status over eksisterende undersøgelser af PCB i byggematerialer

Den formodede primærperiode for anvendelse af PCB-holdige byggematerialer og byggevarer i byggeriet i Danmark var perioden 1950-1977. I denne periode

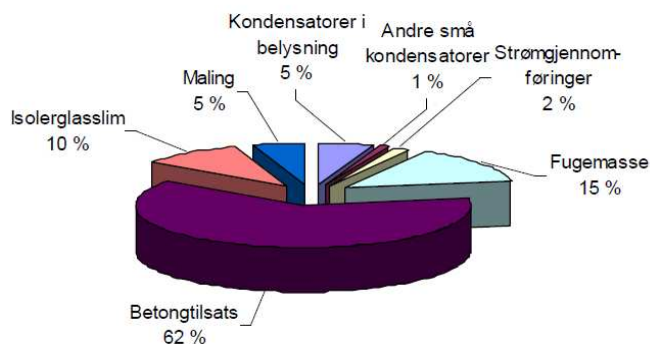
blev PCB i et vist omfang anvendt i byggeriet i bygningsfuger, i fuger i beton-elementer, i forseglingsmaterialer til termoruder, i maling og materialer til gulve samt til puds, beton og spartelmasser som omtalt i forundersøgelse om forekomst af PCB i en- og tofamiliehuse [19]. (omtalt i det følgende som ”forundersøgelsen ”)

En vigtig kilde til information om det historiske forbrug af PCB i Danmark er en upubliceret udredning om PCB/PCT fra 1983 [20]. Rapporten kvantificerer forbruget til fugemasser (80-120 t), maling (130-270 t) og lim til termoruder (86-100 t). Rapporten nævner, at PCB formentlig ikke har været brugt til betontilsætning i DK og nævner ikke gulvmasser. Rapporten nævner facademaling blandt anvendelserne af PCB-holdigt maling, men angiver ikke hvor stor en del af PCB'en, der blev brugt i denne type maling.

Det har i flere sammenhænge været nævnt, at det tidligere har været antaget at forbruget i byggeriet har været mindre i Danmark end i Norge og Sverige, men det er ikke tilfældet. Mængderne som er opgjort i PCB/PCT rapporten er i samme størrelsesorden, som mængderne opgjort i Norge og Sverige, og hvad angår fugemasser er forbruget i Danmark i rapporten opgjort ved at antage at det svarer til forbruget i Norge. Den omfattende brug af PCB i beton i Norge synes dog at være en særlig norsk foreteelse. En del af betonen angives at være brugt til slidlag på gulve og kan være identisk med andre omtalte anvendelser af PCB i gulve (gulvmasser).

En kortlægning og prognose af problematiske stoffer i bygge- og anlægsaffald [21] fra 2006 (men udført 1999-2001) anslø på baggrund af nye oplysninger fra Fugebranchens Samarbejds- og Oplysningsudvalg at forbruget af PCB i termoruder snarere havde været 200 t end de 86-100 t anslået i PCB/PCT rapporten fra 1983. De tilbageværende mængder i 2001 blev anslået til ca. 58 tons og de forventede tilbageværende mængder 2010 til under 10 tons. Dette er væsentligt mindre, end der anslås at være tilbage i Norge, og kan meget vel være underestimeret, idet det ser ud til at materialerne har en længere levetid end forventet.

Norge har gennem en mangeårig indsats et bedre overblik over de tidligere anvendelser af PCB i byggematerialer og de tilbageværende mængder. Ved udgangen af 2008 antoges det at ca. 90 % af PCB i produkter i Norge er taget ud af brug [22]. Det antages at der stadig er omkring 150 tons akkumuleret i produkter i Norge som fordeler sig som følger:



Figur Gjenstående PCB i bygg og anlegg i 2008

Figur 1 Tilbageværende PCB i byggeri og anlæg i Norge i 2008

Som nævnt er der grund til at antage at forbruget til betontilsætning er væsentligt højere i Norge end i Danmark, men for de øvrige anvendelser indikerer de norske opgørelser at der meget vel kan være betydeligt mere tilbage i bygge-massen end de 10 tons som refereres ovenfor.

1.1 Fugemasser

Der foreligger to større undersøgelser og én mindre undersøgelse af forekomsten af PCB i fugemasser i bygninger. Herudover er PCB påvist i en række undersøgelser af enkelte ejendomme i forbindelse med renoverings- og nedrivningsarbejder.

Der synes ikke at være nogen tvivl om at de PCB-holdige fuger, eller de bygningselementer som de er brugt omkring som f.eks. vinduer, er ved at nå deres udskiftningsalder, og situationen i dag kan meget vel være væsentlig forskellig fra undersøgelser lavet i vores nabolande nogle år tilbage. Det betyder at forekomsten af PCB i bygningerne i højere grad vil være en funktion af vedligeholdelsesstandarder end den oprindelige brug af PCB.

Kortlægning af PCB i Københavns Ejendommers ejendomsportefølje (**fortroligt**)

Kortlægning af PCB i Københavns Ejendommers ejendomsportefølje er udført i 2009 [23]. Af en samlet ejendomsportefølje på 2.693 bygninger er der udpeget 761 bygninger (28%) som er opført eller ombygget/renoveret i perioden 1950-1977. Til projektet blev udvalgt bygninger inden for to anvendelseskategorier:

- A: bygninger hvis anvendelsesformål er: beboelse, vuggestuer, dagplejer, børnehaver samt døgninstitution for børn og unge.
- B: bygninger hvis anvendelsesformål er: folkeskoler, gymnasier, SFO, fritidshjem, klub, behandlingscentre og botilbud.

I alt 570 bygninger inden for disse kategorier, blev vurderet at kunne indeholde PCB. Af de 570 bygninger er 142 repræsentative bygninger udtaget til undersøgelsen. I 24 bygninger kunne der ikke identificeres bløde fuger og der er der-

for kun taget prøver af ind- og udvendige fuger i 118 bygninger. Det blev antaget, at fugerne i de 24 bygninger uden bløde fuger indeholdt < 2ppm PCB.

Der er i gennemsnit taget 7,3 prøver i hver af de 118 bygninger. Resultaterne er vist i følgende tabel.

Tabel 1 Koncentration af PCB i fuger

Koncentration af PCB i fuger	< 2 ppm	2-50 ppm	50-500 ppm	500- 1.000 ppm	1.000- 10.000 ppm	> 10.000 ppm
Antal bygninger	102	32	6	0	0	2
Fordeling af bygninger	72 %	23 %	4 %	0 %	0 %	1 %
Forventet antal bygninger (af 570 bygninger)		112-145	23	0-5	0-5	3-13

Samlet indeholdt 5% af de 142 bygninger fuger med >50 ppm PCB. 28% af bygningerne indeholdt fuger med >2 ppm PCB. Fugerne med 2-50 ppm PCB er formentlig ikke udført af PCB-holdige fugematerialer. Rapporten peger på at der kan være andre kilder der har forurenede disse fuger eller at fugemasserne har været tilsat paraffiner, som ved analysen fremgår som PCB.

De nævnes ikke i rapporten, i hvilket omfang fugerne har været skiftet, f.eks. i forbindelse med udskiftning af ruder. En nærliggende mulighed er at der tidligere har været PCB-holdige fuger og at PCB nu diffunderer ind i de nye fuger fra det omkringliggende murværk. I dette tilfælde vil koncentrationen i murværket være højere end i fugen, men dette forhold er ikke undersøgt i undersøgelsen.

Den benyttede PCB kvantificering er ikke i henhold til gældende standarder, men da der er analyseret for omkring 20 congenere vil resultaterne muligvis kunne omregnes til PCB₇, hvis de 7 congenere er omfattet (fremgår ikke af rapport).

Undersøgelse af KABs boligafdelinger (fortroligt)

Boligselskabet KAB har i løbet af 2009 gennemført en kortlægning af PCB i 295 boligafdelinger [24]. Ud fra oplysninger om alder og byggeteknisk udformning, samt oplysninger om renoveringer og især dør- og vinduesudskiftninger blev det vurderet, at der var grundlag for at undersøge 44 boligafdelinger nærmere (15% af alle afdelinger). Fra 36 afdelinger blev der udtaget prøver til analyse. I kun 6 afdelinger blev der fundet PCB i målbare koncentrationer.

KAB er blevet spurgt om oplysninger om antal prøver pr afdeling, men der er endnu ikke indkommet svar.

I 2 boligafdelinger blev koncentrationen af PCB fundet at overstige 50 mg/kg. Her blev der målt høje koncentrationer af PCB bl.a. i fugerne omkring døre og i samlinger mellem betonelementer. Dvs. der blev fundet >50 ppm PCB i 8% af de 36 afdelinger, hvor man undersøgte for PCB.

I den éne af afdelingerne lå niveauerne på 100 - 2000 ppm (Tåstrupgård), mens den i den anden lå på 2.000 – 200.000 ppm (Birkhøjterrasserne, Farum Midtpunkt). Sidstnævnte afdeling udgør omkring 300 boliger.

I 4 tilfælde var der målbare koncentrationer af PCB, men koncentrationen var mindre end 50 ppm.

Rapporten peger i øvrigt på, at der er tilfælde, hvor PCB-holdige fuger er udskiftet og at PCB fra omgivende murværk kan være diffunderet ind i den nye fuge.

Der er analyseret for PCB₇ med en detektionsgrænse på 0,2 ppm, bortset fra en enkelt analyse med interferens, hvor detektionsgrænsen var 1 ppm.

”Sundhedsmæssig vurdering af PCB-holdige bygningsfuger”

I projektet om sundhedsmæssig vurdering af PCB-holdige bygningsfuger [1], blev der undersøgt for PCB i fuger fra 10 bygninger. Prøverne blev udtaget i bygninger opført i perioden 1950-1976. Først blev der foretaget en visuel bedømmelse om fugerne kunne indeholde PCB (elastiske fuger) og i de tilfælde, hvor dette ikke kunne udelukkes, blev der taget 3 prøver af fugemassen i hver bygning. De ti bygninger blev udvalgt ud fra en gruppe på 100 bygninger fra perioden. 59% af de 100 bygninger havde gummiagtige indvendige fuger, mens 22% af bygningerne havde gummiagtige udvendige fuger.

Ingen af fugerne fra de 4 enfamiliehuse indeholdt > 50 ppm PCB, mens 80% af de indvendige fuger og 50% af de udvendige fuger fra de øvrige bygninger indeholdt >50 ppm PCB. Sammenholdt med spørgeskemaundersøgelsens resultat, at 59% af bygningerne havde gummiagtige fuger tyder på, at det er væsentligt at have de indvendige fuger med i en undersøgelse.

Undersøgelsen omfattede også en prøve af en termorude, som viste sig at indeholde >50 ppm PCB.

Tabel S1: PCB-koncentrationer i fuger

Prøvesteder	Σ_7 PCB	Σ_n PCB	n PCB
	$\mu\text{g/g}$ (ppm)		
Indre, B 5, Etagebolig	1,0	1,8	4
Indre, B 6, Gymnasium	1113,0	2516,1	20
Indre, B 7, Gymnasium	61,3	218,4	20
Indre, B 9, Kontor	1086,5	2016,9	20
Indre, B 10, Universitet	19,7	47,3	17
Thermokit, B 10, Universitet	4209,8	9839,9	20
Ydre, B 1, Enfamiliehus	< 0,5	< 0,5	0
Ydre, B 2, Enfamiliehus	4,5	6,5	8
Ydre, B 3, Enfamiliehus	3,5	5,5	6
Ydre, B 4, Enfamiliehus	< 0,5	< 0,5	0
Ydre, B 5, Etagebolig	< 0,5	< 0,5	0
Ydre, B 6, Gymnasium	22,8	51,0	15
Ydre, B 8, Lager	< 0,5	< 0,5	0
Ydre, B 9, Kontor	188,4	350,1	19
Ydre, B 10, Universitet	< 0,5	< 0,5	0

Σ_7 PCB = Summen af målte koncentrationer af kongener 28, 52, 101, 118, 138, 153 og 180. Σ_n PCB = Summen af målte koncentrationer af de n kongener som lå over rapporteringsgrænsen (<0,5 = ingen PCB blev målt over rapporteringsgrænsen på 0,5 $\mu\text{g/g}$). n PCB = antal kongener kvantificeret.

Analysemetoden inkluderede bestemmelse af 22 PCB kongener, heraf de 7 kongener, som indgår i PCB₇.

Andre undersøgelser

Der er foretaget en række andre undersøgelser af enkelte bygninger, typisk i forbindelse med renovering eller nedrivning.

Forundersøgelsen beskriver således en række undersøgelser i bygninger, som typisk er opført i begyndelsen af 1970'erne, hvor der er påvist > 50 ppm PCB i fuger:

- Indvendige fuger: Gasværksvejens Skole, Børnehuset i Holte, Tappehallerne på Tuborg, en bank.
- Indvendige fuger: Gasværksvejens Skole, Skt. Annæ Gymnasium, Børnehuset i Holte, Tappehallerne på Tuborg, en bank.

Det er værd at bemærke, at der i næsten alle tilfælde også er påvist PCB i de indvendige fuger.

Sammenfattende kan det konkluderes at fuger med >50 ppm PCB kan findes i en relativ lille andel af bygningerne opført i den relevante periode, hvilket formentlig skyldes at fugerne i mange tilfælde har været udskiftet i forbindelse med renoveringsarbejder.

1.2 Termoruder

Der er os bekendt kun lavet én større undersøgelse af PCB i termoruder i Danmark.

Undersøgelsen omfattede 386 termoruder, der blev indleveret over en to-ugers periode i 2006 på Hvidovre Genbrugsplads og blev gennemført af Vestforbrænding, Amagerforbrænding og Århus Kommune. [25]

Indsamlingen foregik ved at samtlige termoruder, både med og uden vinduesramme, blev anbragt af brugerne af genbrugspladsen på såkaldte rude-/glasstativer, der var blevet opstillet på pladsen.

Ruderne blev identificeret efter årstalsprægningen i afstandsprofilet og opdelt i tre grupper:

- Ruder med årstalsprægning 1965-75 og udenlandske ruder frem til 1980 blev kategoriseret som ”Med PCB”.
- Ruder hvor det ikke var muligt at bestemme oprindelsesland, og ruder med utydelig prægning eller helt uden mærkning blev kategoriseret ”Muligvis med PCB”.
- Øvrige ruder blev klassificeret ”Uden PCB”.

Resultater af sortering og analyse, som angivet i rapporten, er vist i følgende tabel.

Tabel 2 Resultater af udsortering og PCB analyse.

Rudetype	Udsorteret	>50 ppm *1	<50 ppm*1
"Uden PCB"	308	-	-
"Med PCB"	15	10	5
"Muligvis med PCB"	63	52	11
I alt	386	62	16

*1 inklusive dubletter – dvs. for ens ruder er der kun analyseret på den ene rude

Af det samlede antal indleverede ruder indeholdt 16% >50 ppm PCB, mens omkring 80% af de frasorterede ruder i kategorierne "Uden PCB" og "Muligvis med PCB" indeholdt >50 ppm PCB.

Det er ikke undersøgt, hvilke bygningstyper eller bygningsanvendelser ruderne stammer fra.

PCB analysen blev lavet i henhold til EPA-8082, hvor der analyseres for 7 PCB congenere. Der blev brugt en korrektionsfaktor på 8,2. Målingerne er udført med GC-ECD. Ved koncentrationer nær detektionsgrænsen, er målingerne udført med GC-MS. I følge analyserapporterne var der på grund af matrix interferens en forhøjet detektionsgrænse for mange af prøverne. Det skal bemærkes at den angivne ekstraktionsmetode er til bestemmelse af PCB i jord. For en række af prøverne var det kun muligt at bestemme, at koncentrationen var <570 ppm. Disse prøver blev regnet som >50 ppm PCB. Analyserapporten viser således, at det kun var 3 prøver i kategorien "Med PCB", hvor analyserne var over detektionsgrænsen og PCB koncentrationen samtidig var >50 ppm, mens der var 4 tilsvarende prøver i kategorien "Muligvis med PCB". Af de 62 prøver >50 ppm var der således kun 7, der var over detektionsgrænsen. Problemstillingen omtales ikke i rapporten.

Den høje detektionsgrænse svækker muligheden for at bruge resultaterne i en større kortlægning. Det peger endvidere på nødvendigheden af at bruge en bedre forbehandling af prøverne for at undgå matrix interferens.

1.3 Gulvmasser

Vi har ikke kendskab til faktiske analyser af PCB i gulvmasser i Danmark. Som nævnt overfor omtaler PCB/PCT rapporten fra 1983 ikke anvendelsen af PCB i gulvmasser, og der er ingen indikationer på, hvor store mængder PCB der kan være brugt til formålet.

I følge forundersøgelsen har PCB-holdige fugefrie betongulve og skridsikre belægninger, fx Acrydur®, været anvendt fra ca. 1955 – 1975 i både Danmark og Sverige og blev fortrinsvis brugt i industrien, i trykkerier og i storkøkkener, men også i bryggers/kælder i en- og tofamiliehuse og på svale- og altangange i

f.eks. rækkehuse. Svenske undersøgelser omtaler endvidere acryl-gulvmasse og gulvspartelprodukter.

I følge en tidligere undersøgelse er anvendelsen af PCB i gulvbelægning (Acrydur gulve) i Danmark dog ikke blevet bekræftet [26] og i følge en foreløbig vejledning fra Dansk Asbestforening fra jan 2010 er anvendelsen af skridsikre gulve med PCB i Danmark ukendt. [27]

Det ser således ud til, at man indtil videre er på helt bar bund, hvad angår brug af PCB i gulvbelægnings i Danmark.

1.4 Maling

PCB/PCT rapporten fra 1983 omtaler PCB-holdig facademaling, men kvantificerer ikke forbruget til dette formål. Da malingen påføres i et tyndt lag, må det forventes at en væsentlig del af PCB'en er fordampet fra malingen, men der har alligevel kunnet påvises PCB i malede bygninger i danske og udenlandske undersøgelser.

Forundersøgelsen nævner uden reference at anvendelse af PCB-holdig maling indendørs især er forekommet på skoler og kældergulve og lignende, hvor der er et stort slid. Det samme nævnes i branchevejledning for PCB i bygninger [28] og vejledningen fra Københavns Kommune nævner, at PCB har været anvendt i visse typer af maling, hvor der stilles store krav til slidstyrke og vejrbestandighed, og at der kendes til enkelte eksempler på at PCB har været anvendt i betonmaling i Danmark.

Det eneste konkrete eksempel vi har kendskab til er, at PCB-holdigt maling er påvist på to højhuse i Rødovre i 2009, hvor blandt andet altangangene var malet med PCB-holdigt maling.

Der er ingen data som kan bruges til at indikere, i hvor stor end el af bygningsmassen PCB-holdigt maling forekommer, men det forekommer formentlig mindre ofte ind i fugemasser og andelen er næppe højere end nogle få procent af malede bygninger opført før 1977.

Vi har ikke haft adgang til de faktiske analyser af PCB i facade- eller gulvmaling i Danmark. Der er en del undersøgelser, der påviser PCB i facademaling i Grønland og andre lokaliteter i det arktiske område.

1.5 Små kondensatorer

En tidligere undersøgelse af PCB i elektrisk udstyr i Danmark fra 2000 nævner, at der stadig vil være en vis mængde PCB i små kondensatorer i lysstofarmaturer [28]. Vi har ikke kendskab til senere opgørelser. Lysstofarmaturer (bortset fra armaturer brugt i husholdninger) er omfattet af WEEE direktivet og skal bortskaffes som elektrisk og elektronisk udstyr og PCB-holdige kondensatorer skal fjernes fra armaturerne. Vi har ikke set nærmere på mulighederne for en

kortlægning af PCB i små kondensatorer eller behovet for en eventuel opstramning af procedurerne for indsamling og behandling af armaturerne.

1.6 PCB i andre materialer

Det kan ikke afvises, at PCB har været anvendt til puds, beton og spartelmasser i Danmark, men der foreligger ingen oplysninger om konkrete anvendelser, og der må påregnes, at skulle tages et meget stort antal prøver for at kunne beller afkræfte om denne anvendelse har fundet sted.

1.7 Mulighed for at lade eksisterende undersøgelser indgå

I hvilket omfang resultaterne af de gennemførte undersøgelser kan bruges i en samlet kortlægning af PCB i byggematerialer i Danmark afhænger af, hvorledes man vælger at gennemføre kortlægningerne.

Hvis resultaterne skal indgå i en samlet statistisk vurdering skal der ideelt set være anvendt samme metode til kvantificering af PCB og bygningerne skal være udvalgt efter den samme metode. Det vil formentlig være muligt at omregne resultaterne til PCB₇, eller lave en tilnærmelse som er tilfredsstillende indenfor den usikkerhed der under alle omstændigheder er på kvantificeringen.

I hvilken grad man kan lade alle resultater indgå i det statistiske materiale vil afhænge af, hvor mange stikprøver der i øvrigt udtages. Hvis man f.eks. vælger kun at udtage 50 stikprøver af beboelsejendomme fra hele landet kan man ikke lade alle de 36 ejendomme fra KAB indgå i det statistiske materiale og stadig betragte stikprøverne, som værende tilfældigt udtrukne – da resultaterne fra ét boligselskab vil udgøre en for stor del af stikprøven.

Med hvilken vægt, de eksisterende målinger kan indgå i det statistiske grundlag, er ikke nærmere vurderet her.

Fugemasse

Hvad angår udvælgelsen af bygningerne er den systematik, der er anvendt af Københavns Ejendomme og KAB, meget lig den metode, som foreslås her til en større kortlægning, og resultaterne vil kunne indgå i den større undersøgelse i relation til bygningstyperne boligblokke (KAB) og institutioner (Københavns Ejendomme). Hvis dataene skal indgå i den større undersøgelse vil det være nødvendigt at betragte de bygninger der er taget prøver fra som enkeltbygninger, selv om det i KAB undersøgelsen er antaget, at de enkelte bygninger er repræsentative for en hel afdeling bestående af mange ens bygninger. Begge undersøgelser kan bruges til at indikere forekomsten af PCB i disse bygningstyper i København, men bør suppleres med undersøgelser fra andre dele af landet.

De øvrige undersøgelser dækker hver så få bygninger, at det næppe vil være relevant at lade resultaterne indgå i en større kortlægning.

Termoruder

Vi vurderer at metodikken brugt til udvælgelse af termoruder til PCB analyse i undersøgelsen gennemført af Vestforbrænding, Amagerforbrænding og Århus Kommune er meget hensigtsmæssig, og foreslår at anvende en tilsvarende metode til en større kortlægning. Den høje detektionsgrænse svækker dog muligheden for at bruge resultaterne direkte i det statistiske grundlag, men resultaterne kan under alle omstændigheder supplere resultaterne af en større kortlægning.

2 Congenerprofiler for PCB i byggematerialer og indeklima

Formålet med følgende korte gennemgang af erfaringer med congenersammensætning af PCB i byggematerialer og indeklima er at danne baggrund for en diskussion af, hvilke congenere det vil kunne være relevant at inddrage i en kommende undersøgelse, udover de som indgår i den anbefalede metode. Ønsket om eventuelt at inddrage andre congenere er, at resultaterne af den kommende undersøgelse - udover at kortlægge problemets omfang - også skal kunne bruges til at vurdere Sundhedsstyrelsens anbefalede aktionsværdier [3].

Polyklorerede biphenyler (PCB) er en gruppe organiske forbindelser bestående af to forbundne benzenringe, hvor brintatomerne er helt eller delvist udskiftet med klor. Der findes 209 forskellige varianter, såkaldte congenere. De enkelte congenere har forskellige fysisk-kemiske og toksikologiske egenskaber. I det følgende vil congerne blive angivet i henhold til et nummereringssystem udviklet af Ballschmiter & Zell i 1980 med senere ændringer.

Der anvendes i det følgende forskellige betegnelser for grupper af congenere, som derfor kort introduceres.

Der skelnes i forbindelse med sundhedsvurderinger mellem dioxin-lignende congenere og ikke-dioxinlignende congenere.

Tolv af de dioxinlignende congenere er tildelt en toksicitetsækvivalensfaktor (TEF) der angiver congenernes relative toksiske effekt i forhold til en specifik sundhedseffekt. Det drejer sig om følgende 12 congenere:

- Non-ortho congenere : PCB 77, 81, 126, 169
- Mono-ortho congenere: PCB 105, 114, 118, 123, 156, 157, 167, 189

Denne gruppe vil samlet blive angivet som PCB₁₂. Koncentrationen af PCB₁₂ angives ofte i enheden dioxin toksicitetsækvivalent (TEQ) hvor koncentrationen af hvert congener er blevet ganget med en specifik toksicitetsækvivalensfaktor. Den samlede toksicitetsækvivalent for de 12 congener bliver i det følgende angivet som total PCB-TEQ.

For de øvrige PCB er der ikke udviklet ækvivalenssystemer, som er almindeligt anerkendte.

Traditionelt er 6 af congenerne anvendt som indikatorer (eller markører) for forekomsten af PCB. Ingen af de 6 kongener er blandt de dioxinlignende. Metoden er oprindeligt udviklet til bestemmelse af PCB i olier, men bruges også på andre matricer og bruges eksempelvis i den tyske VDI 2464 standard for bestemmelse af PCB i indeluft.

De seks indikator PCB (PCB₆) er: PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180

Forholdet mellem summen af de 6 indikator-congener PCB og det totale indhold af PCB varierer, men der benyttes ofte en faktor 5 ved omregning til total PCB.

I ”Notat til Erhvervs- og Byggestyrelsen om målemetode for indeklimatemåling af PCB” er det foreslået at udvide PCB₆ med PCB 118, som er en af de dioxinlignende PCB og som ofte er medtaget i indeklimateundersøgelser i Sverige og Danmark. PCB₆ + PCB 118 betegnes PCB₇. Det anbefales i det omtalte notat at beregne total PCB ved at gange PCB₇ med en faktor på 5.

Samlede målinger af PCB₆ og PCB₁₂ vil her blive betegnet PCB₆₊₁₂.

2.1 Congenersammensætning af PCB i byggematerialer og indeluft

2.1.1 Byggematerialer som kilde til PCB i indeluft

Congenersammensætningen af PCB i byggematerialer vil være afhængig af, hvilke kommercielle PCB blandinger der er benyttet til at fremstille materialerne.

I en schweizisk undersøgelse omfattende 1348 prøver af fugemasser, hvoraf 646 indeholdt PCB, indeholdt 70 % af prøverne med PCB medium-klorerede blandinger svarende til de kommercielle blandinger Clophen A50, Aroclor 1248 eller Aroclor 1254 [4]. PCB blandinger med højt klorindhold, svarende til Clophen A60, Aroclor 1260, og Aroclor 1262 udgjorde 20%, og kun 10% af prøverne indeholdt lavt klorerede PCB blandinger, som svarer til Clophen A30, Clophen A40, eller Aroclor 1242. Det er i artiklen ikke angivet forskelle i congenersammensætning havde sammenhæng med fugemassernes anvendelse (indendørs, udendørs, mellem elementer etc.). Det angives, at der i fugemasserne ses en tendens til lavere koncentrationer af de mere let-flygtige lavtklorerede kongener sammenlignet med de tekniske blandinger, hvilket indikerer, at der er sket en større fordampning/diffusion af de mere lavtklorerede kongener.

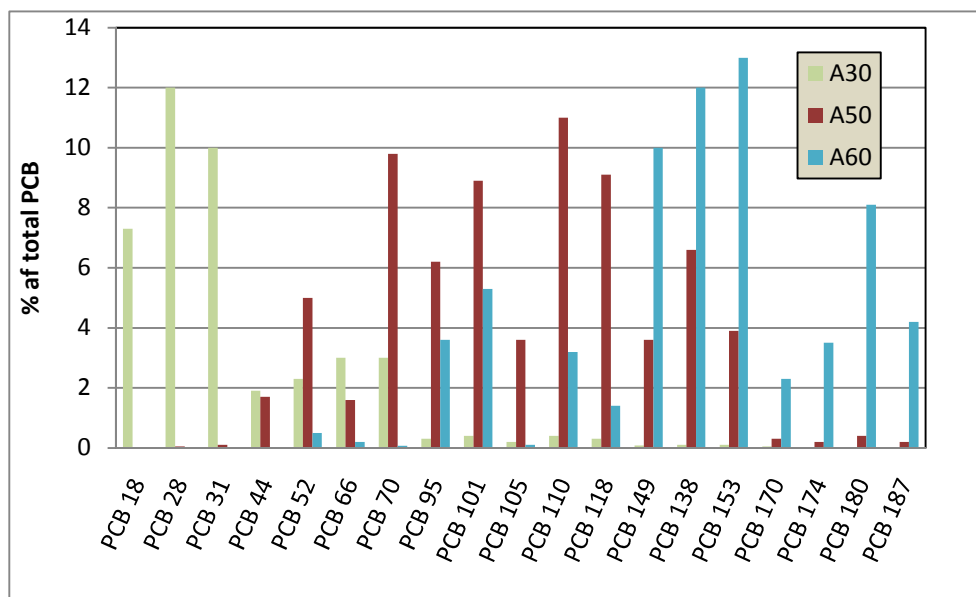
Congenersammensætningen af de nævnte kommercielle Clorphen (Tyskland) og Aroclor (USA) blandinger er vist i Tabel 3 baseret på Takasuga et al. (2006) [5]. De angivne kongener udgør 39-72 % af totalen. Som det fremgår udgør PCB₆ en væsentlig mindre del af de lavtklorerede kommercielle produkter en af de højtchlorerede.

Tabel 3 Congenersammensætning af kommercielle blandinger af PCB (de 6 indikator-congenere og PCB 118 er angivet med grå baggrund) (baseret på [5])

Congener	Procentvis indhold af udvalgte PCB congenere					
	Lavtklorerede		Medium klorerede		Højtklorerede	
	Clophen A30	Aroclor 1242	Clophen A50	Aroclor 1248	Clophen A60	Aroclor 1260
PCB18	7,3	5,2	0,03	2,5	0,01	0,06
PCB28	12	7,1	0,05	5,5	0,02	0,07
PCB31	10	6,9	0,1	5,5	0,02	0,08
PCB44	1,9	2,8	1,7	4,2	0,03	0,04
PCB52	2,3	3,5	5	5,6	0,5	0,3
PCB66	3	4,5	1,6	6,8	0,2	0,1
PCB70	3	5,2	9,8	9,1	0,07	0,08
PCB95	0,3	0,7	6,2	1,5	3,6	2,1
PCB101	0,4	0,8	8,9	2,5	5,3	2,8
PCB105	0,2	0,4	3,6	1	0,1	Nd
PCB110	0,4	1	11	2,7	3,2	1,5
PCB118	0,3	0,6	9,1	1,7	1,4	0,6
PCB149	0,08	0,08	3,6	0,1	10	7,7
PCB138	0,1	0,06	6,6	0,2	12	8,3
PCB153	0,1	0,2	3,9	4,6	13	6,4
PCB170	0,05	0,005	0,3	0,1	2,3	4,8
PCB174	0,03	0,007	0,2	0,1	3,5	4,9
PCB180	0,01	0,01	0,4	0,4	8,1	13
PCB187	0,03	0,009	0,2	0,1	4,2	5,4
Sum af angivne congenere	42	39	72	54	68	58
Total PCB : PCB ₆	1 : 6,7	1 : 8,5	1 : 4,0	1 : 5,3	1 : 2,6	1 : 3,2
PCB ₇	15,2	12,3	34,0	20,5	40,3	31,5

Datasættet for Clophen blandingerne er vist i nedenstående figur som meget tydeligt illustrerer forskellene mellem blandingerne.

Figur 2 Congenersammensætning af tre forskellige Clophen blandinger [5].



2.1.2 Andre kilder til PCB i indeluft

PCB i små kondensatorer brugt i lysstofarmaturer og hvidevarer kan i forbindelse med at kondensatorerne lækker give anledning til PCB i indeluften – et forhold som bl.a. er beskrevet i den første danske kortlægning af brugen af PCB fra 1983 [6]. Der er ikke fundet nogen resultater der klart påviser en sammenhæng mellem tilstedeværelsen af små kondensatorer og PCB i indemiljøet, men det vil ved en undersøgelse af PCB i indeklimaet kunne være relevant at se på, om der i rummene, hvor der foretages målinger, findes gamle lysstofarmaturer fra før 1980.

Congener-sammensætningen af PCB som dannes utilsigtet ved forbrændingsprocesser er væsentligt forskelligt fra congener-sammensætningen af PCB brugt i byggematerialer [5]. PCB stammende fra andre kilder end byggematerialer vil skulle tilføres med udeluften, og afspejle sig i det PCB niveau som kan findes i boliger uden PCB i byggematerialer. Der er en række undersøgelser der har påvist at PCB koncentrationen i boliger med PCB-holdige byggematerialer ligger væsentligt over tilsvarende boliger uden PCB i byggematerialer. I en svensk undersøgelse blev den gennemsnitlige PCB koncentration i 7 lejligheder med PCB fuger bestemt til 366 ng PCB/m³, mens den gennemsnitlige koncentration i 4 lejligheder uden PCB-holdige fuger var 6 ng PCB/m³ – kun svagt over koncentrationen i udeluft på 5 ng PCB/m³ [7].

Den danske sundhedsmæssige vurdering af PCB-holdige bygningsfuger viser en klar sammenhæng mellem koncentrationen af PCB i indvendige fuger og koncentrationen i indeluften [1]. Den laveste målte koncentration i indeluften lå på ca. 1 ng PCB/m³.

I England fandt man i 14 bygninger koncentrationer på 1,1-69 ng PCB/m³ mens der i udeluften fandtes koncentrationer fra 0,08 til 1,5 ng PCB/m³ [8].

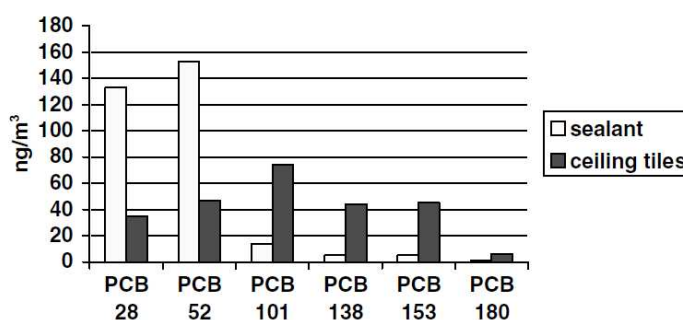
Der er således ikke noget der tyder på, at der er andre væsentlige kilder end byggematerialer til PCB i indeluften i de tilfælde, hvor der ses forhøjede værdier.

2.1.3 Sammenhæng mellem congeneprofiler for PCB i byggematerialer og indeluft

Der er forskel på hvilke kommercielle blandinger der har været benyttet til forskellige byggematerialer og dette har væsentlig indflydelse på det resulterende congenermønster af PCB i indeluften.

Som det fremgår af nedenstående figur er det i tyske undersøgelser fundet, at congenermønsteret i indeluft, hvor PCB kilden har været Thiokol fugemasser med PCB blødgørere, var forskudt mod de lavtklorerede PCB sammenlignet med indeluft, hvor kilden var loftsplader flammehæmmet med PCB.

Figur 3 PCB congenermønster i indeluft i rum hvor PCB kilderne er henholdsvis Thiokol fugemasse og loftsplader flammehæmmet med PCB[9]



Langt de fleste undersøgelser af PCB i byggematerialer og indeluft har omfattet PCB₆ eller PCB₇ evt. suppleret med PCB₁₂.

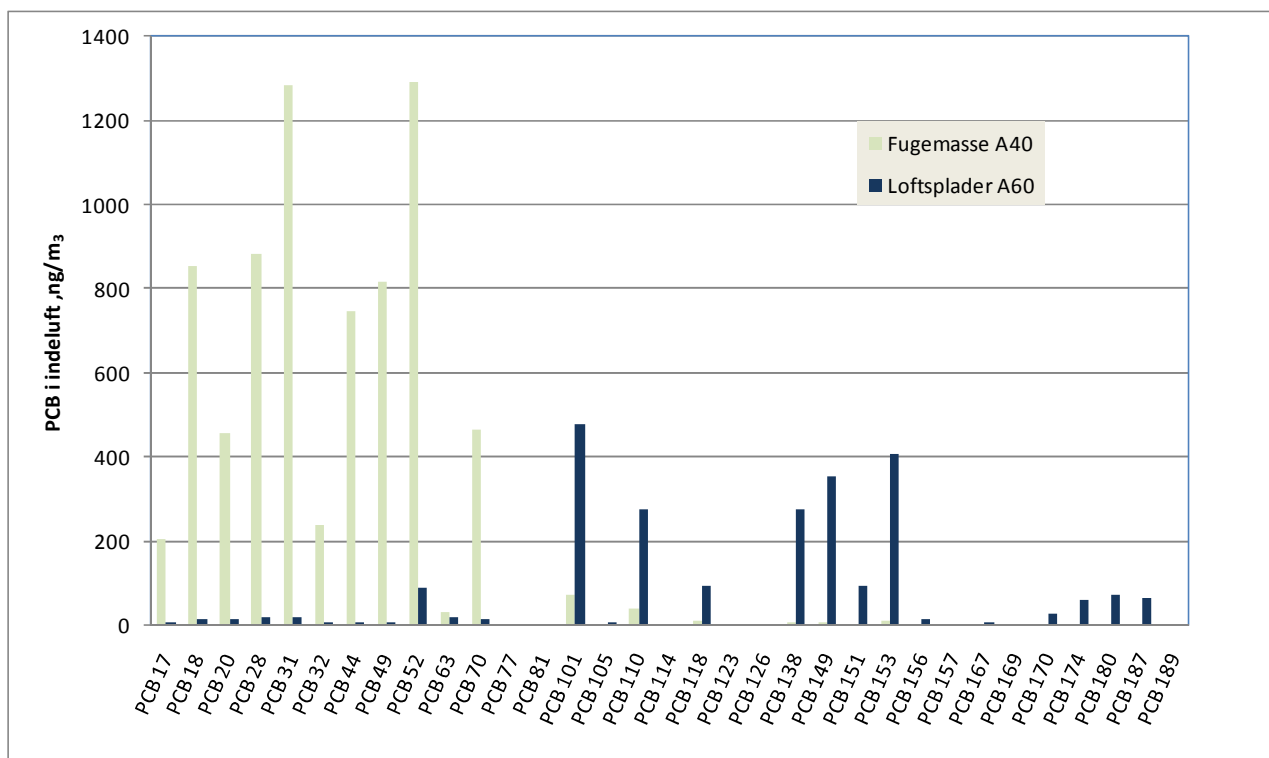
I ”Notat til Erhvervs- og Byggestyrelsen om målemetode for indeklimamåling af PCB” er angivet flere undersøgelser, hvor der er målt flere congenere, men resultaterne for de enkelte congenere er i mange tilfælde ikke rapporteret i artiklerne.

I de eksempler, der er fundet i forbindelse med udarbejdelse af nærværende notat, har formålet med at medtage flere congenere været at vurdere sammenhænge mellem de ikke-dioxinlignende congenere og de dioxinlignende PCB.

I en tysk undersøgelse blev der foretaget 56 målinger af indeklimaet i 17 bygninger [10]. Udover PCB₆ og PCB₁₂ blev der undersøgt for følgende såkaldte ”hovedkomponenter”: PCB₁₇, 18, 20, 31, 32, 44, 49, 63, 70, 110, 149, 151, 170, 174, 187.

Congenermønstre for PCB i indeluft med henh. fugemasse (Clophen A40) og loftplader (Clophen A60) som PCB kilde er vist nedenfor. Det ses tydeligt en sammenhæng mellem congenermønstrene i indeluften og mønstret i de kommercielle blandinger som er brugt i byggematerialerne (se Figur 2). Mønstret for fugemasser, med en overvægt af de lavtklorerede congenere minder om de resultater der også er set i Danmark hvor fugemasser har været kilder.

Figur 4 Congenermønstre for PCB i indeluft med henh. fugemasse og loftplader som PCB kilde (baseret på [11]).



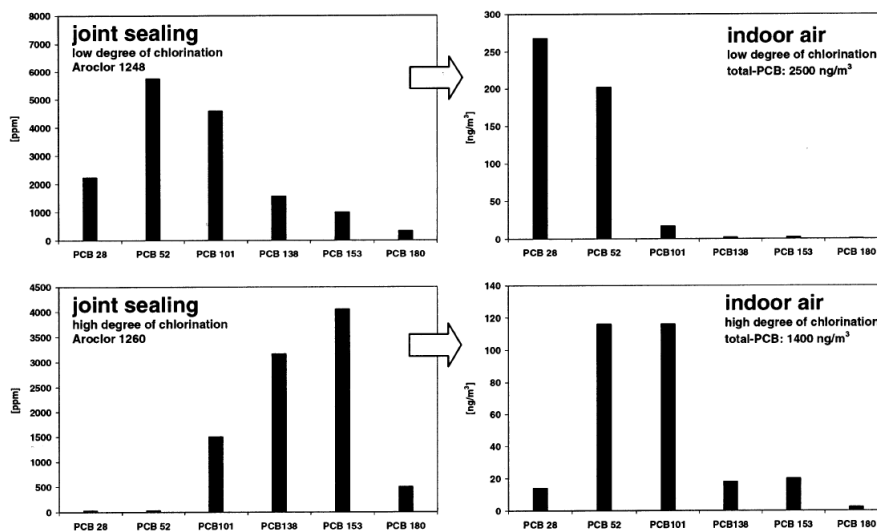
Resultaterne er i artiklen brugt til at se på korrelationen mellem de forskellige congenere og total PCB-TEQ som omtales yderligere nedenfor. Den bedste korrelation mellem koncentrationen af ikke-dioxinlignende congenere og total PCB-TEQ blev blandt indikator-congenerne fundet for de højere klorerede congenere som PCB 101, 138, 153. Der sås lignende korrelationer for andre højt-klorerede PCB som PCB 110, 149, 151, 170, 174 og 184, men korrelationskoefficienten var afhængig af PCB kilde. Der var ingen af disse ekstra PCB der havde bedre korrelation end de nævnte indikator-congenerne. Det konkluderes endvidere i undersøgelsen at koncentrationen af den dioxinlignende PCB 118 fungerer som en god indikator for total PCB-TEQ på tværs af alle kilder.

Som tidligere nævnt er der i schweiziske undersøgelser fundet at fugemasser også kan indeholde højt-klorerede blandinger, som svarer til Clophen A60, hvor man må forvente at også indeluften vil indeholde flere af de højt-klorerede congenere.

Der ses som nævnt en klar sammenhæng mellem congenersammensætningen af byggematerialer og sammensætningen i den indeluft som forurenes af de på-

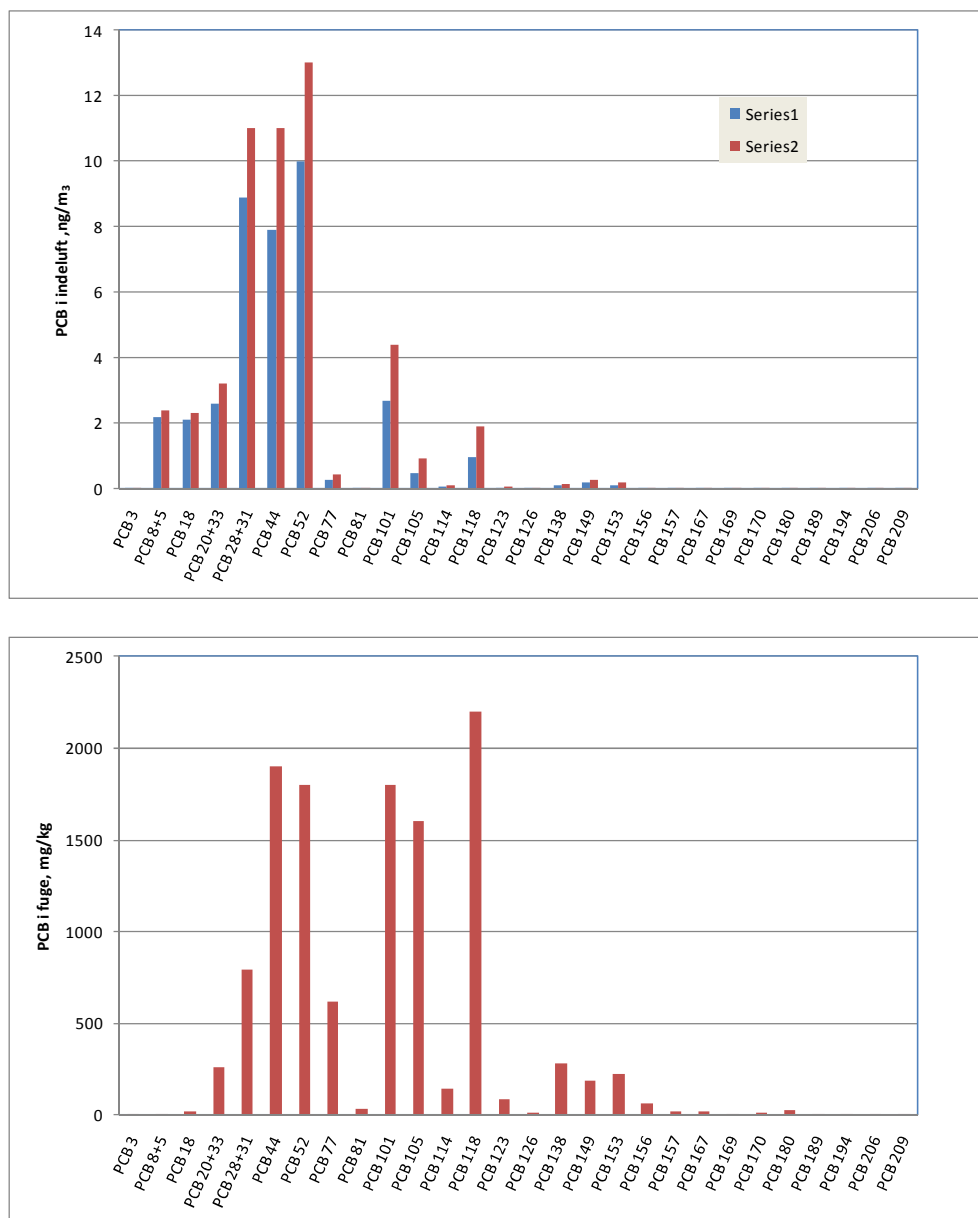
gældende materialer. Grundet de lavt klorerede kongeneres højere flygtighed ses dog en forskydning mod de lavere kloreringsgrader som det fremgår i nedenstående figur. Dette er i overensstemmelse med resultaterne, der viser, at den tilbageværende PCB i materialerne har mindre af de lavtklorerede kongener sammenlignet med de tekniske blandinger.

Figur 5 Sammenhæng mellem PCB kongenersammensætning i to forskellige fugemasser med henh. lav og høj kloreringsgrad og i indeluften [11].



Den samme forskydning ses i en japansk undersøgelse, hvor man har medtaget flere congenere og har sammenlignet congenerprofiler for en række PCB kilder og indeluft [12]. Profilerne for fugemasse og indeluft fra det samme rum er vist i næste figur

Figur 6 Congenerprofiler af to målinger i indeluft (øverst) og fugemasse fra det samme rum (nederst) (baseret på[12])



I samme undersøgelse så man på congenerprofilerne fra en række PCB kilder som både omfattede tilsigtet brug af PCB og PCB utilsigtet dannet ved forskellige forbrændingsprocesser. Undersøgelsens resultater viste, at man ved at udvide antallet af indikator-congenere kan opnå en mere sikker omregning fra summen af indikator-congenere til total PCB på tværs af de forskellige kilder. På den baggrund foreslår forfatterne et nyt sæt indikator-congenere bestående af følgende 15 congenere (PCB₇ markeret fed): PCB 3, 8, **28**, **52**, 77, **101**, 105,

118, 126, 138, 153, 180, 194, 206 og 209. Der er os bekendt ikke nogen standarder der i dag bruger det foreslåede sæt af 15 indikator-congenerer.

2.1.4 Sammenhæng mellem congenerprofiler og total PCB-TEQ

Congenersammensætningen af de kommercielle blandinger har stor indflydelse på mængden af dioxinlignende PCB og dermed på total PCB-TEQ af blandingerne som angivet i nedenstående tabel fra en tysk arbejdsgruppe omkring PCB i indeluft [13].

Tabel 4 Indholdet af dioxinlignende PCB som funktion af PCB blanding [13]

Clophen type	µg PCB-TEQ/g Clophen
Clophen A 30	2,6
Clophen A 40	6,9
Clophen A 50	114
Clophen A 60	472

Forholdet mellem de dioxinlignende PCB og total PCB i indeluften varierer ligeledes og er afhængig af congenermønstret, omend de forskelle som ses for indeluft er væsentligt mindre end forskellene i de kommercielle blandinger. Baseret på resultaterne af to tyske undersøgelser sammenfatter arbejdsgruppen sammenhængen mellem total PCB-TEQ og total PCB som vist i nedenstående tabel.

Tabel 5 Forhold mellem PCB-TEQ og total PCB i indeluft afhængig af PCB kilden [13]

PCB kilde	Prøveantal, n	PCB-TEQ over total PCB Regressionslinje	Regressionskoefficient
Fugemasse, Clophen A40	25	$y=0,453 x$	0,669
Fugemasse, Clophen A50	19	$y=0,642 x$	0,655
Maling, Clophen A60	13	$y=2,09 x$	0,667
Loftsplader, Clophen A60	47	$y=2,94 x$	0,891
Alle Clophen A40 + A50 kilder	44	$y=0,581 x$	0,648
Alle Clophen A50 kilder	60	$y=2,75 x$	0,805

Arbejdsgruppen konkluderede, at der er en god overensstemmelse mellem koncentrationen af PCB 118 og total PCB-TEQ og anbefaler at man for at spare ressourcer bruger PCB 118 som indikator for PCB-TEQ. En koncentration af PCB 118 på under 0,01 µg per m³ indikerer at total PCB-TEQ er godt under 5 pg/m³ uafhængig af PCB kilden.

I en tysk undersøgelse af PCB i indeluften fandt man at der var en næsten lineær sammenhæng mellem summen af indikator-congenerne PCB101, 138, 153 og 180 og total PCB-TEQ uanset kilden (fugemasser og loftsplader) og lavede på

baggrund af resultaterne en algoritme, som kan benyttes til at beregne total PCB-TEQ ud fra koncentrationen af de 4 indikator-congenerer [9]:

$$\text{PCB-TEQ [pg/m}^3] = 0.018 \times (\text{PCB 101} + 138 + 153 + 180) + 0.034 \text{ [ng/m}^3]$$

Der sås derimod en negativ korrelation mellem koncentrationen af de lavtklorede indikator-congenerer PCB 28 og 52 og total PCB-TEQ.

2.1.5 Bidrag af de forskellige congenerer til total PCB-TEQ

De enkelte dioxinlignende PCB har forskellig toksicitet som resulterer i toksicitetseffekt faktorer som med det seneste system fra WHO varierer fra 0,1 for PCB 126 til 0,0003 for en række af de øvrige congenerer (tabel 6). Dvs. bidraget til TEQ-PCB fra en koncentration af PCB 118 på 1 ng/m³ svarer til bidraget fra en koncentration af PCB 126 på 0,002 ng/m³. For at kunne få et retvisende billede af total PCB-TEQ er det altså nødvendigt, at kunne måle denne congener ved en højere opløsning end de øvrige congenerer.

Tabel 6 Toxicitets-ækvivalens-faktorer (TEF) for PCB congenerer i henhold til to WHO systemer.

Congener	TEF værdi WHO 98	TEF værdi WHO 05
<i>Non-ortho PCB</i>		
PCB 77	0,0001	0,0001
PCB 81	0,0001	0,0003
PCB 126	0,1	0,1
PCB 169	0,01	0,03
<i>Mono-ortho PCB</i>		
PCB 105	0,0001	0,0003
PCB 114	0,0005	0,0003
PCB 118	0,0001	0,0003
PCB 123	0,0001	0,0003
PCB 156	0,0005	0,0003
PCB 157	0,0005	0,0003
PCB 167	0,00001	0,0003
PCB 189	0,0001	0,0003

I den tidligere omtalte tysk undersøgelse fandt man, at PCB 118 udgjorde omkring 40% af total PCB-TEQ i alle prøver uanset PCB kilde (tabel 7). I indeklimaet i rum forurenet med PCB-holdige fugemasser og maling var PCB 126 den næstvigtigste congener, mens denne rolle blev spillet af PCB 156 når kilden til PCB i indeklimaet var loftsplader. Bidraget fra dioxiner og furaner til total TEQ varierede fra 5% i fugemasserne til 18% i loftspladerne.

Tabel 7 De enkelte congeners procentuelle andel af total PCB-TEQ (efter [10]).

Congener	Procentuel andel af total PCB-TEQ			
	Clophen A60		Clophen A50	Clophen A40
	Loftsplader	Maling	Fugemasse	Fugemasse
PCB 77	1,2	1,5	5,5	6,1
PCB 81	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
PCB 126	12,7	33,9	37,0	32,4
PCB 169	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
PCB 105	5,5	5,4	12,9	13,6
PCB 114	2,6	2,4	8,4	8,0
PCB 118	49,4	38,8	41,0	43,7
PCB 123	<1,0	<1,0	1,2	1,3
PCB 156	28,5	14,6	6,3	8,3
PCB 157	2,6	1,6	<1,0	<1,0
PCB 167	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
PCB 189	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0

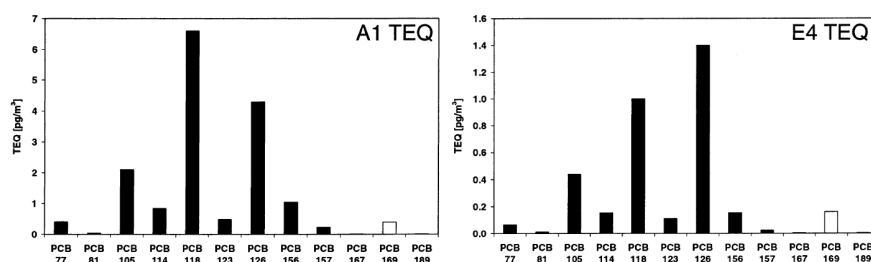
I en anden tysk undersøgelse fandt man ligeledes at PCB 118 var blandt de dominerende congenere i indeluft forurenet af PCB fra PCB-holdige loftsplader sammen med PCB 126 og PCB 154 (Tabel 8).

Tabel 8 De enkelte congeners procentuelle andel af total PCB-TEQ i to bygninger med PCB-holdige loftsplader (efter [9]).

Congener	Procentuel andel af total PCB-TEQ	
	Bygning 3	Bygning 4
PCB 77	<0,1	n.d.
PCB 81	<0,1	<0,1
PCB 126	29,8	1,1
PCB 169	0,4	<0,1
PCB 105	1,2	6,8
PCB 114	0,07	2,1
PCB 118	23,3	41,7
PCB 123	0,7	3,3
PCB 156	41,4	25,0
PCB 157	2,3	2,3
PCB 167	0,4	0,3
PCB 189	0,6	0,2

Samme mønster med PCB 118 og PCB 126 som de vigtigste bidragydere til total PCB-TEQ er også set i en schweizisk undersøgelse af bygninger forurenet af fugemasser med lavtklorerede PCB (figur 7).

Figur 7 Congenerprofil (i TEQ) i indeluften i to bygninger forurenet med fugemasser med lavtkloreret PCB [4]



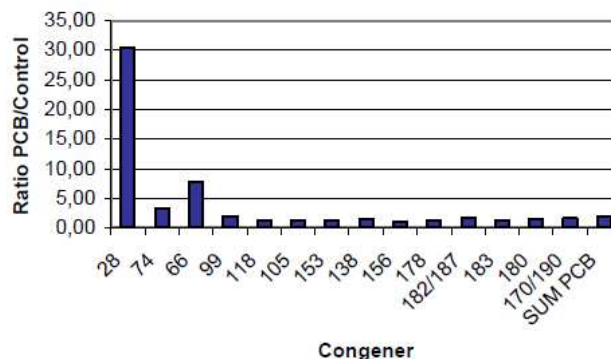
Resultaterne viser, som også nævnt i notatet om målemetode for indeklimamåling for PCB, at PCB 118 giver en meget god indikation af niveauet for total PCB-TEQ. Hvis man ønsker et dækkende billede af PCB₁₂ er det nødvendigt at benytte en mere følsom målemetode (som diskuteres i det følgende) idet PCB 126, som optræder i koncentrationer på kun 1/1000 af koncentrationen af PCB 118 er en af de største bidragydere til total PCB-TEQ.

2.1.6 Congenersammensætning af blod hos personer der bor i PCB lejligheder

Der er lavet en række undersøgelser af sammensætningen af PCB congenere i blodet hos personer, der bor i boliger forurenet med PCB, hos skolelærere der arbejder i PCB forurenede skoler og hos arbejdere der arbejder med at nedrive PCB-forurenede bygninger. Denne litteratur vil ikke blive gennemgået her, men blot peges på at der ses nogle karakteristiske mønstre.

Forhold mellem PCB koncentration i blodet hos personer som boede i PCB lejligheder i forhold til kontrolpersoner er vist i Figur 8. Der blev i undersøgelsen målt for 30 congenere men følgende congenere kunne kun måles i enkelte prøver: 101, 110, 141, 157, 174, 177, 172/192, 189, 201, 196/203, 206 and 209. Det ses at personer som boede i boliger med PCB havde i gennemsnit 30 gange mere PCB 28 end kontrolpersonerne, mens der for de øvrige congenere sås mere beskedne øgninger.

Figur 8 Forholdet mellem PCB koncentrationen i blodet hos personer der boede i PCB lejligheder i forhold til kontrolpersoner [14].



2.2 Congenerprofiler og sundhedsvurdering

Sundhedsstyrelsen foreslår i notatet ”PCB og sundhed” [3] at der ved vurdering af, hvilke niveauer af PCB i luften inden døre, der kan føre til behov for renovering og/eller øget ventilation og rengøring, anvendes de tyske såkaldte aktionsværdier. Der er fastlagt følgende 2 aktionsniveauer for PCB i indeluft:

- Mere end 3.000 ng PCB/m³ luft indebærer, at der skal gribes ind uden unødigt forsinkelse.
- 300-3000 ng PCB/m³ luft indebærer, at der på sigt skal gribes ind for at bringe koncentrationen under 300 ng/m³.

Det angives ikke hvordan PCB koncentrationen beregnes, men da der foreslås at anvende tyske aktionsværdier, må man regne med at beregningsmetoden svarer til den metode der anbefales i den tyske PCB Richtlinie [15] som er 5* summen af PCB₆.

Som det er nævnt i det foregående vil forholdet mellem PCB₆ og total PCB-TEQ være afhængig af kilden til PCB. Det er således også afhængigt af kilden, hvor store mængder total PCB-TEQ de fastsatte aktionsniveauer vil svare til.

I en diskussion af, hvilke congenere det kan være relevant at lade indgå i en undersøgelse, er det nødvendigt at overveje, hvordan den opnåede information om congenersammensætningen kan bruges.

For de dioxinlignende PCB er der ækvivalensfaktorer der muliggør en beregning af total PCB-TEQ ud fra sammensætningen af de 12 congenere. Om det er relevant at medtage disse i en undersøgelse er et spørgsmål om, hvor sikre oplysninger om total PCB-TEQ som ønskes.

For de ikke-dioxinlignende PCB er der for øjeblikket ikke nogen anerkendte ækvivalensfaktorer. I følge sundhedsvurderingen, som indgik i den tidligere undersøgelse af PCB-holdige bygningsfuger [1], må det formodes at de congenere, der ophobes længe i kroppen - og herved opnår høj intern dosis - vil være de blandt de ikke-dioxinlignende PCB som har størst sundhedsmæssig betyd-

ning. Det drejer det sig om de følgende ikke-dioxinlignende PCB: PCB18, **28**, 33, 37, 47, **52**, 60, 66, 74, 99, **101**, 110, 128, **138**, 141, **153**, 170, **180**, 183, 187, 194, 206, og 209 (PCB₆ markeret fed). I mangel af internationalt accepterede vurderinger af de ikke-dioxinlignende PCB antages det i sundhedsvurderingen, som en konservativ vurdering, at alle ikke-dioxinlignende PCB har toksikologiske potenser tilsvarende PCB 28, 128 og 153. Et mere detaljeret kendskab til congenersammensætningen af de ikke-dioxinlignende PCB vil således næppe få væsentlig indflydelse på den sundhedsmæssige vurdering.

Der er for nylig af amerikanske forskere foreslået toksicitets-ækvivalensfaktorer som også omfatter ikke-dioxinlignende PCB med effekten af PCB på niveauet af et specifikt hormon (T4) som biomarkør [16]. Markøren skulle bruges til at indikere de forskellige congeners effekt på hormonsystemet og nervesystemet. I artiklen præsenteres ækvivalensfaktorer for PCB 28, 52, 77, 101, 105, 118, 126, 138, 153, 156, 169, 180. Alle disse indgår i enten PCB₆ eller PCB₁₂. Det må dog formodes, at der går lang tid før der er generelt anerkendte ækvivalensfaktorer for de ikke-dioxinlignende PCB.

2.3 Forslag til congenere som skal indgå i undersøgelsen

Vi har regnet med at alle målinger af PCB i indeklimaet som minimum omfatter PCB₇ som anbefalet i notat om indeklimamålinger.

Hvis der ønskes meget sikre oplysninger om total PCB-TEQ foreslås at udvide med de dioxinlignende PCB₁₂. Resultaterne vil formentlig mest bekræfte, hvad der allerede vides fra tyske og schweiziske undersøgelser, og man kan derfor alternativt vælge at foretage en mere usikker bestemmelse ud fra koncentrationen af PCB 118 og koncentrationen af de 4 højtklorerede congenere af PCB₆. Der er i det følgende udarbejdet overslag over økonomien i undersøgelser af forskelligt omfang.

Vi vurderer, at analyser af ikke-dioxinlignende PCB udover PCB₆ ikke vil kunne give nogen information som i væsentlig grad kvalificerer en sundhedsmæssig vurdering og at det derfor vil være spild af ressourcer at udvide undersøgelsen med andre congenere end PCB₆ og PCB₁₂. Der har derfor ikke været indhentet priser på analyser af yderligere congenere.

3 Kortlægningsmetoder for PCB i byggematerialer

Med udgangspunkt i forskelle i mulighederne for at udtage prøver, foreslår vi forskellige kortlægningsmetoder for de forskellige materialer.

I dette afsnit beskriver vi de overordnede metoder og strategier, mens vi i kapitel 3 går videre med en diskussion af opfanget af prøvetagning. Der vil naturligvis kunne anvendes mange forskellige metoder og strategier, men vi har valgt kun at beskrive de metoder vi finder er mest oplagte.

Strategierne vil være lidt afhængige af hvad resultaterne skal bruges til. Hvis fokus er på at få opgjort, hvor store mængder PCB der stadig er i brug, vil fokus være på de anvendelser, hvor mængderne forventes at være store (f.eks. fugemasser og termoruder). Hvis formålet er at få afklaret omfanget af PCB til de anvendelser, hvor der i dag er meget lidt viden (f.eks. gulvmasse og maling), men som potentielt kan være væsentlige kilder til PCB i indeklimaet, vil der derimod være behov for at fokusere på disse anvendelser. De tilgængelige data er tilstrækkelige til at dokumentere, at der stadig kan findes PCB i fugemasser og termoruder, omend det præcise omfang af problemet er usikkert.

Strategierne vil også afhænge af, hvor præcist man er interesseret i at vide om der er en sammenhæng mellem forekomsten af PCB og bygningstype eller bygningsanvendelse. Hvis der ønskes pålidelige resultater, der kan påvise sådanne forskelle, skal der tages relativt mange prøver. Det skal således afklares hvad der ønskes undersøgt med materialemålingerne.

I relation til de statistiske overvejelser antager vi, at der som minimum er en interesse i at kunne fastsætte andelen af bygninger (eller produkter), der indeholder materialer med et PCB indhold på >50 ppm, som er den gældende grænseværdi i forhold til klassificering af affaldet som farligt affald. Analyserne vil naturligvis også kunne bruges til at bestemme andelen med et indhold på >500 ppm eller >10,000 ppm men dette er der ikke regnet nærmere på. Vi ved at andelen vil være mindre og at der skal tages tilsvarende flere prøver hvis man også vil kunne udtale sig om dette med en given sikkerhed.

Målingerne vil også kunne bruges til at bestemme det gennemsnitlige indhold af PCB i materialerne, som vil kunne bruges til at beregne, hvor store mængder ren PCB der endnu er i de forskellige materialer i den samlede bygningsmasse. Vi har ikke regnet på, hvor sikkert gennemsnittet vil kunne beregnes afhængig af stikprøvestørrelsen, da det ikke kan forventes, at værdierne er normalfordelte (der vil snarere være en fordeling med flere toppe), og det på det foreliggende grundlag ikke er muligt at bestemme en forventet fordeling.

3.1 Fugemasser

Etageejendomme, offentlige bygninger og private kontorbygninger

Vi antager, at en bredere undersøgelse i relation til etageejendomme, offentlige bygninger og eventuelt private kontorbygninger i store træk vil følge metodikken som er blevet anvendt i undersøgelserne foretaget af KAB og Københavns Kommune.

Ved denne kortlægningsstrategi antages det, at bygninger opført efter 1977 under alle omstændigheder ikke indeholder PCB. Det kan selvfølgelig ikke afvises at PCB har været brugt ulovligt efter 1977, men hvis man skulle teste denne antagelse, skal der tages hundredvis af prøver af nyere bygninger og det vil højst sandsynligt være spild af ressourcer.

Ved de statistiske analyser, som beskrives i kapitel 3, antages det, at prøverne udtages helt tilfældigt ud af den samlede bygningsmasse (fra de relevante år-gange). Det er dog meget bekosteligt at gennemføre en undersøgelse, hvor prøverne udtages helt tilfældigt, idet projektorganiseringen vil blive meget vanskeligt, da der skal etableres kontakt til hundredvis af bygningsejere.

For at kunne lave en effektiv projektgennemførelse regner vi derfor med at undersøgelsen gennemføres i samarbejde med en række boligforeninger, virksomheder og kommuner, som har en større bygningsportefølje. For at kunne betragte det som et tilnærmelsesvist tilfældigt udtræk vil det være vigtigt at have en geografisk og tidsmæssig spredning på de bygninger, der udtages prøver fra. De eksisterende undersøgelser repræsenterer en ganske væsentlig del af bygningsmassen for denne type anvendelser i København, og det foreslås derfor, at koncentrere undersøgelsen om f.eks. tre større provinsbyer. For hver af samarbejdspartnerne skal det tilstræbes at tage et tilfældigt udtræk af bygningerne i den enkelte samarbejdspartners bygningsportefølje.

Vi antager at undersøgelsen stort set følger følgende metodik:

- 1 Udvalgelse af de bygninger som er opført, ombygget eller renoveret (fx. udskiftning af vinduer) i perioden 1950-1977.
- 2 Visuel bedømmelse – frasortering af bygninger der ikke har ud- eller indvendige fleksible fuger
- 3 Udtagelse af stikprøver fra et repræsentativt udsnit af de øvrige bygninger, som potentielt kan indeholde PCB. Det sikres, at der udtagne stikprøver omfatter de forskellige bygningstyper.

For nogle af de indvendige fuger og fuger omkring vinduer og døre er der i det foreliggende datamateriale ikke noget grundlag for at antage, at der skulle være forskel mellem de forskellige bygningsanvendelser, men der må forventes forskelle afhængig af bygningstyper. Fuger mellem betonelementer vil således primært findes i elementbyggeri. Da elementbyggede bygninger også vil kunne indeholde PCB fuger omkring vinduer og døre, vurderer vi det vil være mest hensigtsmæssigt at betragte elementbyggerier som en delmængde af det samlede antal bygninger, således at der i dette byggeri tages prøver af alle fugetyper. Med et tilstrækkeligt antal prøver, vil det være muligt at se, om der er statistisk forskel mellem elementbyggerier og andre byggerier.

Vi foreslår at man overvejer 2 strategier:

1. Der udtages kun prøver af etageboligbebyggelse og institutioner ud fra det forhold, at det er disse anvendelser, som der umiddelbart vil være størst

fokus på mht. indeklima. Herved vil undersøgelsen være medvirkende til at der hurtigt kan tages forebyggende skridt for en del af de bygninger, som det er mest relevant for. Denne strategi forudsætter, at man antager, at muligheden for at finde PCB i fugemasser vil være den samme for tilsvarende bygningstyper anvendt til andre formål (f.eks. kontor eller fabrik). De tilgængelige undersøgelser fra Sverige og Norge giver ikke grundlag for at antage, at der skulle være forskelle afhængig af bygningernes anvendelse.

2. Der tages prøver af beboelsesejendomme, institutioner, kontorer og fabriksejendomme. Herved vil det være muligt at se, om der er en signifikant forskel mellem forskellige bygningsanvendelser. Som det fremgår af næste kapitel, skal der dog tages et meget stort antal prøver, for at man vil kunne regne med at kunne påvise signifikante forskelle mellem de forskellige anvendelser af bygninger.

En- og flerfamiliehuse

For en- og flerfamiliehuse antager vi, at der fokuseres på bygninger opført i perioden 1950-1977 og som har ind- eller udvendige fleksible fuger. Det vil formentlig være svært at få pålidelige oplysninger om, hvorvidt bygningerne er renoverede i perioden, og vi foreslår derfor at fokusere på bygninger, som er opført i denne periode. Det antages, at resultaterne vil kunne ekstrapoleres til bygninger der er renoveret i perioden ud fra en antagelse om, at der ikke er væsentlig forskel på fuger anvendt ved udskiftning af vinduer og fuger anvendt ved isætning af nye vinduer i nybyggeri. Under alle omstændigheder skal der tages et meget stort antal prøver, hvis der skal påvises en signifikant forskel.

Ud fra oplysningerne i forundersøgelsen vil det primært være huse fra de sidste ti år af perioden, der vil have fleksible fugemasser, da der inden da blev anvendt mørtelfuger. Forundersøgelsen vurderer at forekomsten af PCB-holdige byggematerialer i danske en- og tofamiliehuse (specielt elementbyggeri) bygget i 1965-1975 vil være nær tilsvarende andre bygninger opført i samme periode.

Vi har ikke nærmere overvejet hvordan bygningerne skal identificeres, men det kunne være gennem kontakt til grundejerforeninger i udvalgte kommuner eller annoncering i dagspressen, hvor ejerne kan melde sig mod at få analyseret deres fuger gratis. For udtagelse af prøver i større typehusbebyggelser vil der formentligt være mest hensigtsmæssigt at gå via grundejerforeninger.

Under alle omstændigheder skal der tilstræbes en tilnærmelsesvis tilfældig udtagelse af prøver, ved at sikre geografisk spredning og spredning på forskellige bygningstyper (typehuse af mursten, typehuse af elementbyggeri, landbrugs-ejendomme, mm.)

Vi foreslår at der overvejes to prøvetagningsstrategier:

- 1 Der tages et relativt lille antal målinger, som har til formål at undersøge om der er grundlag for at antage, at der er en væsentlig mindre forekomst af PCB i disse bygninger.

- 2 Der tages nok prøver til at give et relativt robust billede af forekomstens af PCB i fuger i disse bygninger.

3.2 Termoruder

Da det er meget vanskeligt at udtage prøver af termoruder i brug uden risiko for at skade ruden vil det for en overordnet kortlægning være hensigtsmæssigt at lave en undersøgelse, hvor man følger samme strategi som er benyttet i undersøgelsen foretaget af Vestforbrænding, Amagerforbrænding og Århus Kommune. Vi vil derfor i de følgende beregninger antage at denne undersøgelse gentages i andre kommuner for at få et bredere billede af situationen. Det kan ikke afvises, at der kan have været regionale forskellige og at termoruderne i den relevante periode i høj grad blev lavet lokalt.

De indsamlede ruder sorteres og der tages kun prøver af:

- danske termoruder med årstalsprægning fra 1965-1975.
- udenlandske termoruder med årstalsprægning frem til 1980.
- termoruder hvor man ikke kan bestemme oprindelse og år ud fra prægningen (forventeligt omkring 20% af alle indleverede ruder og af disse ca. ¼ fra perioden 1965-1975).

I de tilfælde at der er helt ens ruder med samme prægning (årstal og fabrikat) vil det kun være nødvendigt at tage prøve af den ene, og regne med at de øvrige har samme indhold.

3.3 Gulvmasser

Det må forventes, at det kan blive ret vanskeligt at identificere relevante steder at tage prøver af gulvmasser. Da prøvetagningen i mange tilfælde vil være destruktiv vil det formentligt være mest hensigtsmæssigt at udtage prøverne i forbindelse med større renoveringer og nedrivninger.

Det antages, at der i første omgang tages prøver af fugefrie betongulve og gulve med gamle skridsikre belægninger i bygninger i industrien, i trykkerier, storkøkkener og lignende steder. Men det er meget sandsynligt, at der senere er lagt et nyt lag oven på det gamle PCB-holdige og det gør det meget svært at identificere de mest oplagte steder at udtage prøverne. Så det bliver lidt som at finde en nål i en høstak.

Vi antager, at der gennemføres en undersøgelse i samarbejde med Nedbrydersektionen i Dansk Byggeri, hvor der udtages prøver på relevante steder i forbindelser med renoveringsarbejder og nedrivninger over hele landet. Vi har ikke undersøgt, hvor mange renoveringer og nedrivninger der foretages af de relevante typer bygninger om året.

3.4 Maling

Lige som med gulvmasser vil det formentlig være meget svært af få identificeret relevante steder at udtage prøver. Prøvetagningen vil i lighed med udtagning af prøver fra gulvmasser delvist være destruktiv, da det vil kunne være vanskeligt at reparere muren eller gulvet efter prøvetagning.

Da bygninger typisk vil blive malet mindst en gang inden for en 25-års periode (og formentlig flere gange) vil alle bygninger opført før 1977 kunne være påført et eller flere lag PCB-holdigt maling. De mest relevante steder at tage prøver er på bygningsfacader og vandrette malede flader som f.eks. altangulve.

Malede flader vil forekomme i de fleste etageejendomme f.eks. i forbindelse med altaner, gavle, m.m. og det antages, at der tages prøver af maling fra de samme bygninger, som der tages fugeprøver fra. Da prøvetagningen er delvist destruktiv, kan det dog meget vel være vanskeligere at få ejerne til at medvirke til denne del, og der kan eventuelt være behov for at supplere denne prøvetagning med prøver udtaget i forbindelse med renoveringsarbejder og nedrivninger i samarbejde med Nedbrydersektionen i Dansk Byggeri (sammen med prøver af gulve).

4 Bygningsanvendelser og antal

Data vedrørende etageareal i 2009 opdelt på bygningsanvendelser og opførelsesår kan trækkes fra Databanken hos Danmarks Statistik [29]. Data om antal bygninger i 2009 kan ligeledes trækkes fra banken (mindre detaljeret opdeling), men banken indeholder ikke data om antal bygninger opdelt på opførelsesår. Hvis disse oplysninger skal benyttes, kan der laves et specialudtræk (2.000-4.000 kr).

Til herværende overslag benyttes de tilgængelige data, idet der er en usikkerhed forbundet med omregning fra antal m² til antal bygninger, da der til omregningen bruges data for det samlede antal bygninger inden for den enkelte bygningstype. Når antallet af bygninger er meget større end antallet af stikprøver har antallet af bygninger ingen indflydelse på de statistiske overvejelser, og antallet er her angivet som baggrund for overvejelser over hvilke bygningsanvendelser der skal omfattes af undersøgelsen.

Tabel 9 Samlet etageareal opdelt på forskellige opførelsesperioder og antal bygninger i 2006 (baseret på Statistikbanken og Bygningsopgørelse 1. januar 2009).

Anvendelse	Opførelsesår	Samlet etageareal, 1000 m ² (2009)	Antal bygninger (2006) *1
Parcelhuse, række-, kæde- og dobbelthuse og stuehuse til landejendomme	< 1949	83.773	
	1950-1974	73.573	
	1975 >	64.866	
	Uoplyst	1.663	
	I alt	223.875	1.390.703
Etageboligbebyggelse	< 1949	41.765	
	1950-1974	25.869	
	1975 >	15.455	
	Uoplyst	574	
	I alt	83.663	87.630
Bygninger anvendt til undervisning, forskning, døgninstitutioner, hospital, sygehus, daginstitutioner, uspecificeret institution	< 1949	8.691	
	1950-1974	15.252	
	1975 >	12.692	
	Uoplyst	246	
	I alt	36.881	36.200 *1
Bygninger til kontor, handel, lager, offentlig administration, mv.	< 1949	19.808	
	1950-1974	19.754	
	1975 >	32.371	
	Uoplyst	1.401	
	I alt	73.334	73.776
Anden helårsbeboelse	I alt		6.249
Avls- og driftsbygninger	I alt		484.583
Fabrikker, værksteder o.lign	I alt		70.388
Sommerhuse	I alt		207.864
Ikke fordelt - uoplyst	I alt		139.751

*1 Angivet som institutioner og kulturelle formål i Bygningsopgørelse 1. januar 2009. BYGGERI OG BOLIGFORHOLD. 2009:3 29. juni 2009

Antal bygninger som opfylder udvælgelseskriterierne

Antallet af bygninger, der antages at opfylde udvælgelseskriterierne (bygninger der potentielt indeholder PCB) for de enkelte anvendelser er groft anslået ud fra erfaringen fra tidligere undersøgelser, samlet antal bygninger og samlet etageareal fordelt på opførelsesår (tabel 10).

I tabellen er endvidere angivet den forventede andel af bygninger, som indeholder >50 ppm PCB (af de bygninger der opfylder udvælgelseskriterierne).

Tabel 10 Overslag over bygninger som opfylder udvælgelseskriterierne og forventet andel med PCB

	Samlet antal bygninger:	Antal bygninger fra perioden 1950 - 1974	Antal bygninger som opfylder udvælgelseskriterierne	Forventet andel som indeholder >50 ppm PCB (af bygninger der opfylder kriterier)
Etageboliger	87.630	ca. 27.000	ca. 25.000 *1	5 - 10%
Institutioner og kulturelle formål	36.200	ca. 15.000	ca. 10.000 *1	5 - 10%
Parcelhuse, række-, kæde- og dobbelthuse og stuehuse til landejendomme	1.390.703	ca. 450.000	ca. 100.000 *2	2 - 10% *3
Bygninger til kontor, handel, lager, offentlig administration, mv.	73.776	ca. 27.000	ca. 20.000 *1	5 - 10%

* 1 Groft anslået ud fra erfaring fra Københavns Ejendomme (28% af samlet antal bygninger)

*2 Anslået ud fra en antagelse om at det kun er bygninger fra en kortere del af perioden der har fleksible fuger som ikke er skiftet siden 1977.

*3 Det antages at frekvensen næppe er større end i etageboliger og institutioner, men meget vel kan være mindre.

5 Statistiske metoder i relation til kortlægning af PCB i byggematerialer

I det følgende gennemgår vi kort nogle forudsætninger for de overvejelser der senere gøres omkring sammenhængen mellem stikprøvestørrelse og sikkerhedsintervaller. I noter til tabellerne angives nogle anvendte statistiske parametre, som ikke beskrives nærmere, da vi vurderer at det er uden for rammerne af dette notat.

Det antages, at undersøgelsen skal baseres på udtag af stikprøver, der kan give et estimat for det generelle omfang af PCB i bygninger. Et estimat fra en stikprøve vil være forbundet med nogen usikkerhed, da der vil være en grad af tilfældighed i udvælgelsen af de undersøgte bygninger.

Hvis stikprøven udtages tilfældigt er der standardmetoder til at undersøge stikprøveusikkerheden, og man kan fastlægge sin stikprøvestørrelse til den usikkerhed, man kan acceptere, at estimatet bliver opgjort med.

PCB indholdet er kontinuert, men til formålet opgøres det som en dikotom variabel på baggrund af en defineret grænseværdi (50 ppm). Dvs. at omfanget af PCB i bygninger bliver beskrevet som andel af bygninger med overskridelse af grænseværdien. Andelen bliver estimeret med en *standard error* (S.E), som er et mål for estimatets spredning.

Foretages en stikprøveundersøgelse, hvor der estimeres en andel, kan der på baggrund af den estimerede andel og et *standard error* samt antagelser om estimatets fordeling beregnes et konfidensinterval. Konfidensintervallet angiver med en vis sikkerhed et interval, inden for hvilken den sande værdi vil være, såfremt de fordelingsmæssige antagelser er korrekte.

Da stikprøven forventes at være relativt stor, kan den estimerede andel antages at være tilnærmelsesvist normalfordelt, og standardmetoder for normalfordelingen kan benyttes. Antagelsen om normalfordeling kræver at der mindst udtages 30 prøver og da det kan være vanskeligt at udtage prøver, der kan betragtes som helt tilfældigt udtrukne, vil der snarere skulle udtages mindst 50 prøver. Der er derfor i de følgende tabeller kun vist beregningen for stikprøvestørrelser på 50 og op.

Givet en præcision med en accepteret afvigelse, hvor snævert konfidensintervallet skal være, samt størrelse på standard error kan stikprøvestørrelsen beregnes. Standard error, som i princippet er ukendt, kan estimeres, afhænger af størrelsen på andelen af bygninger med prøver der indeholder over den definerede grænseværdi (> 50 ppm PCB). Jo større en andel, jo større en standard error (for en andel op til 50%).

I tabel 11 er minimum-stikprøvestørrelsen beregnet for forskellige sikkerhedsgrader af konfidensinterval og standard error for en accepteret afvigelse på 5% svarende til et konfidensinterval på plus/minus fem procentpoint. Det ses, at jo større sikkerhed ved konfidensintervallet, jo større stikprøve er nødvendig. Ydermere øges den nødvendige stikprøvestørrelse for større andele anvendt i standard error-beregningen.

Tabellen skal læses sådan, at hvis vi antager at 10% af bygningerne indeholder PCB, skal vi udtage 139 prøver, hvis vi på baggrund af resultatet skal kunne bestemme den faktiske andel (den sande værdi) med en sikkerhed på ± 5 %-point med 95% sikkerhed (eksemplet markeret gråt i tabellen).

Tabel 11 Stikprøvestørrelsens afhængighed af den forventede andel og den accepterede afvigelse

CI-interval	z-værdi (beskriver hvor vi er på normal fordelingen)	Andel (frekvens) til SE	Accepteret afvigelse	Stikprøve størrelse
95%	1,96	2%	5% point	31
	1,96	5%	5% point	73
	1,96	10%	5% point	139
	1,96	15%	5% point	196
	1,96	20%	5% point	246
	1,96	25%	5% point	289
	1,96	50%	5% point	385
90%	1,64	2%	5% point	22
	1,64	5%	5% point	52
	1,64	10%	5% point	98
	1,64	15%	5% point	138
	1,64	20%	5% point	174
	1,64	25%	5% point	203
	1,64	50%	5% point	271

$$n = (z_{\alpha/2})^2 (p(1-p)(D^{-2}))$$

En anden måde at illustrere præcisionen på er at beregne konfidensintervaller for forskellige værdier, som stikprøveundersøgelsen kunne tænkes at give. I Tabel 12 er beregnet konfidensintervaller for andele på 2% til 15%, hvor stikprøveantallet er varieret fra 50 til 500. Der er i tabellen præsenteret konfidensintervaller på 95% og 90% niveau.

Standard error mindskes som stikprøvestørrelsen forøges, da stikprøveusikkerheden falder. Som forventeligt bliver konfidensintervallerne mindre, som stikprøvestørrelserne øges. Igen skal det bemærkes, at standard error øges ved større observerede andele, hvorved konfidensintervallerne øges med større andele.

Hvis vi har udtaget 100 prøver og den målte andel bliver 10% kan vi sige at den sande værdi ligger inden for 4,1 – 15,9 % med 95% sikkerhed. (markeret gråt i tabellen). Det ses af tabellen at intervallet ikke bliver ret meget mindre hvis man går fra 100 til 200 stikprøver. Hvis vi kun tager 50 prøver fås et interval på 1,7 – 18,3%, dvs. det bliver svært at sige, om der er tale om et minimalt eller et væsentligt problem, og vi er med en sådan usikkerhed ikke meget længere end den viden der allerede ligger fra tidligere undersøgelser. Bemærk at man med en forventet andel på 10% og en stikprøvestørrelse kun vil forvente at finde 5 positive. Med 50 prøver bliver det meget væsentligt for forudsætningerne om man kan antage en tilfældig udvælgelse. Som det fremgår af ovenstående vil det meget vel være således, at andelen af bygninger der f.eks. har >10.000 ppm PCB vil være noget lavere end andelen på 5-10%, der forventes for skæringsværdien 50 ppm. For nogenlunde sikkert at kunne udtale sig om andelen af bygninger med >10.000 ppm skal man op på stikprøvestørrelser væsentligt over de 100.

Hvis den målte andel kun er 2% bliver den nedre grænse på 95% konfidensintervallet negativt, hvis antallet af stikprøver er 100 eller mindre. Antagelsen om normalfordeling holder således ikke. Man vil med 100 stikprøver stadig med 90% sikkerhed sige at den faktiske andel (den sande værdi) er under 4,3, men den kan antage en hvilket som helst værdi mellem 0 og 4,3. En sådan undersøgelse vil altså kunne sige om der er tale om en stor udbredelse, men ikke bruges til at sige om den faktisk andel er nogle få procent eller om de få positive prøver blot er enlige svaler, dvs. at den faktiske andel er noget nær 0. En andel på 2% er forventeligt for PCB i facademalinge eller gulvmasser, og tabellen viser at en man skal op på en stikprøvestørrelse på mindst 200 for blot at kunne bekræfte eller afkræfte om PCB forekommer i disse materialer og snarere op på 500 stikprøver for at få nogenlunde robuste resultater.

Tabel 12 *Eksempler på konfidensintervaller afhængigt af observeret andel og stikprøvestørrelser*

Observeret andel	Stikprøve størrelse	95% CI nedre	95% CI øvre	90% CI nedre	90% CI øvre
2%	50	-1,9%	5,9%	-1,3%	5,3%
	75	-1,2%	5,2%	-0,7%	4,7%
	100	-0,7%	4,7%	-0,3%	4,3%
	200	0,1%	3,9%	0,4%	3,6%
	300	0,4%	3,6%	0,7%	3,3%
	400	0,6%	3,4%	0,8%	3,2%
	500	0,8%	3,2%	1,0%	3,0%
5%	50	-1,0%	11,0%	-0,1%	10,1%
	75	0,1%	9,9%	0,9%	9,1%
	100	0,7%	9,3%	1,4%	8,6%
	200	2,0%	8,0%	2,5%	7,5%
	300	2,5%	7,5%	2,9%	7,1%
	400	2,9%	7,1%	3,2%	6,8%
	500	3,1%	6,9%	3,4%	6,6%
10%	50	1,7%	18,3%	3,0%	17,0%
	75	3,2%	16,8%	4,3%	15,7%
	100	4,1%	15,9%	5,1%	14,9%
	200	5,8%	14,2%	6,5%	13,5%
	300	6,6%	13,4%	7,2%	12,8%
	400	7,1%	12,9%	7,5%	12,5%
	500	7,4%	12,6%	7,8%	12,2%
15%	50	5,1%	24,9%	6,7%	23,3%
	75	6,9%	23,1%	8,2%	21,8%
	100	8,0%	22,0%	9,1%	20,9%
	200	10,1%	19,9%	10,8%	19,2%
	300	11,0%	19,0%	11,6%	18,4%
	400	11,5%	18,5%	12,1%	17,9%
	500	11,9%	18,1%	12,4%	17,6%
30%	50	17,3%	42,7%	19,3%	40,7%
	75	19,6%	40,4%	21,3%	38,7%
	100	21,0%	39,0%	22,5%	37,5%
	125	22,0%	38,0%	23,3%	36,7%
	150	22,7%	37,3%	23,8%	36,2%
	175	23,2%	36,8%	24,3%	35,7%
	200	23,6%	36,4%	24,7%	35,3%
	225	24,0%	36,0%	25,0%	35,0%
	250	24,3%	35,7%	25,2%	34,8%
	275	24,6%	35,4%	25,5%	34,5%
	300	24,8%	35,2%	25,6%	34,4%

$$CI = p \pm z_{\alpha/2} \left(\frac{p(1-p)}{n} \right)^{0,5}$$

Konfidensintervaller for forskel på andele mellem to grupper

En del af analysen vil sandsynligvis omfatte sammenligninger af to eller flere grupper af bygninger (f.eks. forskellige anvendelser eller bygningstyper). I den

forbindelse kan det også være relevant at skabe sig et overblik over præcisionen af forskellen på to andele. Såfremt andelene er bestemt på grundlag af en tilfældig stikprøve, findes der også standardmetoder til at belyse sikkerheden ved en forskel.

Det er antaget, at stikprøverne er store nok til, at estimerne er tilnærmelsesvist normalfordelte. I tabel 13,14 og 15 er der vist 95% konfidensintervaller for forskellige andele og stikprøver. Der er anvendt andelene 5%, 10% og 15% og stikprøvestørrelser fra 50 til 300. Som forventet mindskes konfidensintervallerne for større stikprøver.

Hvis der er forudbestemte værdier, man vil holde estimerne op imod, således at man med en vis sandsynlighed kan påvise en statistisk signifikant forskel, skal der foretages egentlige styrkeberegninger

Hvis vi af hver af de to grupper udtager 100 stikprøver, og observerer at der er en forskel på 10%-point (Gruppe 1 har en andel på 15% og gruppe 2 har en andel på 5%) så kan vi med 95% sikkerhed regne med at andelen for gruppe 1 faktisk er større end for gruppe 2, men forskellen ligger i intervallet 1,8-18,2 procent-point (eksempel markeret med gråt). Vi kan altså ikke sige om den kun er lidt større end om den er markant større. Hvis der udtages 200 stikprøver af hver gruppe indsnævres intervallet til 4,2 – 15,8 procent-point. Med 50 stikprøver af hver kan vi på 95% sikkerhedsniveau ikke sige om andelen i den ene gruppe er større end andelen i den anden.

Tabel 13 Konfidensintervaller (CI) for sammenligning mellem to grupper med forskellige

Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 1	Gruppe 2	Observeret	95% CI	95% CI
antal stik-prøver	antal stik-prøver	observeret andel	observeret andel	forskel (%-point)	nedre (%-point)	øvre (%-point)
50	50	15%	5%	-10%	-21,6%	1,6%
	75	15%	5%	-10%	-21,1%	1,1%
	100	15%	5%	-10%	-20,8%	0,8%
	200	15%	5%	-10%	-20,3%	0,3%
	300	15%	5%	-10%	-20,2%	0,2%
75	50	15%	5%	-10%	-20,1%	0,1%
	75	15%	5%	-10%	-19,5%	-0,5%
	100	15%	5%	-10%	-19,1%	-0,9%
	200	15%	5%	-10%	-18,6%	-1,4%
	300	15%	5%	-10%	-18,4%	-1,6%
100	50	15%	5%	-10%	-19,2%	-0,8%
	75	15%	5%	-10%	-18,6%	-1,4%
	100	15%	5%	-10%	-18,2%	-1,8%
	200	15%	5%	-10%	-17,6%	-2,4%
	300	15%	5%	-10%	-17,4%	-2,6%
200	50	15%	5%	-10%	-17,8%	-2,2%
	75	15%	5%	-10%	-17,0%	-3,0%
	100	15%	5%	-10%	-16,5%	-3,5%
	200	15%	5%	-10%	-15,8%	-4,2%
	300	15%	5%	-10%	-15,5%	-4,5%
300	50	15%	5%	-10%	-17,3%	-2,7%
	75	15%	5%	-10%	-16,4%	-3,6%
	100	15%	5%	-10%	-15,9%	-4,1%
	200	15%	5%	-10%	-15,0%	-5,0%
	300	15%	5%	-10%	-14,7%	-5,3%

CI = konfidens interval = $(p_1-p_2) \pm z_{\alpha/2} \sqrt{p_1(1-p_1)/n_1 + p_2(1-p_2)/n_2}$ ^{0,5}

6 Indhold af undersøgelsen af PCB i indemiljøet

Det forudsættes i det følgende, at der ved prøvetagning kan tages udgangspunkt i en metode som fastlægges af EBST på grundlag af ”Notat til Erhvervs- og Byggestyrelsen om målemetode for indeklimamåling af PCB”. Der er regnet med, at der som minimum indgår de parametre der er angivet i protokol og måleskema i notatets bilag 1. Der er dog regnet med, at der til denne undersøgelse skal indsamles supplerende oplysninger omkring bygningsmæssige detaljer mv., og at der som en indledende del af undersøgelsen skal fastlægges, hvordan denne dataindsamling skal foregå. Der vil i den forbindelse kunne være behov for særlig træning af de personer, som skal varetage prøvetagning og indsamling af supplerende oplysninger.

Der er regnet med at datavurdering og rapportering omfatter sammenhænge mellem PCB i indeluften, materialer, ventilationsforhold og bygningsmæssige detaljer. De målte PCB koncentrationer vurderes i forhold til de vejledende ak-

tionsværdier, men der laves ikke en nærmere vurdering af mulige sundhedsmæssige risici. Der er ikke regnet med at der skal laves litteraturstudie, idet problemstillingen og erfaringer fra andre lande er indgående beskrevet i tidligere rapporter og notater.

Der er ved de økonomiske overslag således ikke regnet med en efterfølgende sundhedsvurdering på grundlag af målingerne og en diskussion af de vejledende aktionsværdier. I det tilfælde, at man vælger at lade undersøgelsen omfatte måling af de dioxinlignende PCB og bruge disse i en diskussion af aktionsværdierne må det forventes, at udgifter til en sundhedsvurdering vil kunne være i størrelsen adskillige 100.000 kr.

Det forudsættes, at undersøgelsen af PCB i indeklima vil tage udgangspunkt i resultaterne af undersøgelsen af PCB i byggematerialer, således at der fokuseres på de bygninger, hvor der er påvist PCB i forskellige byggematerialer. Det forudsættes desuden, at Miljøstyrelsen eller EBST videregiver kontaktoplysninger til relevante kontaktpersoner for de bygninger der skal indgå i undersøgelsen og at disse kontaktpersoner bidrager med relevante oplysninger og laver nødvendige aftaler med beboerne/brugere og er behjælpelige med formidling af relevant viden til beboerne/brugerne.

Der er regnet med, at undersøgelsen følges af en større følgegruppe og der afholdes en række møder i følgegruppen. Der er regnet med, at undersøgelsen ikke nødvendigvis gennemføres af den samme rådgiver som gennemfører undersøgelsen af PCB i byggematerialer. Hvis undersøgelserne gennemføres sammen vil der eventuelt kunne spares lidt på grundudgifterne til planlægning og rapportering, men det vurderes dog at være begrænset.

6.1 Udvalgelse af bygninger

Den tidligere undersøgelse af PCB i indeluft omfattede 10 bygninger af forskellig slags: etagebolig, gymnasium, kontor, universitet, enfamiliehus og lager. Der ses en sammenhæng mellem PCB koncentrationen i de indre fuger og PCB i indeluften. I de undersøgte bygninger var PCB koncentrationen relativt lav i alle udvendige fuger (en enkelt er på 188 mg/kg men de øvrige er under 50 mg/kg) og det var derfor ikke været muligt at undersøge en mulig sammenhæng mellem PCB i ydre fuger og i indemiljøet.

Det er et åbent spørgsmål, hvor mange bygninger som det vil være relevant at tage målinger fra.

I en undersøgelse, hvor formålet var at bestemme niveauet af bygningen gennemsnitlige luftskifte og rumluftens gennemsnitlige relative fugtighed og koncentration af organiske gasser og dampe i et repræsentativt udsnit af nyere boliger i brug - for derigennem at forbedre grundlaget for vurdering af kravene til luftskiftet i boliger - blev der foretaget målinger i 123 nyere boliger [17]. En anden undersøgelse af ventilationsforhold i nyere boliger omfattede 150 boliger [18].

I forhold til måling af PCB i indeluft er der ikke tale om en tilfældig prøvetagning af alle boliger for derigennem at få et overblik over problemets omfang. Forekomsten af PCB i bygninger i Danmark, forventes at blive belyst i undersøgelsen af PCB i byggematerialer. Det, som skal belyses her, er primært sammenhængen mellem PCB i byggematerialerne og i indeklimaet og belyse, i hvilket omfang der i bygninger med PCB-holdige materialer ses betænkeligt høje koncentrationer i indeluften.

Da der formentlig er tale om et begrænset antal forskellige tekniske blandinger der har været benyttet i materialerne vil oplysninger om congenersammensætning næppe være en parameter, som bliver afgørende for prøveantallet.

Ved udvælgelse af bygninger skal det tilstræbes, at få så stor spredning på bygningstyper som muligt, og der er i det følgende antaget, at der f.eks. i etageejendomme kun tages målinger af en enkelt lejlighed i ejendommen. I det følgende regnes der med at der for etageboligers vedkommende bruges betegnelsen ”bygning”, men at det her er synonym med en bestemt lejlighed i bygningen.

Antallet af prøver afhænger af, hvor mange variable, som kan have indflydelse på sammenhængen mellem PCB i materialerne og i indeklimaet. En del variable vil have en karakter af tilfældighed, der gør at det næppe vil være muligt at se sammenhænge mellem disse og PCB koncentrationen i indemiljøet, men disse variable vil resultere i ”støj” på resultaterne. Graden af ”støj” har indflydelse på hvor mange prøver der skal tages for at få et statistisk signifikant resultat, men da der er begrænset viden om denne ”støj” er det næppe muligt at regne sig frem til hvor mange målinger der skal tages for at opnå et klart billede. I relation til at påvise en sammenhæng mellem PCB i indendørs fuger og PCB i indeluften er der relativt lidt støj sammenlignet med at påvise sammenhænge mellem PCB i udvendige fuger og indeluften.

Relevante variable vil være:

- Placeringen af de PCB-holdige materialer (udvendige fuger, indvendige fuger, maling på gulve, gulvmaterialer);
- Type af PCB i materialerne (højt-, mellem- eller lavtklorerede PCB blandinger);
- Ventilationsforhold (undertryksventileret eller ej; enkeltfuge eller dobbeltfugeløsning omkring vinduer, mm.);
- Klimatiske forhold (temperatur, vindforhold);
- Rummets volumen i relation til overfladen af PCB kilden.

Ud fra en hypotese om at det vil kunne være af væsentlig betydning for koncentrationen af PCB i indeluften om boligen er undertryksventileret eller ej foreslås det, at det sikres at undersøgelsen dækker såvel boliger med som uden undertryksventilering.

Det skal ligeledes sikres, at der ved dobbeltmålingerne sikres, at der opnås målinger i henholdsvis luv- og læsiden.

Supplerende luftskiftmålinger vil give mulighed for at kunne korrigere resultaterne i forhold til luftskiftet i bygningen.

Ved udvælgelse af bygninger skal der det først og fremmest sikres at det samlede antal bygninger repræsenterer:

- Bygninger med forskellige kilder til PCB i indeluft (udvendige fuger, indvendige fuger, maling på gulve, gulvmaterialer);
- Bygninger med forskellige ventilationsforhold og fugetyper (undertryksventileret eller ej; enkeltfuge eller dobbeltfugeløsning omkring vinduer, mm.).

6.1.1 Overvejelser i relation til forskellige kilder til PCB i indemiljøet

Indvendige fuger

Koncentrationen i indeluften må forventes at være en funktion af PCB koncentrationen i fugen og det samlede overfladeareal af fugen set i relation til rummets størrelse. Temperaturen er påvist at have en væsentlig indflydelse på afgivelsen af PCB.

Den sundhedsmæssige vurdering af PCB-holdige bygningsfuger påviste en tydelig sammenhæng mellem koncentrationen af PCB i indvendige fuger og koncentrationen i indeluften (5 prøver på en logaritmisk skala). Hvis der samtidig tages højde for fugens areal i forhold til rummets volumen må det forventes, at sammenhængen bliver endnu mere tydelig.

Formålet med denne del af undersøgelsen forventes at være at få et bedre overblik over problemets omfang og en indikation af, hvornår der vil være behov for at supplere målinger af PCB i indvendige fuger med målinger i indeluften.

PCB i indeluften kan også komme fra sekundære kilder, dvs. materialer som har optaget PCB fra indeluften, og som afgiver dem igen, men det vurderes, at det vil være mest hensigtsmæssigt at sammenholde PCB i indeluften med PCB koncentrationen i den primære kilde, uanset at en mindre del af den aktuelle afgivelse til indeluften stammer fra sekundære kilder, idet det må forventes, at styrken af de sekundære kilder er en funktion af styrken af den primære kilde. Der er derfor ikke regnet med at tage prøver af potentielle sekundære kilder. At det vil kunne være relevant at se på styrken af sekundære kilder, når den primære kilde er fjernet er en anden problemstilling, som det ikke forventes skal undersøges nærmere i den planlagte undersøgelse.

Målinger af PCB i indeluften i 20-30 bygninger med indvendige fuger med forskellig anvendelse og ventilationsforhold vurderes at kunne give et godt grundlag for at kunne påvise en sammenhæng, og se hvorledes forskellige variable

har indflydelse på koncentrationen i indeluften bl.a. gennem beregning af korrektionsfaktorer.

Udvendige fuger

Sammenhæng mellem koncentration i udvendige fuger og indeklima er mindre direkte og meget afhængig af fugens beskaffenhed, fugens placering og de byggetekniske løsninger i øvrigt. I mange tilfælde vil man ikke forvente at PCB fra udvendige fuger i væsentlig grad vil kunne trænge ind i indeklimaet, men der er behov for at få dette belyst bedre.

Formålet med denne del af undersøgelsen forventes at være at få en indikation af, under hvilke omstændigheder det vil være mest relevant at foretage målinger af PCB i indeklimaet i bygninger, som kun har PCB i udvendige fuger.

Det må forventes, at tilfælde hvor PCB i særlig grad vil kunne trænge ind i indeluften vil være i byggeri, hvor der benyttes en 1-trins fugeløsning omkring vinduer (dvs. at der ikke er en indvendig fuge) og hvor fugen er utæt, således at der vil være en luftstrøm langs fugematerialer og ind i bygningen.

Det foreslås at bygninger der udtages til denne del af undersøgelsen udvælges ud fra de bygninger hvor der er fundet de højeste PCB koncentrationer i udvendige fuger, men ingen PCB i indvendige fuger. Herved vil der - alt andet lige - kunne forventes de højeste koncentrationer i indeklimaet og de bedste muligheder for at vurdere betydningen af de byggetekniske løsninger på indtrængen af PCB fra udvendige fuger. Det foreslås, at der primært udvælges bygninger med 1-trins fugeløsning, men også enkelte bygninger med 2-trins fugeløsning.

Det vurderes, at målinger i 20-30 bygninger med forskellige ventilationsforhold og byggetekniske løsninger vil kunne give et godt grundlag for at kunne sige, hvornår PCB i udvendige fuger kan give bekymring i forhold til indeklimaet (bekymring i forhold til reovering og bortskaffelse af fugerne er en anden sag).

I fald resultatet bliver, at der ikke ses betænkelige koncentrationer i nogen af bygningerne, anses et prøveantal på 20-30 at være tilstrækkeligt til at konkludere, at der ikke er et indeklimamæssigt problem knyttet til PCB i udvendige fuger (bemærk at bygningerne er udvalgt blandt de bygninger, der har de højeste koncentrationer i de udvendige fuger).

Gulvmaterialer og gulvmaling

Der må forventes, at der er en relativt direkte sammenhæng mellem PCB i gulvmaterialer og gulvmaling og PCB i indeluften. Der vil næppe findes ret mange tilfælde af PCB i gulvmaterialer og gulvmaling og det forventes derfor, at der vil være begrænset mulighed for at foretage målinger, hvor kilden til PCB er gulvmaterialer eller gulvmaling. Et prøveantal på 5-10 vurderes at kunne give et godt fingerpeg om en sammenhæng mellem PCB i materialerne og indeluften.

Lim i termoruder

Teoretisk set vil der kunne ske en diffusion af PCB fra lime i termoruder gennem vinduesrammen til indemiljøet, men det vurderes at denne kilde vil være så beskeden, at der ikke vil være behov for at undersøge dette nærmere.

6.1.2 Sammenfatning

Det vurderes sammenfattende, at der med et prøveantal på mindre end 40 bygninger næppe vil kunne opnås resultater, som virkelig hæver vidensniveauet op over det nuværende niveau, med mindre man vælger kun at se på udvalgte kilder, f.eks. indvendige fugemasser.

Jo flere bygninger der indgår i undersøgelsen, jo mere pålidelige resultater vil der kunne opnås, men det vurderes groft, at der med et prøveantal på 60-70 bygninger vil kunne opnås en tilstrækkelig viden.

Da der p.t. pågår en del undersøgelser af PCB i indeklima i Danmark, kan det overvejes sammen med andre aktører at udvikle en fælles protokol, så der opnås sammenlignelige resultater og resultaterne af andre undersøgelser kan indgå i vurderingsgrundlaget.

Der er i det følgende regnet med to modeller, hvor den største undersøgelse omfatter 60 bygninger (+10 kontrolmålinger) og den mindste omfatter 40 bygninger (+5 kontrolmålinger)

6.2 Prøvetagning

Der er regnet med, at prøvetagning for PCB₇ foretages som beskrevet i notatet med aktiv prøveopsamling, og at der benyttes adsorptionsrør med PUF i kombination med XAD-2 og et partikelfilter. Der tages i notatet ikke endeligt stilling hvilke(n) adsorbent(er) der skal benyttes, og der er her regnet med at man benytter den bedste løsning. To laboratorier har svaret at de betragter henh. PUF og XAD-2 rør som mest hensigtsmæssige. Standarden EN/ISO 16000-12 angiver PUF.

Der er desuden regnet med, at prøvetagningen foregår over 24 timer for at få et realistisk billede af en gennemsnitskoncentration over døgnet. Da temperatur, luftskifte og anvendelse af rummene varierer over døgnet vil der kunne opnås de mest sammenlignelige resultater, hvis alle målinger foretages over denne periode.

I følge notatet anbefales det i EN/ISO 16000-12 at udføre parallelmålinger "(dvs. to samtidigt eksponerede prøver på samme målested)". Det som standarden omtaler, er så vidt vi kan læse sammenligningsmålinger (comparative measurements). Sammenligningsmålinger angives at være parallelle målinger i et andet rum i den samme bygning, men som ikke er forurenet, eller målinger af udendørsluften. Formålet er, at kunne vurdere resultaterne af målingerne. Det anbefales i standarden at sådanne sammenligningsmålinger, hvis det findes hensigtsmæssigt, skal tages og eventuelt analyseres, hvis det er nødvendigt.

Det anbefales i notatets sammenfatning, at der i en kommende dansk undersøgelse under hensyntagen til økonomien foretages et vist antal parallelmålinger og at der herved kan opnås et godt estimat for den generelle usikkerhed ved målingerne.

Vi vurderer, at der i denne undersøgelse ikke vil være behov for at foretage sammenligningsmålinger af alle målinger, idet der allerede tages to målinger i alle bygninger, og de koncentrationsniveauer der er af interesse under alle omstændigheder er væsentligt over baggrundsniveauet.

Der er i nærværende notat ikke taget endelig stilling til, i hvilken grad der kan være behov for at foretage enkelte sammenligningsmålinger (et sted i nærheden, som ikke er forurenet af en specifik PCB kilde), parallelmålinger (ekstra måling i samme målested), eller andre former for kontrolmålinger. Der er i de økonomiske overslag regnet med, at der foretages et vist antal kontrolmålinger/sammenligningsmålinger samtidig med målingerne af indeluft, og at prøverne fra disse målinger analyseres.

Der er regnet med, at der foretages to målinger i hver bygning, og at disse fordeles så man så vidt muligt dækker to modsatte sider af bygningen, for at kunne belyse eventuelle effekter af forskelle i temperaturer og ventilationsforhold. Hvis PCB trækkes ind med en luftstrøm langs fugerne, vil man forvente meget væsentlige forskellige i læ- og luvsiden. Med de priser, der er oplyst for prøvetagning, er der kun en begrænset ekstra udgift forbundet med at tage to målinger frem for én, og det giver mulighed for at belyse variationen i koncentrationerne i indeluften i den enkelte bolig. Det skal derfor tilstræbes at udvælge boliger, hvor der findes PCB-holdige materialer i forbindelse med flere rum.

Måling over 24 timer og udtag af 2 prøver i hver bygning blev også benyttet i den tidligere undersøgelse af PCB i byggematerialer [1].

Hvis der ønskes samtidige målinger af PCB₁₂ vil der evt. være behov for at opsamle et væsentligt større volumen end ved almindelige PCB₇ målinger. ISO 16000-13:2008 angiver, at der mindst skal opsamles 50 m³.

Ifølge ISO 16000-13:2008 skal adsorbenten tilsættes ¹³C isotoper af tre specifikke tetra-, penta- og hexa-CB. I følge standarden skal der også tilsættes isotoper til PCB₆ målinger, men dette gøres ofte ikke ved målinger i Danmark. Der er her regnet med, at der skal tilsættes isotoper uanset om der måles for PCB₇ eller PCB₆₊₁₂ og det her derfor ingen indflydelse på prisen for prøvetagningen.

6.3 Supplerende parametre

Den målemetode for indeklimamåling som er anbefalet i nævnte notat har primært til formål at fastslå om der i en konkret bolig findes for høje værdier af PCB i indeluften i forhold til de anbefalede aktionsværdier. I en undersøgelse der skal være med til at pege på sammenhænge mellem materialer, byggetekniske løsninger og PCB koncentration i indeluften vil der kunne være behov for

at indsamle oplysninger om flere parametre for senere at kunne forklare eventuelle fundne forskelle.

Luftskifte

Luftskiftemålinger er indgående beskrevet i notatet, hvor det dog konkluderes at målingerne er meget dyre og ikke kan bruges til meget hvis det er beboernes normale udsættelse, der skal vurderes. I en større landsdækkende undersøgelse vil det dog kunne være relevant at have kendskab til luftskiftet. Det er således kunne være af betydning at vide, om luftskiftet i boliger med forhøjede PCB koncentrationer har luftskifte væsentligt under de bygningsreglementets krav til luftskifte og ventilation.

Der indgår derfor ved beregninger af mulige omkostninger en undersøgelsesmodel, hvor luftskiftet måles over et døgn ved PFT-målinger, hvor boligen deles op i tre zoner.

Volumenstrøm af mekanisk udsugning

Det er antaget, at der ved de lokaler, der har mekanisk udsugning foretages en måling af den mekanisk udsugede volumenstrøm med Wallac tragt og varmetrådsanemometer. Er der udeluftventil i målerummet måles også ventilationen gennem denne ved Wallac-tragt.

Overfladeareal af PCB-holdige materialer

For at kunne forholde koncentrationerne af PCB i indeluften med koncentrationer i materialerne, er det antaget, at der foretages en opmåling af det samlede areal af de PCB-holdige materialer, eksempelvis ved at opmåle gennemsnitsbredde og den samlede længde af de ind- og udvendige fuger i tilknytning til det eller de rum, hvor der foretages måling.

Areal og volumen af rum

Desuden opmåles areal og volumen af rummet/rummene.

Byggetekniske løsninger og ventileringsforhold

Det er desuden antaget, at det registreres, hvilke byggetekniske løsninger der er valgt og hvilke ventileringsforhold der er evt. ved at optegne en skitse og tage billeddokumentation som evt. senere kan vurderes af en fagperson med byggeteknisk ekspertise.

Supplerende materialeprøver

For at være sikker på, at der er kendskab til alle PCB-holdige materialer i tilknytning til lokalet hvor der foretages måling, vil der eventuelt kunne være behov for at foretage supplerende materialeprøver. Det kan eventuelt forekomme at der kun er taget én prøve af de indvendige fugemasser i boligen, og der vil da kunne være behov for at tage prøver fra de konkrete rum, hvor der foretages indeklimatemåling. Om der er dette behov for supplerende materialeprøver vil være afhængig af udførslen af den forudgående undersøgelse af PCB i byggematerialer, og der er ved de økonomiske overslag regnet med flere modeller - med og uden materialeprøver.

6.4 Analyse

Der er regnet med at der til prøvetagning og analyse benyttes et firma/laboratorium, der har et kvalitetssikringssystem i henhold til EN/ISO 17025 og er akkrediteret til de pågældende målinger og analyser. Den kemiske analyse består af ekstraktion med toluen og hexan, tilsætning af indre standarder, oprensning, adskillelse, bestemmelse og kvantificering.

Analyse af PCB₇ forventes at foretages i overensstemmelse med notatet om målemetode for indeklimatemåling af PCB. Dvs. procedure for analyse følger for de 6 indikator PCB metoden som er angivet i den tyske VDI 2464 Part 1, idet analysen dog udvides til at omfatte PCB₁₁₈. Detektionen sker med gaschromatografi/massespektrometri (GC/MS).

Ved prøvetagning og analyse sikres en detektionsgrænse på ikke over 1 ng/m³ for de enkelte congenere og dermed på 35 ng/m³ for total PCB₇ (5*7*1 ng/m³).

Analyse af PCB₁₂ indgår ikke den foreslåede målemetode for indeklimatemåling af PCB.

Analyse af de dioxinlignende PCB er beskrevet i ISO 16000-14:2009 og VDI 2464 Part 2 som omfatter både analyser af PCB₁₂ og analyser af relevante dioxiner og furaner. ISO 16000-14:2009 og VDI 2464 Part 2 foreskriver at de coplanare PCB skal bestemmes med højopløsnings GC efterfulgt af højopløsnings MS angivet som HRGC/HRMS. Metoden har en detektionsgrænse i størrelsen 0,2 pg/m³ (1/500 af den metode som benyttes til PCB₆) hvilket som diskuteret i afsnit 2.1 er nødvendig for at kunne sikre en tilfredsstillende bestemmelse af især PCB 126.

7 Overslag over omfang, indhold og økonomi - PCB i byggematerialer

7.1 Omkostningselementer

Overordnet planlægning, databehandling, vurdering, rapportering (hele undersøgelsen)

Enhedspriser for de forskellige omkostningselementer er angivet i tabel 14.

Der er regnet med, at undersøgelsen under alle omstændigheder omfatter en basisundersøgelse af fugemasser i mindst 100 bygninger og at den overordnede planlægning, projektledelse (herunder styregruppemøder), databehandling, vurdering, rapportering stort set er uafhængigt af antallet af bygninger ud over disse 100.

Der er regnet med at undersøgelserne af andre materialer er et tilvalg til denne basisundersøgelse. De angivne udgifter til overordnet databehandling, vurdering og rapportering er således anslået ud fra en antagelse om, at konsulenten allerede laver basisundersøgelsen.

Detailplanlægning

Detailplanlægning omfatter for fugemasser kontakt til bygningsejere, udvælgelse af bygninger, mm. mens det for andre materialer omfatter kontakt til kommuner og genbrugsstationer, eller kontakt til nedbrydere og udvælgelse af bygninger. Der er for fugemasser regnet med at bygningsejerne (f.eks. en boligforening) selv fremskaffer oplysninger om bygningsporteføljen og i samråd med konsulenten, på grundlag af givne kriterier udvælger bygninger, som der skal undersøges. Der er regnet med at bygningsejerne forestår al kontakt til beboerne af bygningerne.

Der er regnet med, at prøver af maling udtages fra bygninger som allerede er omfattet, så der ikke er yderligere omkostninger til planlægning i forhold til hver bygning.

Prøvetagning

Omfatter transport til stedet, visuel besigtigelse (og frasortering af nogle bygninger/termoruder), prøvetagning samt reparation af fuger efter prøvetagning. Der er regnet med, at det i visse tilfælde vil være nødvendigt at bruge en lift for at kunne tage prøverne. Der er regnet med udbedring af skader i forbindelse med udtag af prøver fra malede overflader og gulvmasser påhviler bygningsejerne.

Analyse

Der er regnet med at der laves ekstraktion med en hexan:acetone blanding og analyse af PCB₇ i henhold til DS/EN 15308 med brug af GC-ECD. Der er ikke taget stilling til, om der vil kunne være behov for andre ekstraktionsmetoder for nogle af materialerne, men det vil næppe ændre væsentligt på prisen per analyse. Priser for analyser er fastsat ud fra en forudsætning om, at der mindst analyseres 100 prøver ved samme laboratorium. De angivne priser på analyser er baseret på aktuelle priser indhentet fra to laboratorier.

Tabel 14 Anslåede omkostningselementer (kr. ekskl. moms).

	Overordnet planlægning, databehandling, vurdering, rapportering	Detailplanlægning	Prøvetagning (inklusive visuel fravælgelse af prøver)	Analyse (inklusive ekstraktion)	Prøvetagning Analyse +
	(kr for hele undersøgelsen)	(kr. pr bygning/kr pr genbrugsplads)	(kr. pr prøve)	(kr. pr prøve)	(kr. pr prøve)
Udvendige og indvendige fugemasser	300.000	4.000	800	600	1.400
Termoruder	50.000	20.000	400	700	1.100
Maling	40.000	-	800	700	1.500
Gulvmasser	100.000	4.000	800	700	1.500

7.2 Omkostninger

I de følgende er der lavet grove overslag over omkostninger i tilknytning til forskellige undersøgelsesstrategier. Overslagene har til hensigt at vise sammenhæng mellem stikprøvestørrelser, omkostninger og den statistisk sikkerhed.

Ved udarbejdelse af et egentligt udbud af opgaven vil det være nødvendigt at lave en nøjere vurdering af de forventede omkostninger til blandt andet overordnet planlægning, detailplanlægning og rapportering.

7.2.1 Fugemasser

Strategi 1

Der foretages en relativt robust undersøgelse som har til formål at fastsætte hvilken andel af de bygninger, der potentielt kan indeholde >50 ppm PCB, som faktisk gør det. Der fokuseres på bygninger med bestemte anvendelser, idet det antages at andelen af PCB vil være den samme i bygninger med andre anvendelser (f.eks. kontorbygninger).

Det antages, at der i gennemsnit udtages 8 prøver i etageboligbygninger og institutioner og 4 i en- og tofamiliehuse. Dette skulle sikre, at der i hver bygning er taget 2 prøver af hver fugetype (f.eks. udtaget på nord- og sydside). Der skal udtages flere, hvis man vil være helt sikker på at der ikke kan forekomme PCB i fuger i bygningerne, men vi vurderer, at der med 8 prøver opnås en acceptabel sikkerhed. (I undersøgelsen fra Københavns Ejendomme blev der udtaget i gennemsnit 7,3 prøver per ejendom).

Man kunne alternativt vælge at tage færre prøver i hver bygning og til gengæld tage prøver fra flere bygninger. Det ville nedbringe usikkerheden på den fastlagte andel, men ville også betyde at der ville være større risiko for at PCB blev overset i nogle af bygningerne, så forekomsten af PCB systematisk blev undervurderet.

Vi forventer at andelen vil ligge omkring de 10% og at vi med 95% sikkerhed kan regne med at den sande værdi ligger inden på et interval af omkring $\pm 3\%$ point ($\pm 30\%$ af middelværdien). Undersøgelsen vil gøre det muligt at sige, om der er forskel på bygninger til de forskellige anvendelser, for så vidt at de observerede andele afviger med omkring 10%-point eller derover.

Tabel 15 Anslåede omkostninger af en undersøgelse omfattende analyser af prøver fra 300 bygninger med 8 eller 4 prøver fra hver bygning (strategi 1)

Anvendelse	Anslået antal bygninger der opfylder udvælgelseskriterier	Antal bygninger der udtages prøver fra	Dækningsgrad af undersøgelsen (% af totalt antal bygninger)	Antal prøver per bygning	Samlet antal prøver	Samlede omkostninger
Etageboligbebyggelse	25.000	100	0,4%	8	800	1.520.000
Institutionsbyggerier	10.000	100	1,0%	8	800	1.520.000
En- og tofamiliehuse	100.000	100	0,1%	4	400	960.000
Planlægning, databehandling, vurdering, rapportering						300.000
Samlede udgifter						4.300.000

Strategi 2

Der foretages en relativt robust undersøgelse af en- og flerfamiliehuse, som er de mindst undersøgte, mens der for øvrige anvendelser tages relativt få prøver der har til hensigt at belyse, om man kan forvente, at de erfaringer der er gjort i København også er gældende i andre byer. Der fokuseres på bygninger med bestemte anvendelser, idet det antages at andelen af PCB vil være den samme i bygninger med andre anvendelser (f.eks. kontorbygninger).

Det antages, at der i gennemsnit udtages 4 prøver i etageboligbygninger og institutioner og 2 i en- og tofamiliehuse. Herved tages der i hver bygning kun 1 prøve af hver fugetype. Der vil med dette antal prøver være en reel risiko for ikke at identificere PCB i nogle ejendomme (eller finde <50 ppm, selvom en del fuger har mere) og at andelen af bygninger med PCB systematisk blev undervurderet. Der er en reel risiko for, at undersøgelsen ikke i tilstrækkelig grad forbedrer det eksisterende vidensgrundlag.

Vi forventer at andelen vil ligge omkring de 10% og at vi med 95% sikkerhed kan regne med at den sande værdi ligger inden på et interval på ± 3 %-point omkring den observerede andel ($\pm 30\%$ af den observerede andel) for etageboliger – og institutionsbyggerier. Undersøgelsen vil ikke gøre det muligt på et 95% sikkerhedsniveau at sige om der er forskel på bygninger til de forskellige anvendelser, selv om de observerede andele afviger med 10%-point.

Tabel 16 Anslåede omkostninger af en undersøgelse omfattende analyser af prøver fra 300 bygninger med 4 eller 2 prøver fra hver bygning (strategi 2)

Anvendelse	Anslået antal bygninger der opfylder udvælgelseskriterier	Antal bygninger der udtages prøver fra	Dækningsgrad af undersøgelsen (% af totalt antal bygninger)	Antal prøver per bygning	Samlet antal prøver	Samlede omkostninger
Etageboligbebyggelse	25.000	50	0,2%	4	200	480.000
Institutionsbyggerier	10.000	50	0,5%	4	200	480.000
En- og tofamiliehuse	100.000	100	0,1%	2	200	680.000
Planlægning, databehandling, vurdering, rapportering						300.000
Samlede udgifter						1.940.000

Ved brug af det medfølgende regneark vil der være muligt at lave overslag for andre stikprøvestørrelser.

7.2.2 Termoruder

Ved beregning af omkostningerne til planlægning i relation til undersøgelse af PCB i termoruder er det antaget at undersøgelsen er et tilvalg til basisundersøgelsen af PCB i fugemasser. Dvs. der er ikke regnet med omkostninger til projektledelse, styregruppemøder, mm.

Strategi 1

Der laves en relativt robust undersøgelse, hvor der indsamles i alt 200 prøver på 4 genbrugsstationer. Ved at fordele prøvetagningen på 4 stationer vil man kunne betragte stikprøveudtagningen som tilnærmelsesvis tilfældig. Det skal tilstræbes at der vælges genbrugsstationer som modtager ruder fra forskellige byggestyper.

Vi har i de økonomiske overslag regnet med at indsamlingen sker ved eksisterende genbrugsstationer og at udgifterne til dette afholdes af de deltagende kommuner. Der er ligeledes regnet med at omkostninger til efterfølgende håndtering af PCB-holdige termoruder og bortskaffelse af PCB-holdigt lim afholdes af de involverede kommuner.

Som tidligere nævnt er det ikke muligt på basis af den tidligere undersøgelse at vurdere, hvor stor en del af rudetyperne ”med PCB” og ”muligvis med PCB” der faktisk indeholdt PCB. Undersøgelsen siger 80%, men i hovedparten af disse var koncentrationen under detektionsgrænsen for den anvendte metode. I Norge regnes med at norsk producerede termoruder fra perioden 1965 – 75 og termoruder importeret frem til 1980 alle indeholder PCB. I Sverige regnes der med at flertallet af termoruder produceret i perioden 1965 -1973 indeholdt PCB. Det antages som udgangspunkt at 30% af de udsorterede ruder i Danmark vil indeholde PCB.

Der udtages 1 prøve per termorude.

Med en stikprøve på 200 analyser, svarende til ca. 1000 sorterede termoruder, vil man hvis resultatet eksempelvis viser at 30% (af de 200) indeholder >50 ppm PCB kunne sige at den sande værdi med 95% sikkerhed ligger i intervallet 23,6-36,4 svarende til $\pm 20\%$ af den observerede andel. Hvis den observerede andel i stedet kun er 15%, hvilket udmærket kan være tilfældet, vil den sande værdi med 95% sikkerhed være inden for et interval $\pm 33\%$ af den observerede andel.

I den tidligere undersøgelse af PCB i termoruder fra Vestforbrænding m. fl. anslås det, at mængden af PCB-holdige termoruder - eller termoruder, der har risiko for at indeholde PCB - som blev bortskaffet i 1996 var 99.200. Det samlede antal i brug i 1996 er ikke angivet, men skulle, hvis man bruger rapportens opgørelser af tilbageværende PCB-mængder, være over 1. mio.. I Norge har man beregnet, at der i 2010 vil være ca. 270.000 PCB-holdige termoruder tilbage i brug. [30] Under alle omstændigheder vil en stikprøvestørrelse på 200 analyser betyde, at noget mindre end 0,1% af ruderne, der potentielt indeholder PCB udtages til analysen.

Strategi 2

Strategi 2 svarer til strategi 1 bortset fra at der kun udtages prøver af 100 ruder til analysen (ca. 25 fra hver genbrugsstation).

Hvis der kun udtages 100 prøver vil der med samme observation kunne sige at den sande værdi med 95% sikkerhed er i intervallet 21-39% ($\pm 30\%$ af den observerede andel). Hvis den observerede andel i stedet kun er 15% vil den sande værdi med 95% sikkerhed være inden for et interval $\pm 64\%$ af den observerede andel.

Strategi 3

Ved strategi 3 udtages der kun prøver af 50 ruder til analysen fra 2 genbrugsstationer (ca. 25 fra hver genbrugsstation).

Tabel 17 Anslåede omkostninger af forskellige undersøgelser af PCB i termoruder

Strategi	Samlet antal termoruder der udtages prøver fra	Antal genbrugsstationer	Omkostninger til prøveudtagning og analyse	Omkostninger til planlægning, rapportering, mm	Samlede omkostninger
Strategi 1	200	4	220.000	130.000	350.000
Strategi 2	100	4	110.000	130.000	240.000
Strategi 3	50	2	55.000	70.000	145.000

Ved brug af det medfølgende regneark vil der være muligt at lave overslag for andre stikprøvestørrelser.

7.2.3 Maling

Der er påvist PCB i maling i enkelte bygninger i Danmark, men der er meget lidt viden om den oprindelige og tilbageværende mængde af PCB i maling. Andelen af bygninger, opført før 1977, med PCB vil meget sandsynligt kun være nogle på procent.

Strategi 1 indebærer at der i alt udtages 200 prøver for at belyse problemets omfang. Hvis den observerede andel bliver 2% vil vi med 95% sikkerhed kunne sige, at den sande værdi ligger inden for intervallet 0,1-3,9%. Vi kan altså med sikkerhed sige, at det ikke er et meget udbredt fænomen, men ikke med sikkerhed sige om det er et meget lille problem. Det kan dog være at den observerede andel er væsentlig større, og dermed øges mulighederne sig for at udtale sig om problemets omfang.

Det foreslås, at prøvetagningen foretages sammen med udtag af fugeprøver og evt. sammen med udtag af gulvmasser i forbindelse med renovering og nedrivning (kun strategi 1). Der er i strategi 1 regnet med, at undersøgelsen er et tilvalg til strategi 1 for fugemasser, der omfatter prøvetagning fra 300 bygninger. Det antages at der fokuseres på facademalinger og malinger på udsatte steder med stort slid, f. eks. altangulve og gulve på svallegange. Det kan overvejes også at inddrage indvendige gulve f.eks. gulve i kældre af etageejendomme. Der regnes med at det kun er muligt at udtage prøver af maling i 100 af de 300 bygninger. Det på påregnes at der vil være nogle bygningsejere som ikke ønsker prøvetagning, da prøvetagningen delvist er destruktiv (svært at udbedre skaden). Der vil eksempelvis kun være maling af den relevante type i få en- og to-familiehuse, og det kan overvejes helt at undlade at tage prøver af maling fra disse huse. Det foreslås derfor at supplere denne del af undersøgelsen med prøver fra 100 bygninger, hvor prøverne udtages sammen med prøver af gulvmasser i samarbejde med nedbryderne.

Strategi 2 indebærer kun prøvetagning fra 100 bygninger udtaget sammen med fugeprøver. Hvis den observerede andel faktisk kun er 2% (2 positive prøver) vil man med 95% sikkerhed kunne siges, at den sande værdi er mindre end 4,7% men det vil ikke være muligt med 95% sikkerhed at kunne sige, om de fundne bygninger kun er enlige svaler. Det vil derfor være nødvendigt efterfølgende at udvide undersøgelsen med et større stikprøveantal, hvis man vil kunne udtale sig med større sikkerhed.

Tabel 18 Anslåede omkostninger af forskellige undersøgelser af PCB i maling

Strategi	Metode	Samlet antal bygninger der udtages prøver fra	Antal prøver per bygning	Omkostninger til prøveudtagning og analyse	Omkostninger til planlægning, rapportering, mm	Samlede omkostninger
Strategi 1	Prøver udtaget sammen med fugeprøver	100	4	600.000		
	Prøver udtaget sammen med gulvmasser	100	4	600.000		
	Samlet	200		1.200.000	40.000	1.240.000
Strategi 2	Prøver udtaget sammen med fugeprøver	100	4	600.000	40.000	640.000

Ved brug af det medfølgende regneark vil der være muligt at lave overslag for andre stikprøvestørrelser.

7.2.4 Gulvmasser

Som tidligere omtalt er udtagningen af prøver af gulvmasse relativt destruktiv (svært at udbedre skaden), og de typer af gulvmasser, hvor PCB har været brugt, vil primært forekomme i bygninger, som har været brugt til forskellige professionelle formål. Det vil derfor være en meget lille del af de bygninger, som indgår i undersøgelsen af fugemasser, som det også vil være relevant at udtage prøver af gulvmasser fra.

Vi foreslår derfor, at undersøgelsen udføres i tilknytning til større renoveringer og nedrivninger. Det vil muligvis være svært inden for en kortere tidsramme at finde nok bygninger at udtage prøver af. Det skal undersøges nærmere i samarbejde med nedbrydningsbranchen.

Det er regnet med to strategier, som kun adskiller sig i antallet af bygninger. Hvis vi antager at andelen af bygninger, som har gulvmasser der potentielt kan indeholde PCB, er 2%, vil de statistiske overvejelser i forbindelse med maling angivet ovenfor også være gældende her.

Tabel 19 Anslåede omkostninger af forskellige undersøgelser af PCB i gulvmasser.

Strategi	Samlet antal bygninger der udtages prøver fra	Antal prøver per bygning	Antal prøver	Omkostninger til prøveudtagning og analyse	Omkostninger til overordnet planlægning, rapportering, mm	Samlede omkostninger
Strategi 1	200	4	800	2.000.000	100.000	2.100.000
Strategi 2	100	4	400	1.000.000	100.000	1.100.000

Ved brug af det medfølgende regneark vil det være muligt at lave overslag for andre stikprøvestørrelser.

Man kan alternativt overveje en strategi, hvor virksomheder som er i tvivl om deres gulvmasser indeholder PCB, kunne melde sig til undersøgelsen og gratis få udtaget en prøve. Vi har ikke regnet på de mulige omkostninger ved denne metode, hvor omkostninger til planlægning og prøveudtagning kan blive relativt stor. Til gengæld vil det være nemmere at komme op på et tilstrækkeligt antal relevante bygninger.

7.2.5 Samlede omkostninger

De samlede omkostninger, hvis der for alle materialer vælges den mest omfattende af de skitserede undersøgelser (strategi 1), anslås at være i størrelsen 8 mio. kr. Med denne undersøgelse kan der fås et ret robust billede af omfanget af PCB i byggematerialer i Danmark. Med mere begrænsede undersøgelser vil der være en reel risiko for, at undersøgelsen blot bekræfter, hvad vi allerede ved, og at der efter undersøgelsen stadig vil være tvivl om omfanget af problemet.

Tabel 20 Anslåede samlede omkostninger for en strategi 1 kortlægning af fugemasser, termoruder, maling og gulvmasser.

Materiale	Strategi for materialet	Samlet omkostning
Fugemasser	Strategi 1	4.300.000
Termoruder	Strategi 1	350.000
Maling	Strategi 1	1.240.000
Gulvmasser	Strategi 1	2.100.000
I alt		7.990.000

8 Overslag over omfang, indhold og økonomi – PCB i indeklima

8.1 Omkostningselementer

Enhedspriser for forskellige omkostningselementer er angivet i Tabel 21.

Planlægning og rapportering

Hvad angår planlægning og rapportering er der regnet med en grundudgift som er uafhængig af antallet af målinger. Der er tale om et groft overslag, da det på nuværende tidspunkt ikke er klart, hvilke elementer projektet vil indeholde, og priserne skal måske justeres, når der foreligger en nærmere ydelsesbeskrivelse.

Hertil kommer en variabel udgift til planlægning og vurdering som er afhængig af antallet af prøvetagninger.

Analyse

Priser for prøvetagning og laboratorieanalyser er angivet under forudsætning af, at der mindst indgår 25 prøver i undersøgelsen som analyseres/udtages af det samme laboratorium.

Priser for analyse af PCB₇ i luftprøver og materialeprøver varierede kun lidt mellem laboratorierne, der har indgående erfaring med dette.

Hvad angår PCB₁₂ i luftprøver og byggematerialer er der ikke tale om en analyse, som normalt udføres af laboratorier i Danmark. Et af de adspurgte laboratorier oplyste at prisen formentlig ville blive væsentligt højere end prisen for PCB₇.

Et andet laboratorium, som får foretaget disse målinger i udlandet, oplyste at prisen for en analyse af de dioxinlignende PCB i overensstemmelse med ISO 16000-14:2009 kun ville være lidt højere end måling af PCB₇. Laboratoriet blev flere gange spurgt, om der var taget højde for yderligere omkostninger ved prøveforberedelse, og at der benyttes dyrere udstyr, men kunne bekræfte de kun lidt højere priser for målinger af PCB₆₊₁₂. Disse oplyste priser er derfor benyttet ved de økonomiske overslag.

Prøvetagning

Der er indhentet enhedspriser fra 2 laboratorier med indgående erfaring med prøvetagning i forbindelse med indeklimamålinger af PCB og analyse af PCB i såvel luftprøver som materialeprøver. For prøvetagning blev der endvidere lavet et overslag over, hvad COWI ville tage for opgaven med lejet udstyr, baseret på erfaringer fra tidligere opgaver.

Udgifter til prøvetagning er ret afhængig af, hvor meget tid der bruges til transport da man med målinger over 24 timer skal hen til lokaliteten to gange. Der er indkommet lidt forskellige bud på prøvetagningen, men omkring 11.500 kr for to samtidige prøver pr. bolig/institution vurderes at være realistisk som gennemsnit. Der er regnet med, at den samme person kan foretage målinger i to bygninger i samme område samtidigt.

Prisen for en ekstra kontrolmåling foretaget samtidig med de øvrige målinger er regnet at være 1.500 kr.

Laboratorierne var lidt i tvivl om, hvorvidt målinger af PCB₆₊₁₂, hvor der vil være et meget bredt koncentrationsinterval mellem de forskellige congenere, kunne indebære at der skulle foretages to samtidige målinger (for hver måling) for at undgå overmætning af rørene med congenere med høj koncentration. Der er ikke umiddelbart noget i standarden, som antyder at der skulle være problemer med at bestemme alle PCB på grundlag af det større prøvetagningsvolumen, men der her for en sikkerhedsskyld regnet med ekstra udgifter til prøvetagning af PCB₆₊₁₂ for at tage højde for, at der kan være uforudsete udgifter, når der skal foretages en måling som der er begrænset erfaring med.

Luftskiftemålinger

Notatet om indeklimamålinger af PCB angiver at udgifterne til detaljerede luftskiftemålinger vil være på 12.000-14.000 DKK pr. bolig til udlæg og analyser og hertil et timeforbrug på 2-5 timer. Der er regnet med, at der anvendes sporstofdosering (mindst 3 kilder i hver bolig) med små permeationsrør med PFC sporgas og opsamling/analyse ved brug af passive samplere (mindst 3 passive samplere til PFC målingen pr. bolig/lokale). Det vil være af betydning om luftskiftemålingerne kan foretages af den samme person som foretager PCB målingerne. Med de priser som er indhentet i forbindelse med nærværende overslag vurderer vi at ovennævnte overslag er i den øvre ende, hvis der er tale om en større undersøgelse med mange luftskiftemålinger. Der er derfor her regnet med en gennemsnitlig samlet udgift pr. luftskiftemåling på 14.000 kr.

Tabel 21 Omkostningselementer og anslåede enhedspriser

	Enhed	Omkostning kr (ekskl moms)
Prøvetagning		
Prøvetagning af PCB ₇ i overensstemmelse med notat inkl. rør, medier, kørsel samt efterfølgende prøvetagningsrapport + supplerende iagttagelser - første prøve, gennemsnit for flere lokaliteter, pr. prøve	pr. prøve	11.000
- "... efterfølgende prøver på samme lokalitet	pr. prøve	1.500
Ekstra omkostninger PCB ₁₂	pr. prøve	1.500
Luftskiftemålinger	pr. bygning	14.000
Laboratorieanalyser, priser pr. prøve		
Luftprøver		
PCB ₇ *	pr. prøve	1.900
PCB ₆₊₁₂ **	pr. prøve	2.500
Materialeprøver		
PCB ₇ *	pr. prøve	700
PCB ₆₊₁₂ **	pr. prøve	1.200
Planlægning, rapportering, mv.		
Overordnet planlægning, styregruppemøder, mm	samlet undersøgelse	120.000
Databehandling, vurdering, rapportering, ekskl. sundhedsvurdering	samlet undersøgelse	200.000
Detailplanlægning, kontakt til ejer/lejer, instruktion, detailvurdering	pr. bygning	3.000

* PCB₇ = PCB₂₈, 52, 101, 118, 138, 153, 180. Bestemmes med GC/MS eller HRGC/HRMS.

** PCB₁₂ = dioxinlignende PCB, af disse indgår PCB₁₁₈ også i PCB₇, Prisen omfatter ikke omregning til PCB-TEQ. Bestemmes med HRGC/HRMS.

8.2 Anslåede omkostninger

Anslåede omkostninger for forskellige undersøgelser er angivet i de nedenstående tabeller. Der er udarbejdet et regneark, som kan benyttes til at lave overslag for undersøgelser med flere eller færre prøver.

Der er regnet med, at der tages to indeklimatemålinger i hver bolig/institution så antallet af analyser er 2 x antallet af boliger. Der er regnet med én luftskiftemåling per bygning.

De samlede udgifter varierer fra 1,1 mio. kr for den mindste model med 40 bygninger og uden materialeprøver og luftskiftemålinger til 2.8 mio. til den største model med 60 bygninger, luftskiftemålinger, materialeprøver og analyse af PCB₆₊₁₂.

Tabel 22 Anslåede omkostninger, undersøgelse med 60 boliger/institutioner uden luftskiftemålinger

60 bygninger	PCB7 i indeluft	PCB6+12 i indeluft	PCB7 i indeluft; PCB7 i materialeprøver	PCB6+12 i indeluft PCB7 i materialeprøver
Antal boliger/institutioner	60	60	60	60
Antal supplerende materialeprøver	-	-	100	100
Antal kontrolmålinger	-	-	-	-
Antal luftskiftemålinger	10	10	10	10
Udgifter:				
Prøvetagning, PCB indeluft	765.000	930.000	765.000	930.000
Analyse, PCB indeluft	247.000	325.000	247.000	325.000
Prøvetagning og analyse, PCB i materialer	-	-	170.000	170.000
Luftskiftemåling	-	-	-	-
Detailplanlægning og detailvurdering	180.000	180.000	180.000	180.000
Overordnet planlægning, databehandling,	320.000	320.000	320.000	320.000
Samlede udgifter	1.512.070	1.755.070	1.682.170	1.925.170

Tabel 23 Anslåede omkostninger, undersøgelse med 60 boliger/institutioner med luftskiftemålinger

60 bygninger	PCB7 i indeluft	PCB6+12 i indeluft	PCB7 i indeluft; PCB7 i materialeprøver	PCB6+12 i indeluft PCB7 i materialeprøver
Antal boliger/institutioner	60	60	60	60
Antal supplerende materialeprøver	-	-	100	100
Antal kontrolmålinger	60	60	60	60
Antal luftskiftemålinger	10	10	10	10
Udgifter:				
Prøvetagning, PCB indeluft	765.000	930.000	765.000	930.000
Analyse, PCB indeluft	247.000	325.000	247.000	325.000
Prøvetagning og analyse, PCB i materialer	-	-	170.000	170.000
Luftskiftemåling	840.000	840.000	840.000	840.000
Detailplanlægning og detailvurdering	180.000	180.000	180.000	180.000
Overordnet planlægning, databehandling,	320.000	320.000	320.000	320.000
Samlede udgifter	2.352.130	2.595.130	2.522.230	2.765.230

Tabel 24 Anslåede omkostninger, undersøgelse med 40 boliger/institutioner uden luftskiftemålinger

40 bygninger	PCB7 i indeluft	PCB6+12 i indeluft	PCB7 i indeluft; PCB7 i materialeprøver	PCB6+12 i indeluft PCB7 i materialeprøver
Antal boliger/institutioner	40	40	40	40
Antal supplerende materialeprøver	-	-	100	100
Antal kontrolmålinger	-	-	-	-
Antal luftskiftemålinger	5	5	5	5
Udgifter:				
Prøvetagning, PCB indeluft	507.500	620.000	507.500	620.000
Analyse, PCB indeluft	161.500	212.500	161.500	212.500
Prøvetagning og analyse, PCB i materialer	-	-	170.000	170.000
Luftskiftemåling	-	-	-	-
Detailplanlægning og detailvurdering	120.000	120.000	120.000	120.000
Overordnet planlægning, databehandling,	320.000	320.000	320.000	320.000
Samlede udgifter	1.109.045	1.272.545	1.279.145	1.442.645

Tabel 25 Anslåede omkostninger, undersøgelse med 40 boliger/institutioner med luftskiftemålinger

40 bygninger	PCB7 i indeluft	PCB6+12 i indeluft	PCB7 i indeluft; PCB7 i materialeprøver	PCB6+12 i indeluft PCB7 i materialeprøver
Antal boliger/institutioner	40	40	40	40
Antal supplerende materialeprøver	-	-	100	100
Antal kontrolmålinger	40	40	40	40
Antal luftskiftemålinger	5	5	5	5
Udgifter:				
Prøvetagning, PCB indeluft	507.500	620.000	507.500	620.000
Analyse, PCB indeluft	161.500	212.500	161.500	212.500
Prøvetagning og analyse, PCB i materialer	-	-	170.000	170.000
Luftskiftemåling	560.000	560.000	560.000	560.000
Detailplanlægning og detailvurdering	120.000	120.000	120.000	120.000
Overordnet planlægning, databehandling,	320.000	320.000	320.000	320.000
Samlede udgifter	1.669.085	1.832.585	1.839.185	2.002.685

9 Samlede omkostninger af undersøgelse af PCB i byggematerialer og indeklima

På grundlag af de forskellige overslag over omkostninger er det muligt at lave en lang række kombinationer, som resulterer i forskellige totale udgifter.

Den dyreste af undersøgelseerne, hvis man virkelig vil undersøge problemstillingen til bunds, beløber sig til ca. 10,8 mio kr.

De følgende overslag giver mulighed for at få et indtryk af omkostningerne når der fravælges forskellige elementer af denne mest omfattende undersøgelse.

PCB i byggematerialer

De samlede omkostninger, hvis der for alle materialer vælges den mest omfattende af de skitserede undersøgelser af PCB (strategi 1), anslås at være i størrelsen 8 mio. kr. Med denne undersøgelse kan der fås et ret robust billede af omfanget af PCB i byggematerialer i Danmark. Med mere begrænsede undersøgelser vil der være en reel risiko for, at undersøgelsen blot bekræfter, hvad vi allerede ved, og at der efter undersøgelsen stadig vil være tvivl om omfanget af problemet.

Tabel 26 Anslåede samlede omkostninger for en strategi 1 kortlægning af PCB i fugemasser, termoruder, maling og gulvmasser.

Materiale	Strategi for materialet	Samlet omkostning
Fugemasser	Strategi 1	4.300.000
Termoruder	Strategi 1	350.000
Maling	Strategi 1	1.240.000
Gulvmasser	Strategi 1	2.100.000
I alt		7.990.000

Den mere begrænsede undersøgelse af alle materialer udgør omkring 3.9 mio kr. Det kan vælges ikke at omfatte nogle af materialerne hvilket vil resultere i mindre omkostninger.

Tabel 27 Anslåede samlede omkostninger for en strategi 2 kortlægning af PCB i fugemasser, termoruder, maling og gulvmasser.

Materiale	Strategi for materialet	Samlet omkostning
Fugemasser	Strategi 2	1.940.000
Termoruder	Strategi 2	240.000
Maling	Strategi 2	640.000
Gulvmasser	Strategi 2	1.100.000
I alt		3.920.000

PCB i indeklima

De samlede anslåede udgifter for undersøgelsen af PCB i indeklima varierer fra 1,1 mio. kr. for den mindste model med 40 bygninger og uden materialeprøver og luftskiftemålinger til 2.8 mio. til den største model med 60 bygninger, luftskiftemålinger, materialeprøver og analyse af PCB₆₊₁₂.

Tabel 28 Overslag over samlede omkostninger – PCB i indeklima

	PCB7 i indeluft	PCB6+12 i indeluft	PCB7 i indeluft; PCB7 i materialeprøver	PCB6+12 i indeluft PCB7 i materialeprøver
40 bygninger uden luftskiftemåling	1.109.045	1.272.545	1.279.145	1.442.645
40 bygninger med luftskiftemåling	1.669.085	1.832.585	1.839.185	2.002.685
60 bygninger uden luftskiftemåling	1.512.070	1.755.070	1.682.170	1.925.170
60 bygninger med luftskiftemåling	2.352.130	2.595.130	2.522.230	2.765.230

10 Eventuelle supplerende undersøgelser

10.1 Sekundære forureninger

PCB, som er afgivet fra materialer til indeluften, vil kunne absorberes i andre materialer og derved skabe sekundære forureninger. Et eksempel fra Danmark er Gasværksvejens skole i København, hvor inventar og overflader var forurenet med PCB. Vi har ikke haft adgang til de konkrete resultater. En undersøgelse af tyske skoler, som var stærkt PCB forurenede fra brug af PCB-holdigt puds og loftsplader med PCB som flammehæmmer viste, at der i rum med koncentrationer omkring 10.000 ng/m^3 fandtes en række materialer, som var sekundært forurenede med PCB i koncentration på $>1000 \text{ ppm}$ [31]. Materialerne var eksempelvis PVC fliser, maling på vinduesrammer, silikonefuger omkring vinduer, skridsikker gummi på trapper og tapet.

For at belyse dette forhold nærmere kan det overvejes, at gå videre med undersøgelser af sekundære forureninger i de bygninger, hvor der findes høje koncentrationer af PCB i de primære materialer, som kan give anledning til PCB i indeluften. Disse undersøgelser vil evt. kunne udføres sammen med undersøgelser af PCB i indeklimaet. Vi har ikke lavet overslag over omkostninger af disse opfølgingsundersøgelser.

Det er velkendt, at PCB fra fuger er diffunderet ind i det omgivende murværk og at det i forbindelse med fjernelse af PCB-holdige fuger kan være nødvendigt at fjerne en del af murværket (mursten, puds, beton). Der indgår i den foreslåede prøvetagningsstrategi ikke udtagning af prøver af murværk, fordi forholdet er velkendt, men det vil i forbindelse med efterfølgende renovering af de bygninger, hvor der er fundet PCB, kunne være relevant at undersøge koncentrationerne i det omgivende murværk.

10.2 Indberetningsordning

Der foregår rundt omkring i landet til stadighed undersøgelser af PCB i bygninger, som både omfatter udtagning af prøver i materialer og indeklimamålinger. Resultaterne af disse undersøgelser kan være med til at belyse udbredelsen af PCB i byggematerialer, og i særlig grad være med til at belyse sammenhængen mellem PCB i materialerne og i indeklimaet. Målingerne af PCB i materialerne vil næppe kunne indgå i det statistiske materiale i den større undersøgelse, fordi der vil være en tendens til at man fokuserer på de bygninger, hvor der faktisk er fundet PCB. Undersøgelser, der belyser sammenhængen mellem PCB i materialer og i indeklimaet, vil derimod kunne være meget værdifulde og vil, hvis undersøgelserne er lavet korrekt, kunne indgå i en samlet undersøgelse af disse sammenhænge. Det kan derfor overvejes at lave en indberetningsordning for bygningsejere og evt. entreprenører.

11 Referencer

- [1] Gunnarsen, L., Larsen, J.C., Mayer, P. og Sebastian, W. 2009. Sundhedsmæssig vurdering af PCB-holdige bygningsfuger. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 1/2009.
<http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2009/978-87-7052-901-3/html/default.htm>
- [2] Jensen, A.A., Fuglsang, F. og Schleicher, O. 2010. Notat til Erhvervs- og Byggestyrelsen om målemetode for indeklimamåling af PCB. Force Technology for Erhvervs- og Byggestyrelsen
- [3] Sundhedsstyrelsen. PCB og sundhed.
<http://www.sst.dk/~media/Sundhed%20og%20forebyggelse/Indeklima%20og%20skimmelsvamp/PCB%20og%20sundhed-sst1%20lke-nsn.ashx>
- [4] Kohler M., Tresp, J., Zennegg, M., Seiler C., Minder-Kohler, S., Beck, M., Lienemann, P., Wegmann, L. og Schmid, P. 2005. Joint Sealants: an overlooked diffuse source of polychlorinated biphenyls in buildings. *Environ Sci Technol* 39: 1967-1973.
- [5] Takasuga, T., Senthilkumar, K., Matsumura, T., Shiozaki, K., Sakai, S.I. 2006. Isotope dilution analysis of polychlorinated biphenyls (PCBs) in transformer oil and global commercial PCB formulations by high resolution gas chromatography-high resolution mass spectrometry. *Chemosphere* 62: 469-484.
- [6] Hansen, E. 1983. PVB/PCT forurening. En udredning om forbrug, forurening og transportveje for PCB og PCT. CowiConsult for Miljøstyrelsen, upubliceret.
- [7] Johansson, N., Hanberg, A., Bergek, S. og Tysklind, M. 2001. PCB in sealant is influencing the levels in indoor air. *Organohalogen Compounds* 52: 436-440.
- [8] Gian Marco Currado and Stuart Harrad. Comparison of Polychlorinated Biphenyl Concentrations in Indoor and Outdoor Air and the Potential Significance of Inhalation as a Human Exposure Pathway. *Environ. Sci. Technol.*, 1998, 32 (20), pp 3043–3047
- [9] Heinzow, B., Mohr, S., Ostendorp, G., Kerst, M. og Körner, W. 2007. PCB and dioxin-like PCB in indoor air of public buildings contaminated with different PCB sources – deriving toxicity equivalent concentrations from standard PCB congeners. *Chemosphere* 67: 1746–1753.
- [10] Kieper, H., Hemminghaus, H-J. 2005. PCB-Untersuchungen in Innenräumen: „Untersuchungen zur PCB-Belastung der Luft in Innenräumen unter Einschluss der Verbindungen, für die toxisch besonders bedeutsame TEQ-Werte ermittelt worden sind“ Forschungsbericht 203 61 218/04. Umwelt-

- bundesamt WaBoLu Nr. 03/05;
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2943.pdf>
- [11] Kohler, M., Zennegg, M., Waeber, R. 2002. Coplanar polychlorinated biphenyls (PCB) in indoor air. *Environ Sci Technol* 36: 4735-4740.
- [12] Ishikawa, Y., Noma, Y, Yoshihito Mori, Y., Shin-ichi Sakai, S-i. 2007. Congener profiles of PCB and a proposed new set of indicator congeners. *Chemosphere* 67: 1838–1851.
- [13] Mitteilungen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. 2007. Gesundheitliche Bewertung dioxinähnlicher polychlorierter Biphenyle in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz . 50:1455–1466.
- [14] Johansson, N., Hanberg, A., Wingfors, H. and Tysklind, M. 2003. PCB in building sealants is influencing PCB levels in blood of residents. *Organohalogen Compounds* 63: 381–384.
- [15] Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie). Fassung September 1994
http://www.innenministerium.bayern.de/imperia/md/content/stmi/bauen/rechtundtechnikundbauplanung/_bautechnik/gesundheit_umwelt/pcb_richtlinie.pdf
- [16] Yang, J-M. , Salmon, A.G., Marty, M.A. 2010. Development of TEFs for PCB congeners by using an alternative biomarker —Thyroid hormone levels. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 56: 225–236.
- [17] Bergsøe, N.C. 1991. Ventilationsforhold i nyere, naturligt ventilerede enfamiliehuse. SBI Rapport 213.
- [18] Bergsøe, N.C. 1991. Undersøgelse af ventilationsforhold i nyere boliger : Luftsifte. Luftfugtighed. Organiske gasser og dampe. SBI Rapport 236.
- [19] Forundersøgelse om forekomst af PCB i en- og tofamiliehuse. Rapport til Erhvervs- og Byggestyrelsen, Miljøstyrelsen og Arbejdstilsynet. Endelig rapport 16. december 2009.
- [20] PCB/PCT forurening. en udredning om forbrug, forurening og transportveje for PCB og PCT. COWIconsult for Miljøstyrelsen, september 1983. Upubliceret.
- [21] Problematiske stoffer i bygge- og anlægsaffald - kortlægning, prognose og bortskaffelsesmuligheder. Miljøprojekt Nr. 1084 2006.
- [22] Handlingsplan for reducerede utslipp av PCB i 2009-2012.SFT, 2009.

- [23] Rapport - Fase 4. Kortlægning af PCB i Københavns Ejendomes ejendomsportefølje. ALECTIA A/S for Københavns Ejendomme.
- [24] Registrering af PCB i fugematerialer. SBMI, Skandinavisk Bio-Medicinsk Institut A/S for KAB, boligejendomme. August 2009.
- [25] PCB i termoruder. Udredning vedrørende PCB i termoruder, der afleveres på genbrugsplads, Vestforbrænding, Amagerforbrænding og Århus Kommune, Januar 2007.
- [26] Problematiske stoffer i bygge- og anlægsaffald - kortlægning, prognose og bortskaffelsesmuligheder. Miljøprojekt nr. 1084, 2006.
- [27] Vejledende retningslinjer for sanering af PCB. Dansk Asbestforening, januar 2010.
- [28] Branchevejledning om PCB i bygninger-0311-ubj. BAR-Bygge/Anlæg.
- [29] <http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1280>
- [30] Kartlegging PCB-holdige vinduer – oprinnelige og gjenværende mængder, Ruteretur AS, September 2004.
- [31] N. Weis, M. Köhler, C. Zorn. Highly PCB-contaminated schools due to PCB-containing roughcast. Proceedings: Healthy Buildings 2003. http://www.pcbinschools.org/PCB_kontaminierte_Schulen_2003.pdf