

KORTLÆGNING AF PCB I MATERIALER OG INDELUFT

SAMLET RAPPORT

10. DECEMBER 2013



ADRESSE Grontmij A/S
Granskoven 8
2600 Glostrup

KONTAKT Majbrith Langeland
MLS@Grontmij.dk
Tlf: 9879 9876

Marie Kloppenborg Jensen
MKJN@Cowi.dk
Tlf: 5640 6715

SIDE 3/235

KORTLÆGNING AF PCB I MATERIALER OG INDELUFT

SAMLET RAPPORT

10. DECEMBER 2013

PROJEKTNR.	A030835
DOKUMENTNR.	A4
VERSION	03
UDGIVELSESDATO	10 december 2013
UDARBEJDET	CRL
KONTROLLERET	MKJN/QMO
GODKENDT	MLS

INDHOLD

Forord	9
1 Sammenfatning og konklusion	10
1.1 PCB i materialer	10
1.1.1 Kortlægning af PCB i materialer	10
1.1.2 Forekomst af PCB i materialer i bygninger i Danmark	14
1.2 PCB i indeluft	15
1.2.1 Kortlægning af PCB i indeluft	15
1.2.2 Sammenhæng mellem PCB i indeluft og materialer	17
1.2.3 PCB i indeluft i bygninger i Danmark	19
1.3 Samlet konklusion	20
2 Indledning	22
2.1 Formål	22
2.2 Baggrund	22
2.3 Gennemførelse af kortlægningen	25
2.3.1 Kortlægningens elementer og faser	25
2.3.2 Statistisk model og metode	26
2.3.3 Udvalgelse af bygninger til undersøgelse af PCB i materialer	28
2.3.4 Forekomst af PCB i termoruder og kondensatorer i lysstofarmaturer	31
2.3.5 Udvalgelse af bygninger til undersøgelse af PCB i indeluft	31
2.3.6 Kontakt til bidragsydere	32
3 Resultater af målinger af PCB i materialer	33
3.1 PCB i fugemasser, maling og gulvbelægning	33
3.1.1 Prøvetagning og analyse	33

3.1.2	Resultater på tværs af materialer og bygningskategorier	34
3.1.3	PCB i maling	41
3.1.4	PCB i fugemasse	44
3.1.5	PCB i gulvbelægning	47
3.1.6	Forekomst i én- og tofamiliehuse	48
3.1.7	Forekomst i etageejendomme	49
3.1.8	Forekomst i kontorbyggerier og offentlige institutioner	49
3.1.9	Primære versus tertiære kilder	51
3.1.10	Fordelingsfunktioner	60
3.1.11	Tidsmæssig fordeling	62
3.1.12	Omfanget af materialer i bygningerne	63
3.1.13	Statistisk test af observerede hyppigheder	64
3.1.14	Sammenfatning og delkonklusion	65
3.2	PCB i fugebånd og forseglingslim i termoruder	67
3.2.1	Baggrund	67
3.2.2	Prøvetagning og analyse	68
3.2.3	Resultater af undersøgelsen	70
3.2.4	Sammenfatning og delkonklusion	74
3.3	PCB i kondensatorer til lysstofarmaturer	75
3.3.1	Baggrund	75
3.3.2	Prøvetagning og analyse	80
3.3.3	Resultater af undersøgelsen	81
3.3.4	Sammenfatning og delkonklusion	84
3.4	Migration af PCB til tilstødende materialer	85
3.4.1	Baggrund	85
3.4.2	Prøvetagning og analyse	86
3.4.3	Resultater af undersøgelsen	87
3.4.4	PCB mængder i sekundært forurenede materialer	95
3.4.5	Sammenfatning og delkonklusion	101
4	Målinger af PCB i indeluft	103
4.1	Baggrund	103
4.1.1	Parametre, som har indflydelse på indeluftkoncentrationen	103
4.1.2	Variation inden for den enkelte bygning og mellem bygninger og bygningstyper	107
4.2	Prøvetagning og analyse	108
4.3	Resultater af undersøgelsen	110
4.3.1	PCB i indeluft	110
4.3.2	Sammenhæng mellem primær, sekundær og tertiær kilder til PCB	113
4.3.3	Sammenhæng mellem koncentrationen af PCB, bygningsanvendelse og temperatur	118
4.3.4	Ventilation i undersøgte bygninger	120
4.3.5	Congenerssammensætning af PCB ₂₇ i indeluft	123

4.3.6	Sammenhæng mellem congenerprofiler i materialer og indeluft	127
4.3.7	Andre forhold	131
4.4	Sammenhænge mellem koncentrationen af PCB i materialer og indeluft	136
4.5	Sammenfatning og delkonklusion	144
5	Resultater af andre undersøgelser af PCB i materialer og indeluft	149
5.1	Gennemførte kortlægninger i kommuner	149
5.1.1	PCB i materialer	155
5.1.2	PCB i indeluft	164
5.1.3	Bygninger opført før PCB-perioden	170
5.2	PCB i Forsvarets bygninger	171
5.2.1	PCB i materialer i Forsvarets bygninger	171
5.2.2	PCB i indeluft i Forsvarets bygninger	177
5.3	Gennemførte kortlægninger i boligselskaber	178
5.4	Miljøstyrelsens undersøgelse af PCB i materialer fra renoveringer og nedrivninger	179
5.5	Sammenfatning og delkonklusion	182
6	Forekomsten af PCB i bygninger i Danmark	184
6.1	Antal bygninger med PCB i materialer	184
6.1.1	Andel og antal af bygninger fra PCB-perioden med PCB i materialer	184
6.2	Antal bygninger med PCB i indeluft opdelt på bygningstyper	189
6.2.1	Antal skoler med PCB i indeluft	193
6.3	Sammenfatning og delkonklusion	195
7	Tilbageværende mængder af PCB i byggematerialer	197
7.1.1	Tilbageværende mængder af PCB i fugemasser, maling og gulvbelægninger	197
7.1.2	Tilbageværende mængder af PCB i termoruder	202
7.1.3	Tilbageværende mængder af PCB i lysarmaturer	204
7.1.4	Sekundær og tertiær forekomst af PCB	207
7.1.5	Sammenfatning og delkonklusion	207
8	Sammenfattende vurdering	209
8.1	PCB i materialer	209
8.2	PCB indeluft	210
8.3	Behov for yderligere viden	211

9	Forkortelser og akronymer	213
10	Referencer	214
	Bilag 1 Prøvetagnings- og analysemetoder	217
	Bilag 2 Ventilation og luftskifte	224
	Bilag 3 Udvalgte cases	232
	Bilag 4 Eksempel på analyse- og undersøgelsesrapport	233
	Bilag 5 Fotodokumentation af termoruder , herunder fugebånd og forseglingslim	234
	Bilag 6 Fotodokumentation af kondensatorer og armaturer	235

Forord

Denne rapport indeholder de samlede resultater af projektet ”Kortlægning af PCB i materialer og indeluft”. Resultaterne fra kortlægningen af PCB i materialer er tidligere offentliggjort i en fase 2 rapport. Kortlægning af PCB i termoruder, kondensatorer i lysstofarmaturer og vurdering af PCB i bygningsmaterialer, som er sekundært forurenet med PCB, har været rapporteret i en ikke-offentliggjort fase 3 rapport. Resultaterne af kortlægning af PCB forekomst i materialer har dannet udgangspunkt for udvælgelse af bygninger til yderligere undersøgelser af PCB i indeluften i projektets fase 4, der offentliggøres i denne samlede afrapportering.

Resultaterne er i denne rapport behandlet på en måde, så det ikke er muligt at henhøre de enkelte resultater til de enkelte bygninger og bygningsejere, som har bidraget til kortlægningen.

Nærværende kortlægning omtales i det efterfølgende som "ENS kortlægningen".

ENS kortlægningen har været fulgt af en tværministeriel gruppe bestående af repræsentanter for:

- › Energistyrelsen
- › Miljøstyrelsen
- › Arbejdstilsynet
- › Ministeriet for By, Bolig og Landdistrikter
- › Sundhedsstyrelsen

For at øge læsevenligheden er det alle steder, hvis andet ikke er nævnt, underforstået at mg/kg eller ng/m³ refererer til koncentrationen af PCB_{total} i henholdsvis materialer og indeluft.

Kortlægningen er gennemført af et konsortium bestående af Grontmij A/S og COWI A/S med IMM Statistical Consulting Center, DTU Dataanalyse som underrådgiver vedrørende statistiske analyser.

1 Sammenfatning og konklusion

Der er gennemført en kortlægning af PCB-holdige materialer i 352 bygninger fordelt på tre bygningstyper: én- og tofamiliehuse, etageejendomme samt kontorejendomme og offentlige institutioner (samlet omtalt som ENS kortlægningen). Resultaterne er sammenholdt med resultater af undersøgelser af PCB i materialer i 669 offentlige institutioner og kontorer fra kortlægninger gennemført af kommuner landet over samt resultater af andre kortlægninger.

På basis af en byggeteknisk gennemgang og koncentrationsniveauet i bygningsmaterialerne er der udvalgt i alt 67 bygninger inden for de tre bygningskategorier, hvor der er foretaget målinger af PCB i indeluft. Denne del af kortlægningen er suppleret med en sammenfatning af resultater af undersøgelser af PCB i indeluft i 507 offentlige institutioner og kontorer fra kortlægninger gennemført af kommuner landet over.

1.1 PCB i materialer

1.1.1 Kortlægning af PCB i materialer

Fugemasser, maling og gulvbelægninger

Kortlægningen af materialer i de 352 bygninger har fokuseret på primær forekomst af PCB i fugemasser, visse typer maling og gulvbelægninger. To andre kildetyper, termoruder og kondensatorer, er undersøgt for sig.

Der er fundet materialer med PCB-koncentrationer på $\geq 0,1$ mg/kg, der gør materialerne destruktionspligtige i forbindelse med affaldshåndtering i henhold til de vejledende grænseværdier, i mere end 75% af de undersøgte bygninger. Dette resultat er konsistent med resultatet af kortlægningen i Forsvarets bygninger og data indsamlet fra renoveringer og nedbrydninger af rapporteret af Miljøstyrelsen i 2012. Maling med PCB forekommer i en større del af bygningerne end forventet og er ansvarlig for den meget brede forekomst af PCB-holdige materialer med relativt lavt indhold af PCB.

PCB i malingen synes - selv ved de lave koncentrationer - i høj grad at stamme fra produktionen af malingen, idet mere end 50% af de analyserede udendørs malinger, som ikke forventes at være forurenede fra andre kilder, indeholdt $\geq 0,1$ mg/kg PCB.

Én- og tofamiliehuse

PCB blev fundet udbredt i én- og tofamiliehuse med materialer med ≥ 50 mg/kg i 18% (13-24%, 90% konfidensinterval) af bygningerne. Forekomsten var dog statistisk signifikant mindre end i de to øvrige bygningstyper. Dette ses særligt markant for materialer med koncentrationer på ≥ 5000 mg/kg, som fandtes i 6% (4-11%) af bygningerne. Hovedparten af de PCB-holdige materialer var maling anvendt enten indendørs eller udendørs. Indendørs var det eksempelvis maling på vandrør på toilet, samt gulve i vikualierum, vaskerum, kontor og opbevaringsrum, mens maling udendørs var påført trapper. Fuger med høj koncentration (≥ 100.000 mg/kg) blev fundet i to bygninger omkring vinduer og døre; henholdsvis udendørs og indendørs. Der blev ikke fundet eksempler på fuger mellem betonelementer eller sani-

tetsfuger på badeværelser med høj PCB-koncentration. De kilder, som har været de hyppigt forekommende PCB kilder i institutionsbyggerier med høje koncentrationer af PCB i indeluft, forekommer således med en markant lavere hyppighed i én- og tofamiliehuse.

Etageejendomme

I etageejendomme blev der fundet materialer med ≥ 50 mg/kg i 31% (24-40%) af ejendommene, mens materialer med ≥ 5000 mg/kg blev fundet i 11% (7-18%). I etageejendomme blev der kun fundet et enkelt eksempel på fuger med høj PCB-koncentration indendørs omkring et vindue i en opgang, mens fugemasser med høj koncentration (typisk over 100.000 mg/kg) anvendt udendørs mellem betonelementer blev fundet i en række ejendomme. Man kan på basis af kortlægningen fastslå, at der ikke er en udbredt forekomst af indendørs fuger med høje koncentrationer, som der eksempelvis er set i nogle af de eksisterede PCB sager, men det kan ikke afvises, at det vil kunne findes i en lille procentdel af alle etageejendomme. Maling med ≥ 50 mg/kg og op til 19.000 mg/kg blev fortrinsvis fundet indendørs i opgange, vaskerum, opbevaringsrum, cykelkældre og fyrrum. Malingen var påført gulv, vægge, faldstammer og metalgelændere.

Offentlige institutioner og offentlige kontorejendomme

For offentlige institutioner og offentlige kontorejendomme foreligger der et omfattende materiale fra kommunernes kortlægninger. I de fleste af kommunerne er der udelukkende undersøgt for fugemasser, og resultaterne af kortlægningerne kan kun anses at være repræsentative, hvad angår fugemasser. Samlet set var hyppigheden af bygninger med PCB-koncentrationer ≥ 50 mg/kg i fugemasse i offentlige institutioner og kontorer angivet på lokalitetsniveau 14% (12-16%) (en lokalitet er en skole, et plejehjem, mm). En analyse af resultater fra de kommuner, hvor data var tilgængelige for alle de enkelte bygninger på alle lokaliteter (eksempelvis alle bygninger på den enkelte skole), viste, at hyppigheden på lokalitetsniveau var ca. 20% højere end angivet på bygningsniveau. Hyppigheden af bygninger med PCB i maling og gulvmasser er estimeret på basis af resultaterne af ENS kortlægningen, idet de fleste kortlægninger gennemført af kommuner ikke har omfattet disse materialer. Samlet indeholdt 19% (11-30%) af bygningerne maling eller gulvbelægninger med ≥ 50 mg/kg.

Høje forekomster af PCB i fugemasser er hyppigere i skoler end i andre offentlige bygninger. Blandt 87 skoler spredt over hele landet, som har indgået i kommunernes screeninger, er der fundet fugemasser med høj koncentration af PCB (≥ 5.000 mg/kg, men typisk ≥ 100.000 mg/kg) i 31% af skolerne.

Private kontorejendomme

Resultaterne af undersøgelser af 36 kontorejendomme viser, at forekomsten af PCB-holdige materialer i ejendommene stort set svarer til det, som er set for offentlige ejendomme. Der blev således fundet materialer med ≥ 50 mg/kg i 36% (23-51%) af ejendommene og materialer med ≥ 5000 mg/kg blev fundet i 17% (8%-30%).

Tidsmæssig fordeling

Såvel ENS kortlægningen som kommunernes kortlægninger viser klart, at PCB-holdige fugemasser blev anvendt langt mere hyppigt i perioden 1965-1974 end i de øvrige delperioder. For malinger og gulvmasser er de periodemæssige forskelle mindre markante, hvilket meget vel kan skyldes, at disse materialer er blevet tilført bygningerne en del år efter deres opførelsesår.

Kortlægning af Forsvarets bygninger

Sideløbende med nærværende kortlægning er der gennemført en kortlægning af Forsvarets bygninger for Forsvarets Bygnings- og Etablissementstjeneste (FBE). I FBE kortlægningen er der undersøgt 115 depoter/værksteder, 81 kontor/opholdsbygninger og 104 bygninger til indkvartering. Der er i forsvarets bygninger fundet resultater, som svarer godt til resultaterne af ENS kortlægningen, og der er kun fundet mindre forskelle i anvendelser af PCB-holdige materialer mellem de to kortlægninger.

I det store og hele er forskellene mellem bygningskategorierne inden for henholdsvis ENS og FBE kortlægningen større end de overordnede forskelle mellem de to kortlægninger. Resultaterne af FBE kortlægningen har således kunnet supplere resultaterne af ENS kortlægningen i analyser af sammenhænge mellem PCB i materialer og indeluft.

Termoruder

Det er påvist, at der stadig findes PCB-holdige materialer i en væsentlig del af de termoruder, der bortskaffes i dag. På basis af oplysninger om produktionsår kunne 69% af ruderne frasorteres som værende produceret uden for PCB-perioden. I de øvrige blev der fundet ≥ 50 mg/kg i forseglingslim i 34% af ruderne og ≥ 50 mg/kg i fugebånd i 29% af ruderne. Der var sammenhæng mellem forekomst af PCB i forseglingslim og fugebånd, og samlet set havde 35% af ruderne ≥ 50 mg/kg i enten fugebånd eller forseglingslim.

Den gennemsnitlige mængde PCB i ruder med ≥ 50 mg/kg kan på basis af resultaterne beregnes til 36-45 g/m² rude i forseglingslim og 0,6-1,8 g/m² i fugebånd. I 13% af ruderne var der forseglingslim med >100.000 mg/kg PCB ($>10\%$) og i disse ruder var det gennemsnitlige PCB-indhold i forseglingslimen 63-79 g/m². Der er påvist en klar sammenhæng mellem PCB i forseglingslim og fugebånd, der tyder på, at forekomsten i fugebåndene hovedsageligt er en tertiær forurening fra PCB i forseglingslimen (via luftrummet mellem rude og vinduesramme). Der er dog fundet 10 tilfælde med PCB-koncentrationer i fugebånd i intervallet 50-10.000 mg/kg, hvor forekomsten i fugebåndet er højest, hvilket indikerer, at PCB i fugebåndene kan være en primær kilde.

Den sekundære og tertiære forekomst af PCB i træet i vinduesrammerne er ikke undersøgt, men det må forventes, at en del af PCB i primærkilderne er trængt ind i træet.

Kondensatorer i lysarmaturer

For at undersøge den aktuelle forekomst af PCB i kondensatorer i lysstofarmaturer er der undersøgt 516 lysstofarmaturer, heraf 480 armaturer indsamlet via to elektroniskrotvirkksomheder, der primært modtager disse fra genbrugsstationer. 62% af armaturerne kunne frasorteres, enten fordi der ikke var en kondensator (nyere typer af armaturer indeholder ikke separat kondensator), eller fordi det var påtrykt kondensatoren, at den var produceret efter 1986.

Af de udvalgte 38% af armaturerne, hvor der blev udtaget prøver, indeholdt 23% egentlige PCB-kondensatorer med et PCB-indhold på >100.000 mg/kg. Det svarer til, at ca. 9% af alle de undersøgte lysstofarmaturer indeholdt en PCB-kondensator. Der var også en vis forekomst af PCB i lavere koncentrationer, og omkring 42% af de analyserede kondensatorer indeholdt ≥ 50 mg/kg PCB svarende til, at omkring 16% af alle de undersøgte lysstofarmaturer havde kondensatorer med ≥ 50 mg/kg

PCB. Omkring 37% af de undersøgte kondensatorer indeholdt PCB i intervallet 0,1-50 mg/kg. Det skal bemærkes, at det indtil ikrafttræden af POP-forordningen i 2004 har været tilladt at sælge kondensatorer (og andre produkter) med et PCB-indhold på op til 50 mg/kg, og skæringsdatoen 1986 gælder ikke for disse kondensatorer. I gennemsnit indeholder kondensatorerne omkring 30 g ren PCB. Af de undersøgte egentlige PCB-kondensatorer indeholdt 91% fri fase PCB. Ved små utætheder på kondensatoren kan denne PCB frigives til omgivelserne, og ved større læk på kondensatoren kan det ligefrem dryppe fra kondensatoren. Lækager fra kondensatorer er vist at kunne give PCB-koncentrationer i indeluften over Sundhedsstyrelsens vejledende aktionsværdier.

Der har været anvendt PCB med forskellige chloreringsgrader i kondensatorerne, men ca. halvdelen af kondensatorerne er meget lavt-chlorerede og har en andel af PCB-28, som er langt højere end de øvrige primærkilder såsom fugemasse og maling. Der er i flere af de undersøgte bygninger fundet en klar indikation på, at kondensatorer er årsag til høje PCB-niveauer i indeluften. I disse bygninger er der set et karakteristisk mønster med meget høj andel af PCB-28 i både materialer og indeluft, mens koncentrationen i indeluft var høj, samtidig med at koncentrationen i materialer var lav; helt ned til 50 mg/kg. Dette indikerer, at de undersøgte materialer er tertiært forurenet af kondensatorer fra lysstofarmaturer.

I et eksempel fra en kommune, hvor det er påvist, at det er kondensatorer, der er kilden til PCB-koncentrationer i indeluften i en skoleklasse varierende fra 1.000 til 3.400 ng/m³, er der målt et helt tilsvarende kongenerprofil i kondensatorolie, indeluft og tertiært forurenet materialer.

Sekundær og tertiær forekomst af PCB

PCB vil fra en primærkilde trænge ind i tilstødende materialer og danne grundlag for en sekundær PCB-forekomst i disse materialer.

Resultaterne af denne undersøgelse viser, at indtrængning i fyrretræ, letbeton og tegl bedst beskrives med et potensforløb, som betyder, at PCB trænger relativt langt ind i materialerne, og at man skal langt fra kilden, før koncentrationen er nede på 0,1 mg/kg. Der ses i de forskellige måleserier meget store forskelle i koncentrationerne i materialerne i de første 0,5 cm fra kilden, som primært er fugemasse. Dette fortolkes med, at dele af fugemassen nogle steder trænger inde i huller og sprækker i det tilstødende materiale. Koncentrationen i en afstand af 0-0,5 cm fra en primærkilde med omkring 100.000 mg/kg varierer eksempelvis i fyrretræ fra 200 til 20.000 mg/kg. I denne afstand er indtrængningen således ikke bestemt af migrationen af PCB i træet, men af indtrængning af den PCB-holdige fugemasse. Længere inde i materialet er yderligere indtrængning bestemt af migrationen af PCB i træet, og der ses relativt ens migrationskoefficienter i de forskellige måleserier. De store forskelle i de første 0-0,5 cm forplanter sig således som store forskelle gennem hele måleserien.

Resultaterne viser, at PCB trænger dybere ind i fyrretræet end i de øvrige materialer, og i en afstand af 4-5 cm fra kilden var der stadig ≥ 50 mg/kg i 2 ud af 7 måleserier, mens den i de øvrige varierede mellem 2 og 38 mg/kg. På basis af beregnede migrationskoefficienter kan det beregnes, at der i en afstand af 20 cm fra kilden stadig ville være mellem 0,3 og 30 mg/kg.

I letbeton er der ligeledes en dyb indtrængning. I en afstand af 1 cm fra kilden er koncentrationen i alle måleserier på nær én <50 mg/kg, men for den måleserie med den højeste indtrængning i de første 0,5-1 cm skal man beregnet ud fra migrationskoefficienten ud i en afstand af 12 cm før koncentrationen er under 50 mg/kg. Dette beror ikke på, at migrationskoefficienten er anderledes i denne måleserie, men alene på den højere indtrængning i en afstand af 0-0,5 cm fra primærkilden.

1.1.2 Forekomst af PCB i materialer i bygninger i Danmark

Antallet af bygninger med PCB i fugemasser, maling eller gulvbelægnings

På basis af resultaterne af ENS kortlægningen, og en række kortlægninger i kommuner landet over, er det samlede antal bygninger i Danmark, som indeholder maling, fugemasser og gulvbelægnings med en PCB-koncentration på henholdsvis $\geq 0,1$ mg/kg, ≥ 50 mg/kg og ≥ 5.000 mg/kg estimeret som vist i følgende tabel.

Tabel 1 Andel og antal af bygninger i Danmark fra PCB-perioden, som indeholder PCB i fugemasser, maling eller gulvbelægning.

Bygningstype	Andel og antal bygninger i Danmark fra PCB-perioden med materialer over den angivne koncentration (90% konfidensinterval)		
	$\geq 0,1$ mg/kg	≥ 50 mg/kg	≥ 5.000 mg/kg
Én- og tofamiliehuse	390.000-470.000 67-79%	80.000-140.000 13-24%	20.000-60.000 4-11%
Etageejendomme *1	12.600-14.100 84-95%	3.600-5.900 24-40%	1.000-2.700 7-18%
Private kontorejendomme	13.900-19.900 60-86%	5.300-11.800 23-51%	1.700-7.000 8-30%
Offentlige institutioner og kontorejendomme*2	I fugemasser 4.700-5.700 22-27% I maling og gulvbelægnings 13.000-18.000 62-83%	I fugemasser 2.100-2.900 10-13% I maling og gulvbelægnings 2.400-6.500 11-30%	I fugemasser 1.200-1.800 6-9% I maling og gulvbelægnings 300-2.800 1-13%

*1 Bemærk, at det er antallet af etageejendomme, der er angivet og ikke antallet af etageboliger, som er mindst 10 gange større.

*2 Der er for de mange bygninger et sammenfald, således at bygningerne indeholder både fugemasser og malinger med ≥ 50 mg/kg PCB, så samlede antal af bygninger, der indeholder et af materialerne, er væsentligt under summen af de to intervaller.

Tilbageværende mængder af PCB i materialer

Den samlede mængde af PCB i byggematerialer og i kondensatorer til lysarmaturer er vist i følgende tabel. Den samlede mængde PCB anslås til 17-87 tons. Den største mængde anslås at udgøres af fugemasser, med termoruder som den næststørste enkeltkilde.

Mængderne i maling er meget usikkert bestemt, men det samlede mængde er sandsynligvis noget lavere end mængden i fugemasser, selvom maling med PCB kan findes i en større del af alle bygninger. Mængden af PCB i gulvbelægnings er også meget usikkert bestemt, men vurderes under alle omstændigheder at være en af de mindre kilder.

Estimaterne for tilbageværende mængde af PCB i fugemasser, termoruder, kondensatorer i lysarmaturer er i god overensstemmelse med tilsvarende estimater foretaget i Norge. Det estimeres, at der stadig er 5-15 tons PCB i termoruder, og at en væsentlig del af den mængde, der aktuelt bortskaffes formentlig ikke bortskaffes i overensstemmelse med reglerne for farligt affald. Det samme synes at være tilfældet for lysarmaturer med kondensatorer, hvor den tilbageværende mængde anslås til 2-7 tons PCB.

Tabel 2 Tilbageværende mængde af PCB i bygninger i Danmark

Materiale/udstyr	Tilbageværende mængde PCB Tons	% af samlet
Fugemasser omkring døre og vinduer	7-35	40%
Fugemasser mellem andre bygningselementer	2-15	16%
Maling	0,3-5	5%
Gulvbelægninger	0,1-2	2%
Termoruder	5-15	19%
Kondensatorer i lysarmaturer	2-7	9%
Sekundær og tertiær forekomsts	0,7-7,5	8%
I alt	17-87	

1.2 PCB i indeluft

1.2.1 Kortlægning af PCB i indeluft

Udvælgelse af bygninger

På baggrund af en byggeteknisk gennemgang og koncentrationen af PCB i bygningsmaterialerne blev der udvalgt i alt 67 bygninger inden for de tre bygningskategorier, hvor der blev foretaget målinger af PCB i indeluft.

Bygningerne blev udvalgt ud fra kriterierne, at der enten skulle være materialer indendørs med mere end 50 mg/kg PCB eller materialer udendørs med mere end 5.000 mg/kg PCB. Med disse udvælgelseskriterier forventedes det, at alle bygninger, hvor der kunne forekomme PCB-koncentrationer i indeluften på mere end 300 ng/m³ som følge af PCB som primærkilde i fugemasse, maling eller gulvmasse, ville være dækket af måleprogrammet.

Der var dog en del ejere af de udvalgte bygninger, der ikke ønskede at deltage i undersøgelsen, og det har svækket undersøgelsens resultater og gjort ekstrapolation af resultaterne til hele bygningsmassen vanskeligere.

Der er foretaget målinger i 2 rum i hver bygning, og rapporteringen af resultaterne er baseret på den højeste målte værdi i hver bygning. Det er ikke undersøgt, hvor mange af lokalerne i de pågældende bygninger, der har PCB i indeluften over den angivne værdi, men der er mindst ét lokale.

Én- og tofamiliehuse

Ud af de udvalgte 20 én- og tofamiliehuse blev der målt PCB i indeluft i 15, mens 5 bygningsejere ikke ønskede at deltage. Der blev fundet ≥ 300 ng/m³ i ét af de un-

dersøgte én- og tofamiliehuse. I ingen af de undersøgte huse blev der fundet ≥ 2.000 ng/m³. I 71% af bygningerne, hvor der er foretaget indeluftmålinger, blev der fundet mindre end 30 ng/m³.

Etageejendomme

Ud af de udvalgte 31 etageejendomme blev der målt PCB i indeluft i 20, mens et boligselskab med 11 udvalgte ejendomme ikke ønskede at deltage. Der blev fundet ≥ 300 ng/m³ i én af de undersøgte etageejendomme. I ingen af de undersøgte etageejendomme blev der fundet ≥ 2.000 ng/m³. I 75% af ejendommene, hvor der er foretaget indeluftmålinger, blev der fundet mindre end 30 ng/m³. I lighed med resultaterne af undersøgelsen af PCB i materialer kan det konstateres, at etageejendomme med omfattende PCB forureninger, som de eksempler der har været fremme de seneste år, ikke er et udbredt fænomen.

Kontorejendomme og offentlige institutioner

Der var en markant højere hyppighed af såvel private kontorejendomme som offentlige institutioner med ≥ 300 ng/m³. I 12 af de 33 undersøgte bygninger (36%) blev der fundet mindst et lokale med ≥ 300 ng/m³ og der blev fundet ≥ 3.000 ng/m³ i én bygning. Hyppigheden af bygninger med ≥ 300 ng/m³ var henholdsvis 42% og 33% af de undersøgte kontorejendomme og offentlige institutioner. Resultaterne er fint i overensstemmelse med resultaterne af kortlægningen af materialer, hvor det blev konstateret, at omfattende forekomst af indendørs materialer med høj koncentration af PCB var mest udbredt i kontorejendomme og offentlige institutioner.

Når der tages højde for, den forudgående udvælgelse af bygninger med højt indhold af PCB i materialer, er resultaterne for de offentlige kontorer og institutioner i god overensstemmelse med resultaterne af kortlægninger foretaget af kommunerne.

Resultaterne af 1.377 indeluftmålinger på 507 lokaliteter (skoler, børnehaver, rådhus, mm.) i 16 kommuner er sammenfattet i denne kortlægning. Langt den største del af datasættet er repræsenteret af kortlægninger, hvor der er taget målinger af alle lokaliteter (evt. kun inden for en underkategori af bygninger) eller en stikprøve, uden at der har været en forudgående udvælgelse på baggrund af målinger af PCB i materialer. Da målinger i 507 lokaliteter giver et meget godt statistisk grundlag, er resultaterne af disse kortlægninger anvendt til at estimere PCB i indeluft i alle danske offentlige kontorer og institutioner.

Sammenfatningen viser, at der er fundet ≥ 300 ng/m³ på 7% af de undersøgte lokaliteter. Der blev fundet ≥ 3.000 ng/m³ på 2 lokaliteter svarende til 0,4% af de undersøgte lokaliteter.

Ventilation i undersøgte bygninger

For alle bygningskategorier ses, at mange rum under målingen har haft et markant lille luftskifte, idet medianværdien for én- og tofamiliehuse, etagebyggeri og kontorer og offentlige institutioner er henholdsvis 0,10 h⁻¹, 0,23 h⁻¹ og 0,32 h⁻¹. I ca. 40 % af samtlige målerum i boligerne er der målt ved et luftskifte på under 0,10 h⁻¹, og ca. 60 % af målerummene har et luftskifte på under 0,20 h⁻¹. I forhold til Bygningsreglementets krav om et mindste udeluftskifte på 0,5 h⁻¹ er målingerne af PCB således udført under forholdsvist lave luftskifter.

Undersøgelserne er udført uden for anvendelsestiden af rummet, dvs. åbninger af vinduer og døre, anvendelse af forceret udsugning i emhætte og baderum mv. har ikke fundet sted. Hvis luftskifterne for én- og tofamiliehusene vurderes i forhold til

målte udeluftskifter og en normal anvendelse af soverum, som vist i tidligere undersøgelser, så kan de målte luftskifter estimeres til mellem 4 og 17 gange højere end det målte ved de udførte undersøgelser. Reelt vil tallene være endnu højere, da de målte luftskifter også inkluderer luft tilført fra øvrige rum.

I de bygninger, hvor der er foretaget flere målinger i de samme lokaler, ses generelt, at PCB-koncentrationerne er ca. 1,8 gang lavere ved målinger i anvendelsestiden sammenlignet med målinger uden anvendelse af bygningen. Der ses ligeledes højere koncentrationer af PCB i indeluften ved højere temperaturer. Resultaterne bekræfter, at der er en effekt af højere temperaturer og luftskifte på koncentrationen af PCB, hvad der også er set i andre undersøgelser.

Resultaterne bekræfter således, at der med fordel kan opretholdes en lav temperatur f.eks. 20°C og luftskiftet kan øges, hvis bygningen har forhøjede koncentrationer af PCB i indeluften. Det er vist, at der kan opnås en reduktion af de målte indeluftkoncentrationer på 2-5 gange ved at gennemføre temperaturreduktion og øget udeluftskifte.

1.2.2 Sammenhæng mellem PCB i indeluft og materialer

Sammenhænge mellem PCB i indeluft og materialer er undersøgt dels ved at se på sammenhænge mellem congenersammensætning i materialer og indeluft, dels ved at se på sammenhænge i koncentrationer.

Congenersammen-sætning

I 47 bygninger fra ENS kortlægningen er der analyseret sammenhænge mellem PCB congenerprofilen i indeluft og congenerprofilen i det materiale fra lokalet, som antages at være primærkilden til PCB i indeluft. Der er tale om et broget billede, men der ses generelt en sammenhæng mellem congenersammensætningen i materialerne og indeluften. Som grundregel giver materialer med et profil forskudt mod lavere-chlorerede congenere også en forskydning i indeluften mod lavere-chlorerede congenere, som det eksempelvis ses i målinger, hvor kilden formodes at være fugemasser, sammenlignet med profiler, hvor primærkilden er maling eller gulvbelægning.

Der er som før omtalt nogle af bygningerne, der skiller sig ud med meget høj andel af PCB-28 i såvel materialer (hvor koncentrationerne af total-PCB er lave) som i indeluft. Dette peger mod kondensatorer som mulig primær kilde, eller at primærkilden er fjernet, og PCB i indeluften i det tilfælde skyldes, at alle materialer i lokalet er tertiært forurenede. Analyser af sammenhænge mellem primærkilder og sekundært og tertiært forurenede materialer viser, at der sker en vis forskydning mod mere lavt-chlorerede congenere i de tertiært forurenede materialer, men det giver ikke anledning til så høje PCB-28 andele, som ses i 4 bygninger, hvor ovennævnte fænomen er observeret. Resultaterne tyder på, at kondensatorer er ansvarlige for mindst 4 af de tilfælde (ca. 12% af alle), hvor der er fundet mere end 300 ng/m³ i indeluften. Den type kondensator, som skiller sig markant ud og kan identificeres som primærkilde, udgør kun ca. halvdelen af kondensatorerne. Det samlede antal tilfælde, hvor det er kondensatorer, som er ansvarlige for de høje niveauer i indeluften, kan derfor meget vel være højere. Det skal i den sammenhæng bemærkes, at kondensatorer måtte indeholde PCB frem til 1986, og bygninger helt frem til dette årstal vil derfor kunne have denne kilde til PCB i indeluften.

Koncentrationer

Der er lavet en indgående analyse af sammenhængen mellem PCB-koncentrationen i materialer og indeluft. Der er dels lavet en sammenfatning baseret på kommunernes kortlægninger og andre undersøgelser, dels lavet en samlet sammenfatning for ENS og FBE kortlægningerne. I sidstnævnte sammenfatning er der større sikkerhed for, at materialerne har befundet sig i det lokale, hvor der er målt PCB i indeluft.

Begge sammenfatninger viser, at der er en vis sammenhæng mellem høje koncentrationer i materialer og høje koncentrationer i indeluft, men der er meget stor variation, og sammenhængen er ikke særlig entydig. Især ikke for maling og gulvbelægninger. For at undersøge betydningen af luftskifte, temperatur, overfladeareal, mm. er der foretaget forskellige normaliseringer og beregnet kildestyrker og kildepotentialer. Det er dog ikke ad denne vej opnået at kunne beskrive sammenhængende mere entydigt. Analysen viser, at der kan opnås en betydelig bedre korrelation, hvis der kun ses på PCB-28 fremfor at se på PCB_{total} . Men da resultaterne efterfølgende ikke kan omregnes entydigt til PCB_{total} , kan en sådan korrelation ikke anvendes til at forudsige PCB-indholdet i indeluft på basis af PCB-28 indholdet i materialer. Der er i flere tilfælde fundet mere end 300 ng/m^3 i lokaler, hvor den højest målte værdi i materialer ikke er over 50 mg/kg , men der er også mange eksempler på, at tilstedeværelsen af store malede overflader med PCB-koncentrationer på flere tusinde mg/kg ikke giver anledning til så høje indeluftkoncentrationer. Det er meget der tyder på, at især maling og gulvbelægninger i mange tilfælde ikke er den egentlige primærkilde. I en væsentlig del af målingerne over 300 ng/m^3 er det vist, at kondensatorer formentlig er primærkilden, og kondensatorerne vil formentlig også kunne bidrage til PCB i materialer og indeluft i mange af målingerne ved lavere værdier og kunne sløre sammenhængende mellem materialer og indeluft.

For at kunne bruge sammenhængene mellem materialer og indeluft, til at ekstrapolere til de bygninger, hvor der kun er målt på materialer, er der beregnet såkaldte konfidensellipser, som beskriver sammenhængene mellem materialer og indeluft. I modellen er alle værdier for alle materialer slået sammen, da der ikke er tilstrækkeligt mange værdier for de enkelte materialer. Det er især en svaghed, at der ikke ses nogen større sammenhæng mellem koncentrationen i materialer og indeluft for gulvmaterialer, formentlig fordi gulvmaterialerne i de fleste tilfælde faktisk ikke er primærkilden. På den basis er det beregnet, hvor stor sandsynligheden er for, at et lokale med et materiale med en given koncentration i materialer har indeluft med eksempelvis mere end 300 ng/m^3 . Disse sandsynligheder er angivet med et konfidensinterval. Ved at beregne en sandsynlighed for alle undersøgte bygninger, er det beregnet, hvor mange bygninger der forudses at indeholde PCB med $\geq 300 \text{ ng/m}^3$, $\geq 300\text{-}2.000 \text{ ng/m}^3$, $\geq 2.000\text{-}3.000 \text{ ng/m}^3$ og $\geq 3.000 \text{ ng/m}^3$. Disse er beregnet med et såkaldt prediktionsinterval. Med denne metode er det beregnet, at der af det samlede antal bygninger på 352 bygninger samlet set skulle forventes at være 15 bygninger med $\geq 300 \text{ ng/m}^3$, hvilket er godt i overensstemmelse med, at der i de undersøgte bygninger er fundet 15 bygninger $\geq 300 \text{ ng/m}^3$. Dette bekræfter forventningen om, at bygninger med mindre end 50 mg/kg vil bidrage meget beskedent til det samlede antal. For de enkelte bygningstyper er der dog væsentlig forskelle mellem det forventede antal og det faktisk målte antal, hvilket især skyldes, at der med det beskedne antal målinger i indeluft for hver bygningstype vil være en stor variation i det faktisk målte antal. For kontorbygninger er det estimerede forventede antal lille i forhold til antallet af faktiske målinger, hvilket kan hænge sammen med,

at der i flere af bygningerne blev fundet $\geq 300 \text{ ng/m}^3$, samtidig med at koncentrationerne i materialer var lave.

Selvom sammenhængen mellem PCB-koncentrationen i materialer og indeluft i den enkelte bygning ikke er særlig entydig, kan sammenhængen anvendes til at estimere, hvor mange bygninger inden for den enkelte bygningstype, der vil kunne indeholde PCB over en given koncentration, når der er kendskab til PCB-indholdet i materialer i et stort antal bygninger.

En nærmere analyse af de bygninger, hvor der er fundet forhøjede koncentrationer viser at det især drejer sig om:

- › Bygninger med høje PCB-koncentrationer ($>100.000 \text{ mg/kg}$) i indendørs fuger
- › Bygninger med PCB-koncentrationer ($>5.000 \text{ mg/kg}$) i indendørs fuger
- › Bygninger med PCB-holdige kondensatorer
- › En række bygninger, med relativt lave koncentrationer i maling og gulvmaterialer, hvor det ikke præcist kan angives, hvorfor der findes høje PCB-koncentrationer i indeluften i netop disse bygninger.

I den sidstnævnte gruppe er der eksempelvis et én- og tofamiliehus, hvor der er fundet høje PCB-koncentrationer i et værelse, men hvor den eneste kendte kilde er PCB-holdig maling i kælderen. Hvor der dog er formodning om, at der er et indhold i termoruden af PCB. I mange andre tilfælde ville dette ikke resultere i så høje koncentrationer i et værelse.

Det er en del af de lokaler, hvor der er fundet høje PCB-koncentrationer, der ikke er opholdsrum – eksempelvis oplagsrum i kældre og mellemgange - men som det er illustreret i ovennævnte eksempel, vil PCB fra disse lokaler kunne bevæge sig til andre lokaler i bygningerne. Specielt kældre, hvor der er ophold i forbindelse med undervisning, er væsentlige at have fokus på, idet væg- og gulvmaling ofte vil kunne indeholde PCB.

Resultaterne indikerer, at kortlægninger, der har til formål at undersøge forekomsten af PCB i indeluft i de enkelte bygninger, mest effektivt udføres ved at gå direkte til at undersøge PCB i indeluften og efterfølgende undersøge forekomsten af PCB i materialer, hvis koncentrationen i indeluften er for høj. Dette vil også kunne være med til at afsløre, om der tidligere har været primærkilder, som nu er fjernet, eller om kondensatorer giver anledning til for høje PCB-niveauer i indeluften.

1.2.3 PCB i indeluft i bygninger i Danmark

De foreliggende data er sammenfattet i følgende tabel, der angiver antallet af bygninger inden for de enkelte bygningstyper, som estimeres at have ét eller flere lokaler forurenet med PCB på forskellige koncentrationsniveauer.

Den anvendte model til beregning af antal bygninger vurderes at være ret robust, hvad angår forudsagte middelværdier. Prediktionsintervallerne er overraskende snævre, og det kan ikke afvises, at der skal tillægges en vis usikkerhed for modelforudsætningerne, hvor der dels er set på sammenhæng mellem PCB i materialerne og indeluft samlet for alle materialer, dels er regnet med, at de 354 bygninger, hvor der er målt PCB i materialer, er repræsentative for alle landets bygninger inden for bygningstyperne. Det er dog ikke muligt på en eksakt måde at tage højde for denne ekstra usikkerhed, som dog meget vel kan betyde, at usikkerhedsintervallerne vil være dobbelt så store som de angivne intervaller.

Tabellen viser desuden andelen af samtlige bygninger (ikke kun fra PCB-perioden) for hver bygningstype, der har PCB i indeluften på forskellige koncentrationsniveauer. Ved beregningen er der ikke taget højde for, at også nogle af bygningerne bygget før PCB-perioden kan have forekomst af PCB i materialer, som er tilført i PCB-perioden og kan give anledning til PCB i indeluften. Der vil derfor være en tendens til, at andelen er underestimeret, men der foreligger ingen data, der kan indikere omfanget af underestimeringen.

Tabel 3 Beregnet antal bygninger med PCB i indeluft (90% prediktionsintervaller, afrundede værdier).

	Antal bygninger fra PCB-perioden (90% prediktionsinterval)			Andel af alle bygninger (90% prediktionsinterval) *3		
	≥300 ng/m ³	300-3.000 ng/m ³	≥3.000 ng/m ³	≥300 ng/m ³	300-3.000 ng/m ³	≥3.000 ng/m ³
Én- og tofamiliehuse	19.300-22.800	18.900-22.000	390-810	1,3-1,6%	1,3-1,5%	0,03-0,1%
Etageejendomme *1	610-800	590-750	7-31	0,7-0,9%	0,7-0,9%	0,01-0,03%
Offentlige institutioner og kontorejendomme samt private kontorejendomme *2	1.600-2.600	1.600-2.400	30-230	0,9-1,5%	0,9-1,4%	0,02-0,14%

- *1 Bemærk, at det er antallet af etageejendomme, der er angivet og ikke antallet af etageboliger, som er mindst 10 gange større.
- *2 Intervallerne er beregnet ved simpel addition af intervallerne for henh. offentlige institutioner og kontorejendomme og private kontorejendomme.
- *3 Angivet i procent af alle bygninger i Danmark, ikke kun bygninger fra PCB-perioden. Bemærk, at der er forskel mellem bygningstyperne hvad angår andel af den samlede bygningsmasse, som er opført i PCB-perioden.

1.3 Samlet konklusion

Det kan sammenfattende konkluderes, at PCB er vidt udbredt i bygninger opført i PCB-perioden fra 1950-1977. Der er fundet maling, fugemasse eller gulvbelægning med PCB-koncentrationer på $\geq 0,1$ mg/kg, der gør materialerne destruktionspligtige i forbindelse med affaldshåndtering i henhold til de vejledende grænseværdier, i mere end 75% af de undersøgte bygninger. Dette resultat er konsistent med resultatet af kortlægningen i Forsvarets bygninger og data indsamlet fra renoveringer og nedbrydninger af rapporteret af Miljøstyrelsen i 2012. Hertil kommer, at en væsentlig del af bygninger fra perioden stadig har PCB i termoruder eller har lysarmaturer

med PCB-holdige kondensatorer. Da kondensatorer med PCB blev produceret helt frem til 1986, er PCB-perioden for denne PCB-kilde længere end for de øvrige kilder.

I de fleste af bygningerne var PCB-koncentrationerne i materialerne så lave, at det ikke giver anledning til PCB-koncentrationer i indeluft over Sundhedsstyrelsens vejledende aktionsværdier. For alle bygningstyper estimeres det, at i størrelsen 0,7 til 1,5 % af alle bygninger i Danmark vil kunne indeholde PCB-koncentrationer i indeluft over Sundhedsstyrelsens laveste aktionsværdi.

2 Indledning

2.1 Formål

Som led i regeringens ”Handlingsplan for håndtering af PCB i bygninger” fra maj 2011 har Energistyrelsen i samarbejde med Miljøstyrelsen igangsat en landsdækkende systematisk kortlægning af forekomsten af PCB i den danske bygningsmasse. Kortlægningen er ét af 19 initiativer i handlingsplanen, der skal danne grundlag for en effektiv og sikker håndtering af tilbageværende PCB i bygningerne og mindske befolkningens udsættelse for PCB.

De overordnede formål med ENS kortlægningen er:

- › At PCB-holdige materialer identificeres i forbindelse med renovering eller nedrivning af bygninger, således at der tages hensyn til arbejdsmiljøet, og således at det PCB-holdige affald frasorteres på nedrivningsstedet.
- › At kunne identificere sammenhængen mellem PCB-niveauet i byggematerialer og i indeluften, således at en målrettet indsats i forhold til nedbringelse af PCB i indeluften, kan tilrettelægges.
- › At give øget viden om, hvilke typer af PCB der typisk forekommer i byggematerialerne, og hvilke typer PCB, som afdamper til indeluften.
- › At vurdere den resterende mængde af PCB i den danske bygningsmasse med baggrund i en vurdering af migration af PCB til tilstødende materialer.

2.2 Baggrund

Et andet initiativ under regeringens ”Handlingsplan for håndtering af PCB i bygninger” er etablering af PCB-guiden (www.pcb-guiden.dk), som formidler information om PCB. Følgende er ekstraheret fra PCB-guiden og for yderligere information om PCB henvises til guiden.

PCB er et miljøfarligt stof, der kan skade mennesker og miljø. PCB blev tidligere brugt i byggematerialer og i industrien, indtil man i 1970’erne fandt ud af, at PCB kan skade både mennesker og miljø. I dag er al anvendelse af PCB forbudt, men stoffet findes stadig i vores omgivelser.

- › PCB er en forkortelse for poly-chlorerede biphenyler, og det er en uønsket miljøgift.
- › PCB kan overføres til mennesker gennem kosten, ved indånding og ved hudkontakt med PCB-holdige materialer. Fødevarer er den største kilde til PCB i kroppen for befolkningen som helhed.
- › PCB har været brugt i byggeriet i Danmark. Stoffet kan være til stede i bygninger, der er opført eller renoveret i perioden 1950 – 1977. PCB blev brugt i

byggematerialer som f.eks. fugemasse og termoruder frem til 1977 og i kondensatorer og transformatorer frem til 1986.

- › Det har været forbudt at anvende PCB i byggematerialer siden 1977 og i elektrisk udstyr siden 1986.
- › PCB-holdige produkter og PCB-holdigt affald skal håndteres korrekt, så vi undgår at sprede PCB til mennesker og miljø.
- › PCB kan være sundhedsskadeligt, men formodes ikke at medføre akut sygdom ved kortvarig udsættelse for stoffet. Ved langvarig udsættelse for høje værdier er der set skader på hud og forplantningsevne. Herudover er langtidsophobningen af PCB sat i forbindelse med skader på lever, skjoldbruskkirtel, immunapparat og hormonsystem. Endvidere mistænkes PCB for at være kræftfremkaldende.
- › Særligt sårbare grupper er spædbørn samt gravide og ammende kvinder.
- › PCB identificeres indledningsvis ud fra bygningens alder. Herudover ved visuel gennemgang af mulige kilder og ved faktisk måling af relevante byggematerialer og i indeluft. Selvom der er PCB i bygningen, er det ikke givet, at indholdet er forbundet med en øget helbredsrisiko.
- › PCB er underlagt grænseværdier for, hvornår PCB-holdigt materiale er farligt affald, og aktionsværdier for, hvor stor koncentrationen må være i indeluften, før det er at betragte som en øget helbredsrisiko.

Affald

Bygge- og anlægsaffald med PCB er inddelt i farligt affald eller ikke-farligt affald efter koncentrationen af PCB i affaldsmængden. Det er på EU plan fastlagt, at affald med en koncentration på ≥ 50 mg/kg er farligt affald, og at affald med en koncentration over 1 mg/kg ikke må deponeres på anlæg for deponering af inert affald.

For affald med koncentrationer under 50 mg/kg har Miljøstyrelsen i en vejledende udtalelse givet vejledende grænseværdier og anbefalinger til håndtering af det PCB-holdige affald (Miljøstyrelsen, 2011). Miljøstyrelsen er for øjeblikket i færd med at udarbejde endelige grænseværdier for PCB i affald.

Grænseværdier		
> 50 mg PCB/kg Krav	Farligt affald	Destrueres på godkendt forbrændingsanlæg eller deponeres underjordisk (i udlandet)
Ca. 0,1 – 50 mg PCB/kg Vejledende	Ikke-farligt affald	Bør destrueres på godkendt forbrændingsanlæg, men kan deponeres, hvis det er svært at håndtere (f.eks. beton). Det er Miljøstyrelsens vurdering, at deponeringen af det PCB-holdige affald ikke bør ske på et deponeringsanlæg for farligt affald, men i stedet på følgende måde: Affald, hvor PCB-indholdet er mindre end 1 mg/kg, kan deponeres på deponeringsanlæg for inert affald Affald, hvor PCB-indholdet er mellem 1 og 50 mg/kg, kan deponeres på deponeringsanlæg for mineralsk affald eller blandet affald For så vidt angår deponering af PCB-holdigt affald på deponeringsanlæg for <i>mineralsk</i> eller <i>blandet affald</i>, er det Miljøstyrelsens anbefaling, at det PCB-holdige affald bør deponeres i særskilte celler, hvor det efterfølgende kan lokaliseres. For så vidt angår deponering af PCB-holdigt affald på deponeringsanlæg for <i>inert affald</i>, er indholdet af PCB så lavt, at Miljøstyrelsen ikke anbefaler deponering af PCB-holdigt affald i særskilte celler på disse deponeringsanlæg.
Ca. < 0,1 mg PCB/kg Vejledende	Betrages som ikke forurenet med PCB	Kan genanvendes efter nærmere regler og ved anmeldelse til kommunen

Koncentrationen af PCB i affald bestemmes efter de retningslinjer, der er beskrevet i Dansk Standard, DS/EN 15308.

Grænseværdierne er angivet som PCB_{total}, dvs. måling af de 7 udvalgte congenere (PCB₇), der skal indgå i analysen i henhold til standarden, ganget med en korrektionsfaktor på 5.

Indeluft

Nedenstående tabel viser Sundhedsstyrelsens vejledende aktionsværdier for indeluftens indhold af PCB, og hvordan det anbefales at reagere på resultatet af målinger for PCB i indeklimaet. Aktionsværdierne er baseret på, at brugere og beboere kan opholde sig i bygningen 24 timer i døgnet hele året rundt.

Danske og udenlandske undersøgelser af beboere i boliger med og uden PCB har vist, at PCB i indeklimaet bidrager væsentligt til PCB i beboernes blod. De sundhedsmæssige konsekvenser af dette kendes ikke.

Selvom der er fundet PCB i indeklimaet er det ikke givet, at der er en øget helbredsrisiko. Den enkelte kommune vurderer evt. i samråd med embedslægen de konkrete måleresultater med henblik på behov for foranstaltninger mod helbredsrisiko fra PCB.

Vejledende aktionsværdier for ophold i en bygning er vist i nedenstående tabel:

> 3.000 ng PCB/m ³ luft	Højeste niveau, der kræver handling uden unødigt forsinkelse. Ved overskridelse af 3.000 ng/m ³ i indeluften vurderer Sundhedsstyrelsen på det nuværende vidensgrundlag, at ophold over tid kan være forbundet med en betydende helbredsrisiko og det må betragtes som en nærliggende sundhedsfare. Det anbefales at der gribes ind uden unødigt forsinkelse.
300 – 3.000 ng PCB/m ³ luft	Mellemste niveau, hvor der lægges der en plan for på sigt at nedbringe koncentrationen til under 300 ng PCB/m ³ i indeluft. Indtil fraflytning og renovering, igangsættes midlertidige afværgeforanstaltninger, f.eks. ventilation og rengøring.
< 300 ng PCB/m ³ luft	Laveste niveau, der ikke vurderes at medføre forøget helbredsrisiko.

2.3 Gennemførelse af kortlægningen

2.3.1 Kortlægningens elementer og faser

Kortlægningen er gennemført i fire faser:

- Fase 1: Udarbejdelse af detailplan for en kortlægning af PCB i materialer i den danske bygningsmasse. Denne fase er rapporteret i en særskilt rapport i oktober 2012.
- Fase 2: Gennemførelse af en kortlægning af PCB i materialer i den danske bygningsmasse. Estimering af det samlede antal bygninger med PCB i Danmark.
- Fase 3: Viden om sekundære og tertiære materialer, samt undersøgelse af PCB i kondensatorer og termoruder.
- Fase 4: Undersøgelse af sammenhængen mellem PCB i materialer og indeluft. Estimering af det samlede antal bygninger med PCB i indeluften. Estimering

af den samlede mængde PCB i den danske bygningsmasse. Samlet rapportering af kortlægningen.

Kortlægningen dækker offentlige institutioner og kontorer, privatejede kontorer, etageejendomme samt én- og tofamiliehuse.

2.3.2 Statistisk model og metode

Ingen af de eksisterende redegørelser for PCB i byggematerialer indeholder oplysninger der indikerer, at der har været væsentlige geografiske forskelle i indholdet og brugen af PCB i byggematerialer i PCB-perioden.

Det blev på basis af PCB kortlægninger i 13 kommuner fordelt over hele landet vist, at der ikke var systematiske forskelle mellem de enkelte landsdele og mellem henholdsvis by- og landkommuner, baseret på inddeling af kommuner efter landdistriktindex, hvad angår forekomsten af PCB med ≥ 50 mg/kg i kommunale bygninger. Til formålet var kommunerne opdelt i landkommuner (omfattende ”yderkommuner” og ”landkommuner”) og bykommuner (omfattende ”mellemkommuner” og ”bykommuner”) jf. Fødevareministeriets inddeling af de danske kommuner i fire klasser (Velfærdsministeriet, 2009).

At der ikke er overordnede geografiske forskelle i forekomsten af PCB i bygninger er bekræftet i ENS kortlægningen.

Da der ikke er systematiske forskelle mellem landsdele eller mellem bykommuner og landkommuner, vil der ikke være grundlag for at lave en vægtning af målinger udført i de forskellige kommuner. Til gengæld er det tilstræbt at få så stor en variation imellem de enkelte bygningstyper som muligt inden for de enkelte kommuner.

Som udgangspunkt har det været antaget, at der kunne være en forskel i andelen af bygninger med PCB afhængig af, hvornår inden for PCB-perioden bygningerne er opført. Det er derfor tilstræbt, at det samlede antal bygninger, som der er taget målinger af, har en aldersfordeling, som er i overensstemmelse med fordelingen af bygninger i hele landet, jf. udtræk fra den Offentlige Informationsserver (OIS). OIS er en statslig database, der samler en række oplysninger vedrørende ejendomme i Danmark. Det er på basis af resultaterne af ENS kortlægningen og undersøgelser udført af kommunerne vist, at der er en markant højere hyppighed i brugen af PCB-holdige fugemasser i perioden 1965-1974 sammenlignet med de øvrige delperioder. Forskellen er så markant, at det er muligt at lave vægtninger af data, i det omfang der er fornødent.

Der har som udgangspunkt ikke været noget i det tilgængelige datamateriale, som viste, om der er forskelle mellem de fire bygningstyper, og det er derfor tilstræbt at tage et passende antal fra hver type. Resultaterne har vist, at der er statistisk signifikante forskelle i forekomsten af PCB-holdige materialer mellem én- og tofamiliehuse og de øvrige bygningstyper, som viser, at det er nødvendigt at behandle data for én- og tofamiliehuse separat.

Det er i kortlægningen tilstræbt, at antallet af udtagne prøver i store træk er proportionalt med antallet af bygninger fra perioden i kommunen.

Til beregning af hyppigheden af bygninger med PCB er hyppigheden opgjort som en dikotom variabel, på baggrund af relevante skæringsværdier:

- > 0,1 mg/kg, som er den vejledende grænseværdi for, hvornår materialerne skal destrueres på forbrændingsanlæg, der har godkendelse til destruktion af PCB-holdigt affald.
- > ≥ 50 mg/kg, som betyder, at materialerne ved bortskaffelse skal håndteres som farligt affald, og PCB-indholdet skal destrueres.
- > ≥ 5.000 mg/kg, som i ENS kortlægningen anvendes som indikation på forekomsten af materialer, som kan give anledning til særlig høj eksponering af mennesker og miljøet. De 5.000 mg/kg er desuden anvendt som skæringsværdi i relation til udvælgelse af bygninger til undersøgelse af PCB i indeluft (i bygninger, hvor der kun findes udvendige primærkilder).

For at undersøge, i hvilken grad den observerede hyppighed af stikprøven kan anvendes til at estimere den faktiske hyppighed af PCB i det samlede antal bygninger i Danmark for den enkelte bygningstype (i statistisk sprogbrug "populationen"), beregnes et konfidensinterval. Intervallet udtrykker, at den sande hyppighed i populationen med en vis konfidensgrad (90% i dette tilfælde) faktisk er beliggende i intervallet. Konfidensintervallerne er beregnet ud fra binominalfordelinger, som bruges til at beskrive hyppigheder. Ved lave stikprøvestørrelser vil konfidensintervallet ikke være symmetrisk omkring den fundne hyppighed, men fordelingen vil ved større stikprøvestørrelser tilnærme sig en normalfordeling med et symmetrisk konfidensinterval omkring den fundne hyppighed.

Bredden af konfidensintervallet vil, for en givet hyppighed, være stort set proportional med kvadratroden af antallet af undersøgte bygninger (angivet som n i en statistisk analyse). Jo større hyppigheden er, jo mindre bliver den relative usikkerhed og jo mere symmetrisk bliver konfidensintervallet omkring den observerede hyppighed.

For at undersøge om de observerede forskelle mellem de fire bygningstyper er statistisk signifikante, er der foretaget et sædvanligt chi-squared test. Med metoden testes om de populationer, som stikprøverne er udtaget fra, på trods af de fundne hyppigheder kan være ens. Testresultatet angives ved en p -værdi, der angiver sandsynligheden for, at de datasæt, der sammenlignes, på trods af de tilsyneladende forskelle, der er fundet, kan være udtrukket fra populationer, som underliggende har ens hyppigheder. En lille p -værdi, f.eks. $p < 0,05$, angiver således, at en forskel er signifikant på et 5% signifikansniveau.

Statistisk analyse er foretaget af DTU Dataanalyse ved Henrik Spliid med programsystemet "R" og i dette programsystem med programmet "glm".

2.3.3 Udvalgelse af bygninger til undersøgelse af PCB i materialer

Dette afsnit beskriver udvalgelse af bygninger til undersøgelse af PCB i materialer. Udvalgelse af bygninger til undersøgelse af PCB i indeluft er nærmere beskrevet i kapitel 3.4.5.

Én- og tofamiliehuse

Kortlægningen har omfattet 154 én- og tofamiliehuse fordelt over hele landet. Kategorien omfatter de bygningstyper, der i OIS databasen er angivet som:

110 Stuehus til landbrugsejendom

120 Fritliggende enfamilieshus (parcelhus)

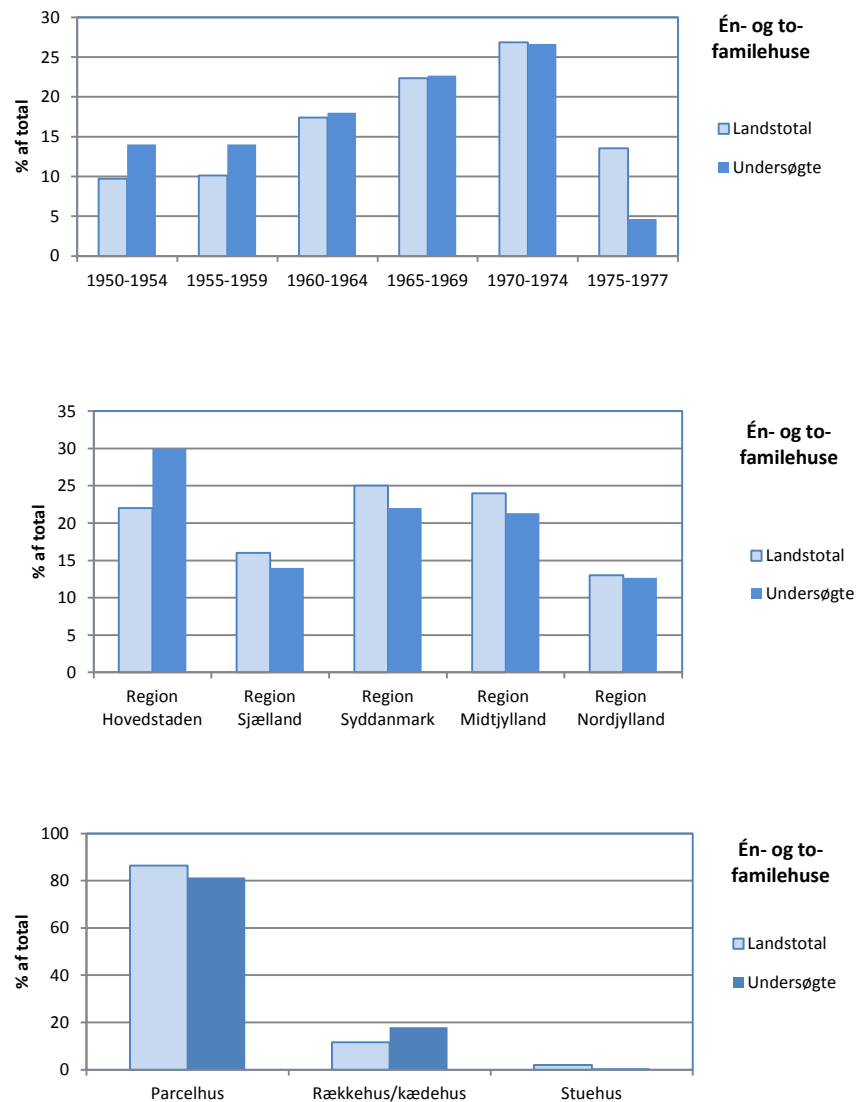
130 Række-, kæde-, eller dobbelthus (lodret adskillelse mellem enhederne)

De bygninger, som indgår i undersøgelser for bygningstypen én- eller tofamiliehuse opført i PCB-perioden, er bygninger, som ejes af medarbejdere hos COWI og Grontmij, rækkehuse i boligforeninger i de 5 udvalgte kommuner, samt enkelte én- og tofamiliehuse, som ejes af regionerne eller de udvalgte kommuner.

Nedenstående figur viser fordelingen af de 154 undersøgte én- og tofamiliehuse sammenlignet med landstotalen for denne bygningstype. Der er en svag overrepræsentation af række- /kædehuse sammenlignet med parcelhuse, men parcelhusene udgør stadig 80% af det samlede antal undersøgte bygninger, og det vurderes samlet, at de små afvigelser fra landstotal er uden betydning for de udvalgte bygningers repræsentativitet. Gennemsnitstørrelsen af bygninger er 133 m² mod 135 m² på landsplan.

En forundersøgelse om forekomst af PCB i én- og tofamiliehuse fra 2009 konkluderede, at mange af de PCB-holdige byggematerialer og byggevarer, som er anvendt i større byggerier, må forventes også at være anvendt i én- og tofamiliehuse, specielt fuge- og gulvmasser, slidstærke gulv og vægmaling og ikke mindst termoruder (Jensen *et al.*, 2009).

Som det fremgår af resultaterne af kortlægningen, er hyppigheden af bygninger med PCB ikke den samme over hele perioden, men topper for bygninger opført i delperioden 1965-1974. Der er derfor væsentligt for repræsentativiteten, at andelen af bygninger fra denne periode svarer godt til fordelingen i OIS, for ikke senere at skulle korrigere for dette. Som det fremgår af nedenstående figur, er der en god overensstemmelse mellem landstotalen og de undersøgte én- og tofamiliehuse i perioden 1965-1974.



Figur 1 Fordeling af undersøgte én- og tofamiliehuse sammenlignet med landstotalen (OIS) med hensyn til opførelsesår, fordeling på regioner og type af bygning (150 bygninger).

Etageejendomme, og kommunale institutioner

For at kunne få stor variation og efterfølgende kunne undersøge, om der er enkelte parametre, som kan forklare de forskelle der ses mellem kommuner, er det tilstræbt, at lade kortlægningen omfatte relativt mange bygninger i et færre antal kommuner. Kortlægningerne af kommunale institutioner og kontorer samt etageejendomme har derfor fokuseret på 5 kommuner.

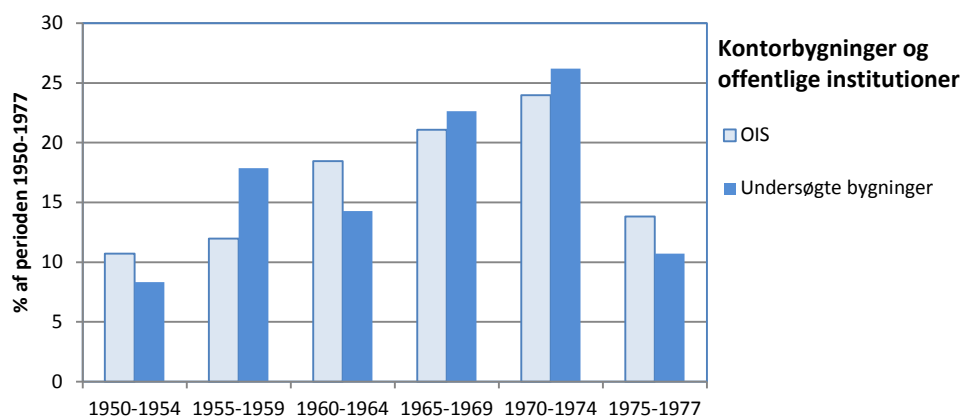
Det er ved udvælgelse af kommunerne tilstræbt at komplementere de målinger, der allerede er foretaget i landets kommuner. Det var som udgangspunkt ikke undersøgt, i hvilken grad der er foretaget målinger i andre bygninger end kommunale bygninger i de enkelte kommuner, men det er i fase 1 af projektet undersøgt, i hvilket omfang der lå eksisterende kortlægninger af etageejendomme i kommunerne. Det gjorde der ikke.

Følgende kommuner, har bidraget til kortlægningen:

- › Holbæk Kommune: Region Sjælland, land kommune)
- › Odense Kommune: Region Syddanmark, bykommune, landets næststørste kommune.
- › Herning Kommune: Region Midtjylland, landkommune, mellemstor by med stor udbygning i PCB-perioden.
- › Hjørring Kommune: Region Nordjylland, landkommune.
- › Ballerup Kommune: Region Hovedstaden, bykommune.

I betragtning af den betydelige viden om PCB i kommunale bygninger, er det tilstræbt, at mindst halvdelen af kontorerne skulle være ikke-offentlige kontorejendomme.

Fordelingen af opførte m² i årene 1950-1977 i de 5 kommuner sammenlignet med landsgennemsnittet er beskrevet i fase 1 rapporten og udviklingen i de 5 kommuner (samlet set) følger i store træk tendenserne på landsplan. Fordelingen af de undersøgte kontorejendomme og offentlige institutioner og landtotalen, jf. OIS databasen er vist i figur 2.



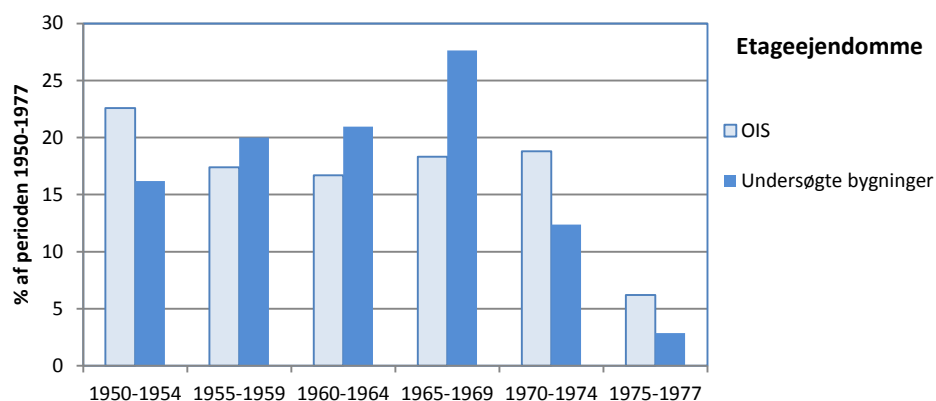
Figur 2 Fordeling af undersøgte kontorejendomme og offentlige institutioner (93 bygninger sammenlignet med landstotalen (OIS) med hensyn til opførelsesår.

Kontorejendomme

Det viste sig ikke at være muligt at identificere tilstrækkeligt mange privatejede kontorejendomme i de fem kommuner. Generelt har det været meget vanskeligt at finde bygningsejere, som ville deltage i kortlægningen. Ud over kontakt til bygningsejere, især ejere der har en bredere bygningsportefølje som banker og pensionskasser, er det forsøgt at inddrage private kontorbygninger, hvor de fem kommuner eller staten lejer sig ind. Denne udvælgelsesmetode er valgt for at få en bred vifte af bygningsejere repræsenteret, som kunne have haft en forskelligartet tilgang til drift og vedligeholdelse. Med denne metode var det stadig ikke muligt at opnå et tilstrækkeligt stort antal bygninger i de fem kommuner. Det var derfor nødvendigt at ændre tilgangsmodellen, således at der blev valgt bygninger tilfældigt spredt over hele landet, tilsvarende den model, som anvendes for én- og tofamiliehuse.

Etageejendomme

Lokale boligforeninger i de fem kommuner og store landsdækkende boligselskaber, med afdelinger i kommunerne, blev kontaktet med henblik på at medvirke til kortlægningen. Det er tilstræbt ved udvælgelsen at dække så mange forskellige typer af bygningsejere og bygningstyper som muligt, dog således, at der typisk er udtaget prøver af to bygninger i hver afdeling. Kortlægningen har omfattet 105 bygninger i 52 afdelinger i 7 boligselskaber i de fem byer. Fordelingen af de undersøgte kommuner og landgennemsnittet, jf. OIS databasen er vist i følgende figur.



Figur 3 Fordeling af undersøgte etageejendomme (105 bygninger) sammenlignet med landstotalen (OIS) med hensyn til opførelsesår.

2.3.4 Forekomst af PCB i termoruder og kondensatorer i lysstofarmaturer

Bygningsundersøgelserne har ikke omfattet PCB i termoruder og kondensatorer i lysstofarmaturer, da der er tale om en destruktiv prøvetagning.

Kortlægningen af PCB i termoruder og kondensatorer i lysstofarmaturer er derfor gennemført i forbindelse med affaldshåndtering. Termoruder er indsamlet på genbrugspladser i de fem udvalgte kommuner, og undersøgt for forekomsten af PCB. Kondensatorer er undersøgt i indsamlede lysstofarmaturer hos to landdækkende behandlere af elektrisk og elektronisk affald. Udvalgelse og undersøgelsesmetoder er nærmere beskrevet i de respektive afsnit for disse to kategorier.

2.3.5 Udvalgelse af bygninger til undersøgelse af PCB i indeluft

Udgangspunktet for udvalgelse af bygninger til målinger af PCB i indeluft er resultaterne af målinger af PCB i materialer i de 352 bygninger udvalgte bygninger. For ikke at bruge ressource på målinger i en lang række bygninger, hvor det var usandsynligt at finde høje koncentrationer af PCB i indeluften, er det valgt at foretage målingerne i de bygninger, hvor der er fundet de højeste koncentrationer af PCB i materialer.

På baggrund af resultater af samhörørende målinger af PCB i materialer og indeluft fra eksisterende undersøgelser, som er vist i kapitel 4.3.2, vurderedes det, at der var

meget lille sandsynlighed for at finde PCB-koncentrationer i indeluften på ≥ 300 ng/m³, hvis der ikke var:

- › en indendørs kilde med ≥ 50 mg/kg, eller
- › en udendørs kilde med ≥ 5.000 mg/kg

På den baggrund udvalgte der 20 én- og tofamiliehuse, 31 etageejendomme og 33 kontorejendomme og offentlige institutioner, som opfyldte ovenstående betingelser.

Det viste sig efterfølgende, at der var flere bygningsejere, der ikke ønskede at deltage i indeluftundersøgelserne. Af de udvalgte bygninger var der således 5 én- og tofamiliehuse, 11 etageejendomme (alle tilhørende samme boligselskab) og 1 kontorejendom, som ikke ønskede at deltage i de videre undersøgelser.

2.3.6 Kontakt til bidragsydere

Der er udarbejdet en aftale med bygningsejer ved undersøgelseernes påbegyndelse.

Kommunikationsplan	Al kommunikation med bygningsejerne har fulgt en detaljeret kommunikationsstrategi og kommunikationsplan, som er godkendt af projektets styregruppe. Eksempel på analyse- og undersøgelsesrapport til bygningsejere fremgår af bilag 4.
--------------------	---

3 Resultater af målinger af PCB i materialer

3.1 PCB i fugemasser, maling og gulvbelægning

3.1.1 Prøvetagning og analyse

På baggrund af den eksisterende viden om byggematerialer, der kan indeholde PCB som primærkilde, har kortlægningen af bygningerne i undersøgelsen omfattet følgende materialer:

- › Fugemasser: Alle fleksible fugemasser anvendt såvel indendørs som udendørs.
- › Maling: Korrosionsbeskyttende maling (f.eks. på metaldøre), udendørs facademaling (f.eks. altaner og svalegange) samt indendørs slidstærke gulv og vægmaling. Andre malingstyper kan være sekundært forurenet og indgår ikke i kortlægningen.
- › Gulvbelægninger: Skridsikre gulvbelægninger, selvnivellerende gulvmasser og gulvbeklædninger såsom linoleum, vinyl og kork og lim til montage af gulvbelægninger.

Som særskilte elementer af kortlægningen er der desuden undersøgt følgende:

- › Termoruder, indsamlet på genbrugsstationer i fem kommuner.
- › Kondensatorer i lysstofarmaturer, indsamlet hos to landsdækkende behandlere af elektronikskrot.
- › Indtrængning af PCB i tilstødende materialer (sekundær forekomst af PCB)

Prøvetagning i forbindelse med de tre sidste elementer er beskrevet i de respektive afsnit, mens der her kort er beskrevet fremgangsmåde i forbindelse med kortlægningen af materialer i bygningerne.

Som udgangspunkt for prøvetagningen er der udarbejdet en detaljeret prøvetagningsinstruks, som beskriver kommunikation med kontaktpersoner, bygningsgennemgang, prøvetagningsprocedure og registreringer i felten samt brug af personlige værnemidler.

Til prøvetagningen er udarbejdet en iPad-baseret applikation, hvor prøvetagerne guides gennem en bygningsgennemgang og en gennemgang for hver udtaget materialeprøve, det sikrer en ensartet udtagningsprocedure og rapportering for alle bygninger og materialeprøver. Alle oplysninger inklusive billedokumentation uploades direkte til en database, hvortil resultater af laboratorieundersøgelserne senere knyttes.

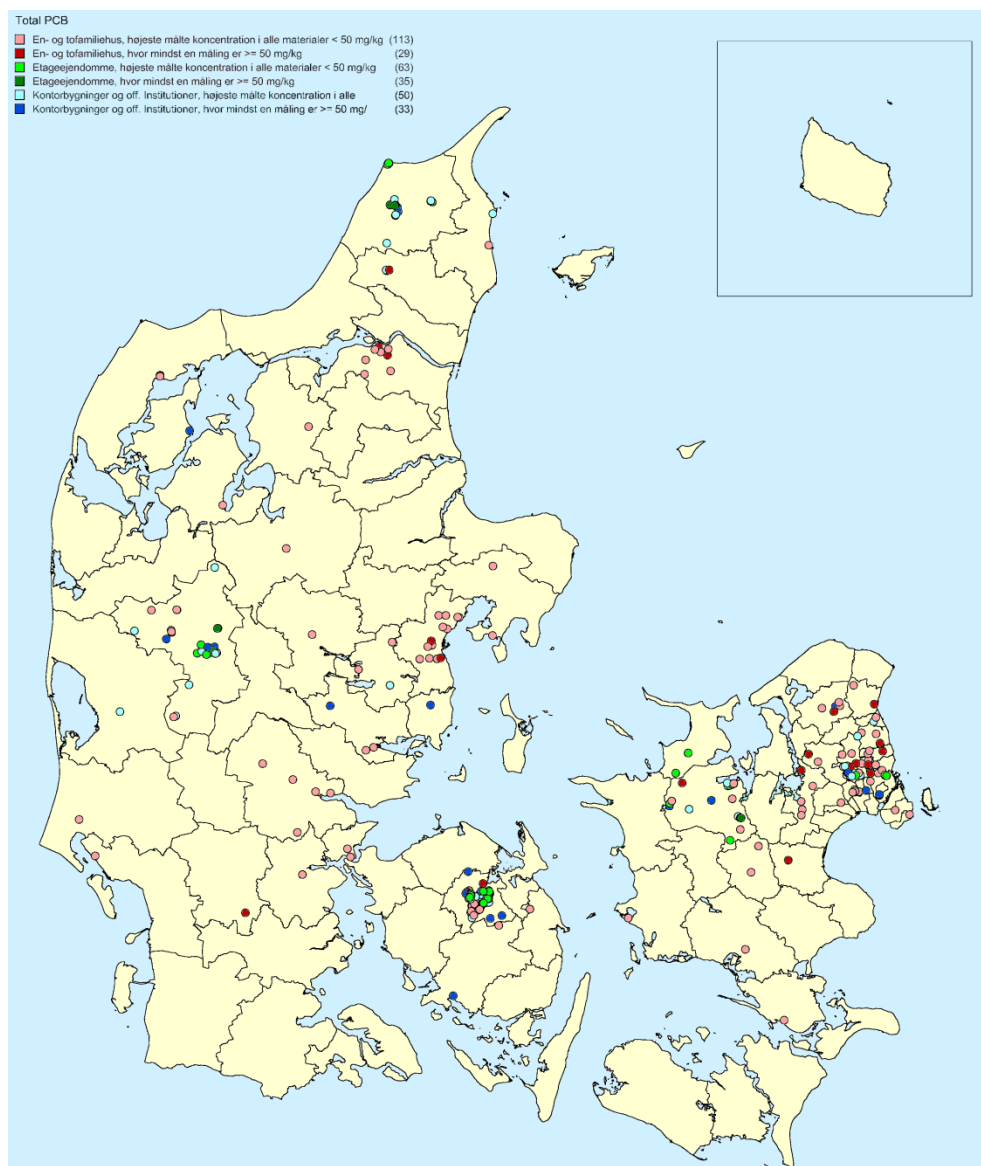
I de tilfælde, hvor der ved bygningsgennemgangen ikke er fundet materialer, som potentielt kan indeholde en primær forekomst af PCB, er det konkluderet, at bygningen ikke indeholder primær forekomst PCB, uden at der er udtaget prøver. Denne vurdering er primært benyttet for bygninger, som er totalrenoverede efter PCB-perioden.

Der er ved prøvetagningen udtaget prøver af alle relevante materialer, og der er efterfølgende i fornødent omfang foretaget udbedring og retablering af prøvetagningsstedet.

Prøverne er blevet analyseret i laboratorium med GC-MSD-SIM metoden for følgende 7 PCB congenere: PCB #28, #52, #101, #118, #138, #153 og #180 (samlet betegnet PCB₇). Total-PCB er beregnet som 5 gange summen af de 7 congenere. Der er arbejdet med en detektionsgrænse på 0,02 mg/kg pr. PCB-congener.

3.1.2 Resultater på tværs af materialer og bygningskategorier

Der er i kortlægningen udtaget prøver af bygninger fordelt over hele landet, men i særlig grad centreret omkring de 5 udvalgte kommuner. Fordelingen af de undersøgte bygninger, opdelt på de tre bygningstyper og koncentrationer over eller under 50 mg/kg, er vist på nedenstående kort. Hver bygningstype har en separat farve og intensiteten af farvemarkeringen angiver om koncentrationen er over eller under 50 mg/kg.



Figur 4 Geografisk fordeling af undersøgte bygninger, og bygninger hvor der er fundet ≥ 50 mg/kg PCB i et eller flere materialer.

Tabel 4 viser for hver bygningstype, hvor mange af de undersøgte bygninger, der indeholder PCB i forskellige koncentrationsintervaller. Der er samlet undersøgt 352 bygninger, hvoraf der er udtaget prøver fra 323.

Koncentrationsintervallerne angiver den højst målte værdi for hver bygning uanset materialetype. Der angives dels antal bygninger med materialer i en række relevante koncentrationsintervaller, dels den samlede mængde bygninger med koncentrationer på $\geq 0,1$ mg/kg, ≥ 50 mg/kg og ≥ 5.000 mg/kg. Disse skæringsværdier vil generelt i rapporten blive anvendt til at indikere hyppigheden af bygningerne, som har en PCB problematik.

Som det fremgår, er der fundet materialer med ≥ 50 mg/kg i 19% af de undersøgte (og analyserede) én- og tofamiliehuse, i 33% af etageejendommene og i 35% af kontorejendommene og de offentlige institutioner. Resultaterne viser, at PCB er vidt forekommende i alle bygningstyper, dog således at forekomsten i indendørs

materialer i en én- og tofamiliehuse er mindre end for de andre bygningstyper. En nærmere statistisk analyse af resultaterne fremgår af afsnit 3.1.12. Resultaterne er for hver materialetype og bygningstype diskuteret i særskilte afsnit i det følgende.

Det er bemærkelsesværdigt, at 75% af de undersøgte én- og tofamiliehuse, 90% af etageejendommene og 80% af kontorejendommene og offentlige kontorer i et vist omfang indeholder materialer, der indeholder $\geq 0,1$ mg/kg, der gør materialerne destruktionspligtige i forbindelse med affaldsbortskaffelse. Validiteten af dette resultat og forklaring på, hvorfra PCB'en stammer, diskuteres i de følgende afsnit.

Tabel 4 Undersøgte bygninger opdelt efter den højest målte PCB-koncentration i materialer uanset materialetype.

	Én- og tofamiliehuse		Etageejendomme		Kontorejendomme og offentlige institutioner	
Antal undersøgt (352)	154		105		93	
Antal prøvetaget (323)	142		98		83	
PCB _{total} , mg/kg	Antal	% af samlet *1	Antal	% af samlet *1	Antal	% af samlet *1
Alle materialer	142		98		83	
<0,1	27	18%	3	3%	9	10%
0,1-50	86	56%	60	57%	41	44%
50-500	15	10%	18	17%	10	11%
500-5000	4	3%	5	5%	8	9%
≥ 5000	10	6%	12	11%	15	16%
Samlet $\geq 0,1$	115	75%	95	90%	74	80%
Samlet ≥ 50	29	19%	35	33%	33	35%
Materialer placeret indendørs	109		95		73	
<0,1	20	13%	2	2%	5	5%
0,1-50	73	47%	67	64%	42	45%
50-500	9	6%	16	15%	13	14%
500-5000	1	1%	4	4%	5	5%
≥ 5000	6	4%	6	6%	8	9%
Samlet $\geq 0,1$	89	58%	93	89%	68	73%
Samlet ≥ 50	16	10%	26	25%	26	28%

*1 Det samlede antal inkluderer de bygninger, som ikke er prøvetaget, fordi det vurderes, der ikke var potentielt PCB-holdige materialer i bygningerne.

Nedenstående udvidede tabel (tabel 5) viser for hver bygningstype, hvor mange af bygningerne, der indeholder PCB i forskellige koncentrationsintervaller opdelt på materialer placeret henholdsvis udendørs og indendørs. Samme data er vist i tabel 6 som hyppigheder (%) af det samlede antal undersøgte bygninger for hver bygningskategori.

Koncentrationsintervallerne angiver også her den højst målte værdi for hver bygning, for de enkelte materialer og placering. Som eksempel på, hvorledes tabellen skal læses, er der således fundet fuger med ≥ 50 mg/kg udendørs i 8 én- og tofamiliehuse svarende til 5% af alle undersøgte én- og tofamiliehuse. Bemærk, at der for den samme bygning er angivet antallet placeret såvel udendørs som indendørs, dvs. det samlede antal bygninger, hvor der eksempelvis er fundet fuger ≥ 50 mg/kg kan ikke beregnes ved at lægge de to værdier sammen (idet nogle bygninger har det pågældende materiale både indendørs og udendørs).

For fugemasserne ses en tendens til at de høje koncentrationer ≥ 5000 mg/kg primært forekommer udendørs i én- og tofamiliehuse og etageejendomme, mens billedet er anderledes for kontorejendomme og offentlige institutioner, hvor der også ses en væsentlig forekomst af fuger indendørs.

Der er samlet fundet maling med ≥ 5000 mg/kg udendørs i 3 bygninger og indendørs i 10 bygninger. Der er således fundet maling med ≥ 5000 mg/kg i 3,4% af alle undersøgte bygninger.

Der er fundet maling med ≥ 50 mg/kg indendørs i 51 (14%) af bygningerne, mens der kun er fundet fuger med ≥ 50 mg/kg indendørs i 13 (4%) af bygningerne, hvilket er et overraskende resultat. Fuger med ≥ 5000 mg/kg indendørs er fundet i 7 (2%) af det samlede antal bygninger, men i 5% af bygningstypen kontorejendomme og offentlige institutioner.

Dette kunne tyde på, at maling vil kunne forekomme som den primære kilde i et stort antal bygninger, som der diskuteres i det følgende.

Tabel 5 Undersøgte bygninger opdelt efter den højest målte PCB-koncentration i materialer opdelt på materialetype og om materialet er placeret udendørs eller indendørs.

	Én- og tofamiliehuse		Etageejendomme		Kontorejendomme og offentlige institutioner	
Antal undersøgt	154		105		93	
Antal prøvetaget	142		98		83	
Alle materialer, mg/kg	Udendørs 104	Indendørs 109	Udendørs 62	Indendørs 95	Udendørs 55	Indendørs 73
Ingen materialer *1						
<0,1	40	20	21	2	20	5
0,1-50	50	73	28	67	17	42
50-500	6	9	3	16	1	13
500-5000	3	1	4	4	7	5
≥5000	5	6	6	6	10	8
Samlet ≥50	14	16	13	26	18	26
Fuge, mg/kg	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs
Ingen materialer						
<0,1	42	15	25	11	19	10
0,1-50	33	10	8	8	13	9
50-500	4	0	1	1	1	2
500-5000	1	0	2	1	6	2
≥5000	3	1	6	1	9	5
Samlet ≥50	8	1	9	3	16	9
Maling, mg/kg	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs
Ingen materialer						
<0,1	12	14	10	2	8	7
0,1-50	26	64	26	70	7	47
50-500	2	8	2	15	0	9
500-5000	2	2	2	3	1	4
≥5000	2	4	0	4	1	2
Samlet ≥50	6	14	4	22	2	15
Gulvbelægning, mg/kg	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs
Ingen materialer						
<0,1	0	15	0	10	0	7
0,1-50	0	16	0	12	0	22
50-500	0	1	0	2	0	3
500-5000	0	0	0	0	0	2
≥5000	0	2	0	1	0	1
Samlet ≥50	0	3	0	3	0	6

*1 Det samlede antal inkluderer de bygninger, som ikke er prøvetaget, fordi det vurderes, der ikke var potentielt PCB-holdige materialer i bygningerne.

Tabel 6 *Undersøgte bygninger opdelt efter den højest målte PCB-koncentration i materialer opdelt på materialetype og om materialet er placeret udendørs eller indendørs. Angivet som hyppigheder af det samlede antal undersøgt.*

	Én- og tofamiliehuse		Etageejendomme		Kontorejendomme og offentlige institutioner	
Antal undersøgt	154		105		93	
Antal prøvetaget	142		98		83	
Alle materialer, mg/kg	Udendørs 104	Indendørs 109	Udendørs 62	Indendørs 95	Udendørs 55	Indendørs 73
Ingen materialer *1						
<0,1	26%	13%	20%	2%	22%	5%
0,1-50	32%	47%	27%	64%	18%	45%
50-500	4%	6%	3%	15%	1%	14%
500-5000	2%	1%	4%	4%	8%	5%
≥5000	3%	4%	6%	6%	11%	9%
Samlet ≥50	9%	10%	12%	25%	19%	28%
Fuge, mg/kg	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs
Ingen materialer						
<0,1	27%	10%	24%	10%	20%	11%
0,1-50	21%	6%	8%	8%	14%	10%
50-500	3%	0%	1%	1%	1%	2%
500-5000	1%	0%	2%	1%	6%	2%
≥5000	2%	1%	6%	1%	10%	5%
Samlet ≥50	5%	1%	9%	3%	17%	10%
Maling, mg/kg	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs
Ingen materialer						
<0,1	8%	9%	10%	2%	9%	8%
0,1-50	17%	42%	25%	67%	8%	51%
50-500	1%	5%	2%	14%	0%	10%
500-5000	1%	1%	2%	3%	1%	4%
≥5000	1%	3%	0%	4%	1%	2%
Samlet ≥50	4%	9%	4%	21%	2%	16%
Gulvbelægning, mg/kg	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs
Ingen materialer						
<0,1	0%	10%	0%	10%	0%	8%
0,1-50	0%	10%	0%	11%	0%	24%
50-500	0%	1%	0%	2%	0%	3%
500-5000	0%	0%	0%	0%	0%	2%
≥5000	0%	1%	0%	1%	0%	1%
Samlet ≥50	0%	2%	0%	3%	0%	6%

*1 Det samlede antal er inklusive de bygninger, som ikke er prøvetaget fordi det vurderes, der ikke var relevante materialer.

Den samlede hyppighed af bygninger med PCB i de enkelte materialer på tværs af alle bygningstyper er vist i tabel 7. Der er i tabellen angivet hyppigheder af de byg-

ninger, hvor det pågældende materiale er prøvetaget og hyppigheder af det samlede antal bygninger (uanset om der er udtaget prøve af det pågældende materiale). På tværs af alle bygninger er der således fundet fugemasse med ≥ 50 mg/kg i 11% af bygningerne, mens de tilsvarende værdier for gulvbelægninger og maling er henholdsvis 3% og 16%.

Tabel 7 Hyppighed af **bygninger** med de enkelte materialetyper på tværs af bygningstyper. Højest målte værdi pr. bygning.

PCB _{total} mg/kg	Fugemasse			Gulvbelægninger			Maling		
	Antal bygninger	Hyppighed af prøvetaget	Hyppighed samlet antal	Antal bygninger	Hyppighed af prøvetaget	Hyppighed samlet antal	Antal bygninger	Hyppighed af prøvetaget	Hyppighed samlet antal
Antal Prøvetaget bygninger	238			105			490		
Samlet antal bygninger	352			352			352		
$\geq 0,1$	122	51%	35%	64	61%	18%	265	54%	75%
≥ 50	38	16%	11%	12	11%	3%	58	12%	16%
≥ 5000	21	9%	6%	4	4%	1%	13	3%	4%

*1 90% konfidensinterval bestemt på grundlag af en binominalfordeling.

Resultaterne af alle analyserede materialeprøver er vist i tabel 8. Disse data anvendes som en del af grundlaget for de efterfølgende beregninger af tilbageværende mængder af PCB i bygningsmassen.

Tabel 8 Alle **materialeprøver** opdelt efter bygningstype, PCB-koncentration, materiale-type og placering af materialet (indendørs/udendørs).

Alle materialer	Én- og tofamiliehuse		Etageejendomme		Kontorejendomme og offentlige institutioner	
	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs
<0,1	168	106	134	189	100	139
0,1-50	118	188	78	404	49	283
50-500	14	15	5	32	7	37
500-5000	5	2	10	9	12	16
≥5000	11	9	9	8	29	20
Fuge, mg/kg	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs
<0,1	133	28	93	35	74	38
0,1-50	77	16	24	32	38	20
50-500	11	0	1	3	7	5
500-5000	2	0	7	2	11	6
≥5000	9	2	9	2	27	16
Maling, mg/kg	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs
<0,1	35	48	41	124	26	74
0,1-50	41	151	54	347	11	209
50-500	3	14	4	27	0	28
500-5000	3	2	3	6	1	7
≥5000	2	4	0	5	2	3
Gulvbelægning, mg/kg	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs
<0,1	0	30	0	30	0	27
0,1-50	0	21	0	25	0	54
50-500	0	1	0	2	0	4
500-5000	0	0	0	1	0	3
≥5000	0	3	0	1	0	1

3.1.3 PCB i maling

Tabel 9 viser forekomsten af PCB i maling som funktion af anvendelsen af malingen. Bemærk, at hyppighederne udtrykker hyppigheden af de analyserede prøver og ikke hyppigheden af undersøgte bygninger, som i foregående afsnit.

Der er samlet analyseret 1.277 malingprøver. Der blev fundet maling med høje koncentrationer af PCB i alle bygningstyper såvel indendørs som udendørs.

Analyserne blev foretaget på det samlede lag maling, hvoraf den PCB-holdige maling i mange tilfælde kun vil udgøre en del. PCB-indholdet i de oprindelige malinger vil derfor have været højere.

De højeste værdier blev fundet for maling, som er anvendt til metal udendørs, hvor gennemsnittet for 66 målinger var 1.900 mg/kg med den højeste koncentration på

80.000 mg/kg. Når der i de følgende tabeller angives gennemsnitsværdier for de enkelte typer af målinger, skyldes det, at disse senere skal bruges i forbindelse med estimeringer af de samlede mængder PCB i bygningsmassen. De højeste værdier blev primært fundet på gelændere, eksempelvis på altaner. PCB-holdige malinger til metal er jævnfør udenlandske kilder primært brugt til skibsmaling og korrosionsbeskyttelse af industrielle installationer (refereret i Jensen et al., 2009), men har altså også været anvendt i maling til korrosionsbeskyttelse af metal udendørs i boliger.

Niveauerne fundet på facader og sokler udendørs var væsentligt lavere end rapporteret i Miljøstyrelsens undersøgelse af PCB i materialer fra renoveringer og nedrivninger, hvor det i 59 prøver af facader blev fundet ≥ 50 mg/kg i 37% af prøverne mod 3% i ENS kortlægningen (Alslev et al., 2013; data beskrevet i 5.4). Der er umiddelbart ingen forklaring på den store forskel, idet facadeprøverne i Miljøstyrelsens undersøgelse ligeledes primært stammer fra boliger.

PCB-koncentrationerne fundet indendørs på metal var generelt væsentligt lavere end værdierne udendørs med et enkelt trappegelænder som undtagelsen. Maling på radiatorer lå generelt i den lave ende med to målinger omkring 100 mg/kg.

Koncentrationen af PCB i maling på træ var som ventet lavt, med lidt højere værdier indendørs end udendørs, men antallet af målinger er lille, og der er ikke systematisk indsamlet prøver af maling på træ, da det formodes ikke at have været en primær kilde. Indendørs var niveauerne for maling i kategorien mur/sokkel kun lidt mindre end maling på gulve. De malede gulve og vægge var typisk placerede i trappeopgange, forgange, kældre, vaskerum, opbevaringsrum og toiletter, med få undtagelser, hvor der var malet på vægge i opholdsrum.

Tabel 9 Fordeling af analyser af PCB-holdigt maling.

	Malet materiale			
	Metal	Træ	Gulv	Mur/sokkel
Udendørs				
Antal prøver	66	13	0	147
Hyppighed $\geq 0,1$ mg/kg *1	62%	54%	-	52%
Hyppighed ≥ 50 mg/kg	24%	0%	-	3%
Hyppighed ≥ 5000 mg/kg	5%	0%	-	1%
Gennemsnit, mg/kg	1.906	0,4	-	182
Maksimum, mg/kg	80.000	1	-	25.000
Indendørs				
Antal prøver	502	22	109	417
Hyppighed $\geq 0,1$ mg/kg	75%	68%	84%	77%
Hyppighed ≥ 50 mg/kg	13%	5%	10%	5%
Hyppighed ≥ 5000 mg/kg	1%	0%	2%	2%
Gennemsnit, mg/kg	41	13	228	123
Maksimum, mg/kg	16.500	115	11.500	110.000

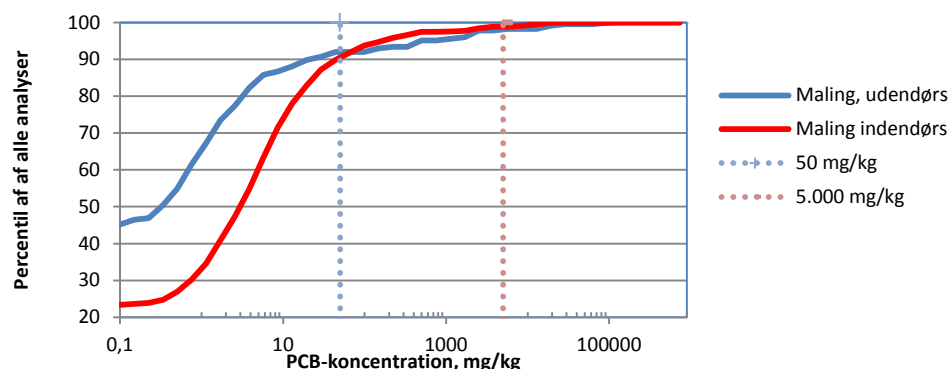
*1 Bemærk, at hyppigheder her angives i % af det samlede antal prøver og ikke antal bygninger.

Kumulativ fordelingsfunktion

En norsk undersøgelse af facademaling viste at omkring 45% af malingerne indeholdt $\geq 0,1$ mg/kg og 19% indeholdt ≥ 50 mg/kg (Jartun et al., 2009). Artiklen indeholder en analyse baseret på en kumulativ fordelingsfunktion viste, at en stor del af malingerne faldt i to grupper inden for intervallerne 1-10 mg/kg og 1.000-3.000 mg/kg og forfatterne foreslår, at der er tale om to forskellige oprindelige anvendelser af PCB i malingen. Ved de høje koncentrationer har PCB være anvendt til at blødgøre malingen for at øge malingens kemiske og termiske modstandsebene, mens PCB ved lave koncentrationer formentlig har været til stede i råvarer som bindemidler eller pigmenter, og ikke har haft nogen funktion i den færdige maling. Da de analyserede maling var facademaling formodes de lave koncentrationer ikke at være en konsekvens af forurening fra primære kilder. (Jartun et al., 2009)

Kumulative fordelingsfunktioner af alle malingprøver taget henholdsvis udendørs og indendørs, i ENS kortlægning, er vist i nedenstående figur. Bemærk logaritmisk skala på x-aksen. Figuren viser, at der både indendørs og udendørs er omkring 10% af prøverne, der indeholder ≥ 50 mg/kg, men der er en væsentlig større del af indendørsprøverne, der indeholder PCB i intervallet under 50 mg/kg. Hovedparten af indendørsprøverne fordeler sig jævnt mellem 1 og 10 mg/kg, ligesom hovedparten af udendørsprøverne fordeler sig mellem 1 og 5 mg/kg. Der er i den højere ende af koncentrationsskalaen ikke noget der tyder på, at prøverne samler sig i et særligt interval (stejle områder på kurven). Hvis den originale kilde til PCB i både indendørs- og udendørsmaling har været den samme, tyder billedet på, at en væsentlig del af indendørsprøverne kan være forurenet med en anden kilde. Dette resulterer i, at hyppigheden af prøver med påvist PCB er højere i indendørsmalingerne, og at den gennemsnitlige koncentration er lidt højere, i den lave ende af koncentrationsintervallet. Forskelle i gennemsnitskoncentration kan dog også simpelt være en funktion af, hvor mange lag maling der er påført siden PCB-perioden.

Men det er værd at bemærke, at 55% af malingprøverne placeret udendørs, stadig indeholder $\geq 0,1$ mg/kg, i lighed med resultaterne fundet i den norske undersøgelse. Problemstillingen diskuteres videre i afsnit 3.1.9.



Figur 5 Kumulative fordelingsfunktioner for alle malingprøver.

3.1.4 PCB i fugemasse

Tabel 10 viser forekomsten af PCB i fugemasse som funktion af placering af fugerne. Bemærk, at hyppighederne udtrykker hyppigheden af de analyserede prøver og ikke af undersøgte bygninger.

En stor del af fugemasserne indeholdt flere hundredetusinde mg/kg og gennemsnitsværdier for alle analyserede fuger udendørs beregnes til omkring 20.000 mg/kg.

Indendørs ses en markant forskel mellem fuger omkring vinduer og døre og fuger mellem betonelementer. Der var således 52% af fugerne mellem betonelementer, der indeholder ≥ 5.000 mg/kg, mens kun 2% af fugerne omkring vinduer og døre indeholder, så høje koncentrationer. Forklaringen kan meget vel være at fugerne omkring døre og vinduer i langt højere grad er udskiftet i forbindelse med renovering, hvorimod betonelement fuger ikke udskiftes.

Tabel 10 Forekomst af PCB i fuger som funktion af anvendelsen af fugemassen,

PCB _{total}	Omkring døre og vinduer	Mellem beton-elementer	Andre anvendelser
Udendørs			
Antal prøver	199	105	26
Hyppighed $\geq 0,1$ mg/kg	46%	51%	27%
Hyppighed ≥ 50 mg/kg	22%	32%	4%
Hyppighed ≥ 5000 mg/kg	8%	18%	4%
Gennemsnit, mg/kg	18.465	20.457	21.156
Maksimum, mg/kg	550.000	310.000	550.000
Indendørs			
Antal prøver	130	29	46
Hyppighed $\geq 0,1$ mg/kg	51%	86%	28%
Hyppighed ≥ 50 mg/kg	13%	55%	4%
Hyppighed ≥ 5000 mg/kg	2%	52%	4%
Gennemsnit, mg/kg	3.332	81.399	5.675
Maksimum, mg/kg	215.000	310.000	255.000

*1 Bemærk, at hyppigheder angives her i % af det samlede antal prøver og ikke antal bygninger.

Der blev udtaget fugeprøver mellem betonelementer eller mellem beton og mursten udendørs fra 44 bygninger inden for alle kategorier. Der blev fundet prøver med ≥ 5000 mg/kg (typisk mere end 100.000 mg/kg) i 18% af prøverne fordelt på 6 kontorejendomme og offentlige institutioner, 3 etageejendomme og et enkelt parcelhus.

Der blev udtaget udendørs fuger omkring vinduer og døre i 82 bygninger inden for alle kategorier. Fuger med ≥ 5.000 mg/kg (typisk mere end 100.000 mg/kg) blev fundet udendørs i 7 bygninger: 4 kontorejendomme og offentlige institutioner og 2 én- og tofamiliehuse og én etageejendom (tabel 11).

Tabel 11 Forekomst af PCB i fuger som funktion af anvendelsen af fugemassen opdelt på bygningstype.

	Antal bygninger med ≥ 5.000 mg/kg		
	Omkring døre og vinduer	Mellem betonelementer	Andet
Udendørs , antal bygninger udtaget prøver fra	82	44	18
Kontorejendomme og offentlige institutioner	4	7	1
Etageejendomme	1	6	0
Én- og tofamiliehuse	2	1	0
Indendørs , antal bygninger udtaget prøver fra	48	13	17
Kontorejendomme og offentlige institutioner	1	4	1
Etageejendomme	1	0	0
Én- og tofamiliehuse	0	1	0

Note: Bemærk, at samme bygning kan tælle med flere steder

Der var i alt 36 fugeprøver i intervallet 500-6.500 mg/kg; 14 mellem betonelementer, og 22 omkring vinduer, hvoraf en væsentlig del blev oplyst af bygningsejerne at være udskiftet i forbindelse med renovering. Koncentrationer i dette interval formodes primært at være kontaminering fra tidligere fuger med flere hundrede tusinde mg/kg via den sekundære forekomst af PCB i murværk eller beton. Der blev ikke systematisk taget prøver af nye fuger omkring udskiftede vinduer, da fokus for kortlægningen har været på primære kilder, og denne hypotese kan derfor ikke bekræftes af resultaterne.

Som forventeligt var forekomsten af PCB-holdige fugemasser afhængig af, om der var skiftet vinduer. Nedenstående tabel viser betydningen af vinduesskift på den observerede hyppighed af fuger med PCB (både omkring vinduer/døre og mellem betonelementer) i bygningerne. Der skelnes mellem gruppen, hvor det er oplyst, at der er skiftet vinduer og en gruppe, hvor det enten er oplyst, at det er det ikke (bl.a. ved at aflæse alderen på termoruder) eller, hvor der ingen oplysninger er. Hyppigheden af fuger med ≥ 5000 mg/kg var således dobbelt så høj, når der ikke var skiftet vinduer. I de bygninger, hvor vinduer var oplyst at være skiftet, blev der alligevel fundet enkelte fuger med høje koncentrationer omkring døre og vinduer, typisk omkring enkelte døre og vinduer, der antageligt alligevel ikke var udskiftede, og mellem betonelementer. Helt generelt viser datamaterialet, at der er mange tilfælde, hvor det kun er en del af bygningens vinduer, som er skiftet, og det er derfor ikke et helt klart skel mellem de to grupper.

Udover den primære forekomst af PCB, som er i fokus her, vil fugemasser, som har erstattet PCB-holdige fugemasser indeholde tertiær forekomst af PCB, som resultat af migration af PCB ophobet i den opgivende mur.

Tabellen viser også, at alene oplysninger om, at der er skiftet vinduer ikke er tilstrækkelig til at bestemme, at der ikke er fuger med højt indhold af PCB i bygningerne.

Tabel 12 Hyppighed af PCB i fuger (alle typer) som funktion af oplysning om vindues-skift.

	Hyppighed af PCB i fuger, % af antal bygninger		
Antal bygninger	352	171	181
≥ 0,1	29%	27%	30%
≥ 50	11%	5%	15%
≥ 5000	6%	4%	8%

3.1.5 PCB i gulvbelægning

Der er samlet analyseret 200 prøver af gulvbelægninger. Der blev fundet gulvbelægninger med ≥ 500 mg/kg i alle bygningstyper.

Gulvmasser med mere ≥ 2.500 mg/kg blev fundet i 2 én- og tofamiliehuse og 2 offentlige institutioner og en etageejendom – i alle tilfælde i kældre (svarende til ca. 1,5% af alle bygninger). Prøverne indeholdt dog typisk både gulvmassen og den overliggende maling og PCB'en kan i et vist omfang stamme fra malingen. Alle øvrige prøver af gulvmasse var under 50 mg/kg.

Gulvbeklædninger bestod af linoleum, vinyl, kork eller klæbet gulvtæppe. Den udtagne prøve bestod typisk af beklædningen inkl. en del af klæberen. Fire af prøverne indeholdt ≥ 50 mg/kg og et enkelt materiale fra et kontorbyggeri skilte sig ud med 2.450 mg/kg (som trak gennemsnittet op). Sammenlignet med maling og fugemasse er hyppigheden af prøver af gulvbeklædning med ≥ 50 mg/kg relativt begrænset set i forhold til, at der er udtaget og analyseret i alt 200 prøver.

Tabel 13 Hyppighed af PCB i gulvbelægninger (andel af prøver).

PCB _{total}	Klæber *1	Gulvmasse	Gulvbeklædning *2
Antal prøver	86	52	62
Andel med $\geq 0,1$ mg/kg	56%	56%	58%
Andel med ≥ 50 mg/kg	15%	12%	6%
Andel med ≥ 5000 mg/kg	0%	8%	0%
Gennemsnit, mg/kg	15	1061	47
Maksimum, mg/kg	500	23.500	2.450

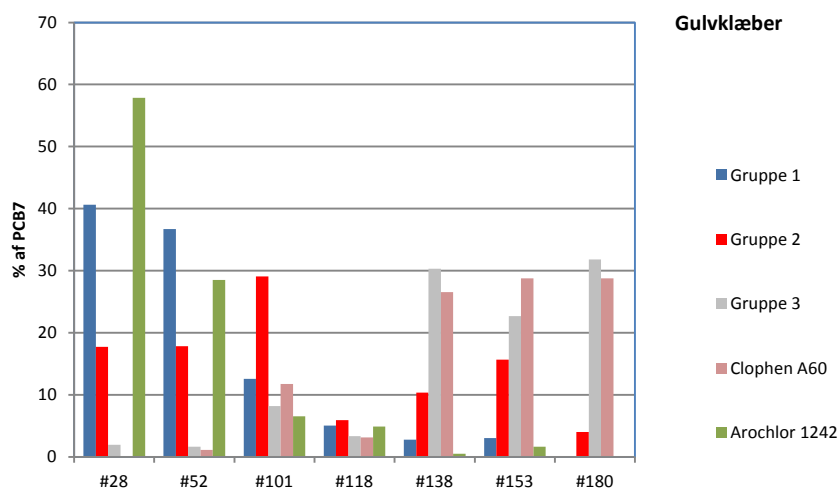
*1 Klæber under kork, linoleum vinyl, mm.

*2 Linoleum, kork, gulvtæppe med bagbeklædning, vinyl.

Det er stadig uklart, i hvilket omfang PCB i gulvmaterialerne stammer fra klæberen, skyldes forurening via indeluft eller om linoleum og andre gulvbeklædninger i sig selv indeholder små mængder PCB. Brancheforeningen Gulvbranchen har for nylig i en pressemeddelelse meddelt, at Gulvbranchens linoleumsleverandører un-

derstreges, at PCB aldrig har været en bestanddel, eller på anden måde indgår i fremstillingen af linoleum, hverken i dag eller tidligere.

For at se om der var et mønster, analyseredes congenerprofiler for klæberne og gulvbeklædningerne, men der kunne ikke uddrages noget mønster, da der er PCB med meget forskellige congenerprofiler i materialerne. Gulvklæberne kunne opdeles i tre grupper, som var uafhængig af koncentrationen, og de tre grupper havde vidt forskellige congenerprofiler. Gennemsnit af de normaliserede profiler for de tre grupper ses i figur 6 sammen med to tekniske blandinger, den tyske Clophen A60 og Arochlor 1242 fra USA. Gruppe 3 har Clophen A60's karakteristiske forløb omkring PCB #111, #118, og # 138 og er meget lig de profiler der ses for mange malinger. Gruppe 1 ligner Arochlor 1242, men matcher ikke helt. Da koncentrationerne i klæberne er relativt lave (gennemsnit 15 mg/kg) er det dog mest sandsynligt, at der er tale om tertiær forurening fra forskellige primærkilder (omtales i næste afsnit).



Figur 6 Congenersammensætning af tre grupper af prøver af gulvklæbere og to tekniske PCB blandinger.

3.1.6 Forekomst i én- og tofamiliehuse

Kortlægningen viser, at PCB er vidt udbredt i én- og tofamiliehuse med materialer med ≥ 50 mg/kg i 19% af husene. Forekomsten var dog, som det vises senere, statistisk signifikant mindre end i de to øvrige bygningstyper. Den lavere hyppighed er særligt markant for materialer med koncentrationer ≥ 5000 mg/kg, som fandtes i 6% af bygningerne.

Hovedparten af disse materialer med ≥ 50 mg/kg var maling anvendt enten inden- eller udendørs. Indendørs var det eksempelvis maling på vandrør på toilet, og gulv i viktualierum, vaskerum, kontor og opbevaringsrum, mens det udendørs var maling på trapper. Gulvmasser med ≥ 5000 mg/kg blev fundet i to bygninger i henholdsvis vaskerum og kontor. Fuger med høj koncentration (≥ 100.000 mg/kg) blev fundet i to bygninger omkring vinduer og døre; i én af bygningerne udendørs og i én indendørs. Det var i alle tilfælde kun en del af fugerne, der indeholdt PCB i høj

koncentration. Der blev ikke fundet eksempler på fuger mellem betonelementer eller sanitetsfuger på badeværelser med høj PCB-koncentration. De kilder, som har været de hyppigst forekommende kilder til PCB i indeluften i institutionsbyggerier og etageejendomme, har således en langt lavere hyppighed i én- og tofamiliehuse.

3.1.7 Forekomst i etageejendomme

Der var i etageejendommene en udbredt forekomst af fuger med høje koncentrationer mellem betonelementer og enkelte omkring vinduer/døre. Der blev kun fundet et enkelt eksempel på en fuge indendørs omkring et vindue i en opgang med 6.500 mg/kg.

Maling med koncentrationer ≥ 5.000 mg/kg blev fundet indendørs i fire bygninger - to tilfælde af maling på beton i kældre, et tilfælde af maling på gelænder af metal og et tilfælde af maling på dørkarm af metal i en opgang.

Maling med 50-5.000 mg/kg (40 prøver) blev fortrinsvis fundet indendørs i opgang, vaskerum, opbevaringsrum, cykelkælder og fyrrum. Malingen var påført beton, faldstammer, og metalgelændere. Der var ingen tilfælde af maling med ≥ 50 mg/kg i beboelsesrum. Der blev kun fundet 2 eksempler på facademaling med PCB i dette koncentrationsinterval. De fleste udendørs malinger med PCB var på jerngelændere.

Man kan på basis af kortlægningen fastslå, at der ikke er en udbredt forekomst af indendørs fuger med høje koncentrationer, som der eksempelvis er set i Farum, men det kan ikke afvises, at det vil kunne findes i en lille procentdel af alle etageejendomme.

Resultaterne peger på, at anvendelsen af PCB i malinger i etageejendomme, ofte findes som maling på metal og indendørs som malede overflader i opgang og anvendt i fællesareal af etageejendommene. I et enkelt tilfælde er der påvist PCB i gulvmasse.

3.1.8 Forekomst i kontorbyggerier og offentlige institutioner

Som omtalt var det meget vanskeligt at få identificeret et tilstrækkeligt antal private ejere af kontorbyggerier, der ville deltage i kortlægningen, og det samlede antal af undersøgte private kontorejendomme er derfor kun 36, mens der var sigtet at undersøge 50 private kontorejendomme. Det blev derfor valgt at lade flere offentlige institutioner end planlagt indgå i kortlægningen.

I tabel 14 ses der næsten ens hyppigheder af forekomsten af PCB ≥ 50 mg/kg og ≥ 5.000 mg/kg i begge grupper af bygninger. Der foreligger et meget begrænset datamateriale vedrørende PCB i private kontorejendomme, men resultaterne her viser, at der ikke er noget grundlag for at antage, at hyppigheden skulle være mindre, end hyppigheden i offentlige bygninger. Som udgangspunkt i kortlægningen har disse to grupper af bygninger været behandlet som en samlet bygningstype, men ved den senere ekstrapolation til det samlede antal bygninger i Danmark vil de to

grupper adskilles. Grunden er primært, at der for de kommunale institutioner foreligger et stort datamateriale fra kommunerne, som bruges i den statistiske analyse, men som ikke kan antages at være repræsentativt for de private kontorejendomme.

For de offentlige institutioner er der en mindre overvægt af bygninger, som ikke har været renoverede sammenlignet med et gennemsnit for kommuner (samlet er godt halvdelen af bygningerne angivet som værende renoverede), men dette har ikke været tilfældet for kontorejendommene, der er tilfældigt udvalgt, idet der blev udtaget prøver af alle de bygninger, som blev tilmeldt kortlægningen. Der findes ikke noget datamateriale for de private ejendomme, der kan anvendes til at vurdere repræsentativiteten, hvad angår graden af renovering.

Når man går i nærmere detaljer omkring, hvor PCB er fundet i høje koncentrationer er der ikke længere noget statistisk grundlag for generaliseringer, men de fundne resultater kan bruges som eksempler.

I kontorbyggerierne er alle prøver med ≥ 5.000 mg/kg fundet udendørs i form af fuger mellem betonelementer, fuger omkring vinduer og døre og udendørs maling på metal. At der ikke er fundet PCB med ≥ 5.000 mg/kg indendørs kan være en statistisk tilfældighed. Den udbredte forekomst af PCB med ≥ 50 mg/kg i kontorejendommene (37% af bygningerne) viser, at det også for denne type bygninger vil være nødvendigt at lave brede screeninger, hvis bygninger med høj forekomst af PCB skal identificeres.

I institutionerne blev 6 af prøverne med ≥ 5.000 mg/kg fundet indendørs og bestod af fuger mellem betonelementer (3 bygninger), gulvmasse og maling (2 bygninger). De tre udendørsprøver, med høje koncentrationer i fugemassen, var alle mellem betonelementer.

En nærmere sammenligning af disse resultater med resultaterne fundet i kortlægninger foretaget af kommuner følger i afsnit 5.1, som beskriver resultater af undersøgelser i kommuner og 6.1, der sammenfatter resultaterne på tværs af undersøgelserne.

Tabel 14 Hyppighed af PCB i alle materialer i kontorbyggerier og offentlige institutioner.

PCB _{total}	Offentlige institutioner		Kontorbyggerier	
	Antal	Hyppighed, % af samlet antal	Antal	Hyppighed, % af samlet antal
$\geq 0,1$	47	82%	27	75%
≥ 50	20	35%	13	36%
≥ 5000	9	16%	6	17%
Samlet antal bygninger	57		36	

3.1.9 Primære versus tertiære kilder

PCB er blevet anvendt i form af tekniske blandinger med forskellig kloreringsgrad og congenerprofiler. Frederiksen et al. (2012) har med dataene fra Sundhedsstyrelsens undersøgelse i Farum således ved hjælp af en principal komponent analyse vist, at fugemasser fra byggeriet kunne opdeles i fire grupper, hvoraf de to nogende matchede de tekniske blandinger Aroclor-1232 og Aroclor-1254, mens to grupper ikke kunne matches med de kendte blandinger.

Det forhold, at primærkilderne ikke har et ensartet fingeraftryk (congenerprofil) men er meget varierende, gør det meget svært at skelne mellem primære og tertiære kilder og pege på, om en prøve kan henføres til den ene eller anden type af kilde.

Der er dog enkelte af kilderne, der skiller sig ud.

Der skelnes generelt mellem tre typer af kilder:

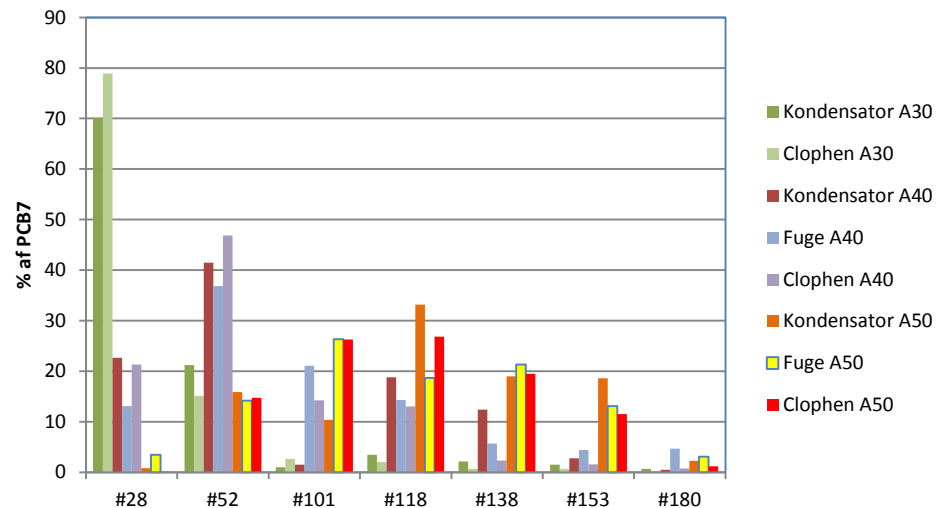
- Primære kilder, hvor PCB har været indeholdt i materialerne da de blev taget i anvendelse. Tilstedeværelsen kan være tilsigtet, som det typisk vil være tilfældet ved de højere koncentrationer, eller utilsigtet forurening hos producenten af materialerne.
- Sekundære kilder, som er blevet forurenede af PCB fra tilstødende primære kilder ved vandring mellem materialerne.
- Tertiære kilder, som er blevet forurenede af PCB fra primære kilder via et andet medie, som typisk vil være indeluften.

For at analysere sammensætningen af primærkilder er der lavet en analyse af fugemasser med >100.000 mg/kg, maling og gulvmaterialer med ≥ 5000 mg/kg samt 3 typer af kondensatorer (som omtales nærmere i afsnit 3.2.4). Inden for de enkelte materialetyper er det muligt at analysere, om der kan dannes nogle grupper ved at se på forholdene mellem forskellige congenere.

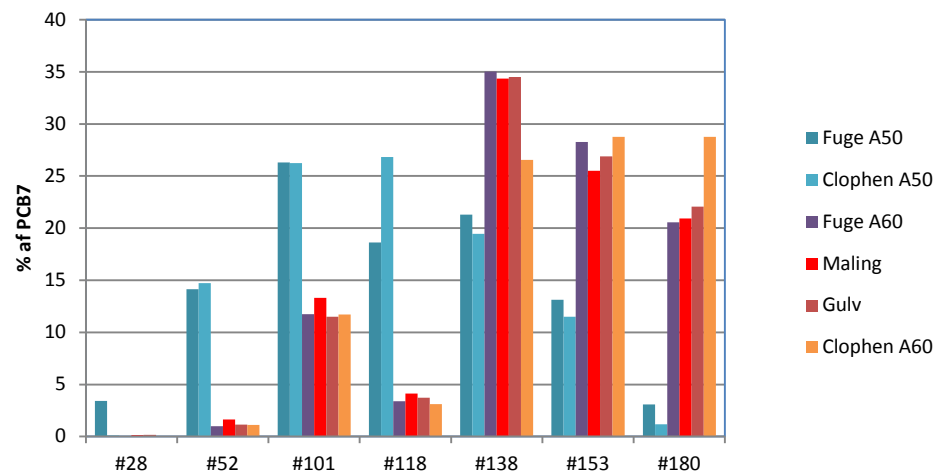
I nedenstående figurer er primærkilderne sammenlignet med fire typer af den tysk producerede PCB, Clophen hentet fra Takasuge et al. (2006). De mellemchlorerede PCB indgår i begge figurer. Der har formentlig været anvendt PCB fra forskellige producenter med lidt forskellig sammensætning af congenere, men det er muligt at se nogle gennemgående grupper af PCB. Betegnelserne anvendt her, som er afledt af Clophen typerne, er praktisk begrundet. Der kan lige så vel have været anvendte de amerikanske Arochlor typer (som ofte anvendes af laboratorier til at matche) eller andre fabrikater.

Kondensator A30 er den eneste af kilderne, der matcher den lavt-chlorerede Clophen A30, mens der både er en type kondensator og en type fuge der matcher Clophen A40. Det samme er tilfældet med chlophen A 50, dog skiller kondensatorerne sig lidt ud med en relativ høj andel af PCB 188.

Den højt-chlorerede Clophen A60 matcher såvel en type fugemasse, maling og gulvbelægninger. Fuge A40 er kun fundet indendørs, mens fuge A60 kun er fundet udendørs, men det kan udmærket være en tilfældighed.



Figur 7 Primærkilder, som er baseret på lavt- til mellem-chlorerede PCB.



Figur 8 Primærkilder, som er baseret på mellem- til højt-chlorerede PCB.

Som nævnt er der en vis variation inden for de enkelte grupper. For at se om der er enkelte parametre, der kan bruges til at karakterisere kilderne entydigt, er der set på forskellige forhold mellem congenere i materialerne.

Som det fremgår af nedenstående, skiller kondensator A30 sig markant ud med højt indhold af PCB-28 og et højt indhold af summen af PCB-28 og PCB-52. Denne type kondensator skiller sig også ud fra PCB i termoruder, som er vist i figur 16.

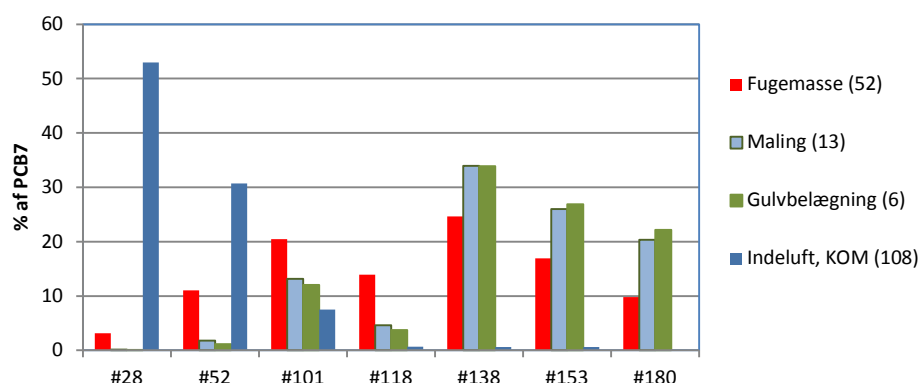
Kondensator A40 skiller sig ud fra fuge A40 med et højere indhold af PCB-118 og PCB-28. Da der kun er 2 eksempler på fuge A40, er det et for spinkelt grundlag til at sige noget om den variation, der vil kunne være inden for de lavt-chlorerede fugemasser. Kondensator A50 skiller sig ikke ud fra fuge A50.

Samlet set er det kun kondensator A30, der skiller sig tilstrækkeligt ud til, at man kan anvende congenersammensætningen til at pege på, hvad der er primærkilden.

Tabel 15 Karakteristika for tre typer af PCB i kondensatorer, fuger, maling og gulvbelægning. Middelværdier med mindste og højeste værdi i parentes.

Type	Antal	# 28 / PCB ₇	# 28 + # 52 / PCB ₇	# 118/PCB ₇	# 118 / # 28
Kondensator A30	22	70% (58-85%)	92% (78-97%)	2% (1-6%)	0,03 (0,01-0,1)
Kondensator A40	7	23% (18-25%)	64% (59-66%)	12% (11-15%)	0,6 (0,5-0,8)
Fuge A40	2	13% (13-14%)	50% (49-51%)	6% (6-6%)	0,03 (0,01-0,1)
Kondensator A50	16	1% (0,2-6%)	17% (13-26%)	19% (13-24%)	30 (3-89)
Fuge A50	12	2% (1-4%)	14% (11-18%)	23% (21-26%)	12 (6-24)
Fuge A60	13	0,05% (0,004-0,12%)	1% (0,3-2%)	35% (30-39%)	1787 (286-9.091)
Maling	12	0,1% (0,004-0,3%)	2% (0,3-10,8)	33% (25-36%)	1746 (131-9.524)
Gulvbelægning	8	0,3% (0,01-1,8)	2% (0,4-4)	34% (30-37%)	976 (18-3.368)

Det er velkendt, at der ses en forskydning i congenersammensætningen i indeluft mod de lavt-chlorerede congenere som vist i nedenstående figur. Sammenhængen mellem congenersammensætninger i materialer og indeluft diskuteres yderligere i afsnit 4.3.6. Som udgangspunkt vil man forvente, at de tertiære kilder er forskudt i samme retning.



Figur 9 Congenersammensætning af fugemasse, maling og gulvbelægninger med ≥ 5.000 mg/kg, sammenholdt med PCB i indeluft i 108 målinger med ≥ 100 ng/m³ fra kommunernes kortlægninger (antal målinger i parentes).

Der er derfor lavet en analyse af congenersammensætningen i de analyserede materialer, som pegede på, at de fundne koncentrationer i maling ved lave koncentrationer både kan være en primær og en tertiær forekomst af PCB.

For nærmere at undersøge i hvilken grad congenersammensætningen kan være med til at pege på om et materiale er en primær eller tertiært kilde, er der foretaget yderligere prøvetagninger af materialer i 12 bygninger i forbindelse med udtag af indeluft prøver. Der er ved disse målinger analyseret for 27 congenere, idet denne del af undersøgelsen også har til formål at belyse forekomsten af dioxinlignende PCB og andre ikke-dioxinlignende PCB end de 7 indikator PCB'er.

Analysen af målingerne giver ikke et klart billede, men der kan uddrages nogle generelle tendenser. I figur 10 ses fire eksempler på congenerprofiler af materialer fra det samme lokale. Koncentrationen i mg/kg er angivet for hvert materiale efter materialeangivelsen. Tre af de viste eksempler er også nærmere beskrevet som cases i bilag 3, hvor der er en beskrivelse af rum, målesituationer og de fundne resultater.

Materialernes placering i forhold til primærkilden er angivet i nedenstående tabel. Det er antaget, at lave forekomster af PCB i maling på vægge og loft er tertiære forekomster. Det kan dog ikke afvises, at disse malinger også har haft en primær forekomst med samme congenersammensætning som i primærkilden, hvis primærkilden er maling.

Tabel 16 Materialer, som er analyseret for indehold af PCB i de fire eksempler på sammensætning af primær, sekundær og tertiære kilder. I bilag 3.

Bygning *1	Materiale nr.	Formodet kildetype	Koncentration mg/kg	Beskrivelse
A	2	Primær	205.000	Indvendig dilatationsfuge mellem betonelementer.
	2	Sekundær	22.500	Maling på væg, udtaget 2 cm fra primærkilde
	3	Sekundær	2.200	Beton, udtaget 2 cm fra primærkilde.
	4	Tertiær	290	Gelænder af plast, udtaget 7 cm fra primærkilde
	5	Tertiær	10	Dør af træ, udtaget 5 m fra primær kilde
B Case Etage- byggeri	1	Primær	265.000	Indvendig fuge omkring vindue.
	2	Sekundær	290	Vinduesramme af træ, udtaget 2 cm fra primærkilde.
	3	Sekundær (tertiær)	100	Maling på væg, udtaget 7 cm fra primærkilde.
	4	Tertiær	70	Fodliste af plast, udtaget 50 cm fra primærkilde.
	5	Tertiær	50	Maling på væg, udtaget langt fra primærkilde.
C Case Skole	1	Primær	90.000	Indvendig fuge mellem betonelementer
	2	Sekundær (tertiær)	275	Maling på væg, udtaget 2 cm fra primærkilde
	3	Sekundær	20.000	Plastfodliste, delvist i kontakt med dilatationsfuge mellem betonelementer
	4	Tertiær	33	Gipsplade udtaget mere end 30 cm fra primær kilde
	5	Tertiær	27	Træ af bordplade udtaget mere end 30 cm fra primær kilde
	6	Primær	140.000	Fuge indvendig fuge mellem betonelementer
	7	Sekundær (tertiær)	2.000	Maling på væg, udtaget 2 cm fra primærkilde
	8	Sekundær	22	Beton, udtaget 2 cm fra primærkilde
	9	Tertiær	13	Træ fra bordplade mere end 30 cm væk fra primær kilde
	10	Tertiær	7	Plast, skjuler til ledninger mere end 30 cm fra primær kilde
D Case Bolig	1	Primær	70.000	Maling på gulv
	2	Sekundær	115	Gulvtæppe
	3	Sekundær/tertiær	3.050	Dørkarm af træ, udtaget i den nederste del af karmen
	4	Tertiær	6,5	Lærred og pap på rør
	5	Tertiær	1.250	Maling på væg og loft

*1 Case numre referer til cases i bilag 3.

Bygning A og B er et typisk resultat for situationen, hvor primærkilden er en fuge af clophen A40 typen. De øvrige materialer følger i store træk congenermønstret i fugen, men der er en klar tendens til, at congenere PCB-28 til PCB-74 udgør en større del af de øvrige materialer, hvilket indikerer, at der ved forureningen via indeluften sker en forskydning mod de lavede-chlorerede congenere. Bygning C er karakteristisk for situationen, hvor primærkilden er en fuge af clophen A40 typen.

Resultatet af indeluftmålingerne foretaget i det samme lokale, som der er udtaget materialeprøver i, i bygning A er gengivet i figur 33 (1B). Det fremgår tydeligt, at congenerprofilen for de øvrige materialer ligger tættere op af profilen for primærkilden end profilen for indeluften.

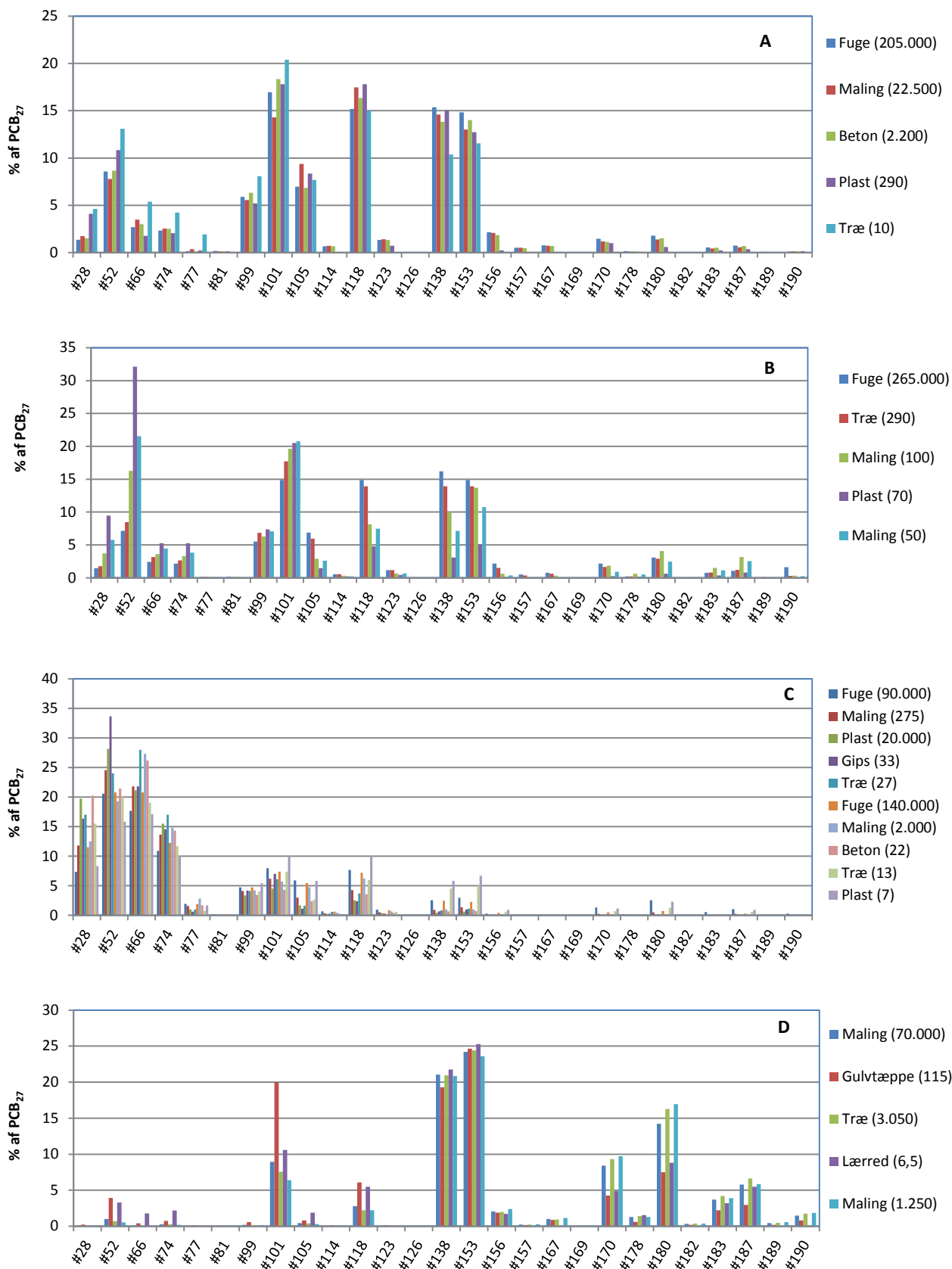
For malingerne ses der er betydelig forskel mellem bygning A og B. I bygning A, hvor malingen er sekundært forurenet svarer profilet af malingen til profilet for fugen, mens profilerne for de to malinger i bygning B er markant forskudt mod de højere-chlorerede congenere. De tertiært forurenede malinger i bygning B er her på henholdsvis 50 og 100 mg/kg, mens tertiært forurenet plast er på henholdsvis 290 og 70 mg/kg i de to bygninger. De tertiære kilder har således koncentrationer over grænserne for farligt affald, og det samme kan meget vel være tilfældet for det meste inventar i lokalerne. I bygning D ses en koncentration på 115 mg/kg i et gulvtæppe, som er placeret oven på et gulv malet med PCB-holdig maling.

Bygning D er typisk for lokaler, hvor den højeste koncentration findes i maling. Der ses et næsten identisk billede i alle undersøgte bygninger, hvor maling er den primære kilde (øvrige resultater ikke vist).

Samlet ses det, at profilet for sekundært forurenede materialer ligger tæt på profilet i primærkilden, mens der for de tertiært forurenede er en mindre forskydning mod de lavere-chlorerede congenere. Maling, der er sekundært eller tertiært forurenet af PCB fra en fugemasse, har et helt andet congenerprofil end maling, der er forurenet af en anden maling. Da der har været anvendt fugemasser med forskellige chloreringsgrader kan man dog ikke forvente entydigt, at kunne bestemme, om det er en fuge, som har været primær kilde.

I alle bygninger var det dog muligt at pege på primærkilden blandt de undersøgte materialer. Det vil således i de fleste tilfælde være muligt, ved at analysere på materialerne i et lokale at konkludere, om det analyserede materiale er primærkilden, eller om primærkilden evt. er blevet fjernet eller overset.

De samme mekanismer, som bevirker, at en større del af de lavere-chlorerede congenere afgives til luften fra primærkilden (desorberer fra overfladen), bevirker også, at der er en tendens til, at det er de højere-chlorerede congenere, der adsorberer til overfladen af de tertiært forurenede materialer. Efter denne adsorption bevæger PCB'en sig langsomt ind i materialerne og absorberes.



Figur 10

Sammensætningen af PCB i forskellige materialer i de samme lokaler. Koncentrationen i de enkelte materialer er angivet i mg/kg i parentes efter materialebetegnelsen.

De dioxinlignende PCB udgør en relativt lille del af den samlede mængde PCB i indeluft, men vil ofte udgøre en større del i materialerne. For at se om der er væsentlige forskelle mellem primære og tertiære kilder, er der i nedenstående tabel vist, hvor meget de dioxinlignende PCB i gennemsnit udgør af det totale indhold af PCB. De dioxinlignende PCB udgør generelt en større del af fugematerialerne, mens der ikke ses en væsentlig forskel mellem maling som primær kilde og de tertiært forurenede materialer. I indeluften udgør PCB-118 (der indgår i PCB₇) typisk omkring halvdelen af det samlede indhold af dioxinlignende PCB. Der er ikke tilfældet for gennemsnittet af fugemasser, hvor den kun udgør 20%, men det er tilfældet i gennemsnittet for malinger og tertiært forurenede materialer.

Tabel 17 Andel af dioxinlignende PCB i primær og tertiær kilder

Gennemsnitlig dioxin for:	Maling (primær)	Fuge (primær)	Tertiær
Dioxin i % af PCB ₂₇	13 %	25 %	16 %
Dioxin i % af PCB _{total}	4 %	7 %	4 %
PCB-118 i % af de dioxinlignende	20 %	49 %	48 %

For yderligere at belyse omfanget af tertiær forurening, er congenersammensætningen af materialeprøver opdelt på materialer og koncentrationsinterval, for alle prøver på tværs af bygningstyper, vist i figur 11. Hvert profil i denne figur er gennemsnit af alle de normaliserede profiler inden for koncentrationsintervallet.

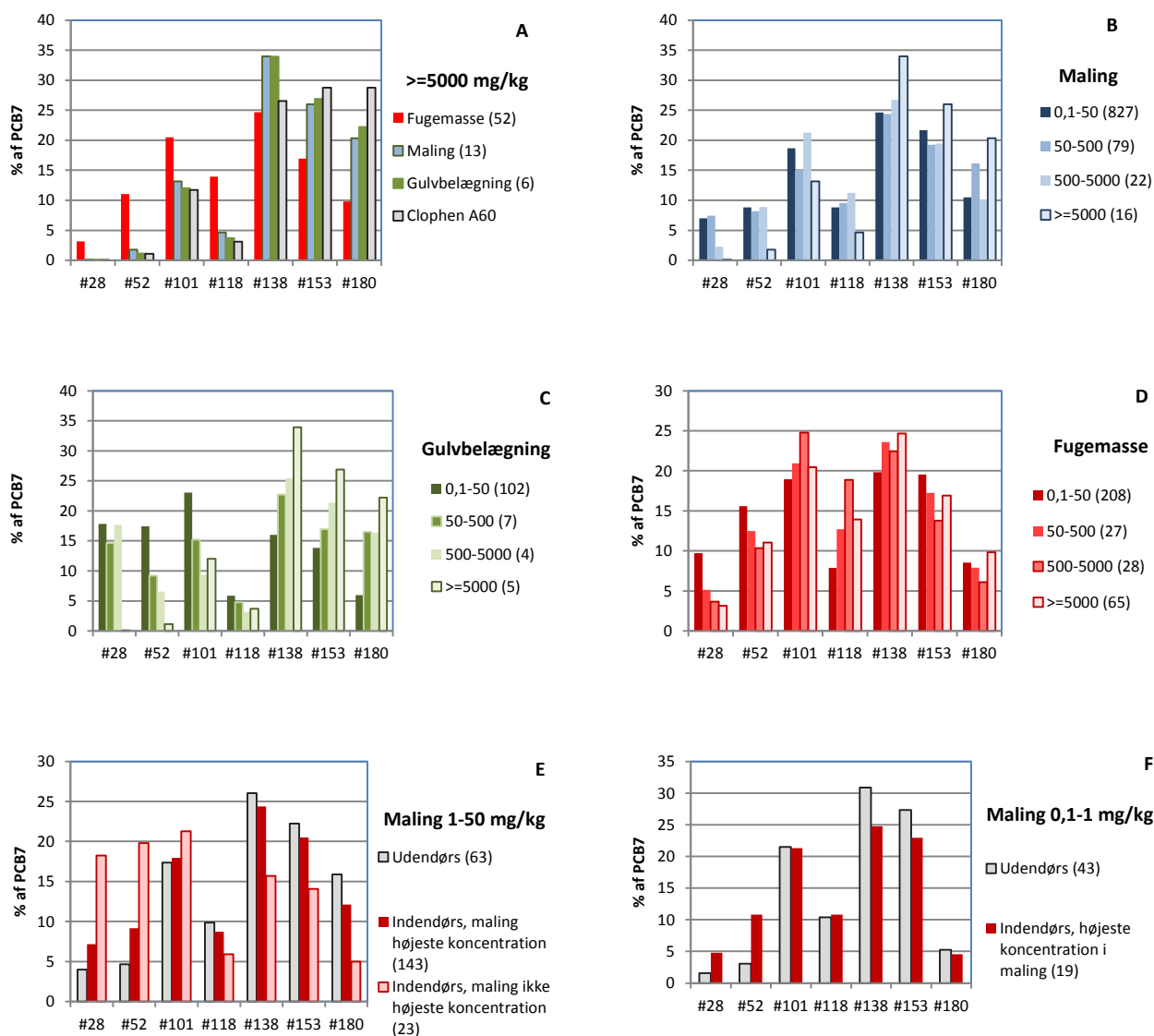
Formålet med denne analyse er at se, om der er væsentlige forskelle mellem congenersammensætningen i materialerne med høj koncentration (primære kilder) og med lav koncentration (primær, sekundær eller tertiær kilde), afhængig af placering udendørs og indendørs. Det antages, at forekomsten af tertiære kilder udendørs vil være meget begrænset.

Congenerprofiler for primærkilderne er gentaget i figur 11 (A), dog således at profilet for fugemasser er baseret på forskellige typer af fugemasser. For alle tre materialer ses i figur 11 (B, C, D) den samme tendens til, at de gennemsnitlige profiler forskydes mod de lavere-chlorerede congenere, som vil være i overensstemmelse med, at en større del af prøverne indeholder PCB som tertiær forurening.

Forskydningen mod lavere-chlorede congenere ses tydeligere i figur 11 (E og F), hvor der er set på forskelle mellem maling placeret indendørs og udendørs. For maling med PCB i intervallet 1-50 mg/kg er profilerne stort set ens for maling udendørs og maling indendørs, i de tilfælde, hvor der i den pågældende bygning ikke er fundet en primær kilde med højere koncentration. Der ses en meget svag tendens til forskydning af den indendørs maling mod de lavere-chlorerede congenere. Profilerne er stort set identiske med profilet for maling med ≥ 5000 mg/kg i figur 11 (A). I de tilfælde, hvor der findes en primær kilde med højere koncentration i samme bygning, sker der en kraftig forskydning over mod de lavere-chlorerede congenere. Dette indikerer klart, at for hovedparten af de 143 malingprøver taget indendørs, hvor der ikke er fundet en primær kilde, vil PCB'en stamme fra produktionen af maling, på samme måde som det er tilfældet med den

udendørs maling. Det kan dog også stamme fra en anden maling, hvis der i lokalet er en overset maling, som fungerer som primær kilde.

Der blev ikke fundet malingprøver i intervallet 0,1-1 mg/kg (figur 11 (F)) i de bygninger, hvor der var en anden kilde. Koncentrationen var i alle prøver fra disse bygninger højere end 1 mg/kg. Men for de bygninger, hvor der ikke blev fundet andre kilder, tyder profilet på, at der stadig er en overvægt af prøver, hvor PCB er til stede i malingen som en primær kilde. Profilerne for intervallet 0,1-1 mg/kg illustrerer i øvrigt også, at de mange målinger ved lave koncentrationer ikke er en analysefejl, som konsekvens af interferens med andre stoffer i malingerne, som eksempelvis chlorparaffiner, idet profilet er et umiskendelig PCB profil. Det er også blevet testet i laboratoriet, at der ikke er interferens, men ovenstående er yderligere bekræftet ved denne undersøgelse.



Figur 11 Congenersammensætning af undersøgte materialer (PCB_{total} koncentrationer i mg/kg, antal analyser i parentes)

3.1.10 Fordelingsfunktioner

Som tidligere nævnt har en norsk undersøgelse (Jartun et al. 2009) af PCB i facademaling på basis af en kumulativ fordelingsfunktion vist, at målingerne i særlig grad grupperer sig omkring to koncentrationsintervaller, som kan hænge sammen med to forskellige årsager til forekomsten af PCB i malingerne.

I nedenstående figur er den kumulative fordelingsfunktion for alle analyser angivet for maling og fugemasse. Resultater fra kommunernes kortlægning af PCB, som omtales i afsnit 5.1 er vist på samme figur. Bemærk logaritmisk skala på x-aksen.

Der ses nogle meget forskellige fordelinger for henholdsvis fugemasse og maling. For fugemasserne er der to stejlere dele af kurven ved 1-10 mg/kg og ved 50.000-

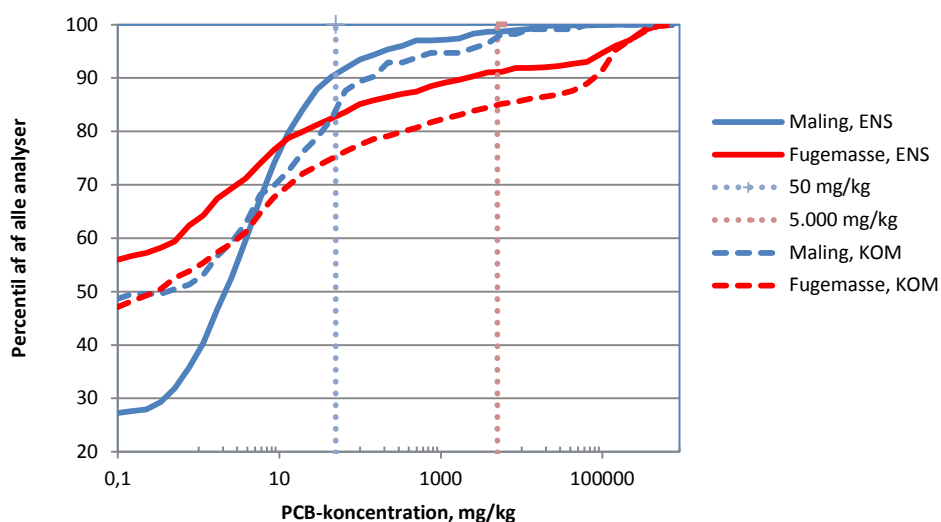
500.000 mg/kg. Det øverste interval repræsenterer den tilsigtede tekniske anvendelse af PCB i fugemasserne, mens det nederste interval enten kan være resultat af forurening hos producenterne eller tertiær forurening.

For maling er hovedparten af prøverne i intervallet 1-100 mg/kg og kun få prøver er over 5.000 mg/kg. Det forhold, at hyppigheden af bygninger med PCB-koncentrationer på ≥ 50 mg/kg er næsten lige stor for de to materialer, betyder ikke, at de samlede mængder af PCB er de samme. Den gennemsnitlige koncentration i alle prøver af fugemasse er 14.900 mg/kg, mens den gennemsnitlige koncentration af PCB i maling er 350 mg/kg; altså fyrré gange mindre. De samme gennemsnitsværdier fra kommunernes kortlægninger er henholdsvis 19.000 og 694 mg/kg.

Profilerne for maling fra såvel denne kortlægning (ENS) og kommunernes kortlægning giver, som også nævnt under maling, ingen indikation på, at PCB i særlig grad har været anvendt i nogle koncentrationsintervaller, men dette kan over tid være udvisket ved, at der er lagt varierende antal af nye lag maling oven på den PCB-holdige maling.

Det er værd at bemærke, at kortlægningerne i kommunerne, som omtales senere, faktisk finder en større hyppighed af maling med ≥ 50 mg/kg i de analyserede prøver, end der er fundet i denne undersøgelse. Når der i det samlede datasæt fra kommunerne ses en lavere hyppighed af lokaliteter med PCB i maling, skyldes det således, at der i de fleste kortlægninger ikke er taget prøver af maling.

Den markante forskel i intervallet 0,1 – 1 mellem denne kortlægning og kommunernes kortlægninger skyldes indflydelsen af detektionsgrænsen, da de fleste undersøgelser anvender en detektionsgrænse for PCB_{total}, som er noget over 0,1 mg/kg, og at målinger af de enkelte congenere af PCB under detektionsgrænsen her regnes som 0.



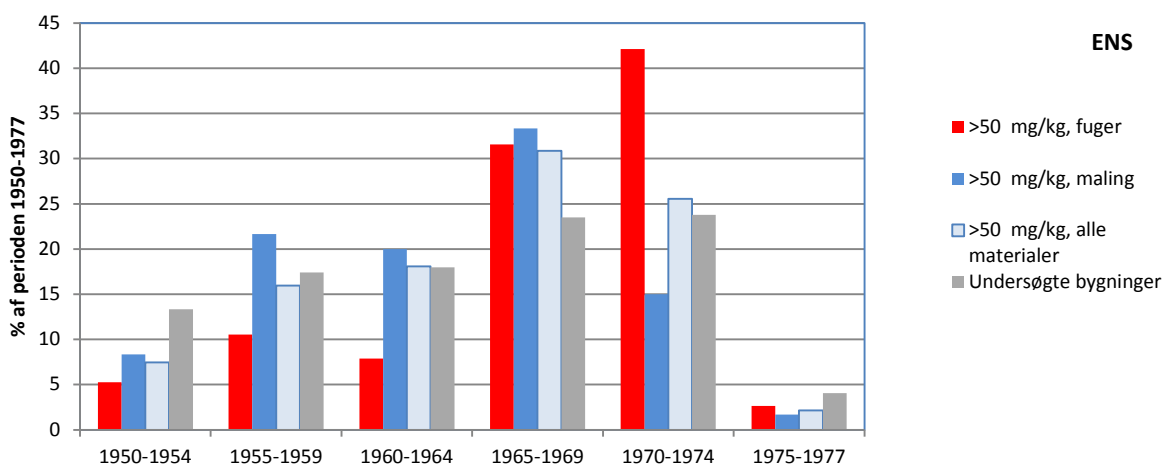
Figur 12 Kumulative fordelingsfunktioner malings- og fugeprøver.

3.1.11 Tidsmæssig fordeling

Fordelingen af materialer med ≥ 50 mg/kg, på tværs af alle bygningstyper, er sammen med fordelingen af undersøgte bygninger, vist i nedenstående figur. En tilsvarende figur kan findes for et datasæt fra kommunerne i afsnit 5.1.

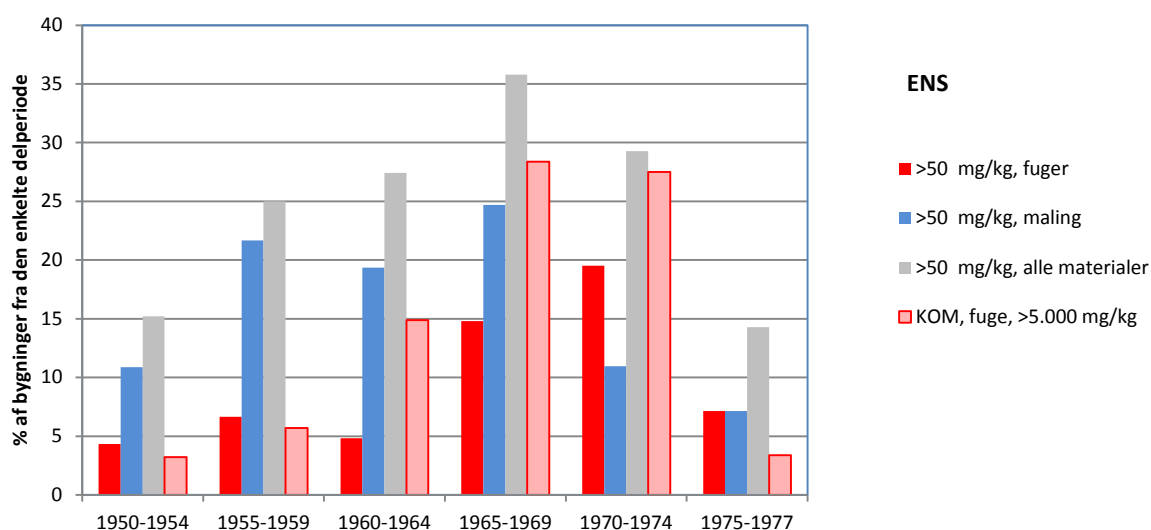
Figuren indikerer, at PCB blev anvendt i hele perioden 1950 - 1977, men i særlig grad i perioden 1965-1974. Der gælder især for fugemasser, hvor der er en markant højere hyppighed i perioden 1965-1974, som også ses i datasættet fra kommunerne.

Det må forventes, at bygninger opført i begyndelsen af PCB-perioden vil kunne være malet og forsynet med gulvbelægning senere i perioden, således at tilstedeværelsen af PCB-holdigt maling og gulvbelægninger i bygninger fra den første del af perioden ikke nødvendigvis betyder, at materialerne blev anvendt i forbindelse med opførelsen.



Figur 13 Tidsmæssig fordeling af bygninger med ≥ 50 mg/kg i alle materialer, fuger og maling sammenholdt med den tidsmæssige fordeling af alle undersøgte bygninger.

Samme data er illustreret i næste figur, der viser hyppighed af bygninger fra hver enkelt delperiode med forekomsts af PCB. For fuger viser såvel dette datasæt som datasættet fra kommunerne, at der er en langt højere hyppighed af bygninger med PCB fra perioden 1965-1974 end den foregående periode. For maling er tendensen mindre tydelig, hvilket som nævnt kan skyldes, at bygningerne er malede senere i perioden. Det er valgt at foregribe beskrivelsen af undersøgelserne i kommunerne ved at vise tidsprofilen for bygninger med ≥ 5.000 mg/kg i fugemasse fra det datasæt, hvor der ses en hyppighed på næsten 25% i fugemasser med høj koncentration i offentlige institutioner fra perioden 1965 til 1969.



Figur 14 Hyppighed af bygninger fra hver enkelt delperiode med forekomsts af PCB, sammen med data fra kommuner (KOM) for bygninger med fuger ≥ 5.000 mg/kg.

3.1.12 Omfanget af materialer i bygningerne

I det foregående er der primært fokuseret på, hvor mange af bygninger, der har en PCB problematik i form af, at bygningen indeholder ét eller flere materialer med PCB over en given koncentration. I nogle enkelte bygninger drejer det sig kun om en enkelt malet genstand, mens det i de fleste bygninger drejer sig om større mængder af materialer spredt over hele bygninger. Ved dataindsamlingen er der indsamlet oplysninger om omfanget af materialer som f.eks. den samlede længde af fugemasse i et rum, eller antal m^2 gulv i rum, der er malet, så det er muligt at estimere den samlede mængde PCB i hver bygning.

En indikation af omfanget af PCB i bygningerne fås ud fra antallet af prøver i hver enkelt bygning. I etageejendomme, kontorejendomme og offentlige institutioner er der udtaget mere end 5 prøver med $\geq 0,1$ mg/kg PCB i næsten halvdelen af bygningerne, hvilket viser, at der er en udbredt forekomst af materialer med lav PCB-koncentration i bygninger. Kontorejendomme og offentlige institutioner skiller sig ud fra de øvrige bygningstyper, ved at der er væsentligt flere bygninger, hvor der er udtaget mere end en 3 prøver med ≥ 5.000 mg/kg, indikerende at der er flere bygninger med en mere omfattende PCB problematik i denne gruppe af bygninger. Da gruppen af privatejede kontorbyggerier er lidt underrepræsenteret i undersøgelserne, regnes denne gruppe som svarende til offentlige kontorbyggerier og institutioner.

Tabel 18 Antal prøver pr bygning over eller lig med henh. 0,1 mg/kg, 50 mg/kg og 5.000 mg/kg.

	Antal bygninger		
Antal prøver	≥0,1 mg/kg	≥50 mg/kg	≥5.000 mg/kg
Én- og tofamiliehuse (154)			
1	25	14	5
2	29	10	3
3	20	1	1
4	17	2	0
5	4	0	0
>5	20	2	1
Etageejendomme (105)			
1	3	13	7
2	19	14	5
3	3	2	0
4	17	2	0
5	12	1	0
>5	41	2	0
Kontorejendomme og offentlige institutioner (93)			
0	9	9	9
1	7	10	3
2	13	4	5
3	8	6	1
4	7	6	2
5	1	0	1
>5	38	7	3

3.1.13 Statistisk test af observerede hyppigheder

Der er foretaget en statistisk test af de observerede hyppigheder i denne kortlægning, som fremgår af nedenstående tabel. For offentlige institutioner sammenlignes der i afsnit 6.1.1 endvidere med resultater af kortlægninger i kommunerne, og der testes for signifikans af forskelle mellem de to datasæt.

Som angivet i tabellen kan den faktiske hyppighed af materialer med ≥ 50 mg/kg i de fire bygningstyper estimeres til henholdsvis 13-24%, 24-40% og 25-47% og 23-51% (90% konfidensintervaller). Disse værdier anvendes videre i afsnit 6.1.1 til at estimere mængden af bygninger med PCB i Danmark. For offentlige institutioner og kontorejendomme vil hyppigheden af bygninger med PCB i fugemasser primært baseres på undersøgelserne fra kommunerne, som omtales i afsnit 5.1.

For at undersøge, om de observerede forskelle mellem de fire bygningstyper er statistisk signifikante, er der foretaget et sædvanligt chi-squared test. På baggrund af testen kan det fastslås, at hyppigheden af én- og tofamiliehuse med PCB i materialer er signifikant lavere end hyppigheden af bygninger med PCB i materialer i de

tre andre bygningskategorier. Den beregnede p-værdi er på 0,002, hvilket betyder, at den fundne forskel er meget signifikant. Det kan samtidig fastslås, at der ikke er nogen signifikant forskel mellem hyppighederne fundet for de øvrige bygningstyper.

Tabel 19 Observerede hyppigheder af bygninger med PCB opdelt på de fire bygningstyper med 90% konfidensintervaller.

PCB _{total} mg/kg	Én- og tofamiliehuse			Etagelæjendomme			Offentlige institutioner og kontorbygninger			Private kontorejendomme		
	Antal bygninger	Hyppighed	90% CI *1	Antal bygninger	Hyppighed	90% CI på hyppighed *1	Antal bygninger	Hyppighed	90% CI *1	Antal bygninger	Hyppighed	90% CI *1
Under-søgte	154			105			57			36		
≥0,1	113	73%	67-79%	95	90%	84-95%	47	82%	72-90%	27	75%	60- 86%
≥50	28	18%	13-24%	33	31%	24-40%	20	35%	25-47%	13	36%	23- 51%
≥5000	10	7%	4-11%	12	11%	7-18%	9	16%	9-26%	6	17%	8- 30%

*1 90% konfidensinterval bestemt på grundlag af en binominalfordeling.

De observerede hyppigheder på tværs af alle bygningstyper opdelt på landsdele er vist i nedenstående tabel. En test af signifikansen af forskellene mellem landsdelene giver en p-værdi på 0,25, hvilket betyder, at forskelle i observerede hyppigheder mellem landsdelene på ingen måde er signifikante. Dette er i overensstemmelse med antagelserne i den statistiske model, der er anvendt ved tilrettelæggelsen af kortlægningen.

Tabel 20 Observerede hyppigheder af bygninger med PCB i materialer i alle bygningskategorier opdelt på landsdele med 90% konfidensintervaller.

PCB _{total} mg/kg	Jylland /Fyn (Region Nordjylland, Midtjylland og Syddanmark)			Sjælland (Region Sjælland og Hovedstaden)		
	Antal bygninger	Hyppighed	90% CI *1	Antal bygninger	Hyppighed	90% CI *1
<50	151	71%	65-76%	107	77	70-83%
≥50	62	29%	24-35%	32	23	17-30%

*1 90% konfidensinterval bestemt på grundlag af en binominalfordeling.

3.1.14 Sammenfatning og delkonklusion

Kortlægningen af materialer i de 352 bygninger har fokuseret på primær forekomst af PCB i fugemasser, visse typer maling og gulvbelægninger. To andre kildetyper, termoruder og kondensatorer er undersøgt for sig.

Der er fundet materialer med PCB-koncentrationer på $\geq 0,1$ mg/kg i mere end 75% af de undersøgte bygninger.

Én- og tofamiliehuse	PCB blev fundet udbredt i én- og tofamiliehuse med materialer med ≥ 50 mg/kg i 18% (13-24%, 90% konfidensinterval) af bygningerne. Forekomsten var dog statistisk signifikant mindre end i de to øvrige bygningstyper. Dette ses særligt markant for materialer med koncentrationer ≥ 5.000 mg/kg, som fandtes i 6% (4-11%) af bygningerne. Hovedparten af de PCB-holdige materialer var maling anvendt enten indendørs eller udendørs. Indendørs var det eksempelvis maling på vandrør på toilet, samt gulve i viktualierum, vaskerum, kontor og opbevaringsrum, mens maling udendørs var påført trapper. Fuger med høj koncentration (≥ 100.000 mg/kg) blev fundet i to bygninger omkring vinduer og døre; henholdsvis udendørs og indendørs. Der blev ikke fundet eksempler på fuger mellem betonelementer eller sanitetfuger på badeværelser med høj PCB-koncentration.
Etageejendomme	I etageejendomme blev der fundet materialer med ≥ 50 mg/kg i 31% (24-40%) af ejendommene, mens materialer med ≥ 5.000 mg/kg blev fundet i 11% (7-18%). I etageejendomme blev der kun fundet et enkelt eksempel på fuger med høj PCB-koncentration indendørs omkring et vindue i en opgang, men fugemasser med høj koncentration (typisk over 100.000 mg/kg) anvendt udendørs mellem betonelementer blev fundet i en række ejendomme. Maling med ≥ 50 mg/kg og op til 19.000 mg/kg blev fortrinsvis fundet indendørs i opgange, vaskerum, opbevaringsrum, cykelkældre og fyrrum. Malingen var påført gulv, vægge, faldstammer og metalgelændere.
Offentlige institutioner og offentlige kontorejendomme	For offentlige institutioner og offentlige kontorejendomme foreligger der et omfattende materiale fra kommunernes kortlægninger. I de fleste af kommunerne er der udelukkende undersøgt for fugemasser, og resultaterne af kortlægningerne kan kun anses at være repræsentative, hvad angår fugemasser. Samlet set var hyppigheden af bygninger med PCB-koncentrationer ≥ 50 mg/kg i fugemasse i offentlige institutioner og kontorer angivet på lokalitetsniveau 14% (12-16%) (en lokalitet er en skole, et plejehjem, mm). En analyse af resultater fra de kommuner, hvor data var tilgængelige for alle de enkelte bygninger på alle lokaliteter (eksempelvis alle bygninger på den enkelte skole) viste, at hyppigheden på lokalitetsniveau var ca. 20% højere end angivet på bygningsniveau. Hyppigheden af bygninger med PCB i maling og gulvmasser er estimeret på basis af resultaterne af ENS kortlægningen, idet de fleste kortlægninger gennemført af kommuner ikke har omfattet disse materialer. Samlet indeholdt 19% (11-30%) af bygningerne maling eller gulvbelægninger med ≥ 50 mg/kg. Høje forekomster af PCB i fugemasser er hyppigere i skoler end i andre offentlige bygninger. Blandt 87 skoler spredt over hele landet, som har indgået i kommunernes screeninger, er der fundet fugemasser med høj koncentration af PCB (≥ 5.000 mg/kg, men typisk ≥ 100.000 mg/kg) i 31% af skolerne.
Private kontorejendomme	Resultaterne af undersøgelser af 36 kontorejendomme viser, at forekomsten af PCB-holdige materialer i ejendommene stort set svarer til det, som er set for offentlige ejendomme. Der blev således fundet materialer med 50 mg/kg i 36% (23-51%) af ejendommene og materialer med ≥ 5.000 mg/kg blev fundet i 17% (8%-30%).

Primære versus tertiære kilder

De primære kilder med koncentrationer over 5.000 mg/kg (hvor det rimeligt sikkert kan bestemmes, at det er primærkilder) kan opdeles i en række grupper. Der er således tre distinkte grupper af PCB i kondensatorer og tre grupper i fuger, mens maling og gulve synes at være præget af en enkelt gruppe af højtchlorerede PCB. Der er en del variation inden for de enkelte grupper, men på enkelte parametre adskiller grupperne sig og grupperer sig omkring PCB som minder om de tysk producerede tekniske blandinger Clophen A30, A40, A50 og A60. Der vil formentlig også kunne være andre typer, eksempelvis af amerikansk producerede PCB blandinger. Kondensator med PCB i den gruppe, som her benævnes A30, skiller sig markant ud fra de øvrige med højt indhold af PCB-28 og et højt indhold af summen af PCB-28 og PCB-52. For de øvrige kan der ikke entydigt peges på en enkelt kilde.

Samlet ses det, at profilerne for sekundært forurenet materiale ligger tæt på profiler i primærkilden, mens der for de tertiært forurenede er en mindre forskydning mod de lavere-chlorerede congenere. Maling, der er sekundært eller tertiært forurenet af PCB fra en fugemasse, har et helt andet kongenerprofil end maling, der er forurenet af en anden maling. Da der har været anvendt fugemasser med forskellige chloreringsgrader kan man dog ikke forvente entydigt, at kunne bestemme, om det er en fuge, som har været primær kilde, da de lavt-chlorerede PCB-profiler i fugemasser ligger tæt på de lavtchlorerede PCB-profiler i kondensatorer.

Tidsmæssig fordeling

Såvel ENS kortlægningen og kommunernes kortlægninger viser klart, at PCB-holdige fugemasser blev anvendt langt mere hyppigt i perioden 1965-1974 end i de øvrige delperioder. For malinger og gulvmasser er de periodemæssige forskelle mindre markante, hvilket meget vel kan skyldes, at disse materialer er blevet tilført bygningerne en del år efter deres opførselsår.

3.2 PCB i fugebånd og forseglingslim i termoruder

3.2.1 Baggrund

Termoruder installeret før 1980 kan indeholde PCB i den forseglingslim, der er anvendt til kantforsegling af ruderne. I Danmark blev det i 1977 forbudt at anvende lim og andre fugematerialer med PCB, men udenlandsk producerede termoruder kunne indeholde PCB frem til 1980.

Det samlede forbrug af PCB til forseglingslim i termoruder i Danmark er i en PCB udredning fra 1983 anslået til 86-100 tons (Hansen, 1983). Mængderne var primært baserede på norske tal og skønnet synes at være mere usikkert end indikeret med intervallet.

Baseret på:

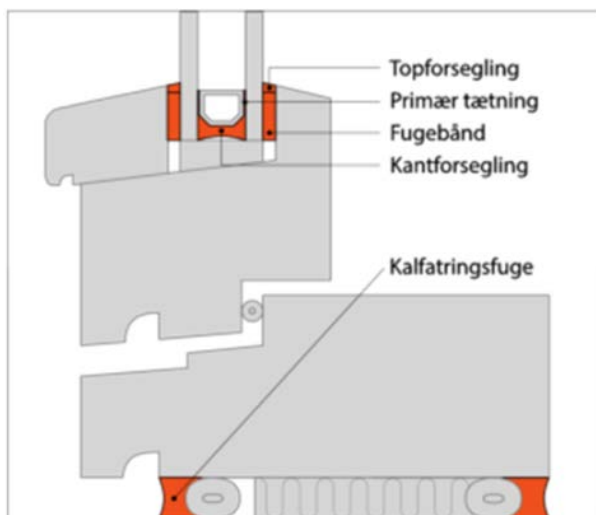
- › tal for produktionen af termoruder i perioden,
- › en antagelse om, at der blev anvendt 1,5 kg (1 liter af 1,5 kg/liter) forseglingslim pr 4-5 m²,
- › at 75% af markedet i perioden anvendte PCB i forseglingslimen og,
- › at denne indeholdt 20% PCB,

anslås det i et senere Miljøprojekt Nr. 1084, 2006, at der i alt snarere har været anvendt 200 tons PCB til termoruder i Danmark (Trap *et al.*, 2006).

Grontmij har i forbindelse med en række undersøgelser forud for denne undersøgelse for nyligt konstateret, at PCB kan optræde i såvel forseglingslimen som i de fugebånd, der ligger mellem termoruden og glaslisten på vinduesrammen. Da der var konstateret flere tilfælde, hvor PCB kun var fundet i fugebåndet, synes der at være en mulighed for, at fugebånd kunne optræde som primær kilde. Det blev derfor besluttet også at udtage prøver af fugebånd for at få belyst denne mulige PCB kilde bedre.

Nedstående viser et tværsnit af en termorude i en vinduesramme i en mur gengivet fra den nye SBI anvisning nr. 241 om undersøgelse og vurdering af PCB i bygninger (SBI, 2013). Termorudens kantforsegling (som er det der her betegnes forseglingslim), fugebånd, primær tætning, topforsegling og fugerne i muren er markeret med orange.

Mellem de to lag glas i termoruden er der et afstandsprofil af rustfrit stål eller aluminium. Under afstandsprofilet sidder den kantforsegling, som kan indeholde PCB. Vi har ikke fundet oplysninger i litteraturen om forbrug af PCB til fugebånd. Fugebåndet er ofte selvkøbende, og det er derfor meget muligt, at PCB har været til stede i klæberen til båndene, men PCB kan også have været brugt i fugebåndet for, at dette kunne bevare sin elasticitet.



3.2.2 Prøvetagning og analyse

Der er til undersøgelsen indsamlet termoruder på genbrugsstationer i de fem kommuner som indgår i undersøgelse: Ballerup, Herning, Hjørring, Holbæk, Odense. Indsamlingen er sket i perioden december 2012 til marts 2013.



På prøvetagningsstederne er termoruderne indsamlet i containere af genbrugsstationerne personale. I forbindelse med prøvetagningen, er de indsamlede termoruder blevet sorteret, og der er udtaget prøver på følgende termoruder:

- › Termoruder, hvoraf det fremgår, at de er fra PCB-perioden. I Danmark måtte PCB anvendes i termoruder indtil 1977, men udenlandsk producerede termoruder kunne indeholde PCB op til 1980. Der er ved prøvetagning derfor regnet med, at perioden, hvor der kunne være PCB tilstede i termoruderne, var 1950-1980.
- › Termoruder, som ikke kan årstalsbestemmes.
- › Termoruder, hvor det ikke specifikt fremgår, at de er PCB-frie.

I nogle tilfælde viste det sig, at personalet på stationen allerede havde foretaget en udvælgelse, hvor enkeltglasruder og termoruder, der ikke var fra perioden var frasorteret. I disse tilfælde er antallet af frasorterede ruder, groft estimeret på grundlag af personalets oplysninger.

I tilknytning til prøvetagningen er det noteret, hvor mange termoruder, der er frasorteret, fordi de ikke var fra perioden. I de tilfælde, hvor der var flere termoruder der var identiske, er der kun udtaget en prøve af én af ruderne, og det er noteret, hvor mange identiske ruder der var.

Der er udtaget prøver af 205 termoruder. Fra hver termorude er udtaget:

- › Én prøve af fugebånd mellem glas og træramme glastætningsliste.
- › Én prøve af forseglingslim mellem rude og aluminiumliste.

Metoder til analyse af PCB og bestemmelse af PCB_{total} er beskrevet i afsnit 3.1.1. Hvis andet ikke er angivet, udtrykker de angivne koncentrationer PCB_{total} .

Prøvetagning er foretaget fra juni 2012 til juni 2013. I alle kommuner har der været en entydig nedgang i indlevering af termoruder i vinteren 2012-13. I perioden november 2012 til april 2013 er der i alle kommunerne kun indleveret ganske få termoruder.

3.2.3 Resultater af undersøgelsen

Nedenstående tabel viser antallet af indleverede og analyserede vinduer. Samlet kunne det bestemmes, at 69% af de indleverede termoruder ikke var fra PCB-perioden ud fra oplysninger om produktionsår. Der var stor spredning mellem fordelingen af termoruder i de 5 kommuner, idet procentdelen varierede fra 29% til 79%. Der er ikke umiddelbart noget der tyder på, at der er forskelle mellem land- og bykommuner, men antallet af kommuner er for lille til at sige noget sikkert om dette.

Af de 34% der potentielt var fra PCB-perioden, blev der udtaget prøver af 214 ruder, mens 156 af ruderne vurderedes at være identiske med de ruder, der blev udtaget prøver af.

Tabel 21 PCB i forseglingslim og fugebånd i undersøgte termoruder.

Kommune **	Antal vinduer				
	Indleveret i prøvetagningsperioden	Ikke-PCB-perioden		Potentielt fra PCB-perioden	
		Frasorteret, ikke fra PCB-perioden	% af Indleverede	Frasorteret, identisk med de analyserede	Analyseret
Odense, bykommune	365	256	70%	37	72
Herning, landkommune	228	144	63%	50	34
Holbæk, bykommune	288*	223*	79%	29	36
Hjørring, landkommune	48*	14*	29%	0	34
Ballerup, bykommune	259*	185*	47%	40	38
I alt	1.188	822	69%	156	214

* Skønnede tal.

** Kommunerne er opdelt i landkommuner (omfattende "yderkommuner" og "landkommuner") og bykommuner (omfattende "mellemkommuner" og "bykommuner") jf. Velfærdsministeriets inddeling af de danske kommuner efter landdistriktindex (Velfærdsministeriet, 2009).

Der er udtaget og analyseret henholdsvis 210 prøver af fugebånd og 203 prøver af forseglingslim fra samlet 214 termovinduer. Resultater af analyser fremgår af nedenstående tabel. Som det fremgår, indeholdt 34% af de undersøgte ruder forseglingslim med en PCB-koncentration ≥ 50 mg/kg, mens 29% havde fugebånd, der indeholdt ≥ 50 mg/kg PCB. Niveauerne i fugebånd var dog væsentlig lavere end i forseglingslimen. Der var således 13% af prøverne af forseglingslim, der indeholdt ≥ 100.000 mg/kg, mens ingen af prøverne af fugebånd indeholdt mere end 100.000 mg/kg. Der var en sammenhæng mellem PCB i fugebånd og forseglingslim, men i to ruder var koncentrationen i fugebånd over 50 mg/kg i fugebånd, mens den var under dette niveau i forseglingslimen. Samlet var der således 35% af ruderne der indeholdt < 50 mg/kg i enten forseglingslim eller fugebånd.

Der regnes groft med, at de 156 identiske vinduer fordeler sig svarende til de 214 analyserede vinduer.

Den gennemsnitlige koncentration af alle prøver af forseglingslim var 40.500 mg/kg, mens gennemsnittet for fugebåndene var 1.800 mg/kg, dvs. mere end 20 gange mindre.

Den gennemsnitlige koncentration i forseglingslim i de 20% af ruderne, hvor koncentrationen var >5.000 mg/kg, som må formodes at være de forseglingslime, hvor PCB har haft en teknisk funktion i limen, var 207.000 mg/kg (21%). I PCB rapporten fra 1983 (Hansen, 1983) er angivet, at koncentrationen i forseglingslim typisk var 20%. Dette svarer meget godt til resultaterne fundet her, men de foreliggende resultater viser, at der også har været en udbredt forekomst af PCB ved lavere koncentrationer i forseglingslim, idet 41% af limene indeholder PCB i intervallet 0,1-5.000 mg/kg. Den gennemsnitlige koncentration af de 34% af forseglingslimene med ≥ 50 mg/kg er ca. 120.000 mg/kg.

Idet 31% af de indleverede termoruder potentielt er fra PCB-perioden, og at 34% af disse indeholder ≥ 50 mg/kg, kan det beregnes, at 11% af de afleverede vinduer havde forseglingslim med mere end 50 mg/kg. Tilsvarende kan det beregnes, at 4% af de indleverede termoruder havde forseglingslim med >100.000 mg/kg.

Af den samlede mængde PCB i forseglingslime i ruderne findes 99,6 % i de ruder, som har over 5.000 mg/kg, mens ruder med ≥ 50 mg/kg, som er grænsen for farligt affald, repræsenterer 99,99% af den samlede mængde. For fugebåndene forekommer 99,96% af PCB'en i de fugebånd, der har ≥ 50 mg/kg.

Hvis der regnes med, at der er anvendt 1,5 kg (1 liter af 1.5 kg/liter) forseglingslim pr $4-5 \text{ m}^2$ (som angivet ovenfor), vil der i de 20% af ruderne, hvor koncentrationen er ≥ 5000 mg/kg, være 63-79 g/ m^2 , mens der for de 34% med ≥ 50 mg/kg i gennemsnit vil være vil være 36-45 g/ m^2 . I en detaljeret norsk undersøgelse af PCB i termoruder fra 2004 regner man med, at der i gennemsnit er omkring 50 g PCB per m^2 termorude i forseglingslimen (Ruteretur, 2004). Der refereres, at der tidligere er regnet med 50-70 g/ m^2 , men at undersøgelser har vist, at PCB-holdige termoruder fra perioden i gennemsnit indeholdt lidt under 50 g/ m^2 . De norske undersøgelser har ikke set på PCB i fugebånd. De fundne mængder passer således meget godt til de norske erfaringer.

Til en rude på 1 m^2 vil der være ca. 8 meter fugebånd. Vægten af fugebåndene vil variere med bredden og densiteten af båndet. Den aktuelle vægt af fugebåndene er ikke bestemt. Undersøgte nye fugebånd vejer typisk i intervallet 13-37 g/m og med 8 m per m^2 vindue, giver det 90-300 g/ m^2 . Det gennemsnitlige indhold i fugebånd med mere end 50 mg/kg er 6.040 mg/kg. Det gennemsnitlige PCB-indhold pr. m^2 termorude i fugebånd med > 50 mg/kg PCB vil være 0,6-1,8 g/ m^2 . Dette kan sammenlignes med de gennemsnitlige 36-45 g/ m^2 i forseglingslimen. Der vil således i gennemsnit være omkring 20 gange mere PCB i forseglingslim end i fugebånd, men i nogle tilfælde, hvor der kun er PCB i fugebåndet, vil hovedparten naturligvis befinde sig i båndet.

Tabel 22 PCB i forseglingslim og fugebånd i undersøgte termoruder.

PCB mg/kg	Fugebånd mellem glas og træramme			Forseglingslim mellem rude og aluminium liste		
	Antal	Hyppighed	% af sam- let PCB mængde *1	Antal	Hyppighed	% af samlet PCB mængde *1
<0,1	93	44%	0%	67	32%	0%
0,1- <1	6	3%	0,001%	10	5%	0,0001%
1- <50	50	24%	0,1%	55	26%	0,01%
50- <500	7	3%	0,2%	16	8%	0,03%
500- <5.000	29	14%	18,3%	14	7%	0,3%
5000- <100.000	25	12%	81,4%	14	7%	4,7%
≥ 100.000	0	0%	0%	27	13%	95,0%
≥ 0,1	117	56%	100%	136	65%	100%
≥ 50	61	29%	99,89%	71	34%	99,99%
≥5.000	25	12%	81,4%	41	20%	99,7%
I alt	210	100%	100%	203	100%	100%

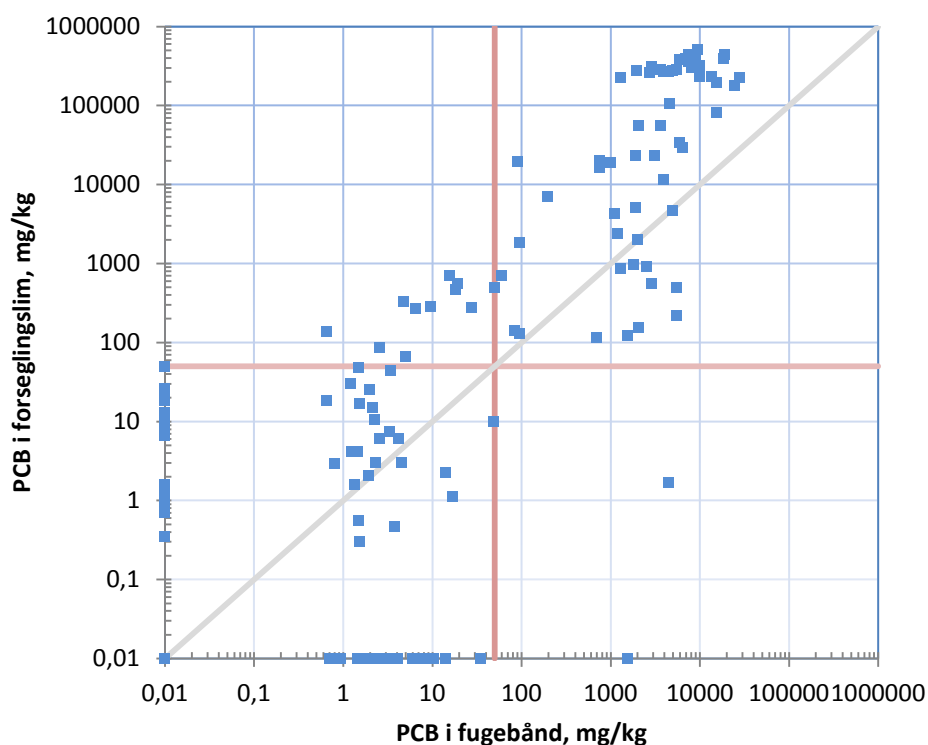
*1 Der er regnet med, at termoruderne i de enkelte intervaller i gennemsnit indeholder samme mængde forseglingslim og fugebånd.

For at undersøge om forekomsten af PCB i fugebåndene skyldes en tertiær forurening fra PCB i forseglingslimen, er der i nedenstående figur vist sammenhængen mellem PCB i forseglingslim og fugebånd i de enkelte termoruder.

Sammenhæng mellem PCB i forseglingslim og fugebånd

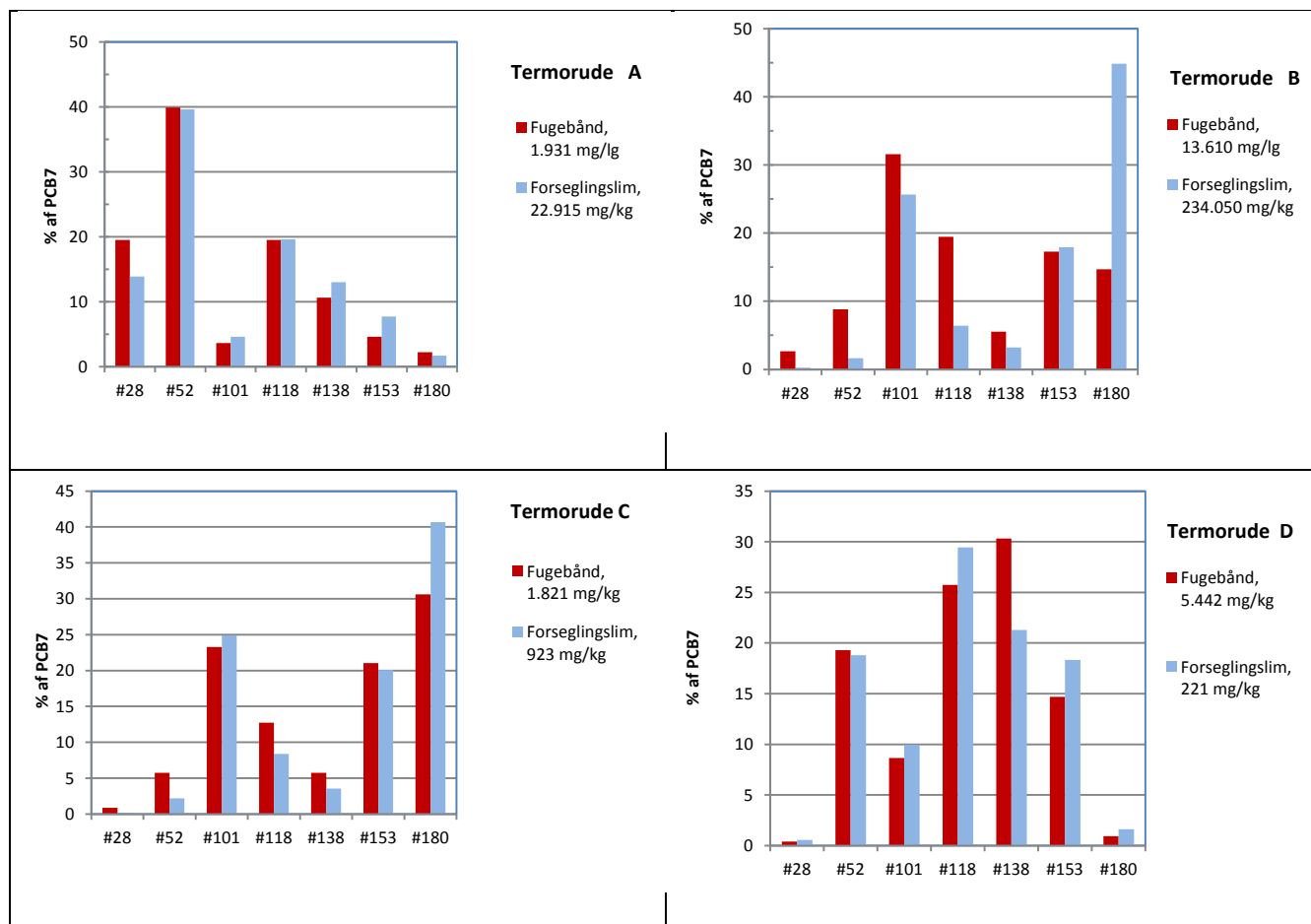
Som det ses, er der en klar sammenhæng mellem koncentrationen i fugebånd og forseglingslimen, og koncentrationen i forseglingslimen er i mange af termoruderne omkring 10 gange højere end i fugebåndene. Dette indikerer, at en væsentlig del af PCB i fugebåndene skyldes tertiær forurening fra forseglingslimen. I intervallet 50-10.000 mg/kg er der dog 10 tilfælde, hvor koncentrationen er højest i fugebåndet. Der er fundet to ruder, hvor koncentrationen i fugebåndet var over 50 mg/kg og under 50 mg/kg i forseglingslimen. Det kan teoretisk skyldes, at der tidligere har været en termorude med PCB monteret med det samme fugebånd, men man vil normalt udskifte fugebåndet sammen med termoruden. Det kan dog ikke helt afvises, at fugebåndet, der klæber til vinduesrammen ikke er udskiftet, og at der udelukkende er tale om tertiær forekomst.

Resultaterne tyder på, at PCB kan optræde som primær kilde i såvel fugebånd som forseglingslim, og at der ses en krydsforurening mellem de to materialer. Hovedparten af PCB i fugebåndene ser dog ud til at være et resultat af tertiær forurening.



Figur 15 Sammenhæng mellem PCB i forseglingslim og fugebånd. Bemærk logaritmisk skala. 50 mg/kg er markeret med røde linjer. Den grå linje er en hjælpelinje for aflæsning af figuren. Målinger under detektionsgrænsen er her angivet som 0,01 mg/kg for at kunne vises på en logaritmisk skala.

For yderligere at belyse sammenhængen mellem PCB i de to materialer er der i figur 16 vist fire eksempler på congenerprofiler. I figur 16 A og B er koncentrationen i forseglingslimen mere end 10 gange større end i fugebåndet. I de to ruder, som er fra henholdsvis Odense og Holbæk Kommune, er der anvendt forseglingslime med meget forskellig chloreringsgrad, dette afspejles i congenersammensætningen i fugebåndet. Der er i datamaterialet mange eksempler på ruder, med såvel høj som lav chloreringsgrad. Der ses i profilet for fugebåndene en svag forskydning mod de lavere-chlorerede congenerene. Forskydningen skyldes formentlig, at de lavere-chlorerede congenerer vil have en større tendens til at fordampe til luftrommet inde i vinduesrammen. I figur 16 C og D er vist to eksempler på ruder fra henholdsvis Ballerup og Herning, hvor der er fundet højere værdier i fugebåndene end i forseglingslimen. Også her ses der en klar sammenhæng mellem profilerne af de to materialer. Der er en række eksempler, hvor PCB-koncentrationen er højest i fugebåndet, og hvor congenerprofilet har maksimum midt i profilet omkring PCB-118. I det ene af de to viste eksempler er der en forskydning mod lavere-chlorerede congenerer i forseglingslimen. Profilerne indikerer, at der i nogle af fugebåndene vil være en primær forekomst af PCB, formentlig i limen som bruges til at hæfte fugebåndet til vinduesrammen.



Figur 16 Sammenhæng mellem congenersammensætning i fugebånd og forseglingslim.

3.2.4 Sammenfatning og delkonklusion

Det er påvist, at der stadig findes PCB-holdige materialer i en væsentlig del af de termoruder, der bortskaffes i dag. På basis af oplysninger om produktionsår kunne 69% af ruderne frasorteres som værende produceret uden for PCB-perioden. I de øvrige blev der fundet ≥ 50 mg/kg i forseglingslim i 34% af ruderne og ≥ 50 mg/kg i fugebånd i 29% af ruderne. Der var sammenhæng mellem forekomst af PCB i forseglingslim og fugebånd, og samlet set havde 35% af ruderne ≥ 50 mg/kg i enten fugebånd eller forseglingslim.

Den gennemsnitlige mængde PCB i ruder med ≥ 50 mg/kg kan på basis af resultaterne beregnes til 36-45 g/m² rude i forseglingslim og 0,6-1,8 g/m² i fugebånd. I 13% af ruderne var der forseglingslim med >100.000 mg/kg PCB og i disse ruder var det gennemsnitlige PCB-indhold i forseglingslimen 63-79 g/m². Tilbageværende mængder af PCB i termoruder er nærmere beskrevet i afsnit 7.1.2.

Der er påvist en klar sammenhæng mellem PCB i forseglingslim og fugebånd, der tyder på, at forekomsten i fugebåndene hovedsageligt er en tertiær forurening fra PCB i forseglingslimen (via luftrummet mellem rude og vinduesramme). Der er dog fundet 10 tilfælde med PCB-koncentrationer i fugebånd i intervallet 50-10.000 mg/kg, hvor forekomsten i fugebåndet er højest, hvilket indikerer, at PCB i fugebåndene kan være en primær kilde. Der er ikke fundet oplysninger om primær fo-

rekomst af PCB i fugebånd i rapporter fra vore nabolande eller litteraturen i det hele taget.

De fundne forekomster af PCB i forseglingslim er godt i overensstemmelse med forekomsten af PCB i termoruder i Norge.

Den sekundære og tertiære forekomst af PCB i træet i vinduesrammerne er ikke undersøgt, men det må forventes, at en del af PCB i primærkilderne er trængt ind i træet. Det er af betydning for bortskaffelsen af vinduerne, om koncentrationen i vinduesrammerne er over 50 mg/kg.

3.3 PCB i kondensatorer til lysstofarmaturer

3.3.1 Baggrund

PCB blev i Europa anvendt til fremstilling af små kondensatorer i perioden 1950 til omkring 1980. I enkelte lande kan det have forsat i længere tid. I Danmark trådte et forbud i kraft med virkning fra 1. november 1986.

Det skal bemærkes, at det oprindelige forbud, samt den gældende PCB/PCT bekendtgørelse om PCB, PCT og erstatningsstoffer herfor (BEK nr. 925 af 13/12/1998), regner med en grænse på 50 mg/kg – dvs. produkter efter lovgivningen trådte i kraft godt kan indeholde mindre end 50 mg/kg PCB f.eks. som urenheder. Indtil ikrafttræden af POP-forordningen i 2004, som ikke arbejder med en nedre grænse for PCB, har det været tilladt at sælge kondensatorer (og andre produkter) med et PCB-indhold på op til 50 mg/kg.

Kondensatorerne blev i boliger og kontorbygninger anvendt til armaturer til lysstofrør, hårde hvidevarer, ventilatorer og visse former for elektronik. Derudover blev PCB-holdige kondensatorer i et vist omfang anvendt til visse natrium- og kviksølvdamplamper. Kviksølvdamplamper er primært brugt til gadebelysning, men de er også anvendt i industrianlæg og idrætsanlæg f.eks. svømmehaller. Der blev i Danmark i udredningen fra 1983 (Hansen, 1983) anslået, at 90% af denne type kondensatorer blev anvendt i armaturer til lysstofrør. Den væsentligste tilbageværende mængde af små PCB-holdige kondensatorer formodes at være i lysstofarmaturer og andre lysarmaturer, som generelt har en længere levetid end det øvrige udstyr. Den lange levetid og et lavt strømforbrug gør, at lysstofarmaturer i høj grad genbruges, hvilket gør, at armaturer fra perioden 1950-1987, godt kan findes i bygninger af nyere dato.

Kondensatorer er rapporteret typisk at indeholde 10-30 g rent PCB, men der er tilfælde af, at de indeholder helt op til 100 g. Længden af kondensatoren er typisk 5-15 cm. De PCB-holdige kondensatorer indeholder typisk en sammenrullet metalfolie, hvor PCB blev anvendt som dielektrisk isolator opsuget i det papir, som er placeret mellem lagene af metalfolie. I mange tilfælde er rullen af metalfolie desuden omgivet af PCB væske, men i nogle kondensatorerne er PCB kun til stede opsuget i papiret. Der er også blevet anvendt andre ikke-PCB-holdige olier til formålet. Nye kondensatorer er typisk tørkondensatorer, hvor der er placeret en plastikfolie

mellem lagene af metalfolie. Indholdet i en kondensator ses på nedenstående billede, hvor metalfolierullen ses til højre. Billedet viser en typisk kondensator, som indeholder isolatoren på væskeform.



Kondensatoren sidder oftest placeret inden i armaturet til lysstofrøret, som vist på nedenstående illustration. Det kan forekomme, at der er flere kondensatorer i hvert armatur, eller at kondensatoren sidder i en enhed sammen med andet elektronik. Kondensatoren omtales som en "ballast kondensator". Der sidder også en meget lille kondensator i den såkaldte glimtænder (starter), som typisk er placeret synligt på armaturet ved siden af lysstofrøret, så den kan udskiftes. Det kan ikke helt afvises, at denne også har indeholdt en lille mængde PCB, men i de anvisninger der findes fra f.eks. Norge, Sverige, Canada og UNEP omtales glimtænderne ikke. Glimtænderen har kortere levetid end kondensatoren, og kan nemt udskiftes. Det forhold, at glimtænderen ofte har været udskiftet, gør også, at muligheden for at finde PCB i glimtænderens kondensator er begrænset.

EU kommissionen har omkring år 2.000 udarbejdet en liste med fabrikat og typenumre for kondensatorer (både for de små, som omtales her, og mellem- og højspændingskondensatorer), som vides at indeholde PCB. Listen er ikke offentliggjort, men har cirkuleret i fagkredse og kan have kunnet findes på Internettet. Listen omfatter desværre ikke fabrikater og typenumre for kondensatorer, som vides ikke at indeholde PCB.

I større anlæg, som f.eks. lysreklamer, kan kondensatorerne være placeret centralt i et tavleskab og vil formentlig have en størrelse, så de er omfattet af PCB/PCT bekendtgørelsens krav om bortskaffelse.

PCB/PCT bekendtgørelsen har krav om at transformatorer eller kondensatorer, der indeholder PCB, og som har en total vægt på 1 kg eller mere eller en effekt på mere end eller lig med 2 kVAr, skulle identificeres og bortskaffes inden år 2.000 (en tidligere bekendtgørelse stillede krav om, at de skulle tages ud af brug inden 1. januar 1995). Kondensatorer i enkelte lysstofrør, som har en totalvægt i størrelsen 100-300 g, har således ikke været omfattet af disse krav.



Historisk forbrug

En kortlægningsrapport fra 1983 (Hansen, 1983) anslår på basis af norske erfaringer det samlede akkumulerede forbrug af små PCB-holdige kondensatorer i Danmark til 8,5 mio. og med henvisning til norske data anslås 90% at være anvendt i lysstofarmaturer. Det samlede PCB forbrug i Danmark af små kondensatorer i perioden 1950-1980 er anslået til 175-325 tons. Det er ikke angivet, hvor stor en andel af kondensatorerne fra perioden, der indeholdt PCB.

I undersøgelsen refereres amerikanske undersøgelser, der viser, at der i køkkener i 10 amerikanske hjem blev målt PCB-koncentrationer på 146 til 620 ng/m³ med en gennemsnit på 296 ng/m³. Som PCB kilder angives kondensatorer i lysstofarmaturer og i elektrisk udstyr i køkkenerne. Emissionen fra kondensatorerne ansloges på baggrund af amerikanske erfaringer til 33-650 mg/år per kondensator, og de samlede udslip i Danmark fra denne kilde i 1981 estimeredes til 1-20 tons/år.

Rapporten beregner, at der i forbindelse med udbrænding af kondensatorer kan lække 10-15 g rent PCB, som ikke er opsuget i materialer (primært papir) inden i kondensatoren. Der refereres en amerikansk undersøgelse, hvor der ved udbrænding af en ballastkondensator er målt værdier på 11.600 ng/m³ den dag udbrændingen fandt sted. Efter ca. 3 mdr. var der nået en værdi svarende til den normale på 200 ng/m³. Kortlægningsrapporten antager i sine beregninger, at en gennemsnitsdansker indendørs vil udsættes for PCB-koncentrationer på 40-300 ng/m³. På den baggrund beregnes et indtag af PCB via indeluft i 1981 til 2 µg/dag/person, mens indtaget med fødevarer beregnes til 15 µg/dag/person.

Aktualitet

Problematikken omkring PCB i indeluft er således ikke ny, men har fået fornyet aktualitet. Der er fra de senere år fundet flere eksempler på, at kondensatorer i lysstofarmaturer er kilde til høje koncentrationer af PCB i indemiljøet. I undersøgelser udført af konsortiets deltagere i 2012-2013, er det dokumenteret, at der i forskellige bygningstyper kan måles PCB-koncentrationer fra 400 til 2.000 ng/m³, som stammer fra lækage i ældre kondensatorer i lysstofarmaturer.

Der er eksempler med pedeller på skoler, som har rapporteret, at der drypper olie fra lysstofarmaturer, som kan være rent PCB fra kondensatorer, der lækker fra kondensatoren i forbindelse med, at den brænder sammen. At PCB lækker fra kondensatorerne, når de brænder sammen, er illustreret i en ny amerikansk rapport, som vist nedenfor fra en rapport af Guo et al. (2011).



Figure E.7. The light ballast that burst during the emission test with electrical load

Figur 17 PCB, som lækker fra kondensator, der er brændt sammen (fra Guo et al., 2011)

Indsamling af armaturer til lysstofrør

I henhold til elektronikaffaldsbekendtgørelsen (BEK nr. 1296 af 12/12/2011) skal kondensatorer, der indeholder PCB, fjernes ved selektiv behandling af affald af elektrisk og elektronisk udstyr.

I Danmark varetager DPA-System (Dansk Producent Ansvar) de administrative opgaver, som er forbundet med miljølovgivningens regler om producentansvar for affald fra elektrisk og elektronisk udstyr og udarbejder statistik for indsamlede mængder.

Lyskildebranchens WEEE Forening (LWF) er den kollektive producentordning for lyskilder. Lyskilderne indsamles i et vist omfang sammen med armaturerne og LWF har derfor også en interesse i forhold til armaturerne.

Håndtering af brugte lysarmaturer

LWF har siden oprettelsen af Dansk Producent Ansvars indberetningssystem måttet konstatere, at den årlige mængde af indsamlede brugte lysarmaturer har været meget lav i forhold til mængden af markedsførte lysarmaturer og har derfor i 2012 fået COWI til at udarbejde en markedsundersøgelse af indsamlingen af brugte lysarmaturer i Danmark samt undersøge om lyskilderne i armaturet bliver fjernet, før armaturet bliver oparbejdet. Undersøgelsen er ikke publiceret, men LWF har givet tilladelse til, at følgende korte ekstrakt af resultaterne kan videregives:

Der har i følge statistikken fra DPA-systemet maksimalt været indsamlet 70 tons brugte lysarmaturer i et specifikt år og en lavere mængde de andre år. Dette skal ses i sammenhæng med, at der bliver solgt 2.700-3.400 tons lysarmaturer per år.

Som en del af markedsundersøgelsen har der været taget kontakt til tre forskellige aktørtyper på markedet:

1. Nedrivningsfirmaer og deres brancheorganisation Nedbrydningssektionen under Dansk Byggeri
2. Udvalgte WEEE behandlere og skrothandlere på Sjælland og i Jylland
3. Udvalgte kommuner på Sjælland og i Jylland og Kommunernes Landsforening.

Undersøgelsen har vist, at kun et enkelt af de adspurgte nedrivningsfirmaer udsorter de brugte lysarmaturer som elektronikaffald, og at de resterende firmaer udsorterer de brugte lysarmaturer som metalskrot. Firmaerne oplyste, at de brugte lyskilder (lysstofrør, elsparepærer, mv.) og andet elektronik udsorteres, inden armaturerne sendes til skrothandleren. Nedrivningsfirmaerne har oplyst, at de hovedsageligt afleverer de brugte lysarmaturer til en større landsdækkende dansk skrothandler eller til en skrothandler tæt på nedrivningspladserne. Ved en visuel inspektion foretaget af COWI på en række nedrivningspladser, blev det konstateret, at de brugte lyskilder i halvdelen af tilfældene ikke var udsorteret fra armaturerne.

De kommunale forsyningsselskaber, som er ansvarlige for driften af genbrugsstationerne, har oplyst, at i de tilfælde hvor de besøgende (borger og virksomhed) på genbrugsstationen er bekendt med reglerne for udsortering af brugte lysarmaturer, vil lysarmaturerne blive udsorteret sammen med små husholdningsapparater som elektronikaffald, ellers vil de blive udsorteret som metalaffald. Der foretages ikke nogen regelmæssig kontrol af, at lyskilder er fjernet før de afleveres i de relevante containere.

Lysarmaturer bliver i hovedparten indsamlet som jern- og metalaffald ellers som elektronikaffald. I begge tilfælde antages det, at lyskilder - i et vist omfang og såfremt de identificeres - bliver fjernet, inden armaturerne bliver skreddet eller skilt ad. De skrothandlere, som modtager armaturer som blandet jern- og metalskrot oplyser, at de foretager en visuel kontrol og fjerner eventuelle lyskilder, batterier og elektronik i det omfang, hvor disse elementer tydeligt fremgår og er lettilgængelig. Den visuelle kontrol baseres på en vurdering af, om der er mere eller mindre end 5 % vægt/vægt urenheder i det modtagne læs.

De fem genbrugsstationer, der medvirker i ENS kortlægningen, har oplyst, at lysstofarmaturerne enten ender i metalcontainerne eller i bure sammen med små husholdningsapparater. Det varierer fra genbrugsstation til genbrugsstationen, hvor meget der går de to veje – hos de fleste går hovedparten til metalcontaineren og hos to af stationerne bortskaffes alle armaturer med metalcontaineren til skrothandler. Der synes ikke at være nogen systematik i, hvilke armaturer der bortskaffes på den ene eller anden måde, det afhænger af den enkelte bruger af stationerne, hvor armaturerne placeres. Bure med husholdningsapparater bortskaffes til elektronikskrotvirksomheder herunder Averhoff A/S i Århus og DRC Miljø i Roskilde. Genbrugsstationerne har generelt ingen tal for, hvor mange armaturer der modtages, men én af stationerne anslog, at det nok kunne være omkring 10 per måned.

3.3.2 Prøvetagning og analyse

Undersøgelsen er gennemført ved at undersøge forekomsten af PCB i lysarmaturer (stor set udelukkende til lysstofrør), der blev indleveret til de følgende to elektronikskrotvirksomheder:

- Averhoff A/S, Århus, som modtager elektronikskrot fra hele landet fra både genbrugsstationer og nedbrydere.
- DCR System, Roskilde, som ligeledes modtager elektronikskrot fra hele landet fra genbrugsstationer og nedbrydere.

Hos de to elektronikskrotvirksomheder blev de modtagne armaturer samlet sammen i metalbure i perioden december 2012 til marts 2013.

Da der i løbet af prøveperioden ikke kunne indsamles tilstrækkelig mange armaturer hos de to elektronikskrotvirksomheder, blev der suppleret med armaturer, som blev fundet i forbindelse med nedbrydninger, i oplag på skoler og kontorer og andre steder. I alle tilfælde var der tale om kasserede armaturer. For ikke at få en alt for skæv vægtning af disse ekstra armaturer blev der på hver lokalitet kun udtaget 2 armaturer af hver type på lokaliteten.

De indsamlede armaturer blev sorteret af projektets prøvetagere, der delte armaturerne i følgende grupper:

- Armaturer uden kondensatorer (primært nye armaturer med HF-spoler, der ikke indeholder kondensatorer).
- Armaturer, hvor der var en indikation på kondensatoren, at den ikke indeholdt PCB eller var produceret efter 1986.
- Øvrige armaturer. Fra disse blev kondensatoren fjernet og sendt til analyse.

De udtagne kondensatorer blev sendt til analyselaboratoriet, hvor kondensatorer blev åbnet. Kondensatorer, der ikke blev sendt til laboratoriet, blev håndteret af elektronikskrotvirksomheder til videre behandling.

Fra de kondensatorer, hvor der var tilstrækkeligt olie i fri fase, blev der udtaget en olieprøve til analyse og resultatet udtrykt i mg/kg af olien. Fra de øvrige blev analysen foretaget på en prøve af metalfilmrullen, og resultatet udtrykt som mg/kg filmrulle.

Der blev hos ingen af elektronikskrotvirksomheder konstateret større partier af ens armaturer, hvilket indikerer, at armaturerne primært stammer fra private og håndværkere, der har indleveret dem til genbrugsstationer, mens større partier fra renoivering/nedrivning af institutioner, industrianlæg, kontorer mm. må bortskaffes ad andre veje f.eks. metalskrot eller genbruges.

3.3.3 Resultater af undersøgelsen

Fordeling af PCB i de indsamlede armaturer fremgår af tabel 23.

Samlet kunne 62% af armaturerne frasorteres fordi der ingen kondensator var eller der var indikation på, at kondensatoren var produceret efter 1986.

I 49% af armaturerne var der ingen kondensatorer. Nyere lysstofarmaturer benytter højfrekvens-spoler (HF-spoler) og har ingen kondensator.

På 66 af kondensatorerne (ca. 25% af alle kondensatorer) var der påtrykt et årstal der angav, at de var produceret efter 1986. Der var også påtrykt årstal på mange af kondensatorerne produceret før 1986. Kondensatorer efter 1986 og frem til 2004 indgår ikke i disse undersøgelser.

PCB-fri kondensatorer, som er fremstillet efter, at der blev opmærksomhed på PCB-problematikken i midten af 1970'erne, kan være mærket med "PCB free, "non-PCB" eller "non-PBC". Der var i alt 4 kondensatorer, der var mærket PCB-free – den ene fra 1988 indeholdt dog 115 mg/kg målt med den metode, der benyttes i denne undersøgelse, som dog ikke er helt identisk med metoden benyttet i 1980'erne til at bestemme, om koncentrationen var under de tilladte 50 mg/kg. Der er således indikation på, at kondensatorer mærket PCB-free, godt kan indeholde PCB over kriteriet for farligt affald, og at der muligvis frem til 2004, hvor POP-forordningen træder ikrafttræden, kan påvises indhold af PCB i kondensatorer over kriteriet for farligt affald.

Tabel 23 Fordeling af de undersøgte lysstofarmaturer

Indsamlings- sted	Lystofarma- turer un- dersøgt	Ikke-PCB-holdige armaturer				Potentielt PCB-holdige arma- turer	
		Ingen kon- densator	Indikation non-PCB	Kondensa- tor efter 1986	Samlet antal fra- valgte	Analyseret	Analyseret i % af under- søgte
DCR-Miljø A/S	201	64	0	43	107	94	47%
Averhoff A/S	279	190	3 *1	21	211	68	24%
Diverse	36	0	1 *1	2	2	34	94%
I alt	516	254	4 *1	66	320	196	38%
% af undersøg- te		49%	1%	13%	62%	38%	

*1 Også indeholdt i "kondensator efter 1986".

Resultaterne af analyserne af kondensatorerne fremgår af tabel 24. Resultaterne viser det samlede resultat af 63 målinger, hvor der er målt på den frie olie og 131 målinger af den samlede metalfilmrulle. Ved 2 målinger kunne PCB-koncentrationen ikke bestemmes p.g.a. interferens af kulbrinter.

Af de 38% af armaturerne, hvor der blev udtaget prøver indeholdt 23% egentlige PCB-kondensatorer, med et PCB-indhold på >100.000 mg/kg. Det svarer til, at ca. 9% af alle de undersøgte lysstofarmaturer indeholdt en kondensator med >100.000 mg/kg PCB. Der var 15 af disse kondensatorer, som med den benyttede beregningsmetode blev bestemt til mere end 1.000.000 mg/kg, hvilket skyldes, at den benyttede beregningsmetode, hvor PCB₇ ganges med en faktor 5, vil overestimere det faktiske indhold ved visse PCB typer. Der har typisk været benyttet ren PCB, som svarer til 1.000.000 mg/kg. Af de 45 kondensatorer med >100.000 mg/kg havde de 41 (91%) fri PCB omkring metalfolierullen. Af de kondensatorer, hvor der analyseres på hele folierullen, indeholdt 4 kondensatorer PCB i intervallet fra 255.000 mg/kg til 750.000 mg/kg, mens alle øvrige indeholdt mindre end 10.000 mg/kg. Dette indikerer, at PCB udgør i størrelsen 1/3 af vægten af rullerne i de egentlige PCB-kondensatorer.

Omkring 42% af de analyserede kondensatorer indeholdt ≥ 50 mg/kg PCB svarende til at omkring 16% af alle de undersøgte lysstofarmaturer havde kondensatorer med ≥ 50 mg/kg PCB.

Omkring 37% af kondensatorerne indeholdt PCB i koncentrationer i intervallet 0,1-50 mg/kg. Det har ikke været - og er stadig ikke - forbudt at sælge kondensatorer med PCB-koncentrationer i dette interval. Hvis kondensatorerne er fyldt med andre dielektriske olier med et vist chlorindhold er det meget tænkeligt, at PCB er til stede som urenheder i disse olier.

Blandt PCB-kondensatorerne var der både cylinderformede og kasseformede, omend de fleste var cylinderformede. Man kan derfor ikke udtale sig om indholdet af PCB ud fra formen af kondensatorerne.

Kondensatorerne uden PCB var langt overvejende uden fri oliephase, men der var også eksempler på, at metalfilmrullen var omgivet af en olie. Man kan altså ikke entydigt bestemme om der er PCB i kondensatoren på basis af information om, der er en fri væske i kondensatoren.

Hvis der groft regnes med, at kondensatorerne i hvert interval i gennemsnit vejer det samme (dvs. vægten af kondensatoren er uafhængig af om der er en høj eller lav PCB-koncentration) ses det, at 99,997% af al PCB vil være i kondensatorer med ≥ 50 mg/mg. Selvom der kunne være mindre forskelle i vægt og medregnet den usikkerhed, der knytter sig til, om det er olie eller hele folieruller, der er analyseret på, vil værdien stadig være større end 99,9%. Beregnet på samme måde ses det, at 99,96% af PCB'en findes i de egentlige PCB-holdige kondensatorer med mere end 100.000 mg/kg, mens de øvrige kondensatorer, hvor PCB kan forekomme som forurening, repræsenterer 0,04%.

Tabel 24 PCB i kondensatorer til lysstofarmaturer udtaget til analyse.

PCB mg/kg	Antal	Hyppighed	% af samlet PCB mængde *1
Ikke detekt. *2	2	1%	-
<0,1	41	21%	0%
0,1-<1	21	11%	0,00003%
1-<50	50	26%	0,003%
50-<500	28	14%	0,01%
500-<5000	7	4%	0,02%
5000-<100000	2	1%	0,03%
≥ 100.000	45	23%	99,93%
$\geq 0,1$	153	78%	100%
≥ 50	82	42%	99,997%
≥ 5.000	47	24%	99,96%
I alt	196	100%	100%

*1 Der er regnet med, at kondensatorerne i de enkelte intervaller i gennemsnit har samme vægt.

*2 Ikke detekteret på grund af interferens.

Der var meget stor variation i congenersammensætningen af PCB i kondensatorerne, men de kunne grupperes i tre hovedgrupper som vist i figur 7 og tabel 15 i afsnit 3.1.9. Som nævnt i afsnit 3.1.9. adskiller PCB i kondensatorerne af den type, som her betegnes kondensator A30, sig markant fra alle andre kilder. Det karakteristiske kongenerprofil kan derfor være med til at pege på om kondensatorer af denne type er primærkilder.

Producentnavne påtrykt kondensatorerne

Omkring 2/3 af kondensatorer med >100.000 mg/kg havde angivet et producentnavn: AEG, Exactor, Glamox, Louis Poulsen, Lyfa, og Philips. Heraf er i hvert fald Louis Poulsen og Glamox producenter af lysstofarmaturerne, mens kondensatorerne formentlig stammer fra andre producenter, men er blevet påtrykt producenten af armaturets navn og dennes typenummer.

Af de 6 producentnavne fremgår AEG og Philips af den liste, som er udarbejdet af EU kommissionen. Der er ingen af typenumrene på de 17 analyserede kondensatorer fra de to producenter, der kan findes på EU listen.

Resultaterne viser, at det ikke vil være nogen sikker metode at benytte udarbejdede lister til at bestemme om kondensatorerne indeholder PCB.

Det er generelt andre producentnavne der fremgår af kondensatorerne med <1 mg/kg: Producentnavnene er SND, RFT, Arcotronics, Miflex, ITT, Vossloh Schwabe, ESTA m.fl. Det vil dog være for usikkert at fastslå på dette grundlag, at kondensatorer fra disse producenter ikke indeholder PCB.

3.3.4 Sammenfatning og delkonklusion

Af 516 undersøgte lysstofarmaturer kunne 62% frasorteres, enten fordi der ikke var en kondensator (nyere typer af armaturer indeholder ikke separat kondensator), eller fordi det var påtrykt kondensatoren, at den var produceret efter 1986.

Af de udvalgte 38% af armaturerne, hvor der blev udtaget prøver, indeholdt 23% egentlige PCB-kondensatorer med et PCB-indhold på >100.000 mg/kg. Det svarer til, at ca. 9% af alle de undersøgte lysstofarmaturer indeholdt en PCB-kondensator. Der var også en vis forekomst af PCB i lavere koncentrationer, og omkring 42% af de analyserede kondensatorer indeholdt ≥ 50 mg/kg PCB svarende til at omkring 16% af alle de undersøgte lysstofarmaturer havde kondensatorer med ≥ 50 mg/kg PCB. Omkring 37% af de undersøgte kondensatorer indeholdt PCB i intervallet 0,1-50 mg/kg. Det skal bemærkes, at det indtil ikrafttræden af POP-forordningen i 2004 har været tilladt at sælge kondensatorer (og andre produkter) med et PCB-indhold på op til 50 mg/kg, og skæringsdatoen 1986 gælder ikke for disse kondensatorer. En enkelt undersøgt kondensator fra 1988 mærket som "PCB-free" indeholdt dog 115 mg/kg, og det kan meget vel være tilfældet for andre kondensatorer produceret efter 1988. Grundet forskelle i analysemetoder er det muligt at kondensatoren med 115 mg/kg på produktionstidspunktet blev analyseret til at indeholde < 50 mg/kg.

I gennemsnit indeholder kondensatorerne omkring 30 g ren PCB. Af de undersøgte egentlige PCB-kondensatorer indeholdt 91% fri fase PCB.

Tilbageværende mængder af PCB i kondensatorer er nærmere beskrevet i afsnit 7.1.3.

Der har været anvendt PCB med forskellige chloreringsgrader i kondensatorerne, men ca. halvdelen af kondensatorerne er meget lavt-chlorerede og har en andel af PCB-28, som er langt højere end de øvrige primærkilder såsom fugemasse og maling som beskrevet i afsnit 3.1.9. Dette resulterer i et karakteristisk congenermønster i indeluft og tertiært forurenede materialer, som diskuteres videre i afsnit 4.3.6.

3.4 Migration af PCB til tilstødende materialer

3.4.1 Baggrund

PCB vil fra primærkilder trænge ind i tilstødende materialer og danne grundlag for en sekundær PCB forekomst i disse materialer.

Problemstillingen er tidligere beskrevet i svenske og danske undersøgelser. En rapport fra Miljøstyrelsen fra i år indeholder et studie af den tilgængelige litteratur om indtrængningen af PCB i byggematerialer, der grænser op til PCB-holdigt fugemasse, med særlig vægt på beton og tegl (i det følgende omtalt som "litteraturstudiet") (Andersen et al., 2013).

I følge litteraturstudiet er der svenske undersøgelser, der primært omhandler udvendige fuger og viser, at der er stor variation i indtrængningen af PCB i byggematerialer. Der ses mindre indtrængning i træ sammenholdt med beton, tegl, mens der ses størst indtrængning i gasbeton. Porøsiteten af materialerne forventes at have betydning, i.e. jo mere porøst materiale, jo større indtrængning. Der foreligger ingen karakteristik af byggematerialerne i de svenske undersøgelser.

Der er desuden i litteraturstudiet udvalgt en række prøveserier af udvendig beton, tegl og gasbeton fra indsamlingen af data fra renoverings- og nedrivningssager med PCB-holdige materialer. De bearbejdede data for prøveserierne af beton og tegl viser ikke nogen entydig sammenhæng mellem koncentration af PCB i fugemasse og i den tilstødende materialeprøve. En analyse af fugekoncentrationen er derfor ikke tilstrækkeligt til at sige noget om, hvorvidt der er en kontaminering af byggematerialerne. Der ses spredning ud i større afstande fra fugen på tegl sammenlignet med beton.

Der foreligger i følge litteraturstudiet ikke nogen undersøgelser på transportmekanismen af PCB i byggematerialer. En sammenligning mellem forskellige estimater og bud på spredning tyder på, at den beregnede diffusionskoefficient fra svenske undersøgelser underestimerer indtrængningen. Det har stor betydning om indtrængning følger et eksponentielt forløb (lineært forløb i en enkeltlogaritmisk afbildning) eller følger et potensforløb (lineært forløb i en dobbeltlogaritmisk afbildning). Ved et potensforløb vil der være en større del af PCB, der trænger langt ind i materialet. I følge litteraturstudiet kan indtrængningen i beton bedst beskrives som et potensforløb, mens indtrængning i gasbeton bedst beskrives som et eksponentielt forløb.

Analyse af data fra litteraturen samt prøveserier tyder på, at man når under grænsen for farlig affald på 50 mg/kg PCB i en afstand af 5 cm fra fugen i de undersøgte materialer. Beton kan dog være en undtagelse. I forhold til den vejledende grænseværdi for genanvendelse af affald på 0,1 mg/kg PCB viser undersøgelserne for beton, at man på baggrund af de svenske tal skal ud i en afstand på 18 cm for at nå under den vejledende grænseværdi, mens man på baggrund af de prøveserier der er analyseret i litteraturstudiet og en "worst case" tilgang skal ud i en afstand af 11 cm.

For tegl er de svenske tal sammenlignelige med resultater for beton. I litteraturstudiets analyse af prøveserier med tegl og med tilgangen med udregning af "worst case" udregnes i litteraturstudiet en afstand på 46 cm fra fugen før en værdi på 0,1 mg/kg PCB forventes at være opnået. Modificeres denne udregning ud fra en argumentation om fysisk indtrængning af fugemasse i den prøve, der støder op til fugen, fås en afstand på 28 cm.

3.4.2 Prøvetagning og analyse

Da prøvetagning til migrationsmålinger er relativt destruktivt, hvis man skal undgå risiko for kontaminering af prøverne, er prøvetagning foretaget på bygninger forud for nedbrydning.

Prøvetagning er foretaget i samarbejde med tre nedbrydningsvirksomheder. Virksomhederne meldte til konsortiet, når de konstaterede PCB i en bygning, og hvilke materialer PCB var fundet i. Prøvetagning foretoges herefter af prøvetagere fra konsortiet.

Følgende materialer indgik i undersøgelsen: Beton, letbeton, tegl, mørtel, sten, blødt træ (fyrretræ), hårdtræ, dampspærre, skumbånd, facadeplade, glasvæv og finermateriale.

For hver materiale var det hensigten at udtages 4-8 borekerner/dybdesnit, som hver analyseredes i 4 forskellige afstande fra primærkilden, som var kendt.

De praktiske undersøgelser afgrænsedes til at omfatte et område i en afstand af 6 cm fra den primære kilde. Borekernerne eller pladeprøverne blev udtaget som større stykker af væg eller gulvmaterialer og blev efterfølgende sektioneret som udgangspunkt i følgende sektioner: 0-0,5 cm, 0,5-1 cm, 1-1,5 cm, 1,5-2 cm, 2-3 cm, 3-4 cm, 4-5 cm og 5-6 cm, af prøvetager på lokaliteten eller i firmaernes interne laboratorier. For at undgå at friktionsvarme kunne ændre tilstanden af PCB i prøvematerialet, blev prøveblokken sektioneret ved anvendelse af mejsel og den yderste skæreflade fra borekerne – eller pladeprøven – blev mejslet af før sektioneringen. Dermed kunne der udtages en prøve, som var så uforstyrret som mulig. Det blev vurderet, at udboring af stov ikke kunne hindre friktionsvarme i at ændre på materialeprøverne, hvorfor denne metode ikke er anvendt. Metoden er beskrevet i SBI anvisning nr. 241, men ved udtagning af disse prøver vurderedes risikoen for ændring af materialeprøvernes indhold af PCB at være for stor, hvorfor manuel neddeling af prøverne med mejsel blev valgt.

Laboratorieanalyser blev foretaget på sektionerne 0-0,5 cm, 0,5-1 cm, 1-1,5 cm og 5-6 cm. De øvrige sektioner er gemt og kan analyseres i det omfang det vurderes, at der er behov for det.

For pladematerialer blev der udtaget prøver fra alle tilgængelige materialer i en afstand af 15-30 cm fra primærkilden. Der foretoges ikke analyser af alle indsamlede materialer, men de indsamledes med henblik på muligheden for eventuelt at udtage og analysere supplerende prøver.

For at opnå entydige analyseresultater anvendtes udelukkende enkeltprøver ved udvælgelse af materialeprøver.

Fugen (primærkilden) blev fjernet helt så der ikke var fugerester, der kunne kontaminere borekernen eller pladestykket (væg eller gulv), ved at der trækkes fugerester med ved udtagning af boreprøven/pladeprøven.

Prøver til migrationsanalyser udtoges i det omfang det var muligt med en vinkelsliber, et kernebor eller en multicutter. I særlige situationer var det dog nødvendigt at anvende specialværktøj, men det blev i de tilfælde sikret, at prøverne udtoges på en måde der muliggjorde præcis sekventering. Borekerner/snit sektioneredes på lokaliteten. Samtidigt blev den bedst mulige metode valgt, som sikrede, at skæreflader mellem beton og klinge ikke overstiger 80°C. Dette af hensyn til at hindre spredning af den PCB, som var migreret ind i materialeprøven. Friktionsvarme hindres bedst ved udtagning af en stor prøve, med efter følgende neddeling ved brug af mejsel og udtagning af prøven fra den indre del af materialeprøven for at hindre spredning af PCB i materialet og dermed ændring af prøvematerialet. Se i øvrigt beskrivelse af analysemetoder i afsnit 3.1.1.

3.4.3 Resultater af undersøgelsen

Resultater af undersøgelsen er beskrevet i det følgende afsnit.

Målingerne er foretaget på udsnit eksempelvis i intervallet 0-0,5 cm afstand fra primærkilden. Gennemsnitsværdien i dette interval er i figurerne og ved beregningerne repræsenteret som en enkeltværdi i en afstand af 0,15 cm. Der er ikke benyttet middelfastheden, da der er tale om kraftigt faldende koncentrationer, og den fundne middelkoncentration repræsenterer derfor bedre afstanden 0,15 cm fra kilden end middelfastheden 0,25 cm. Den bedste værdi vil afhænge af det aktuelle fald i koncentrationen (som igen afhænger af, hvilken afstand der fastsættes), men der er for enkeltheds skyld - og for bedre at kunne sammenligne mellem måleserierne - valgt at benytte afstandene 0,15 cm, 0,65 cm, 1,15 cm og 5,3 cm. Den efterfølgende modellering viser, at dette passer rimeligt godt med de fleste af serierne.

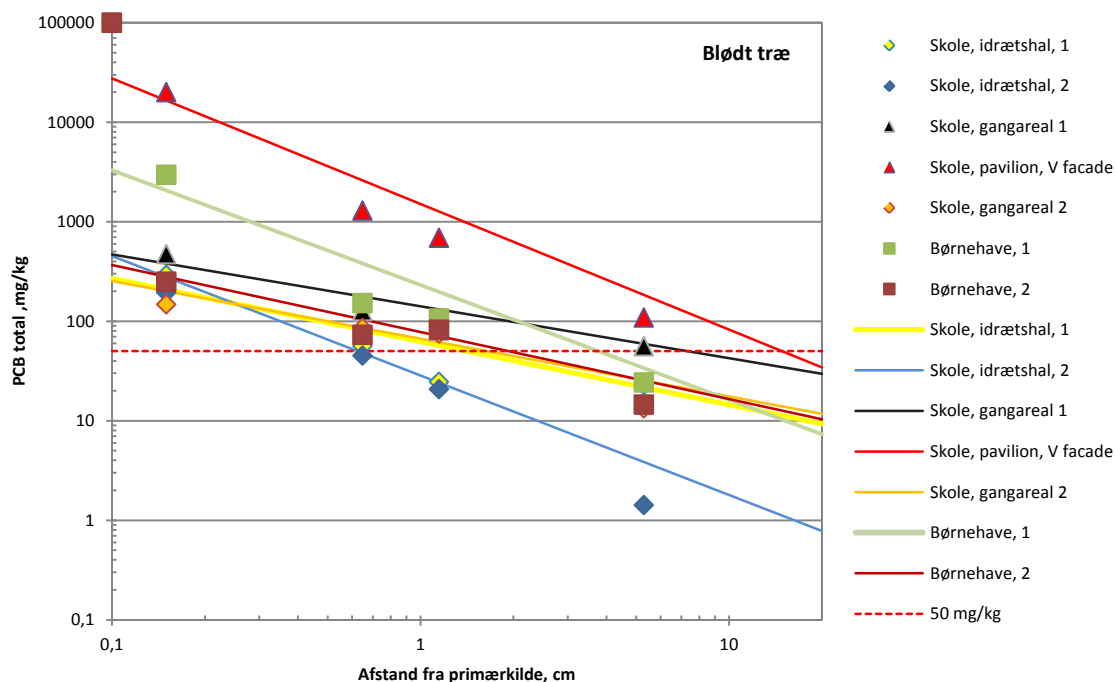
Fyrretræ

Syv måleserier af indtrængning af PCB i karme af fyrretræ fra en PCB-holdig fuge ses i figur 18. I en enkelt måleserie var resultaterne under detektionsgrænsen og disse resultater indgår ikke i figuren. Resultaterne er vist med logaritmiske x- og y-akser. I lighed med resultaterne for gasbeton nævnt ovenfor synes faldet at følge et potensforløb (med et lineært fald på en dobbeltlogaritmisk skala) fremfor et eksponentielt forløb.

I de 7 måleserier fra henholdsvis en skole og en børnehave ses meget varierende indtrængning i vinduesrammen af PCB fra primærkilden.

Koncentrationerne i primærkilden, som er fugemasse, varierede fra 55.000 mg/kg til 200.000 mg/kg med både højeste og laveste værdi målt i fugemasse fra skolen. Der er i figuren udeladt en enkelt måleserie, hvor der er fundet en meget lille værdi i afstanden 0-0,5 cm (0,15 cm på figuren), som ligner en fejl. Der ses meget store

forskelle i indtrængning i træet. Koncentrationen i en afstand af 0-0,5 cm (0,15 cm) fra kilden varierer fra 200 til 20.000 mg/kg. De store forskelle, som ses i de første 0,5 cm, skyldes formentlig forskelle i indtrængningen af selve fugemassen i træet som f.eks. vil være afhængig af, om der er små revner i træet. Herefter er hældningen på kurverne langt mere ensartede. Der er en tendens til, at de grupperer sig omkring to forskellige hældninger, men det kan meget vel være tilfældigt, og der er ikke umiddelbart nogen sammenhæng mellem hældningerne, og hvor målingerne er foretaget. I en afstand af 5-6 cm fra primærkilden er koncentrationen stadig mere end 50 mg/kg i to af prøveserierne, mens den for de øvrige er 1 til 30 mg/kg. I denne afstand varierer koncentrationen i målingerne af træ fra den samme skole fra 2 til 190 mg/kg. På figuren er indtegnet regressionslinjer beregnet på de dobbeltlogaritmisk transformerede data. Med de benyttede regressionslinjer kan det beregnes, at koncentrationen vil være under 50 mg/kg i en afstand af 10 cm fra primærkilden i alle måleserier. Det kan ligeledes beregnes, at koncentrationen i træet i en afstand på 20 cm fra kilden stadig vil være mellem 0,3 og 30 mg/kg. Da der er tale om vindueskarme er det naturligvis af teoretisk betydning, hvad koncentrationen er i en afstand af 20 cm, men resultaterne kan indikere, at der eksempelvis i træplader vil kunne forventes en meget dyb indtrængning af PCB i materialer, der har kontakt med primærkilden.



Figur 18

Målinger af PCB indtrængning i fyrretræ fra skole og børnehave. Koncentrationen i primærkilden (fugemasse) er vist som et målepunkt i 0,1cm og indgår ikke ved beregning af regressionslinjer. Indtegnede linjer er baseret på lineær regression på de logaritmisk transformerede data.

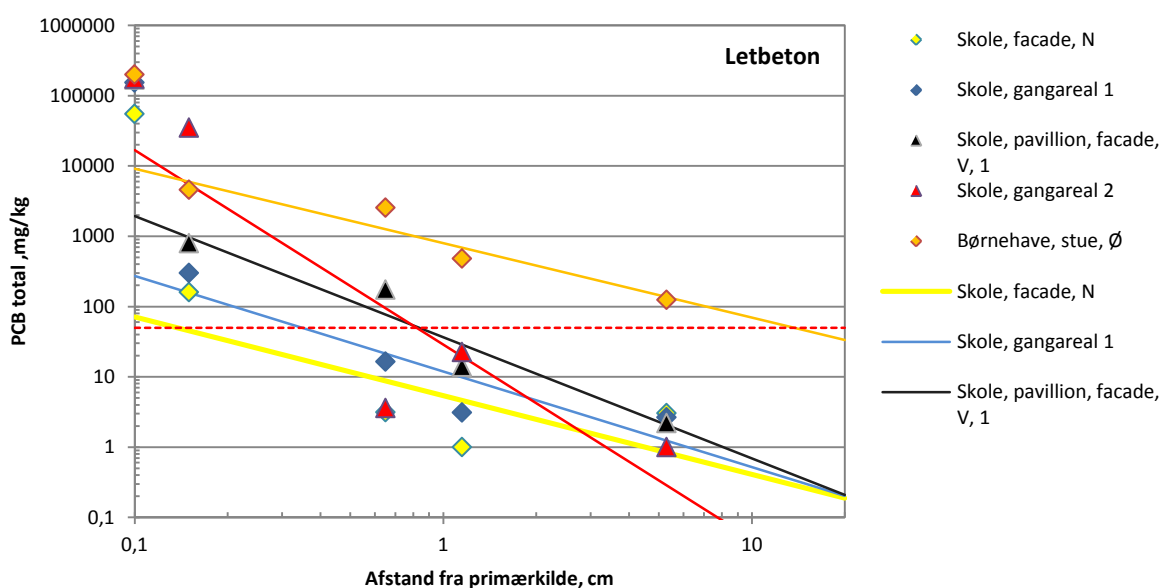
Letbeton

Tilsvarende data for indtrængning i letbeton er vist i figur 19. Tre måleserier, hvor resultaterne er under detektionsgrænsen, indgår ikke i figuren. Også for dette materiale kan indtrængning bedre beskrives som et potensforløb end et eksponentielt

forløb. Sammenlignet med dataene for træ er der større udsving i de enkelte måleserier, hvilket kan skyldes materialets uens og porøse karakter.

I lighed med resultaterne vist i litteraturstudiet er der meget stor indtrængning i letbetonen, og en ekstrapolation af regressionslinjerne viser, at i 4 ud af 5 måleserier er koncentrationen stadig over 0,1 mg/kg i en afstand af 20 cm fra primærkilden og i en enkelt af serierne er koncentrationen stadig på ca. 20 mg/kg i denne afstand. Som det ses i måleserierne i træ er der også i letbeton meget stor variation i indtrængningen, og målingerne i 0-0,5 cm (angivet som 0,15 cm) varierer fra 160 til 35.000 mg/kg. Forskelle skyldes formentlig forskelle i indtrængning af selve fugematerialet i letbetonen. Herefter følger de fire af serierne stort set samme forløb, hvilket indikerer, at PCB'en - fra en afstand af 0,5 cm fra primærkilden og videre - vil udbredes ved den samme mekanisme i materialet. I 4 ud af 5 måleserier er koncentrationen under 50 mg/kg i en afstand af 1,5 cm. I den sidste måleserie skal man helt ud i en afstand af 12 cm før koncentrationen er under 50 mg/kg.

En enkelt af måleserierne har markant højere fald som beror på en enkelt høj værdi i 0,25 cm.



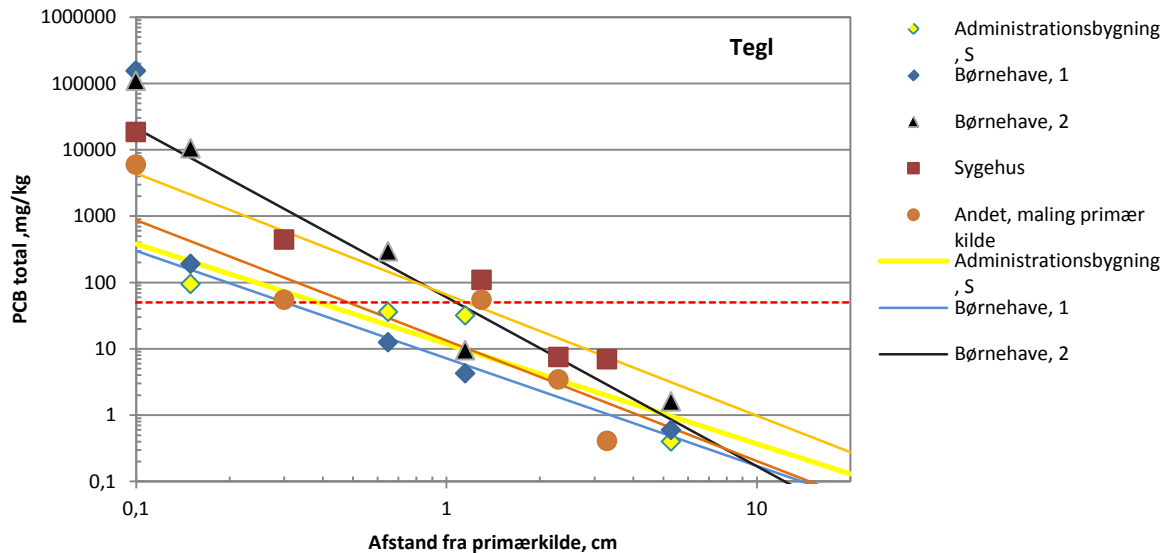
Figur 19 Målinger af PCB indtrængning i letbeton fra skole og børnehave. Koncentrationen i primærkilden (fugemasse) er vist som et målepunkt i 0,1cm og indgår ikke ved beregning af regressionslinjer. Indtegnede linjer er baseret på lineær regression på de logaritmisk transformerede data.

Tegl

Resultaterne for tegl er vist i figur 20. Tre måleserier, hvor resultaterne er under detektionsgrænsen, indgår ikke i figuren. For de fleste af måleserierne er indtrængningen i tegl lidt mindre end indtrængningen fundet i letbeton, med undtagelse af den ene måleserie i letbeton, som havde markant større indtrængning (som afhænger af en enkelt høj værdi i 0-0,5 cm). I alle måleserier vil koncentrationen være under 50 mg/kg i en afstand af 2 cm fra kilden. For to af måleserierne er koncentrationen stadig over 0,1 mg/kg i en afstand af 10 cm fra kilden. Resultaterne svarer

godt til de resultater, der er vist i litteraturstudiet, hvor der dog er vist en enkelt måleserie ned betydelig større indtrængning, som skyldes en høj koncentration i 0,5 cm.

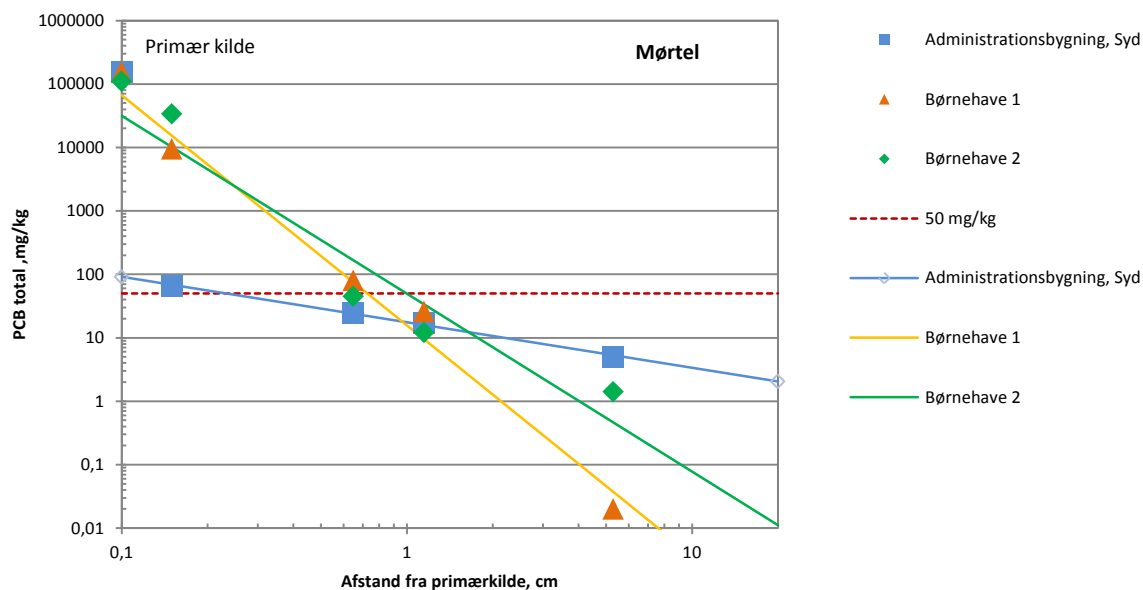
I én af prøverne er primærkilden maling. Regressionslinjen ligger inden for variationen i regressionslinjerne for måleserierne, hvor kilden er fugemasse.



Figur 20 Målinger af PCB indtrængning i tegl i fire forskellige bygninger. Koncentrationen i primærkilden er vist som et målepunkt i 0,1 cm og indgår ikke ved beregning af regressionslinjer. Hvis andet ikke er angivet er primærkilden fugemasse. Primærkilde for "Administrationsbygning; S" er 155.000 mg/kg og gemmer sig bag markeringen for "Sygehus". Indtegnede linjer er baseret på lineær regression på de logaritmisk transformerede data.

Mørtel

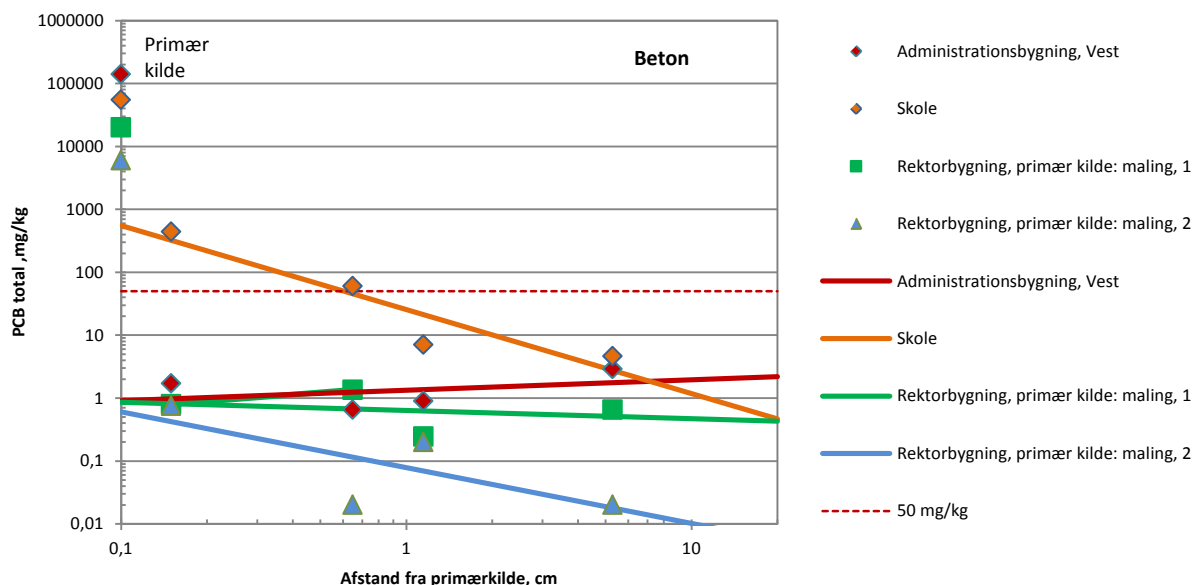
Tre profiler af PCB i mørtel vist i figur 21, har hældninger af samme størrelsesorden, som er set i letbeton og tegl.



Figur 21 Målinger af PCB indtrængning i mørtel fra 2 forskellige bygninger. Koncentrationen i primærkilden (fugemasse) er vist som et målepunkt i 0,1cm og indgår ikke ved beregning af regressionslinjer. Indtegnede linjer er baseret på lineær regression på de logaritmisk transformerede data.

Beton

Resultaterne for beton er væsentligt anderledes end de måleserier, der vises i litteraturstudiet, og der er kun en enkelt af måleserierne, der viser et forløb tilsvarende de forløb, der er præsenteret i litteraturstudiet. To af måleserierne er i denne undersøgelse taget ud fra maling som primærkilde. I begge måleserier er de målte koncentrationer i den underliggende beton i alle dybder på under 1,3 mg/kg, på trods af at de to malinger havde koncentrationer på henholdsvis 20.000 og 6.000 mg/kg. Det er et noget anderledes resultat end fundet for tegl vist ovenfor, hvor indtrængningen mere svarer til det forløb, som ses når primærkilden er en fuge. Da der kun forligger to måleserier er materialet dog for beskedent til, at det kan konkluderes, at PCB ikke i nævneværdig grad vil migrere fra maling til beton.



Figur 22 Målinger af PCB indtrængning i andre beton fra forskellige bygninger og med forskellige primærkilder. Koncentrationen i primærkilden er vist som et målepunkt i 0,1cm og indgår ikke ved beregning af regressionslinjer. Hvis andet ikke er angivet, er primærkilden fugemasse. Indtegnede linjer er baseret på lineær regression på de logaritmisk transformerede data.

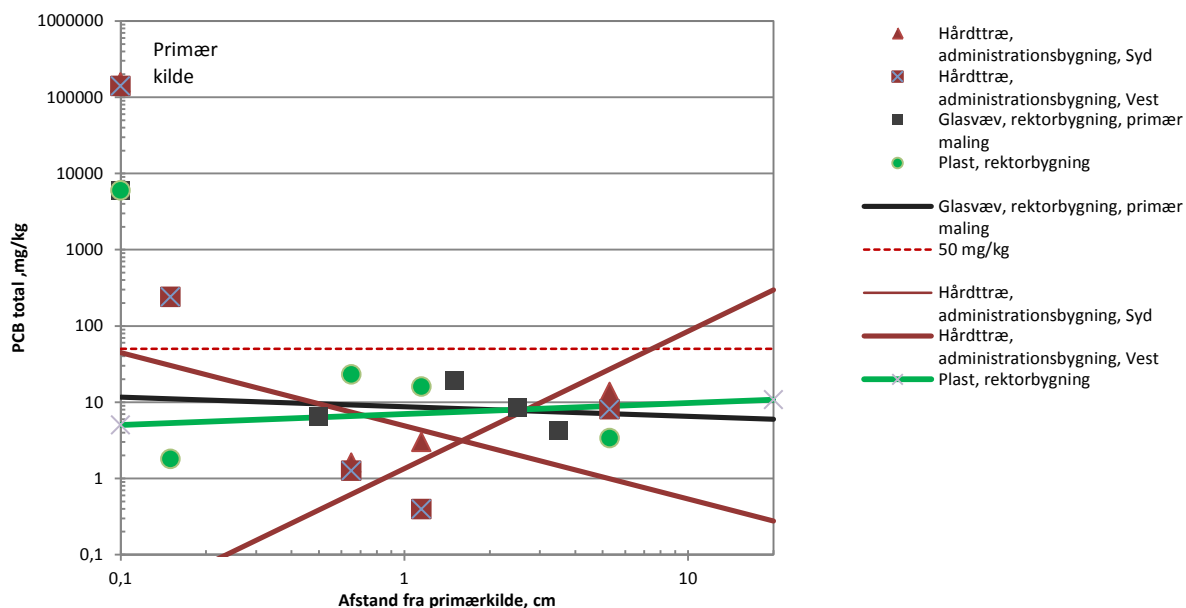
Øvrige materialer

Resultater for andre materialer, hvor der af forskellige årsager kun er opnået færre måleserier fremgår af nedenstående figur.

I glasvæv, som støder op mod PCB-holdigt maling, ses ligeledes ikke noget fald med afstanden, hvilket meget vel kan skyldes, at glasvævet i stedet er tertiært kontamineret via indeluften i bygningen. Igen er materialet for beskedent til, at der kan drages konklusioner.

Hårdtræsprøverne udviser både stigende og faldende koncentrationer med afstanden fra kilden, og det er på grund af det beskedne antal målinger ikke muligt at drage nogle konklusioner.

Der er udover de viste målinger foretaget en række målinger i dampspærre, facadeplade, finermateriale, isolering (glasuld), maling (ud fra fuge), spånplade og sten, som ikke er vist – enten fordi primærkilden har haft så lav en koncentration, at alle målinger er under detektionsgrænsen, eller fordi der af andre grunde ikke var opnået en samlet måleserie.



Figur 23 Målinger af PCB indtrængning i andre materialer fra forskellige bygninger og med forskellige primærkilder. Koncentrationen i primærkilden er vist som et målepunkt i 0,1cm og indgår ikke ved beregning af regressionslinjer. Hvis andet ikke er angivet, er primærkilden fugemasse. Indtegnede linjer er baseret på lineær regression på de logaritmisk transformerede data.

Statistiske forskelle mellem materialer

Samstemmende for alle materialer er PCB-koncentrationen mindre end 50 mg/kg i en afstand af 2 cm fra primærkilden. Ligeledes er der mange af regressionslinjerne, der viser, at PCB-koncentrationen stadig er over 0,1 mg/kg i en afstand af 20 cm fra primærkilden.

Det er med en statistisk analyse undersøgt, om der er signifikante forskelle mellem de fundne diffusionskoefficienter. Diffusionskoefficienten kan beregnes som hældningen på regressionslinjerne på de dobbeltlogaritmiske afbildninger. Analysen er kun foretaget for de materialer, hvor der er et større antal målinger: Letbeton, tegl og træ.

Det er ved analysen først undersøgt, om der kan anvendes samme koefficient for alle måleserier for hvert materiale. Det er for de tre materialer vist, at forskelle i koefficienterne for det enkelte materiale ikke er signifikante. Til gengæld er forskellene mellem materialerne signifikante med følgende gennemsnitskoefficienter angivet med standardfejl (standard error) i parentes:

- Letbeton: -1,37 (0,21)
- Tegl: -1,87 (0,27)
- Træ: -0,99 (0,19)

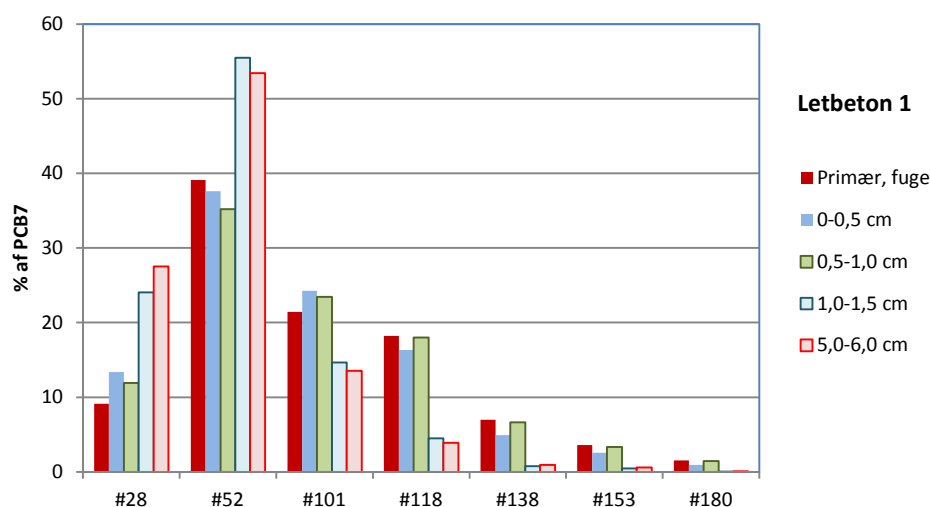
Det er med en statistisk analyse vist, at der er signifikante forskelle mellem diffusionskoefficienterne for de tre materialer (detaljer ikke beskrevet her).

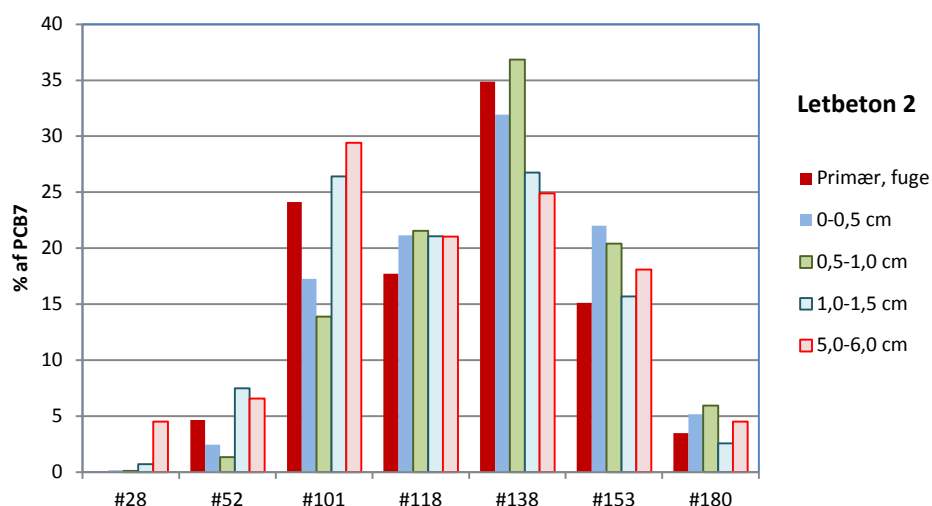
Materialeindtrængning i forhold til diffusion

Såvel resultaterne vist her som resultater i litteraturstudiet viser, at der i enkelte tilfælde er trængt fugemasse (primærkilde) ind i sprækker i det tilstødende materiale, og dette har stor indflydelse på, hvor dybt PCB trænger ind i det tilstødende materiale. Variationen på indtrængningsdybde for det enkelte materiale synes således mere at afhænge af forskelle i indtrængning i den første halve centimeter end forskelle i diffusionskoefficienter.

Congenerspecifikke forskelle i indtrængning

Der er ikke noget i datamaterialet, der tyder på, at der er væsentlige congenerspecifikke forskelle i indtrængning af PCB i materialerne. Congenersammensætningerne i de tilstødende materialer er klart en afspejling af sammensætningen i primærmaterialerne, som illustreret med nedenstående to figurer af to afstandsprofiler i letbeton. De to fuger, som fungerer som primærkilde, var henholdsvis lavt-chloreret og højt-chloreret og dette afspejler sig i alle prøverne i de tilstødende materialer. Resultaterne giver også en klar indikation på, at de fundne værdier i 5-6 cm faktisk stammer fra denne primærkilde og ikke f.eks. skyldes en tertiær forekomst, da profilerne er stort set identiske med profilerne i 1-1,5 cm afstand. Det vurderes, at der efter al sandsynlighed ikke er tale om en kontamination ved prøvetagning, da der ved prøvetagning er taget alle forholdsregler til at undgå kontaminering af prøverne.





Figur 24 Congenersammensætning som funktion af afstanden til primærkilde (fuge) i to prøver af letbeton med forskellig primær kilde.

3.4.4 PCB mængder i sekundært forurenede materialer

I tabel 25 er for hver prøveserie angivet følgende:

- › Regressionslinjerne beregnet på de dobbeltlogaritmisk transformerede data.
- › Afstand fra fuge, hvor den beregnede koncentration i tilstødende materiale er henholdsvis 50 mg/kg, 1 mg/kg og 0,1 mg/kg.
- › Mængde af tilstødende materiale, som skal bortskæres pr. løbende meter fuge for at fjerne materiale med henh. ≥ 50 mg/kg, 1-50 mg/kg og 0,1-1 mg/kg.
- › Mængder af PCB i de forskellige fraktioner af det bortskårne materiale.
- › Mængde af PCB i fugen. Der er regnet med, at fugen er 1 cm dyb, 1 cm bred og har en massefylde på $1,6 \text{ g/cm}^3$.

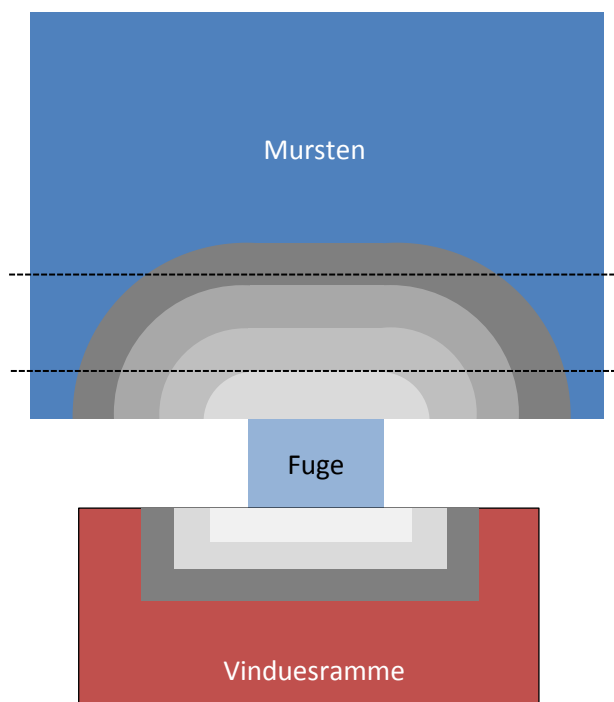
Der er ved beregning af mængde af tilstødende materiale, som skal bortskæres pr. løbende meter fuge, regnet med, at fugen har en dybde på 1 cm og det tilstødende materiale har en tykkelse på 12 cm (svarende til en mursten). Snittet lægges således, at det er parallelt med den flade, der vender mod fugen, og koncentrationen er henh. 50 mg/kg, 1 mg/kg og 0,1 mg/kg i det punkt i snittet der ligger tættest på fugen (ud for fugen). Se nedenstående tegning. Flere af materialerne vil have andre tykkelser end 12 cm, men der er her forenklet regnet med, at alle materialer har samme tykkelse.

PCB vil udbrede sig fra fugen ind i det tilstødende materiale som illustreret på murstenen på tegningen. Hvis der tages et snit i en afstand af fugen på eksempelvis 0,5 cm fra fugen, hvor koncentrationen umiddelbart ud for fugen er 50 mg/kg, vil

der være dele af snittet, som er længere væk fra fugen, og disse dele vil derfor have lavere koncentration.

Ved beregning af mængde af PCB i det bortskårne materiale er der lidt forenklet regnet med en kassemodel, som er illustreret på trærammen og beregnet med en numerisk løsning opdelt i udsnit af 0,05 cm (dvs. at materialet for hver cm er opdelt i 20 sektioner). I materialer med meget dyb indtrængning er der for afstande over 5,5 cm, anvendt udsnit af 2 mm ved beregningen.

Ved beregning af samlede PCB mængder er de beregnede regressionslinjer benyttet. Der er ved beregningerne set bort fra de nærmeste 0,05 cm ind mod kilden, idet flere af kurverne, når man nærmer sig afstanden 0 cm, giver værdier langt over koncentrationen i primærkilden. Ved at se bort fra de første 0,05 cm, var de beregnede gennemsnitskoncentrationer i intervallet 0-0,5 cm af samme størrelse som det målte gennemsnit i 0-0,5 cm (nogle gange højere, andre gange lavere afhængig af regressionslinjens forløb i forhold til det første målepunkt).



Som det fremgår af nedenstående tabel, er der inden for de enkelte materialer meget stor variation, som det også er illustreret i de foregående figurer. Diskussionen vil her fokusere på malingerne i tegl, letbeton og fyrretræ.

Det forhold, at prøverne ikke kan regnes at have samme repræsentativitet (eksempelvis 4 letbeton-serier fra en skole og én serie fra en børnehave, der er væsentlig anderledes), gør, at det vurderes, at simple middelværdier af alle måleserier ikke er repræsentative, og der er derfor ikke foretaget beregninger på basis af middelværdier.

For tegl ses det, at afstanden fra primærkilden, hvor koncentrationen når 50 mg/kg, varierer fra 0,3 til 1,2 cm, mens koncentrationen 0,1 mg/kg nås i 12-35 centimeters

afstand fra primærkilden. I letbeton er der en enkelt måleserie fra en børnehave, hvor de 50 mg/kg først nås i 14 centimeters dybde, mens afstanden for de øvrige måleserier, som er udtaget på en skole, varierer mellem 0,1 og 0,8 cm. For de 4 måleserier fra skolen nås 0,1 mg/kg i en afstand af 7-35 cm fra primærkilden. I fyrretræ skal man ud i en afstand af 0,6-12 cm fra kilden inden koncentrationen er nede på 50 mg/kg, mens 0,1 mg/kg nås i flere meters afstand. Det skal dog siges, at det er meget usikkert at ekstrapolere ud til flere meters afstand ud fra målinger inden for de første 6 cm. I praksis betyder det, at man ikke kan regne med, at koncentrationen er under 0,1 mg/kg i tilstødende træ.

I højre del af tabellen er angivet materialemængder og mængder PCB i henholdsvis m³ og mg pr. løbende meter fuge.

Beregninger af materialemængder, der skal fjernes, hvis der foretages snit parallelt med fladen ind mod fugen, viser, at der typisk skal fjernes 5-10 gange så store mængder materiale, hvis man skal fjernes ned til 0,1 mg/kg sammenlignet med at fjerne ned til 50 mg/kg. Bemærk, at forskelle i materialemængder ikke er så udtalte som forskelle i indtrængning, hvilket hænger sammen med, at snittene lægges parallelt med fugen, hvorved der fjernes store mængder materialer med mindre koncentrationer, end den koncentration, der har været udslagsgivende for, at snittet er lagt netop der, hvor det er. I en del serier er forskellen væsentlig større.

Hvis man ser på, hvor meget PCB der er i de tilstødende materialer sammenlignet med primærkilden, ses meget store forskelle, som er helt afhængigt af, hvor meget af primærkilden der er trængt ind i denne den nærmeste del af materialet. I mange af måleserierne er mængderne i tilstødende materialer i størrelsen 0,2-2% af PCB mængden i primærmaterialer, men enkelte af serierne skiller sig ud med 10-20% i de tilstødende materialer. Dette gælder både for tegl, letbeton og træ.

I alle profiler svarer PCB-mængden i udsnittet, som dækker intervallet 0,1-1 mg/kg, til mindre end 0,5% af PCB-mængden i primærkilden. For alle tre materialer er der en enkelt af måleserierne, hvor mængden i udsnittet 1-50 mg/kg svarer til ca. 4% af primærkilden, mens de øvrige ligger i intervallet 0,1-2% af primærkilden.

Tabel 25 Afstand fra fuge, materialemængder og PCB mængder ved forskellige snit.(for profiler, der ikke antages at vise en reelt indtrængning i materialerne, er værdierne ikke beregnet).

Prøve	Regressionslinje	Afstand fra fuge (cm)			Mængde PCB (mg /m fuge) ved snit i afstand fra fuge svarende til:				Mængde PCB (mg /m fuge) ved snit i afstand fra fuge svarende til:			PCB i fuge (mg/m)	Sekundær i % af fuge
		50 mg/kg	1 mg/kg	0,1 mg/kg	≥50 mg/kg	1-50 mg/kg	0,1-1 mg/kg	>0,1 mg/kg	≥50 mg/kg	1-50 mg/kg	0,1-1 mg/kg		
Administrationsbygning, S	$y = -1,509x + 1,075$	0,4	5,2	23,7	0,05	0,09	0,62	0,75	31	32	12	24.800	0,3%
Børnehave, 1	$y = -1,62x + 0,854$	0,3	3,4	13,9	0,04	0,06	0,40	0,50	22	16	8	24.800	0,2%
Børnehave, 2	$y = -2,55x + 1,774$	1,1	5,0	12,2	0,13	0,08	0,60	0,81	1.790	45	9	17.600	10,5%
Sygehus	$y = -1,828x + 1,818$	1,2	9,9	34,8	0,14	0,12	1,18	1,44	368	111	16	2.960	16,7%
Andet, primær kilde: maling	$y = -1,817x + 1,122$	0,5	4,1	14,7	0,06	0,07	0,50	0,63	65	26	9	Maling	Maling
Gennemsnits-koefficient	-1,88												
Letbeton													
Skole, facade, N	$y = -1,121x + 0,733$	0,1	4,5	35,1	0,02	0,08	0,54	0,64	4	5	8	8.800	0,2%
Skole, gangareal 1	$y = -1,360x + 1,075$	0,3	6,2	33,6	0,04	0,09	0,74	0,88	7	15	7	27.200	0,1%
Skole, pavillon, facade, V, 1	$y = -1,724x + 1,561$	0,8	8,0	30,6	0,10	0,11	0,97	1,17	59	30	6	28.000	0,3%
Skole, gangareal 2	$y = -2,767x + 1,457$	0,8	3,4	7,7	0,10	0,06	0,40	0,56	591	9	2	32.000	1,9%
Børnehave, stue, Ø	$y = -1,061x + 2,902$	13,6	544	4764	1,63	0,33	65,25	67,21	2.521	652	i.b.	15.200	20,9%
Gennemsnits-koefficient	-1,61												
Blødt træ													
Skole, idrætshal, 1	$y = -0,81x + 1,503$	0,6	72	1.235	0,07	0,22	8,62	8,92	8	129	26	8.800	1,8%
Skole, idrætshal, 2	$y = -1,601x + 1,587$	0,9	10	41	0,10	0,12	1,18	1,40	36	26	6	24.800	0,3%
Skole, gangareal 1	$y = -0,671x + 2,354$	9,5	3211	99.076	1,14	0,42	385,28	386,84	514	1.153	i.b.	27.200	6,1%
Skole, pavillon, V facade	$y = -1,645x + 3,359$	10,2	110	446	1,22	0,24	13,20	14,67	3.727	369	8	28.000	14,7%
Skole, gangareal 2	$y = -0,783x + 2,096$	3,2	477	9.048	0,39	0,32	57,27	57,98	109	568	i.b.	32.000	2,1%
Børnehave, 1	$y = -1,493x + 2,497$	3,4	47	220	0,41	0,20	5,65	6,27	362	174	22	24.800	2,2%
Børnehave, 2	$y = -0,892x + 1,9$	1,7	134	1.775	0,20	0,26	16,14	16,59	41	287	i.b.	17.600	1,9%

[illegible]

3.4.5 Sammenfatning og delkonklusion

Potensforløb vs. eksponentielt forløb

Indtrængning af PCB er tidligere beskrevet i svenske og danske undersøgelser. Et litteraturstudie publiceret af Miljøstyrelsen i år diskuterer, hvorledes indtrængningen af PCB fra en primær kilde til tilstødende materialer bedst beskrives. Det har stor betydning om indtrængning følger et eksponentielt forløb (lineært forløb i en enkeltlogaritmisk afbildning) eller følger et potensforløb (lineært forløb i en dobbeltlogaritmisk afbildning). Ved et potensforløb vil der være en større del af PCB, der trænger langt ind i materialet. I følge litteraturstudiet kan indtrængningen i beton bedst beskrives som et potensforløb, mens indtrængning i gasbeton bedst beskrives som et eksponentielt forløb.

Resultaterne af denne undersøgelse viser, at indtrængning i fyrretræ, letbeton og tegl bedst beskrives med et potensforløb, hvilket betyder, at PCB trænger relativt langt ind i materialerne, og at man skal langt fra kilden, før koncentrationen er nede på 0,1 mg/kg.

Forskelle inden for det enkelte materiale

Der ses i de forskellige måleserier meget store forskelle i koncentrationerne i materialerne i de første 0,5 cm fra kilden, som primært er fugemasse. Dette fortolkes med, at dele af fugemassen nogle steder trænger inde i huller og sprækker i det tilstødende materiale. Koncentrationen i en afstand af 0-0,5 cm fra en primærkilde med omkring 100.000 mg/kg varierer eksempelvis i fyrretræ fra 200 til 20.000 mg/kg. I denne afstand er indtrængningen således ikke bestemt af migrationen af PCB i træet, men af indtrængning af den PCB-holdige fugemasse. Længere inde i materialet er yderligere indtrængning bestemt af migrationen af PCB i træet, og der ses relativt ens migrationskoefficienter i de forskellige måleserier. De store forskelle i de første 0-0,5 cm forplanter sig således som store forskelle gennem hele måleserien. Det betyder, at det ikke er muligt præcist at forudsige, hvor langt PCB trænger ind i et givet punkt.

Forskelle mellem materialer

Resultaterne viser, at PCB trænger dybere ind i fyrretræet end i de øvrige materialer, og i en afstand af 4-5 cm fra kilden var der stadig ≥ 50 mg/kg i 2 ud af 7 måleserier, mens den i de øvrige varierede mellem 2 og 38 mg/kg. På basis af beregnede migrationskoefficienter kan det beregnes, at der i en afstand af 20 cm fra kilden stadig ville være mellem 0,3 og 30 mg/kg.

I letbeton er der ligeledes en dyb indtrængning. I en afstand af 1 cm fra kilden er koncentrationen i alle måleserier på nær én < 50 mg/kg, men for den måleserie med den højeste indtrængning i de første 0,5-1 cm skal man beregnet ud fra migrationskoefficienten ud i en afstand af 12 cm før koncentrationen er under 50 mg/kg. Dette beror ikke på, at migrationskoefficienten er anderledes i denne måleserie, men alene på den højere indtrængning i en afstand af 0-0,5 cm fra primærkilden.

Det er med en statistisk analyse vist, at der er signifikante forskelle mellem diffusionskoefficienterne for letbeton, tegl og maling, som er de tre materialer, hvor der er tilstrækkelig mange profiler til at lave statistik.

Resultaterne viser, at der skal tages mange prøver for at lave en udførlig beskrivelse af indtrængningen i tilstødende materialer i en bygning. Grundet den store varia-

tion kan man ikke med sikkerhed forudsige, hvor langt PCB vil trænge ind i hvert enkelt tilfælde. Det er derfor væsentligt at afklare, om retningslinjer for fjernelse af tilstødende materialer skal basere sig på længste indtrængning eller på gennemsnitsværdier. Det vil være hensigtsmæssigt på grundlag af det samlede datamateriale fra alle undersøgelser at udarbejde nogle retningslinjer for, hvordan man på baggrund af et mindre antal dybdeprofiler kan bestemme, hvor meget af det tilstødende materiale der skal fjernes og bortskaffes selektivt.

Mængde af PCB i tilstødende materialer

Hvis man ser på, hvor meget PCB der er i de tilstødende materialer sammenlignet med primærkilden, ses meget store forskelle, som er helt afhængigt af, hvor meget af primærkilden der er trængt ind i denne den nærmeste del af materialet. I mange af måleserierne er mængderne i tilstødende materialer i størrelsen 0,2-2% af PCB mængden i primærmaterialer, men enkelte af serierne skiller sig ud med 10-20% i de tilstødende materialer. Dette gælder både for tegl, letbeton og træ.

I alle profiler svarer PCB-mængden i udsnittet, som dækker intervallet 0,1-1 mg/kg, til mindre end 0,5% af PCB-mængden i primærkilden. Udsnittet, som dækker 0,1-1 mg/kg, vejer typisk 3-10 gange så meget som udsnittet, der dækker koncentrationer ned til 1 mg/kg.

4 Målinger af PCB i indeluft

4.1 Baggrund

Indeluftmålingerne skal i følge udbudsmaterialet for kortlægningen lede til troværdige estimater for følgende vedrørende forekomst af PCB i indeluften:

- › Andel af danske bygninger, der har PCB i indeluften; samlet set og fordelt på bygningstyper.
- › Fordelingen af bygninger med PCB i indeluften i koncentrationsintervaller, der tager udgangspunkt i Sundhedsstyrelsens aktionsværdier.
- › S sammensætningen af congenere i indeluften fordelt på bygningstyper og sammenholdt med de kilder, der er fundet til forureningen af indeluften.
- › Sammenhængen mellem koncentrationen af PCB i de undersøgte materialer (både primære og sekundære kilder) og de fundne koncentrationer i indeluften.
- › Koncentrationer i indeluften fordelt på bygningstyper.
- › Hvilke byggematerialer (og placeringen), der har betydning for påvirkningen af indeluften.

4.1.1 Parametre, som har indflydelse på indeluftkoncentrationen

Det er velkendt, at PCB-koncentrationen i indeluften varierer over tid, og at måling på et enkelt tidspunkt ikke giver et fyldestgørende billede af PCB-koncentrationen i en bygning. Der er derfor behov for at gentage målinger over forskellige tidsperioder for at kunne fastlægge den egentlige variation af koncentrationen i indeluften. Når der er tale om indeluftmålinger, er der derfor ikke tale om én koncentration, men normalt beskrives bygningens indeluftpåvirkning ved angivelse af et interval for at kunne beskrive den omfattende variation i alle de forhold, der har betydning for koncentrationerne i indeluften (SBI, 2013).

PCB-koncentrationen, som på et givet tidspunkt vil findes i indeluften i et rum, afhænger af en række faktorer, som beskrevet i nedenstående tabel. For at belyse disse faktorer måles en række parametre

I tabellen er der skelnet mellem to typer af parametre:

1. Parametre, som virker gennem en ændring af kildestyrken – dvs. raten, hvor med PCB afgives fra materialer til indeluften.
2. Parametre, som virker på anden vis – primært gennem øget luftskifte.

Tabel 26 Parametre, som har indflydelse på PCB-koncentrationen i indeluft i et lokale på et givent tidspunkt.

Parameter	Beskrivelse	Forventet sammenhæng (alt andet lige)	Parameter, som kan måles	Virkning via ændret kildestyrke
Koncentrationen af PCB i materialer	PCB afgives fra PCB-holdige materialer til indeluften. Koncentrationen i overfladen af materialerne er formentlig lavere end dybere i materialet, men den samlede koncentration i materialet formodes at have indflydelse på PCB-koncentrationen i indeluften.	Højere koncentration i materialer > højere koncentration i indeluft.	PCB _{total} i materialer	Ja
Sammensætningen af PCB i materialer	Migration af PCB til overfladen af materialerne, og afgivelsen til luften er forskellig for de enkelte congenere og den samlede afgivelse vil derfor afhænge af sammensætningen i materialerne, som eksempelvis vil være anderledes i fugemasser end i maling.	Materialer med højt indhold af lavtchlorerede PCB vil resultere i højere koncentration i indeluft.	Primær kilde: fugemasse/maling/gulvmasse/afgivelse fra kondensatorer.	Ja
Overfladen af de PCB-holdige materialer	Jo større overflade jo højere afgivelse og PCB-koncentration i luften, for materialer med samme PCB-koncentration.	Større overflade > højere koncentration i indeluft.	Samlet overflade af PCB -holdigt materiale.	Ja
Tilstedeværelse af PCB-holdige termoruder	PCB i termoruder, hvor ramme og karm indeholder PCB fra fugebånd og termokit, vil kunne afgive PCB til indeluften.	Termoruder mod øst, vest og syd vil afgive PCB ved øget temperatur f.eks. solindfald.	Antallet af PCB-holdige termoruder med karm og ramme	Ja
Tilstedeværelse af PCB-kondensatorer	PCB-kondensatorer i lysstofarmaturer, og i særlig grad utætte kondensatorer, vil kunne afgive PCB til indeluften.	Tændte lysstofarmaturer (med PCB) > højere koncentration i indeluft. Flere lysstofarmaturer (med PCB) > højere koncentration i indeluft.	Antallet af PCB-holdige armaturer (fjernes evt. i målesituation)	Ja
Placering af materialerne.	Alt andet lige vil PCB-holdige materialer placeret indendørs afgive større mængder PCB til indeluften end materialer placeret udendørs. For bygninger, der kun har PCB-holdige materialer placeret udendørs, er det endnu usikkert om PCB-koncentrationen i indeluften under særlige forhold vil kunne komme op på Sundhedsstyrelsens laveste vejledende aktionsværdi eller om den under alle omstændigheder vil være væsentligt lavere.	Placering indendørs resulterer i højere koncentration i indeluft end placering udendørs.	Placering: uden-dørs/indendørs	Ja

Parameter	Beskrivelse	Forventet sammenhæng (alt andet lige)	Parameter, som kan måles	Virkning via ændret kildestyrke
Temperatur i luften, indendørs	Højere temperatur resulterer i højere afgivelse af PCB, som vist i en række undersøgelser. Afhængig af placeringen af materialerne i konstruktionen kan såvel inde- som udetemperaturen have indflydelse på koncentrationen. Det vil også kunne resultere i en inhomogen afgivelse af PCB til indeluften f.eks. solindfald eller placering af en PCB kilde bag en radiator, som er i brug.	Højere temperatur ude og inde > højere koncentration i indeluft.	Temperatur, indendørs Temperatur udendørs	Ja
Materialernes temperatur	Afgivelsesraten fra primærkilder må forventes i højere grad at være afhængig af temperaturen af materialet end temperaturen i rummet. Eksempelvis kan indvendige fuger omkring vinduer om vinteren have en væsentlig lavere temperatur end luften i rummet.	Højere temperatur > højere koncentration i indeluft.	Overfladetemperatur af materialer	Ja
Temperatur, udendørs	Hvis den største primære kilde er PCB-holdige materialer placeret udendørs vil det forventes, at temperaturen kan have indflydelse på afdampningen fra kilden.	Højere temperatur > højere koncentration i indeluft.	Temperatur, udendørs	Ja
Luftfugtighed	Luftfugtigheden kan påvirke afgivelsen af PCB, men dette er ikke særligt grundigt belyst og effekter er formentlig begrænset. Luftfugtigheden falder normalt med stigende temperatur. Ved høj luftfugtighed kan der være en indflydelse i forhold til mængden af støv i rummet, hvor der måles, og også adsorption til f.eks. tertiære kilder.	Ikke kendt	Luftfugtighed, inde	Ja
Luftskiftet	Ved luftskifte sker der en fortyndning af den PCB der afgives til indeluften fra PCB-kilderne. Med en given kildestyrke (afgivelse) vil højere luftskifte normalt give lavere PCB-koncentration i lokalet. Effekten vil være afhængig af om der er PCB i den luft, som trækkes ind i lokalet. Ud over kilder internt i rummet vil PCB kunne tilføres fra hosliggende rum, med højere koncentration – og koncentrationen i det enkelte rum vil derfor være afhængig af PCB-koncentrationen i hosliggende rum og retningen af luftudvekslingen.	Højere luftskifte > lavere koncentration i indeluft - forudsat at der ikke er større koncentration i hosliggende rum og der er en luftudskiftning med luft der er uforurennet.	Total luftskifte mellem rum og omgivelser eventuelt opdelt på - udeluftskifte - luftskifte med hosliggende rum - koncentration i tilstødende rum Måling af luftskifte	Nej (se diskussion nedenfor)

Parameter	Beskrivelse	Forventet sammenhæng (alt andet lige)	Parameter, som kan måles	Virkning via ændret kildestyrke
Luftudveksling mellem det undersøgte rum og hulrum i bygningen.	Ud over kilder internt i rummet vil PCB kunne tilføres fra kilder placeret i hulrum eller på ydersiden af bygningen. PCB kan eksempelvis nå høje koncentrationer i hulrum i bygningen og den PCB-holdige luft kan under særlige vind- og trykforhold bevæge sig fra hulrum til opholdsrum. Problemstillingen er indtil videre dårligt belyst, meget kompleks og specifik for den enkelte bygning.	Sammenhæng vil afhænge af forekomsten af hulrum, forekomsten af kilder i kontakt med hulrum og retningen af luftudvekslingen.	Måling af differensstryk kan formentlig kun anvendes til at belyse variation i den enkelte bygning og mellem bygningstyper.	Nej
Anden luftudveksling i bygningen	PCB kan også overføres gennem indblæsningen, hvis ventilationsaggregatet indeholder recirkulation og roterende varmeveksler. Endvidere kan overførslen af PCB fra et rum ske til et andet ved ekstern overførsel af luft mellem ventilationens afkast og indtag udenfor bygningen.	Der er ikke nogen entydig sammenhæng, virkningen vil afhænge af en lang række forhold i den enkelte bygning.	Vil kræve måling af mekanisk luftskifte og PCB-koncentrationen i indblæst luft	Nej
Koncentrationen af støv i luften.	PCB hæfter sig til støv. Ved stor luftcirkulation og brug af lokalet vil der hvirvles støv op, som kan resultere i en øget PCB-koncentration i luften. Eksisterende målinger viser dog, at støv bidrager meget beskedent til den samlede mængde PCB i luften, og variation i støvmængden på overfladen, og i hvilken grad det hvirvles op, har formodentlig en meget begrænset indflydelse på variationen i PCB-koncentrationen i indeluften.	Øget støv i luften > højere koncentration i indeluft.	PCB på henh. støv og gasform. Den anvendte metode sondre ikke mellem hvilken form PCB optræder i. Der oplyses en indeluftkoncentration er sammensat af PCB i både støv og på gasform.	Nej

Sammenhængene mellem PCB i indeluften og parametrene kompliceres af, at der kan være flere feedbackmekanismer, der påvirker kildestyrken og adsorptionen af PCB til overflader i rummet:

- Teoretisk set vil koncentrationen af PCB i indeluften have indflydelse på afgivelsen fra primærkilderne, det er dog usikkert, om det ved de aktuelle luftkoncentrationer og høje koncentrationer i primærkilderne har nogen betydning.
- Koncentrationen af PCB i luften påvirker ligevægtsforholdet mellem PCB i luften og materialer med relativt lavt PCB-indhold – dvs. på tider med høj PCB-koncentration vil der være tendens til, at PCB adsorberer til overflader og optages i materialerne, mens ligevægten, når PCB-koncentration i luften er relativt lav vil forskydes således, at de tertiære kilder fungerer som kilder.

Disse feedbackmekanismer må forventes at afspejle sig i en ikke-linieritet mellem PCB-koncentration i luften og luftskiftet, men forholdet er indtil videre ikke velbeskrevet.

Variationer i de nævnte faktorer vil resultere i variationer over tid i PCB-koncentrationen i det enkelte rum i bygningen.

Når man taler om variationer er det vigtigt at skelne mellem:

- › Variationen i primære parametre, som har direkte indflydelse på PCB-koncentrationen i luften.
- › Variationen i fysiske forhold, som har indflydelse på variationen i de primære parametre (f.eks. vindforhold der vil kunne have indflydelse på luftskifte, temperatur, tryk differens i bygning og flere andre parametre).

4.1.2 Variation inden for den enkelte bygning og mellem bygninger og bygningstyper

Det er kendt, at der kan være væsentlige forskelle mellem PCB-koncentrationen målt i det samme lokale med f.eks. en måneds mellemrum og mellem dag/nat, og at der er væsentlige variationer mellem PCB-koncentrationer i de enkelte rum i den samme bygning.

Den stedlige og tidlige variation er overordnet bestemt af ændringer i ydre forhold og anvendelsen af bygningen. Variationen kan beskrives for de enkelte bygninger, men hvis det skal være muligt at uddrage noget mere generelt på tværs af bygninger, vil det være nødvendigt at definere nogle generelle forhold, som kan have indflydelse på PCB-koncentrationen.

Stedlig variation (inden for den enkelte bygning) kan relateres til:

- › Orientering i forhold til verdenshjørner. Der vil være en effekt af vindpåvirkning (vinden kommer hovedsageligt fra vest) og solindfald (højere temperaturer på sydsiden end på nordsiden). Effekten vil i det enkelte hus dog være meget bestemt af, hvor primærkilder er placeret, som vil sløre et eventuelt generelt mønster.
- › Horisontal placering i huset. På grund af luftstrømme og temperaturforhold, vil der alt andet lige forventes højere PCB-koncentrationer i de øverste etager sammenlignet med de nederste.
- › Placering af primærkilder og ventilationsmæssige forhold. Disse faktorer vil være helt forskellige fra bygning til bygning, og der kan ikke forventes noget generelt mønster.

Variation som funktion af brugen af huset:

- › Der må i mange bygninger forventes væsentlige forskelle i PCB-koncentrationen mellem de situationer, hvor bygningen (eller det rum der måles i) er i brug. Afhængig af ventilationsforholdene (aktiv eller passiv ventilation) forventes væsentligt højere luftskifte, når bygningen er i brug, end når den ikke anvendes.

- › Brug af bygningen kan også resultere i øget luftcirkulation, der kan resultere i øget indhold af støv.

Tidslig variation:

- › Anvendelsen af bygning. Særligt i anvendelsestiden må der forventes væsentlige forskelle afhængig af variation i brugen af bygningen/lokalet, som først og fremmest virker gennem forskelle i luftskiftet.
- › Klimatiske forhold – temperatur og vind. Vil give en tidslig variation både i brugssituationen og når lokalet ikke er i brug.

At det kan være vanskeligt at forklare variationen illustreres af en ny undersøgelse af variationen i radon koncentration mellem 200 nybyggede huse i Danmark, hvor man relaterede radon koncentrationen til kommune, bygningsalder, gulvareal, gulvniveau, om der var kælder samt mur- og tagkonstruktion. På basis af en multivariat analyse var det muligt at forklare 9 % af variationen i radon koncentrationen ud fra disse parametre og sammenhængen til enkeltparametre var for ingen af parametrene statistisk signifikante (Bräuner et al., 2012). Det samme vurderes at være gældende for PCB i indeluft, dog opfører PCB sig anderledes, og der vil ligeledes være en effekt af adsorption/desorption fra både sekundære og tertiære kilder.

4.2 Prøvetagning og analyse

På baggrund af resultaterne i ENS kortlægningen af PCB i bygningsmaterialer (fase 2 af kortlægningen) og en byggeteknisk gennemgang er der udvalgt i alt 67 bygninger, inden for de tre bygningskategorier, som skal indgå i indeluftundersøgelserne, se afsnit 2.3.5 for yderligere beskrivelse.

Der udvalgte i hver bygning to rum, henholdsvis rum A og rum B, som undersøgelserne af indeluften udførtes i. Rummene udvalgte ud fra de højeste koncentrationer i bygningsmaterialerne. Et rum blev betragtet som ikke egnet til prøvetagning, hvis det ikke var meningsfyldt at udføre en måling der, f.eks. i en trappe-skakt, hvor der naturligt vil være et meget højt luftskifte, i et meget stort rum, der ikke kan lukkes af, eller hvis der er renoveringsarbejder i rummet. Derudover skulle det være muligt, at identificere et tidsrum i løbet af døgnet, hvor der ikke var aktivitet i bygningen, så der kunne opnås stabile forhold i de hosliggende rum i bygningen. Der blev således målt i tidsrum, hvor bygningen ikke var i brug, og hvor det var muligt at foretage indeluftmålingerne i de to rum uden forstyrrelser i måleperioden.

I to rum i hver bygning er der foretaget følgende undersøgelser i forbindelse med undersøgelsen af PCB i indeluften:

- › PCB i luft: 2 luftprøver af PCB i hvert sit rum, hvor der tidligere er påvist betydelige koncentrationer af PCB i bygningsmaterialer.
- › PCB-kildernes mængde: Overfladearealer og volumen af PCB-kilderne opmåles og beskrives i de rum, hvor der er opsamlet luftprøver.

- › PCB i materiale: I 12 udvalgte bygninger er der udtaget supplerende prøver af bygningsmaterialer og inventar. De 12 bygninger er udvalgt før gennemførelse af indeluftmålingerne, ud fra hvor der tidligere er påvist primærkilder af PCB i maling, fuge og gulvbelægninger.

Mens opsamlingen af PCB i luften fandt sted udførtes logninger af:

- › Temperatur
- › Luftfugtighed
- › Differenstryk

Desuden blev der i målerum med mekanisk ventilation udført måling af den indblæste og udsugede volumenstrøm samt af temperatur. Luftskefter blev målt i ét af de to målerum i hver bygning, defineret som rum A, ved at måle henfaldet af sporgassen brint.

Før udtagning af luftprøven blev rummet udluftet i 10-15 minutter. Under indeluftmålingen var døre og vinduer lukkede og opvarmningsanlægget samt eventuelle ventilationsanlæg kørte som normalt. Eventuelle små friskluftventiler monteret i vinduesrammer var lukkede.

Der befandt sig ikke personer eller dyr i rummene under prøvetagningen. Prøvetagerne forsøgte at undgå at bevæge sig omkring i nærheden af rummene, samt ikke at åbne og lukke døre og vinduer i nærheden af rummene under prøvetagning. Både indeluftmåling og luftskeftmåling igangsattes ved anvendelse af timer, som gav en tidsforsinkelse med det formål at stabilisere luftvolumenet i rum A, for at sikre bedst muligt luftprøvetagning/luftskeftmåling.

De anvendte metoder til udtagning af prøver, måling af luftskefter, måling af ventilation, mm. er beskrevet i Bilag 1 og 2.

For at belyse forekomsten af flere PCB congenere end de syv PCB congenere, som indgår i standardanalyser, er der til indeluftundersøgelserne målt for følgende 27 congenere:

- › De 6 indikator-congenere som udgør PCB₆: PCB nr. 28, 52, 101, 138, 153 og 180.
- › De 12 dioxinlignende congenere: PCB nr. 77, 81, 105, 114, 118 (med i PCB₇), 123, 126, 156, 157, 167, 169, og 189.
- › Yderligere 9 ikke-dioxinlignende congenere: PCB nr. 66, 74, 99, 170, 178, 182, 183, 187, og 190.

Prøverne er blevet analyseret i laboratorium med GC-MSD-SIM metoden. Total-PCB er beregnet som 5 gange summen af de 7 congenere.

Det udførte undersøgelsesprogram giver ikke mulighed for at belyse følgende:

- **Variation over tid.** Ved kun at foretage målingerne på én dag får man ikke belyst den variation, der er over tid, og man får ikke et fyldestgørende billede af den gennemsnitlige PCB-koncentration i bygningerne. Det er velkendt, at PCB-koncentrationen varierer afhængig af en række parametre, men variationen er ikke velbelyst. Der er således en væsentlig usikkerhed, når enkeltmålinger holdes op mod Sundhedsstyrelsens vejledende aktionsniveauer, og der er ikke nogen konsensus om, hvordan man tager højde for denne variation.
- **Målebetingelser.** Ved at foretage målingerne i rum, som ikke benyttes, fås ikke et reelt billede af PCB-koncentrationen i indeluften i brugssituationen. Brug af rummet kan bl.a. indebære øget luftcirkulation, give mere støv i luften og påvirke luftskiftet internt i bygningen og mellem bygningen og omgivelserne. Det er dog usikkert, hvor meget brugen af rummet har indflydelse på PCB-koncentrationen i indeluften. I afsnit 4.3.1 er medtaget undersøgelser udført i forlængelse af disse undersøgelser, som viser, variationen i og udenfor anvendelses tiden i bygningen.
- **Congenere der måles.** Der foretages i undersøgelserne analyse af 27 kongenere, som er en udvidelse i forhold til standardmålinger af PCB₇. Det er velkendt, at de lavtchlorerede PCB (med lavt congener-nummer) i højere grad afgives fra materialerne. Afgrænsningen til PCB₂₇ kan derfor give nogle begrænsninger i forhold til at belyse den congener-specifikke sammenhæng mellem PCB i materialerne og i indeluften, hvad angår lavtchlorerede PCB.
- **Luftskiftemålinger.** Luftskiftemålingerne udføres som henfaldsmålinger uden aktivitet i rummet og uden eventuelt normal passiv og mekanisk ventilation. Det betyder, at det målte luftskifte ved disse undersøgelser kan være lavere end ved normal anvendelse af bygningen. Dette kan have betydning for at kunne beskrive sammenhængen mellem koncentrationen af PCB i de undersøgte materialer (både primære, sekundære og tertiære kilder) og de fundne koncentrationer i indeluften.

4.3 Resultater af undersøgelsen

4.3.1 PCB i indeluft

Resultaterne af målinger af PCB i indeluft i 67 bygninger fremgår af nedenstående tabel. Der er foretaget målinger i 2 rum i hver bygning, og tabellen er baseret på den højest målte værdi i hver bygning.

Som det fremgår, blev der fundet $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i ét af de undersøgte én- og tofamiliehuse og i én af de undersøgte etageejendomme. I ingen af de undersøgte bygninger inden for disse to bygningstyper blev der fundet $\geq 2.000 \text{ ng/m}^3$. I henholdsvis 71 % og 75 % af bygningerne, hvor der er foretaget indeluftmålinger, er der fundet mindre end 30 ng/m^3 , hvilket er tæt på detektionsgrænsen.

Der var en markant højere hyppighed af kontorejendomme og offentlige institutioner med $\geq 300 \text{ ng/m}^3$. I 12 af de 33 undersøgte bygninger (36 %) blev der fundet

mindst et lokale med $\geq 300 \text{ ng/m}^3$, og der blev fundet $\geq 3.000 \text{ ng/m}^3$ i én bygning. Resultaterne er fint i overensstemmelse med resultaterne af kortlægningen af materialer, hvor det blev konstateret, at omfattende forekomst af indendørs materialer med høj koncentration af PCB var mest udbredt i kontorejendomme og offentlige institutioner. I lighed med resultaterne af undersøgelsen af PCB i materialer kan det konstateres, at etageejendomme med omfattende PCB forureninger, som de eksempler der har været fremme de seneste år, ikke er et udbredt fænomen.

Resultaterne svækkes af, at der var ejere af udvalgte bygninger, der ikke ønskede at deltage i denne del af undersøgelsen. Som det fremgår af tabellen, blev der eksempelvis kun fundet $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i ét ud af de 14 undersøgte parcelhuse, men der var 5 ejere af bygninger med relativt høje koncentrationer af PCB i materialer, der ikke ønskede at deltage i undersøgelsen. Det er ved tilrettelæggelse af undersøgelsen antaget, at der var en meget lille mulighed for at finde $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i de øvrige bygninger, hvor der ikke forekommer materialer indendørs med PCB-koncentrationer over 50 mg/kg. I hvilket omfang denne antagelse holder stik diskuteres nærmere i de følgende afsnit og i forbindelse med estimaterne af antallet af bygninger i Danmark med PCB i indeluften i forskellige koncentrationsniveauer.

Tabel 27 Højest målte værdi for bygninger udvalgt til undersøgelse for PCB i indeluft.

PCB _{total} i indeluft, ng/m ³	Højest målte værdi pr bygning							
	Alle bygninger		En- og tofamiliehuse		Etageejendomme		Kontorejendomme og offentlige institutioner	
	Antal	Hyppighed af total	Antal	Hyppighed af total	Antal	Hyppighed af total	Antal	Hyppighed af total, indeluft
<30	32	48%	10	71%	15	75%	7	21%
≥30	35	52%	4	29%	5	25%	26	79%
≥100	23	34%	1	7%	3	15%	19	58%
≥300	14	21%	1	7%	1	5%	12	36%
≥2.000	1	1%	0	0%	0	0%	1	3%
≥3.000	1	1,5%	0	0%	0	0%	1	3%
300-2.000	13	19%	1	7%	1	5%	11	33%
2.000-3.000	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Samlet antal bygninger undersøgt for PCB i indeluft	67	100%	14	100%	20	100%	33	100%
Samlet antal bygninger undersøgt for PCB i materialer *1	352		154		105		93	
Udvalgte, som ikke ønskede at deltage i indeluftundersøgelse *2	17		5		11 (et boligselskab)		1	

*1 Angiver det samlede antal bygninger undersøgt for PCB i materialer, hvorfra bygninger med materialer med de højeste koncentrationer er udvalgt til undersøgelse for PCB i indeluft.

- *2 Angiver antallet af bygninger som på basis af høje koncentrationer af PCB i materialer blev udvalgt til undersøgelse af PCB i indeluft, men som ikke ønskede at deltage i undersøgelsen.

Hvis man opdeler kategorien kontorejendomme og offentlige institutioner yderligere ses, at der er fundet en relativ høj hyppighed af bygninger med ≥ 300 ng/m³ i såvel private kontorejendommene som offentlige bygninger. Det samlede antal undersøgte private kontorejendomme er dog ret lavt, da det som tidligere omtalt var vanskeligt at finde bygningsejere, der ville deltage i undersøgelsen.

Der er i tabellen lavet en sammenligning mellem resultaterne af kommunernes kortlægninger af PCB i indeluft i kommunale ejendomme og ENS kortlægningens resultater. Hvis det antages, at ingen af de bygninger, hvor der ikke er foretaget målinger, indeholder ≥ 300 ng/m³ i indeluften, er hyppigheden af bygninger med ≥ 300 ng/m³ i ENS kortlægningen 12% af alle bygninger mod 7% (5-9% konfidensinterval) fundet i kommunernes kortlægninger. Da kommunernes kortlægninger omfatter 507 tilfældigt udvalgte bygninger, er disse resultater mere robuste end resultaterne for kommunale ejendomme i ENS kortlægningen. Men resultaterne af ENS kortlægningen bekræfter, at resultaterne af kommunernes kortlægninger næppe overestimerer forekomsten af PCB i offentlige bygninger.

Desuden viser undersøgelsen tydeligt, at forekomsten af høje koncentrationer af PCB i indeluft er mere udbredt i offentlige bygninger og kontorejendomme end i etageejendomme og én- og tofamiliehuse.

Tabel 28 *Højest målte værdi for kontorer og offentlige bygninger sammenlignet med resultaterne af målinger af PCB i indeluft udført af kommunerne.*

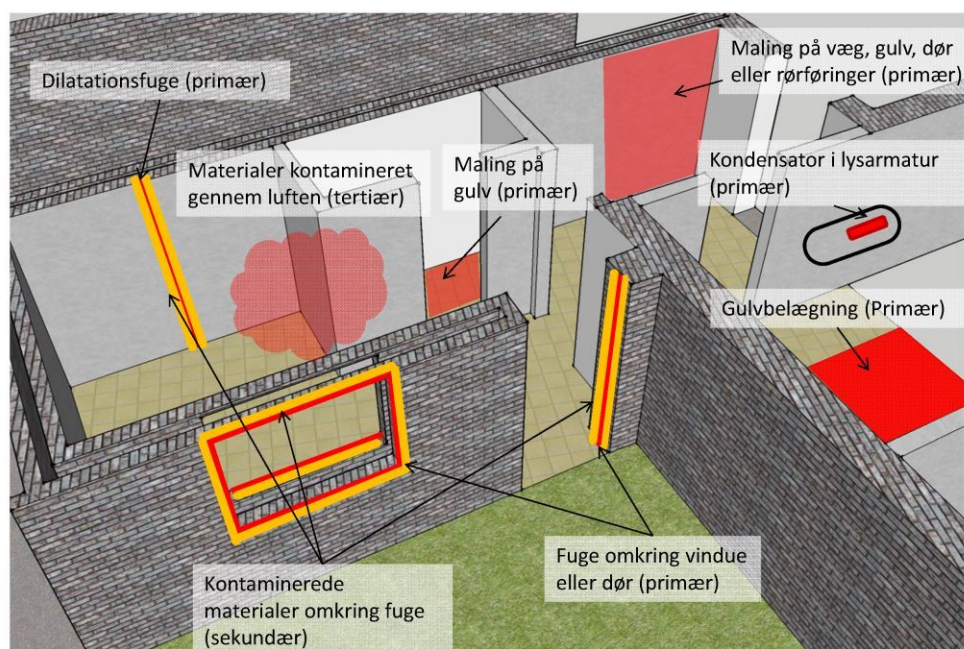
PCB _{total} i indeluft, ng/m ³	Højest målte værdi pr bygning						
	Kontorejendomme		Offentlige bygninger			Kortlægning af kommunale ejendomme i kommunerne	
	Antal	Hyppighed af total	Antal	Hyppighed af total	Hyppighed af total, undersøgte (OBS)	Antal	Hyppighed af total
<30	1	8%	6	29%		372	73%
≥30	11	92%	15	71%		135	27%
≥100	7	58%	12	57%		74	15%
≥300	5	42 %	7	33 %	12 %	35	7 %
≥2.000	0	0%	1	5%	2%	7	1%
≥3.000	0	0%	1	5%	2%	2	0,4%
300-2.000	5	42%	6	29%		28	6%
2.000-3.000	0	0%	0	0%		5	1%
Samlet antal bygninger undersøgt for PCB i indeluft	12	100%	21	100%		507	100%
Samlet antal bygninger undersøgt for PCB i materialer *1	36		57				
Udvalgte, som ikke ville deltage i indeluftundersøgelse *2	1		0				

*1 Angiver det samlede antal bygninger undersøgt for PCB i materialer, hvorfra bygninger med materialer med de højeste koncentrationer er udvalgt til undersøgelse for PCB i indeluft.

*2 Angiver antallet af bygninger, som på basis af høje koncentrationer af PCB i materialer blev udvalgt til undersøgelse af PCB i indeluft, men som ikke ønskede at deltage i undersøgelsen.

4.3.2 Sammenhæng mellem primær, sekundær og tertiær kilder til PCB

Der er gennemført et stort antal supplerende målinger ved det beskrevne måleprogram i afsnit 4.2. De udførte målinger danner alle grundlag for vurdering af de udførte indeluftmålinger.



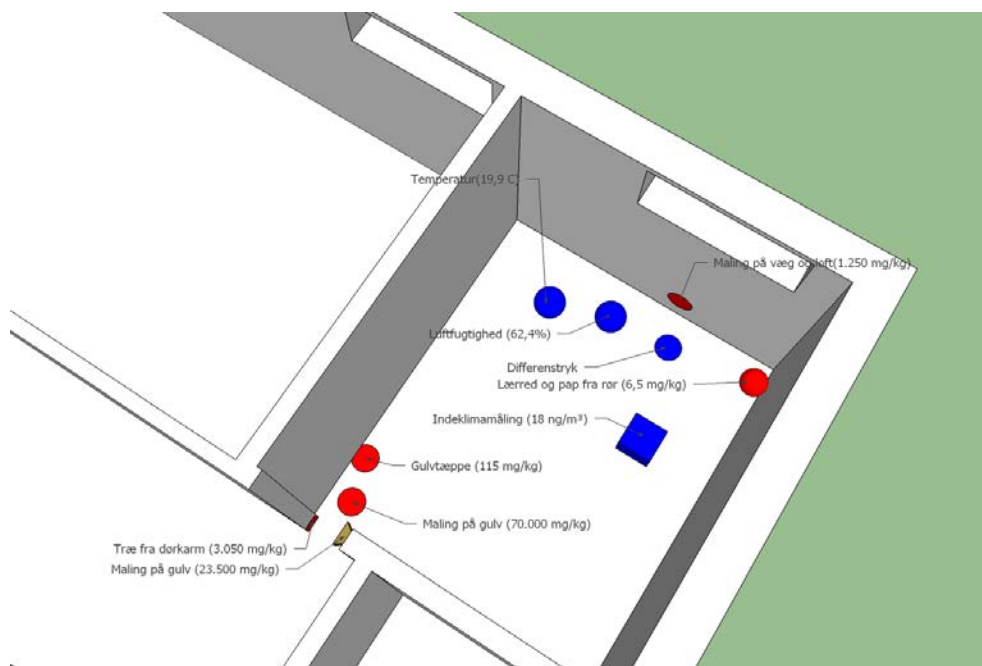
Figur 25 Principskitse af primære, sekundære og tertiære kilder i en bygning.

De viste kilder til PCB i en bygning har forskellig udbredelse, overflader og omfang. De vil derfor have forskellige indvirkning på den påviste indeluftkoncentration i det rum i en bygning, hvor de optræder.

Den typiske sammenhæng mellem påviste kilder til PCB i et rum i henholdsvis én- og tofamiliehus, etagebyggeri og offentlige kontorer og institutioner er præsenteret i 3 cases, der sammenfattes nedenfor. Se bilag 3 for detaljeret beskrivelse.

Case énfamiliehus

Case énfamiliehus viser en bygning, hvor den primære kilde er en gulvmaling i boligens kælder. Der er ikke påvist andre primærkilder i bygningen, som vurderes at kunne give væsentlig påvirkningen af indeluften.



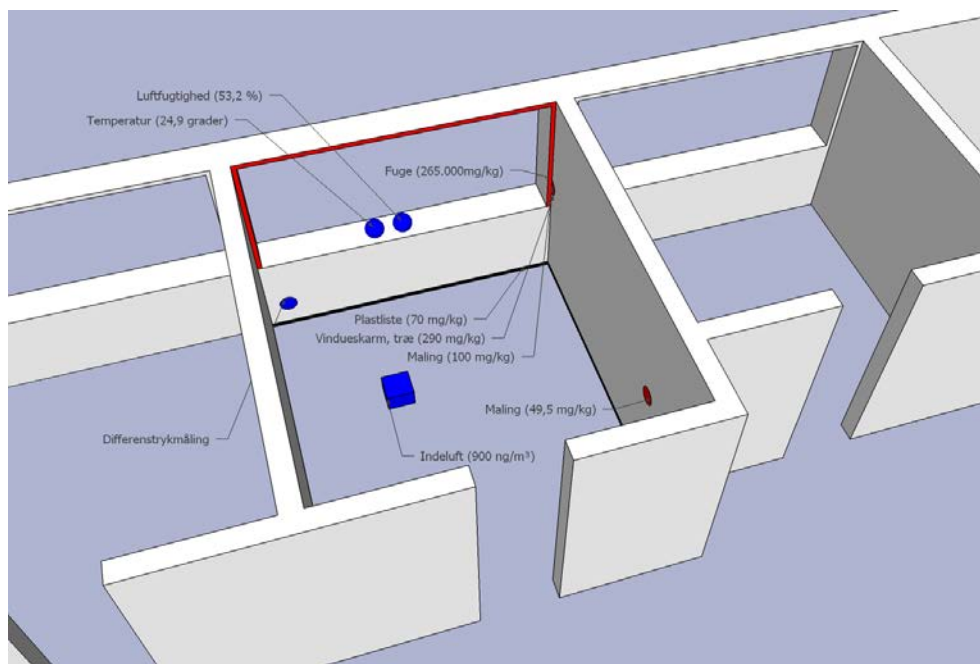
Figur 26 Case énfamiliehus. Målepunkter for bygningsmaterialer, indeluft, differens-trykmåling, temperatur og luft fugtighed, samt angivelse af resultat af målinger i rum A. På denne lokalitet er primærkilden maling på gulv. Maling på væg kan være en sekundær kilde eller en primær kilde. Øvrige bygningsmaterialer vurderes at være sekundære eller tertiære kilder med PCB.

Der er påvist et indhold i indeluften på 18 ng/m³ i kælderen, som således er under det laveste aktionsniveau på 300 ng/m³. I boligens stueplan er der påvist indhold af PCB i indeluften på 7 ng/m³. På tilsvarende måde som i rum A, præsenteret i figur 26, hvor der er påvist tertiære kilder med koncentrationsniveauer op til 115 mg/kg i et gulvtæppe, vil det være forventet, at der i bygningens stueplan kan påvises indhold af PCB fra den påviste primærkilde i inventar etc., dels pga. bygningens luftudveksling med kælderen, dels pga. af transport mellem kælderen og stueplan i bygning af materialer, som er sekundært eller tertiært forurenet med PCB.

I dette énfamiliehus er det påviste koncentrationsniveau i indeluften lavt. Erfaring fra de udførte målinger i kortlægningen viser dog, at der kan være betydende primære kilder i bygningen, hvor der ikke er ophold, som har betydning for andre dele af bygningen, som anvendes til ophold.

Case etagebyggeri

Case etagebyggeri viser en bygning, hvor den primære kilde er en indvendig fuge ved et vindue i bygningens stueplan. Der er ikke påvist andre primærkilder i bygningen, som vurderes at kunne give væsentlige påvirkninger af indeluften.

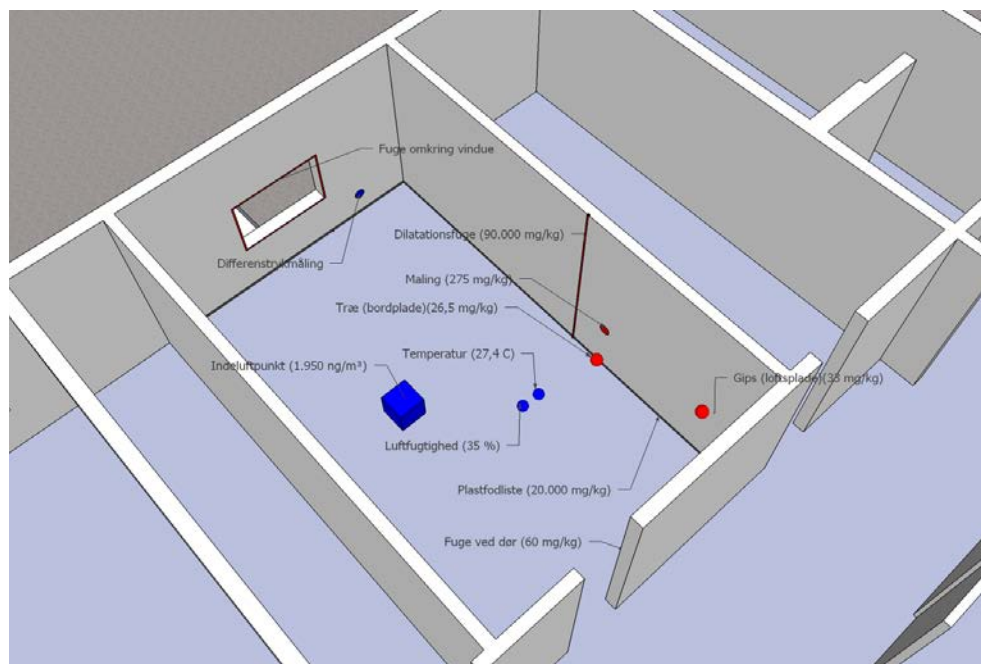


Figur 27 Case etagebyggeri. Målepunkter for bygningsmaterialer, indelufttemperatur og -fugtighed, samt angivelse af resultat af målinger. På denne lokalitet er primærkilden fugematerialer indvendig i form af fuge ved vindue. Vindueskarmen vurderes at være en sekundær kilde. Maling og plastliste vurderes at være tertiær kilder.

Der er påvist et indhold i indeluften på 900 ng/m^3 i stueplan i et mødelokale. Koncentrationen overskrider således Sundhedsstyrelsens nedre aktionsniveau på 300 ng/m^3 , men er under arbejdstilsynets krav på 1.200 ng/m^3 ved 8 timers ophold i lokalet. I et andet lokale i stueplan er der påvist indhold af PCB i indeluften på 1.100 ng/m^3 . Der kan påvises tertiære kilder med koncentrationsniveauer op til 100 mg/kg i malinger i rummet, og det vil derfor være forventet, at der i bygningen kan påvises indhold af PCB i inventar etc., også i andre rum, som er tertiært forurennet fra den påviste primærkilde.

Case skole

Case skole viser en bygning, hvor den primære kilde er en indvendig fuge mellem betonelementer (dilatationsfuge), og som er vidt udbredt i bygningens stueplan. Der er ikke påvist andre primærkilder i bygningen, som vurderes at kunne give væsentlige påvirkninger af indeluften.



Figur 28 Case skole. Målepunkter for bygningsmaterialer, indeluft, temperatur og fugtighed, samt angivelse af resultat af målinger. På denne lokalitet er primærkilden fugematerialer indvendig i form af dilatationsfuge. Plastfodliste vurderes at være en sekundær/tertiær kilde. Øvrige bygningsmaterialer vurderes at være sekundære eller terciære kilder med PCB.

Der er påvist et indhold i indeluften på 1.950 ng/m^3 i stueplan i et undervisningslokale. Koncentrationen overskrider således Sundhedsstyrelsens nedre aktionsniveau på 300 ng/m^3 , og arbejdstilsynets krav på 1.200 ng/m^3 ved 8 timers ophold i lokalet for de ansatte på skolen. I et andet lokale i stueplan er der påvist indhold af PCB i indeluften på 1.800 ng/m^3 . Der kan påvises terciære kilder med koncentrationsniveauer op til 275 mg/kg i malinger og det vil derfor være forventet, at der i bygningens andre rum kan påvises indhold af PCB i inventar etc., som er terciært forurenet fra den påviste primærkilde. Dette skyldes bygningens luftudveksling med den øvrige del af bygningen samt transport af terciært forurenede materialer mellem stueplan og den øvrige del af i bygning, som er sekundært eller terciært forurenet med PCB. For at nedbringe koncentrationsniveauet i indeluften er det nødvendigt at fastholde en konstant temperatur på mellem $20\text{-}22^\circ\text{C}$, sikre optimal forebyggelse ved rengøring og øget udluftning samt forbedre ventilationen af bygningen.

Derefter bør der opstilles en målrettet handlingsplan for nedbringelse af indeluftkoncentrationerne med det formål at opnå en stabil påvirkning af indeluften, som ikke varierer ved temperaturstigninger om sommeren eller ændringer i drift, adfærd og ved almindelige vedligeholdelse af bygningen. Der skal udarbejdes en række dokumenter, som har til formål at sikre ansatte og arbejdsgivere får tilstrækkelig information om arbejder i og omkring en bygning, som indeholder PCB. Der henvises til yderligere information på PCB-guiden.dk.

4.3.3 Sammenhæng mellem koncentrationen af PCB, bygningsanvendelse og temperatur

I 11 bygninger er der gennemført gentagelse af indeluftmålinger med henblik på vurdering af variationen i indeluften over tid. Der er i disse bygninger gennemført indeluftmåling ved anvendelse af samme metode som ved kortlægningen. Gentagelsesmålingen er dog udført i bygningens anvendelsestid, hvorved luftskiftet i bygningen vurderes at være højere som følge af brug af bygningen.

I de 11 bygninger er det med baggrund i de udførte målinger muligt at vurdere variationen i indeluftkoncentration ved varierende temperatur og forskelle mellem målinger i og udenfor anvendelsestiden af den øvrige bygning.

Tabel 29 PCB i indeluft udført i samme bygning og rum på to forskellige tidspunkter, og hvor bygningens øvrige rum enten er under anvendelse eller uden anvendelse.

Bygningstype	Første in- deluftmåling Bygningens øvrige rum	Første indeluft- måling	Anden in- deluftmåling Bygningens øvrige rum	Anden in- deluft- måling	Forskel mellem 1. og 2. in- deluftmåling
Kontorbygninger og offentlige institutioner	Anvendes	1.950	Anvendes ikke	3.100	1,6
Kontorbygninger og offentlige institutioner	Anvendes	1.800	Anvendes ikke	3.750	2,1
Etageejendom	Anvendes ikke	900	Anvendes	240	3,8
Etageejendom	Anvendes ikke	1.100	Anvendes	490	2,2
Kontorbygninger og offentlige institutioner	Anvendes ikke	410	Anvendes	600	1,5
Kontorbygninger og offentlige institutioner	Anvendes	290	Anvendes ikke	475	1,6
Kontorbygninger og offentlige institutioner	Anvendes ikke	750	Anvendes	900	1,2
Kontorbygninger og offentlige institutioner	Anvendes	550	Anvendes	500	1,1
Kontorbygninger og offentlige institutioner	Anvendes	335	Anvendes	245	1,4

Indeluftkoncentrationens afhængighed af anvendelse

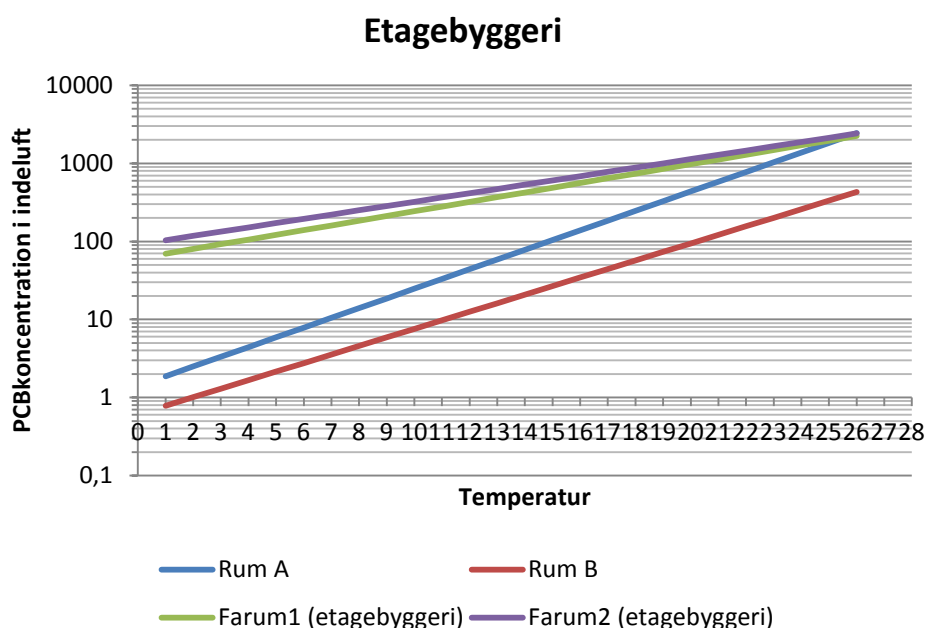
Af tabel 29 fremgår det, at PCB-koncentrationen i luften i anvendelsestiden for etagebyggeri, kontorer og offentlige bygninger varierer med en faktor 1,1-3,8 afhængig af, om målingerne er udført med brugere eller uden brugere tilstede i andre rum.

Ved måling af indeluften i anvendelsestiden ses generelt, at koncentrationerne er ca. 1,8 gang lavere end koncentrationen er uden anvendelse af bygningen. Dette også selv om der er tale om meget forskellige bygningstyper, og at der er målt under forskellige temperaturforhold og målt med meget forskellige luftskifte i de pågældende bygninger.

Indeluftkoncentrationens afhængighed af temperatur

Hvis der foretages en temperaturkorrektur af de målte indeluftkoncentrationer baseret på model fra SBI-anvisning nr. 242, kan det beregnes, at der kan forventes en forskel på mellem 2-5 gange på målinger udført med brugere eller uden brugere tilstede.

I nedenstående figurer er vist temperaturkorrektur for et etagebyggeri sat i forhold til tilsvarende temperaturkorrigerede data for Farum Midtpunkt. Kurverne fra Farum er hver baseret på et stort antal målepunkter, mens kurverne fra denne undersøgelse hver er baseret på 2 målepunkter.



Figur 29 Indeluftkoncentrationen som funktion af temperatur for etagebyggeri med kælder. De to kurver for rum A og B er baseret på to målepunkter hver, mens kurverne for Farum 1 og 2 er baseret på et omfattende datamateriale fra undersøgelserne i Farum Midtpunkt (Lundsgård et al., 2010, SBMI,2011).

Eksemplerne fra de tre cases viser, at der vil være betydelige ændringer i indeluftkoncentrationen ved ændring af eller fastholdelse af temperaturen på f.eks. 21°C.

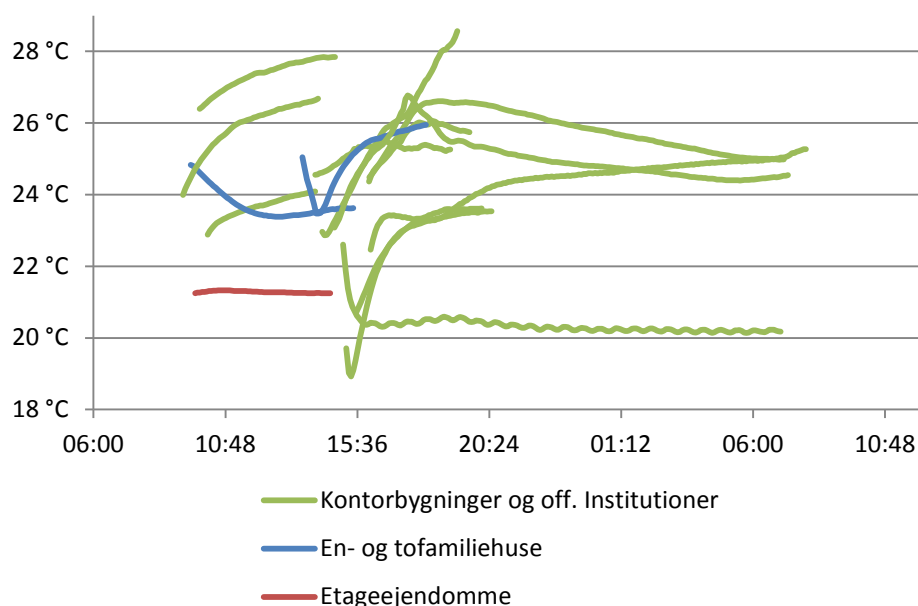
For opretholdelse af et godt indeklima anbefales temperaturer mellem 20-22°C.

Hvis bygningen har forhøjede indeluftkoncentrationer af PCB, kan der derfor med fordel opretholdes en lav temperatur f.eks. 20°C.

Ved indeluftmålinger foretages der konditionering af rummet inden målinger påbegyndes. Ved denne undersøgelse er der anvendt 15 minutters udluftning før opstart af prøvetagningen. Hvis der var ventilationsanlæg blev rummet konditioneret minimum 2 timer før opstart af prøvetagningen.

Det vurderes med baggrund i de udførte temperaturmålinger, at der generelt kan ses en stabilisering af rummet efter mindre end 0,5 time, under forudsætning af at

der ikke er solindfald i rummet eller andre udefrakommende påvirkninger. Af figur 30 fremgår temperatur datalogningerne for de 15 højeste indeluftkoncentrationer.



Figur 30 Datalogning af temperatur i rum A for de 15 højeste indeluftkoncentrationer.

4.3.4 Ventilation i undersøgte bygninger

Ventilationen er målt i et rum i 15 enfamiliehuse, 20 etagebyggerier og 32 kontorer og offentlige bygninger, hvor indeluftmålinger for PCB er foretaget. Ventilationen er målt som:

- › Luftsiftet ved måling af henfaldet af sporgas
- › Mekanisk indblæst og udsuget luftstrøm i rum med mekanisk ventilation.

Detaljeret beskrivelse af målemetode og målekriterierne er angivet i afsnit 4.2 og bilag 2.

For de 15 målinger udført i énfamiliehuse, er 14 målinger brugbare. På den ikke brugbare måling var antallet af optagne sporgaskoncentrationer for få, så en acceptabel nøjagtighed ikke kunne opnås. De udførte målinger var alle i intervallet $0,029 - 1,01 \text{ h}^{-1}$, svarende til en middelværdi på $0,32 \text{ h}^{-1}$. Kun i en bygning blev der målt over $0,5 \text{ h}^{-1}$.

I 20 etagebyggerier vurderes alle udførte målinger brugbare. De udførte målinger var alle i intervallet $0,033 - 1,13 \text{ h}^{-1}$, svarende til en middelværdi på $0,32 \text{ h}^{-1}$. 3 af de 20 målinger i etagebyggeri var i intervallet $0,58 - 1,13 \text{ h}^{-1}$; altså over $0,5 \text{ h}^{-1}$, som er nogenlunde svarende til det gældende krav på $0,3 \text{ l/s pr. m}^2$ etageareal.

I de undersøgte 32 kontorer og offentlige institutionsbyggerier, blev der målt luftsiftet i intervallet $0,016 - 3,68 \text{ h}^{-1}$. To af de udførte målinger var over $2,5 \text{ h}^{-1}$ som er

det estimerede krav for skoler. I alt 22 bygninger havde et luftskifte på mellem 0,016 - 0,5 og 8 bygninger havde et luftskifte på mellem 0,5 - 2,5 h⁻¹.

Der er generelt målt meget lave luftskifter i alle undersøgte bygninger. Undersøgelserne er udført uden for anvendelsestiden af rummet, dvs. åbninger af vinduer og døre, anvendelse af forceret udsugning i emhætte og baderum mv. har ikke fundet sted. I de rum, hvor udeluftventilerne har siddet i vinduesrammen som skydeventil, er denne lukket før målingerne. Som følge af de reducerede muligheder for at få tilført udeluft, vil luftskiftet øges i forhold til den situation, hvor rummene anvendes af personer.

Ud af 67 undersøgte bygninger blev der identificeret i alt 10 mekaniske ventilationsanlæg. Fordelt på 8 offentlige kontorer eller institutioner og 2 privatejede kontorbyggerier. På to af anlæggene var det ikke muligt at gennemføre målinger, pga. manglende adgangsforhold eller tilslutning af anlægget

På 4 ud af de 8 ventilationsanlæg findes recirkulation, hvor PCB fra udsugningsluften i målerummet og fra eventuelt øvrige rum, der er koblet på anlægget, returneres til målerummet efter fortynding med udeluft.

Resultatet af målinger i de tre bygningskategorier er vist i nedenstående tabel.

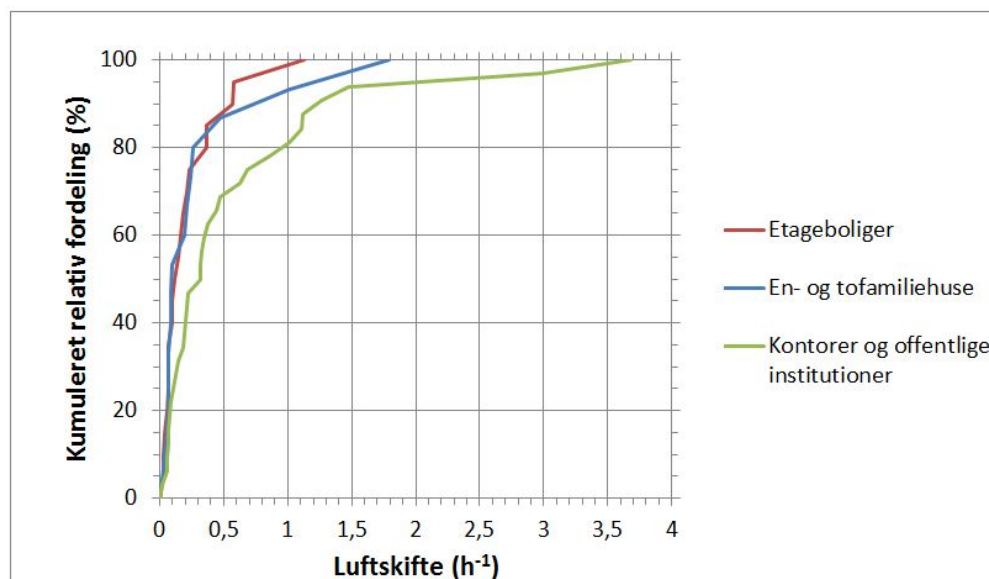
Tabel 30 Middel-, minimums- og maksimumsværdier mm. for de målte luftskifter.

Bygningstype	Antal (stk.)	Middel (h ⁻¹)	Median (h ⁻¹)	Min. (h ⁻¹)	Maks. (h ⁻¹)
Én- og tofamiliehuse	15	0,32	0,10	0,029	1,79
Etagebyggeri	20	0,23	0,13	0,032	1,13
Kontorer og offentlige institutioner	32	0,60	0,32	0,016	3,68

For alle bygningskategorier ses, at mange rum under målingen har haft et markant lille luftskifte, idet medianværdien for én- og tofamiliehuse, etagebyggeri og kontorer og offentlige institutioner er henholdsvis 0,10 h⁻¹, 0,23 h⁻¹ og 0,32 h⁻¹.

At middelværdien er forholdsvis højere end medianværdien i én- og to familiehuse, skyldes, at enkelte luftskifter er forholdsvis høje, f.eks. har et enkelt målerum, i form af en garage, i et én- og to familiehus et luftskifte på 1,79 h⁻¹. Målingen af et luftskifte på 0,47 h⁻¹, i et andet rum i samme bygningskategori, er behæftet med en større usikkerhed, eftersom disse målinger vurderes at være behæftet med stor usikkerhed, så udelades de to luftskifter. Middelværdien for én- og to-familiehusene vurderes derfor at være 0,19 h⁻¹.

Den kumulative relative fordeling af luftskifte i målerummene er vist på .



Figur 31 Kumuleret, relativ fordeling af luftskifterne i de tre bygningskategorier.

Figuren viser, at ca. 40 % af samtlige målerum i boligerne er målt ved et luftskifte på under $0,10 h^{-1}$, og ca. 60 % af målerummene har et luftskifte på under $0,20 h^{-1}$. I forhold til Bygningsreglementets krav om et mindste grundudeluftskifte på $0,5 h^{-1}$ er målingerne af PCB udført under forholdsvis lave luftskifter. Betragtes hele luftskiftet som værende udeluft opfylder kun ca. 10 % af målerummene på måletidspunktet Bygningsreglementets krav.

En andel af den målte lufttilførsel vil tillige være tilført fra rum gennem vægge eller gennem gulvet fra underside af dækket og kan ikke betegnes som udeluft, så udeluftskiftet er mindre end det luftskifte, som tidligere er fundet i undersøgelser af Bergsøe, 1991.

Det kan dog ikke udelukkes, at nogle af de fundne lave luftskifter viser det reelle billede af luftskifterne i de pågældende rum ved boligens normale anvendelse, f.eks. hvis døren og vinduerne til rummet oftest er lukkede.

Hvis luftskifterne for én- og tofamiliehusene vurderes i forhold til målte udeluftskifter og en *normal* anvendelse af soverum, jf. Bergsøe, 1994 -1, så kan de målte luftskifter estimeres til mellem 4 og 17 gange højere end det målte ved de udførte undersøgelser. Reelt vil tallene være endnu højere, da de målte luftskifter også inkluderer luft tilført fra øvrige rum.

Antages samme betragtninger som ovenfor for etagebyggeri, er de målte luftskifter i forhold til middeludeluftskifterne for soverum, jf. Bergsøe, 1994 - 2, vil det målte luftskifte i middel kunne estimeres til et udeluftskifte til ca. 7 gange højere. Også her vil luftskiftet som ovenfor reelt være endnu højere under normal brugsanvendelse.

Kravet til udelufttilførslen for en acceptabel luftkvalitet i kontorer og offentlige institutioner efter DS 447:2013 og klasse II samt en rumhøjde på 2,5 m svarer til et luftskifte på $2,0 h^{-1}$. Hvis alle "kontorer og offentlige institutioner" regnes som

kontorer er det målte luftskifte som udeluftskifte 93 % af de målte luftskifter under $2,0 \text{ h}^{-1}$ og reelt er en større andel lavere. Se vedlagte bilag 3 og de tre cases.

4.3.5 Congenersammensætning af PCB₂₇ i indeluft

For at belyse forekomsten af flere PCB congenere end de syv PCB congenere, som indgår i standardanalyser, er der til indeluftundersøgelserne målt for de samme 27 congenere, der indgår i Sundhedsstyrelsens undersøgelse i Farum (Mayer et al., 2012).

Bortset fra PCB-118 optræder de dioxinlignende PCB i relativt små koncentrationer sammenlignet med de congenere, som indgår i PCB₇, og de vil ofte være under detektionsgrænsen ved standardanalyser, idet det kræver en lavere detektionsgrænse at få disse congenere med.

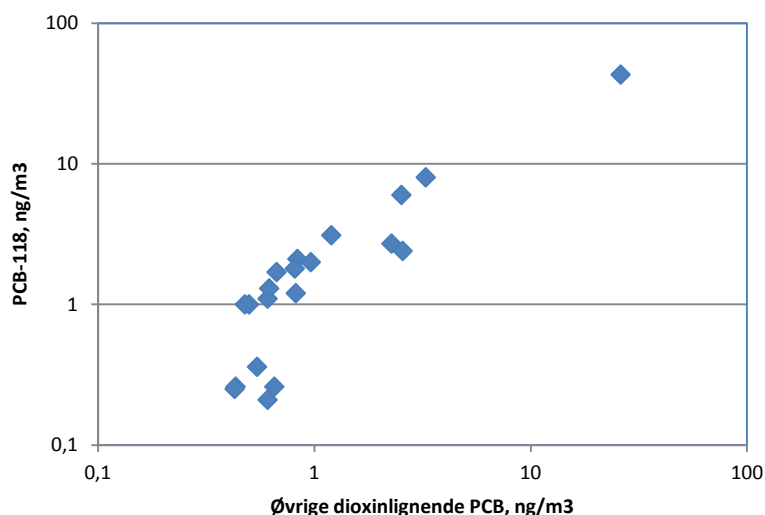
Der er undersøgt for alle 27 congenere i alle prøver af indeluft og i udvalgte materialeprøver. Resultaterne viste dog, at de dioxinlignende PCB, bortset fra PCB-118, var under detektionsgrænsen i stort set alle prøver af indeluft. Et udvalg af prøverne fra indeluftmålingerne er derfor efterfølgende blevet opkoncentreret, således at der kunne opnås en detektionsgrænse på mindre end $0,1 \text{ ng/m}^3$ pr. congener. Da det kræver relativt høje koncentrationer at måle de dioxinlignende congenere, selv med denne detektionsgrænse, er det valgt kun at foretage nye analyser af de 20 prøver med den højeste koncentration (ud over disse 20 var der enkelte prøver med høj koncentration, hvor der ikke var tilstrækkeligt ekstrakt fra XAD-2 rør til at opnå bedre detektionsgrænse og en enkelt, hvor der forekom interferensproblemer).

Opkoncentreringen er sket ved, at $1.000 \text{ } \mu\text{l}$ ekstrakt er inddampet forsigtigt ved 40°C til tørhed. Stofferne er herefter re-opløst i $100 \text{ } \mu\text{l}$ ekstrakt. Ved at sammenligne congenerprofiler for PCB₇ mellem de oprindelige resultater og de nye kunne det konstateres, at der ikke var sket væsentlige forskydninger i profilet. Opgjort som PCB₇ varierede de nye analyser med $\pm 40\%$ i forhold til de oprindelige, men var ikke systematisk højere eller lavere. Der er derfor regnet med, at congenerprofilerne for de 27 congenere ikke er blevet væsentligt påvirket af opkoncentreringen.

De dioxinlignende PCB udgjorde som gennemsnit i de 20 målinger 3% af PCB₂₇ og ca. 1% af PCB_{total}. Målinger under detektionsgrænsen blev sat til $\frac{1}{2}$ gange detektionsgrænsen. Det havde ingen væsentlig indflydelse på bidraget fra de dioxinlignende PCB, hvis målinger under detektionsgrænsen alternativt blev sat til 0. I Sundhedsstyrelsens undersøgelse i Farum, hvor kilden var indvendige fuger, udgjorde de dioxinlignende PCB i gennemsnit 1,1% af PCB₂₇. (Mayer et al., 2012)

Af de dioxinlignende PCB udgjorde PCB-118 (som indgår i PCB₇) i gennemsnit 58%, varierende fra 26% til 72% (i gennemsnit 75% og op til 100% hvis værdier under detektionsgrænsen blev sat til 0). Øvrige dioxinlignende PCB-congenere som optrådte over detektionsgrænsen i mange af prøverne var PCB-77, PCB-81, PCB-105, PCB-114 og PCB-123. I Farum undersøgelsen udgjorde PCB-118 i gennemsnit 56% af de dioxinlignende PCB. Der er tidligere i udenlandske undersøgelser vist, at PCB-118 kan bruges som en indikator for det samlede indhold af dioxinlignende PCB (Kieper og Hemminghaus, 2005). Der er også i denne undersøgelse

fundet en god overensstemmelse mellem den samlede mængde af dioxinlignende PCB og PCB-118. Det skal bemærkes, at man ikke ser en lignende sammenhæng mellem de dioxinlignende PCB og eksempelvis PCB-101 eller PCB-138. I figuren, der viser koncentrationen af PCB-118 mod summen af de øvrige dioxinlignende PCB, hvor målinger under detektionsgrænsen er regnet som $\frac{1}{2}$ gange detektionsgrænsen, hvilket påvirker sammenhængen lidt ved de laveste koncentrationer.



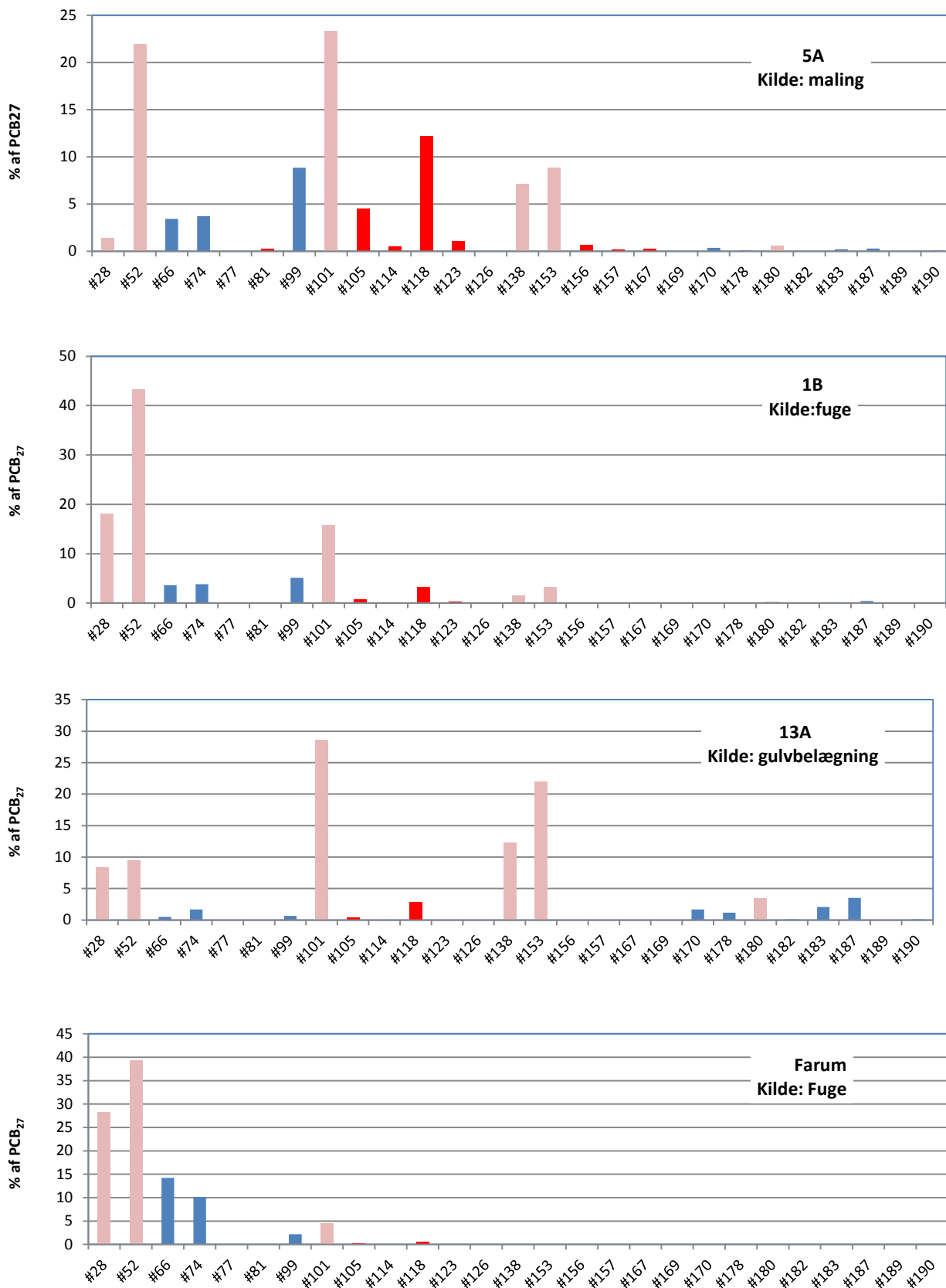
Figur 32 Sammenhæng mellem den samlede koncentration af PCB-118 og de øvrige dioxinlignende PCB og i indeluft. Målinger under detektionsgrænsen er sat til $\frac{1}{2}$ gange detektionsgrænsen.

For at beregne samlet dioxintoksicitet (udtrykt ved PCB-TEQ) skal koncentrationerne af de enkelte congenere ganges med ækvivalensfaktorer for dioxintoksicitet, hvilket ikke er gjort her. Bidraget fra PCB-118 vil formentlig være lidt mindre, hvis det angives som dioxinækvivalenter. Ved en eventuel senere omregning af resultaterne til dioxinækvivalenter er det værd at bemærke, at den mest toksiske congener (PCB-126) er 10.000 gange mere potent end de mindst toksiske af de dioxinlignende. Bidraget til PCB-TEQ fra en koncentration af PCB-118 på 1 ng/m^3 svarer til bidraget fra en koncentration af PCB-126 på $0,002 \text{ ng/m}^3$. Dette er langt under detektionsgrænsen anvendt her, og det kræver andre og mere forfinede analysemetoder, hvis man skal måle PCB-126. I en tysk undersøgelse fandt man, at PCB-118 udgjorde omkring 40% af total-PCB-TEQ i alle prøver uanset PCB kilde (Kieper og Hemminghaus, 2005). I indeluften i rum forurenede 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 indeluften var loftsplader. Det meget væsentlige bidrag til PCB-TEQ fra PCB-126 vil som nævnt ikke kunne medregnes på basis af resultaterne af ENS kortlægningen og Farum undersøgelsen.

Der er vist tre eksempler på congenerprofiler fra ENS kortlægningen og et gennemsnitsprofil fra Farum undersøgelsen i figur 33.

Et enkelt af profilerne skiller sig markant ud, idet de dioxinlignende PCB'er udgjorde 20% af PCB₂₇ (lokale 5A). Materialet med den højeste koncentration var

maling, men congenerprofilet af malingen skilte sig ikke ude fra andre materialer (se lokale 5A på figur 35). Det vides fra besigtigelse og efterfølgende vurdering af kilder, at indholdet af PCB i luften i bygningen kan skyldes en påvirkning af indeluften stammende fra utætte kondensatorer. Kondensatorerne er nu blevet fjernet. Rummet er anvendt til oplag af lysstofarmaturer og i rummet sad et lysstofarmatur, hvor kondensatoren så lettere korroderet ud. Der er viden om andre mulige kilder på lokaliteten, men udskiftede fuger har ikke et betydende indhold af PCB. Kondensatorer af typen A40 indeholder særligt meget PCB-118, men det er der også nogle typer fuger der gør. Der kan derfor ikke entydigt peges på, om kilden kan være en kondensator.



Figur 33

Tre eksempler på PCB₂₇ congenerprofiler fra ENS kortlægningen og gennemsnitsprofil fra Farum undersøgelsen (Mayer et al., 2012). Indikatorcongenerne i PCB₇ er angivet som lyserøde, de dioxinlignende mørkerøde og de øvrige congenerer er markeret med blå.

Congenerprofilen for indeluften i lokalet, hvor gulvbelægning formodes at være primærkilden, adskiller sig også fra de fleste andre, men tilsvarende profil er fundet i en anden bygning, hvor gulvbelægning formodes at være primærkilden (lokale 14 i figur 35). Tilsvarende profiler forskudt mod de mere højtchlorerede PCB og med et karakteristisk mønster mellem PCB-101 og PCB-153 er vist i svejtsiske undersøgelser, hvor kilden var loftsplader brandhæmmet med den højtchlorerede Clophen 60 (Kohler et al., 2002). Som vist tidligere har gulvbelægnings med høj PCB koncentration et profil svarende til Clophen 60.

Som det fremgår af figuren, er det profil, som mest ligner gennemsnitsprofilen fra Farum undersøgelsen, fra en måling af indeluften i et lokale, hvor primærkilden, ligesom i Farum, var fugemasse.

Der er stor forskel på, hvilke af de ikke-dioxinlignende PCB, der bidrager mest. I lokalet, hvor kilden er fugemasse, er det primært PCB-66, PCB-79 og PCB-94, der bidrager, mens det i rummet, hvor kilden formodes at være gulvbelægning, er de højtchlorerede PCB-170, PCB-178, PCB-183, og PCB-187, som giver et væsentligt bidrag.

Man ser således i denne undersøgelse et ret broget billede, som er meget godt i overensstemmelse med, hvad der er fundet i udenlandske undersøgelser. Sammenhænge mellem congenerprofilerne i materialerne og i indeluften diskuteres videre i næste afsnit med fokus på PCB₇, men med en kort diskussion af øvrige congenere.

4.3.6 Sammenhæng mellem congenerprofiler i materialer og indeluft

I 47 bygninger fra ENS kortlægningen, er der analyseret sammenhænge mellem PCB congenerprofilen i indeluft og congenerprofilen i materialer fra samme lokale, som antages at være primærkilden til PCB i indeluft.

Der ses også her et broget billede. I figur 25 er der vist 20 samhørende målinger, hvor koncentrationen af PCB i lokalet er relativt højt. Det er de samme indeluftmålinger, som der er foretaget analyser af PCB₂₇ med forbedret detektionsgrænse af.

Som grundregel giver materialer med et profil forskudt mod lavere-chlorerede congenere også en forskydning i indeluften mod lavere-chlorerede congenere, som det eksempelvis ses i de 6 målinger, hvor kilden formodes at være fugemasser (venstre i figuren). Som omtalt i foregående afsnit bidrager de højt-chlorerede congenere væsentligt mere til PCB i indeluften, når den formodede kilde er gulvbelægnings (højre side).

Der er fire målinger (fra 3 bygninger), som skiller sig ud, og er særligt interessante: lokale 8, 10, 12A og 12B. Der er i det samlede datamateriale på 67 bygninger sådanne målinger i 4 bygninger. I disse bygninger er der konstateret et sammenfald af markant høje bidrag fra PCB-28 i indeluft (>70% af PCB₇) og markant høje koncentrationer af PCB-28 i de materialer, der formodes at være kilden (>59% af PCB₇). I de målte rum ses samtidigt relativt høje koncentrationer i indeluft i forhold til PCB-niveauet i materialerne, som ligger under 150 mg/kg. Der er i datamaterialet

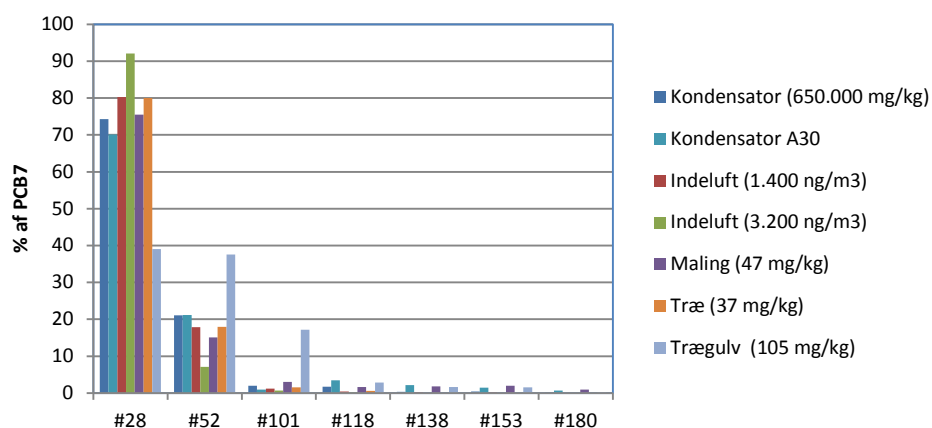
ingen eksempler på markant høje bidrag af PCB-28 i indeluft, uden at der samtidig ses et højt bidrag i materialerne.

Mønstret med det høje bidrag af PCB-28 passer med, at kilden er lavt-chlorerede PCB fra kondensatorer. Det er den eneste af de kendte primærkilder, der vil give dette mønster. Hvis dette er forklaringen, er materialerne tertiært forurenede med PCB fra kondensatorerne via indeluften. Det forklarer, at der selv med lave koncentrationer i materialerne kan findes høje koncentrationer i indeluften.

Der er lavet undersøgelser af tertiært forurenede materialer i 12 bygninger, som er omtalt i afsnit 3.1.9, men ingen af disse har indeholdt eksempler på kilder med så usædvanligt højt bidrag af PCB-28, som ses i ovennævnte eksempler. Dette peger også mod en anden kilde end fugemasse eller maling.

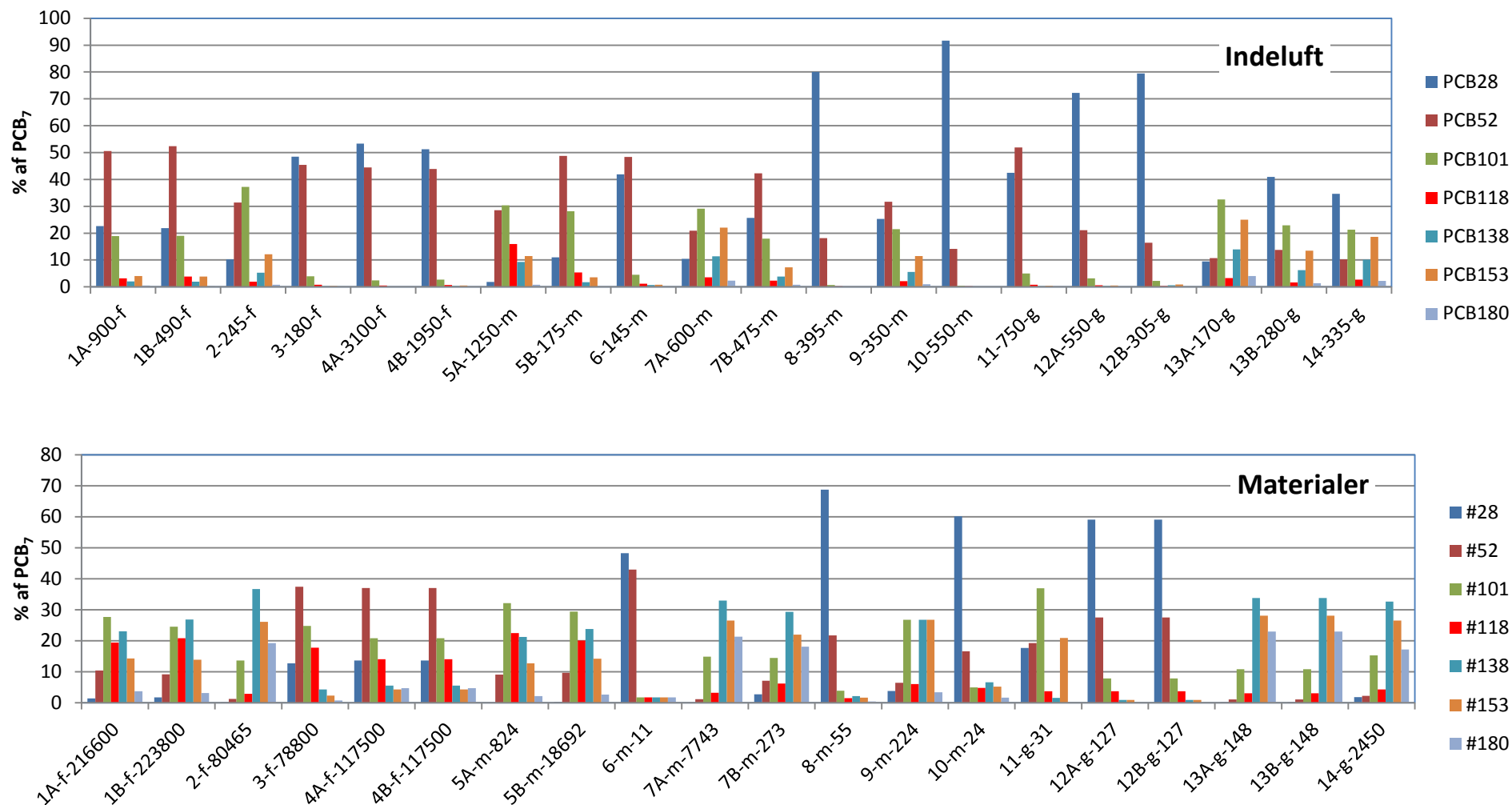
For at belyse effekten af kondensatorer yderligere er der i figur 34 vist sammenhørende profiler for kondensator og indeluften i en skoleklasse, som vides at være forurenede af kondensatoren (ikke publicerede data stillet til rådighed af en kommune). Som det ses, er kondensatoren af den lavt-chlorerede type, som resulterer i et karakteristisk mønster med en usædvanlig høj andel af PCB-28. Dette afspejles i koncentrationen i materialerne, og der ses et mønster, som stort set er identisk med det mønster, der ses i de fire eksempler diskuteret ovenfor. Congenermønstret i næsten alle materialer følger indeluften (ikke alle vist her), men en enkelt prøve af trægulv med 105 mg/kg skiller sig ud, hvilket kunne indikere, at dette materiale også indeholder PCB f.eks. fra lakken.

Koncentrationen i skoleklassen varierede mellem 1.000 og 3.400 ng/m³ inden det blev klart, at det var kondensatorer, der var kilden, og de blev fjernet. Der var 8 lysstofarmaturer i lokalet. Ved fjernelse lækkede der PCB olie fra flere af kondensatorerne, men alle armaturer fungerede indtil de blev fjernet. Med den nuværende viden ville congenerprofilen for indeluft med det samme have rettet opmærksomheden mod kondensatorer i lokalerne.



Figur 34 Congenerprofiler fra kondensator og indeluft i skoleklasse, som vides at være forurenet af kondensatorer. Profilet for den pågældende kondensator er sammenlignet med gennemsnit af gruppen, som her betegnes kondensator A30. Koncentrationen i lokalet inden fjernelse af kondensator varierede fra 1.400 til 3.400 ng/m³. Umiddelbart efter fjernelse af kondensatorerne blev koncentrationen i indeluften mere end halveret. Data stillet til rådighed af en kommune.

Resultaterne understreger vanskeligheden ved at forudsige indeluftkoncentrationen ud fra koncentrationerne i materialer. Hvor der for fuger ses et mere entydigt mønster, er det et mere komplekst billede, der ses i forhold til maling og gulvmaterialer, som kan optræde både som væsentlige primære og tertiære kilder.



Figur 35 Samhørende congeneprofiler for indeluft og det materiale i samme lokale med den højeste PCB-koncentration. For indeluft er der for hvert profil angivet et lokale ID (lokaler angivet som A og B er fra samme bygning), PCB-koncentration (i ng/m^3) og det tilhørende materiale fugemasse (f), maling(m), gulvbelægning(g)). For materialer er angivet lokale ID, materialetype og PCB-koncentrationen (i mg/kg).

4.3.7 Andre forhold

Ved nærmere gennemgang af resultaterne af indeluftmålinger og de aktuelle forhold i de undersøgte bygninger fremgår det, at der generelt har været et relativt lavt luftskifte og høje temperaturer i de lokaler, hvor der er fundet høje niveauer af PCB i indeluften.

Som diskuteret i afsnit 4.3.3 ses der overordnet en sammenhæng mellem koncentrationen i den formodede primærkilde og koncentrationen i indeluften. Der er dog, som også diskuteret andre steder i rapporten en række tilfælde, hvor der ikke påvises høje indhold i den formodede primærkilde, men hvor der alligevel påvises et betydende indhold af PCB i indeluften.

I tabel 31 er de højeste påviste indeluftkoncentrationer vist sammen med en række forhold, som kan have indflydelse på de målte PCB-koncentrationer i indeluft. Der er kun vist resultater for de målinger, hvor der også er foretaget luftskiftemåling.

Lokalerne kan groft opdeles i:

- › Lokaler med >100.000 mg/kg i indendørs fuger (1,3,4,7,10). Der ses ofte høje PCB-koncentrationer i indeluft ved høje koncentrationer i fuger.
- › Lokaler med relativt høje PCB-koncentrationer (>5.000 mg/kg) i maling (8, 14). I ingen af lokalerne var der lysstofarmaturer.
- › Et lokale med en relativt høj PCB-koncentration i gulvmateriale (>2.000 mg/kg) i maling (9)
- › Lokaler med relativt lave PCB-koncentrationer i maling eller gulvbelægninger:
 - › med tilstedeværelse af lysstofarmaturer (2,6,11,12,13,15,16)
 - › uden lysstofarmaturer (5, 17)

De to eksempler, hvor der er lave koncentrationer i materialer og ingen lysstofarmaturer, viser hvor vanskeligt det er at forudsige, hvad koncentrationen vil være i indeluften ud fra kendskab til potentielle kilder. I det én- og tofamiliehus, hvor der er fundet høje PCB-koncentrationer i et værelse, er den formodede kilde PCB-holdig maling, men der er kendskab til, at der er termoruder fra PCB-perioden. I mange andre tilfælde ville dette ikke resultere i så høje koncentrationer, men på denne lokalitet påvises der et forhøjet indhold af PCB i indeluften.

Der synes at være mange forskellige parametre, som har indflydelse på koncentrationen af PCB i indeluften, og kun nogle af disse parametre er målt i denne undersøgelse.

Tilstedeværelsen af PCB-holdige kondensatorer i armaturer til lysstofrør ser ud til at være en af de parametre, som kan komplicere billedet væsentligt. Som diskuteret

i afsnit 4.3.6 er der eksempler på, at lysstofarmaturer kan give anledning til meget høje PCB-koncentrationer i indeluften, og det kan i en række tilfælde vises at primær-kilden er kondensatorer. Men man må regne med, at kondensatorer også kan bidrage i mange andre tilfælde, hvor det dog ikke er muligt præcist at påvise, at det er kondensatorerne, der er kilden.

I de 17 af de lokaler, som er vist i tabel 31, er der lysstofarmaturer i de 13 og i alle disse 13 vil kondensatorerne potentielt kunne bidrage til PCB i indeluften og kunne være med til at sløre billedet. Som omtalt i afsnit 4.3.6 vil det især være i de lokaler, hvor PCB-28 udgør en stor del af PCB i indeluften, af man må formode at kondensatorerne kan bidrage.

Bidrag fra PCB-holdige termoruder er ikke undersøgt, men disse bidrag vil lige som bidraget fra kondensatorer være med til at sløre billedet.

Generelt bemærkes det, at der ved målingernes gennemførelse - årstiden taget i betragtning - var relativt høje temperaturer.

Der ses desuden, som også diskuteret i afsnit 4.3.4, at der generelt er målt forholdsvis lave luftskifte i de bygninger, hvor der er påvist forhøjede indeluftkoncentrationer. Der er dog to bygninger som adskiller sig, hvor luftskiftet er henholdsvis $1,12 \text{ h}^{-1}$ og $1,26 \text{ h}^{-1}$. I disse to bygninger er der påvist hhv. 899 og 906 ng/m^3 og i begge tilfælde ved relativt høje temperaturer på hhv. 25,2 og 24,9 °C. I begge tilfælde er der tale om en primærkilde i form af fugematerialer, som er anvendt indvendig i bygningen.

Som diskuteret i afsnit 4.3.3 resulterer en korrektion for luftskifte og temperatur ikke i en væsentlig bedre sammenhæng mellem PCB-koncentrationen i de formodede primær-kilder og PCB-koncentrationen i indeluften. Temperatur og luftskifte kan kun forklare en lille del af de forskelle, der ses i indeluftkoncentrationerne. Men det betyder ikke, at temperatur og luftskifte ikke har indflydelse på koncentrationen i det enkelte lokale – det er klart vist i en række undersøgelser.

Det vurderes med baggrund i de målte temperaturer og luftskifte, at indeluftkoncentrationerne kan reduceres yderligere ved ændring af temperaturen til de anbefalede 20-22 °C og i mange af tilfældene ved øgning af luftskiftet til $0,5 \text{ h}^{-1}$. Dette vil i mange tilfælde kunne gøres for få midler og vil kunne give en reduktion af indeluftkoncentrationerne på mellem 2-5 gange (se Haven og Langeland, 2011).

Tabel 31 Koncentrationer af PCB i indeluft og materialer, samt en række parametre, som kan have indflydelse på PCB-koncentrationen i indeluften.

	Bygningstype	Funktion af lokale	Indeluft				Byggemateriale					Termo- ruder	Antal lysstof- arma- turer
			PCB ng/m ³	PCB- 28 /PCB 7	Luftskif- te, pr time	Tempera- tur, °C	Materiale	Er det en generel materiale-type i bygningen	Funktion af materiale	PCB mg/kg	PCB- 28 /PCB7		
1	Kontorbygninger og off. Instituti- oner	Klasselokale	1.873	32%	0,21	22,9	Fuge	Ja, fugen er gen- nemgående i bygningen	Dilatations- fuge mel- lem beton- elementer	205.000	2,0%	Nej	12
2	Kontorbygninger og off. Instituti- oner	Oplag (Kælder), svarer til den øvrige del af bygningen, hvor der er ophold	1.237	1%	0,44	24,4	Maling	Maling og denne type armaturer er kun i dette kælderrum samt naborummet. Der er andre typer armaturer i re- sten af bygnin- gen	Maling på gulv.	830	0,1%	Nej	8
3	Kontorbygninger og off. Instituti- oner	Klasseværelse (EDB)	906	22%	1,12	25,2	Fuge	Ja, fugen er gen- nemgående i bygningen	Dilatations- fuge mel- lem beton- elementer	140.000	0,0%	Nej	9
4	Kontorbygninger og off. Instituti- oner	Kontor	899	20%	1,26	24,9	Fuge	Ja, fugen findes ved alle vinduer	Fuge ved vindue	265.000	1,7 %	Ja	1
5	En- og tofamili- ehuse	Værelse – til ophold	602	51%	0,07	23,7	Maling	Formodes ikke gennemgående. Sandsynligvis kun maling i kælderen	Maling på faldstamme i kælderen.	225	3,8%	Ja	Ingen
6	Etageejendom- me	Kælderrum. Vaske- rum	550	80%	0,57	21,3	Maling	Malingerne findes over hele kælden	Vægmalin- ger og ma- ling på dør- karme	55	70%	Ja	2

	Bygningstype	Funktion af lokale	Indeluft				Byggemateriale					Termo- ruder	Antal lysstof- arma- turer
			PCB ng/m ³	PCB- 28 /PCB 7	Luftskif- te, pr time	Tempera- tur, °C	Materiale	Er det en generel materiale-type i bygningen	Funktion af materiale	PCB mg/kg	PCB- 28 /PCB7		
7	Kontorbygninger og off. Instituti- oner	Klasselokale (faglo- kale)	499	27%	0,63	25,5	Fuge	Ja. Fugen er gennemgående i hele bygningens længde	Dilatations- fuge mel- lem beton- elementer	310.000	2,1 %	Ja	12
8	Kontorbygninger og off. Instituti- oner	Oplag (Kælder), svarer til undervis- ningslokaler i øvrig del af kælderen	409	10%	0,22	20,4	Maling	Ja. Malingen er i hele rummet, samt resten af kælderen	Gulvmaling	8.000	0,04 %	Ja	Ingen
9	Kontorbygninger og off. Instituti- oner	Oplag (Kælder)	335	40%	0,06	24,7	Gulvbelæg- ning	Hele rummet er belagt med gulv- belægningen. Ukendt omfang i resten af bygnin- gen	Gulvbelæg- ning	2.450	1,8%	Ja	7
10	Kontorbygninger og off. Instituti- oner	Klasseværelse	325	37%	0,07	25,4	Fuge	Ja, Fugerne er formodentlig i hele bygningen	Dilatations- fuge mel- lem beton- elementer	190.000	2,9%	Ja	8
11	Kontorbygninger og off. Instituti- oner	Oplag (Kælder), svarer til undervis- ningslokaler i øvrig del af kældereng	170	6%	0,07	19,9	Gulvbelæg- ning	Ja. Gulvbelæg- ningene er flere steder i kælderen	Gulvbelæg- ning	150	0,2%	Ja	2
12	Kontorbygninger og off. Instituti- oner	Oplag ifm. under- visningslokaler	155	39%	0,32	22,6	Maling	Ja. Malingen er i hele bygningen	Vægmaling	11	50%	Ja	3
13	Kontorbygninger og off. Instituti- oner	oplag, teknikrum, mødelokaler og kontor (kælder)	132	38%	0,14	29,1	Maling	Ja, maling flere steder i kælder. Der er malet over nogle steder.	Væg og loftsmaling	20	13%	Ja	2

	Bygningstype	Funktion af lokale	Indeluft				Byggemateriale					Termo- ruder	Antal lysstof- arma- turer
			PCB ng/m ³	PCB- 28 /PCB 7	Luftskif- te, pr time	Tempera- tur, °C	Materiale	Er det en generel materiale-type i bygningen	Funktion af materiale	PCB mg/kg	PCB- 28 /PCB7		
14	Etageejendom- me	Værelse – opholds- rum	112	58%	0,37	25	Maling	Malingen findes på radiatorer rundt om i byg- ningen	Maling på radiator	12.000	0,03 %	Ja	Ingen
15	Kontorbygninger og off. Instituti- oner	Klasseværelse, de- pot ifm. hjemme- kundskab	78	77%	0,68	24,2	Maling	Muligvis i resten af kælderen og- så. Malingen er på et nedløbsrør	Maling	55	72%	Nej	Ja, rummet oplyses af ar- matu- rer
16	En- og tofamili- liehuse	Op- lag/værkstedrum (kælder)	72	37%	0,26	20,1	Gulvbelæg- ning	Muligvis i resten af kælderen og- så. Det er dog ikke beskrevet	Gulvbelæg- ning	70	36%	Nej	2 eller 3
17	Kontorbygninger og off. Instituti- oner	Mellemgang (Kæl- der)	56	33%	0,38	22,0	Gulvbelæg- ning	Ja, gulvbelæg- ningen er gen- nemgående i kælderen	Gulvbelæg- ning	31	18%	Ja	Ingen

4.4 Sammenhænge mellem koncentrationen af PCB i materialer og indeluft

Der blev som led i kortlægningens fase 2 indsamlet eksisterende information om samhörørende målinger af PCB i indeluft og i materialer. Formålet var at afklare, hvilke kriterier, der skulle benyttes ved udvælgelse af bygninger til undersøgelserne af PCB i indeluft i ENS kortlægningen.

Nedenstående figur er dannet på basis af de indsamlede data fra kommunernes screeninger og omfatter bygninger, hvor der er samhörørende datasæt med målinger af PCB i både materialer og indeluft. Disse er sammenholdt med resultater fra Sundhedsstyrelsens undersøgelse i Farum, 2011 (Mayer et al., 2012) data præsenteret i afhjælpningstiltagsprojektet for EBST (Haven og Langeland, 2011) samt data fra i "Sundhedsmæssig vurdering af PCB-holdige bygningsfuger (Gunnarsen et al., 2009).

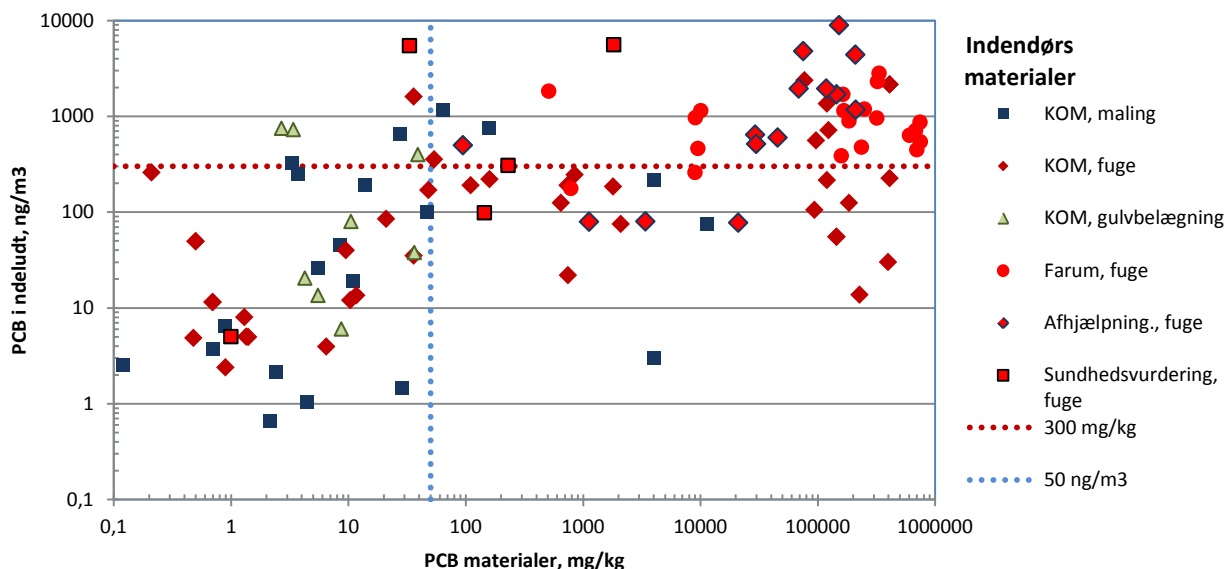
For hver bygning fra kommunernes undersøgelser er den højest målte koncentration i indeluft i bygningen vist mod den højest målte koncentration i materialer, som er placeret indendørs i samme bygning. Bemærk logaritmiske skalaer. I mange tilfælde er screeningerne ikke udført i de samme rum i bygningerne, som der tages henholdsvis indeluft- og materialeprøver fra, så sammenstillingen kan kun give en grov sammenhæng mellem koncentration i materialer og indeluft for en bygning. I forhold til det store antal målinger i henholdsvis materialer og indeluft (som omtales i andre afsnit) er der i kommunernes screeninger kun et begrænset antal lokaliteter, hvor der er samhörørende målinger, grundet de to forskellige kortlægningsstrategier anvendt i undersøgelserne. I en del tilfælde er der lavet opfølgende målinger, f.eks. af PCB i materialer de steder, hvor der er fundet PCB i indeluften, men dette materiale, der vil kunne give flere sammenhængende målinger, er ikke inddraget.

Der er et stort antal data, som viser, at der er en klar sammenhæng mellem koncentrationen af PCB i indvendige bygningsfuger (røde punkter) og indeluften. I en meget stor del af de bygninger, hvor der er fundet høje koncentrationer i fugerne, ses koncentrationer over den nederste aktionsværdi i indeluften. Disse danner punktsværmen i øverste, højre hjørne af figuren. Lave koncentrationer i fugerne, koblet til lave koncentrationer i indeluft, giver en sværm af røde punkter i nederste venstre hjørne.

Den interessante del af figuren er nederste højre hjørne, hvor der er en række eksempler på, at der er fundet høje koncentrationer i indeluft, hvor der kun er fundet maling og gulvbelægninger med relativt lave koncentrationer. Det kan selvfølgelig skyldes, at man har overset den primære kilde, når indeluftmålingerne er taget i andre lokaler end materialeprøverne, men det er påfaldende, at en stor del af punkterne udgøres af materialer med en stor overflade. I hvilken grad PCB i indeluften skyldes tilstedeværelse af maling og/eller gulvbelægning som primærkilde, eller at der tidligere har været en anden primærkilde er ikke klart.

De eksisterende data indikerer, at der kan være en betydende indeluftpåvirkning fra PCB kilder indendørs, selvom koncentrationsniveauet ligger langt under de niveau-

er, hvor der ellers er påvist effekt af PCB i fugemasser (uanset om det så er en primær eller tertiær kilde). Da nærværende undersøgelse har påvist en større udbredelse af PCB i maling og gulvbelægninger end hidtil antaget, rejser spørgsmålet sig, i hvilken grad de fundne niveauer kan give anledning til PCB i indeluften.



Figur 36 Sammenhørende værdier fra screeninger af PCB i indeluft og indendørs materialer fra kommunernes kortlægninger (KOM), sammenholdt med resultater fra tidligere undersøgelser.

Noter: Maling, fuge og gulvbelægning stammer fra data indsamlet fra kommuner. Højeste koncentration for henholdsvis indeluft og materialer placeret indendørs i bygningen. Kun datasæt, hvor koncentrationen i både indeluft og materialer er over detektionsgrænsen, er vist.

Farum, fuge: Data fra Sundhedsstyrelsens undersøgelse i Farum, 2011 (Mayer et al., 2012).

Afhjælpningstiltagsprojekt, fuge: Data præsenteret i afhjælpningstiltagsprojektet for EBST (Haven og Langeland, 2011)

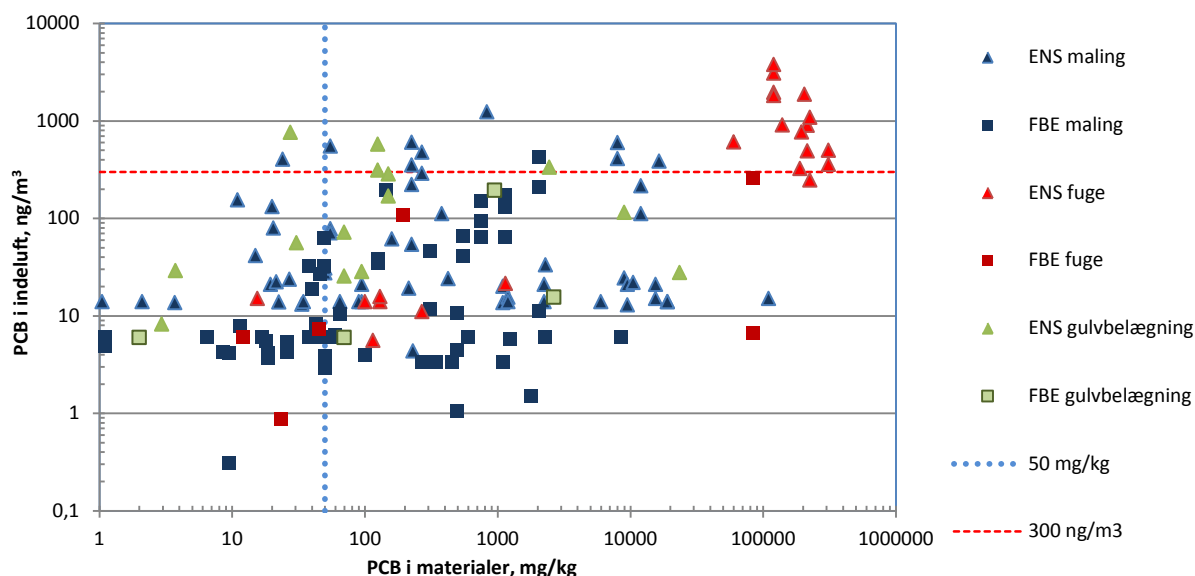
Sundhedsvurdering, fuge: Data præsenteret i "Sundhedsmæssig vurdering af PCB-holdige bygningsfuger (Gunnarsen et al., 2009).

Resultater fra ENS kortlægningen og kortlægningen i Forsvarets bygninger (FBE) er vist i figur 37. Målinger, hvor koncentrationen i indeluft er under detektionsgrænsen, er angivet som $\frac{1}{2}$ gange detektionsgrænsen. Der er kun vist resultater for målinger, hvor koncentrationen af materialer i rummet er kendt, eller hvor det ved prøvetagningen er vurderet, at der i rummet har været et materiale svarende til et af de undersøgte materialer. For maling introducerer det en usikkerhed, da det er vanskeligt at sige om den PCB-holdige maling, der typisk befinder sig under flere lag maling, også er til stede.

Da der i hver bygning er foretaget målinger i to rum, er der en del målinger, hvor koncentrationerne i materialer har været under 50 mg/kg, fordi materialet, der udløste, at bygningen blev udvalgt, er placeret i et andet rum.

Ligesom i den foregående figur, ses der for fugerne en klar sammenhæng mellem høje koncentrationer i indendørs fuger og høje koncentrationer i indeluft. For maling og gulvmasser ses en tilsvarende tendens, men med meget større udsving.

Det ses, at der er mange eksempler på, at maling og gulvbelægningsresultater resulterer i koncentrationer på $\geq 300 \text{ ng/m}^3$. Som det fremgår, resulterer koncentrationer i materialerne på under 50 mg/kg (som har været afskæringsværdi i udvælgelse af bygningerne) i langt de fleste målinger i koncentrationer i indeluft på $< 300 \text{ ng/m}^3$.



Figur 37 Sammenhørende værdier af PCB i indeluft og materialer fra henh. ENS og FBE kortlægningen. Værdier under detektionsgrænsen er angivet som 1 ng/m^3 , for at vises på figuren.

Men der er enkelte undtagelser, som har betydning for fortolkningen af resultaterne i forhold til de bygninger, hvor der ikke er foretaget indeluftmålinger. Der er tre målinger i kortlægningerne, hvor koncentrationen i luften er større end 300 ng/m^3 , selvom den er under 50 mg/kg i materialerne. Disse er identiske med de målinger, som er diskuteret i det foregående afsnit.

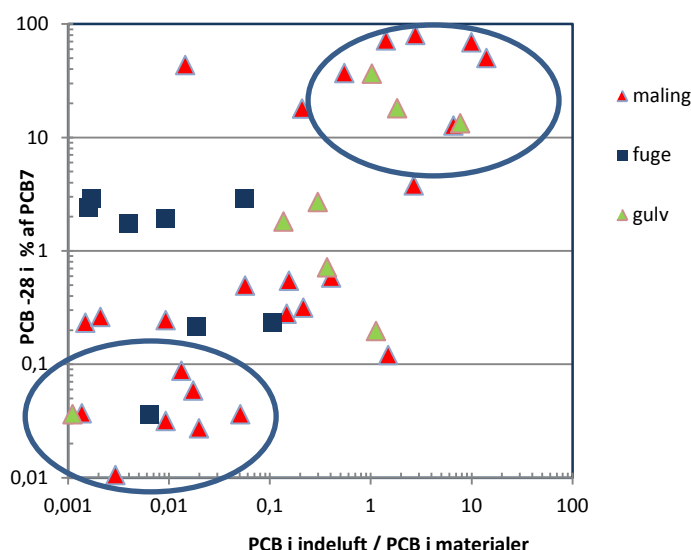
I det ene tilfælde, er der i to kælderrum, som støder op mod hinanden, målt henh. 550 og 395 ng/m^3 , mens de højeste koncentrationer målt i maling i de to rum var henh. 55 og 24 mg/kg . Der er ved prøvetagningen noteret, at der var kondensatorer i rummet. Kongenersammensætningen med en andel af PCB-28 på mere end 80% af PCB₇ i både materialer og indeluft, giver en klar indikation på, at der er tale om forurening fra kondensatorer af den lavt-chlorerede type, som er den eneste fundne primærkilde, der har en så høj andel af PCB-28.

I det andet tilfælde, hvor det er angivet, at gulvbelægning er kilden, er der ved prøvetagning noteret "Ingen primærkilde i rum – PCB fundet i maling i tilstødende trappeopgang, evt. erklæber under gulv en kilde, det er den samme som i trappeopgang." Maling i tilstødende trappeopgang er målt til 95 mg/kg og var udløsende for, at bygningen blev udvalgt, men målinger af PCB i indeluft er ikke målt i trapperummet, da det ikke var muligt at lukke rummet under prøvetagning. Der fore-

ligger ikke prøver af maling i det målte rum. Der er således tvivl, om der faktisk kunne være en større kilde i det målte rum eller der tidligere har været en primær kilde.

I det tredje tilfælde fra FBE kortlægningen, er der i det tilstødende rum fundet højere værdier i indeluft, og maling med 1.150 mg/kg. Det er således meget sandsynligt, at det er PCB kilden i det tilstødende rum, som resulterer i de høje værdier i det pågældende rum.

Der ses i materialet et karakteristisk mønster, hvor relativt høje koncentrationer i indeluft i forhold til koncentrationen i maling er korreleret med, at PCB-28 udgør en stor andel af PCB₇. Det forhold, at materialer med relativt lille koncentration og en andel af PCB-28 væsentligt over den andel der ses i fugemasser og malinger ved højere koncentrationer (hvor de antages at være primærkilder), giver en klar indikation på, at de fundne materialer ikke er den oprindelige primærkilde. Ved de meget høje andele af PCB-28 er det en oplagt mulighed, at det er kondensatorer, der er kilden, og ellers er en oplagt mulighed, at primærkilden f.eks. har været en fuger, som nu er fjernet.



Figur 38 Andel af PCB-28 vist mod forholdet mellem PCB i indeluft ($i \text{ ng/m}^3$) og PCB i det materiale, som antages at være hovedkilden.

I de 12 bygninger, som er undersøgt for primær, sekundær og tertiær kilder, som omtales i afsnit 4.3.6, er PCB-28 andelen i de sekundært og tertiært forurenede malinger i de 12 bygninger fra 0 til 28% (høje værdier når primærkilden er fuger) med et gennemsnit på 7%. De andele, som ses i overstående figur, og som giver anledning til relativt høje indeluftkoncentrationer, er altså væsentlig højere end fundet i de 12 bygninger, hvor det vides, at primærkilden er enten maling eller fugemasse.

Resultaterne indikerer kraftigt, at kondensatorer også kan være kilder til de forhøjede niveauer. Det komplicerer beskrivelsen af sammenhænge, men sikrer samtidig, at ekstrapolationen af resultaterne også tager højde for denne kilde.

Den store usikkerhed omkring, hvorvidt de fundne materialer faktisk er primærkilder, resulterer i en meget væsentlig variation i sammenhængen mellem PCB i indeluft og materialer.

Man kan altså ikke gå ud fra, at bygninger med $<50 \text{ mg/kg}$ i materialer i indeluft ikke har PCB-koncentrationer over 300 ng/m^3 , som har været udgangspunkt i den foreslåede metode. Det er derfor nødvendigt også at estimere, hvor mange af de øvrige bygninger, der kan indeholde PCB-koncentrationer i indeluft over de relevante niveauer.

For at undersøge i, hvilken grad en række andre parametre har indflydelse på forholdet er der for datasættet, hvor der er målt luftskifte, lavet forskellige beregninger for at se, om det resulterede i en bedre korrelation mellem koncentrationen i materialer og indeluft.

Luftskifte. Der er foretaget en normalisering af alle målte koncentrationer til et luftskifte på 1 gange i timen. Det er antaget, at den udstrømmende luft har samme koncentration som koncentrationen i rummet, mens den indstrømmende luft er ren luft. Det er med den anvendte metode til luftskifte ikke muligt at estimere, hvor meget af den indstrømmende luft der faktisk kommer udefra, og hvor meget der kommer fra andre rum og hulrum i bygningen.

Temperatur. Der er foretaget en normalisering til 21°C på basis af en empirisk sammenhæng bestemt for forurenede lejligheder i Farum (SBMI, 2011). Korrektionsfaktoren er på den basis beregnet som $y = 60,68 \cdot \exp(0,1389x)$, hvor x er den temperatur, som målingen er foretaget ved, og y er korrektionsfaktoren.

Overflader af materialer. Den samlede overflade af det materiale, som antages at være hovedkilden, er beregnet, og der er bestemt et kilde-potentiale ved at gange koncentrationen i materialet med overfladen. Dette skulle tage højde for forskelle mellem eksempelvis malede gulve med en stor overflade og et enkelt malet vand-rør.

Kildestyrke. Der er beregnet en kildestyrke, som udtrykker, hvor meget PCB der forsvinder per time fra rummet. Denne er beregnet som produktet af koncentrationen i indeluft normaliseret i forhold til temperatur og lugtskifte (1 gang pr. time) og rummets volumen. Denne kildestyrke er så holdt op mod det beregnede kildepotentiale.

Graden af korrelation er bestemt som korrelationskoefficienten R^2 på de dobbelt-logaritmisk transformerede data (som i ovenstående figurer). Korrelationer er lavet for $\text{PCB}_{\text{total}}$, PCB-28 og summen af PCB-28 og PCB-54.

Noget uventet gav det ikke bedre korrelation at normalisere data eller at sætte kildestyrken op mod kilde-potentialet som vist i nedenstående tabel. Det er forsøgt at lave forskellige andre korrelationer, som ikke gav bedre resultat, disse er ikke vist.

Korrelationskoefficienterne for $\text{PCB}_{\text{total}}$ på 0,14 tyder på meget svag sammenhæng mellem de forskellige parametre. Korrelationen for PCB-28 var betydeligt bedre, som dels er en funktion af at PCB-28 i særligt grad afgives til indeluft, dels er en

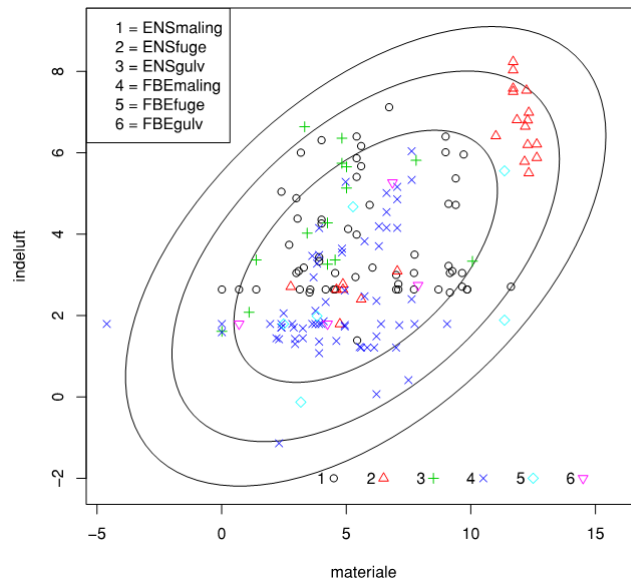
funktion af forholdene beskrevet ovenfor. For den videre brug af dataene til ekstrapolation af de fundne resultater til de bygninger, hvor der ikke er lavet indluftmålinger, er korrelationen for PCB-28 dog ikke særligt brugbar, da der netop ikke kan laves en entydig omregning tilbage til PCB_{total} .

Tabel 32 *Korrelationskoefficienter, R^2 på dobbelt-logaritmisk transformerede data.*

	Ikke normaliseret indluftkoncentration mod PCB i materialer	Normaliseret indluftkoncentration mod PCB i materialer	Kildestyrke mod kildepotentiale	Ikke normaliseret indluft mod kildepotentiale
PCB_{total}	0,14	0,10	0,12	0,14
PCB-28+ PCB-54	0,29	0,30	0,30	0,30
PCB-28	0,40	0,39	0,35	0,39

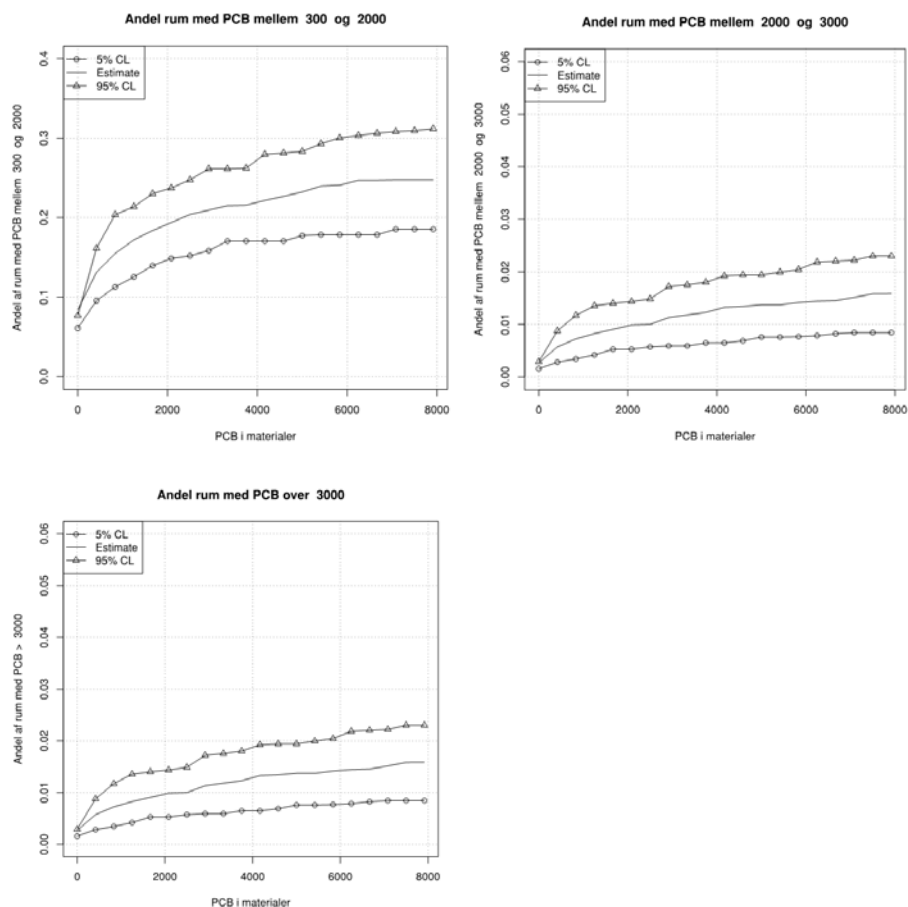
For at kunne danne basis for ekstrapolationer er det derfor valgt at se på forholdet mellem de variable på en mere avanceret måde, hvor man regner med usikkerheder på hver variabel. Det betyder, at der frem for at se på konfidensgrænser omkring en lineær regressionslinie, er beregnet konfidensellipser i et todimensionalt udfaldsrum.

Konfidensellipser vist på det samme datasæt, som er vist i figur 37, er angivet i nedenstående figur. Ellipserne er beregnet ved at se på alle materialer sammen. Det er muligt, at der er forskelle mellem materialerne, og det svækket modellen, at se på dem samlet. Der er ikke tilstrækkeligt med data til at foretage en estimering for hvert materiale for sig. For gulvmaterialer er der er mindre klar sammenhæng end der ses for de øvrige materialer, hvilket formentlig hænger sammen med, at gulvmaterialerne i mange tilfælde ikke er primærkilden. Tilstedeværelsen af kondensatorer som primærkilder, og usikkerheder i forhold til, om der tidligere har været en primærkilde, giver et væsentlig bidrag til den variation der ses.



Figur 39 Samhørende $\log(\text{PCB})$ i materialer og indeluft. 99%, 95% og 75% konfidensellipser. Samme data som i figur 37.

På basis af den todimensionale fordeling er der bestemt sammenhænge mellem PCB i materialer placeret indendørs og indeluft, som illustreret med nedenstående figurer, der viser sandsynligheden for at finde de angivne intervaller i indeluft, som funktion af den højeste koncentration af PCB i materialer i lokalet. Figuren viser 90% konfidensintervaller.

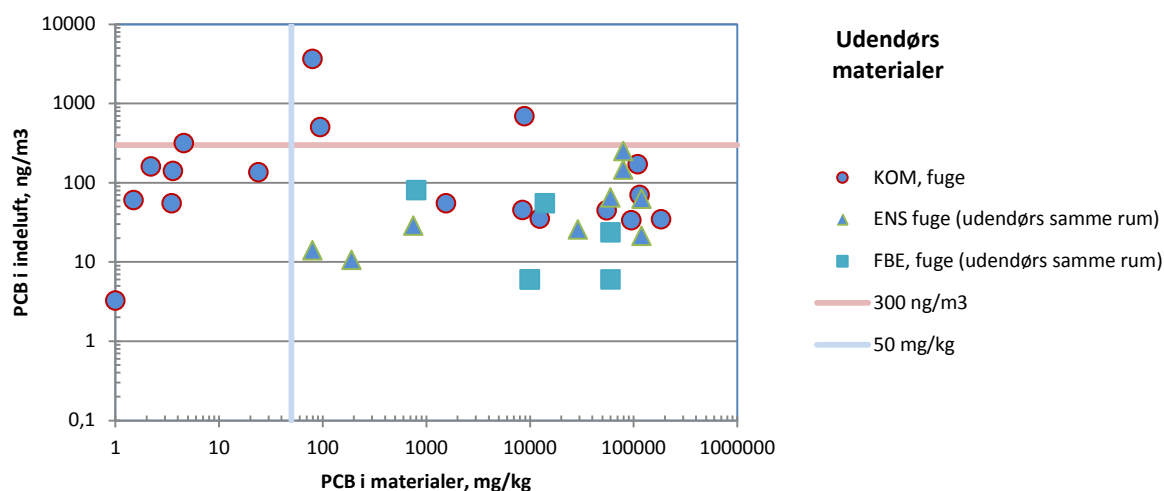


Figur 40 Estimerede sandsynligheder for at finde PCB i indeluft i de angivne intervaller som funktion af PCB i materialer. Sandsynligheder er på figuren kun vist op til materialer med 8.000 mg/kg, men beregnet op til de højeste værdier fundet i materialerne (ca. 300.000 mg/kg).

Materialer placeret udendørs

I ingen af de undersøgte bygninger i både ENS og FBE kortlægningerne, hvor der var fundet høje koncentrationer i fuger udendørs, men ingen oplagte indendørs kilder, er der fundet ≥ 300 ng/m³ i indeluften.

I screening foretaget af kommuner er der flere eksempler på, at der er fundet ≥ 300 ng/m³ i indeluften, samtidig med at der kun foreligger målinger af udendørs fuger, eller der ikke er fundet andre kilder. Da mange af screeningerne foretaget af kommunerne kun i begrænset omfang har undersøgt PCB i malinger og gulvbelægninger, kan der meget vel være overset kilder, hvilket er helt oplagt i de tilfælde, hvor der er fundet meget lave koncentrationer i fugerne.



Figur 41 Sammenhørende værdier fra screeninger af PCB i indeluft og materialer fra ENS, FBE og kommunernes (KOM) kortlægninger. Fra kommunernes screeninger er vist data, hvor der i samme bygning ikke er fundet over 10 mg/kg i indendørs målinger. Værdier under detektionsgrænsen er angivet som 1 ng/m³, for at vises på figuren.

Fra ”Afhjælpningstiltag for forhøjede PCB-niveauer i indeluft” (Haven og Lange-land, 2011), er der også indsamlet samhoørende data af PCB i indeluft og faststof, og enkelte cases indikerer, at der kan være en betydende påvirkning af indeluften, hvis der påvises koncentrationer over 10.000 mg/kg i faststof, udendørs, som den eneste identificerede kilder.

Da datagrundlag er meget begrænset, og der i ENS og FBE kortlægningerne ikke er fundet eksempler på, at udendørs fugemasser giver anledning til niveauer over 300 ng/m³ i indeluft, vil der i estimerne ikke blive taget hensyn til de udendørs kilder, som vurderes under alle omstændigheder, kun at udgøre en meget lille del af de tilfælde, hvor der kan findes over 300 ng/m³ i indeluft.

4.5 Sammenfatning og delkonklusion

På baggrund af en byggeteknisk gennemgang og koncentrationen af PCB i byg-ningsmaterialerne blev der udvalgt i alt 67 bygninger inden for de tre bygningska-tegorier, hvor der blev foretaget målinger af PCB i indeluft. Bygningerne blev ud-valgt ud fra kriterierne, at der enten skulle være materialer indendørs med mere end 50 mg/kg PCB eller materialer udendørs med mere end 5.000 mg/kg PCB. Der var dog en del ejere af de udvalgte bygninger, der ikke ønskede at deltage i undersø-gelsen, og det har svækket undersøgelsens resultater og gjort ekstrapolation af re-sultaterne til hele bygningsmassen vanskeligere.

Én- og tofamiliehuse

Ud af de udvalgte 20 én- og tofamiliehuse blev der målt PCB i indeluft i 15, mens 5 bygningsejere ikke ønskede at deltage. Der blev fundet ≥ 300 ng/m³ i ét af de un-dersøgte én- og tofamiliehuse. I ingen af de undersøgte huse blev der fundet ≥ 2.000

ng/m³. I 71% af bygningerne, hvor der er foretaget indeluftmålinger, blev der fundet mindre end 30 ng/m³.

Etageejendomme

Ud af de udvalgte 31 etageejendomme blev der målt PCB i indeluft i 20, mens 1 boligselskab med 11 udvalgte ejendomme ikke ønskede at deltage. Der blev fundet ≥ 300 ng/m³ i én af de undersøgte etageejendomme. I ingen af de undersøgte etageejendomme blev der fundet ≥ 2.000 ng/m³. I 75% af ejendommene, hvor der er foretaget indeluftmålinger, blev der fundet mindre end 30 ng/m³. I lighed med resultaterne af undersøgelsen af PCB i materialer kan det konstateres, at etageejendomme med omfattende PCB forureninger, som de eksempler der har været fremme de seneste år, ikke er et udbredt fænomen.

Kontorejendomme og offentlige institutioner

Der var en markant højere hyppighed af såvel private kontorejendomme som offentlige institutioner med ≥ 300 ng/m³. I 12 af de 33 undersøgte bygninger (36%) blev der fundet mindst et lokale med ≥ 300 ng/m³ og der blev fundet ≥ 3.000 ng/m³ i én bygning. Hyppigheden af bygninger med ≥ 300 ng/m³ var henholdsvis 42% og 33% af de undersøgte kontorejendomme og offentlige institutioner. Resultaterne er fint i overensstemmelse med resultaterne af kortlægningen af materialer, hvor det blev konstateret, at omfattende forekomst af indendørs materialer med høj koncentration af PCB var mest udbredt i kontorejendomme og offentlige institutioner.

Når der tages højde for, den forudgående udvælgelse af bygninger med højt indhold af PCB i materialer, er resultaterne for de offentlige kontorer og institutioner i god overensstemmelse med resultaterne af kortlægninger foretaget af kommunerne.

Resultaterne af 1.377 indeluftmålinger på 507 lokaliteter (skoler, børnehaver, rådhus, mm.) i 16 kommuner er sammenfattet i denne kortlægning. Langt den største del af datasættet er repræsenteret af kortlægninger, hvor der er taget målinger af alle lokaliteter (evt. kun inden for en underkategori af bygninger) eller en stikprøve, uden at der har været en forudgående udvælgelse på baggrund af målinger af PCB i materialer. Da målinger i 507 lokaliteter giver et meget godt statistisk grundlag, er resultaterne af disse kortlægninger anvendt til at estimere PCB i indeluft i alle danske offentlige kontorer og institutioner.

Sammenfatningen viser, at der er fundet ≥ 300 ng/m³ på 7% af de undersøgte lokaliteter. Der blev fundet ≥ 3.000 ng/m³ på 2 lokaliteter, svarende til 0,4% af de undersøgte lokaliteter.

Sammenhæng mellem congenersammensætning i materialer og indeluft

I 47 bygninger er der analyseret sammenhænge mellem PCB congenerprofilen i indeluft og congenerprofilen i det materiale fra lokalet, som antages at være primærkilden til PCB i indeluft.

Som grundregel giver materialer med et profil forskudt mod lavere-chlorerede congenere også en forskydning i indeluften mod lavere-chlorerede congenere, som det eksempelvis ses i målinger, hvor kilden formodes at være fugemasser, sammenlignet med profiler, hvor primærkilden er maling eller gulvbelægning.

Dioxinlignende PCB

De dioxinlignende PCB udgjorde som gennemsnit 3% af PCB₂₇ og ca. 1% af PCB_{total}. I Sundhedsstyrelsens undersøgelse i Farum, hvor kilden var indvendige fuger, udgjorde de dioxinlignende PCB i gennemsnit 1,1% af PCB₂₇. (Mayer et al.,

2012). Resultaterne af ENS kortlægningen svarer således fint til resultaterne fundet i Farum. Et enkelt af profilerne skilte sig markant ud, idet de dioxinlignende PCB'er udgjorde 20% af PCB₂₇. Dette kunne pege på kondensatorer som kilde, men kilden kan også være fugemasse, som ikke længere befinder sig i lokalet.

Af de dioxinlignende PCB udgjorde PCB-118 (som indgår i PCB₇) i gennemsnit 58%, og der var generelt en god sammenhæng mellem indholdet af PCB-118 og det samlede indhold af dioxinlignende PCB, som også er vist i udenlandske undersøgelser.

Kondensatorer som kilde til PCB i indeluft

Der er nogle af bygningerne, der skiller sig ud med meget høj andel af PCB-28 i såvel materialer (hvor koncentrationerne af total-PCB er lave) som i indeluft. Dette peger mod kondensatorer som mulig primær kilde, eller at primærkilden er fjernet, og PCB i indeluften i de tilfælde skyldes, at alle materialer i lokalet er tertiært forurenede. Analyser af sammenhænge mellem primærkilder og sekundært og tertiært forurenede materialer viser, at der sker en vis forskydning mod mere lavt-chlorerede congenere i de tertiært forurenede materialer, men det giver ikke anledning til så høje PCB-28 andele, som ses i 4 bygninger, hvor ovennævnte fænomen er observeret. Resultaterne tyder på, at kondensatorer er ansvarlige for mindst 4 af de tilfælde (ca. 12% af alle), hvor der er fundet mere end 300 ng/m³ i indeluften. Den type kondensator, som skiller sig markant ud og kan identificeres som primærkilde, udgør kun ca. halvdelen af kondensatorerne, og det samlede antal tilfælde, hvor det er kondensatorer, som er ansvarlige for de høje niveauer i indeluften kan meget vel være højere. Det skal i den sammenhæng bemærkes, at kondensatorer måtte indeholde PCB frem til 1986, og bygninger helt frem til dette årstal vil derfor kunne have denne kilde til PCB i indeluften.

Sammenhænge mellem koncentrationer i materialer og indeluft

Der er lavet en indgående analyse af sammenhængen mellem PCB-koncentrationen i materialer og indeluft. Der er dels lavet en sammenfatning baseret på kommunernes kortlægninger og andre undersøgelser, dels lavet en samlet sammenfatning for ENS og FBE kortlægningerne. I sidstnævnte sammenfatning er der større sikkerhed for, at materialerne har befundet sig i det lokale, hvor der er målt PCB i indeluft.

Begge sammenfatninger viser, at der er en vis sammenhæng mellem høje koncentrationer i materialer og høje koncentrationer i indeluft, men der er meget stor variation, og sammenhængen er ikke særlig entydig. Især ikke for maling og gulvbelægninger. For at undersøge betydningen af luftskifte, temperatur, overfladeareal, mm. er der foretaget forskellige normaliseringer og beregnet kildestyrker og kildepotentialer. Det er dog ikke ad denne vej opnået, at kunne beskrive sammenhænge mere entydigt. Analysen viser, at der kan opnås en betydelig bedre korrelation, hvis der kun ses på PCB-28 fremfor at se på PCB_{total}. Men da resultaterne efterfølgende ikke kan omregnes entydigt til PCB_{total} kan en sådan korrelation ikke anvendes til at forudsige PCB-indholdet i indeluft på basis af PCB-28 indholdet i materialer. Der er i flere tilfælde fundet mere end 300 ng/m³ i lokaler, hvor den højest målte værdi i materialer ikke er over 50 mg/kg, men der er også mange eksempler på, at tilstedeværelsen af store maledede overflader med PCB-koncentrationer på flere tusinde mg/kg ikke giver anledning til så høje indeluftkoncentrationer. Der er meget, der tyder på, at især maling og gulvbelægninger ikke er den egentlige primærkilde. I en væsentlig del af målingerne over 300 ng/m³ er det vist, at kondensatorer formentlig er primærkilden, og kondensatorerne vil formentlig også kunne

bidrage til PCB i materialer og indeluft i mange af målingerne ved lavere værdier og derfor sløre sammenhængene mellem materialer og indeluft.

For at kunne bruge sammenhængene mellem materialer og indeluft, til at ekstrapolere til de bygninger, hvor der kun er målt på materialer, er der beregnet såkaldte konfidensellipser, som beskriver sammenhængene mellem materialer og indeluft. I modellen er alle værdier for alle materialer slået sammen, da der ikke er tilstrækkeligt mange værdier for de enkelte materialer. Det er især en svaghed, at der ikke ses nogen større sammenhæng mellem koncentrationen i materialer og indeluft for gulvmaterialer, formentlig fordi gulvmaterialerne i de fleste tilfælde faktisk ikke er primærkilden. På den basis er det beregnet, hvor stor sandsynligheden er for, at et lokale med et materiale med en given koncentration i materialer har indeluft med eksempelvis mere end 300 ng/m³. Disse sandsynligheder er angivet med et konfidensinterval. Ved at beregne en sandsynlighed for alle undersøgte bygninger, er det beregnet, hvor mange bygninger der forudses at indeholde PCB med ≥ 300 ng/m³, ≥ 300 -2.000 ng/m³, ≥ 2.000 -3.000 ng/m³ og ≥ 3.000 ng/m³. Disse er beregnet med et såkaldt prediktionsinterval. Med denne metode er det beregnet, at der af det samlede antal bygninger på 352 bygninger samlet set skulle forventes at være 15 bygninger med ≥ 300 ng/m³, hvilket et godt i overensstemmelse af der i de undersøgte bygninger er fundet 15 bygninger ≥ 300 ng/m³. Dette bekræfter forventningen om, at bygninger med mindre end 50 mg/kg vil bidrage meget beskedent til det samlede antal. For de enkelte bygningstyper er der dog væsentlig forskelle mellem det forventede antal og det faktisk målte antal, hvilket især skyldes, at der med det beskedne antal målinger i indeluft for hver bygningstype vil være en stor variation i antallet af faktiske målinger over 300 ng/m³. For kontorbygninger er det estimerede forventede antal lille i forhold til antallet af faktiske målinger, hvilket kan hænges sammen med, at der i flere af bygningerne blev fundet ≥ 300 ng/m³, samtidig med at koncentrationerne i materialer var lave.

Selvom sammenhængen mellem PCB-koncentrationen i materialer og indeluft i den enkelte bygning ikke er særlig entydig, kan sammenhængen anvendes til at estimere, hvor mange bygninger inden for en den enkelte bygningstype, der vil kunne indeholde PCB over en given koncentration, når der er kendskab til PCB-indholdet i materialer i mange bygninger.

Resultaterne indikerer, at kortlægninger, der har til formål at undersøge forekomsten af PCB i indeluft, mest effektivt udføres ved at gå direkte til at undersøge PCB i indeluften og efterfølgende undersøge forekomsten af PCB i materialer, hvis koncentrationen i indeluften er for høj. Dette vil også kunne være med til at afsløre, om der tidligere har været primærkilder, eller om kondensatorer giver anledning til for høje PCB-niveauer i indeluften.

Ventilation i undersøgte bygninger

For alle bygningskategorier ses, at mange rum under målingen har haft et markant lille luftskifte, idet medianværdien for én- og tofamiliehuse, etagebyggeri og kontorer og offentlige institutioner er henholdsvis 0,10 h⁻¹, 0,23 h⁻¹ og 0,32 h⁻¹. Ca. 40 % af samtlige målerum i boligerne er målt ved et luftskifte på under 0,10 h⁻¹, og ca. 60 % af målerummene har et luftskifte på under 0,20 h⁻¹. I forhold til Bygningsreglementets krav om et mindste grundudluftskifte på 0,5 h⁻¹ er målingerne af PCB således udført under forholdsvis lave luftskifter.

Undersøgelserne er udført uden for anvendelsestiden af rummet, dvs. åbninger af vinduer og døre, anvendelse af forceret udsugning i emhætte og baderum mv. har ikke fundet sted. Hvis luftskifterne for én- og tofamiliehusene vurderes i forhold til den målte udelufttilførsel og en normal anvendelse af soverum, som vist i tidligere undersøgelser, så kan de målte luftskifter estimeres til mellem 4 og 17 gange højere end det målte ved de udførte undersøgelser. Reelt vil tallene være endnu højere, da de målte luftskifter også inkluderer luft tilført fra øvrige rum.

I de bygninger, hvor der er foretaget flere målinger i de samme lokaler, ses generelt, at PCB-koncentrationerne er ca. 1,8 gang lavere ved målinger i anvendelsestiden end koncentrationen er sammenlignet med målinger uden anvendelse af bygningen. Der ses ligeledes højere koncentrationer af PCB i indeluften ved højere temperaturer. Resultaterne bekræfter, at der er en effekt af højere temperaturer og luftskifte på koncentrationen af PCB, som er set i andre undersøgelser.

Resultaterne viser, at der med fordel kan opretholdes en lav temperatur f.eks. 20°C og luftskiftet kan øges, hvis bygningen har forhøjede koncentrationer af PCB i indeluften, hvilket kan give en samlet reduktion af indeluftkoncentrationen på 2-5 gange.

Ved detaljeret gennemgang af resultaterne for de højeste påviste indeluftkoncentrationer, så vurderes der at være mange forhold som kan påvirke resultatet af en indeluft måling, men de mest almindelige kilder til indeluft påvirkning med PCB vurderes at være indvendige fuger, malede overflader med slidstærke malinger og kondensatorer. Det vurderes ligeledes, at termoruder med indhold af PCB, kan have en betydning for indholdet af PCB i indeluften.

Det er en del af de rum, hvor der er fundet høje PCB-koncentrationer, der er oplagsrum i kældre, undervisningslokaler og mellemgange, men som det er illustreret i ovennævnte eksempel, vil PCB fra disse lokaler kunne bevæge sig til andre rum i bygningerne. Specielt kældre, hvor der er ophold i form af undervisninger er væsentlige at have fokus på, idet væg – og gulvmaling ofte vil kunne indeholde PCB, der kan give en påvirkning af indeluften.

5 Resultater af andre undersøgelser af PCB i materialer og indeluft

5.1 Gennemførte kortlægninger i kommuner

Der er pr. 1. februar 2013 modtaget resultater af kortlægninger fra 20 kommuner. Af disse har følgende 17 kommuner leveret detaljerede data, som indgår i det statistiske grundlag for de detaljerede analyser: Albertslund, Billund, Brøndby, Esbjerg, Faxe, Fredericia, Greve, Holbæk (udover de, som er undersøgt som del af ENS kortlægningen), Københavns, Mariagerfjord, Norddjurs, Nordfyns, Randers, Rebild, Slagelse, Vesthimmerlands og Aabenraa. I de øvrige kommuner har kortlægningerne kun omfattet få lokaliteter.

Resultaterne af disse kortlægninger er sammenfattet i tabel 33. Ved siden af disse kortlægninger har flere af kommunerne foretaget undersøgelser eksempelvis i forbindelse med renoveringer, og dermed er flere lokaliteter undersøgt, men det er kun resultaterne af screeningsundersøgelserne, der anvendes her.

I en række kommuner er der gennemført undersøgelser af alle kommunens bygninger, mens der i andre er taget stikprøver, og evt. fokuseret på institutioner for børn og unge. I enkelte af kommunerne er stikprøver taget ud fra en risikoprofil, dvs. der er regnet med, at der kunne være en særlig stor mulighed for at finde PCB i bygningerne, eller brugerne udgør en særlig risikogruppe.

Kommunerne har typisk anvendt tre forskellige tilgange:

- › Samhørende målinger af indeluft og materialer.
- › Screening af indeluft, og efterfølgende materialeprøver, hvor der er fundet PCB i indeluft over en given værdi.
- › Screening af materialer, og efterfølgende indeluftprøver, hvor der er fundet PCB i materialer.

Det er visse forskelle i måden at angive henholdsvis lokaliteter og bygninger og forskelle i udvælgelsen af bygninger. I rapporteringen af de fleste af kortlægningerne er der kun angivet lokaliteter, eksempelvis angivet som "Nordgårdskolen" uden detaljering, der angiver, hvor mange bygninger, der er på lokaliteten, og i hvilke af bygningerne, der er fundet PCB. For mange af kommunerne er data hentet fra de detaljerede rapporter for hver lokalitet, men også her er det ofte vanskeligt at identificere præcist, hvor de enkelte prøver er udtaget fordelt på bygninger, idet prøvetagningsstedet eksempelvis være angivet som "sløjdløkkale". Det vil for hver lokalitet derfor kræve et større detektivarbejde at bestemme præcist, hvor mange af bygningerne der indeholder PCB.

Ved behandling af data fra kortlægningerne er der for at ensarte materialet kun regnet med lokaliteter for alle kommunerne. Der er endvidere sorteret i materialet, således at bygninger fra før PCB-perioden behandles for sig. I en enkelt kommune

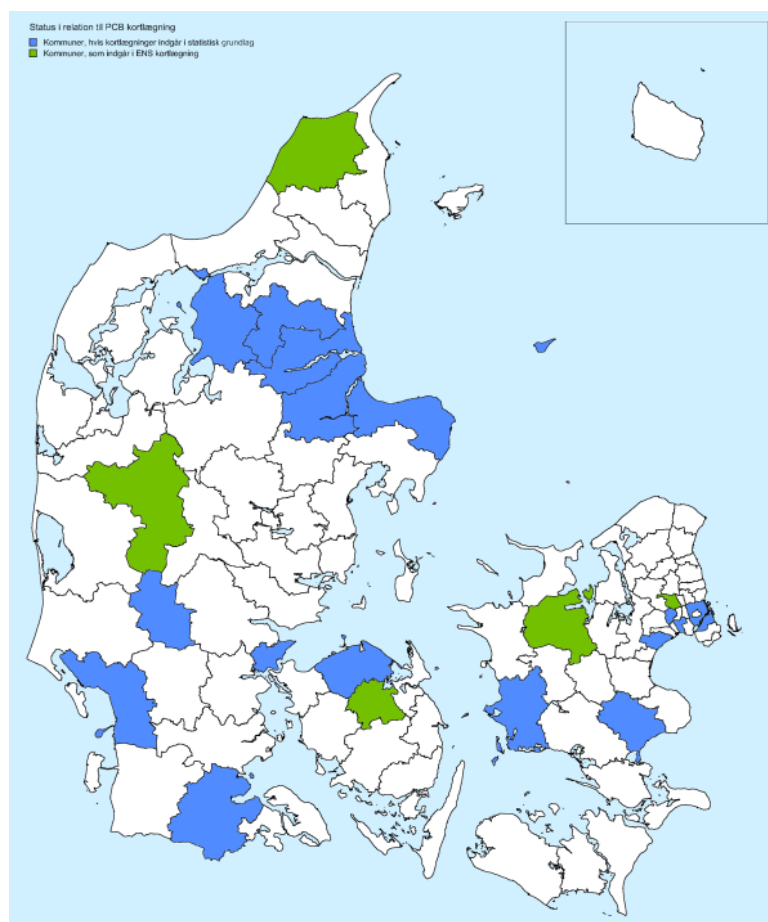
er alle bygninger, hvor der er skiftet vinduer, vurderet ikke at indeholde PCB, uden at de er inspiceret; disse er taget med, selvom metoden ikke kan anses som sikker i forhold til at fastslå, at der ikke er PCB.

Betydningen af at opgøre hyppigheden af PCB på lokalitetsniveau frem for bygningsniveau er undersøgt på basis af data fra to større kortlægninger, hvor der er rapporteret på bygningsniveau. På bygningsniveau er den gennemsnitlige hyppigheden af bygninger med materialer med ≥ 50 mg/kg PCB i de to kommuner 7,5%, mens hyppigheden er på 9,3%, når der ses på lokalitetsniveau. Tilsvarende forskelle ses for indeluftmålingerne. Det er især skolerne, der bidrager med flere bygninger pr. lokalitet, og her er der ofte kun fundet PCB i nogle af bygningerne. Opgjort på lokalitetsniveau må hyppigheden således regnes at være omkring 20% højere end hyppigheden regnet på bygningsniveau. Dette tages der højde for ved ekstrapoleringen af data til beregning af antal bygninger, som indeholder PCB over et givet niveau, på landsplan. Ved præsentation og diskussion af data i dette afsnit er det fastholdt kun at regne på lokalitetsniveau, fordi det er på dette niveau resultaterne af kortlægningerne er sammenlignelige.

Tabel 33 Forskelle i hyppigheder opgjort på henholdsvis bygnings- og lokalitetsniveau.

Materialer	Lokaliteter			Bygninger		
	Antal	≥ 50 mg/kg	Hyppighed	Antal	≥ 50 mg/kg	Hyppighed
Nordfyns Kommune	39	3	7,7 %	65	4	6,2 %
Aabenraa Kommune	90	9	10,0 %	108	9	8,3 %
Samlet	129	12	9,3 %	173	13	7,5 %
Indeluft	Antal	≥ 300 ng/m ³	Hyppighed	Antal	≥ 300 ng/m ³	Hyppighed
Nordfyns Kommune	51	4	7,8 %	58	4	6,9 %
Aabenraa Kommune	94	4	4,3 %	140	4	2,9 %
Samlet	145	8	5,5 %	198	8	4,0 %

Efter denne sortering er der 1.639 enkeltprøver af PCB i materialer på 670 lokaliteter (inkl. lokaliteter, hvor der ikke er taget prøver, fordi der ikke var relevante materialer) og 1.377 enkeltmålinger af PCB i indeluft på 507 lokaliteter, som har indgået i analysen. Kommunerne er jævnt fordelt over hele landet, som vist på nedenstående kort, der angiver de kommuner, der er anvendt kortlægninger fra og de kommuner, der indgår i ENS kortlægningen.



Figur 42 Kommuner, hvis kortlægninger indgår i det statistiske grundlag. Kommuner markert blå har bidraget til undersøgelsen med eksisterende data. Kommuner markert grøn har bidraget med bygninger, der er blevet analyseret i forbindelse med ENS kortlægningen.

Der er indtastet detaljerede data med 7 PCB congenere for 914 enkeltanalyser af materialer og 1.070 indeluftmålinger, mens der for de øvrige kun er indtastet PCB₇ og PCB_{total}. De detaljerede congeneranalyser er typisk hentet ud fra de enkelte laboratorierapporter, og det vurderes, at omkring 1000 enkeltanalyser vil give et tilstrækkeligt grundlag, for de analyser som de detaljerede oplysninger om kongener anvendes til.

I de fleste af kommunerne er der kun taget prøver af fugemateriale, og på baggrund af den omfattende forekomst af PCB i maling og gulvmaterialer vist i ENS kortlægningen, vurderes kortlægningerne fra kommunerne kun at være dækkende, hvad angår fugemateriale. For maling og gulvmasser vil data fra kommunerne derfor kun præsenteres som procent af de bygninger, hvor der er taget prøver af maling og gulvmasser.

De kommuner, der har lavet stikprøver ud fra en risikoprofil repræsenterer en mindre del af det samlede materiale, men det kan ikke afvises, at disse kan resultere i en svag overestimering af hyppighederne i forhold til den samlede bygningsmasse.

Tabel 34 Resultater fra screeningsundersøgelser af kommunale ejendomme, som indgår i det statistiske grundlag for kortlægningen. Omfatter kun lokaliteter, hvor en eller flere bygninger er opført i PCB-perioden.

Kommune *1	Bygningskategorier	Udvælgelsesmetode	Antal bygninger/lokaliteter der er undersøgt		Antal bygninger/lokaliteter hvor der er påvist PCB		Andel af undersøgte bygninger/lokaliteter	
			Hvor der er undersøgt materialer	Hvor der er undersøgt indeluft	I materialer (≥50 mg/kg)	I indeluft (≥300 ng/m ³)	I materialer (≥50 mg/kg)	I indeluft (≥300 ng/m ³)
Albertslund Kommune	Offentlige bygninger, alle typer	Alle bygninger, PCB-perioden	70	70	15	3	21%	4%
Billund Kommune	Offentlige bygninger, alle typer	Alle bygninger fra PCB-perioden	38	10	4	0	11%	0%
Brøndby Kommune	Offentlige bygninger, alle typer	Stikprøve, PCB-perioden	7	5	2	0	29%	0%
Esbjerg Kommune	Offentlige bygninger, alle typer	Stikprøve, PCB-perioden	3	34	3 (kun hvor der er påvist PCB i indeluft)	3	100%	9%
Faxe Kommune	Offentlige bygninger, alle typer	Stikprøve på basis af risikoprofil	0	17	-	1	-	6%
Fredericia Kommune	Institutioner for børn og unge	Alle bygninger fra PCB-perioden	24	24	8	4	33%	17%
Greve Kommune	Offentlige bygninger, alle typer	Stikprøve, PCB-perioden	38	40	12	5	32%	13%
Holbæk kommune (data forud for national kortlægning)	Institutioner for børn og unge	Bygninger med særlig eksponeringsrisiko	8	8	3	1	38%	133%

København Kom- mune	Institutioner for børn og unge	Stikprøve, PCB-perioden	127	3 (i foreliggende data- materiale)	8	1	6%	33%
Mariagerfjord Kommune	Offentlige byg- ninger, alle typer	Alle bygninger fra PCB- perioden	70	68	10	4	14%	6%
Norddjurs Kommu- ne	Institutioner for børn og unge	Alle bygninger fra PCB- perioden	57	56	4	1	7%	2%
Nordfyns Kommu- ne	Offentlige byg- ninger, alle typer	Alle bygninger fra PCB- perioden	65	58	4	5	6%	9%
Randers Kommune	Offentlige byg- ninger, alle typer	Alle bygninger fra PCB- perioden	112	0	9	-	8%	-
Rebild Kommune	Offentlige byg- ninger, alle typer	Stikprøve på basis af risikoprofil	0	5	-	0	-	0%
Slagelse Kommune	Institutioner for børn og unge	Alle bygninger fra PCB- perioden	87	84	8	2	9%	2%
Vesthimmerlands Kommune	Offentlige byg- ninger, alle typer	Stikprøve, PCB-perioden	13	4	4	0	31%	-
Aabenraa Kommu- ne	Offentlige byg- ninger, alle typer	Alle bygninger fra PCB- perioden	90	146	9	4	10%	3%
I alt			788	634	101	39	13%	6%

*1 for nogle af kommunerne er der kun oplysninger om lokaliteter og data er ikke opdelt på de enkelte bygninger.

5.1.1 PCB i materialer

Resultaterne af undersøgelserne opdelt på koncentrationsintervaller for lokaliteter og enkeltmålinger i 15 kommuner fremgår af nedenstående tabel (2 af kommunerne har kun screenet for PCB i indeluft). Der indgår samlet 1.619 målinger og 670 undersøgte lokaliteter.

Det er beregnet, at omkring 16% af lokaliteterne indeholder et eller flere materialer med PCB i koncentrationer på ≥ 50 mg/kg.

Materialer med ≥ 5000 mg/kg blev fundet på 9% af lokaliteterne.

Sammenlignet med resultaterne af ENS kortlægningen, er der en lavere forekomst af bygninger med PCB over eksempelvis 50 eller 5000 mg/kg, og det er kun på 46% af lokaliteterne, der er fundet PCB $\geq 0,1$ mg/kg.

Tabel 35 Resultater af målinger af PCB i materialer i institutioner og offentlige kontorer i 15 kommuner opdelt på koncentrationsintervaller.

PCB _{total} i materialer, mg/kg *1	Lokaliteter (højest målte værdi)		Enkeltmålinger *2	
	Antal	% af totalt antal lokaliteter	Antal	% af totalt antal målinger
< 0,1	401	60%	924	57%
0,1-50	160	24%	392	24%
50-500	24	4%	82	5%
500-5000	25	4%	55	3%
≥ 5000	59	9%	166	10%
≥ 50	108	16%	695	43%
$\geq 0,1$	268	40%	303	19%
Samlet antal	669		1.619	

*1 PCB_{total} er beregnet som 5*PCB₇.

*2 Lokaliteter, hvor der ikke har været relevante materialer, tæller med som en enkeltmåling med koncentrationen 0.

De lavere hyppigheder sammenlignet med ENS kortlægningen skyldes i høj grad, at kortlægninger i mange af kommunerne har fokuseret på fugemasserne og i nogle tilfælde ikke har screenet bygningerne, hvis der ikke var fleksible fuger, eller vinduerne var blevet udskiftet.

Fugemasser

De to datasæt er således kun sammenlignelige for så vidt angår fugemasse.

Tabel 36 Resultater af målinger af PCB i fugemasse i institutioner og offentlige kontorer på 448 lokaliteter i 15 kommuner opdelt på koncentrationsintervaller.

PCB _{total} i materiale, mg/kg ^{*1}	Lokaliteter (højest målte værdi pr. lokalitet)		Enkeltmålinger ^{*2}	
	Antal	Hyppighed af totalt antal lokaliteter ^{*1}	Antal	Hyppighed af totalt antal målinger
< 0,1	302	57 %	694	54 %
0,1-50	135	23 %	309	24 %
50-500	16	3 %	60	5 %
500-5000	21	4 %	48	4 %
≥ 5000	58	11 %	164	13 %
≥ 50	95	18 %	272	21 %
≥ 0,1	230	43 %	581	46 %
Samlet antal	532		1.275	

*1 1 % af alle lokaliteter, også de, hvor der ikke er taget fugeprøver (588 lokaliteter).

*2 Lokaliteter, hvor der ikke har været relevante materialer, tæller med som en enkeltmåling med koncentrationen 0.

Samlet set var hyppigheden af offentlige institutioner og kontorer med PCB-koncentrationer ≥ 50 mg/kg i fugemasse 14% (12-16% angivet som 90% konfidensinterval).

Hyppighederne med angivelse af 90% konfidensintervaller opdelt på henholdsvis Jylland/Fyn og Sjælland er givet i nedenstående tabel for at se, om der er markante forskelle mellem landsdelene. Hyppighederne af bygninger med fugemasser på ≥ 50 mg/kg var henholdsvis 12% for Jylland/Fyn og 18% for Sjælland. For Sjælland er det især to større datasæt fra Greve og Albertslund, der trækker op på gennemsnittet. En signifikantest af forskellen giver en p-værdi på 0,058, hvilket vil sige, at der ikke er signifikante forskelle mellem landsdelene.

Som nævnt tidligere vil hyppigheden af lokaliteter med PCB-koncentrationer på ≥ 50 mg/kg være ca. 20% højere end hyppigheden angivet på bygningsniveau, så hyppigheden på bygningsniveau kan estimeres til ca. 11%. Man kan ikke omregne konfidensintervallerne med helt eksakte statistiske metoder, men den fejl man begår ved at reducere værdierne med 20% vurderes at være inden for afrundingen til hele tal. På den basis estimeres det, at hyppigheden på bygningsniveau af PCB ≥ 50 mg/kg vil være 11% (9-13%).

Tabel 37 Sammenligning af hyppigheden af lokaliteter med PCB-koncentrationer ≥ 50 og ≥ 5000 mg/kg i fugemasser og på tværs af landsdele.

	Jylland/Fyn (Region Nordjylland, Midtjylland og Syddanmark)			Sjælland (Region Sjælland og Hovedstaden)			Hele landet		
	Antal lokaliteter	%	90% CI *1	Antal lokaliteter	%	90% CI	Antal lokaliteter	%	90% CI
Antal lokaliteter	363			306			669		
PCB $\geq 0,1$ mg/kg	94	26%	22-30%	108	35%	31-40%	202	30%	27-33%
PCB ≥ 50 mg/kg	42	12%	9-15%	54	18%	14-22%	96	14%	12-17%
PCB ≥ 5.000 mg/kg	30	8%	6-11%	28	9%	7-12%	58	9%	7-11%

*1 90% konfidensintervaller (CI) beregnet på basis af en binominalfordeling

Maling

Der er samlet kun udtaget 111 malingprøver i kortlægningerne fra kommunerne. Datasættet kan ikke forventes at give et repræsentativt billede af forekomsten af PCB i maling i bygningerne, og det er derfor valgt i tabel 38 at angive procenter, som hyppigheder af lokaliteter, hvor der er udtaget malingprøver, og ikke det samlede antal lokaliteter.

Det ses, at der er fundet ≥ 50 mg/kg i maling på 16% af de lokaliteter, hvor der er udtaget prøver. Dette kan sammenlignes med, at der i ENS kortlægningen er fundet maling med ≥ 50 mg/kg i 21% af de bygninger, hvor der er taget malingprøver (samlet for alle bygningskategorier) og i 17% af alle undersøgte bygninger. Der er altså fundet næsten samme hyppighed i kommunernes kortlægninger, hvis man sammenligner undersøgelser, hvor der er taget prøver. I 3% er der fundet ≥ 5.000 mg/kg, mod 5% i ENS kortlægningen. Resultaterne bekræfter således, den udbredte forekomst af PCB i malinger. Det er fundet $\geq 0,1$ mg/kg i 52% af enkeltprøverne mod 73% i ENS kortlægningen, men denne forskel kan meget vel, som omtalt under de kumulative fordelingsfunktioner, skyldes intervallet 0,1-0,5 mg/kg, idet der i mange af kortlægningerne er anvendt en højere detektionsgrænse, og at der i ENS kortlægningen er udtaget væsentligt flere prøver pr. bygning.

Tabel 38 Resultater af målinger af PCB i maling i institutioner og offentlige kontorer på 70 lokaliteter opdelt på koncentrationsintervaller.

PCB _{total} i materialer, mg/kg ^{*1}	Lokaliteter (højest målte værdi)		Enkeltmålinger ^{*2}	
	Antal	Hyppighed af totalt antal lokaliteter hvor der er udtaget malingprøver ^{*1}	Antal	Hyppighed af totalt antal målinger
<0,1	28	40%	53	48%
0,1-50	28	40%	40	36%
50-500	8	11%	11	10%
500-5000	4	6%	5	5%
≥ 5000	2	3%	2	2%
≥ 50	14	20%	18	16%
≥ 0,1	42	60%	58	52%
Samlet antal	70		111	

*1 Bemærk, at procenter her angiver procent af lokaliteter, hvor der er taget prøver af maling, og ikke det samlede antal lokaliteter.

*2 Lokaliteter, hvor der ikke har været relevante materialer, tæller med som en enkeltmåling med koncentrationen 0.

Gulvbelægninger

Ligesom for maling kan datasættet fra kommunerne ikke antages at være dækkende for gulvbelægninger. Der er samlet målt PCB i 85 prøver af gulvbelægning fra 54 lokaliteter. Der blev fundet PCB-koncentrationer ≥ 50 mg/kg på 13% af de lokaliteter, hvor der blev udtaget prøver. Samme hyppighed på 13% sås for enkeltmålinger i ENS kortlægningen, hvor hyppigheden af bygninger med PCB-koncentrationer ≥ 50 mg/kg i gulvbelægninger var 3%.

Tabel 39 Resultater af målinger af PCB i gulvbelægninger i institutioner og offentlige kontorer på 70 lokaliteter opdelt på koncentrationsintervaller.

PCB _{total} i materiale, mg/kg *1	Lokaliteter (højest målte værdi)		Enkeltmålinger	
	Antal	Hyppighed af totalt antal lokaliteter hvor der er udtaget malingprøver *1	Antal	Hyppighed af totalt antal målinger
<0,1	26	48 %	44	52 %
0,1-50	21	39 %	33	39 %
50-500	5	9 %	6	7 %
500-5000	2	4 %	2	2 %
≥ 5000	0	0 %	0	0 %
≥ 50	7	13 %	8	9 %
≥ 0,1	28	52 %	41	48 %
Samlet antal	54		85	

*1 Bemærk, at procenter her angiver procent af lokaliteter, hvor der er taget prøver af gulvmateriale, og ikke det samlede antal lokaliteter.

Skoler

Datasættet fra kommunerne indeholder data for materialeprøver fra 87 skoler spredt over hele landet. I de 87 skoler er der fundet fuger med ≥ 5.000 mg/kg i 26 skoler, svarende til 31% af de undersøgte skoler. Typisk er koncentrationerne i denne kategori ≥ 100.000 mg/kg. Der er fundet fuger med ≥ 5.000 mg/kg indendørs i 11 skoler, svarende til 13% af de undersøgte skoler. I mange af skolerne er der fundet høje værdier i alle undersøgte bygninger, mens det på andre skoler kun er en enkelt eller nogle få af bygningerne, der indeholder fuger med høje koncentrationer af PCB. Sammenlignet med landstotalen i BBR registret (trukket via OIS) er der flere af skolerne, der er opført i perioden 1965-1969, hvor brugen af PCB synes at have været på sit højeste. Det kan dog ikke helt forklare de høje hyppigheder sammenlignet med andre kommunale institutioner.

Det skal bemærkes, at datasættet omfatter data fra større screeninger i kommunerne og ikke de enkelttilfælde, hvor man har lavet undersøgelser, fordi der var en særlig mistanke. Datasættet må derfor regnes at være rimeligt repræsentativt for landets skoler opført i PCB-perioden.

I tabel 40 er der dels, vist data for højest målte værdi i den enkelte skole, dels vist resultater af alle målinger. I 29% af skolerne er der påvist fugemasser med ≥ 5000 mg/kg PCB i en eller flere fugeprøver, mens hyppigheden kun er 27%, hvis der ses på alle målinger af fugemasser (i gennemsnit er der 5 prøver pr. skole).

Det er ud fra datasættet ikke muligt at sige, hvor stor en del af alle bygninger på skolerne, der indeholder fuger med ≥ 5.000 mg/kg PCB. Der er enkelte kommuner, hvor der både er data på lokalitetsniveau (institutionsniveau) og bygningsniveau, men antallet af undersøgte skoler i disse kommuner er for lille til at kunne sige noget sikkert om omregningen fra lokalitetsniveau til bygningsniveau.

Tabel 40 Hyppighed af skoler med PCB i fugemasser.

PCB _{total} i materialer, mg/kg ^{*1}	Lokaliteter (højest målte værdi)		Målinger af fugemasser	
	Antal skoler	Hyppighed af totalt antal skoler, som er undersøgt	Antal målinger	Hyppighed af alle målinger
≥0,1	59	68 %	257	62 %
≥50	35	40 %	158	38 %
≥5000	26	29 %	112	27 %
Samlet antal	87		417	

For alle offentlige institutioner er hyppigheden angivet på lokalitetsniveau ca. 20% højere end hyppigheden angivet på bygningsniveau, se afsnit 6.1, men forskellen kan meget vel være højere for skoler, der ofte indeholder mange bygninger, der kan være opført på forskellige tidspunkter.

I den landsdækkende kortlægning (ENS kortlægningen), der er sammenfattet i tabel 1, er der undersøgt 27 bygninger på 23 skoler. Der er i de fleste skoler kun taget prøver i en enkelt bygning. På de skoler, hvor der er undersøgt flere bygninger, er disse bygget i forskellige år. Ud af de 27 undersøgte bygninger er der fundet materialer med ≥5000 mg/kg i 5 bygninger (19% af bygningerne). Der er fundet fuger med mere end 100.000 mg/kg i 3 bygninger (11%), mens der er fundet maling med ≥5.000 mg/kg i 2 bygninger (7%). Der er fundet fuger indendørs med mere end 100.000 mg/kg i 2 af bygningerne (7%).

Hyppigheden af skolebygninger med materialer med ≥5.000 mg/kg er i den landsdækkende kortlægning kun lidt højere end den samlede hyppighed af materialer med ≥5.000 mg/kg i offentlige bygninger på 16%. Den højere forekomst af fuger med ≥5.000 mg/kg i skoler, som er fundet i kommunernes kortlægninger, er således ikke bekræftet i ENS kortlægningen.

Grundet det mindre antal skolebygninger i ENS kortlægningen, er usikkerheden væsentligt større end usikkerheden på det samlede datamateriale fra kommunernes kortlægninger, og da der samlet kun er fundet materialer med ≥5.000 mg/kg i 5 bygninger er usikkerheden så stor, at man ikke kan sige, at dette er signifikant mindre end resultatet af kommunernes kortlægninger.

Tabel 41 *Hyppighed af skolebygninger med PCB i fugemasser i ENS kortlægningen.*

PCB _{total} i materialer, mg/kg ^{*1}	Bygninger (højest målte værdi)			
	Skolebygninger		Alle offentlige institutioner og kontorer (inkl. skolebygninger)	
	Antal	Hyppighed af totalt antal skolebygninger	Antal	Hyppighed af totalt antal skolebygninger
≥0,1	21	78 %	47	82 %
≥50	8	30 %	20	35 %
≥5.000	5	19 %	9	16 %
Samlet antal	27		57	

Forekomsten af PCB i indeluften i 126 skoler, spredt over hele landet, er vist i tabel 42. Igen er der tale om data fra screeninger, og kun få af skolerne er særligt udvalgt, på grundlag af et forudgående fund af PCB i materialer. Der er fundet $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i mindst én måling på 13% af skolerne, hvilket er mere end det dobbelte af den gennemsnitlige hyppighed for alle undersøgte kommunale bygninger. Af alle 578 indeluftmålinger i de 126 skoler blev der fundet $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i 12% af målingerne. Skoler repræsenterer halvdelen af de kommunale bygninger, hvor der i screeningerne er fundet $\geq 300 \text{ ng/m}^3$.

Der er ved kommunernes screeninger generelt anvendt metoder, der svarer til de retningslinjer for måling af PCB i indeluft, som blev publiceret af Erhvervs- og Byggestyrelsen i november 2010. Resultaterne vurderes derfor, at afspejle den faktiske situation.

Tabel 42 PCB i indeluft på de undersøgte skoler.

PCB _{total} i in- deluft, ng/m ³ *1	Lokaliteter (højest målte værdi)		Alle indeluftmålinger	
	Antal skoler	Hyppighed af totalt antal skoler, som er undersøgt	Antal målinger	Hyppighed af totalt antal skoler, som er undersøgt
<30	72	57%	400	69%
≥30	54	43%	178	31%
≥100	29	23%	115	20%
≥300	17	13%	71	12%
≥2.000	6	5%	10	2%
≥3.000	2	1,6%	3	0,5%
100-300	12	10%	44	8%
300-3.000	15	12%	68	12%
Samlet antal	126		578	

*1 Beregnet som 5 x PCB₇.

For at undersøge om der er markante forskelle mellem kommunerne, er der i tabel 43 vist data for hver enkelt kommune. Navnene på kommunerne er ikke oplyst, da der ikke er indhentet tilladelse hos kommunerne til at videregive detailldata. Kommunerne er derfor kun angivet med landsdel.

I de 8 kommuner, hvor der er målt PCB i indeluft i mere end 5 skoler, varierer hyppigheden af skoler med målinger på ≥ 300 ng/m³ PCB mellem 7% og 31%. Der er således i alle 8 kommuner fundet ≥ 300 ng/m³ i mindst én skole, og i alle kommunerne er der fundet ≥ 300 ng/m³ i mindre end 1/3 af skolerne. Der er således tale om en relativt jævn fordeling, som er i overensstemmelse med resultaterne i ENS kortlægningen, der viser, at PCB-holdige byggematerialer har været anvendt i et vist omfang over hele landet. Langt de fleste af skolerne med ≥ 300 ng/m³ er fundet i forbindelse med brede screeninger af kommunale bygninger, og er ikke udvalgte på baggrund af en påvisning af PCB i materialerne.

I to af kommunerne, hvor der er målt PCB i fugemasser i mere end 5 skoler, er der ikke fundet koncentrationer i fugemasser på > 5.000 mg/kg. I begge kommuner er der imidlertid fundet PCB i indeluften i mere end én skole. Dette kan skyldes, at primærkilden er et andet materiale end fugemasse, men kan også skyldes, at materialeprøverne ikke er taget i de samme lokaler og/eller bygninger som indeluftprøverne.

Tabel 43 Hyppighed af skoler med PCB i fugemasser og indeluft i de enkelte kommuner.

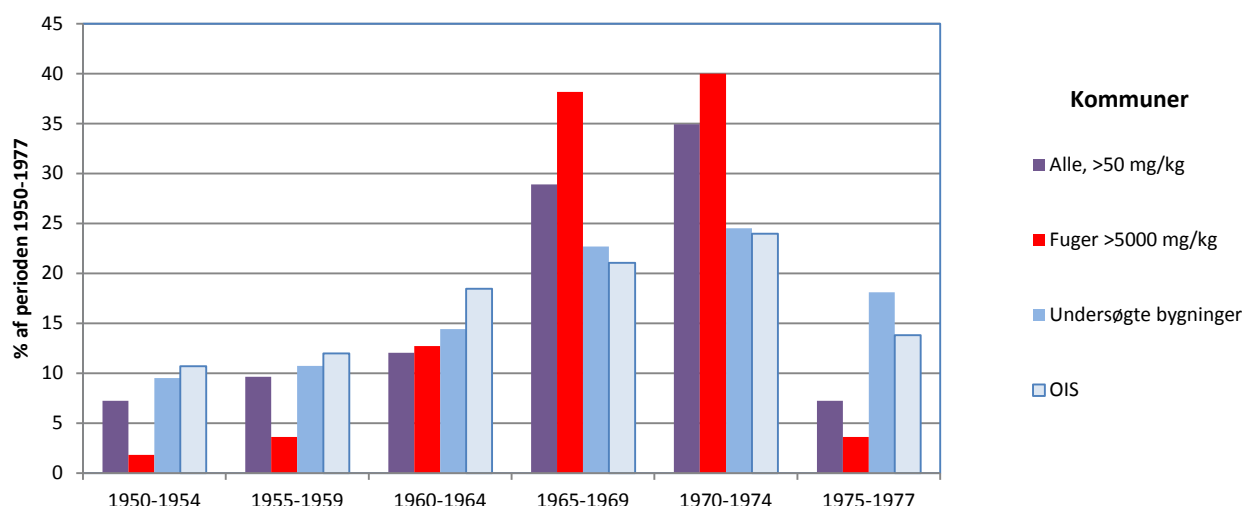
Landsdel	Fugemasse			Indeluft		
	Antal under-søgt	Antal med ≥ 5000 mg/kg	Hyppighed % af samlet	Antal under-søgt	Antal med ≥ 300 ng/m ³	Hyppighed % af samlet
Sjælland	5	2	40 %	3	1	33 %
Sjælland	1	1	100 %	1	0	0 %
Sjælland	-	-	-	4	0	0 %
Sjælland	7	4	57 %	7	1	14 %
Sjælland	7	2	29 %	1	0	0 %
Sjælland	4	1	25 %	8	1	13 %
Jylland & Fyn	5	2	40 %	5	0	0 %
Jylland & Fyn	1	1	100 %	16	2	13 %
Jylland & Fyn	10	5	50 %	13	4	31 %
Jylland & Fyn	7	0	0 %	13	2	15 %
Jylland & Fyn	13	2	15 %	12	2	17 %
Jylland & Fyn	6	2	33 %	14	1	7 %
Jylland & Fyn	4	1	25 %	-	-	-
Jylland & Fyn	-	-	-	3	0	0 %
Jylland & Fyn	7	3	43 %	3	0	0 %
Jylland & Fyn	10	0	0 %	27	3	11 %
Samlet	87	26	30 %	126	17	13 %

Tidsmæssig fordeling

Den tidsmæssige fordeling af de 65 bygninger med ≥ 50 mg/kg, sammenlignet med fordelingen af undersøgte bygninger og landtotalen fra OIS databasen indikerer, at PCB blev anvendt gennem hele perioden, men i særlig grad i perioden 1965-1974, mens anvendelsen efter 1974 er begrænset. For en del af lokaliteterne var der angivet flere opførelsesår, men ikke specifikt angivet, hvilke år de undersøgte bygninger var opført. I de tilfælde er det laveste af de angivne årstal i PCB-perioden anvendt, hvilket kan trække fordelingen lidt mod de laveste årstal, således at den reelle forskel mellem perioden 1965-1974 og de foregående år reelt er endnu mere udtalt.

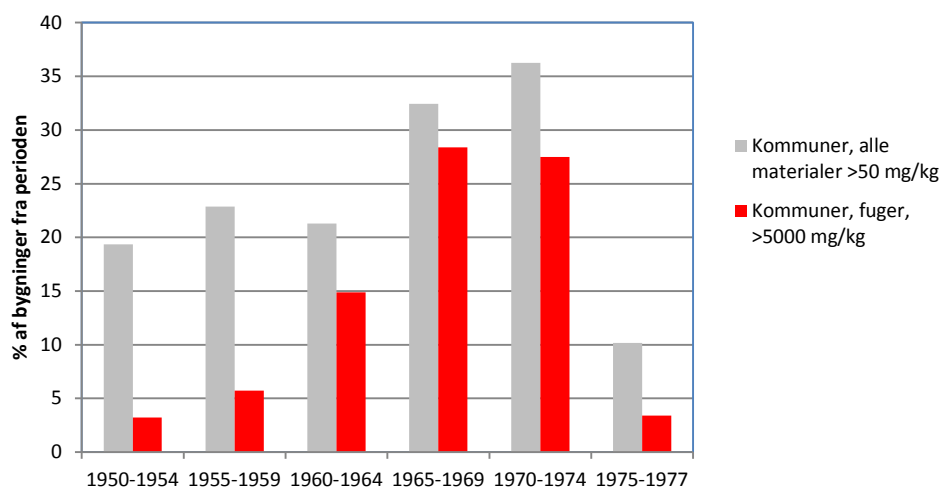
Det må forventes, at bygninger opført i begyndelsen af perioden vil kunne være malet og forsynet med gulvbelægning senere i perioden, og at bygningernes opførelsestidspunkt derfor ikke giver en klar indikation på, hvornår de PCB-holdige materialer blev anvendt.

For fuger med ≥ 5.000 mg/kg var 77% af alle bygningerne opført i perioden 1965-1974.



Figur 43 Tidsmæssig fordeling af bygninger med PCB-koncentrationer på ≥ 50 mg/kg i materialer og ≥ 5.000 mg/kg i fuger, sammenholdt med den tidsmæssige fordeling af alle undersøgte bygninger og fordelingen af alle kommunale institutioner og kontorer i Danmark fra OIS databasen.

Hvis man sammenligner hyppighederne for de enkelte delperioder ses i nedenstående figur tydeligt en markant højere hyppighed af forekomsten af PCB-holdige fuger i bygninger fra perioden 1965-1974.



Figur 44 Hyppighed af undersøgte bygningen med PCB-koncentrationer på henholdsvis ≥ 50 mg/kg og ≥ 5000 mg/kg i fuger som funktion af opførelsesår.

5.1.2 PCB i indeluft

Der er i forbindelse med ENS kortlægningen også indsamlet resultater vedrørende PCB i indeluft fra kommunernes kortlægninger. Disse resultater er anvendt i forbindelse med planlægningen af undersøgelser af PCB i indeluften i ENS kortlægningen.

Resultaterne af 1.377 indeluftmålinger på 507 lokaliteter i 16 kommuner er vist i nedenstående tabel (nogle kommuner har kun undersøgt PCB i materialer). Langt den største del af datasættet er repræsenteret af kortlægninger, hvor der er taget målinger af alle lokaliteter (evt. kun inden for en underkategori af bygninger) eller en stikprøve, uden at der har været en forudgående udvælgelse på baggrund af målinger af PCB i materialer. Dette gælder for Albertslund, Aabenraa, Esbjerg, Faxe, Fredericia, Norddjurs, Nordfyns, Slagelse, Greve og Mariagerfjord, som samlet repræsenterer omkring 95% af datasættet. For de øvrige kommuner kan der have været en forudgående udvælgelse, som gør, at hyppigheden kan overestimeres.

Resultaterne af kommunernes kortlægninger vedrører kun kommunale kontorer og institutioner og da de undersøgte bygninger matcher den tidsmæssige fordeling af offentlige institutioner og kontorbyggerier i OIS databasen, vurderes datasættet at være repræsentativt for de offentlige bygninger i Danmark. Alle bygninger ejes af kommuner, men det vurderes ikke, at der er grund til at antage, at bygninger ejet af staten (fraregnet Forsvaret, der kortlægges i en særlig undersøgelse) eller regionerne har benyttet byggematerialer, der er væsentligt forskellige fra kommunale bygninger. Ved at angive lokaliteter i stedet for bygninger vil der som nævnt ovenfor være en svag tendens til at finde større hyppigheder end, hvis man udelukkende så på bygninger, men langt den overvejende del af lokaliteterne består kun af én bygning eller en gruppe bygninger bygget i samme periode.

Som det fremgår, er der fundet $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ på 7% af de undersøgte lokaliteter, mens der på yderligere 8% af lokaliteterne er fundet koncentrationer i intervallet $100\text{-}300 \text{ ng/m}^3$. Som beskrevet ovenfor er der identificeret fuger med $\geq 5000 \text{ mg/kg}$ placeret indendørs på 22 lokaliteter, svarende til 5% af alle lokaliteter. Der er således et sammenfald mellem hyppigheden af lokaliteter med $\geq 5000 \text{ mg/kg}$ i fuger placeret indendørs og hyppigheden af lokaliteter med $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i indeluften. Det bemærkes endvidere, at der generelt ikke er foretaget undersøgelser af indendørsmaling i disse undersøgelser.

Tabel 44 Resultater af målinger af PCB i indeluft i institutioner og offentlige kontorer i 16 kommuner opdelt på koncentrationsintervaller

PCB _{total} i indeluft, ng/m ³ *1	Lokaliteter (højeste målte værdi pr lokalitet)		Enkeltmålinger (hele datasættet)	
	Antal	Hyppighed af total	Antal	Hyppighed af total
< 30	372	73%	1.054	77%
≥ 30	135	27%	323	23%
≥ 100	74	15%	184	13%
≥ 300	35	7%	95	7%
≥ 2.000	7	1%	10	1%
≥ 3.000	2	0,4%	3	0,2%
100-300	39	8%	89	6%
300-3.000	33	7%	92	7%
Samlet antal lokaliteter	507		1.377	

*1 PCB_{total} er her beregnet som 5*PCB₇, men er i nogle af undersøgelserne beregnet anderledes.

En statistisk analyse viser, at hyppigheden af bygninger med PCB-koncentrationer på ≥ 300 ng/m³ var 7% (90% konfidensinterval: 5-9%), mens hyppigheden af bygninger med ≥ 3.000 ng/m³ var 0,4% (90% konfidensinterval: 0,1-1,2%). En analyse af mulige forskelle mellem landsdelene viser, at der ikke er statistisk signifikante forskelle mellem landsdelene (n værdi på 0,58).

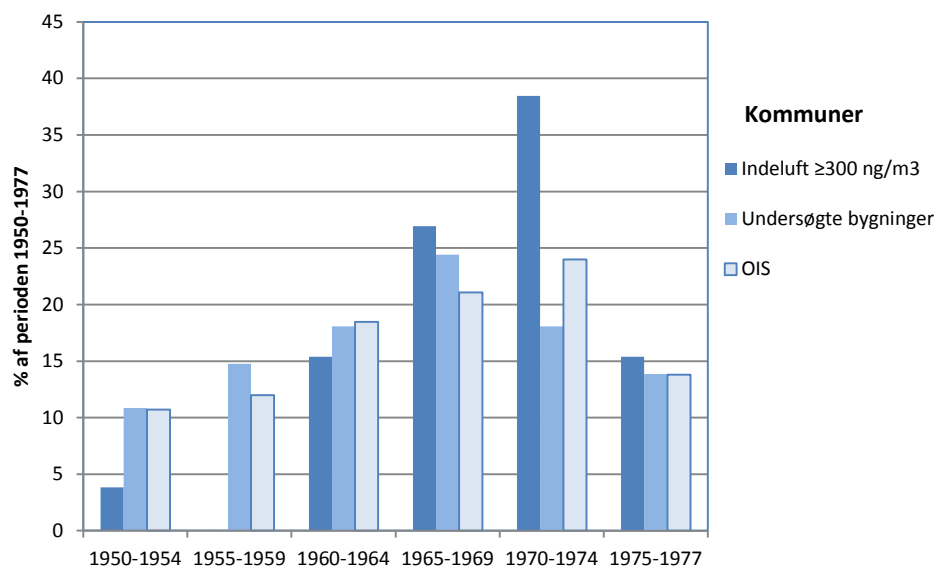
Som nævnt vil hyppigheden af bygninger med ≥ 300 ng/m³ PCB i indeluft angivet på lokalitetsniveau være ca. 20% højere end angivet på bygningsniveau, så hyppigheden på bygningsniveau kan estimeres til ca. 5,8%. Man kan ikke omregne konfidensintervallerne med helt eksakte statistiske metoder, men den fejl man begår ved at reducere værdierne med 20% vurderes at være inden for afrundingen til hele tal. På den basis estimeres det, at hyppigheden på bygningsniveau vil være 6% (4-8%).

Tabel 45 Sammenligning af hyppighed af PCB i indeluft ng/m^3 på lokalitetsniveau på tværs af landsdele.

PCB _{total} i indeluft, ng/m^3	Jylland/Fyn (Region Nordjylland, Midtjylland og Syddanmark)			Sjælland (Region Sjælland og Hovedstaden)			Hele landet		
	Antal	Hyppighed, %	90% CI, % *1	Antal	Hyppighed, %	90% CI, %	Antal	Hyppighed, %	90% CI, %
Samlet antal lokaliteter	304	100		203	100		507	100	
≥ 100	43	14,1	11-18	31	15,3	11-20	74	14,5	12-17
≥ 300	22	7,2	5-10	13	6,4	4-10	35	7	5-9
≥ 2.000	6	2,0	0,9-3,9	1	0,5	0,0-2,3	7	1,4	0,6-2,6
≥ 3.000	2	0,7	0,1-2,1	0	0,0	0,0-1,5	2	0,4	0,1-1,2

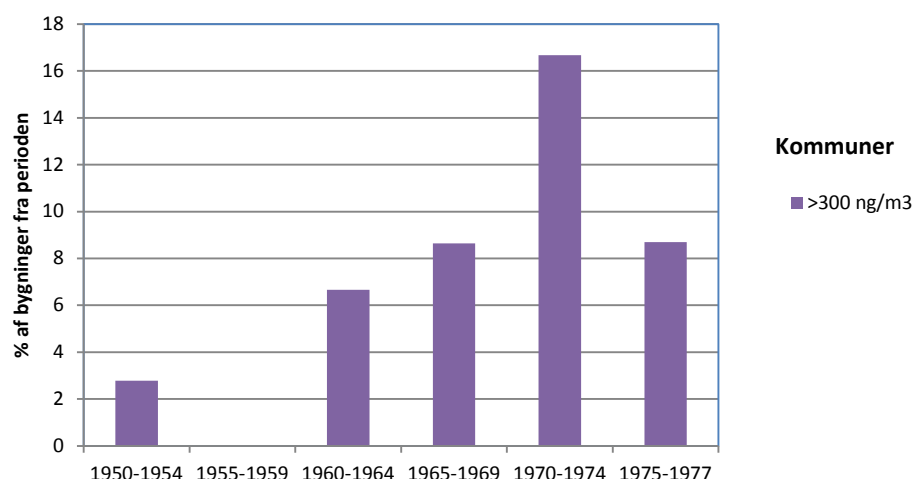
*1 90% konfidensintervaller (CI) beregnet på basis af en binominalfordeling.

Hvis man ser på den tidsmæssige fordeling af bygningerne, hvor der er fundet $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i indeluften ses det samme mønster som for materialeprøverne med en væsentlig højere repræsentativitet af bygninger med $\geq 300 \text{ mg/kg}$ i perioden 1965-1975, som det fremgår af nedenstående figur. Fordelingen af lokaliteter undersøgt for indeluft følger stort set fordelingen af offentlige institutioner og kontorbygninger i OIS databasen. Bemærk, at listen af omfattede bygninger ikke er identisk med listen af bygninger, hvor der er taget materialeprøver, da der er et væsentligt antal, hvor der kun er taget enten materialeprøver eller indeluftprøver.



Figur 45 Andel af undersøgte bygninger med $>300 \text{ ng/m}^3$ i indeluften som funktion af opførelsesår (23 lokaliteter med $>300 \text{ ng/m}^3$ og anført opførelsesår).

Fordelingen er ikke helt identisk med fordelingen af materialeprøver, som meget vel kan skyldes datasættens størrelse, men der ses den helt samme tendens, med væsentlig højere hyppighed i bygninger fra perioden 1965-1974.



Figur 46 Andel af undersøgte bygningen med $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i indeluften som funktion af opførelsesår.

Skoler

Forekomsten af PCB i indeluften i 126 skoler, spredt over hele landet, er vist i tabel 46. Igen er der tale om data fra screeninger, og kun få af skolerne er særligt udvalgt, på grundlag af et forudgående fund af PCB i materialer. Der er fundet $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i mindst én måling på 13% af skolerne, hvilket er mere end det dobbelte af den gennemsnitlige hyppighed for alle undersøgte kommunale bygninger. Af alle 578 indeluftmålinger i de 126 skoler blev der fundet $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i 12% af målingerne. Skoler repræsenterer halvdelen af de kommunale bygninger, hvor der i screeningerne er fundet $\geq 300 \text{ ng/m}^3$.

Der er ved kommunernes screeninger generelt anvendt metoder, der svarer til de retningslinjer for måling af PCB i indeluft, som blev publiceret af Erhvervs- og Byggestyrelsen i november 2010. Resultaterne vurderes derfor, at afspejle den faktiske situation.

Tabel 46 PCB i indeluft på de undersøgte skoler.

PCB _{total} i in- deluft, ng/m ³ *1	Lokaliteter (højest målte værdi)		Alle indeluftmålinger	
	Antal skoler	Hyppighed af totalt antal skoler, som er undersøgt	Antal målinger	Hyppighed af totalt antal skoler, som er undersøgt
< 30	72	57%	400	69%
≥ 30	54	43%	178	31%
≥ 100	29	23%	115	20%
≥ 300	17	13%	71	12%
≥ 2.000	6	5%	10	2%
≥ 3.000	2	1,6%	3	0,5%
100-300	12	10%	44	8%
300-3.000	15	12%	68	12%
Samlet antal	126		578	

*1 Beregnet som 5 x PCB₇.

For at undersøge om der er markante forskelle mellem kommunerne, er der i tabel 47 vist data for hver enkelt kommune. Navnene på kommunerne er ikke oplyst, da der ikke er indhentet tilladelse hos kommunerne til at videregive detaildata. Kommunerne er derfor kun angivet med landsdel.

I de 8 kommuner, hvor der er målt PCB i indeluft i mere end 5 skoler, varierer hyppigheden af skoler med målinger på ≥ 300 ng/m³ PCB mellem 7% og 31%. Der er således i alle 8 kommuner fundet ≥ 300 ng/m³ i mindst én skole, og i alle kommunerne er der fundet ≥ 300 ng/m³ i mindre end 1/3 af skolerne. Der er således tale om en relativt jævn fordeling, som er i overensstemmelse med resultaterne i ENS kortlægningen, der viser, at PCB-holdige byggematerialer har været anvendt i et vist omfang over hele landet. Langt de fleste af skolerne med ≥ 300 ng/m³ er fundet i forbindelse med brede screeninger af kommunale bygninger, og er ikke udvalgte på baggrund af en påvisning af PCB i materialerne.

I to af kommunerne, hvor der er målt PCB i fugemasser i mere end 5 skoler, er der ikke fundet koncentrationer i fugemasser på > 5.000 mg/kg. I begge kommuner er der imidlertid fundet PCB i indeluften i mere end én skole. Dette kan skyldes, at primærkilden er et andet materiale end fugemasse, men kan også skyldes, at materialeprøverne ikke er taget i de samme lokaler og/eller bygninger som indeluftprøverne.

Tabel 47 Hyppighed af skoler med PCB i indeluft i de enkelte kommuner.

Landsdel	Indeluft		
	Antal under-søgt	Antal med $\geq 300 \text{ ng/m}^3$	Hyppighed % af samlet
Sjælland	3	1	33 %
Sjælland	1	0	0 %
Sjælland	4	0	0 %
Sjælland	7	1	14 %
Sjælland	1	0	0 %
Sjælland	8	1	13 %
Jylland & Fyn	5	0	0 %
Jylland & Fyn	16	2	13 %
Jylland & Fyn	13	4	31 %
Jylland & Fyn	13	2	15 %
Jylland & Fyn	12	2	17 %
Jylland & Fyn	14	1	7 %
Jylland & Fyn	-	-	-
Jylland & Fyn	3	0	0 %
Jylland & Fyn	3	0	0 %
Jylland & Fyn	27	3	11 %
Samlet	126	17	13 %

5.1.3 Bygninger opført før PCB-perioden

Der var samlet 57 bygninger i kortlægningerne, som var opført før PCB-perioden. Bygningerne indgik i 7 af kommunernes kortlægninger. Det er i kommunernes kortlægninger ikke specifikt angivet, at bygningerne er ombygget eller renoveret i perioden. Det synes dog at være almindeligt, at det hovedsageligt er bygninger, som vides at være blevet opbygget eller renoveret i PCB-perioden, som udvælges til kortlægningerne. Resultaterne viser, at det kun var 1 af de 57 bygninger, der indeholdt et materiale med $\geq 50 \text{ mg/kg}$. Materialet var en gulvbelægning. Der blev samlet taget 6 malingprøver i de 57 bygninger, og resultaterne kan således ikke regnes at være dækkende for maling.

Tabel 48 Resultater af kortlægninger af PCB i materialer i bygninger opført før PCB-perioden.

PCB _{total} i materialer, mg/kg ^{*1}	Lokaliteter (højest målte værdi)	
	Antal skoler	Hyppighed af totalt antal skoler, som er undersøgt
<0,1	43	75%
0,1-50	13	23%
50-500	1	2%
500-5000	0	0%
>=5000	0	0%
>=50	1	2%
>=0,1	14	25%
Samlet antal lokaliteter	57	

En systematisk screening i Mariagerfjord Kommune af 70 bygninger opført før PCB-perioden, som ikke indgår i overfor viste tabel, blev der påvist 1 bygning med materialer med ≥ 50 mg/kg, mens 3 bygninger indeholdt materialer med PCB-koncentrationer i intervallet 0,1-50 mg/kg.

5.2 PCB i Forsvarets bygninger

Sideløbende med ENS kortlægningen er der gennemført en undersøgelse af Forsvarets bygninger. Kortlægningen rapporteres i en særskilt rapport til Forsvarets Bygnings- og Etablissementstjeneste (FBE), men de overordnede resultater fra kortlægningen er gengivet i dette afsnit.

5.2.1 PCB i materialer i Forsvarets bygninger

Opdeling på bygningskategorierne anvendt i Forsvarets bygninger er anderledes end opdelingen på bygningstyper i ENS kortlægningen. Fordelingen af Forsvarets bygninger på bygningsalder afviger desuden fra fordelingen af bygningstyperne i ENS kortlægning, idet en større del af bygningerne er opført i den første del af perioden før 1965, hvor den relative hyppighed af PCB i bygningerne på landsplan er mindre. Desuden kan der meget vel være anvendt andre materialer ved opførelsen af Forsvarets bygninger. Kortlægningerne kan derfor ikke betragtes som sammenlignelige, hvilket gør, at resultaterne af de to undersøgelser ikke umiddelbart kan slås sammen. Det er i stedet valgt at se på ligheder og forskelle mellem resultaterne af de to undersøgelser. Fordeling af undersøgte bygninger på de tre anvendte bygningskategorier er vist i nedenstående tabel.

I kortlægningen er der anvendt en anden kortlægningsmetode end metoden anvendt i ENS kortlægning, idet stikprøver er udtaget ved at undersøge alle bygninger i et udvalg af alle etablermenterne. I det omfang, der var identiske bygninger på etablermenterne, er der kun udtaget prøver af nogle af bygningerne, og der er så regnet med, at de øvrige af de identiske bygninger har tilsvarende PCB-

koncentrationer i materialerne, som de bygninger der er udtaget prøver fra. Herved er alle bygninger på de undersøgte etableringer medregnet.

Tabel 49 Fordelingen i forhold til de tre bygningskategorier.

		Depoter/ værksteder	Kontor/ opholds- bygninger	Indkvarte- ring	Total
Totalliste *1	Antal	431	269	370	1.070
	%	40%	25%	35%	100
Undersøgte	Antal	115	81	104	300
	%	38%	27%	35%	100
Prøvetaget	Antal	107	78	103	288
Besigtiget, uden relevante materialer	Antal	18	5	30	53
Besigtiget, identiske med prøvetaget bygning	Antal	8	3	1	12

*1 Listen omfatter kun bygninger i Danmark (ekskl. Grønland og Færøerne).

*2 Prøvetaget er inkl. identiske bygninger.

Fordeling af resultaterne på de tre bygningskategorier fremgår af tabel 50. Tabellen viser for hver bygningskategori, hvor mange af de undersøgte bygninger, der indeholder PCB i forskellige koncentrationsintervaller.

Koncentrationsintervallerne angiver den højst målte værdi for hver bygning uanset materialetype. Som det fremgår, er der fundet materialer med mere end 50 mg/kg i 46% af de undersøgte depoter/værksteder, i 16% af bygningerne til indkvartering og i 49% af kontor-/opholdsbygningerne. For både kontor-/opholdsbygninger og depoter/værksteder ses større hyppigheder af bygninger med materialer med ≥ 50 mg/kg, end der er fundet i de tre bygningstyper, som er omfattet af ENS kortlægningen. Til gengæld er hyppighederne for bygninger med materialer med ≥ 5.000 mg/kg, mindre eller på samme niveau som i ENS kortlægningen. Der ses i FBE kortlægningen en markant højere hyppighed af bygninger med materialer med ≥ 5.000 mg/kg i kontor-/opholdsbygninger sammenlignet med bygninger til indkvartering. Det er ikke undersøgt, om det skyldes forskellige aldersprofiler for de to bygningskategorier.

I lighed med resultaterne fra ENS kortlægningen indeholder mere end 75% af bygningerne, inden for alle bygningskategorier, materialer med $\geq 0,1$ mg/kg.

Tabel 50 Bygninger med PCB i én eller flere prøver, højest målte værdi.

	Antal bygninger					
	Depoter/værksteder		Indkvartering		Kontor-/opholdsbygninger	
Antal undersøgt	115		104		81	
Antal prøvetaget	107 (106) *2		103		78 (76) *2	
PCB _{total} , mg/kg	Antal	% af samlet *1	Antal	% af samlet *1	Antal	% af samlet *1
Alle materialer placeret udendørs eller indendørs,	107		103		76	
<0,1	10	9%	25	24%	0	0%
0,1-50	43	37%	61	59%	36	44%
50-500	31	27%	9	9%	12	15%
500-5000	16	14%	7	7%	15	19%
≥ 5000	6	5%	1	1%	13	16%
Samlet ≥0,1	96	83%	78	75%	76	94%
Samlet ≥ 50	53	46%	17	16%	40	49%
Materialer placeret indendørs	96		96		73	
<0,1	10	9%	25	24%	2	2%
0,1-50	43	37%	55	53%	36	44%
50-500	30	26%	9	9%	19	23%
500-5000	10	9%	6	6%	10	12%
≥ 5000	3	3%	1	1%	6	7%
Samlet ≥0,1	86	75%	71	68%	71	88%
Samlet ≥ 50	43	37%	16	15%	35	43%

*1 Det samlede antal inkluderer de bygninger, som ikke er prøvetaget, fordi det vurderes, at der ikke var relevante materialer.

*2 Antal prøvetaget. I parentes antal bygninger, hvor der er modtaget mindst et analyseresultat fra laboratorium.

Nedenstående udvidede tabel (tabel 51) viser for hver bygningskategori, hvor mange af bygningerne der indeholder PCB i forskellige koncentrationsintervaller opdelt på materialer placeret henh. udendørs og indendørs. De samme data er vist som hyppigheder (%) i den følgende figur. Koncentrationsintervallerne angiver også her den højst målte værdi for hver bygning, for de enkelte materialer og placering. Som eksempel på hvorledes tabellen skal læses, er der således fundet ≥5000 mg/kg i udvendige fuger i 7 kontor-/opholdsbygninger.

Fuger med ≥5000 mg/kg er primært fundet udendørs i kontor-/opholdsbygninger og depoter/værksteder med enkelt fundet indendørs. I kvartersbygninger er der ikke fundet fugemasser med ≥5000 mg/kg hverken indendørs eller udendørs. Hyppighederne af bygninger med fugemasser med høj PCB-koncentration er for alle bygningskategorier lavere end de tilsvarende hyppigheder for bygningstypen "kontorejendomme og offentlige institutioner" i ENS kortlægningen.

Kortlægningen viser, at hyppigheden af bygninger med maling med høje koncentrationer af PCB er højere i Forsvarets bygninger end i den øvrige bygningsmasse. Resultaterne viser, at 35% af depoter/værksteder og 42% kontor-/opholdsbygninger indeholder maling med ≥ 50 mg/kg, hvilket er væsentligt højere hyppigheder end der ses i ENS kortlægningen. Til gengæld er hyppighederne af bygninger med maling med ≥ 5.000 mg/kg, generelt lavere end der er fundet i ENS kortlægningen, men i begge kortlægninger er hyppighederne lave. Forekomsten af gulvbelægninger med høje koncentrationer af PCB er nogenlunde den samme som ses i ENS kortlægningen, og i begge kortlægninger er hyppigheden af bygninger med høje PCB-koncentrationer i gulvbelægninger væsentligt lavere end hyppigheden af bygninger med høje PCB-koncentrationer i maling og fugemasser.

Tabel 51 *Undersøgte bygninger opdelt efter den højest målte PCB-koncentration i materialer opdelt på materialetype og om materialet er placeret udendørs eller indendørs.*

	Depoter/værksteder		Indkvartering		Kontor-/opholdsbygninger	
Antal undersøgt	115		104		81	
Antal prøvetaget	107		103		78	
Alle materialer, mg/kg	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs
Samlet antal prøver	83	96	67	96	51	73
<0,1	30	10	39	25	11	2
0,1-50	35	43	25	55	23	36
50-500	6	30	1	9	2	19
500-5000	6	10	2	6	8	10
≥5000	6	3	0	1	7	6
Samlet ≥50	18	43	3	16	17	35
Fuge, mg/kg	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs
Samlet antal prøver	34	37	44	42	32	23
<0,1	14	20	40	26	14	7
0,1-50	13	12	3	16	7	13
50-500	0	3	1	0	0	2
500-5000	1	0	0	0	4	0
≥5000	6	2	0	0	7	1
Samlet ≥50	7	5	1	0	11	3
Maling, mg/kg	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs
Samlet antal prøver	68	78	40	63	43	62
<0,1	27	2	18	8	8	1
0,1-50	28	36	19	40	26	27
50-500	7	29	1	8	5	23
500-5000	6	10	2	6	4	8
≥5000	0	1	0	1	0	3
Samlet ≥50	13	40	3	15	9	34
Gulvbelægning, mg/kg	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs
Samlet antal prøver	1	64	3	50	0	51
<0,1	0	11	0	25	0	11
0,1-50	1	47	3	23	0	31
50-500	0	4	0	2	0	4
500-5000	0	1	0	0	0	3
≥5000	0	1	0	0	0	2
Samlet ≥50	0	6	0	2	0	9

*1 Angiver, at der ikke var materialer, som vurderedes at kunne have indhold af primær-PCB

Tabel 52 Hyppighed af undersøgte **bygninger** opdelt efter den højest målte PCB-koncentration i materialer opdelt på materialetype og om materialet er placeret udendørs eller indendørs.

	Depoter/værksteder		Indkvartering		Kontor-/opholdsbygninger	
Antal undersøgt	115		104		81	
Antal prøvetaget	107		103		78	
Alle materialer, mg/kg	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs
Samlet antal prøver	83	96	67	96	51	73
<0,1	26%	9%	38%	24%	14%	2%
0,1-50	30%	37%	24%	53%	28%	44%
50-500	5%	26%	1%	9%	2%	23%
500-5000	5%	9%	2%	6%	10%	12%
≥5000	5%	3%	0%	1%	9%	7%
Samlet ≥50	16%	37%	3%	15%	21%	43%
Fuge, mg/kg	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs
Samlet antal prøver	34	37	44	42	32	23
<0,1	12%	17%	38%	25%	17%	9%
0,1-50	11%	10%	3%	15%	9%	16%
50-500	0%	3%	1%	0%	0%	2%
500-5000	1%	0%	0%	0%	5%	0%
≥5000	5%	2%	0%	0%	9%	1%
Samlet ≥50	6%	4%	1%	0%	14%	4%
Maling, mg/kg	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs
Samlet antal prøver	68	78	40	63	43	62
<0,1	23%	2%	17%	8%	10%	1%
0,1-50	24%	31%	18%	38%	32%	33%
50-500	6%	25%	1%	8%	6%	28%
500-5000	5%	9%	2%	6%	5%	10%
≥5000	0%	1%	0%	1%	0%	4%
Samlet ≥50	11%	35%	3%	14%	11%	42%
Gulvbelægning, mg/kg	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs	Udendørs	Indendørs
Samlet antal prøver	1	64	3	50	0	51
<0,1	0%	10%	0%	24%	0%	14%
0,1-50	1%	41%	3%	22%	0%	38%
50-500	0%	3%	0%	2%	0%	5%
500-5000	0%	1%	0%	0%	0%	4%
≥5000	0%	1%	0%	0%	0%	2%
Samlet ≥50	0%	5%	0%	2%	0%	11%

*1 Angiver, at der ikke var materialer, som vurderedes at kunne have indhold af primær-PCB

5.2.2 PCB i indeluft i Forsvarets bygninger

Som opfølgning til undersøgelsen af PCB i materialer i Forsvarets bygninger er der gennemført målinger af PCB i indeluft i en række af de bygninger, hvor der er fundet de højeste PCB-koncentrationer i materialer.

Resultaterne fremgår af tabel 53. Hyppighederne er angivet som procent af de bygninger, hvor der er målt PCB i indeluft. Der fandtes således $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i 7 ud af de 46 undersøgte bygninger svarende til 15% af de bygninger, hvor der er undersøgt for PCB i indeluft. Der blev ikke fundet $\geq 3.000 \text{ ng/m}^3$ i nogen af bygningerne. Da de 46 undersøgte bygninger er de bygninger, hvor der er fundet de højeste koncentrationer i materialer anses sandsynligheden for at finde koncentrationer på $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i de 254 bygninger, hvor der ikke er lavet målinger af PCB i indeluft for lille. Samlet set er der således fundet $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i 7 ud af 300 undersøgte bygninger svarende til ca. 2% af bygningerne. Hvis der regnes med, at der vil kunne være $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i enkelte af de bygninger, hvor der ikke er målt i indeluft kan det samlet anslås, at 2-4% af forsvarets bygninger vil kunne indeholde $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i et eller flere rum.

Data omkring sammenhæng mellem PCB i indeluft og materialer fra undersøgelsen af forsvarets bygninger indgår i beskrivelsen af disse sammenhænge i afsnit 4.3.2.

Tabel 53 *PCB i indeluft i Forsvarets bygninger udvalgt til undersøgelse for PCB i indeluft.*

PCB _{total} i indeluft, ng/m ³	Højest målte værdi pr bygning							
	Alle bygninger		Indkvartering		Kontor-/opholdsbygninger		Depoter/værksteder	
	Antal	Hyppighed af total	Antal	Hyppighed af total	Antal	Hyppighed af total	Antal	Hyppighed af total, indeluft
<30	32	70 %	4	57 %	17	77 %	11	65 %
≥30	14	30 %	3	43 %	5	23 %	6	35 %
≥100	9	20 %	2	29 %	3	14 %	4	24 %
≥300	7	15 %	2	29 %	2	9 %	3	18 %
≥2.000	1	2 %	0	0 %	1	5 %	0	0 %
≥3.000	0	0 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %
100-300	2	4 %	0	0 %	1	5 %	1	6 %
300-3.000	7	15 %	2	29 %	2	9 %	3	18 %
Samlet antal bygninger undersøgt for PCB i indeluft	46	100 %	7	100 %	22	100 %	17	100 %
Samlet antal bygninger undersøgt for PCB i materialer	300		104		81		115	

5.3 Gennemførte kortlægninger i boligselskaber

Der foreligger en række kortlægninger af boligselskabers ejendomme, som er sammenfattet i nedenstående tabel. Der har i forbindelse med kortlægningen været rettet henvendelse til de landsdækkende boligselskaber og alle boligselskaber i de omfattede kommuner. Der er desuden foretaget søgninger via Internettet for omtaler og udbud af PCB kortlægninger i boligselskaber. Det kan ikke afvises, at der findes lokale selskaber, som har foretaget kortlægninger, som ikke er identificeret, men det vurderes at være meget få.

Der er kun identificeret relativt få kortlægninger der typisk kun omfattet fugemasser. Udover disse foreligger der undersøgelser af enkelte afdelinger foretaget eksempelvis i forbindelse med renoveringer.

Sammenlignet med det omfattende materiale fra kommunerne, vurderes materialet fra boligselskaberne at være for beskedent til, at det i væsentlig grad vil kunne forbedre det statistiske grundlag for ENS kortlægningen, når det samtidigt tages i betragtning, at selskabernes undersøgelser kun har omfattet fugemasser, og at de to undersøgelser dermed ikke er sammenlignelige.

Fra KAB's undersøgelser i Farum Midtpunkt er der en række detaljerede undersøgelser, som anvendes i forbindelse med analysen af PCB i indeluft, samt vurdering af betydningen af sekundære og tertiære kilder.

Tabel 54 Resultater fra screeningsundersøgelser i boligselskaber (sammenfattet vinteren 2012/2013).

Boligselskab	Udvælgelsesmetode	Antal bygninger/afdelinger der er undersøgt		Antal bygninger/lokaliteter, hvor der er påvist PCB		Andel af undersøgte bygninger/lokaliteter	
		Hvor der er undersøgt materialer	Hvor der er undersøgt indeluft	I materialer (≥ 50 mg/kg)	I indeluft (≥ 300 ng/m ³)	I materialer (≥ 50 mg/kg)	I indeluft (≥ 300 ng/m ³)
Lejerbo	Alle afdelinger fra PCB-perioden		653 bygninger i 123 afdelinger		5 bygninger (afdelinger)		1%
KAB	Alle afdelinger fra PCB-perioden	36 afdelinger	indeluft undersøgt i afdelinger, hvor der fundet PCB	2 afdelinger		6%	
Københavnsk boligselskab		[specifikke data har ikke været til rådighed]		2 afdelinger			
Midtjysk boligselskab	Alle bygninger fra PCB-perioden	2 bygninger (48 af samme type)		2 bygninger		100%	
Nordjysk boligselskaber	Ikke angivet	6 bygninger		6 bygninger		100%	
Nordjysk boligselskab		372 boliger	372 boliger [specifikke data har ikke været til rådighed]				

5.4 Miljøstyrelsens undersøgelse af PCB i materialer fra renoveringer og nedrivninger

Som led i et projekt om at udarbejde en opdateret vejledning om frasortering af PCB-holdigt affald for Miljøstyrelsen har Niras indhentet oplysninger om resultater af materialeanalyser ved gennemførte renoveringer og nedrivninger (Alslev et al., 2013).

Der er i undersøgelsen analyseret i alt 144 rapporter om renovering og nedrivning, fordelt som vist i tabel 55. Hver rapport repræsenterer typisk én bygning.

I følge undersøgelsens sammenfatning indeholdt 80% af bygningerne beskrevet i rapporterne materialer med detekteret PCB (venstre kolonner i tabellen). Det er i overensstemmelse med resultaterne af ENS kortlægningen, hvor der påvises indhold af PCB på $\geq 0,1$ mg/kg i mere end 75% af bygningerne.

Prøverne er indkommet fra alle dele af landet, men det er i undersøgelsen ikke undersøgt, om der er regionale forskelle i forekomsten af PCB.

Data for analyserede prøver med ≥ 50 mg/kg er venligst sammenfattet af Niras til ENS kortlægningen. Der er ikke lavet en tilsvarende sammenfatning for bygninger (rapporter).

Bemærk, at private boliger omfatter alle typer af private boliger. Bidraget fra enfamiliehuse er angivet i rapporten som marginalt, det vil sige, at undersøgelsen ikke vurderes at omfatte én- og tofamiliehuse.

Tabel 55 Andel af rapporter med PCB (alle koncentrationer) samt analyserede prøver med ≥ 50 mg/kg PCB i materialet.

Bygningstype	Rapporter (Alslev et al., 2013)			Analyserede prøver (sammenfattet af Niras til ENS kortlægningen)		
	Antal	Antal med PCB, enhver koncentration	Andel	Samlet antal	Antal ≥ 50 mg/kg PCB	Andel ≥ 50 mg/kg PCB
Industri	7	6	86%	63	10	16%
Offentlige bygninger	71	66	93%	471	158	34%
Private boliger	38	32	84%	400	121	30%
Ukendt	28	15	54%	77	11	14%
I alt	144	119	83%	1.011	300	30%

*1 Angiver målinger over detektionsgrænsen, som varierer mellem rapporterne.

Resultaterne er rapporteret opdelt i koncentrationsintervaller. I nedenstående tabel er vist et udtræk, hvor det angives, hvilken andel af prøverne der indeholder henholdsvis ≥ 50 mg/kg og ≥ 1000 mg/kg. Bemærk, at det er andele af prøver, som er angivet, og ikke andele af bygninger.

Resultaterne viser, at 26% af fugemasserne indeholdt ≥ 50 mg/kg PCB. De indvendige fuger omkring vinduer indeholdt i særligt grad PCB, idet næsten 50% af prøverne indeholdt ≥ 50 mg/kg PCB.

Ved undersøgelserne er det påvist, at 21% af prøverne af maling indeholdt ≥ 50 mg/kg PCB. Det ses, at stort set alle analyserede facademalinger havde et PCB indeholdt ≥ 1000 mg/kg.

For gulvmasser/-belægninger ses, at én prøve af linoleum indeholdt PCB i koncentrationer på 50 - 1000 mg/kg. Der var 4 målinger i intervallet 1-50 mg/kg (ikke vist her), mens 1 ud af 24 målinger af typen "andre" indeholdt over 1000 mg/kg indikerende, at PCB har haft en teknisk funktion i dette materiale.

Over 50% af de undersøgte prøver fra termoruder indeholdt PCB ≥ 50 mg/kg og heraf indeholdt hovedparten ≥ 1000 mg/kg. Det er i overensstemmelse med resultaterne af ENS kortlægningen.

Tabel 56 Andel af materialeprøver med henholdsvis ≥ 50 mg/kg og ≥ 1000 mg/kg (Alslev et al. 2013)

Materiale/antal		n (antal)	Andel med ≥ 50 mg/kg (% af prøver)	Andel med ≥ 1000 mg/kg (% af prøver)
Fuger i alt		754	26	20
Vinduer	Udvendig	480	23,3	18,1
Vinduer	Indvendig	45	48,9	40,0
Døre	Udvendig	77	19,5	15,6
Døre	Indvendig	27	18,5	11,1
Elementfuger		99	28,3	22,2
Vådrum		26	50,0	42,3
Maling i alt		165	21	15
Gulv		34	17,6	0,0
Facader		59	37,3	35,6
Vægge		38	7,9	0,0
Vinduer		1	0,0	0,0
Døre		4	0,0	0,0
Andet		29	13,8	13,8
Gulvmasser/-belægninger i alt		47	9	2
Puds		4	0,0	0,0
Linoleum		6	16,7	0,0
Vinyl		4	0,0	0,0
Beton		6	0,0	0,0
Støvbinder		0	0,0	0,0
Klæbemasse		3	0,0	0,0
Andet		24	12,5	4,2
Termoruder i alt		45	56	29
Fugetype kit		21	57,1	42,9
Fugetype forseglingslim		24	54,2	29,2

5.5 Sammenfatning og delkonklusion

Kommunernes kortlægnings

For offentlige institutioner og offentlige kontorejendomme foreligger der et omfattende materiale fra kommunernes kortlægnings. I de fleste af kommunerne er der udelukkende undersøgt for fugemasser, og resultaterne af kortlægningsne kan kun anses at være repræsentative, hvad angår fugemasser. Samlet set var hyppigheden af bygninger med PCB-koncentrationer ≥ 50 mg/kg i fugemasse i offentlige institutioner og kontorer angivet på lokalitetsniveau 14% (12-16%)(en lokalitet er en skole, et plejehjem, mm). En analyse af resultater fra de kommuner, hvor data var tilgængelige for alle de enkelte bygninger på alle lokaliteter (eksempelvis alle bygninger på den enkelte skole) viste, at hyppigheden på lokalitetsniveau var ca. 20% højere end angivet på bygningsniveau. Hyppigheden af bygninger med PCB i maling og gulvmasser er estimeret på basis af resultaterne af ENS kortlægningen, idet de fleste kortlægnings gennemført af kommuner ikke har omfattet disse materialer. Samlet indeholdt 19% (11-30%) af bygningerne maling eller gulvbelægnings med ≥ 50 mg/kg.

Høje forekomster af PCB i fugemasser er hyppigere i skoler end i andre offentlige bygninger. Blandt 87 skoler spredt over hele landet, som har indgået i kommunernes screening, er der fundet fugemasser med høj koncentration af PCB (≥ 5.000 mg/kg, men typisk ≥ 100.000 mg/kg) i 31% af skolerne.

Forsvarets bygninger – FBE kortlægning

Sideløbende med nærværende kortlægning er der gennemført en kortlægning af Forsvarets bygninger for Forsvarets Bygnings- og Etablisementstjeneste (FBE). I FBE kortlægningen er der undersøgt 115 depoter/værksteder, 81 kontor/opholdsbygninger og 104 bygninger til indkvartering. Der er i forsvarets bygninger fundet resultater, som svarer godt til resultaterne af ENS kortlægningen, og der er kun fundet mindre forskelle i anvendelser af PCB-holdige materialer mellem de to kortlægnings.

I det store og hele er forskellene mellem bygningskategorierne inden for henholdsvis ENS og FBE kortlægningen større end de overordnede forskelle mellem de to kortlægnings. Resultaterne af FBE kortlægningen har således kunnet supplere resultaterne af ENS kortlægningen i analyser af sammenhænge mellem PCB i materialer og indeluft.

Resultaterne af 1.377 indeluftmålinger på 507 lokaliteter (skoler, børnehaver, rådhus, mm.) i 16 kommuner er sammenfattet i denne kortlægning. Langt den største del af datasættet er repræsenteret af kortlægnings, hvor der er taget målinger af alle lokaliteter (evt. kun inden for en underkategori af bygninger) eller en stikprøve, uden at der har været en forudgående udvælgelse på baggrund af målinger af PCB i materialer. Da målinger i 507 lokaliteter giver et meget godt statistisk grundlag, er resultaterne af disse kortlægnings anvendt til at estimere PCB i indeluft i alle danske offentlige kontorer og institutioner.

Boligselskaber

Der er kun identificeret relativt få kortlægnings der typisk kun omfattet fugemasser. Udover disse foreligger der undersøgelser af enkelte afdelings foretaget eksempelvis i forbindelse med renoverings.

Sammenlignet med det omfattende materiale fra kommunerne, vurderes materialet fra boligselskaberne at være for beskedent til, at det i væsentlig grad vil kunne forbedre det statistiske grundlag for ENS kortlægningen, når det samtidigt tages i betragtning, at selskabernes undersøgelser kun har omfattet fugemasser, og at de to undersøgelser dermed ikke er sammenlignelige.

Miljøstyrelsen undersøgelse af PCB i materialer

Resultater af materialeanalyser ved gennemførte renoveringer og nedrivninger, samlet som led i et projekt om at udarbejde en opdateret vejledning om frasortering af PCB-holdigt affald for Miljøstyrelsen, viser at 80% af bygningerne beskrevet i rapporterne indeholdt materialer med detekteret PCB (venstre kolonner i tabellen). Dette er i overensstemmelse med resultaterne af ENS kortlægningen, hvor der påvises indhold af PCB på $\geq 0,1$ mg/kg i mere end 75% af bygningerne.

6 Forekomsten af PCB i bygninger i Danmark

6.1 Antal bygninger med PCB i materialer

6.1.1 Andel og antal af bygninger fra PCB-perioden med PCB i materialer

I det følgende afsnit estimeres antallet af bygninger i Danmark, som vil kunne have PCB i materialer over to af de fastsatte grænseværdier i relation til håndtering af PCB-holdige materialer i forbindelse med affaldsbortskaffelse:

- › Vejledende grænseværdi på 0,1 mg/kg, som betyder, at materialerne er destruktionspligtige, og
- › Grænseværdi på 50 mg/kg, som betyder, at materialerne skal håndteres som farligt affald.

Værdien 5.000 mg/kg er anvendt her til at angive materialer med et særligt højt potentiale for eksponering af mennesker og miljøet.

Én- og tofamiliehuse

Estimaterne for én- og tofamiliehuse er baseret på en stikprøve på 154 én- og tofamiliehuse fordelt over hele landet. Husene er udvalgt, så de er repræsentative hvad angår fordeling mellem de 5 regioner, tidsmæssig fordeling inden for PCB-perioden og fordeling mellem de tre undergrupper af bygninger inden for bygningstypen. Som det er vist både i ENS kortlægningen og det samlede datasæt fra kommunerne var anvendelsen af PCB særlig hyppig i perioden 1965-1974 sammenlignet med de øvrige delperioder. Når der skal ekstrapoleres fra stikprøven til det samlede antal bygninger i Danmark, er det således væsentligt, at de undersøgte bygninger er repræsentative tidsmæssigt, ellers ville det være nødvendigt at lave en vægtet beregning, der tog højde for disse forskelle.

I følge OIS databasen er der i Danmark 588.691 bygninger opført i perioden 1950-1977 inden for de tre bygningstyper:

- › Stuehus til landbrugsejendom.
- › Fritliggende enfamilieshus (parcelhus).
- › Række-, kæde-, eller dobbelthus (lodret adskillelse mellem enhederne).

Der var på tidspunktet for dataudtrækket 1.444.077 én- og tofamiliehuse registreret i OIS databasen, hvoraf 588.691 (41%) var fra PCB-perioden.

På basis af OIS data og resultaterne af undersøgelsen kan det estimeres, at antallet af én- og tofamiliehuse med PCB-koncentrationer ≥ 50 mg/kg i et eller flere materialer er 80.000-140.000 (90% konfidensinterval), heraf vil 20.000-60.000 indeholde materialer med et PCB-indhold på ≥ 5000 mg/kg.

Hyppigheden af én- og tofamiliehuse med materialer med PCB-koncentrationer på ≥ 50 mg/kg er som vist andetsteds i rapporten signifikant lavere end hyppigheden af etageejendomme, kontorer og offentlige institutioner.

Tabel 57 Estimeret antal af én- og tofamiliehuse i Danmark fra perioden 1950-1977 som indeholder PCB-holdige materialer.

PCB _{total} i alle materialer, mg/kg	Undersøgte bygninger			Bygninger i Danmark fra PCB-perioden		
	Antal bygninger	Hyppighed	90% konfidensinterval	Samlet antal jf. OIS databasen	Antal bygninger med PCB	90% konfidensinterval
Antal	154			588.691		
$\geq 0,1$	113	73%	67-79%		430.000	390.000-470.000
≥ 50	28	18%	13-24%		110.000	80.000-140.000
≥ 5000	10	7%	4-11%		40.000	20.000-60.000

*Værdier angivet uden decimaler, men der indgår 1 decimal ved beregning af antal bygninger, som derefter afrundes.

Etageejendomme

Der er undersøgt 105 etageejendomme i 52 afdelinger i 5 byer. Fordelingen på år matcher ikke helt landstotalen fra OIS databasen, men 42% af bygningerne var fra perioden med høj hyppighed af PCB, 1965-1974, mod landstotalens 45% af bygningerne. Afvigelsen vurderes at være så beskeden, at der ikke skal tages højde for det ved ekstrapolation fra de undersøgte ejendomme.

Der var på tidspunktet for dataudtrækket i alt 89.832 etageejendomme registreret i OIS databasen, hvoraf 14.928 (17%) stammer fra PCB-perioden. Opgørelsen er lavet på ejendomsniveau, og antallet af ejendomme repræsenterer et langt større antal boliger. Det samlede antal beboede etageboliger var i følge Danmarks Statistik i 2012 984.718 (DS, 2012).

Samlet estimeres det, at der vil være 3.600-5.900 ejendomme, der indeholder materialer med PCB-koncentrationer på ≥ 50 mg/kg, mens der er materialer med ≥ 5.000 mg/kg i 1.000-2.700 ejendomme.

Det vurderes ikke, at de eksisterende målinger fra boligselskaber, der udelukkende har omfattet fuger, vil kunne forbedre det statistiske grundlag væsentligt.

Tabel 58 Estimeret antal af etageejendomme i Danmark fra perioden 1950-1977 som indeholder PCB-holdige materialer.

PCB _{total} i alle materialer, mg/kg	Undersøgte bygninger			Bygninger i Danmark fra PCB-perioden		
	Antal bygninger	Hyppighed	90% konfidensinterval	Samlet antal jf. OIS databasen	Antal bygninger med PCB	90% konfidensinterval
Antal	105			14.928		
≥0,1	95	91%	84-95%		13.500	12.600-14.100
≥50	33	31%	24-40%		4.700	3.600-5.900
≥5000	12	11%	7-18%		1.700	1.000-2.700

* Værdier angivet uden decimaler, men der indgår 1 decimal ved beregning af antal bygninger, som derefter afrundes

Offentlige institutioner og kontorejendomme

For offentlige institutioner og kontorejendomme (her i betydningen offentligt ejede kontorejendomme) foreligger der et stort datasæt for kommunalt ejede offentlige bygninger, der som tidligere nævnt vurderes kun at være repræsentativt, hvad angår fugemasser.

Datasættet fra kommunerne omfatter målinger af PCB i fugemasse fra 532 lokaliteter i Danmark, og danner dermed et stærkt statistisk grundlag for at estimere forekomsten af PCB i offentlige bygninger i Danmark. Der foreligger ingen kortlægning af institutioner og kontorejendomme ejet af staten (bortset fra kortlægningen af forsvarrets bygninger, som omtales andetsteds i rapporten) eller regionerne, men det vurderes, at der ikke er nogen grund til at antage, at forekomsten af PCB i disse bygninger skulle afvige væsentligt fra forekomsten i de kommunalt ejede bygninger.

For at gøre resultaterne af kortlægningerne i kommunerne sammenlignelige, er det valgt at lave opgørelsen på lokalitetsniveau, som eksempelvis er en bestemt skole eller børnehave. En analyse af data fra 2 kommuner indikerer, at hyppigheden opgjort på bygningsniveau (hvor man ser på alle bygninger på den enkelte skole) vil være ca. 20% lavere.

En sammenligning af hyppigheden af PCB i fugemasser på lokalitetsniveau fra kommunernes kortlægninger med resultaterne af ENS kortlægningen af offentlige institutioner, fremgår af nedenstående tabel.

Som det ses, er der fundet højere niveauer i ENS kortlægningen end der er fundet i kommunernes kortlægninger. Forskellen mellem resultaterne af de to kortlægninger er dog ikke signifikant (p -værdi på 0,24). Årsagen til den højere hyppighed i ENS kortlægningen kan skyldes en mindre overrepræsentation af bygninger, der ikke er ombyggede, men kan også skyldes tilfældigheder. Uanset årsag vurderes det langt større datasæt fra kommunernes kortlægninger at give det bedste grundlag for at estimere forekomsten af PCB-holdige fugemasser i denne bygningstype.

Tabel 59 Sammenligning af hyppigheden af bygninger/lokaliteter med ≥ 50 mg/kg i de to datasæt.

	Hele landet		
	Antal bygninger/lokaliteter	Hyppighed	90% CI
Kommuner, lokaliteter	669		
$\geq 0,1$	202	30	27-33
≥ 50	96	14	12- 17
≥ 5.000	58	9	7- 11
ENS, bygninger	57		
$\geq 0,1$	21	37	26- 49
≥ 50	12	21	13- 33
≥ 5.000	6	11	5- 20

*1 90% konfidensintervaller (CI) beregnet på basis af en binominalfordeling

Da det ikke er muligt at lave udtræk fra OIS databasen på lokalitetsniveau, i den betydning af lokaliteter, der er anvendt i kommunernes kortlægninger, er det nødvendigt at foretage opgørelsen på bygningsniveau med den beskedne metodiske usikkerhed, der dermed introduceres. Det kan på basis af den eksisterende viden estimeres, at hyppigheden er 20% mindre opgjort på bygningsniveau, og der estimeres et 90% sikkerhedsinterval ved at forskyde konfidensintervallerne fra opgørelsen på bygningsniveau. Det kan ikke gøres med statistisk eksakte metoder, men det vurderes, at fejlen vil ligge inden for afrundingen af resultaterne.

Der var på tidspunktet for udtrækket registreret 171.804 offentlige bygninger og kontorejendomme i OIS databasen, hvoraf 44.587 var fra PCB-perioden. Af disse var 23.015 registreret som privatejede, mens 21.572 var offentligt ejede.

På den basis estimeres det, at der vil være 2.100-2.900 offentlige institutioner og kontorer med et eller flere materialer med ≥ 50 mg/kg, og heraf 1.200-1.800 med materialer med ≥ 5.000 mg/kg.

Tabel 60 Estimeret antal af offentlige bygninger i Danmark fra perioden 1950-1977 som indeholder PCB-holdige fugemasser *1.

PCB _{total} i fugemasser, mg/kg	Undersøgte bygninger			Offentlige bygninger i Danmark fra PCB-perioden		
	Antal bygninger	Hyppighed	90% sikkerhedsinterval *2	Samlet antal jf. OIS databasen	Antal bygninger med PCB	90% sikkerhedsinterval
Antal bygninger	669			21.572		
≥0,1	*3	24%	22-27%		5.200	4.700-5.700
≥50		11%	10-13%		2.500	2.100-2.900
≥5000		7%	6-9%		1.500	1.200-1.800

* 1 Værdier er angivet uden decimaler, men der indgår 1 decimal ved beregning af antal bygninger, som derefter afrundes.

* 2 Der anvendes her begrebet "sikkerhedsinterval" for at indikere, at intervallet er estimeret ud fra konfidensintervallerne beregnet på lokalitetsniveau.

* 3 Data foreligger kun på lokalitetsniveau.

For maling og gulvbelægninger vurderes resultaterne af ENS kortlægningen at være mere repræsentative end kortlægningerne fra kommunerne, selvom antallet af undersøgte bygninger er langt lavere, og konfidensintervallerne dermed bliver bredere.

Som det fremgår af tabel 61, estimeres det, at 2.400-6.500 offentlige institutioner og kontorer vil indeholde maling eller gulvbelægninger med PCB-koncentrationer på ≥50 mg/kg. Der vil være et væsentligt overlap mellem bygninger med fugemasser med ≥50 mg/kg PCB og bygninger med maling eller gulvmasser, så det samlede antal bygninger med materialer ≥50 mg/kg PCB vil være mindre end totalen. Da de to estimater er baseret på forskellige datasæt, er det ikke umiddelbart muligt at lave et samlet estimat for alle materialer.

Tabel 61 Estimeret antal af offentlige bygninger i Danmark fra perioden 1950-1977 som indeholder PCB-holdigt maling og gulvbelægninger.

PCB _{total} i alle maling og gulvmasser, mg/kg	Undersøgte bygninger			Bygninger i Danmark fra PCB-perioden		
	Antal bygninger	Hyppighed	90% konfidensinterval	Samlet antal jf. OIS databasen	Antal bygninger med PCB	90% konfidensinterval
Antal	57			21.572		
≥0,1	42	74%	62-83%		16.000	13.000-18.000
≥50	11	19%	11-30%		4.200	2.400-6.500
≥5000	3	5%	1-13%		1.140	300-2.800

* Værdier angivet uden decimaler, men der indgår 1 decimal ved beregning af antal bygninger, som derefter afrundes.

Kontorejendomme

For bedre at kunne gøre brug af datasættet fra kommunernes kortlægninger er det valgt at adskille datasættene fra ENS kortlægningen for henholdsvis kontorejendomme og offentlige institutioner. Herved bliver hvert datasæt mindre, og konfidensintervallerne relativt større, men man undgår en usikkerhed omkring repræsentativiteten. Kontorejendommene er overvejende privatejede, men i nogle af kontorbygningerne, kan der være en væsentlig offentlig ejerandel.

Der var på tidspunktet for udtrækket registreret 171.804 offentlige bygninger og kontorejendomme i OIS databasen, hvoraf 44.587 var fra PCB-perioden. Af disse var 23.015 registreret som privatejede.

Det kan på basis af resultaterne estimeres, at 4.900-11.000 private kontorejendomme i Danmark vil indeholder materialer med PCB ≥ 50 mg/kg og af disse vil 1.600-6.500 indeholder materialer med ≥ 5.000 mg/kg.

Tabel 62 *Estimeret antal af private kontorejendomme i Danmark fra perioden 1950-1977, som indeholder PCB-holdigt materialer.*

PCB _{total} i alle materialer, mg/kg	Undersøgte bygninger			Bygninger i Danmark fra PCB-perioden		
	Antal bygninger	Hyppighed	90% konfidensinterval	Samlet antal jf. OIS databasen	Antal bygninger med PCB	90% konfidensinterval
Antal	36			23.015		
$\geq 0,1$	27	75%	60-86%		17.300	13.900-19.900
≥ 50	13	36%	23-51%		8.300	5.300-11.800
≥ 5000	6	17%	8-30%		3.800	1.700-7.000

* Værdier angivet uden decimaler, men der indgår 1 decimal ved beregning af antal bygninger, som derefter afrundes.

6.2 Antal bygninger med PCB i indeluft opdelt på bygningstyper

I det følgende afsnit estimeres det på baggrund af ENS kortlægningen, hvor mange bygninger i Danmark, der vil kunne have problemer med PCB i indeluften. Beregningerne er baseret på antallet af bygninger opført i PCB-perioden. Bygninger opført før denne periode vil også i et vist omfang kunne indeholde PCB-holdige materialer som følge af renovering/udbygning og dermed have forhøjede koncentrationer i indeluft, men der findes ingen sikre data, der kan anvendes til at estimere omfanget af dette.

Ved beregningerne anvendes en model, som baserer sig på sammenhængene mellem PCB-koncentrationen i materialer og indeluft, som er beskrevet i afsnit 4.4. Modellen baserer sig på følgende antagelser:

- Sammenhængen mellem PCB i materialer og indeluft kan beskrives med de konfidensellipser, som er beskrevet i afsnit 4.4. Der anvendes samme ellipse for alle materialer.
- Materialefordelingen af de 352 undersøgte bygninger svarer til materialefordelingen af alle bygninger i Danmark fra PCB-perioden inden for hver bygningstype.

Der knytter sig en vis usikkerhed til begge antagelser, som det dog er vanskeligt præcist at estimere.

Det samlede antal bygninger med $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ forventet i modellen er 15 for alle bygningstyper. Der er ved indeluftmålingerne samlet målt $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i 14 bygninger, hvilket indikerer, at modelberegningerne samlet set rammer nogenlunde rigtigt, og at bygninger med $< 50 \text{ mg/kg}$ (hvor der ikke er foretaget indeluftmålinger), som antaget i kortlægningsstrategien, samlet vil bidrage med et lille antal bygninger med $\geq 300 \text{ ng/m}^3$.

Én- og tofamiliehuse

Der er 154 én- og tofamiliehuse fordelt over hele landet, som er undersøgt for PCB i materialer (nærmere beskrevet i foregående afsnit). Ud fra de 154 huse blev der udvalgt 20 bygninger, der opfyldte de anvendte udvælgelseskriterier for gennemførelse af indeluftmålinger (afsnit 2.3.5), og af disse blev der målt PCB i indeluft i 15, mens 5 bygningsejere ikke ønskede at deltage. Hyppigheden af én- og tofamiliehuse med materialer med PCB-koncentrationer på $\geq 50 \text{ mg/kg}$ er som vist andetsteds i rapporten signifikant lavere end hyppigheden af etageejendomme, kontorer og offentlige institutioner.

Der var på tidspunktet for dataudtrækket 1.444.077 én- og tofamiliehuse registreret i OIS databasen, hvoraf 588.691 (41%) var fra PCB-perioden.

På basis af OIS data og resultaterne af modelberegningerne kan det estimeres, at antallet af én- og tofamiliehuse med PCB-koncentrationer $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i indeluft i mindst et lokale er 19.300-22.800 (90% prediktionsinterval). Heraf vil 390-810 have PCB koncentrationer på $\geq 3.000 \text{ ng/m}^3$ i indeluft i mindst et lokale. Estimater er baseret på modellen for sammenhænge mellem PCB i indeluft og materialer og de fundne koncentrationer i materialer i de 154 undersøgte bygninger.

Tabel 63 Estimeret antal af én- og tofamiliehuse i Danmark fra perioden 1950-1977, som indeholder PCB i indeluften over 300 ng/m^3 .

PCB _{total} i indeluft, ng/m^3	Undersøgte bygninger		Bygninger i Danmark fra PCB-perioden		
	Antal bygninger	Hyppighed af undersøgte for indeluft*	Antal bygninger i Danmark jf. OIS databasen	Forventet antal med PCB	90% Prediktionsinterval
Antal bygninger	14		588.691		
Antal bygninger, undersøgte materialer	154				
≥ 300	1	7%		21.000	19.300-22.800
≥ 300 -2.000	1	7%		19.800	18.400-21.300
≥ 2.000 -3.000	0	0%		610	460-730
≥ 3.000	0	0%		610	390-810

Etageejendomme

Der er undersøgt PCB i materialer i 105 etageejendomme i 52 afdelinger i 5 byer (se nærmere detaljer i foregående afsnit). Ud fra de 105 etageejendomme blev der udvalgt 31 ejendomme, der opfyldte de udvalgte udvælgelseskriterier for gennemførelse af indeluftmålinger (afsnit 2.3.5), og af disse blev der målt PCB i indeluft i 20, mens 1 boligselskab med 11 udvalgte ejendomme ikke ønskede at deltage.

Der var på tidspunktet for dataudtrækket i alt 89.832 etageejendomme registreret i OIS databasen, hvoraf 14.928 (17%) stammer fra PCB-perioden.

På basis af OIS data og resultaterne af undersøgelsen kan det estimeres, at antallet af etageejendomme med PCB-koncentrationer på $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i indeluft i mindst et lokale er 610-800 (90% prediktionsinterval), heraf vil 7-31 have PCB-koncentrationer på $\geq 3.000 \text{ ng/m}^3$. Der er ikke målt $\geq 3.000 \text{ ng/m}^3$ i nogen af de undersøgte etageejendomme, men estimatet er baseret på modellen for sammenhænge mellem PCB i indeluft og materialer, og de fundne koncentrationer i materialer i de 105 undersøgte ejendomme.

Tabel 64 Estimeret antal af etageejendomme i Danmark fra perioden 1950-1977, som indeholder PCB i indeluften over 300 ng/m^3 .

PCB _{total} i indeluft, ng/m^3	Undersøgte bygninger		Bygninger i Danmark fra PCB-perioden		
	Antal bygninger	Hyppighed af undersøgte for indeluft*	Antal bygninger i Danmark jf. OIS databasen	Forventet antal med PCB	90% Prediktionsinterval
Antal bygninger	20		14.928		
Antal bygninger, undersøgte materialer	105				
≥ 300	1	5%		700	610-800
$\geq 300-2.000$	1	5%		660	580-750
$\geq 2.000-3.000$	0	0%		21	11-33
≥ 3.000	0	0%		18	7-31

Offentlige bygninger

Resultaterne af ENS kortlægningen bekræfter den relativt høje hyppighed af PCB i indeluft i denne bygningskategori, som sås i kommunernes kortlægninger af 507 lokaliteter. Grundet forskelle i udvælgelse af bygninger er det valgt ikke at slå disse resultater sammen, da det ikke vil have væsentlig indflydelse på de estimerede konfidensintervaller.

Der var på tidspunktet for dataudtrækket registreret 171.804 offentlige bygninger og kontorejendomme i OIS databasen, hvoraf 93.724 var offentligt ejede. Af disse var 21.572 fra PCB-perioden. På basis af dette og de observerede hyppigheder i kommunale ejendomme og de beregnede konfidensintervaller er det i tabel 65 angivet, hvor mange offentlige institutioner og kontorejendomme, der vil kunne indeholde PCB i indeluften over en række relevante koncentrationer. Der er ved omregning fra hyppigheder på lokalitetsniveau til bygningsniveau regnet med, at hyppigheden på bygningsniveau er 20% lavere; se afsnit 5.1. Sikkerhedsintervallerne på estimerne er ligeledes regnet at være 20% lavere end konfidensintervallerne. Denne omregning kan ikke laves med eksakte statistiske metoder, men usikkerheden på omregningen vurderes, at være inden for afrundingen af værdierne til hele tal.

Regnet på bygningsniveau er hyppigheden af bygninger med $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ på 5,6% (90% konfidensgrænser: 4-8%). Modelberegningerne, som er udarbejdet på basis af resultaterne af ENS kortlægningen, giver en forventet hyppighed på 5,8% (90% prediktionsgrænser: 5,0-6,6%). For intervallet $\geq 3.000 \text{ ng/m}^3$ fås en forventet hyppighed på 0,3% (90% prediktionsgrænser: 0,2-0,6%). Der ses således en god overensstemmelse mellem resultaterne af de to undersøgelser. De snævrere prediktionsintervaller sammenlignet med 90% konfidensintervallerne for det noget større datasæt fra kommunernes kortlægninger kan undre og kunne indikere, at prediktionsintervallerne ikke reflekterer al modelusikkerhed, som nærmere diskuteres i afsnit 4.4.

Det estimeres på baggrund af kommunernes kortlægninger, at der vil være 900-1.600 offentlige bygninger i Danmark med PCB-koncentrationer i indeluften over Sundhedsstyrelsens laveste vejledende aktionsværdi på 300 ng/m^3 . Den højeste vejledende aktionsværdi på 3.000 ng/m^3 estimeres at være overskredet i 20-200 bygninger.

Tabel 65 Estimeret antal af offentlige bygninger i Danmark fra perioden 1950-1977, som indeholder PCB i indeluften over 300 ng/m^3 .

PCB _{total} i indeluft, ng/m^3	Undersøgte lokaliteter*1			Bygninger i Danmark fra PCB-perioden*3		
	Antal lokaliteter	Hyppighed*2	90% konfidensinterval	Antal bygninger i Danmark jf. OIS databasen	Antal med PCB	90% sikkerhedsinterval
Antal bygninger	507			21.572		
≥ 300	35	7 %	5-9%		1.200	900-1.600
$\geq 300-2.000$	28	6 %	5-6%		900	800-1.100
$\geq 2.000-3.000$	5	1 %	0,5-1,4 %		170	90-200
≥ 3.000	2	0,4 %	0,1-1,2 %		100	20-200

*1 Data foreligger kun på lokalitetsniveau dvs. hele institutioner og ikke enkelte bygninger.

*2 Værdier angivet uden decimaler, indgår med 1 decimal ved beregning af antal bygninger.

*3 Ved beregning af antal bygninger er der regnet med, at hyppigheder af bygninger er ca. 20% af lavere end den angivne hyppighed på lokalitetsniveau (se nærmere beskrivelse i afsnit 5.1) Der anvendes her begrebet "sikkerhedsinterval" for at indikere, at intervallet er estimeret på basis af konfidensintervallerne beregnet på lokalitetsniveau.

Kontorejendomme

Der er undersøgt PCB i materialer i 36 private kontorejendomme. Ud fra de 36 etageejendomme blev der udvalgt 13 ejendomme, der opfyldt de anvendte udvælgelseskriterier for gennemførelse af indeluftmålinger (afsnit 2.3.5), og af disse blev der målt PCB i indeluft i 12, mens én bygningsejer ikke ønskede at deltage.

Der var på tidspunktet for udtrækket registreret 171.804 offentlige bygninger og kontorejendomme i OIS databasen; 78.080 var registreret som privatejede. Heraf var 23.015 fra PCB-perioden.

På basis af OIS data og resultaterne af undersøgelsen kan antallet af kontorejendomme med PCB-koncentrationer ≥ 300 ng/m³ estimeres til 740-1.070 (90% prediktionsinterval). Heraf vil 6-33 have PCB indeluftkoncentrationer på ≥ 3.000 ng/m³.

Det forventede antal er relativt lille i betragtning af antallet af kontorejendomme, hvor der blev målt PCB i indeluften. Dette hænger sammen med, at der i de fleste af målingerne tilfældigvis blev fundet høje værdier i indeluft ved relativt lave koncentrationer i materialer, og som derfor ikke vil slå igennem i modelberegningerne.

Tabel 66 Estimeret antal af kontorejendomme i Danmark fra perioden 1950-1977, som indeholder PCB i indeluften over 300 ng/m³.

PCB _{total} i indeluft, ng/m ³	Undersøgte bygninger		Bygninger i Danmark fra PCB-perioden		
	Antal bygninger	Hyppighed af undersøgte for indeluft*	Antal bygninger i Danmark jf. OIS databasen	Forventet antal med PCB	90% Prediktionsinterval
Antal bygninger	12		23.015		
Antal bygninger, undersøgte materialer	36				
≥ 300	5	42 %		900	740-1.070
$\geq 300-2.000$	0	0 %		870	720-1.020
$\geq 2.000-3.000$	0	0 %		24	10-40
≥ 3.000	0	0 %		18	6-33

6.2.1 Antal skoler med PCB i indeluft

Der er i kommunernes kortlægninger fundet, at der var en meget høj forekomst af PCB i indeluft i skoler, og der er derfor foretaget en særlig opgørelse for skoler, som også indgår som en undergruppe i ovenstående opgørelse for offentlige bygninger.

Der var ifølge Ministeriet for Børn og Undervisnings institutionsregister¹ i 2012 1.318 folkeskoler, 537 friskoler og private grundskoler, 265 efterskoler, 184 specialskeoler for børn og 240 dagbehandlingstilbud. I alt 2.544 grundskoler.

Resultaterne fra kommunerne vedrører stort set kun folkeskoler. Enkelte af de undersøgte skoler kan dog være kommunalt ejede specialskeoler. Der er ved beregning af antal skoler, som vil kunne indeholde PCB i fugemasser og indeluft, i første omgang derfor kun regnet på folkeskoler, men det må antages, at der også vil kunne være PCB i de øvrige typer skoler.

¹ <http://www.uvm.dk/Uddannelser-og-dagtilbud/Paa-tvaers-af-uddannelserne/Institutionsregister>

Institutionsregistret angiver ikke opførelsesår for bygningerne, og data vedrørende opførelsesår er derfor udtrukket fra OIS databasen. Der er foretaget et udtræk, hvor anvendelseskoden "Bygning til undervisning og forskning" er kombineret med benyttelseskoden "Anden kommunal ejendom (skole, rådhus, mm.)". Herved er der opnået en liste på 8.910 bygninger på 2.448 lokaliteter (som tilnærmelsesvist lig med institutioner). Det er forsøgt, at kombinere adresseoplysninger fra OIS databasen med adresseoplysninger fra Institutionsregistret for herved at bestemme, hvilke af institutionerne, der er folkeskoler. Grundet forskelle i adresseangivelser har dette dog vist sig at være ret omfattende og det har ikke været muligt at løse disse data-baseforskelle inden for rammerne af udarbejdelsen af denne rapport.

Det er derfor valgt at foretage et mere usikkert skøn. Af de 8.910 bygninger i udtrækket fra OIS er de 4.537 (51%) opført i PCB-perioden. Af de 2.448 lokaliteter er der én eller flere bygninger fra PCB-perioden på 1.669 lokaliteter, svarende til 68% af lokaliteterne.

Hvis det antages, at der er én eller flere bygninger fra PCB-perioden i 68% af de 1.318 folkeskoler, vil der være ca. 900 folkeskoler med bygninger fra PCB-perioden. For at tage højde for usikkerheden anvendes intervallet 700-1.100 i nedenstående beregning. På denne baggrund kan det som vist i tabellen estimeres, at der vil være lokaler med $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ i 60-210 folkeskoler, mens lokaler med $\geq 3.000 \text{ ng/m}^3$ vil findes i op til 60 folkeskoler.

Som nævnt kan resultaterne fra kommunernes screeninger ikke regnes at være repræsentative for de øvrige 1.226 grundskoler; hvor forekomsten af PCB meget vel nærmere vil svare til forekomsten i øvrige offentlige institutioner. Til beregning af det samlede antal skoler med PCB er der derfor regnet med en større usikkerhed for de øvrige grundskoler. Der er således regnet med, at 6-39% af de øvrige grundskoler indeholder fugemasser med $\geq 5.000 \text{ mg/kg}$, og at der vil være lokaler med $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ 5-19% af de øvrige grundskoler. Bemærk, at disse intervaller er baseret på ekspertestimer og ikke på eksakte statistiske metoder.

Hvis der regnes med, at der er én eller flere bygninger fra PCB-perioden på omkring 68% af lokaliteterne kan antallet af øvrige grundskoler anslås til 650-1.230 skoler.

På den baggrund kan det samlede antal af grundskoler med fuger med $\geq 3.000 \text{ ng/m}^3$ anslås til 0-60, mens antallet af grundskoler, hvor der vil være lokaler med $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ kan estimeres til 60-210.

Tabel 67 Beregnet antal folkeskoler med PCB i indeluft i Danmark.

PCB _{total} i, ng/m ³	Antal skoler med PCB	Antal skoler undersøgt	Hyppighed	90% interval	Estimeret antal folkeskoler i Danmark med PCB (afrundet)
Indeluft ≥ 30 ng/m ³	54	130	42%	34-49%	240-540
Indeluft ≥ 100 ng/m ³	29	130	22%	16-29%	110-320
Indeluft ≥ 300 ng/m ³	17	130	13%	9-19%	60-210
Indeluft ≥ 2.000 ng/m ³	6	130	5%	2-9%	10-100
Indeluft ≥ 3.000 ng/m ³	2	130	2%	0-5%	0-60

6.3 Sammenfatning og delkonklusion

Antallet af bygninger med PCB i fugemasser, maling eller gulvbelægnin-

På basis af resultaterne af ENS kortlægningen og en række kortlægninger i kommuner landet over er det samlede antal bygninger i Danmark, som indeholder maling, fugemasser og gulvbelægnin-

Tabel 68 Andel og antal af bygninger i Danmark fra PCB-perioden, som indeholder PCB i fugemasser, maling eller gulvbelægning.

Bygningstype	Andel og antal bygninger i Danmark fra PCB-perioden med materialer over den angivne koncentration (90% konfidensinterval)		
	≥0,1 mg/kg	≥50 mg/kg	≥5.000 mg/kg
Én- og tofamiliehuse	390.000-470.000 67-79%	80.000-140.000 13-24%	20.000-60.000 4-11%
Etageejendomme	12.600-14.100 84-95%	3.600-5.900 24-40%	1.000-2.700 7-18%
Private kontorejendomme	13.900-19.900 60-86%	5.300-11.800 23-51%	1.700-7.000 8-30%
Offentlige institutioner og kontorejendomme*	I fugemasser 4.700-5.700 22-27% I maling og gulvbelægninger 13.000-18.000 62-83%	I fugemasser 2.100-2.900 10-13% I maling og gulvbelægninger 2.400-6.500 11-30%	I fugemasser 1.200-1.800 6-9% I maling og gulvbelægninger 300-2.800 1-13%

* Der er for de mange bygninger et sammenfald, således at bygningerne indeholder både fugemasser og malinger med ≥ 50 mg/kg PCB, så samlede antal af bygninger, der indeholder et af materialerne, er væsentligt under summen af de to intervaller.

De foreliggende data for PCB i indeluft er sammenfattet i følgende tabel, der angiver antallet af bygninger inden for de enkelte bygningstyper, som estimeres at have et eller flere lokaler forurenet med PCB på forskellige koncentrationsniveauer. Det er ikke undersøgt, hvor mange lokaler i de enkelte bygninger, der er forurenet over det angivne niveau.

Som tidligere nævnt vurderes modellen vurderes at være ret robust, hvad angår forudsagte middelværdier. Prediktionsintervallerne er overraskende snævre, og det kan ikke afvises, at der skal tillægges en vis usikkerhed for modelforudsætningerne, hvor der dels er anvendt en sammenhæng mellem PCB i materialerne og indeluft samlet for alle materialer, dels er regnet med, at de 354 bygninger, hvor der er målt PCB i materialer, er repræsentative for alle landets bygninger inden for bygningstyperne. Det er dog ikke muligt, på en eksakt måde at tage højde for den ekstra usikkerhed, som dog meget vel kan betyde, at usikkerhedsintervallerne vil være dobbelt så store som de angivne intervaller.

Tabellen viser desuden andelen af samtlige bygninger (ikke kun fra PCB-perioden) for hver bygningstype, der har PCB i indeluften på forskellige koncentrationsniveauer. Ved beregningen er der ikke taget højde for, at også nogle af bygningerne bygget før PCB-perioden kan have forekomst af PCB i materialer, som er tilført i PCB-perioden, og som kan give anledning til PCB i indeluften. Der vil derfor være en tendens til, at andelen er underestimeret, men der foreligger ingen data, der kan indikere omfanget af denne underestimering.

Tabel 69 Beregnet antal bygninger med PCB i indeluft (90% prediktionsinterval, afrundede værdier)

	Antal bygninger fra PCB-perioden (90% prediktionsinterval)			Andel af alle bygninger (90% prediktionsinterval) *3		
	≥300 ng/m ³	300-3.000 ng/m ³	≥3.000 ng/m ³	≥300 ng/m ³	300-3.000 ng/m ³	≥3.000 ng/m ³
Én- og tofamiliehuse	19.300-22.800	18.900-22.000	390-810	1,3-1,6%	1,3-1,5%	0,03-0,1%
Etageejendomme *1	610-800	590-750	7-31	0,7-0,9%	0,7-0,9%	0,01-0,03%
Offentlige institutioner og kontorejendomme samt private kontorejendomme *2	1.600-2.600	1.600-2.400	30-230	0,9-1,5%	0,9-1,4%	0,02-0,14%

- *1 Bemærk, at det er antallet af etageejendomme, der er angivet og ikke antallet af etageboliger, som er mindst 10 gange større.
- *2 Intervaller angiver for denne bygningstype 90% konfidensintervaller.
- *3 Angivet i procent af alle bygninger i Danmark, ikke kun bygninger fra PCB-perioden. Bemærk, at der er forskel mellem bygningstyperne hvad angår andel af den samlede bygningsmasse, som er opført i PCB-perioden

7 Tilbageværende mængder af PCB i byggematerialer

I det følgende beregnes tilbageværende mængder af PCB i bygninger. Der er ved beregningerne for fugemasse, gulvbelægning og gulvbelægnings kun regnet med de tre undersøgte bygningskategorier, som samlet omtales som "bygningssmassen". Estimerne omfatter således ikke industribygninger og industrielle anlæg, lagerbygninger, landbrug (bortset fra stuehuse) og andre erhvervsbygninger der ikke henregnes til kontorbygninger. For malinger og gulvbelægnings kan der meget vel være en relativt større forekomst af PCB i industribygninger og industrielle anlæg, som ikke indgår i de beregnede mængder.

Estimer for kondensatorer og termoruder omfatter alle bygningstyper, og der er således en vis inkonsistens i at lægge tallene sammen. Det er ikke forsøgt at korrigere for, at mængderne gælder for alle bygningstyper.

7.1.1 Tilbageværende mængder af PCB i fugemasser, maling og gulvbelægnings

Fugemasser

Kortlægningsrapporten fra 1983 anslår den samlede mængde anvendt til fugemasse til 80-120 tons (Hansen, 1983). Der foreligger ingen oplysninger om, hvordan forbruget fordelte sig mellem fuger omkring vinduer og døre og vinduer mellem betonelementer.

- fuger omkring vinduer og døre

Der er tidligere lavet overslag på mængden af tilbageværende PCB i fugemasser omkring vinduer og døre. Gunnarsen et al. (2009) beregnede den tilbageværende mængde til 5,6 tons angivet som sum af analyserede congenere baseret på en gennemsnitværdi på 2.100 mg/kg for de analyserede congenere. PCB₇ udgjorde omkring 50% af de undersøgte congenere. Hvis de 5,6 tons angives som PCB_{total}, med beregningsmetoden anvendt i ENS kortlægningen, svarer det til ca. 14 tons.

Baseret på en spørgeskemaundersøgelse blev det bestemt, at 61% af bygninger fra PCB-perioden ikke havde fået skiftet vinduer på det pågældende tidspunkt (omkring 2006). I nærværende undersøgelse er der bekræftede oplysninger om, at vinduer er skiftet i ca. 50% af bygningerne, mens den faktiske andel, som har skiftet vinduer er formentlig noget højere.

Potentielt kan op til omkring halvdelen af den oprindelige mængde PCB anvendt omkring vinduer og døre således stadig sidde i bygningerne, men den samlede mængde vil formentlig være noget mindre.

Estimering af den tilbageværende mængde vil i denne undersøgelse baseres på andel af bygninger, hvor der er fundet PCB i fugemassen, gennemsnitlig forekomst, og den potentielle mængde af fugemasse.

Det samlede areal af bygninger fra perioden er på basis af udtræk fra OIS databasen bestemt til 142 mio. m², som er 1 mio. mindre end anvendt i Gunnarsen et al. (2009). Der regnes med, at der er 0,46 m fuge pr. m², og at fugen, hvis det er en elastisk fuge, vejer 0,2 kg/meter (Gunnarsen et al., 2009). I Gunnarsen et al. (2009)

regnes også med 0,46 m fuger pr. m² indvendigt. De fleste af bygningerne undersøgt i ENS kortlægningen havde ikke fuger indvendigt omkring vinduerne. De 0,46 m fuger pr. m² udtrykker, hvad der potentielt kunne være, hvis alle vinduerne havde indvendige fuger; estimatet er baseret på, hvor stor en del af bygningerne der faktisk har elastiske fuger, og hvor stor en del af vinduerne i disse bygninger, der har fuger med PCB.

En bygning på 100 m² med indvendige og udvendige fuger med 200.000 mg/kg PCB vil med disse beregningsforudsætninger kunne have en samlet mængde PCB på ca. 4 kg PCB. Til sammenligning vil det samme hus, hvis der er omkring 12 m² termovinduer svarende til ca. 10 vinduer med 1,2 m² glasareal med PCB-holdig forseglings-lim, kunne have omkring 700 g PCB i termoruderne.

Der er i 82 af bygningerne (33% af alle bygninger) udtaget prøver af elastisk fuger udvendigt omkring vinduer og døre, og prøver indvendigt er udtaget fra 48 bygninger (14%). Andelen af bygninger med fleksible fuger var større, men der er ikke udtaget prøver af fuger omkring udskiftede vinduer, da der har været fokuseret på primærkilder. Det gennemsnitlige indhold af alle fugeprøverne var henholdsvis 18.456 mg/kg (199 prøver) og 3.322 mg/kg (130 prøver) for udvendige og indvendige fuger. Dette gennemsnit dækker over et bredt interval som diskuteret i kapitel 3.1.4. I nedstående tabel er gennemsnittet angivet med usikkerhed. Den største mængde PCB repræsenteres af fuger med mere end 100.000 mg/kg. De udgjorde 8% af prøverne af udvendige fuger og 2% af prøverne af indvendige fuger. Det giver dog en større usikkerhed, hvis der kun regnes på fugerne med højt indhold, fordi der er større usikkerhed på prøvernes repræsentativitet, og det vil samtidig svagt underestimere den samlede mængde.

Den største usikkerhed knytter sig til, hvor stor en del af fugerne i de enkelte bygninger, som var identiske med de udtagne prøver. Det er ved prøvetagningen taget prøver af de forskellige typer af fuger i bygningerne. Der er eksempelvis udtaget 199 prøver udvendigt i de 82 bygninger, og der er således med brug af gennemsnitsværdierne i et vist omfang taget højde for, at der er variation inden for den enkelte bygning. Det er dog flere bygninger, hvor det er angivet, at prøven er taget omkring enkelte vinduer, som ikke er blevet skiftet, og at fugerne omkring de øvrige vinduer i bygningen er nyere. Der er i andre registreret længden af fugen, og det kan dermed bestemmes, hvor mange m fuger pr. m² bygning, der repræsenteres af prøverne. Dataene tillader dog ikke en eksakt bestemmelse af andelen af bygningernes fuger, der er repræsenteret af de udtagne prøver, men det skønnes at være i størrelsen 30-50% for de udvendige fuger. De indvendige fuger sidder ikke nødvendigvis omkring vinduer, men også omkring indvendige døre. Som gennemsnit skønnes det, at de udtagne prøver svarer til ca. 0,05-0,15 m fuger pr. m² grundplan, hvilket pr. m² er end del mindre end for i de udvendige.

Som det fremgår af nedenstående tabel er det først og fremmest de udvendige vinduer og døre der repræsenterer de store mængder PCB. På det foreliggende grundlag estimeres den samlede mængde PCB til 7-35 tons.

Tabel 70 *Estimeret mængde PCB i fuger omkring vinduer og døre.*

Bebygget areal, mio. m ²	142
Fuge meter pr m ² , udvendig, uanset type	0,47
Fuge meter pr m ² , indvendig, potentielt uanset type	0,47
Vægt fuge, kg/meter	0,2
Andel af bygninger prøvetaget, udvendigt	33%
Andel af bygninger prøvetaget, indvendigt	14%
Middelkoncentration prøvetagede, udvendigt, mg/kg	11.000-26.000
Middelkoncentration prøvetagede, indvendigt	2.000-3.300
Andel af fuger i bygningen repræsenteret af prøvetagede, udvendigt	0,2-0,4
Andel af fuger i bygningen repræsenteret af prøvetagede, indvendigt	0,1-0,3
PCB mængde tons, udvendigt	7,2-33,9
PCB mængde tons, indvendigt	0,3-1,4
I alt	7,4-35,2

For fuger mellem betonelementer eller mellem beton og mursten er det vanskeligere at estimere den samlede mængde, da potentialet for fuger ikke kendes. Den største mængde PCB findes i fuger med ≥ 5.000 mg/kg, som i gennemsnit indeholdt omkring 110.000 mg/kg. Sådanne fuger blev fundet udendørs i 15 bygninger (6% af alle bygninger) og indendørs i 6 bygninger (2%). Fuger med de høje koncentrationer af PCB mellem andre bygningsdele blev således fundet i en større andel af bygningerne end fuger med høje koncentrationer omkring døre og vinduer. I mange tilfælde var det dog kun beskedne mængder i den enkelte bygning. Opmålinger af fugelængde foreligger for nogle af bygninger, men materialet er for beskedent til at kunne give et rimeligt estimat for antal meter fuge pr. m² bygning. Der har derfor været etableret kontakt til Dansk Byggeri og ældre personer i fugebranchen. I følge en person, som har været i branchen siden PCB tiden, blev mere end 80% af elastiske fugemasser i perioden fra midten af 1960'erne til 1977 anvendt omkring vinduer og døre. Det var på daværende tidspunkt almindeligt at bruge fugebånd eller såkaldte "juletræer" mellem betonelementer udvendigt og at støbe elementerne sammen indvendigt. Det vurderes derfor, at de tilbageværende mængder PCB i fuger mellem betonelementer, og andre bygningsdele vil være betydeligt mindre end de tilbageværende mængder i fuger omkring vinduer og døre. Mængden er groft estimeret til 2-15 tons PCB.

I Norge estimeres den tilbageværende mængde PCB i fuger til alle formål i 2009 til 22 tons (Techno Consult, 2009). Omfanget af bygningsmassen i Norge er stort set som i Danmark.

Maling

Den samlede mængde PCB anvendt til fremstilling af maling og lak i Danmark anslås til 130-270 tons, heraf er de 160 tons anvendt før 1970.

De største anvendelsesområder var behandling af metaloverflader, hvor der stilles store krav til bestandighed, over for kemiske påvirkninger. Som eksempler nævnes skibsbundmaling og syrefast overfladebehandling af industrielt udstyr. Der er ingen indikation på, hvor meget der er brugt til maling i bygninger. I Norge regner man med, at halvdelen af PCB i maling har været anvendt til skibe, mens den øvrige halvdel har været anvendt til byggeri, stålkonstruktioner og i industrien. Der er ingen viden om, hvor meget af dette der er anvendt i byggeriet.

Da malede overflader i bygninger ofte males over og sjældent udskiftes, må man regne med, at en væsentlig del af den PCB, der er anvendt til malede bygningsdele, stadig findes i byggemassen, selv om en del er forsvundet ved slid og afslibning.

Ved prøvetagning er der taget prøver af den samlede maling, som omfatter både maling påført i PCB-perioden og maling påført senere.

I følge oplysninger fra malebranchen påføres en gulvmaling eller facademaling typisk i mængder på 75-170 g/m². Over tid påføres der flere lag, og der fjernes en del af malingen ved slid, afskalning og ved slibning før der påføres et nyt lag. Der er her regnet med, at der over tid fjernes 40-60% af det, som er påført. For bygninger opført i PCB-perioden, kan der let være påført 5-10 lag maling og der vil her regnes med samlet 6-8 påføringer, hvoraf flere kan være med PCB-holdig maling. Der er således regnet med, at malede overflader i bygninger fra perioden vil veje 270-544 g/m², svarende til at laget af maling i gennemsnit er 0,3-0,5 mm. Der vil ofte kunne være tykkere lag, mens en stor del af malingen i andre tilfælde har været skallet af og laget er tyndere.

I forbindelse med indeluftmålinger blev der opmålt arealer af de forventede primærkilder i rummene. Det kan beregnes, at i 40 lokaler (ikke hele bygningen) med malede overflader som vigtigste kilde, var der samlet ca. 25-50 g PCB i malingen. I to én- og tofamiliehuse, med det højeste indhold, var der henholdsvis 150-300 g (5 m² lokale) og 60-130 g (22 m² lokale) PCB i maling i lokalet. I forhold til de 4 kg, som det er beregnet, der potentielt kan være i et 100 m² hus med PCB-holdige fuger, er de samlede mængder i malingen stadig væsentligt mindre. En enkelt kontorbygning havde i et 50 m² lokale 220-450 g PCB i maling.

For at få et indtryk af mængderne af PCB er der udført et estimat ud fra gennemsnitsværdier fundet i maling. Der blev udtaget prøver indvendigt af maling på gulve eller vægge i 52% af bygningerne. Den gennemsnitlige koncentration i 526 prøver var 144 mg/kg. En del af denne mængde vil være tertiær forekomst, men det er ikke muligt præcist at skelne de forskellige typer af kilder.

Angivelser af m² af malede overflader tillader ikke en præcis beregning, specielt for de større bygninger, men der skønnes, at i de bygninger, hvor der er udtaget prøver vil der være omkring 5-15 m² pr 100 m² bygningsareal.

Som det fremgår af nedenstående, vil den samlede mængde med disse forudsætninger være i størrelsen 0,1-1,1 tons PCB.

Tabel 71 *Estimeret mængde maling på gulve og vægge indendørs*

Påført pr. gang, g/m ²	75-170
Antal påføringer	6-8
Procent, der er afslebet og afslidt	0,4-0,6
Tilbageværende mængde, g/m ²	270-544
Bebygget areal, mio. m ²	143
Andel af bygninger med malede gulve og vægge indvendigt	0,4-0,6
m ² malet overflade pr 100 m ² bygning	0,1-0,2
Areal af malede overflader repræsenteret af prøverne, mio. m ²	2,9-12,9
Vægt af maling repræsenteret af prøverne, tons	772-7.001
Gennemsnit PCB i malede gulve, mg/kg	130-155
Samlet mængde PCB, kg	0,1-1,1

Udvendige prøver af maling på mur og sokkel havde et gennemsnit på 182 mg/kg i 147 prøver fra 69 bygninger (20% af bygningerne). Der var typisk fundet PCB i malinger på sokler og altaner og kun i få tilfælde på hele facaden. Det estimeres på den baggrund, at den samlede mængde af PCB i de udvendige malinger på facader og sokler næppe indeholder en større mængde end i de indvendige malinger estimeret ovenfor.

De højeste koncentrationer blev fundet på metal udvendigt. I 66 prøver fra 33 bygninger (9%) blev der fundet i gennemsnit 1.906 mg/kg. Der er typisk tale om gelændere og jerngitre og overfladerne er ikke præcist opmålt. Som et groft estimat vil der regnes med, at der i de 9% af bygningerne vil være 0,5-3 m² pr 100 m² bygning (=et altangelænder til en lejlighed). Med de samme forudsætninger som angivet i ovenstående tabel kan den samlede mængde PCB anslås til 0,1-3,2 tons. De udendørs malede metalgenstande kan således meget vel repræsentere en mængde, der er større end mængden i indvendige malede gulve og vægge.

På basis af ovenstående beregninger vil de samlede mængder PCB i maling i bygningsmassen groft estimeres til 0,3-5 tons. Estimatet er usikkert, men den tilbageværende mængde PCB i maling vurderes, at være væsentligt mindre end i fugemasser.

I Norge estimeredes den tilbageværende mængde PCB i maling til alle formål i 2009 til 7 tons. (Techno Consult, 2009). Det er ikke opgjort, hvor meget af det der specifikt anvendes i bygninger.

Gulvbelægninger

Gulvmasser, gulvbeklædninger eller lime til gulvbeklædningsmaterialer med PCB er ikke omtalt i kortlægningsrapporten fra 1983. I Norge er der anvendt væsentlige mængder PCB i mørteltilsætninger, herunder til forskellige typer af gulvbelægninger. Den danske kortlægning fra 1983 angiver, at denne anvendelse så vidt vides ikke har fundet sted i Danmark.

Som det fremgår af afsnit 3.1.5 er der i 52 prøver af gulvmasser fundet et gennemsnit på 1.061 mg/kg, mens der i gulvbeklædninger kun er fundet et gennemsnit på 47 mg/kg i 62 prøver. Målinger af 86 prøver af gulvklæbere viste et gennemsnit på

15 mg/kg, som tyder på, at klæberen næppe er den væsentligste kilde til PCB i gulvbeklædninger. Hovedparten af PCB fundet i gulvbeklædninger kan meget vel være en tertiær forekomst.

Der blev udtaget 62 prøver af gulvbeklædning i 36 bygninger (10% af alle bygninger). Lokalerne er typisk køkkener, depoter, klasseværelser og kælderrum. Det skønnes, at der i de bygninger, hvor der er udtaget prøver, kan findes 5-15 m² gulvbeklædning pr. 100 m² bygning. Målingerne repræsenterer en gennemsnitskoncentration for hele materialet, som typisk vil have en vægt på 2,5-3 kg/m³. På den baggrund kan den samlede mængde i gulvbelægninger, estimeres at være i størrelsen 0,06-0,6 tons. Den væsentligste del af dette kan som nævnt meget vel være tertiær forekomst af PCB.

De største mængder i gulvmasser fandtes i 5 prøver med høje koncentrationer (2.400-23.500) fundet i kældre i 5 bygninger (1,5% af alle bygninger), mens gulvmasserne i de øvrige bygninger indeholdt mindre end 50 mg/kg. I alle tilfælde er det ved den efterfølgende inspektion i forbindelse med indeluftmålingerne konstateret, at det formentlig har været gulvmalinger, der er målt på. Grundet de få prøver og usikkerheden omkring, hvor meget af det målte PCB, som faktisk stammer fra den underliggende beton/gulvmasse, er der dog ikke basis for et nærmere estimat af mængderne.

Den samlede mængde PCB i gulvbelægninger vil på det foreliggende grundlag groft skønnes at være i størrelsen 0,1-2 tons.

7.1.2 Tilbageværende mængder af PCB i termoruder

Som det fremgår af ovenstående, er det omkring 31% af termovinduerne, som er indleveret til genbrugsstationerne, der var fra PCB-perioden, eller hvor det ikke kunne bestemmes, hvornår de var fra. Af disse indeholdt 34% PCB over 50 mg/kg i forseglingslimen.

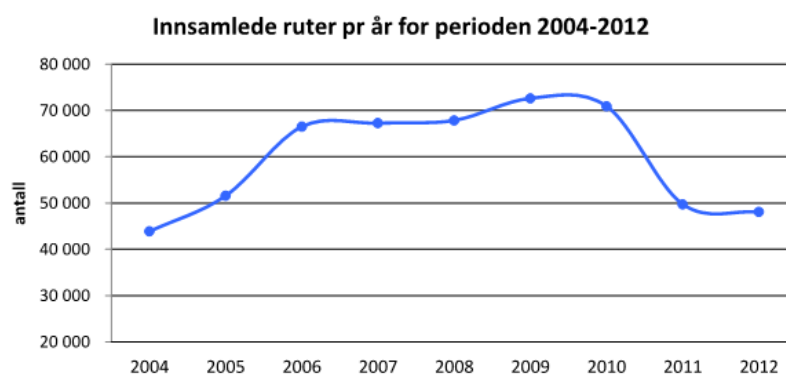
Der er i Danmark ingen tal for, hvor mange termoruder der årligt bortskaffes, og hvor mange termoruder fra PCB-perioden der stadig sidder monteret i bygninger.

I Norge findes et system for indsamling af termoruder, Ruteretur, og dermed et godt statistisk grundlag for vurderinger af tilbageværende mængder. I perioden 2006-2010 blev der indsamlet omkring 70.000 termoruder per år, mens antallet i 2011 og 2012 er faldet til 50.000 (Ruteretur, 2012a). PCB mængden er anslået til godt 3 tons. Nedgangen skyldes delvist et fald i samlede mængder termoruder, der bliver til affald, men også at Ruteretur blev bedre til kun at få termoruder fra PCB-perioden ind i systemet. Det fremgår ikke af de norske statistiske data, hvor mange termoruder, der ikke indsamles af Ruteretur, fordi de er produceret uden for PCB-perioden.

Termoruder, som ved udskiftning monteres i en vinduesramme, hvor der tidligere har været PCB, vil kunne være forurenet af den sekundære forekomst af PCB i selve vinduesrammen.

Analyseresultater der er tilgængelige på Rutereturs hjemmeside viser, at der findes PCB > 50 mg/kg i 43% af de indleverede ruder. Dette svarer meget godt til, at der i ENS kortlægningen er fundet ≥ 50 mg/kg i 34% af de undersøgte ruder. Den gennemsnitlige koncentration i de norske termoruder med ≥ 50 mg/kg var 51.000 mg/kg mod 120.000 mg/kg i ENS kortlægningen. Kun én af de undersøgte forseglingslim i Norge indeholdt mere end 200.000 mg/kg. De lavere værdier fundet i de norske analyser kan dog hænge sammen med måden at beregne PCB_{total}, der ikke er angivet. Men de tilgængelige data tyder på, at situationen i Danmark er ganske sammenlignelig med situationen i Norge.

Af de ruder, der vides at være fra perioden 1965-1974, er der fundet ≥ 50 mg/kg i 80% af ruderne, mens der i ruder fra perioden 1975-1980 er fundet ≥ 50 mg/kg i 10% af ruderne.



Figur 47 *Innsamlede vinduer ved Ruteretur i Norge i perioden 2004-2012 (Ruteretur, 2012a)*

Det anslås, at der i Norge i 2012 var omkring 220.000 PCB-holdige termoruder tilbage med et samlet indhold på 15 tons svarende til omkring 10% af de mængder, der oprindeligt er installeret. Baseret på disse tal kan det estimeres, at hver termorude i gennemsnit indeholder ca. 68 g PCB (og altså er lidt over 1 m²) (Ruteretur, 2012b). En tidligere norsk undersøgelse fra 2004 regnede med, at det gennemsnitlige indhold var omkring 63 g i de PCB-holdige termoruder (Ruteretur, 2004).

Hvis man bruger de norske erfaringstal på 65 g PCB per rude, og et anslået forbrug i Danmark på 86-100 tons, skulle der samlet være taget 1,3-1,5 mio. termoruder med PCB i anvendelse i Danmark. Det anslås i Norge, at forbruget af PCB i isoleringsruder samlet var 140-150 tons; altså lidt højere end det oprindeligt anslåede forbrug i Danmark, men lidt mindre end forbruget anslået i Miljøprojekt Nr. 1084, 2006.

En forskel mellem den danske og norske situation kunne være, at ruderne holder kortere tid i Danmark på grund af det fugtige vintervejr, men der er ingen oplysninger om gennemsnitlige levetid for termoruder i de to lande.

Der er ikke fundet nye opgørelser af mængden af termoruder der årligt bortskaffes i Danmark. I en rapport fra 1997 er det anslået, at der årligt bortskaffes 25.000 tons planglas fra udskiftning af ruder (heraf 23.000 tons fra de udskiftede vinduer) og 2.000 tons fra nedrivninger (Demex, 1997). Heraf regnes 50% at stamme fra to-

lagsvinduer (primært termoruder). De 25.000 tons svarer i følge rapportens beregningsforudsætninger til ca. 1.600.000 m² (15,6 kg/m³ for udtagne vinduer), heraf vil ca. 50% svarende til 800.000 m² glas være i tolagsvinduer. Det svarer til ca. 400.000 m² termoruder.

Hvis der regnes med en tilsvarende mængde i dag, og at 12 % af de bortskaffede termoruder indeholder PCB ≥ 50 mg/kg, svarer det til samlet 48.000 m². Med et PCB-indhold på 37-47 g/m² (sum af forseglingslim og fugebånd) vil den samlede PCB mængde der bortskaffes kunne estimeres til 1,7-2,2 tons/år, og med den usikkerhed der er på dataene vil mængden anslås til 1-3 tons/år. Dette er lidt lavere end de anslåede mængder PCB bortskaffet med termovinduer i Norge, men må med usikkerheder regnes at være i samme størrelsesorden.

De norske tal tyder på, at mængderne der indsamledes i 2012, svarer til ca. 22% af den tilbageværende mængde. Hvis der regnes med det samme i Danmark, kan de tilbageværende mængder i termoruder beregnes til 5-15 tons PCB. Med de usikkerheder, der er i beregningerne, vil mængden anslås at være i intervallet 5-13 tons. De tilgængelige data tyder således på, at de tilbageværende mængder af PCB i Danmark er meget lig situationen i Norge.

7.1.3 Tilbageværende mængder af PCB i lysarmaturer

Som nævnt anslår kortlægningsrapporten fra 1983 på basis af norske erfaringer det samlede akkumulerede forbrug af små PCB-holdige kondensatorer i Danmark i perioden 1950-1980 til 8,5 mio. hvoraf 90% (7,7 mio.), blev anvendt i lysstofarmaturer. Der er i rapporten regnet med, at forbruget da det toppede var på omkring 500.000 stk. om året og regnet med, at forbruget faldt jævnt fra 500.000 stk. /år i 1971 til 0 i 1981. Hvis forbruget var jævnt fordelt over perioden, vil det svare til ca. 255.000 lysstofarmaturer om året. Det samlede PCB forbrug i Danmark med små kondensatorer i perioden 1950-1980 blev i rapporten anslået til 175-325 tons. Der er i overslaget regnet med, at kondensatorerne i gennemsnit indeholdt ca. 30 g PCB.

Resultaterne af denne undersøgelse viser, at omkring 9% af de 516 lysstofarmaturer, der er indleveret til to elektronikskrotvirksomheder (480) eller udtjente armaturer fundet andetsteds (36), indeholdt >100.000 mg/kg PCB i isolatorolie. Disse kondensatorer repræsenterer mere end 99,9% af den samlede mængde med kondensatorer.

I Norge har man anslået, at der i 2008 stadig var omkring 8 tons PCB i lysarmaturer (Technoconsult, 2005). Med lysarmaturer menes lysstofarmatur, lysreklame (neonlys) og kviksølvdamplampearmaturer.

For at få et idé om det historiske forbrug af lysstofarmaturer og en fordeling i perioden 1950-1980 er der til undersøgelsen indhentet nøgletal fra Foreningen af Fabrikanten og Importører af Elektriske Belysningsarmaturer, FABA (2013). I følge branchen kan man som nøgletal regne med, at der er anvendt 1 armatur for hver 6 m² i kontorbyggerier og institutionsbyggerier, mens forbruget har været mindre i andre typer af byggerier. Kontor- og institutionsbyggerier regnes at tegne sig for

den største del af forbruget af lysstofarmaturer. I følge OIS databasen er der i dag samlet 36 mio. m² kontor- og institutionsbyggerier, som er opført i denne periode. Hvis der regnes med 6 m² pr armatur svarer det til 7,0 mio. armaturer. Da der også har været brugt lysstofarmaturer i private hjem, i landbruget og i industri, bliver det samlede antal dog noget højere. Sammenlignet med de 8,5 mio. PCB-kondensatorer nævnt ovenfor, kunne estimerne indikere, at langt hovedparten af kondensatorerne fra perioden har indeholdt PCB, hvilket svarer meget godt til det, som er angivet i litteraturer. Det opførte antal m² steg gennem perioden fra 480.000 m²/år i 1950-1954 til 2,1 mio. m²/år, da byggeriet toppede i perioden 1970-1974. Perioden 1960-1980 tegner sig således for 86% af det samlede antal m² i perioden 1950-1980. Med denne beregning skulle der til kontor- og institutionsbyggerier være installeret omkring 350.000 armaturer om året i perioden 1970-1974, som, når der også tages højde for andre anvendelser, svarer meget godt til ovenstående oplysning om, at der da forbruget toppede blev der anvendt ca. 500.000 PCB-kondensatorer pr. år. Som gennemsnit for perioden 1970-1990, hvorfra hovedparten af det udstyr der bortskaffes i dag stammer, kan der groft regnes med, at der i alt installeredes 300.000-400.000 armaturer pr år.

Hvis der regnes med, at der årligt bortskaffes 300.000-400.000 lysstofarmaturer, og at 9% af disse indeholder PCB >100.000 mg/kg, giver det 27.000-36.000 armaturer. Hvis disse i gennemsnit indeholder 30 g PCB, giver det en samlet mængde på 0,8-1,1 tons PCB.

For at beregne, hvor mange der er tilbage, hvis der i dag bortskaffes omkring 30.000 armaturer med kondensatorer med PCB >100.000 mg/kg, er det nødvendigt, at kende levetidsfordelingen for udstyret og det historiske forbrug.

Fordelingen af det historiske forbrug vil estimeres ved at fordele de 7,6 mio PCB-kondensatorer, der regnes at være anvendt til lysstofarmaturer, ud på perioden 1950-1980 med udgangspunkt i de opførte m² af institutions og kontorbyggeri. Fordelingen af andre typer byggerier er næsten identisk med fordelingen af institutions- og kontorbyggerier, som diskuteret i Fase 2 rapporten til dette projekt. Mængden af opførte m², baseret på udtræk fra OIS databasen, er vist i nedenstående tabel, sammen med de estimerede mængder af lysstofarmaturer.

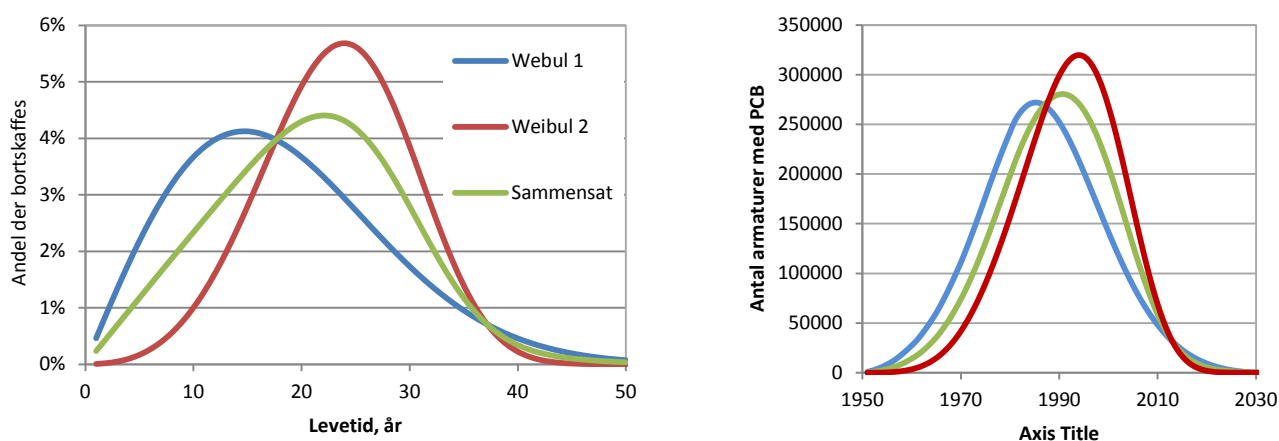
Tabel 72 *Antaget fordeling af PCB-holdige lysstofarmaturer*

	1950-1954	1955-1959	1960-1964	1965-1969	1970-1974	1975-1980
Opført institutions og kontor byggeri, m ²	2.413.210	3.576.401	5.964.049	8.200.142	10.389.863	11.677.568
Armaturer med PCB, stk	485.829	720.003	1.200.685	1.650.857	2.091.692	2.350.934

Der er ikke fundet nogle estimer over faktiske levetidsfordelinger for lysstofarmaturer. For elektroniske komponenter og elektroniske produkter anvendes ofte en såkaldt Weibul fordeling til at beskrive levetidsfordelingen. Fordelingen er defineret af to parametre: α der udtrykker, hvor spids fordelingen er og β , som er afhængig af middellevetiden, men dog ikke helt identisk med middellevetiden. I praksis er det dog ofte ikke kun den tekniske levetid, der bestemmer levetiden af et pro-

dukt, men også en række andre forhold – eksempelvis at man udskifter det af æstetiske årsager. Dette kan modelleres med brug af sammensatte Weibul fordelinger. Der er ikke tale om nogen eksakt model, men et forsøg på at beskrive virkeligheden så godt som muligt. Fordelen ved at bruge Weibul fordelinger er, at man nemt kan ændre på fordelingen, så man finder den bedste fordeling til forklaring af faktiske observationer og nemt kan illustrere spændet af muligheder. Brugen af sådanne sammensatte fordelinger til at estimere affaldsmængder, og en nærmere beskrivelse og diskussion af metoden, kan findes i en rapport fra Miljøstyrelsen fra 2002 (Lassen og Heilemann, 2002).

For at anslå en levetidsfordeling er der taget udgangspunkt i mængderne installeret, og at der i 2013 bortskaffes godt 30.000 PCB-holdige armaturer med indhold over 100.000 mg/kg. I figur 48 er vist to Weibul fordelinger der begge resulterer i godt 30.000 bortskaffede armaturer i 2013 (α ; β): (4; 26,8 og 2; 20,5) samt en fordeling sammensat ligeligt af disse to. Den ene fordeling har en lang hale, men en relativt kort middellevetid (fordeling baseret på æstetiske overvejelser), mens den anden er mere spids omkring en middellevetid på ca. 25 år (mere bestemt af den tekniske levetid af komponenterne). Den sammensatte fordeling kommer nok nærmere virkeligheden.



Figur 48 Levetidsfordelinger og antal bortskaffede armaturer >100.000 mg/kg PCB med brug af den sammensatte levetidsfordeling

Med alle disse 3 levetidsfordelinger kan bortskaffelsen i 2013 beregnes til ca. 32.000 stk. (som er det parametrene er sat efter). Den tilbageblevne mængde, der bortskaffes i perioden 2014-2030, kan så estimeres og vil afhænge af, hvor lang en hale der er på fordelingen. Med de viste fordelinger vil den samlede mængde, der bortskaffes i perioden 2014-2030, være henh. 2,4; 3,1 og 4,7 gange den mængde, der er beregnet at bortskaffes i 2013. Der er eksperimenteret med forskellige sammensætninger af fordelinger, men det er vanskeligt at komme under faktor 2 eller over faktor 5. Hvis der regnes med, at den tilbageblevne mængde kan anslås til 2-5 gange bortskaffelsen i 2013, kan det estimeres, at der vil være 2-6 tons PCB tilbage i kondensatorer i lysstofrør og 2-7 tons PCB, hvis alle lysarmaturer regnes med (groft anslået, at andre armaturer max repræsenterer 1 tons PCB). Dette svarer til 1-3% af den oprindeligt anvendte mængde PCB.

De beregnede tilbageværende mængder svarer meget godt til de norske estimater, hvor det er anslået, at der i 2008 stadig var omkring 8 tons PCB i lysarmaturer. I perioden 2008-2023 vil der efter modelberegningerne i Danmark være bortskaffet en større mængde PCB end den tilbageværende mængde i 2013 og der ville derfor i Danmark i 2008 være en mængde som svarede til eller var lidt større end den estimerede mængde i Norge.

7.1.4 Sekundær og tertiær forekomst af PCB

Som det fremgår af resultaterne i afsnit 3.6.4. er der meget stor variation i, hvor meget af PCB fra en fugemasse, der vil trænge ind i de tilstødende materialer. For mursten (tegl), der støder op til en fuge, beregnes det eksempelvis, at mængden i murstenen varierer fra 0,2 til 16,7% af mængden i fugen.

Den mest omfattende undersøgelse af mængderne af PCB i primær, sekundær og tertiære kilder er gennemført, som led i undersøgelserne i Farum Midtpunkt (Lundsgård et al., 2010). I følge denne opgørelse kunne 82% af PCB'en findes i fugemassen, mens den øvrige del fandtes som sekundær og tertiær forurening. Udtrykt i % af fugemassen, kunne 16% findes i tilstødende materialer, mens 7% fandtes i maling og andre formodet tertiært forurenede materialer (en del af dette kan i princippet være en primær forekomst).

Gunnarsen (2013) har i beregninger af et modelrum beregnet, at 92% af PCB efter 40 år vil befinde sig i primære kilder, mens 6% af den tilbageværende mængde er diffunderet ind i tilstødende materialer, og 2% af den tilbageværende PCB kan findes som tertiær forurening.

Grarup et al. (2011) har på basis af resultater fra et pilotprojekt med sanering af skole i Odense beregnet, at 93% af PCB vil befinde sig i primærkilden, 6% i sekundære kilder og 1% i tertiære kilder.

Det skal her antages, at sekundær og tertiær forekomst vil svare til 8-15% af de mængder der findes i fugematerialer, som er den væsentligste kilde til den sekundære og tertiære forekomst.

7.1.5 Sammenfatning og delkonklusion

De estimerede tilbageværende mængder af PCB i byggematerialer og kondensatorer i lysarmaturer er sammenfattet i tabel 73. Den samlede mængde anslås til 17-87 tons.

Den største mængde anslås at udgøres af fugemasser, med termoruder som den næststørste enkeltkilde.

Mængderne i maling er meget usikkert bestemt, men den samlede mængde er sandsynligvis noget lavere end mængden i fugemasser, selvom maling med PCB kan findes i en større del af alle bygninger. Mængden af PCB i gulvbelægninger er også meget usikkert bestemt, men vurderes under alle omstændigheder at være en af de mindre kilder.

Estimaterne for tilbageværende mængde af PCB i fugemasser, termoruder, kondensatorer i lysarmaturer er i god overensstemmelse med tilsvarende estimater foretaget i Norge. Det estimeres, at der stadig er 5-15 tons PCB i termoruder, og at en væsentlig del af den mængde, der aktuelt bortskaffes formentlig ikke bortskaffes i overensstemmelse med reglerne for farligt affald. Det samme synes at være tilfældet for lysarmaturer med kondensatorer, hvor den tilbageværende mængde anslås til 2-7 tons PCB.

Tabel 73 Tilbageværende mængde af PCB i bygninger i Danmark.

Materiale/udstyr	Tilbageværende mængde PCB i ton	% af samlet
Fugemasser omkring døre og vinduer	7-35	40%
Fugemasser mellem andre bygningselementer	2-15	16%
Maling	0,3-5	5%
Gulvbelægninger	0,1-2	2%
Termoruder	5-15	19%
Kondensatorer i lysarmaturer	2-7	9%
Sekundær og tertiær forekomsts	0,7-7,5	8%
I alt	17-87	

8 Sammenfattende vurdering

8.1 PCB i materialer

Kortlægningens væsentligste resultater kan i punktform sammenfattes som følger:

- › Der er fundet materialer med PCB-koncentrationer på $\geq 0,1\text{mg/kg}$, der gør materialerne destruktionspligtige i forbindelse med affaldshåndtering, i mere end 75% af bygningerne. Dette resultat er konsistent med resultatet af den igangværende kortlægning i Forsvarets bygninger, og data indsamlet fra renoveringer og nedbrydninger publiceret af Miljøstyrelsen i 2012.
- › Maling med PCB forekommer i en større del af bygningerne end forventet. PCB i malingen - selv ved de lave koncentrationer - synes at stamme fra produktionen, idet mere end 50% af de analyserede udendørs malinger indeholdt $\geq 0,1\text{mg/kg}$. Det er vist i kortlægningen, at congenerprofiler af indendørs maling med PCB i intervallet 1-50 mg/kg var markant forskellige afhængig af tilstedeværelsen af en anden PCB kilde i bygninger.
- › Såvel ENS kortlægningen som kommunernes kortlægninger viser, at PCB-holdige fugemasser blev anvendt langt mere hyppigt i perioden 1965-1974 end i de øvrige delperioder. For malinger og gulvmasser er de periodemæssige forskelle mindre markante, hvilket meget vel kan skyldes, at disse materialer er blevet tilført bygningerne en del år efter deres opførelsesår.
- › Der ses en udbredt forekomst af PCB-holdige materialer i én- og tofamiliehuse, men hyppigheden af én- og tofamiliehuse med materialer med højt PCB-indhold er signifikant lavere end hyppigheden i etagebyggeri og offentlige institutioner og kontorer. Der er kun i et af 154 én- og tofamiliehuse fundet indendørs fuger med et meget højt PCB-indhold, som det kendes fra etagebyggeri med PCB i indeluften.
- › Der foreligger meget lidt viden om PCB i private kontorejendomme, og det var meget vanskeligt at finde virksomheder, som ville deltage i kortlægningen. Forekomsten af PCB i de private kontorbyggerier var på samme niveau, som kendes fra offentlige institutioner og kontorer.
- › Skoler er en gruppe af bygninger med en særlig høj hyppighed af fuger med højt PCB-indhold, og hyppigheden af bygninger med PCB-koncentrationer over Sundhedsstyrelsens aktionsniveauer for PCB i indeluft er også markant højere for skolerne end for andre offentlige institutioner. Resultaterne peger på, at skoler fra perioden, som ikke allerede er undersøgt for PCB, bør have en meget høj prioritet.
- › Der sås ikke markante forskelle i resultaterne af ENS kortlægningen og FBE kortlægningen. Der var en væsentlige højere hyppighed af bygninger med ma-

ling i 50-5000 mg/kg intervallet i FBE kortlægningen, men til gengæld var hyppigheden af bygninger med malinger med ≥ 5000 mg/kg i ENS kortlægningen højere. De største forskelle sås mellem bygningskategorierne inden for de enkelte kategorier, således viste FBE kortlægningen en markant lavere forekomst af PCB i belægningsbygninger i forhold til kontor- og opholdsbygninger.

- Der er påvist en udbredt forekomst af PCB i kondensatorer til lysarmaturer, hvor 9% af de undersøgte armaturer indeholdt en kondensatorer med ren PCB. Kondensatorerne indeholder forskellige typer PCB, hvor de to almindeligste typer har et markant anderledes kongenerprofil, end andre primærkilder, der gør, at fingeraftrykket fra nogle af kondensatorerne kan ses i indeluften i en række bygninger. Det er ikke undersøgt om kondensatorerne afgiver PCB'en direkte til indeluft eller om virkningen er kontaminering af materialer i lokalet i forbindelse med lækager af PCB olien.

8.2 PCB indeluft

- I de udvalgte én- og tofamiliehuse og de udvalgte etageejendomme, blev der kun fundet ≥ 300 ng/m³ i én bygning inden for hver af de to bygningstyper, mens der i begge bygningstyper ikke blev fundet bygninger med ≥ 2.000 ng/m³.
- Resultaterne bekræfter de relativt høje forekomster af PCB i indeluft i offentlige bygninger, som er fundet i kommunernes kortlægninger, hvor der er fundet ≥ 300 ng/m³ på 7% af lokaliteterne og ≥ 3.000 ng/m³ på 0,4% af lokaliteterne.
- Resultaterne for indeluft viser samstemmende med resultaterne for materialer, at forekomsten af PCB i de private kontorejendomme er sammenlignelig med forekomsten i de offentlige bygninger.
- Der ses en klar sammenhæng mellem PCB i primære kilder, sekundære og tertiære kilder og i indeluften.
- Ud fra denne sammenhæng er der klare indikationer på, at primærkilderne i mindst 4 af målingerne med ≥ 300 ng/m³ er kondensatorer, fordi kongenermønstret i indeluften og i materialer langt bedre matcher kongenermønstret for kondensatorer end mønstret for andre kendte kilder.
- I Forsvarets bygninger var indholdet af PCB i indeluft over nedre aktionsværdi primært knyttet til høje koncentrationer af PCB i maling.
- Sammenhængen mellem PCB i materialer og PCB i indeluft er relativ svag især for maling og gulvbelægning, og der er fundet flere eksempler på forhøjede koncentrationer i indeluft, selvom PCB-koncentrationen i materialer var relativ lille. Svagheden skyldes delvist, at det er svært at bestemme, om der er tale om primære eller tertiære kilder. Hvis der ønskes viden om PCB i indeluften i den enkelte bygning, er en kortlægningsstrategi, hvor der tages udgangs-

punkt i at analysere materialer, ikke særlig effektiv, da en stor del af bygningerne efterfølgende alligevel skal undersøges for PCB i indeluft, hvis man vil være sikker på at fange alle bygninger med høj forekomst af PCB i indeluft. En sådan strategi ville have fungeret, hvis der alene ses på fugemasser, hvilket var tilfældet for nogle år siden, men den fungerer ikke for maling og gulvbeklægninger og eventuelle bidrag fra kondensatorer.

- › Dette betyder også, at den prøvetagningsstrategi der er valgt i denne undersøgelse, resulterer i en relativ høj usikkerhed vedrørende forekomsten af forholdene værdier af PCB i den enkelte bygning.

8.3 Behov for yderligere viden

Denne kortlægning har omfattet undersøgelser af PCB i én-og tofamiliehuse, etagebyggeri og offentlige kontorer og institutioner. Der mangler viden om omfanget af PCB i industribyggeri, erhvervsbyggeri, lagerbygninger og landbrug.

Der vurderes at være et særligt behov for yderligere undersøgelser af specielt følsomme industribygninger, hvor der opbevares fødevarer, produceres fødevarer eller forædles fødevarer.

Grundet indholdet af PCB i slidstærke malinger vurderes der ligeledes at være behov for at vurdere indeluftpåvirkningen i skibe, off-shore anlæg og andre industri-anlæg, hvor omfanget af malede overflader med PCB kan være stort.

Fra undersøgelsen af PCB i bygningsmaterialer vurderes der at være behov for at gennemføre yderligere undersøgelser af sekundær og tertiær forekomst af PCB i plastikmaterialer i byggemassen. Der er indikation på, at plastik måske er mere tertiært forurenet end andre materialer.

Der er stor variation i indtrængningen af PCB i materialer, der støder op til primærkilder. Det vil være hensigtsmæssigt på grundlag af det samlede datamateriale fra alle undersøgelser at udarbejde nogle retningslinjer for, hvordan man på baggrund af et mindre antal dybdeprofiler kan bestemme, hvor meget af det tilstødende materiale der skal fjernes og bortskaffes selektivt.

Der mangler viden om afdampning fra kondensatorer af PCB til indeluften og i hvilken grad afdampning fra kondensatorer kan give en påvirkning over laveste aktionsniveau i indeluften. Dette er også relevant for bygninger opført i perioden 1977-1986.

Det er ikke klart, om kondensatorernes virkning på indeluften er via materialer, som er kontamineret med PCB, som er lækket fra en kondensator i form af PCB olie, eller om kondensatorerne kontaminerer indeluften direkte ved afgang af PCB under brug. Det forhold, at mindst 12% af tilfældene med $\geq 300 \text{ ng/m}^3$ tilsyneladende skyldes læk fra kondensatorer, uden at bygningsejeren var opmærksom på dette, viser vanskeligheden ved at styre denne kilde til PCB i indeluft.

Undersøgelser udført for kommuner og private bygningsejere tyder på, at termoruder med forseglingslim og fugebånd med indhold af PCB er den eneste primærkilde. Der mangler viden om, hvordan indeluften er påvirket i bygningen eller om afdampningen fra termoruderne til indeluften i virkeligheden er ret begrænset.

Indholdet af PCB fra forseglingslim og eventuelt fugebånd til termoruders ramme og karm kan variere meget. Der vurderes, at være behov for at få mere viden om, i hvor høj grad der kan påvises koncentrationer over eller under 50 mg/kg i termoruders ramme og karm.

Der er i konkrete undersøgelser fundet 2-5 gange højere PCB-koncentrationer i bygninger, hvor der er aktivitet i bygninger under målingerne af PCB i indeluften, sammenlignet med bygninger, hvor der ikke har været aktivitet under målingerne. Der vurderes, at være behov for yderligere dokumentation for, om der generelt på tværs af bygningstyperne kan måles en sådan forskel afhængigt af aktivitetsniveauet i bygningerne.

Der er behov for mere viden om det faktiske luftskifte i anvendelsestiden i de bygninger, som undersøges for PCB i indeluften.

Der er indikation på, at der som følge af luftudveksling er en spredning af PCB i bygninger med flere etager. Det vil sige, at tertiære kilder kan være en betydende kilde i dele af bygningerne, hvor der ikke kan påvises en egentlig kilde. Påvirkningen er muligvis mindre end det nedre aktionsniveau, men der mangler viden om, i hvilken grad påvirkning fra de tertiære kilder kan resultere i en overskridelse af det nedre aktionsniveau.

Indeluftens indhold af PCB varierer væsentligt over tid pga. mange forskellige ydre forhold. Viden om den faktiske variation over tid i forskellige bygningstyper er begrænset, hvilket resulterer i usikkerhed i forhold til, hvordan det præcist skal bestemmes, om de vejledende aktionsniveauer overskrides.

Det vil være meget hensigtsmæssigt at få udviklet billige metoder til passiv opsamling over en længere periode. Herved kan der tages højde for den variation der er i PCB-koncentrationen i indeluft over tid.

9 Forkortelser og akronymer

EBST	Erhvervs- og Byggestyrelsen (nu nedlagt)
ENS	Energistyrelsen
FABA	Foreningen af Fabrikanter og Importører af Elektriske Belysningsarmaturer
FBE	Forsvarets Bygnings- og Etablissementstjeneste
OIS	Den offentlige informationsserver
PCB	Polyclorederede biphenyler
PCB ₇	Sum af de 7 congerene: PCB #28, #52, #101, #118, #138, #153 og #180
PCB _{total}	Estimat for samlet PCB-indhold ved at gange PCB ₇ med 5.

10 Referencer

- Alslev, B.P., K. Kampmann og J.F. Gjødvad. (2013). Rapport over data fra gennemførte renoveringer og nedrivninger af bygninger opført i perioden 1950-1977 med PCB. Opdateret vejledning om frasortering af PCB-holdigt affald. Miljøprojekt nr. 1465. Miljøstyrelsen.
- Andersen, H.V., L. Gunnarsen og K. Kampmann. (2013). Kortlægning af eksisterende viden om indtrængning af PCB fra fuger til beton – en litteraturgennemgang. Miljøprojekt nr. 1464, 2013. Miljøstyrelsen, København.
- Bergsøe, N.C. (1994-1) SBI-rapport 236: Ventilationsforhold i nyere, naturligt ventilerede enfamiliehuse. . Statens Byggeforskningsinstitut.
- Bergsøe, N.C. (1994-2) SBI-rapport 241: Ventilationsforhold i renoverede og ikke-renoverede etageboliger. Statens Byggeforskningsinstitut.
- Bergsøe, N.C. (1991) SBI-rapport 213: Undersøgelse af ventilationsforhold i nyere boliger. Statens Byggeforskningsinstitut.
- Bräuner, E.V., T.V. Rasmussen og L. Gunnarsen (2012). Variation of Residential Radon Levels in New Danish Homes. *Indoor Air*, 23(4):311-317
- Demex (1997). Genanvendelse af planglas. Arbejdsrapport nr. 88, 1997. Miljøstyrelsen.
- DS447:2013. Ventilation i bygninger – mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer. Dansk Standard.
- DS (2012). Boligopgørelsen, 1. jan 2012. Tre ud af ti bor i etagebolig. Nyt fra Danmarks Statistik nr. 335 26 juni 2012.
- FABA (2013). Personlig kommunikation med Direktør Willy Goldby, Foreningen af Fabrikanten og Importører af Elektriske belysningsarmaturer, FABA, August 2013.
- Frederiksen, M., H.W. Meyer, N.E. Ebbenhøj og L. Gunnarsen, (2012). Polychlorinated biphenyls (PCBs) in indoor air originating from sealants in contaminated and uncontaminated apartments within the same housing estate. *Chemosphere* 89: 473–479.
- Grarup, A., S.Q. Hansen, L. Gunnarsen, F.H. Sørensen. (2011) Erfaringer fra pilotprojekt med PCB-sanering på skole i Odense. Møde i PCB netværket, 24. november 2011.
- Gunnarsen, L., J.C., Larsen, P. Mayer og W. Sebastian. (2009). Sundhedsmæssig vurdering af PCB-holdige bygningsfuger. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 1/2009. Miljøstyrelsen.

Gunarsen, L. (2013) Indtrængning af PCB i bygningsdele. Primær, sekundær og tertiær forurening. Møde i PCB netværket d. 16. april 2013.

Hansen, E. (1983). PCB/PCT forurening. En udredning om forbrug, forurening og transportveje for PCB og PCT. CowiConsult for Miljøstyrelsen, upubliceret.

Haven, R. og M. Langeland. (2011). Afhjælpningstiltag ved forhøjede PCB-niveauer i indeklimaet. Grontmij/Carl Bro for Erhvervs- og Byggestyrelsen og Socialministeriet.

Jartun, M., R.T. Ottesen, E. Steinnes og T. Volden. (2009). Painted surfaces – Important sources of polychlorinated biphenyls (PCBs) contamination to the urban and marine environment. *Environmental Pollution* 157 (2009) 295–302.

Jensen, A.A., O. Schleicher, W. Sebastian, N. Trap og F. Zeuthen. (2009). Forundersøgelse om forekomst af PCB i én- og tofamiliehuse. Rapport til Erhvervs- og Byggestyrelsen, Miljøstyrelsen og Arbejdstilsynet. Endelig rapport 16. december 2009.

Kieper, H., Hemminghaus, H-J. (2005). PCB-Untersuchungen in Innenräumen: „Unter-suchungen zur PCB-Belastung der Luft in Innenräumen unter Einschluss der Verbindun-gen, für die toxisch besonders bedeutsame TEQ Werte ermittelt worden sind“ Forschungs-bericht 203 61 218/04. Umwelt bundesamt WaBoLu Nr. 03/05; <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2943.pdf>

Kohler, M., Zennegg, M., Waeber, R. (2002). Coplanar polychlorinated biphenyls (PCB) in indoor air. *Environ Sci Technol* 36: 4735-4740.

Lassen, C. og S. Heilemann (2002). Armeret epoxy- og polyesterplast - forbrug og affaldsmængder. Miljøprojekt Nr. 656. Miljøstyrelsen.

Lundsgaard, C., R. Nielsen og H. Mørck. (2010) PCB i byggematerialer og indeklima i Birkhøjterrasserne, Farum Midtpunkt. SBMI for KAB.

Meyer, H., M. Frederiksen, N. Ebbenhøj, L. Gunnarsen, C. Brauer, B. Kolarik, T. Göen, J. Müller og P. Jacobsen. (2012). PCB eksponering i Farum Midtpunkt - måling i boliger og i blod. Sundhedsstyrelsen.

Miljøstyrelsen (2011). Vejledende udtalelse fra Miljøstyrelsen Jord og Affald, nr. 1/2011. Den 21. januar 2011.

Ruteretur (2004). Kartlegging PCB-holdige vinduer – oprinnelige og gjenværende mengder. Ruteretur AS, Oslo.

Ruteretur (2012a). Årsrapport for 2012. Ruteretur AS, Oslo.

Ruteretur (2012b). Ruteretur i dag og veien videre. Rutereturs 10-årsjubileum. Oslo, 9. oktober 2012

SBI (2013). Undersøgelse og vurdering af PCB i bygninger. SBI-anvisning 241, 2013. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

Takasuga, T., K. Senthilkumar, T. Matsumura, K. Shiozaki og S.I. Sakai. (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.

Tehnoconsult (2005). Identifisering av PCB i norske bygg. Techno Consult og Demex for Nasjonal handlingsplan for bygg- og anleggsavfall.

Trap, N., E.K. Lauritzen, T. Rydahl, C. Egebart, H. Krogh, B. Malmgrén-Hansen, P. Høeg, J.B. Jakobsen, C. Lassen. (2006). Problematiske stoffer i bygge- og anlægsaffald - kortlægning, prognose og bortskaffelsesmuligheder. Miljøprojekt Nr. 1084, Miljøstyrelsen

Guo, Z., X. Liu, K.A. Krebs, N.F. Roache, R.A. Stinson, J.A. Nardin, R. Pope, C.A. Mocka, and R.D. Logan. (2011). Laboratory study of polychlorinated biphenyl (PCB) contamination and mitigation in buildings. Part 1. Emissions from selected primary sources. U.S. Environmental Protection Agency.

Velfærdsministeriet (2009). Udvikling af landsbyer. En værktøjskasse. COWI A/S for Velfærdsministeriet.

<http://www.docstoc.com/docs/107472315/BRAND-NAME> (liste over kondensatorer med PCB)

Bilag 1 Prøvetagnings- og analysemetoder

Der er til prøvetagningen udarbejdet en detaljeret prøvetagningsinstruks. Følgende beskriver kort proceduren.

Bygningsgennemgang Indledningsvist udføres der en bygningsgennemgang, hvor potentielle PCB-kilder lokaliseres. Oplysninger om bygning og kilder registreres i et iPad-baseret database system, som er udviklet til opgaven. Systemet er opbygget på en måde så prøvetageren guides igennem bygningsgennemgangen, og det sikres at de bygningsmæssige forhold registreres på en ensartet måde.

Som led i gennemgangen tages der fotos af bygningen. Der foretages indplacering af målepunkterne på en situationsplan/oversigtsplan.

Bygningsgennemgangen foretages både udvendigt og indvendigt og på samtlige etager. Hvis anvendelsen af bygningen gør, at der ikke kan opnås adgang til enkelte lokaler accepteres og noteres dette.

Efter bygningsgennemgangen planlægges prøvetagningen således, at der udtages prøver af samtlige potentielle PCB-kilder i hver bygning.

Hvis der på en lokalitet konstateres 2 identiske bygninger (opførelsesår, størrelse, indretning, renoveringstilstand, anvendelse m.v.) udtages der kun prøver i en af disse bygninger.

Udtagning af materiale prøver

Prøvetagningen udføres så skånsomt for bygningerne som muligt, dog stadig således at den ønskede prøvemængde og -type opnås. Prøvetagningen foretages så vidt muligt på steder, der er så lidt synlige som muligt. For at opnå entydige analyseresultater anvendes udelukkende enkeltprøver ved udtagelse af materialeprøver. Der anvendes altså ikke blandeprøver.

Ved udtagningen af materialeprøver blev der for at undgå krydskontaminering af prøverne anvendt engangshandsker som udskiftedes efter hver prøvetagning. Prøvetagning blev foretaget på følgende måde:

Fugemasse: Prøvetagning af fugemasse foretoges med engangs-hobbykniv, fugen løsnedes med skruetrækker eller der blev anvendt en multicutter. Værktøj, som ikke er engangsværktøj, blev rengjort efter hver prøvetagning, af hensyn til risikoen for krydskontaminering

Maling: Prøvetagning af maling foretoges med malingsskraber eller ved brug af multicutter. Rengøring blev foretaget mellem hver prøvetagning. Prøvetagningen udførtes et sted, hvor den manglende maling var så lidt synligt som muligt, f.eks. bag en dør eller under et skab.

Gulvmasse: Prøvetagning af gulvmasse foretoges med hobbykniv, multicutter, mejsel eller skruetrækker anvendt som mejsel alt efter materiales beskaffenhed. Rengøring blev foretaget mellem hver prøvetagning. Prøvetagningen udførtes et sted, hvor den manglende gulvmasse er så lidt synligt som muligt.

Ved udtagning af materialeprøverne dokumenteres prøvetagningen ved udfyldelse af et feltjournal-skema i iPad-systemet, ved fotos af prøvetagningsstedet og ved placering af målepunkt på oversigtsplan/situationsplan.

Alle prøvetagningssteder indmåles i felten i forbindelse med prøvetagningen og angives entydigt på tegning med afstandsmål til minimum to væge samt højde over gulv.

Der er som udgangspunkt udtaget 2 prøver af hver mulig PCB-kilde. Hvis der eksempelvis findes én type udvendig vinduesfuge og én anden type indvendig elementfuge i en bygning blev der således udtaget 2 prøver af hver fugetype. 4 prøver i alt. Det samme gælder maling og gulvmasser. De to prøver af samme kilde blev udtaget på to forskellige steder i bygningen, f.eks. fra nord- og sydvendt facade.

Der er regnet med følgende gennemsnitlige antal prøver pr. bygning:

- › Fuger: 8 prøver pr. bygning
- › Gulvmasser/-belægninger: 2-3 prøver pr. bygning
- › Maling: 2-3 prøver pr. bygning

Udtagne prøver blev emballeret i emballage udleveret af Højvang Miljølaboratorium og opbevaret på køl i lystætte køletasker. Prøverne blev nummereret entydigt med label svarende til prøvenummer genereret i iPad-systemet. Køletaskerne blev afhentet af analyselaboratoriet og anvendes til transport af prøver fra prøvetagningsstedet efter analyselaboratoriets afhentning.

Indsamlede prøver blev dagligt sendt til laboratoriet og opbevaringstiden i felten var derfor under 24 timer.

Udtagning af indeluft prøver

Der anvendtes en pumpe af mærket Højvang med type 24 V membranpumpe, som er dokumenteret stabil ved langtidsdrift til udtagning af indeluftprøver. Luftprøven opsamledes på OVS-XAD-2 opsamlingsrør. Laboratoriet anbefalede opsamling mellem 2-3 l/min, svarende til producentens anbefalede opsamlingsflow for opsamlingsrøret.



Laboratoriet anbefalede for anvendelse af denne type XAD 2 et opsamlingsflow på 2,5 l/min.

Under prøvetagningen opsamledes minimum 500 l luft, hvilket svarer til en opsamlingsetid på minimum 250 min.

De OVS-opsamlingsrør, som blev anvendt, indeholder både XAD-2 materiale og PUF-materiale (polyurethanskum) samt et kvartsfilter til opsamling af større partikler og aerosoler.

Analysesektionen, som laboratoriet analyserer, indeholder bidraget fra kvartsfilteret, 1. lag XAD-2 og 1. lag PUF.

Kontrolsektionen består af 2 lag XAD-2 og 2. lag PUF. Det betyder, at analysemetoden er egnet til både lavt-chlorerede PCB congenere og højt-chlorerede.

Luftprøven blev udtaget 1,2-1,5 m over gulv og minimum 0,6 m fra vægge og møbler.

I rum med mekanisk ventilation udtoges luftprøven i bedst mulig afstand fra udsugning og indblæsning.

I rum med udeluftventiler, hvor luften tilføres udefra til rummet (når rummet ligger i bygningens luvside eller rummet undertrykventileres) opsamles luftprøven bagerst eller ca. 2/3 inde i rummet. Strømmer luften fra rummet til udeluften opsamles prøven ca. 1/3 inde i rummet fra ydervæggen.

Temperatur og luftfugtighed	Opsamlingen af temperatur- og fugtdata foretoges med instrumentet af typen Tinytag Ultra 2 - TGU4500, der registrerer temperaturen og den relativ fugtighed med en nøjagtighed på mindre end henholdsvis $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ og $\pm 3\%$ RH. Instrumenterne var forhåndsprogrammeret til at logge hvert 5. minut og tappedes efterfølgende efter hver måledag Instrumenterne placeredes tæt ved pumpen og i samme højde som pumpen til indeluftmålingen.
Supplerende prøvetagning af bygningsmaterialer ved indeluftmålinger	Hvis bygningen var en blandt de 12 udvalgte bygninger af i alt 67 bygninger, hvor der blev udført indeluftmålinger, blev der udført supplerende prøvetagning af bygningsmaterialer. Prøvetagningen af bygningsmaterialer foretoges først efter indeluftmålingerne i rum A og rum B var udført, for ikke at skabe en pludselig forhøjelse af indholdet af PCB i indeluften. Der indsamledes en luftprøve, hvor der tidligere var udtaget bygningsmaterialer af primærkilden, og hvor der var påvist en sandsynlig primærkilde. Der udtoges yderligere 4 prøver af materialer. Henholdsvis to prøver af tilstødende materialer mellem 0 og 30 cm fra kilden, og to prøver af forventede tertiært forurenede overflader mellem 30 og 50 cm fra kilden.
Differenstryk	Der udførtes logning af differenstrykket 1 til 2 steder i hvert målerum, og differenstrykket loggedes i hele tidsrummet for opsamlingen af indeluft hvert 5 minut. Der blev anvendt et instrument af typen af typen GMH3151 med en sensor af typen GMSD2,5MR til at måle differenstrykket over/under gulv, hvis prøvetagningen foretoges i et rum, der ligger direkte på jorden. Med baggrund i bygningstegninger for bygningen blev det vurderet, om der er hulrum mellem yder- og indervægge i bygningen. Hulmuren i en væg i prøvetagningsrummet anvendtes ligeledes til opsætning af en differenstrykmåling. Differenstrykket inde og i hulrummet blev målt.
Luftskiftemåling	Luftskiftemålingen udførtes som henfaldsmåling med en kendt homogen sporgas, som ikke i forvejen fandtes i rummet. Sporgassen var af typen $100\% \text{H}_2$ 5%. Gassen dosseredes momentant i små mængder foran en ventilator med fod, der opblandede gassen i rummet. Gaskoncentrationen fulgtes og loggedes tæt ved det målepunkt, hvor opsamling af indeluftprøven udførtes. Når gaskoncentrationen var homogent fordelt i hele rummet og koncentrationsniveauet i indeluft var vokset til et passende højt niveau, stoppes tilførsel af gas og gassen opblandes med ventilatoren indtil den er fuldt opblandet i rummet. Dette varede ca. 5-10 min. afhængig af rummets størrelse. Derefter stoppedes ventilatoren. Der opsattes en gasdetektor, som tilsluttedes en timer. Prøvetageren forlod rummet og gasdetektoren påbegyndte logning efter en tidsforsinkelse på ca. 10 min efter rummet var forladt. Selve luftskiftemålingen havde varighed på mellem 2,5 til 4 timer afhængig af det fakti-

ske luftskifte i rummet. For at sikre at henfaldet var tilstrækkeligt stort gennemførtes en estimerende beregning af rummets volumen. Som beregningsgrundlag anvendes et gennemsnitlig luftskifte på ca. 0,35 gange pr. time. Logningen af gaskoncentrationen afsluttedes samtidigt med nedtagning af udstyr til indeluftmålingen.

På baggrund af det registrerede henfald af gaskoncentrationen kunne rummets luftskifte beregnes. Luftskiftet udgøres af den luft, som tilføres udefra og fra tilstødende rum og evt. under- og overliggende rum. Luftskiftet beregnes som hældning på det forventede logaritmiske henfald af gassen pr. tidsenhed.

Loggeren var af typen Dräger X-am 5000 og de anvendte ventilatorer var af typen Genopladelig ventilator TL2201A .

Måling af mekanisk ventilation

I målerum **med mekanisk ventilation** udførtes måling af den indblæste og udsugede volumenstrøm over armaturer med instrumenter af tragt og varmetrådsanemometer. Målingen foregik med lukkede døre og vinduer, og ca. 2 min efter at døren til rummet er blevet lukket for derved at stabilisere trykforholdene i forhold til udeklima og naborum.



Foto 1 Udsugningstype til mekanisk ventilation

Udeluftventiler kan også anvendes som udsugningsventiler til mekanisk udsugning, jf. Foto 1. Ved mekanisk udsugning er aftrækket så stort, at det som regel kan høres eller ses ved meget kraftig opsivning af luft.

Udsugningen over emhætte i køkkener måltes med vingehjulsanemometer i et antal punkter, hvor hvert målepunkt dækkede et kvadrat med en side på ca. 7-9 cm af udsugningsristens overflade. Hvis en tragt kunne dække udsugningsristens areal måltes med tragt og varmetrådsanemometer, som ved øvrige indblæsnings- og udsugningsarmaturer.

Der blev taget forbehold for følgende indstilling af den mekaniske ventilation i boliger under indeluftmålingen:

- › en emhætte skal *ikke* være indstillet til forceret drift som under madlavning

- › udsugningsventilator i toilet- eller baderum skal *ikke* være i drift som under badning eller øvrig brug af rummet og styret af fugtsensor, lyskontakt eller som on/off kontakt.

Måling af naturlig ventilation over udeluftventiler

Hvis rummet indeholdt en udeluftventil måltes volumenstrømmen igennem åbningen med tragt og varmetrådsanemometer, idet det samtidig blev noteret om luften førtes til eller fra målerummet. Udeluftventilens indstilling ændredes ikke før og under forsøget, se billede nedenfor.



Foto 2 Naturlig ventilation

Bestod ventilen af en skydeventil f.eks. af en spalte lige bag radiatoren og målingen ikke kunne udføres indefra, måltes om muligt udefra med tragt eller vingehjul-sanemometer. Hvis målingen ikke kunne udføres lukkedes ventilen.

Målingen foregik med lukkede døre og vinduer, og ca. 3-5 min efter at døren til rummet var blevet lukket for derved at stabilisere trykforholdene i forhold til udeklima og naborum.

Ved alle målinger registreredes det med røg om luften gennem ventilen førtes til rummet udefra eller førtes fra rummet og ud.

Måling af mekanisk ventilation i institutioner og kontorer

I institutioner, kontorer m.m. som ikke anvendes som bolig, med mekanisk ventilation, udførte firmaet Bravida målingerne af den mekaniske ventilation.

Der er udført målinger af den mekaniske ventilation i 8 bygninger, hvor der blev lokaliseret større mekaniske ventilationsanlæg.

I målerum med mekanisk ventilation udførtes måling af den indblæste og udsugede volumenstrøm over armaturer med instrumenter af type Accubalance eller Wallac tragt og varmetrådsanemometer.

Hvor der både var mekanisk indblæsning og udsugning inspiceredes ventilationsaggregatet for, om det indeholdt recirkulation eller roterende varmeveksler.

Ventilationssystems effektivitet

Den målte mekaniske ventilation korrigeredes for dets effektivitet til at fjerne forureninger nede i opholdszonen. Er indblæsningstemperaturen eksempelvis højere end rumluftens temperatur udnyttes oftest en mindre del af ventilationsluften, og det lokale luftskifte i opholdszonen er tilsvarende mindre.

Ventilationssystemets effektivitet findes ved at måle indblæsnings- og udsugnings- samt indelufttemperaturen, hvoraf korrektionsfaktoren kan findes efter EU-norm CEN 1752 til det pågældende ventilationsprincip.

Måling af naturlig ventilation over udeluftventiler	Indeholdt rummet en udeluftventil måles volumenstrømmen igennem ventilen med Wallac tragt og varmetrådsanemometer, idet det samtidig angives om luften føres til eller fra målerummet.
---	--

Opmåling af primærkilder, som indeholder PCB	Efter prøvetagningen var foretaget blev alle primære kilder, som kan give anledning til PCB i indeluften, opmålt så overfladeareal og volumen af alle primær kilde materialerne kunne beregnes.
--	---

Analyse, materialeprøver	Analyser af PCB i materialeprøver er udført af Højvang Miljølaboratorium. Materialerne er analyseret i overensstemmelse med referencemetoden DS/EN 15308:2008 (karakterisering af affald), og der er ekstraheret med en blanding af acetone/hexan. Analysemetoden følger laboratoriets akkrediterede interne metoder: HM 44 til bestemmelse af PCB i fugemasse, HM44.1 til bestemmelse af PCB i jord og andre faste materialer.
--------------------------	---

Der er analyseret for følgende syv congenere, som samlet betegnes PCB₇: PCB#28, #52, #101, #118, #138, #153 og #180. Usikkerheden på den kemiske analyse af materialeprøverne er 0,02 mg/kg TS (tørstof). Detektionsgrænsen for de enkelte analyserede congenere er 0,003-0,02 mg/kg TS.

I overensstemmelse med Miljøstyrelsens anvisninger i relation til PCB i affald er PCB_{total} beregnet som summen af de 7 analyserede congenere ganget med en korrektionsfaktor på 5:

$$\text{PCB}_{\text{total}} = 5 * \text{PCB}_7$$

Analyse, indeluftprøver	Analyser af PCB i materialeprøver er ligeledes udført af Højvang Miljølaboratorium.
-------------------------	---

Bilag 2 Ventilation og luftskifte

1.1 Luftskiftemåling

Luftskiftemålingen udføres som henfaldsmåling med en kendt homogen sporgas, som ikke i forvejen findes i rummet. Sporgassen er af typen H_2 . Til registrering af gassen er anvendt logger af typen Dräger X-am 5000 med et måleområde til 0-2.000 ppm og med en opløselighed på 20 ppm.

Gassen er dosseret momentant i små mængder foran to ventilator, der sammen med tredje ventilator har opblandet gassen i rummet. Gaskoncentrationen er opsamlet helt tæt ved målepunktet for, hvor opsamling af PCB er udført af indeluften. Gasdosseringen er lukket helt ved 1.500 ppm, mens logning af den faldende gaskoncentrationen er fortsat under hele prøvetagningen af PCB i mellem typisk 4 og 6 timer.

De loggede data af brinten er for hver luftskiftemåling afbildet på en logaritmisk skala, hvor data udgøres af en ret linje. Ved opblandingen start er der typisk pågået 30-40 min før opblandingen har været fuldstændig i forhold til at gassen har skullet sivet ind i døde luftrum i skabe, sprækker o. lign. og indstillet sig i ligevægt. Fra dette punkt og til lavest registrerede gaskoncentration beregnes luftskiftet. Den laveste valgte koncentration er sat til ikke at være under 250 ppm, da baggrundskoncentrationen for brint er 50 ppm og loggerens nøjagtighed er nedsat i det nedre registreringsområde ved under 75-100 ppm.

Luftskiftet er beregnet ved de to punkter og udtrykket:

$$N = \frac{1}{t_2 - t_1} * \text{Log}_e \left(\frac{C_2 - 50}{C_1 - 50} \right)$$

N = luftskiftet per time

t_1 = tiden i timer med decimaler ved startpunktet

t_2 = tiden i timer med decimaler ved slutpunktet

C_1 = Koncentrationen i ppm ved start

C_2 = Koncentrationen i ppm ved slut

50 = Baggrundskoncentrationen i ppm for brint

1.2 Måling af rum med mekanisk ventilation i boliger

I målerum **med mekanisk ventilation** er udført måling af den indblæste og udsugede volumenstrøm over armaturer med tragt og varmetrådsanemometer. Målingen er udført med lukkede døre og vinduer, og ca. 3-5 min efter at døren til rummet er blevet lukket for derved at stabilisere trykforholdene mellem udeklima og naborum.

Udsugningen over emhætte i køkkener måles med vingehjulsanemometer i et antal punkter, hvor hvert målepunkt dækker et kvadrat med side på ca. 7-9 cm på udsugningsristens overflade. Hvis en tragt har dækket er udsugningsristen areal målt med

tragt og varmetrådsanemometer, som ved øvrige indblæsnings- og udsugningsarmaturer.

1.3 Måling af mekanisk ventilation i institutioner og kontorer

Indeholder institutioner, kontorer m.m. mekanisk ventilation, som ikke er som bolig, er den mekaniske ventilation målt på dets indblæsning og udsugning.

Målingen er udført på en anden dag end selve prøvetagningen af PCB.

a) Ventilationssystemets effektivitet

Den målte mekaniske ventilation er korrigeret for dets effektivitet til at fjerne forureninger nede i opholdszonen. Er indblæsningstemperaturen eksempelvis højere end rumluftens temperatur udnyttes oftest en mindre del af ventilationsluften, og det lokale luftskifte i opholdszonen tilsvarende mindre.

Ventilationssystemets effektivitet er fundet ved at måle indblæsnings- og udsugnings- samt indeluftstemperaturen, hvoraf korrektionsfaktoren kan findes efter EU-norm CEN 1752 til det pågældende ventilationsprincip. Indblæsnings og udsugningstemperaturen er målt ved indtræden i lokalet ved målingernes start, hvor måleudstyret sættes op, og ved indtræden i rummet ved målingernes afslutning, hvor måleudstyret er taget ned. Målingen af indblæsningstemperaturen er sket ved varmetrædstermometer eller med IR-strålingstermometeret.

1.4 Måling af naturlig ventilation over udeluftventiler

Indeholder rummet en udeluftventil er volumenstrømmen målt igennem åbningen med tragt og varmetrådsanemometer, idet det samtidig er angivet, om luften føres til eller fra målerummet. Udeluftventilens indstilling er ikke ændret ikke før og under forsøget.

Bestod en udeluftventil af f.eks. af en åbning lige over eller bag radiatoren og målingen ikke kunne udføres indefra, er der målt udefra med tragt eller vingehjulsanemometer.

Indeholdt vinduet en luftventil i vinduesrammen, kan der ikke måles over denne og ventilen er lukket før målingen.

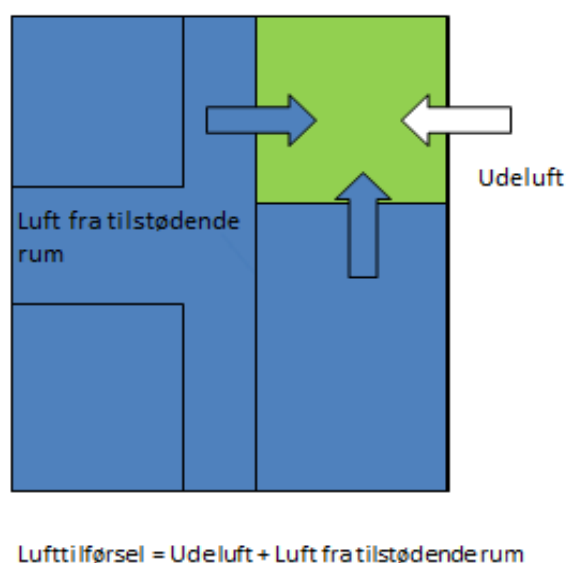
Målingen er sket med lukkede døre og vinduer, og ca. 5 min efter, at døren til rummet er blevet lukket for derved at stabilisere trykforholdene mellem udeklima og naborum.

Ved alle målinger er det registreret det med røg om luften gennem ventilen føres til rummet udefra eller føres fra rummet og ud.

1.5 Luftsifte ved henfaldsmåling af sporgas

Bestemmelse af luftskiftet som henfaldsmåling med sporgas giver oplysning om den samlede lufttilførsel til rummet, dvs. udefra og fra tilstødende rum og eventuelle oven- og underliggende rum, se figur B2-1.

Udeluften anses for at være PCB-fri, mens lufttilførslen fra omkringliggende rum kan indeholde PCB, som tilføres rummet ved givne forskellige trykforhold på bygningen. Lufttilførslen udefra og fra omgivende rum er bestemt af vindforhold, temperaturdifferensen mellem ude- og indetemperaturer, utætheder i væg- og dækkonstruktioner, vindues- og døråbninger i øvrige rum og eventuel tilstedeværelse af mekanisk ventilation og udeluftventiler i rummet og omgivende rum.



Figur B2-1. Målt lufttilførsel ved sporgasmåling.

Resultatet af målinger i de tre bygningskategorier er vist i tabel B2-1.

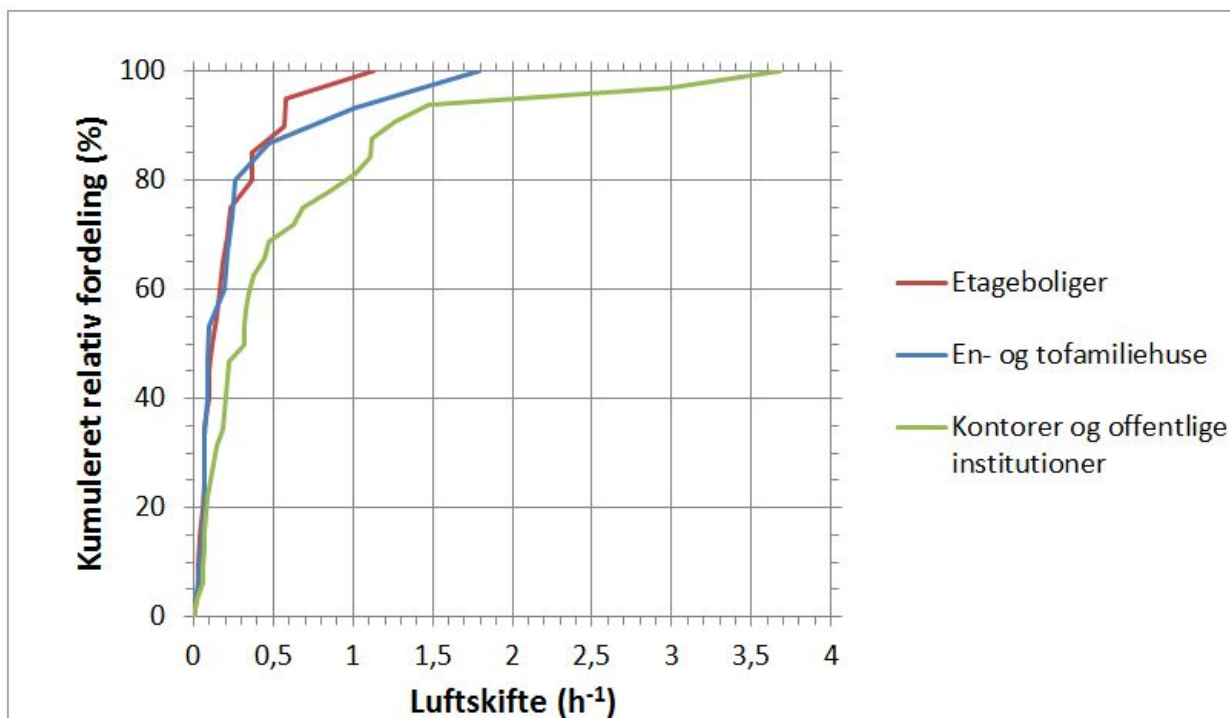
Tabel B2-1. Middel-, minimums- og maksimumsværdier mm. for de målte luftskifter.

Bygningstype	Antal (stk.)	Middel (h^{-1})	Median (h^{-1})	Min. (h^{-1})	Maks. (h^{-1})
Én- og tofamiliehuse	15	0,32	0,10	0,029	1,79
Etagebyggeri	20	0,23	0,13	0,032	1,13
Kontorer og offentlige institutioner	32	0,60	0,32	0,016	3,68

For alle bygningskategorier ses, at mange rum under målingen har haft et markant lille luftskifte, idet medianværdien for én- og tofamiliehuse, etageejendommene og for kontorer og offentlige institutioner er henholdsvis $0,10 \text{ h}^{-1}$, $0,23 \text{ h}^{-1}$ og $0,32 \text{ h}^{-1}$.

At middelværdien er forholdsvis højere end medianværdien i én- og to familiehuse, skyldes, at enkelte få luftskifter er forholdsvis høje. F.eks. har et enkelt målerum i én- og to familiehuse et luftskifte på $1,79 \text{ h}^{-1}$. Dette udgøres af en garage, som ikke henhører som almindeligt rum i boligen. Ved et andet rum i samme bygningskategori er luftskiftet på $0,47 \text{ h}^{-1}$ behæftet med en større usikkerhed. Udelades de to luftskifter, er middelværdien for én- og to-familiehusene $0,19 \text{ h}^{-1}$.

Den kumulative relative fordeling af målerummene er vist på figur B2-2.



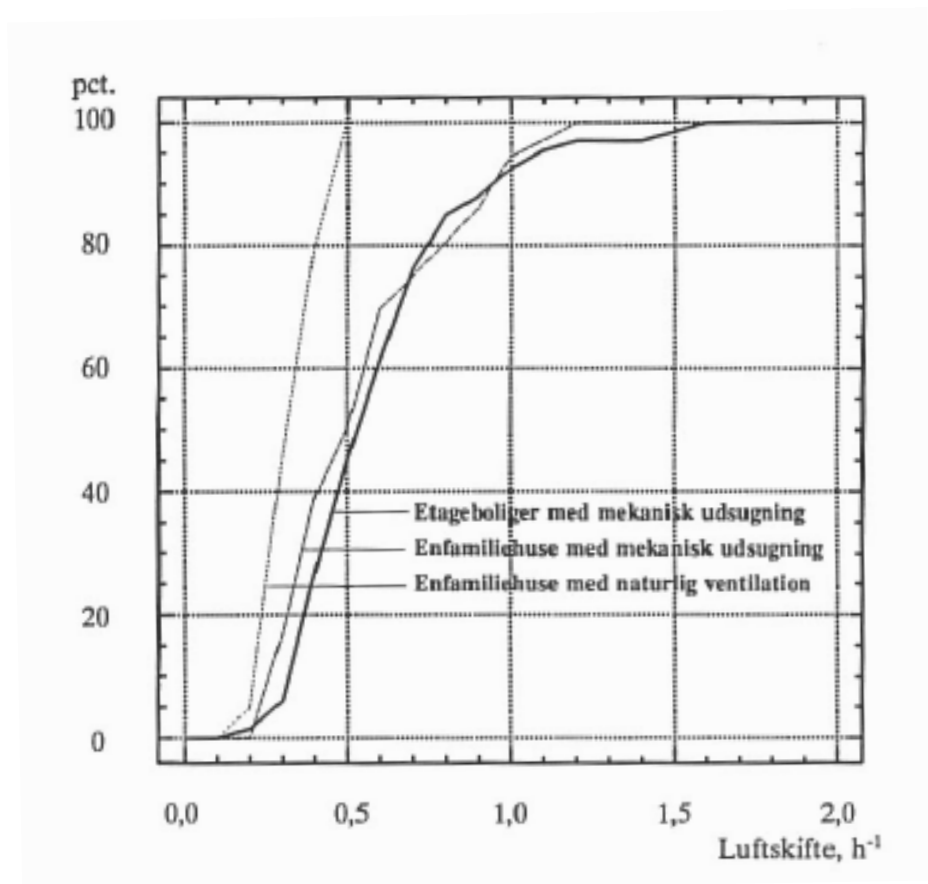
Figur B2- 2. Kumuleret, relativ fordeling af luftskifterne i de tre bygningskategorier.

Den viser, at ca. 40 % af samtlige målerum i boligerne er målt ved et luftskifte på under $0,10 \text{ h}^{-1}$, og ca. 60 % af målerummene har et luftskifte på under $0,20 \text{ h}^{-1}$. I forhold til Bygningsreglementets krav om et mindste grundudeluftskifte på $0,5 \text{ h}^{-1}$ er målingerne af PCB udført under forholdsvis lave luftskifter. Kun ca. 10 % af målerummene opfylder dette krav på måletidspunktet. En andel af den målte lufttilførsel vil tillige være tilført fra rum gennem vægge eller gennem dækket og kan ikke betegnes som udeluft, så udeluftskiftet er mindre end det luftskifte, som figur B2-2 angiver, jf. figur B2-1.

Det lave målte luftskifte i boligerne skyldes delvist, at det er valgt at have døren og vinduer til målerummet lukket under målingerne for at kunne kontrollere luftskiftene i de rum, hvor PCB-materiale- og -luftprøverne blev udtaget. Var dørene åbne, skulle luftskiftet måles i hele boligen, og sammenhænge mellem PCB-indholdet i luften og i materialerne kunne ikke stedfæstes til et enkelt rum. Det kan dog ikke udelukkes, at nogle af de fundne lave luftskifter vil udgøre luftskifterne i de pågældende rum ved boligens normale anvendelse, f.eks. hvis døren og vinduerne til rummet oftest er lukket.

Et andet forhold, der gør, at nogle af luftskifterne er lave, skyldes, at målingerne blev udført i senforåret og typisk i dagtimerne, hvor temperaturdifferensen mellem inde og ude har været lav.

Samtidigt er luftskiftemålinger udført, hvor boligen ikke har været i brug, dvs. åbninger af vinduer og døre og anvendelse af forceret udsugning i emhætte og baderum mv. har ikke fundet sted. Beboernes anvendelse af boligen vil hæve luftskiftet i boligen. Der er tidligere udført en undersøgelse af udeluftskiftet til boliger under normal brugeradfærd /1/, se figur B2-3, hvor det samlede luftskifte i boligen er fundet over 1-2 uger. Luftskiftet er generelt højere, dog er etageejendommene og enfamiliehusene opført efter henholdsvis 1982 og 1985. De er således opført efter perioden, hvor PCB indgik i byggematerialerne, og hvor kravene til ventilationen er skærpet, bl.a. ved at der i hver boligenhed skal være mulighed for et samlet udeluftskifte på mindst $0,5 \text{ h}^{-1}$.



Figur B2-3. Kumuleret, relativ fordeling af udeluftskiftet i etageejendomme og enfamiliehuse.

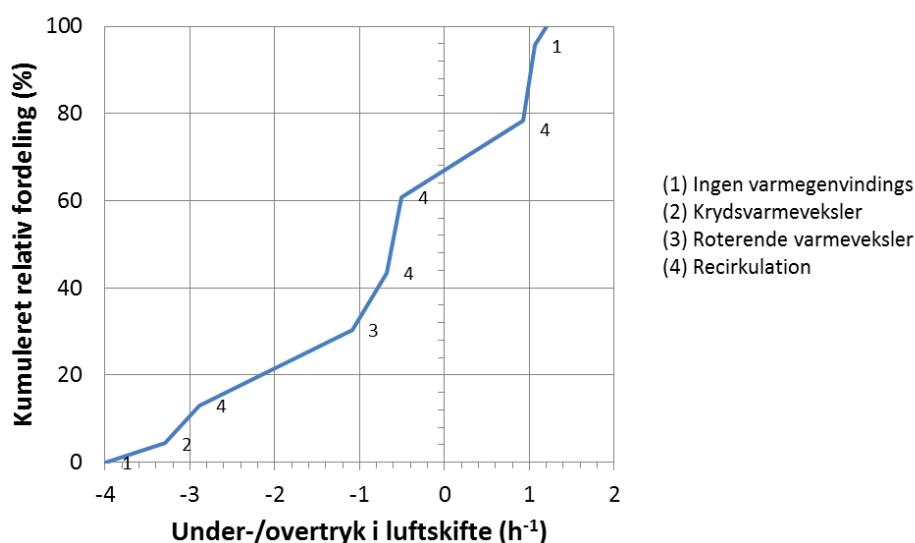
1.6 Målerum ventileret med mekanisk ventilation

Mange etageboliger var ventileret med fælles udsugningsanlæg i køkkenrum og bade- og toiletrum, hvor udeluften blev suget ind i boligen gennem udeluftventiler.

I bygningskategorien: "Kontorer og de offentlige institutioner og skoler" havde 9 af 32 rum fra figur B2-2 installeret mekanisk ventilation. Heraf er der målt på 8 rum på de indblæste og udsugede volumenstrømme. Målingerne er udført med lukkede vinduer og døre, og efter at under- eller overtrykket fra ventilationen har stabiliseret sig. På figur B2-4 er de målte differenser mellem indblæst og udsuget volumenstrøm - angivet som luftskifte - vist, idet et negativt luftskifte angiver, at rummet ventileres med det viste undertryk, og et positiv luftskifte med viste overtryk. Tillige er det for hvert sted angivet, hvordan den udsugede luft behandles i ventilationsaggregatet, for at kunne vurdere, om luften og forureningerne eventuelt returneres til indblæsningsluften.

Tabel B2-2 Målt indblæsning og udsugning fra 8 mekaniske anlæg i undersøgelserne.

Lokalitet	Indblæsning Gr	Udsugning Gr	Rum Gr	Indblæsning Luftmængde	Udsugnings Luftmængde	Genvindings type	Genvindings benyttelse	Recirkulation
Institution	23	23,4	23,1	1* 56	1* 89	Kryds	35%	Nej
				2* 65	2* 103			
Skole	23	27,5	26,5	1* 101	1* 622,5	Rotor	0%	nej
				2* 199,3				
Skole	23,4	24,9	24,5	1* 106	1* 70,2	Ingen	-----	Ja
				2* 123,2	2* 56,1			
Skole	25,1	27	26,5	1* 205,4	1* 130,2	Ingen	-----	Nej
				2* 219,5	2* 133,4			
Skole	25,5	25,3	26	1* 185	1* 93,9	Ingen	100	ja
Skole	Ingen indblæsning	27,4	26,6		1* 108,5	Ingen	-----	-----
					2* 116,2			
					3* 96			
					4* 92,7			
Privat kontorbyggeri	Bygning åben uden facade, Måling annulleret i flg. mail d.7/8-2013 kl 9,32							
Privat kontorbyggeri	19,7	22,2	22,1	1 * 108,4	1 * 59,8	Ingen	0	ja
					2 * 0,0			
					3 * 68,2			
Institution	22,2	22,5	22,4	1 * 42,8	1 * 79	ja, men ukendt type	?	ja
Institution	22,3	22,6	21,5	1 * 57,7	1 * 97,8	ja, men ukendt type	?	ja



Figur B2-4 Differens mellem indblæst og udsuget volumenstrøm omregnet til luftskifte for hver af målerummene.

Figuren viser, at der for nogle ventilationsanlæg er stor forskel på den indblæste- og udsugede volumenstrøm angivet ved rummenes luftskifte. Ved undertryk suges luft og eventuelle PCB-forureninger fra hosliggende rum eller materialer ind til rumluften, og ved overtryk presses de delvist ud til hosliggende rum.

På fire ud af de otte ventilationsanlæg findes recirkulation, hvor PCB fra udsugningsluften fra målerummet og fra eventuelt øvrige rum, der er koblet på anlægget, kan returneres til målerummet.

Det er i et Ph.D.-projekt /2/ fundet, at forureninger overføres via den roterende varmeveksler fra udsugningsluften til indblæsningsluften. Dvs. at rum, som ventileres af ventilationsanlæg med roterende varmeveksler, kan formentligt overføre mindre mængder af PCB til indblæsningsluften. Krydsvarmeveksler har afhængig af alderen og kvaliteten kun meget lille eller ingen overførsel af udsugningsluften til indblæsningsluften.

Referencer

/1/ Bergsøe, N.C. (1991) SBI-rapport 213: Undersøgelse af ventilationsforhold i nyere boliger. Niels C. Bergsøe. Statens Byggeforskningsinstitut.

/2/ Pejtersen, J. (1994), Forureninger i ventilationsanlæg. Ph.D.-projekt. DTU.

Bilag 3 Udvalgte cases

EN – OG TO FAMILIERS HUS

SAMMENFATNING MELLEM INDHOLD AF PCB I INDELUFT, MATERIALER, TEMPERATUR, LUFTFUGTIGHED OG DIFFERENSTRYK

ADRESSE Grontmij A/S
Granskoven 8
2600 Glostrup

KONTAKT Majbrith Langeland
MLS@Grontmij.dk
Tlf: 9879 9876

Marie Kloppenborg Jensen
MKJN@CowI.dk
Tlf: 5640 6715

SIDE 1/13

INDHOLD

1	Indledning og baggrund	2
2	Situationsplan og prøvetagningssteder	2
3	Udførte målinger	2
4	Vejrforhold på prøvetidspunkt	3
5	Resultater i rum A	5
5.1	PCB i indeluft og materialeprøver	5
5.2	Luftskiftemålinger	5
5.3	Differenstryk, luftens temperatur og luftfugtighed	7
6	Resultater - Rum B	10
7	Afslutning/vurdering	12
8	Referencer	13

VERSION 01
UDGIVELSESDATO 4. oktober 2013
UDARBEJDET SOI (GRONTMIJ)
KONTROLLERET MLS (GRONTMIJ)
GODKENDT CRL (COWI)

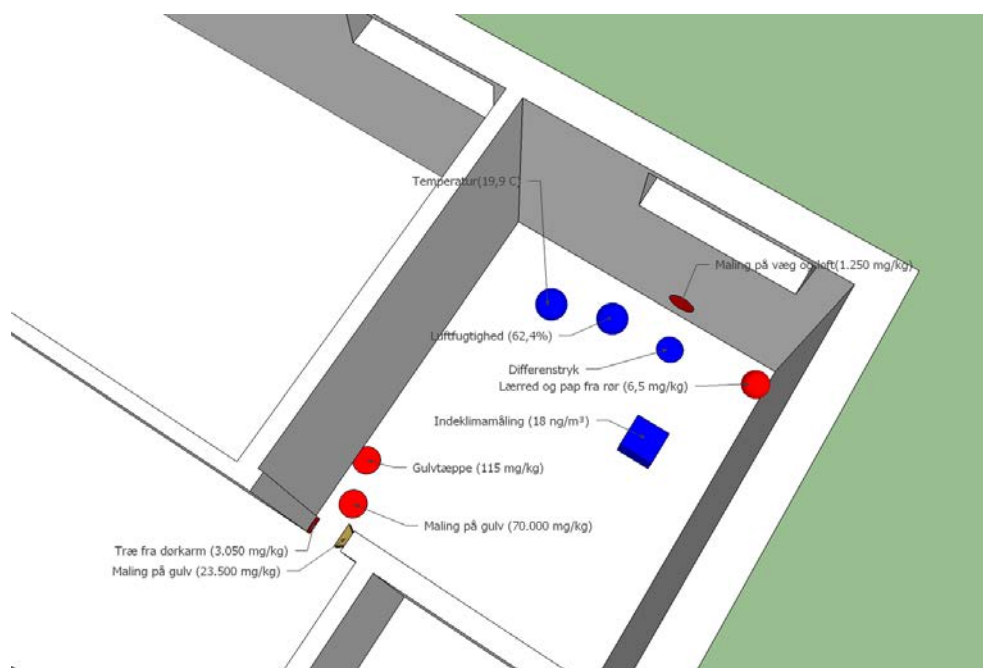
1 Indledning og baggrund

Denne casebeskrivelse omfatter en bygning i kategorien en – og to familiershuse i den nationale kortlægning af PCB i bygninger i Danmark.

2 Situationsplan og prøvetagningssteder

Ejendommen er et en-familiershus i 2 etager (kælder og stueplan) fra 1968. Til indeværende undersøgelse er der valgt to rum, der benævnes rum A og rum B.

Rum A er et rum i kælderen. Rum A har et volumen på $15,1 \text{ m}^3$. Der er et vindue i rummet samt en dør til den tilstødende kældergang. Derudover er der ingen ventilation af rummet, der er ikke monteret passive ventiler i vinduet. I figur 1 er vist en situationsplan over kælderen og indsat resultater for indholdet af PCB total for de udførte målinger i bygningsmaterialer og indeluft. Rum B er et rum i stueplan og indeluftmålingen i dette rum anvendes som kontrol for udførte målinger i rum A.



Figur 1 Målepunkter for bygningsmaterialer, indeluft, differenstrykmåling, temperatur og luft fugtighed, samt angivelse af resultat af målinger i rum A. På denne lokalitet er primær kilden maling på gulv. Maling på væg kan være en sekundær kilde eller en primær kilde. Øvrige bygningsmaterialer vurderes at være sekundære eller tertiære kilder med PCB.

3 Udførte målinger

Målinger er udført den 21. maj 2013. Der er lavet følgende målinger:

- Indeluftmålinger i rum A og rum B
- Materialeprøver af sekundære og tertiære materialer (5 stk.)
- Luftskeftemåling i rum A
- Differenstrykmåling under gulv/indeluft i kælder (rum A) og differens-trykmåling hulmur/indeluft i stueplan (rum B)
- Datalogning af temperatur- og luftfugtighed under måleperiode i rum A
- Der er endvidere taget udtræk fra DMI om vejrforholdene på prøvetagningstidspunktet.

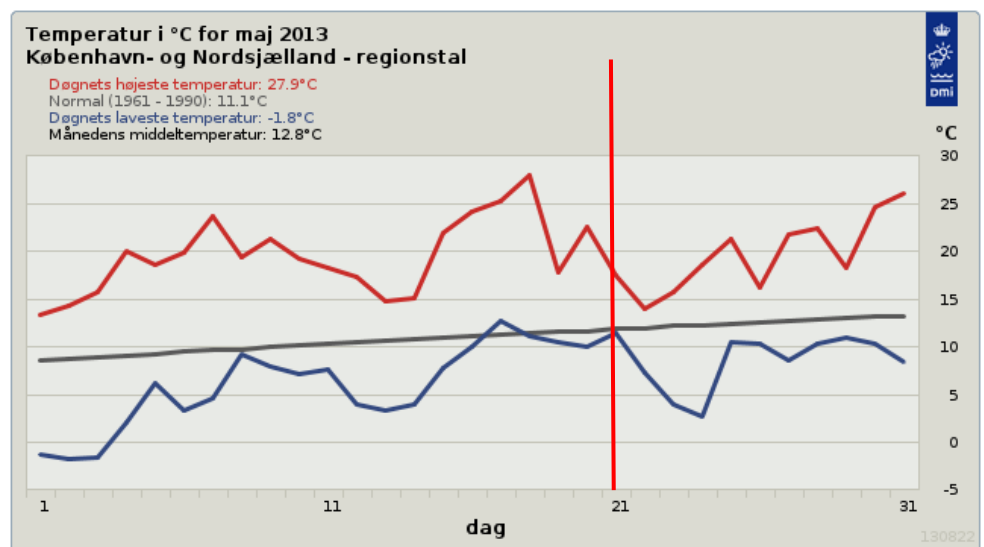
Metodebeskrivelse for målinger udført under den nationale kortlægning er fulgt. Metodebeskrivelser findes i hovedrapporten kapitel 4 samt i bilag 1.

Indeluftmålingen i rum A er udført den 21. maj i tidsrummet 8:10 til 13:15, hvor bygningen ikke blev anvendt. I den samme periode er der målt luftskefte, differens-tryk, temperatur og luftfugtighed i rummet. De 2 differenstrykmålere i rum A og B måler hhv. trykforskellen mellem under gulv og inde og trykforskellen mellem inde og hulrum i ydermur. Efterfølgende er der lavet målinger på 5 materialeprøver i rummet. For placering af målepunkter henvises til figur 1. Dør og vindue i rum A har været lukket under hele prøvetagningen. Der har ikke været aktivitet i rummet under prøvetagningen. Prøverne af bygningsmaterialer er først udtaget efter gennemførelse af indeluftmålingerne.

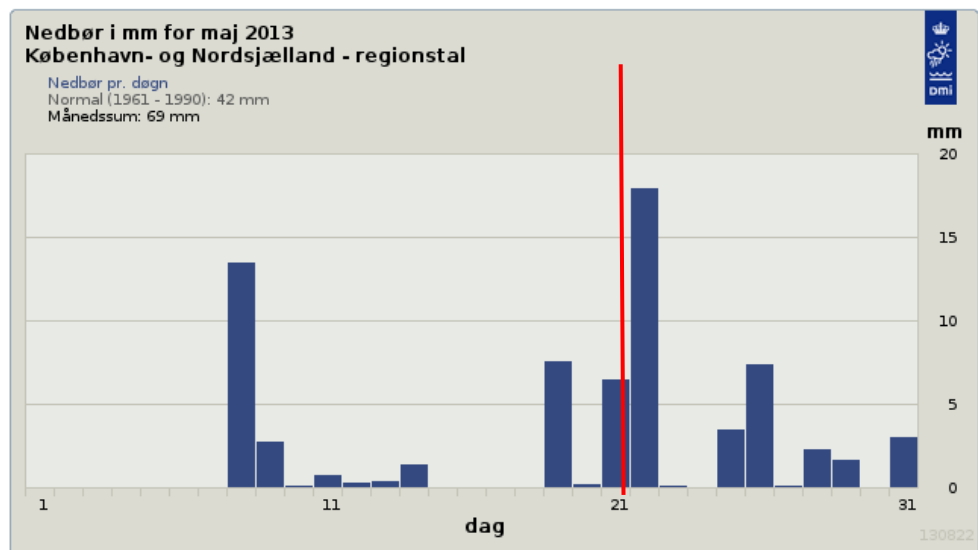
Målingerne i rum B er udført i samme tidsrum, der er målt differenstryk, temperatur og luftfugtighed i rummet.

4 Vejrforhold på prøvetidspunkt

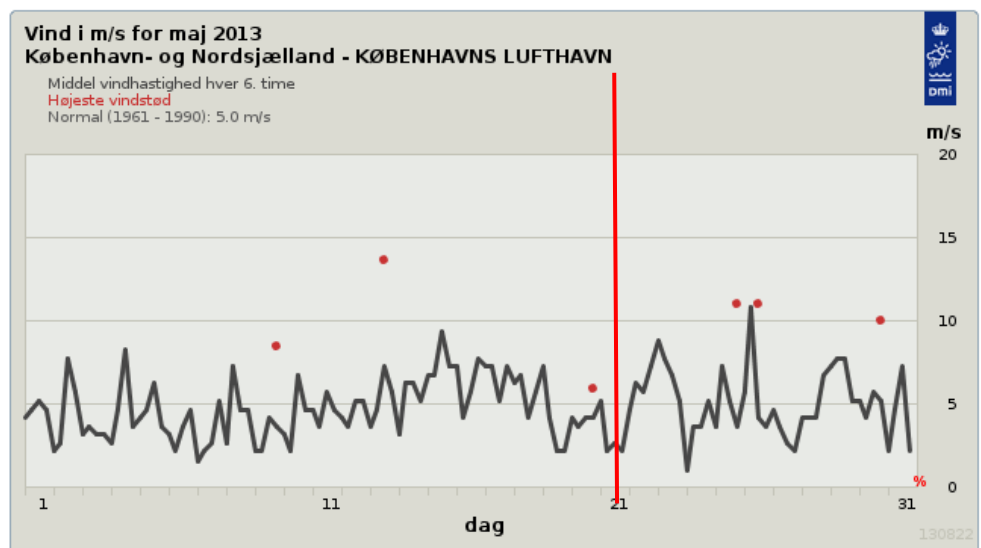
I figur 2-5 er indsat grafer som viser vejrforholdene i området omkring måleperioden. Der er tale om udtræk fra www.DMI.dk.



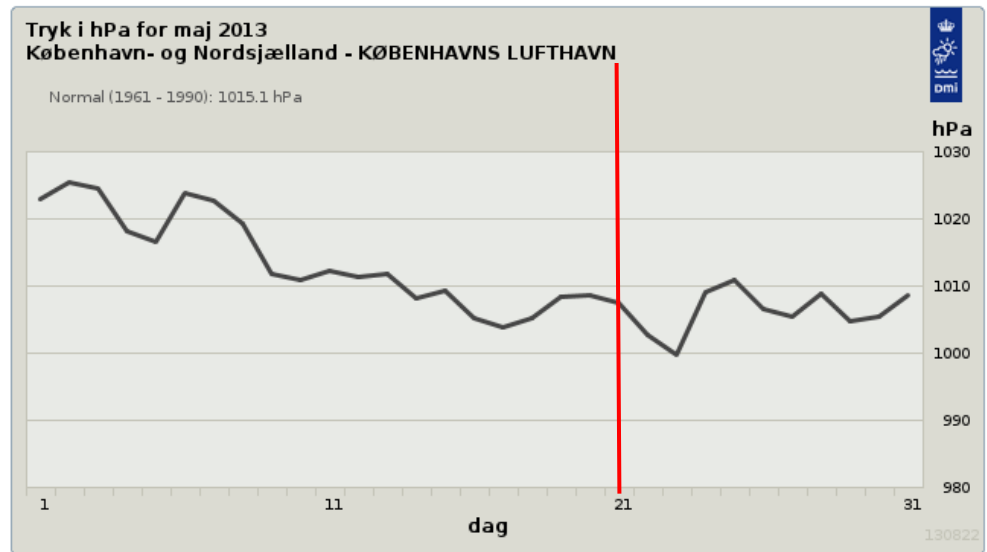
Figur 2 viser temperaturvariation på prøvetagningsdagen den 21. maj 2013.



Figur 3 viser nedbør på prøvetagningsdagen den 21. maj 2013.



Figur 4 viser vindhastighed på prøvetagningsdagen den 21. maj 2013.



Figur 5 viser lufttrykket på prøvetagningsdagen den 21. maj 2013.

Heraf fremgår det, at der i dagene op til prøvetagning ikke har været væsentlige vindtryk, og vindhastigheden har været lav, og at der ikke har været ændringer i lufttryk, som vil kunne have medført særlige meteorologiske forhold under prøvetagningen. Det vurderes derfor, at de udførte målinger i indeluft og bygningen er repræsentative for normale klimatiske forhold.

5 Resultater i rum A

5.1 PCB i indeluft og materialeprøver

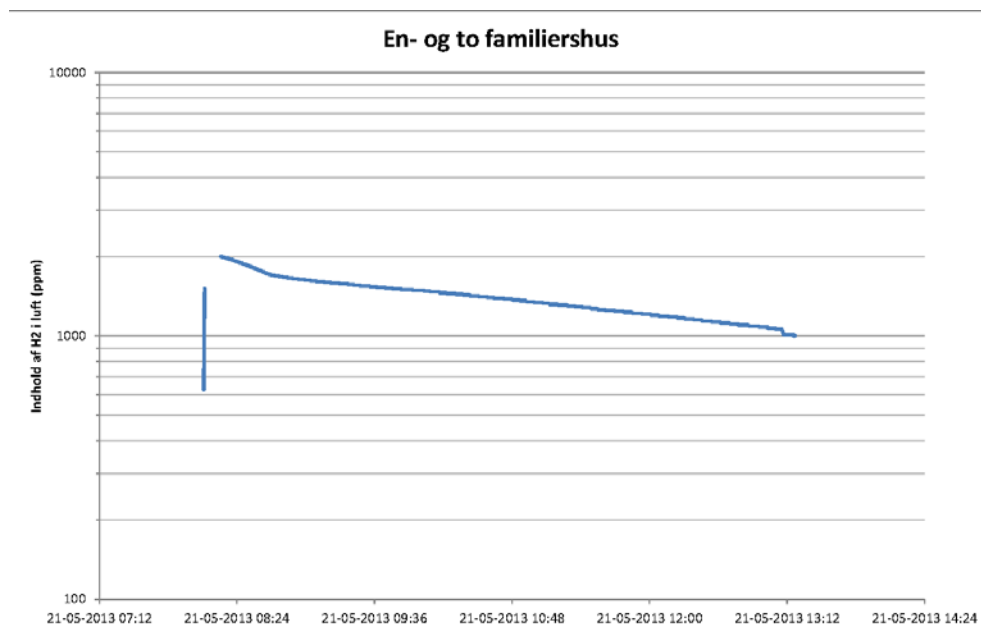
Indeluften i rum A har et indhold af total PCB på 18 ng/m³.

Der er lavet 5 materialeprøver i rum A. Analyseresultaterne er vist i figur 1. Med baggrund i materialeprøver udtaget i maj 2013, så vurderes maling på gulvet i rum A at være primær kilden til indholdet af PCB i indeluften. I gulvmalingen er der påvist et total indhold af PCB på mellem 23.500 -70.000 mg/kg.

5.2 Luftskeftemålinger

Luftskeftet i bygningen påvirker PCB-koncentrationen i luften, og luftskeftet vil almindeligvis være forskelligt i alle bygningens rum. Flere faktorer påvirker luftskeftet, bl.a. kan vindtrykket på bygningen betyde, at der kan være forskel på måleresultater taget på læ- og luvside af bygningen /1/.

Der er udført måling af luftskeftet i rum A over ca. 5 timer. I figur 6 er den målte henfaldskurve for brint vist. Med baggrund i den udførte måling er der beregnet et luftskeft i rummet. Der er beregnet et luftskefte i rummet på 0,05 gang i timen (h⁻¹).



Figur 6. Målte henfald af brint efter udspredning og homogenisering i rum A. Luftskiftet beregnes som udfra kurvens hældning.

Jf. bygningsreglementet BR10, (6.3.1.2, stk. 1) er der krav om, at der i et hvert beboelsesrum såvel som i boligen totalt skal være et samlet luftskifte på mindst 0,3 l/s pr. m² opvarmede etageareal. Det svarer til, at luftskiftet i bygningen skal være 0,5 h⁻¹. Rum A er et beboelsesrum i kælderen og der er ikke regler for bolig i kældere, men for at kunne vurdere de udførte målinger så er Bygningsreglementet BR10 anvendt i vurderingerne af de udførte målinger.

Bygningsreglementets luftskifte opgøres på grundlag af den samlede tilførte udelufttilførsel til rummet, mens det målte luftskifte udgøres af den tilførte luft fra hosliggende rum og af lufttilførsel fra underside gulvet samt udelufttilførslen. Det må forventes, at noget luft vil strømme fra kælderen hosliggende rum og fra underside gulv til kælderen, som ved termisk drivkraft tvinger luften videre op på stueetagen. Det målte udeluftskifte forventes derfor at være mindre end 0,05 h⁻¹, og derved mange gange mindre end det luftskifte som Bygningsreglementet angiver. Der er således målt et væsentligt lavere luftskifte i rum A, end der bør være i et beboelsesrum. Det lave luftskifte skyldes, at målingen er udført i et mindre kælder-rum i boligen uden ventilation eller/og at luften på grund af den lukkede dør ikke i samme grad har haft mulighed for trykudligning og luftudveksling til boligens øvrige rum. Ved den almindelige brug af boligen kan der i stueetagen forventes et større luftskifte i den øvrige del af boligen..

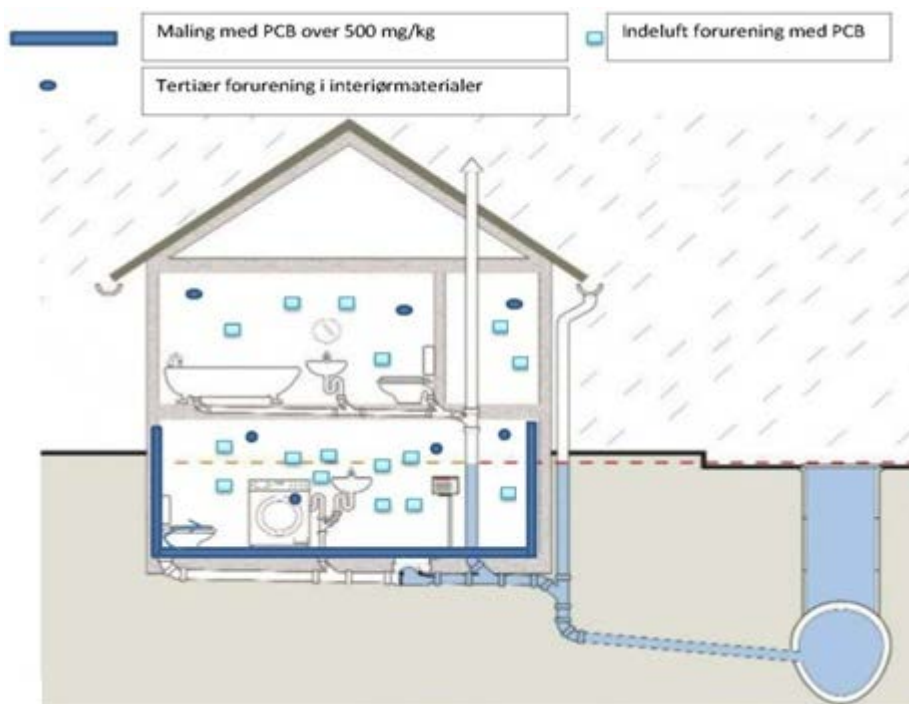
Luftskiftet er målt med lukkede døre og vinduer til rummet. Under daglig beboelse og anvendelse af boligen er luftskiftet i beboelsesrum højere. I /3/ er middelu- deluftskiftet målt i ca. 150 beboede huse over 1-2 uger i vinterhalvåret for alle bo- liger til 0,35 h⁻¹ med et variationsområde for boligerne på 0,17-0,68 h⁻¹. Den indi- viduelle forskel på et enkelt soverum har haft et variationsområde på middelu- deluftskiftet på 0,07-1,22 h⁻¹, dvs. forskel på laveste og største luftskifte er en fak- tor 15. Resultaterne fra SBI-rapporten viser, at brugeradfærden har en meget mar- kant betydning for det tilførte udeluftskifte. Det målte luftskifte på 0,05 h⁻¹ i nær- værende undersøgelse, hvori er lufttilførslen fra øvrige rum også er medtaget, har

derfor også et lavere udeluftskifte, som i princippet kan være helt ned til mindre end 5 % af hvad det ville have været, hvis udeluftskiftet havde været målt med beboelse af bygningen og målt som i SBI-rapporten med PFT-metoden. Det vurderes, at

I forhold til den påviste forurening med PCB i rummet, så betyder det, at så længe vinduet er lukket, så sker der kun en begrænset fortynding af den påviste PCB-forurening i rummet, og der vil være en spredning til den øvrige del af boligen via de skiftende luftstrømninger i bygningen ved forskellige vejrforhold og adfærden i bygningen.

Set i forhold til PCB koncentrationen i indeluften, så kan den påviste primærkilde i form af maling betyde, at der kan påvises PCB indeluft i bygningen på stueplan. Dette er ikke målt ved disse undersøgelser.

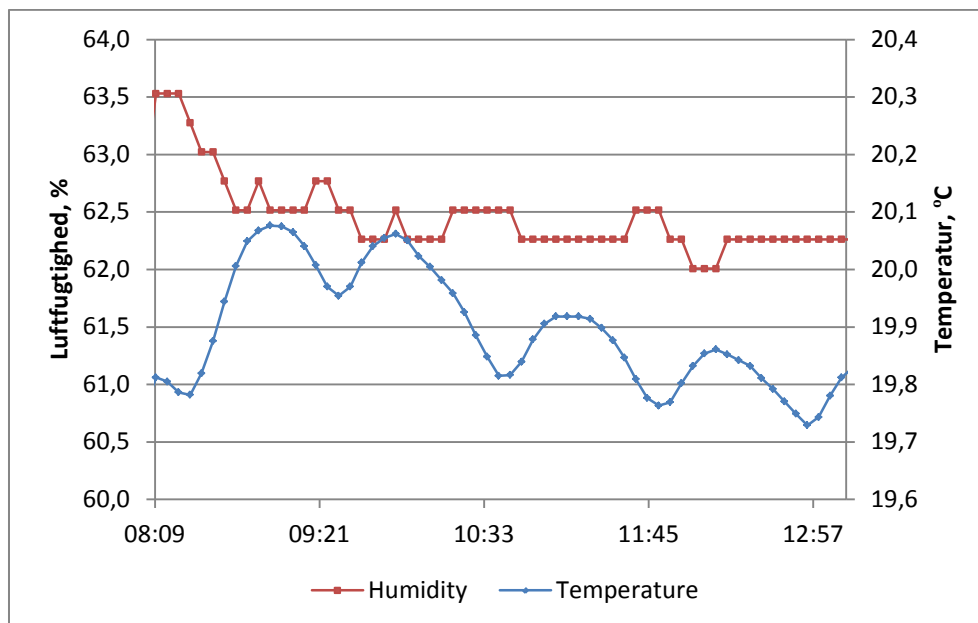
Det vil ligeledes betyde, at der kan være tertiære kilder på inventar i den øvrige del af bygningen som er spredt via luftudvekslingen i bygning.



Figur 7. Principskitse af fordeling af PCB i indeluft og tertiære kilder i en bygning med en primærkilde af maling på gulv og vægge i kælder.

5.3 Differenstryk, luftens temperatur og luftfugtighed

Erfaringerne siger, at PCB-koncentrationen i indeluften stiger med stigende temperatur, idet congenernes damptryk stiger. Ved en undersøgelse er det fundet, at PCB-koncentrationen i indeluften fordobles ved en temperaturstigning fra 18 °C til 24 °C. En bygning vil have meget forskellig temperatur afhængig af solindfald, isolering, byggematerialer og arealet af f.eks. vinduer og døre etc. Det er derfor væsentligt ved vurdering af indeluftmålinger at have målinger i flere rum i bygningen.



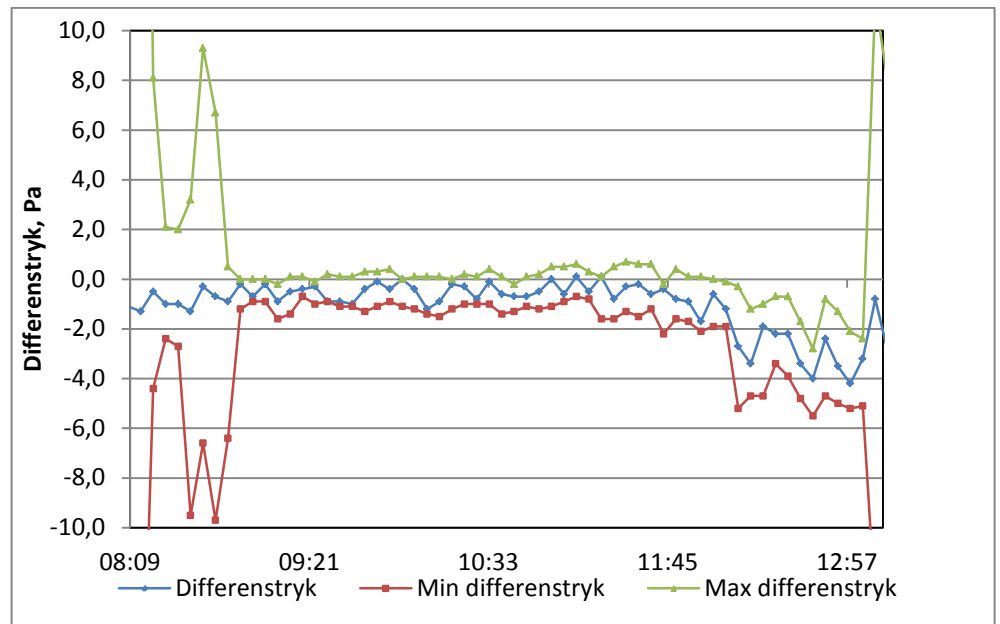
Figur 8 Variation af luftens temperatur og relative luftfugtighed under måling af luftskiftet og af indeluftmåling.

På denne lokalitet kan det vises, at der er en temperaturvariation i rummet under gennemførelse af indeluftmålinger, som vurderes at være forårsaget af ændringer i vindpåvirkning, og ydre forhold som påvirker bygningen. Dette kan aflæses i de målte differenstræk i måleperioden, som afspejler de varierende påvirkninger i måleperiode etc.

På nuværende tidspunkt er der kun meget begrænset viden om, hvorvidt den relative fugtighed påvirker koncentrationen af PCB i indeluften. Der ses en tendens til, at indeluftkoncentrationen på tilsvarende måde som ved temperaturvariationer falder ved faldende luftfugtighed /1/.

På denne lokalitet kan det vises, at der er en ændring i luftfugtigheden i rummet under gennemførelse af indeluftmålingerne, som vurderes at være forårsaget af ændringer i vindpåvirkning, og yder forhold som påvirker bygningen under gennemførelse af målingerne.

Hvis målingerne af temperatur og luftfugtighed ses i en sammenhæng med det målte differenstræk i bygningen, så kan det vises, at ved opstart af målinger og afslutning af målingerne i rum A, giver aktiviteten i bygningen en ændring i trykforholdene, hvorfor den lille variation i start og slut af målingerne, skyldes ændringer i luftskifte og eller at bygningen ikke er helt stabiliseret efter prøvetagningsstedet forlades.



Figur 9. Trykdifferensmålinger over en måleperiode fra 8.10-13.15. Målt mellem indeluft og under gulv. Som det fremgår, er der svingende trykdifferens i rummet i måleperioden, hvilket betyder at der er perioder med overtryk og perioder med undertryk i rummet. Negativ trykdifferens betyder, at der er undertryk i rummet. Grøn kurve er den højeste målte positive trykdifferens i perioden mellem to dataregistreringer. Rød kurve er den højeste målte negative trykdifferens i perioden mellem to dataregistreringer. Blå kurve er trykdifferensen, der er registreret i måleperioden.

Den konvektive lufttransport i en bygning er styret af trykforskellene mellem to områder, idet lufttransporten vil foregå fra områder med højt tryk til områder med lavere tryk.

Hvis der er lavere tryk inde i en bygning end i luften under bygningen, vil der være en luftstrømning mod stedet, hvor der måles lavt tryk. Luften strømmer fra udeluft eller fra hosliggende rum ind mod målestedet.

Hvis der logges over en længere periode, kan strømningsretningen bestemmes ved forskellige vejrforhold og ved forskellige anvendelser af bygningen. Ved analyse af trykdifferensmålinger udført i en bygning bør der derfor altid foretages en sammenstilling med de meteorologiske forhold for vind, temperatur, lufttryk og nedbør. Ved væsentlige ændringer i differenstrykmålingerne kan der være tale om almindelige vejrskift.

Af figur 9 fremgår, at bygningen i måleperioden generelt har et mindre undertryk på -1 Pa. Hen imod slutningen af måleperioden kan der måles et undertryk som er noget større på -4 Pa. Normalt forventes det, at bygninger opført i perioden, hvor PCB har været anvendt i bygningsmaterialer, vil have et mindre overtryk, under forudsætning af at de er tætte. Disse målinger viser, at bygningens kælder udveksler luft med den øvrige del af bygningen.

5.3.1 Rum A

Der er lavet målinger i rum A over temperatur og fugt. Resultaterne er samlet i figur 8. Som det fremgår af figuren, så har temperaturen varieret mellem ca. 19,7 og 20,1 °C og luftfugtigheden har varieret mellem ca. 62 og 63,5 %. Generelt ses det, at temperaturen stiger umiddelbart efter prøvetagning er igangsat, hvorefter temperaturen falder gennem prøveperioden. Ligeledes ses der en tendens til, at luftfugtigheden er svagt faldende gennem prøveperioden.

Oftest vil der kunne forventes en faldende luftfugtighed ved stigende temperatur.

I dette tilfælde er variationerne for både temperatur og fugt over måleperioden meget små, og det vurderes derfor at der i måleperioden ikke har været egentlige forandringer i f.eks. vejrligsforhold eller luftskiftet som i dette rum styres af tilførsel af luft fra hosliggende rum.

Der er ingen gældende regler for indeluft i kældre, men normalt tilstræbes det at luftfugtigheden skal være under 40-45 % i vinterperioden, og lavest muligt resten af året. Arbejdstilsynet beskriver et normalområde på mellem 20-65 %, der er dog ikke gælder i boligers kældre, men som her kan anvendes som normalområde. Luftfugtigheden vurderes derfor at være relativt højt i kælderen set i forhold til den målte temperatur i kælderen.

Ved måling af differenstryk over og under gulv i kælderen er der generelt målt et negativt differenstryk på -1 Pa. I starten og slutningen af perioden er differenstrykmålingerne mere ustabile, hvilket med overvejende sandsynligvis skyldes aktiviteter uden for rummet, hvor prøvetageren bevæger sig væk fra rummet og forlader bygningen. Til sidst i måleperioden falder differenstrykket ned til -4 Pa, hvilket skyldes prøvetagerens ankomst til bygningen. Luftskiftet i bygningen øges ved åbning af dør til rummet med henblik nedtagning af udstyr, og det vil betyde ændringer i trykdifferensen i rummet. Der ses også et lille fald i temperaturen med en efterfølgende stigning, se figur 8 ovenfor.

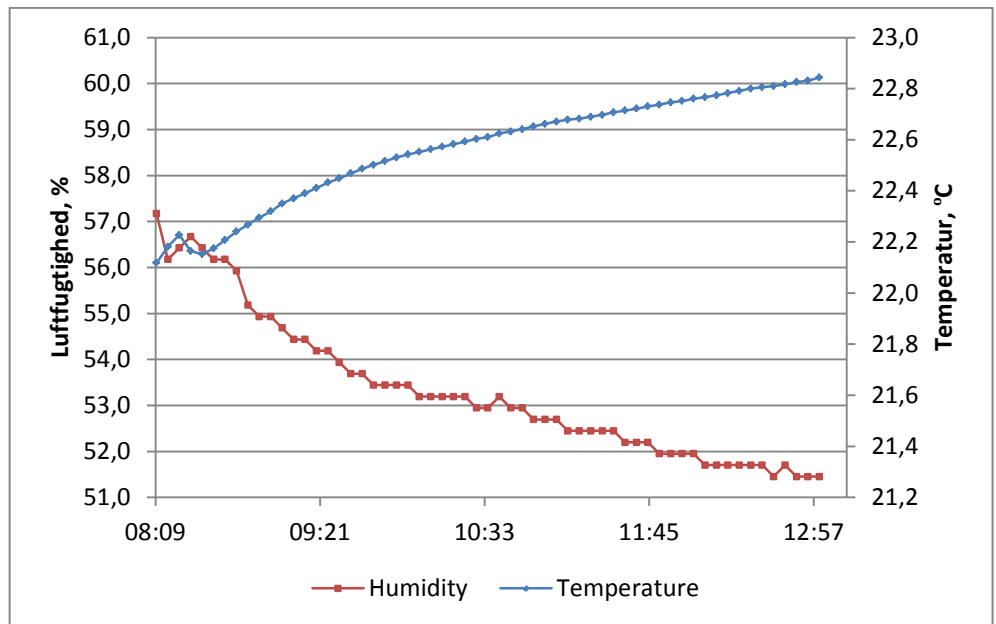
Negativt differenstryk angiver et undertryk i rummet i forhold til under gulv i bygningen. Det vil sige, at der er luftudveksling mod bygningens øvrige rum og luften i dette lokale vil fordele sig mod højere tryk og dermed vil der være en luftstrømning ud af dette rum.

6 Resultater - Rum B

Der er lavet følgende målinger i rum B som er beliggende i stueplan: luftens temperatur og relative fugtighed, differenstryk mellem inde og hulmur samt indeluftkoncentration af PCB. Der er ikke målt luftskifte eller udtaget materialeprøver i rum B. Der er dog ingen indikationer på, at der kan være primærkilder indeholdende PCB i rum B.

Der er påvist et indhold af PCB i indeluften på 7 ng/m³ i rum B.

Målingerne for temperatur og luftfugtighed fremgår af figur 10.

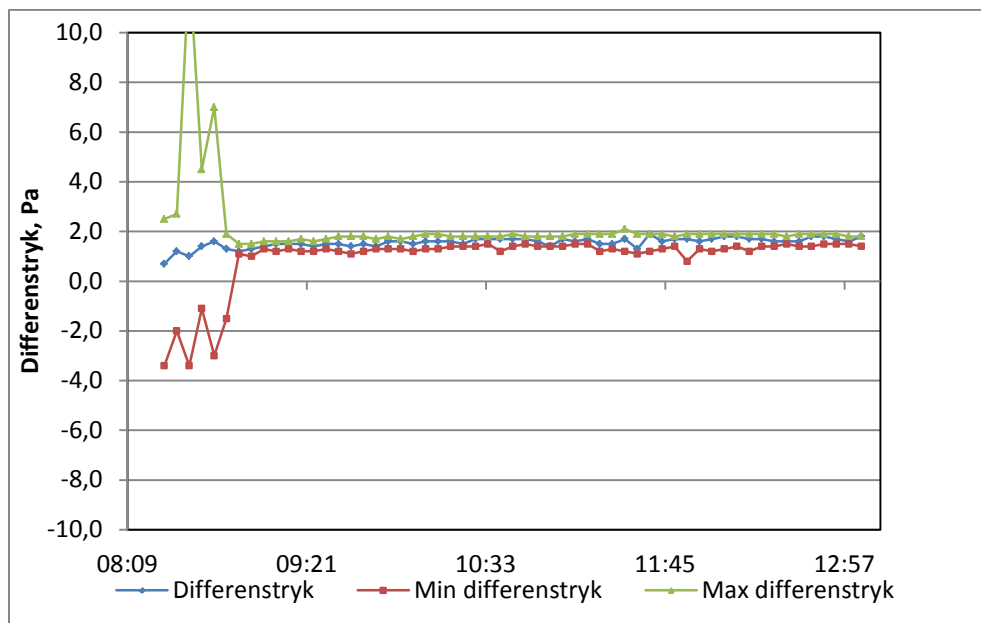


Figur 10 Variation af luftens temperatur og relative luftfugtighed under måling af luftskiftet og indeluftmåling i rum B foretaget i perioden mellem kl. 8.26 og 13.00 den 21. maj 2013.

Det fremgår af figuren, at temperaturen er steget fra 22,1 °C til 22,8 °C og den relative luftfugtighed er faldet fra 57% til ca. 51 % i måleperioden. Generelt ses det, at temperaturen er stigende over prøveperioden, mens luftfugtigheden er faldende gennem prøveperioden. Dette stemmer overens med, at der oftest vil kunne forventes en faldende luftfugtighed ved stigende temperatur.

Der er monteret en differenstrykmåler i stueetagen, der måler trykdifferensen mellem indeluft og hulmur. Det var nødvendigt at placere denne måler i stueetagen, da det ud fra bygningstegninger blev vurderet, at der ikke var hulrum i kælderplan.

Målinger af differenstryk i bygnings hulmur beskriver trykforholdene i bygningen på måletidspunktet. Hvis der er ændringer i differenstrykket på måleperioden, så kan der være tale om at rummet udveksler luft med et større luftvolumen som er til stede i hulrummet. Differenstrykmålinger i hulumuren af en bygning foretages altid i læ siden af bygningen, idet ændringerne i differenstrykket vil være betydelige i luv-siden af bygningen. Hvis differenstrykmålingerne udføres i læsiden kan målingerne anvendes til at beskrive forholdene omkring opsamling af indeluftmålingen. Selvom resultaterne ikke er udført i rum A, så anvendes resultaterne til at fortælle om bygningens trykforhold under måleperioden. Resultaterne fremgår af figur 11.



Figur 11 Trykdifferensmålinger over en måleperiode fra 8.26-13.00, målt mellem indeluft og hulrum i stueplan. Som det fremgår, er der svingende trykdifferens i bygningen i måleperioden, hvilket betyder, at der er perioder med overtryk og perioder med undertryk i bygningen. Negativ trykdifferens betyder, at der er undertryk i boligen. Grøn kurve er den højeste målte positive trykdifferens i perioden mellem to dataregistreringer. Rød kurve er den højeste målte negative trykdifferens i perioden mellem to dataregistreringer. Blå kurve er trykdifferensen, der er registreret i måleperioden.

Ved måling af differenstryk i hulrum i stueetagen er der generelt målt et positivt differenstryk på ca. +1,5 Pa. Generelt ligger trykdifferensen meget stabilt over prøveperioden, så længe der ikke er aktiviteter i området, som påvirker måleren. Under prøvetagningen har der kun været begrænset vindtryk på huset, jf. figur, og temperaturforskellen mellem inde og ude har været relativ lav på 5-10 °C. I starten af perioden er differenstrykmålingerne mere ustabile, hvilket sandsynligvis skyldes aktiviteter uden for rummet.

Positivt differenstryk angiver et overtryk i indeluften i forhold til hulmuren. Det vil sige, at der er potentiale for en transport af flygtig PCB ind i vægmaterialeerne fra indeluften. Den store stabilitet i differenstrykmålingerne i hulmuren tyder dog på, at der ikke er væsentlige utætheder eller lignende som betyder, at indeluften udveksler luft med den stillestående luft i hulmuren i løbet af måleperioden.

7 Afslutning/vurdering

Der er påvist en primær kilde bestående af maling på gulv i kældere. Maling på væggen i rum A kan være en sekundær kilde eller en primær kilde. Øvrige bygningsmaterialer vurderes at være sekundære eller tertiære kilder med PCB.

Koncentrationsniveauet i malingen er mellem 23.500 -70.000 mg/kg PCB. Der er påvist koncentrationer på mellem 1.250 mg/kg i væg og loftsmaling, som tolkes som en sekundær kilde, men som dog også kan være en primær kilde. Der er påvist 3.050 mg/kg i trædørkarm som vurderes at være en sekundær kilde. Der er påvist

mellem 6,5 mg/kg i lærred til 115 mg/kg i gulvtæppe, som tolkes som værende tertiære kilder, hvor koncentrationen skyldes udveksling med PCB forureningen i indeluften.

Der er påvist indhold i indeluft på 18 ng/m³ PCB total, i kælderrummet. Ved den udførte indeluftmåling, er der målt ved en temperatur på mellem ca. 19,7 °C og 20,1 °C. Det er vurderet, at denne indeluftkoncentration kan stige til ca. 80 ng/m³ PCB, hvis temperaturen øges med 4 grader.

Målingen af indeluftkoncentrationen er gennemført i bygningen, mens der ikke var ophold i bygningen. Det vides fra 12 måleserier, hvor der er foretaget målinger i både anvendelsestiden og uden for anvendelsestiden af bygningen, at koncentrationen kan variere mellem 2-5 gange. Det betyder, at den målte koncentration kan forventes at variere i intervallet ca. 4 - 80 ng/m³. Vurderet på baggrund af de to mest almindelige variationer i bygningen.

Der er påvist indhold i indeluft på 7 ng/m³ PCB total i et værelse i stueplan, der er målt ved en temperatur mellem 22,1 og 22,8 °C. Det vides, at der ikke er markant udveksling af luft med bygningens hulmur.

Der er målt et luftskifte på 0,05 h⁻¹. Det målte luftskifte skønnes at være større hvis bygningen er i anvendelse. Det vurderes, at udeluftskiftet i anvendelsesituationen sandsynligvis kan øges til at ligge i området 0,17 - 0,68 h⁻¹, som er målt af SBI /3/. Burgeradfærden tilknyttet til det pågældende rum er afgørende, om og hvor meget luftskiftet øges. Luftskiftet vurderes i under almindelig brug til at være i underkanten i forhold til et ønsket udeluftskifte på 0,5 h⁻¹.

Der er overtryk i bygningens stueplan, hvilket betyder at der skønnes at være en luftstrømning fra stueplan til kælderen, når bygningen er uden anvendelse. Dog skal det bemærkes, at der generelt vil være en luftudveksling med kælderen, når bygningen anvendes, hvilket stemmer overens med at der er påvist et mindre indhold af PCB total i indeluften i stueplan på 7 ng/m³, mens der ikke er påvist primærkilder af PCB i stueplan.

Koncentrationsniveauet i indeluft på denne lokalitet er lavt, mens koncentrationen af primærkilden er høj. Dette er set i flere tilfælde ved nærværende undersøgelse.

8 Referencer

- /1/ <http://anvisninger.dk/Publikationer/Sider/Undersoegelse-og-vurdering-af-pcb-i-bygninger.aspx>
- /2/ Afhjælpningstiltag ved forhøjede indeluft koncentrationer af PCB, Haven og Langeland, 2011. Energistyrelsen og Socialministeriet
- /3/ Bergsøe, N.C. 1994: SBI-rapport 236. Ventilationsforhold i nyere, naturligt ventilerede enfamiliehuse. Statens Byggeforskningsinstitut.

ETAGEEJENDOM

SAMMENFATNING MELLEM INDHOLD AF PCB I INDELUFTE, MATERIALER, TEMPERATUR, LUFTFUGTIGHED OG DIFFERENSTRYK

ADRESSE Grontmij A/S
Granskoven 8
2600 Glostrup

KONTAKT Majbrith Langeland
MLS@Grontmij.dk
Tlf: 9879 9876

Marie Kloppenborg Jensen
MKJN@Cowi.dk
Tlf: 5640 6715

SIDE 1/15

INDHOLD

1	Indledning og baggrund	2
2	Situationsplan og prøvetagningssteder	2
3	Udførte målinger	2
4	Vejrforhold på prøvetidspunkt	3
5	Resultater - Rum A	5
5.1	PCB i indeluft og materialeprøver	5
5.2	Luftskiftemålinger	5
5.3	Differenstryk, luftens temperatur og relative fugtighed	8
6	PCB-koncentrationer i materialer og i luft	13
7	Referencer	14

VERSION 01
UDGIVELSESDATO 4. oktober 2013
UDARBEJDET SOI (GRONTMIJ)
KONTROLLERET MLS (GRONTMIJ), JN1 (COWI)
GODKENDT MKJN (COWI)

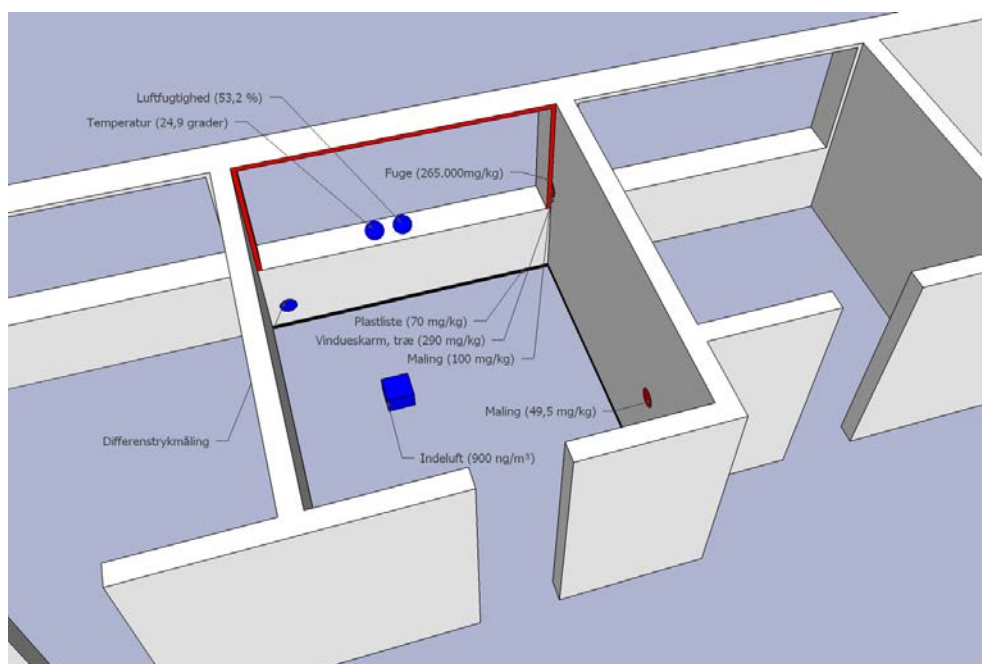
1 Indledning og baggrund

Denne case omfatter en bygning i kategorien etageejendom i den nationale kortlægning af PCB i bygninger i Danmark.

2 Situationsplan og prøvetagningssteder

Ejendommen er en etageejendom i 3 etager samt kælder.

Til indeværende undersøgelse er der valgt et rum, som anvendes til mødeaktivitet (rum A) i stueplan, hvor der er udført undersøgelser. Rum A har et volumen på 34 m³. Der er et facadevindue i rummet, som svarer til hele den ene væg af rummet dog undtaget den nederste meter som er betonkonstruktion samt en dør til fordelingsgangen i hovedbygning. Der er ingen mekanisk ventilation af rummet, der er ikke monteret passive ventiler i vinduets facaden, der er sprække under døren i lokalet. I figur 1 er vist skitse af mødelokalet og indsat resultater fra de udførte målinger af PCB-koncentrationen i materialerne og i rumluften. Der er desuden foretaget målinger i rum B, et kontor i stueplan. Disse målinger benyttes som supplerende data for målingerne i rum A.



Figur 1 Målepunkter for PCB-koncentrationen af bygningsmaterialer og i luften, af luftens temperatur og relative fugtighed, samt angivelse af resultat af målinger. På denne lokalitet er primærkilden fugematerialer indvendig i form af fuge ved vindue. Vindueskarmen vurderes at være en sekundær kilde. Maling og plastliste vurderes at være tertiær kilder.

3 Udførte målinger

Målinger er udført den 17-18.juni 2013. Der er lavet følgende målinger:

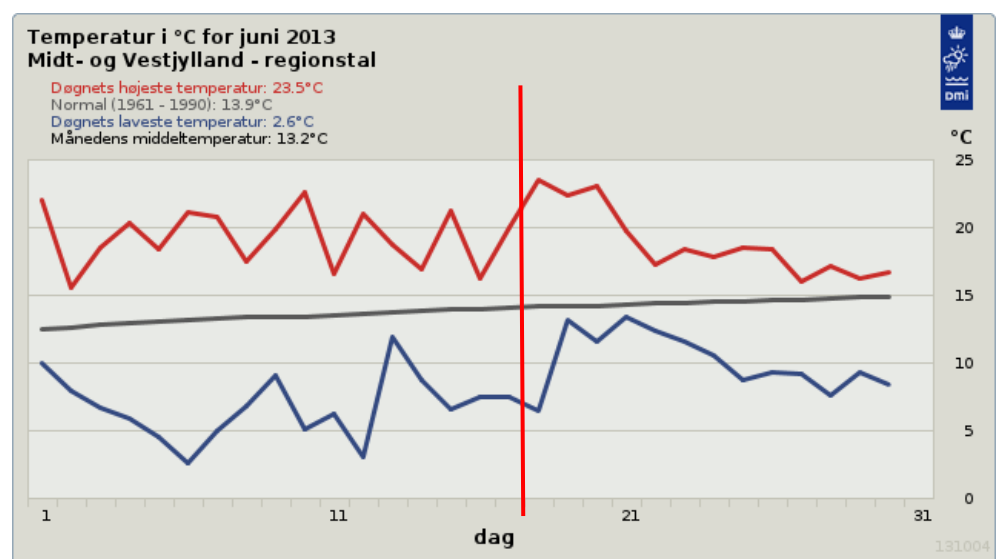
- Indeluftmålinger i rum A og rum B
- Materialeprøver af sekundære og tertiære materialer (5 stk.) i rum A
- Luftskeftemåling i rum A
- Differenstrykmåling i hulmur/indeluft i stueplan (rum A og rum B)
- Datalogning af temperatur- og luftfugtighed under måleperiode i rum A og rum B
- Der er endvidere taget udtræk fra DMI om vejrforholdene på prøvetagningstidspunktet.

Metodebeskrivelse for målinger udført under den nationale kortlægning er fulgt. Metodebeskrivelser findes i hovedrapporten kapitel 4 samt bilag 1.

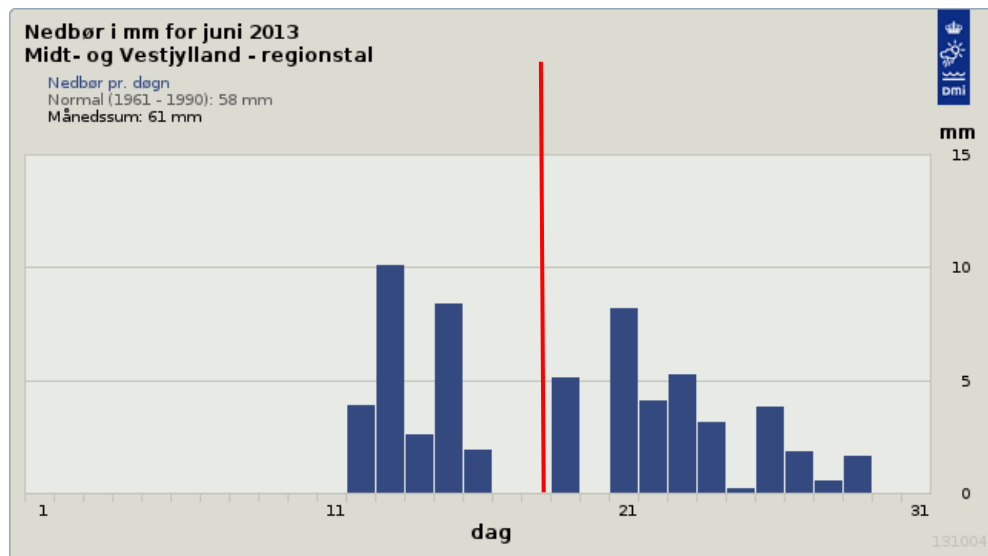
Indeluftmålingerne i rum A er udført den 17-18. juni i tidsrummet 16:00 til 7:18, hvor bygningen ikke blev anvendt, bortset fra rengøring. I den samme periode er der målt luftskefte, differenstryk, luftens temperatur og luftens relative fugtighed i rummet. De 2 differenstrykmålere i rum A og B, måler trykforskellen mellem inde og hulrum. Efterfølgende er der lavet målinger på 5 materialeprøver i rummet. For placering af målepunkter henvises til figur 1. Vindue i rum A har været lukket under hele prøvetagningen. Under prøvetagningen har rengøringspersonalet åbnet døren. Prøverne udtaget af bygningsmaterialer er udtaget efter gennemførelse af indeluftmålingerne.

4 Vejrforhold på prøvetidspunkt

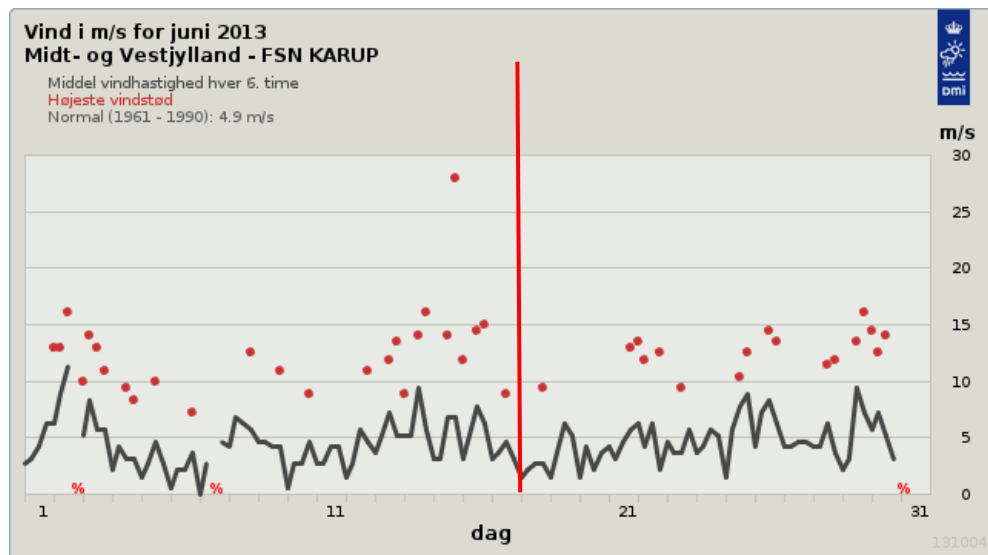
I figur 2-5 er indsat grafer som viser vejrforholdene i området omkring måleperioden. Der er tale om udtræk fra www.DMI.dk.



Figur 2 viser temperaturvariation på prøvetagningsdagen den 17.-18. juni 2013

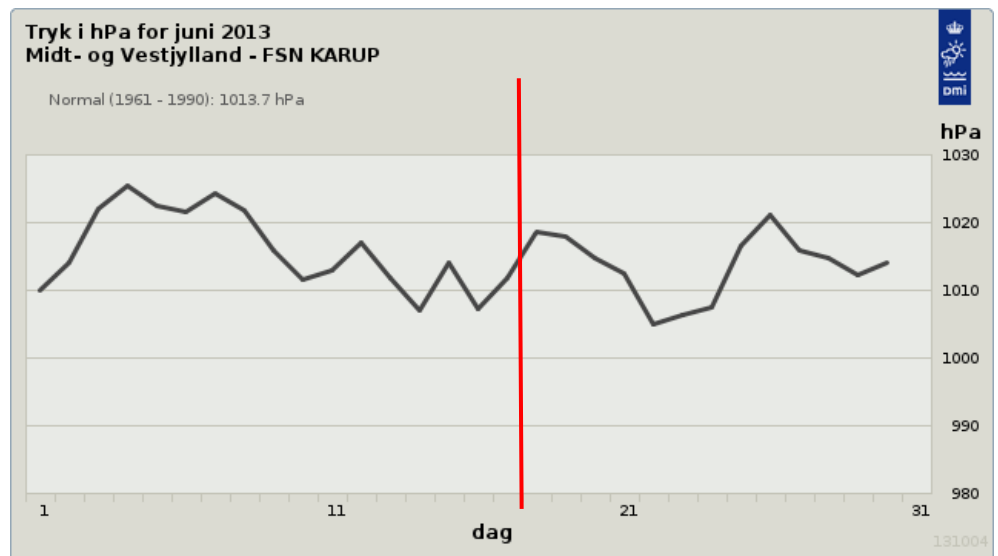


Figur 3 viser nedbør på prøvetagningsdagen den 17.-18. juni 2013



Figur 4 viser vindhastighed på prøvetagningsdagen den 17.-18. juni 2013

Solen skinnede den 17.-18. juni i henholdsvis 12 og 15 timer.



Figur 5 viser lufttrykket på prøvetagningsdagen den 17.-18. juni 2013

Heraf fremgår det, at der i dagene op til prøvetagning ikke har været væsentlige vindtryk, og vindhastigheden har været lav, og at der ikke har været ændringer i lufttryk, som vil kunne have medført særlige meteorologiske forhold under prøvetagningen. Det vurderes derfor, at de udførte målinger i indeluften og bygningen er repræsentative for normale klimatiske forhold.

5 Resultater - Rum A

5.1 PCB i indeluft og materialeprøver

Ved målinger i indeluften i rum A er der målt et indhold af total PCB på 900 ng/m³.

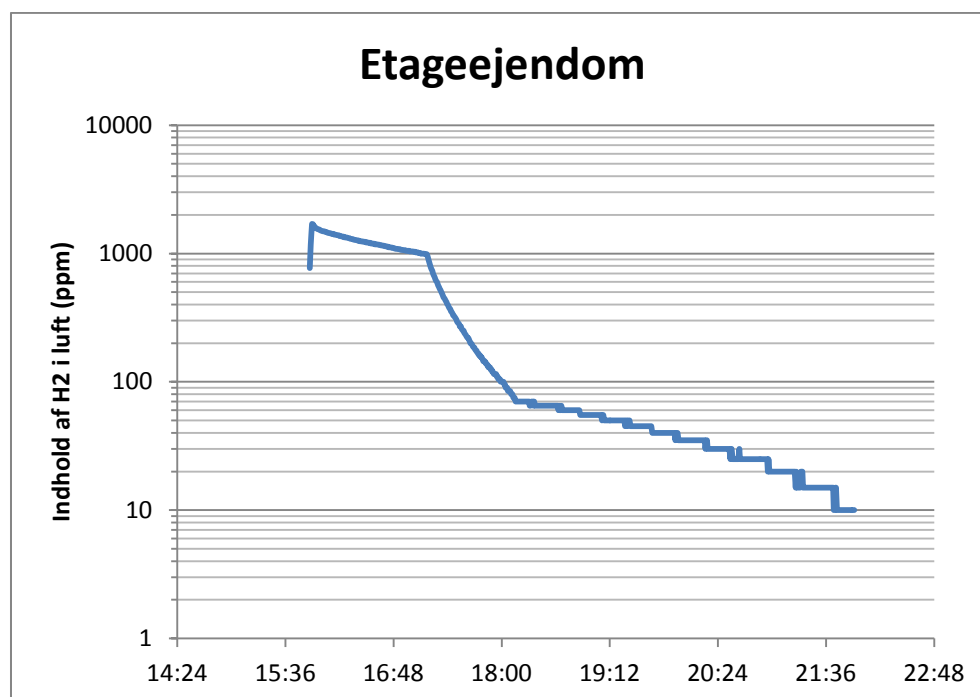
Der er lavet 5 supplerende materialeprøver i rum A foruden nogle tidligere prøver af fuger indvendig og udvendig. Analyseresultaterne for de 5 supplerende materialeprøver er vist i figur 1. Med baggrund i materialeprøver udtaget i juni 2013, så vurderes indvendige og udvendige fuger ved vinduer at være primærkilden til PCB indholdet i indeluften. I indvendige fuger er der påvist koncentrationer mellem 200.000 mg/kg til 265.000 mg/kg.

5.2 Luftskiftemålinger

Luftskiftet i bygningen påvirker PCB-koncentrationen i luften, og luftskiftet vil almindeligvis være forskelligt i alle bygningens rum. Flere faktorer påvirker luftskiftet, bl.a. temperaturdifferensen mellem inde og ude samt vindtrykket på bygningen, der kan forårsage, at der er forskel på luftskiftet på læ- og luvside af bygningen /1/.

Der er udført måling af luftskiftet i rum A over ca. 5 timer. I figur 6 er den målte henfaldskurve for brint vist. Med baggrund i den udførte måling er der beregnet et luftskift i rummet. Der er beregnet et luftskifte i rummet på 0,17 h⁻¹. Af henfaldskurven for brint kan der aflæses yderligere et luftskifte på 1,26 gang h⁻¹. Det er

efterfølgende oplyst, at bygningens rengøring har haft åbnet døren til lokalet, hvor der foretages luftskifte målinger, hvorfor der sker en betydelig ændring i luftskifte i rummet.



Figur 6 Målte henfald af brint efter udspredding og homogenisering i rum A. Luftskiftet beregnes ud fra kurvens hældning.

Der er tale om et møderum, hvor målerummet regnes som til et kontorum. I BR10 henvises til norm DS:447 2013, hvori der angives retningslinjer for opnåelse af en acceptabel luftkvalitet ved mekanisk ventilation. Det oftest anvendte kriterium for acceptabilitet er, at en personandel på 20 % forventes at være "utilfredse" med luftkvaliteten. Ved mekanisk ventilerede rum i et lavt forurenet rum og med et gulvareal på 10 m² /person og lofthøjde på 2,5 m er denne acceptabilitet opnået ved et luftskifte på 2,0 h⁻¹.

I casen er målt et lavere luftskifte, end hvad der normalt vil anvendes ved personbelastning af rummet. Udeluft tilføres ved åbning af vinduet, ved mekanisk eller naturlig ventilation samt ved infiltration gennem facaden. Rummet indeholder ingen mekanisk ventilation eller udeluftventiler, og vinduet er lukket som forudsætningen for målingen. Den tilførte luft udgøres af luft fra hosliggende rum samt udelufttilførslen, hvilket giver det lave luftskifte. Infiltrationen er bestemt af påvirkningen fra vind og temperaturdifferensen mellem ind og ude samt fra trykdifferenser skabt ved ventilationsanlæg i bygnings andre rum. På måletidspunktet er vindhastigheden lavt og temperaturdifferensen mellem inde og ude er et par få grader, hvorved udeklimaets drivkræfter til at få tilført udeluft har også været lavt.

Var møderummet i etageejendommen anvendt som bolig er luftskiftet under daglig beboelse og anvendelse af lejligheden i beboelsesrum højere. I /4/ er middeludefluftsiftet målt i 159 beboede lejligheder over 1-2 uger i vinterhalvåret for alle lejligheder til 0,47 h⁻¹ med et variationsområde for hver lejlighed på ca. 0,07-0,77 h⁻¹. I vinterhalvåret vil vinduer og døre normalt være lukkede. Den individuelle forskel på et enkelt soverum har haft et middeludefluftsiftet på 0,67 h⁻¹. Resultater-

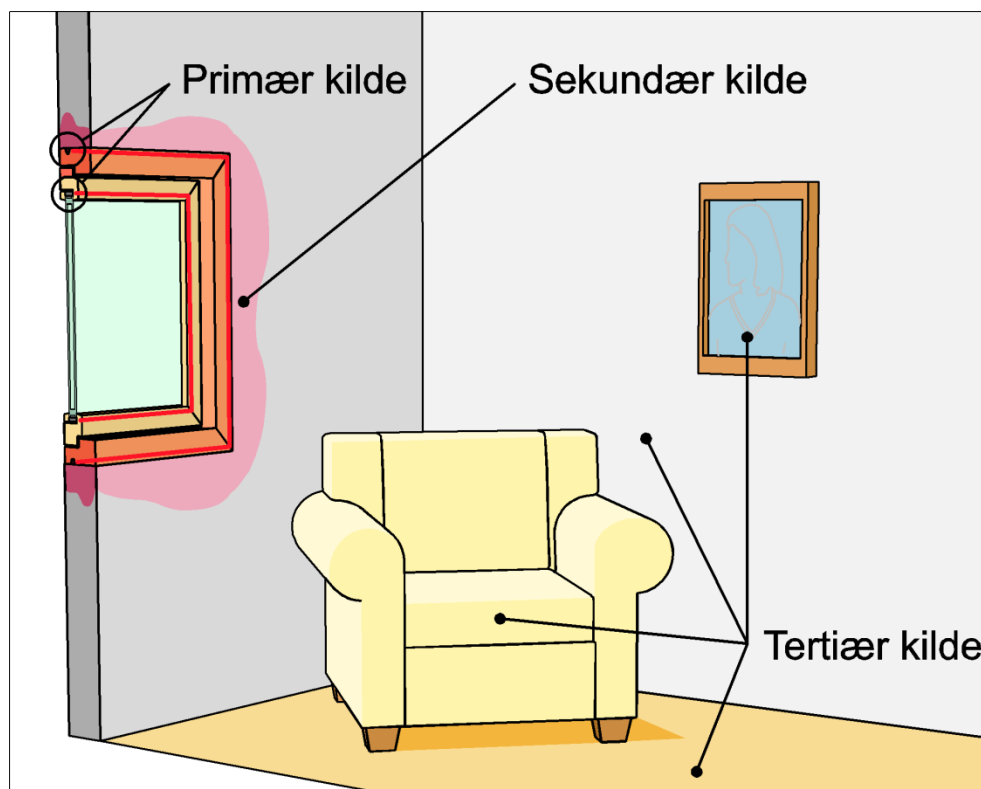
ne fra SBI-rapporten viser, at brugeradfærden har en meget markant betydning for det tilførte udeluftskifte. Det målte luftskifte på $0,17 \text{ h}^{-1}$ i nærværende undersøgelse, hvori er lufttilførslen fra øvrige rum også er medtaget, har derfor også et lavere udeluftskifte af, hvad det ville have været, hvis udeluftskiftet havde været målt med beboelse af bygningen og målt som i SBI-rapporten med PFT-metoden.

Kravet til luftskiftet for hvert rum i en beboelse i etagebyggeri er $0,50 \text{ h}^{-1}$ efter BR 2010, som er væsentligt højere end det målte $0,17 \text{ h}^{-1}$.

I forhold til den påviste forurening med PCB i rummet, så betyder det, at så længe vinduet er lukket, så sker der kun en begrænset fortynding af den påviste PCB-forurening i rummet, og der vil være en spredning til den øvrige del af bygningen via de skiftende luftstrømninger i bygningen ved forskellige vejrforhold og ændringer i adfærden i bygningen under brug, samt ændringer i brugen af lokale ventilationsanlæg.

Den påviste primærkilde i form af indvendige fuger betyder, at der formentligt kan påvises PCB i indeluften i bygningen på de øvrige etageplan af bygningen. Dette er ikke målt ved disse undersøgelser.

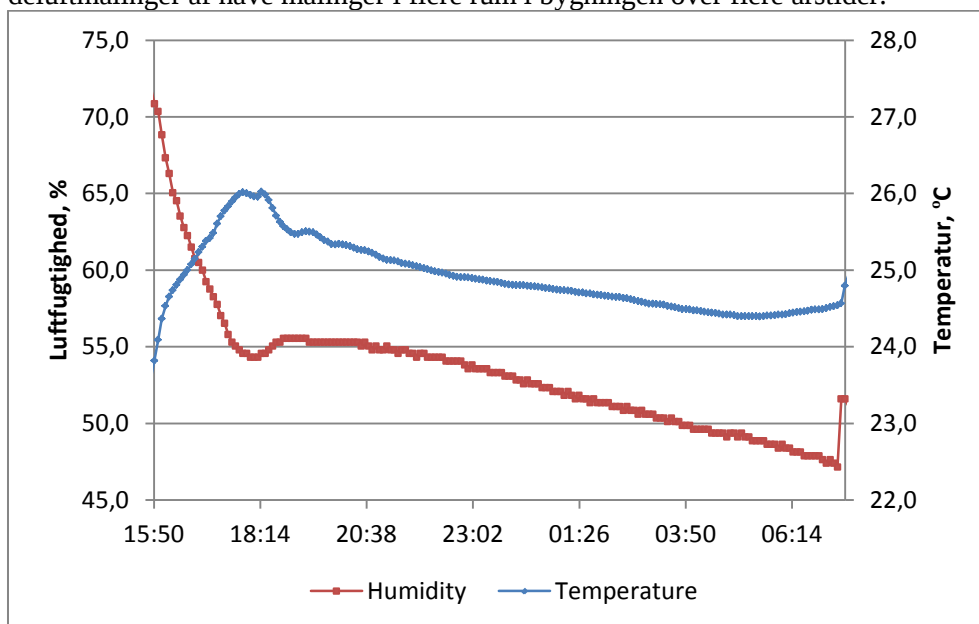
Det vil ligeledes betyde, at der er tertiære kilder i form af inventar i den øvrige del af bygningen, som er forurenede af PCB spredt i bygning via luften i forbindelse med den almindelige adfærd og luftudvekslingen i bygningen.



Figur 7. Principskitse for primær, sekundær og tertiære kilder i en bygning med en primærkilde af indvendige fuger. SBI-anvisning 241.

5.3 Differenstryk, luftens temperatur og relative fugtighed

PCB-koncentrationen i indeluften stiger med stigende temperatur, idet congenernes damptryk stiger. Ved en undersøgelse er det fundet, at PCB-koncentrationen i indeluften fordobles ved en temperaturstigning fra 18 °C til 24 °C. En bygning vil have meget forskellig temperatur afhængig af solindfald, isolering, byggematerialer og arealet af f.eks. vinduer og døre. Det er derfor væsentligt ved vurdering af indeluftmålinger at have målinger i flere rum i bygningen over flere årstider.



Figur 8 Variation af luftens temperatur og relative fugtighed under måling i indeluft.

På denne lokalitet kan det vises, at der er en temperaturvariation i rummet under gennemførelse af indeluftmålinger som vurderes at være forårsaget af ændringer i bygningens brug, solindfald og bygningens varierende differenstrykforhold i måleperiode etc.

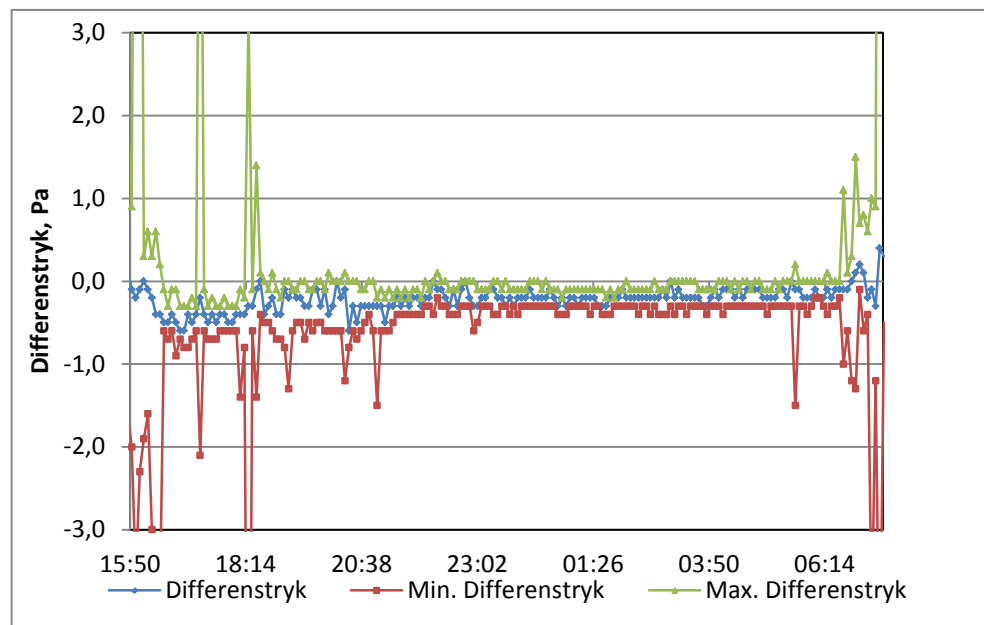
På nuværende tidspunkt er der kun meget begrænset viden om, hvorvidt den relative fugtighed påvirker koncentrationen af PCB i indeluften, /1/. Der ses en tendens til, at PCBkoncentrationen i luften på tilsvarende måde som ved temperaturvariationer falder ved faldende luftfugtighed.

På denne lokalitet ses en betydning af, at rummet aflukkes, således, at der ikke er luftudveksling med gangarealer.

Temperaturstigningen i perioden fra kl. 15.50 til ca. kl. 18.00 tillægges at rummets vindue formentligt beskinnes af solen at døren til gangen under starten af målinger er lukket. Hvis bygningsmassen i rummet har haft en højere temperatur end luften kan denne også være afgivet i perioden og opvarmet luften. Den efterfølgende periode fra kl. ca. 18 er rumtemperaturen indgået i sin egen ligevægttilstand med rummets omgivende konstruktion og udetemperaturen og eventuelle faldende solpåvirkninger.

Hvis målingerne af temperatur og luftfugtighed ses i en sammenhæng med det målte differenstryk i bygningen, så kan det vises at ved opstart af målinger og afslut-

ning af målingerne i rum A, giver aktiviteten i bygningen en ændring i trykforholdene i bygningen, hvorfor den lille variation i start og slut af målingerne, skyldes ændringer i luftskifte og ydre forhold i forhold til målerummet, som påvirker lufttrykket i rummet under gennemførelse af målingerne.



Figur 9 Trykdifferensmålinger over en måleperiode fra 16.00-7.18. Målt mellem indeluft og hulmur. Som det fremgår, er der svingende trykdifferens i bygningen i måleperioden, hvilket betyder at der er perioder med overtryk og perioder med undertryk i bygningen, dog hovedsageligt undertryk i bygningen. Negativ trykdifferens betyder, at der er undertryk i boligen. Grøn kurve er den højeste målte positive trykdifferens. Rød kurve er den højeste målte negative trykdifferens. Blå kurve er middeltrykdifferensen, der er registreret i måleperioden.

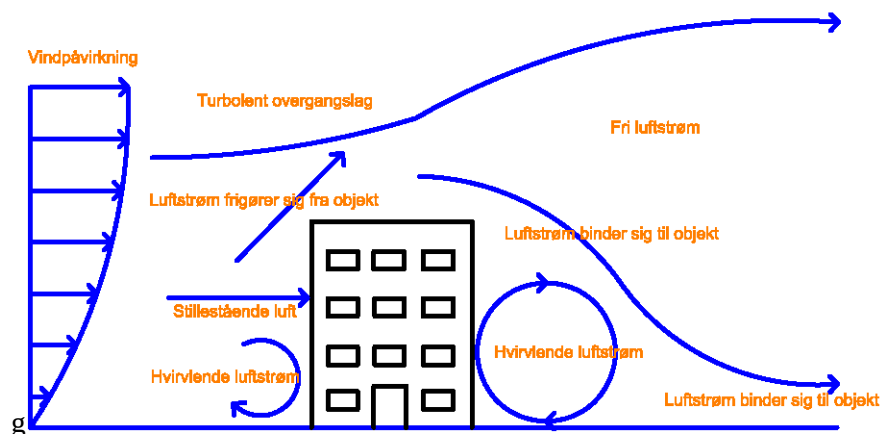
Den konvektive lufttransport i en bygning er styret af trykforskellene mellem to områder, idet lufttransporten vil foregå fra områder med højt tryk til områder med lavere tryk.

Hvis der er lavere tryk inde i en bygning end i luften i hulrummet i muren på bygningen, vil der være en luftstrømning mod stedet, hvor der måles lavt tryk, luften strømmer fra udeluft eller fra hosliggende rum ind mod målestedet.

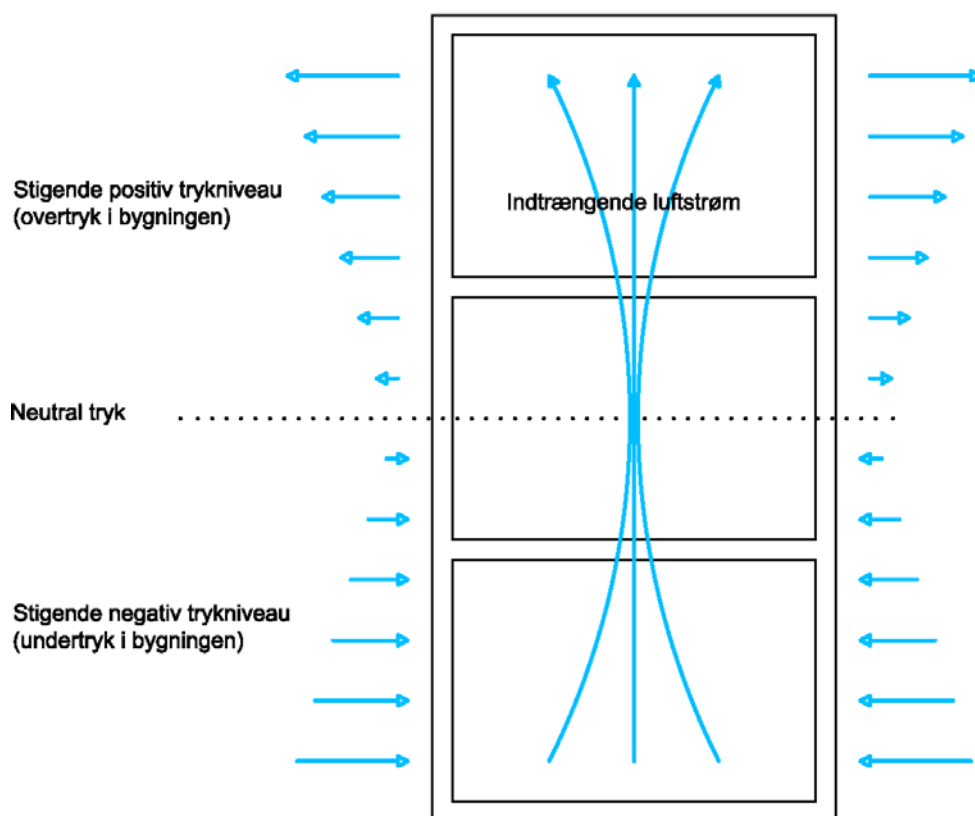
Hvis der logges over en længere periode, kan strømningsretningen bestemmes ved forskellige vejrforhold og ved forskellige anvendelser af bygningen. Ved analyse af trykdifferensmålinger udført i en bolig bør der derfor altid foretages en sammenstilling med de meteorologiske forhold for vind, temperatur, lufttryk og nedbør. Jf. figur 10.

Af figur 9 fremgår, at bygningen i måleperioden generelt har et mindre undertryk på mellem -0,2 og -0,5 Pa og som i den overvejende del af perioden er under 0. Hen imod slutningen af måleperioden kan der måles et undertryk som er en smule større men stadig i området omkring -0,5 Pa. Normalt forventes det, at bygninger fra denne periode vil have et mindre overtryk. Disse målinger viser, at bygningens kælder og stueplan udveksler luft med den øvrige del af bygningen.

Det er dog normalt, at der i etagebyggeri ses et mindre undertryk på de nederste etager og i varierende højde over terræn, men som tommelfingerregel ca. 10 meter over terræn indstiller der sig et neutralplan, hvor trykforholdene i bygningen ændre sig til overtryk, se figur 11. Hvis der er tale om et etagebyggeri, er trykfordeling i bygningen principielt, som angivet på nedenstående figur 11.



Figur 10. Vindpåvirkning af en etagebygning. Lavet på bases af Indeklimatema-
dag. Per Hesselberg, AAU, 4/.



Figur 11. Det principielle trykfordelingsforhold i et etagebyggeri med 3 etager.
Lavet på basis af /6/.

I de nederste etager vil der være et negativt trykdifferens og over neutralplanet vil det forventes, at der er positive trykdifferens i bygningen.

Det betyder, at der vil være en luftstrømning op gennem bygningen fra de nederste etager til de øverste etager. Det vil sige, at det rum der er undersøgt ved disse undersøgelser vil have en luftstrømning fra vinduesfacaden mod rummet og en luftudveksling med de hosliggende rum i bygningen. Ligesom det antages, at der vil være en opadrettet luftstrømning i bygningen mod de øverste etager i bygningen.

Dette betyder, at der vil være indhold af PCB på de øvrige etager af denne bygning.

5.3.1 Rum A

Der er lavet registreringer af luftens temperatur og relative fugtighed. Resultaterne er samlet i figur 9. Som det fremgår af figuren, har temperaturen varieret mellem ca. 24 °C og 26 °C og luftfugtigheden har varieret mellem ca. 48 og 71 %. Generelt ses det, at temperaturen falder igennem hele prøvetagningen. Dette skyldes at prøvetagningen er foretaget om natten. Ligeledes ses der en tendens til, at luftfugtigheden er faldende gennem prøveperioden.

Oftest vil der kunne forventes en faldende luftfugtighed ved stigende temperatur.

I dette tilfælde er variationerne for både temperatur og fugt over måleperioden meget små, og det vurderes derfor at der i måleperioden ikke har været egentlige forandringer i f.eks. meteorologiske forhold og luftskiftet som i dette rum styres af tilførsel af luft fra hosliggende rum.

Arbejdstilsynet beskriver et normalområde på mellem 20-65 %. Luftfugtigheden er relativt lavt i stueplan set i forhold til den målte temperatur i rum A, ved de gennemførte målinger.

Ved måling af differenstryk mellem inde og hulmur er der generelt målt et negativt differenstryk på -0,5 Pa. I starten og slutningen af perioden er differenstrykmålingerne mere ustabile, hvilket med overvejende sandsynligvis skyldes aktiviteter uden for rummet, hvor prøvetageren bevæger sig væk fra rummet og forlader bygningen. Luftskiftet i bygningen øges ved åbning af dør til rummet med henblik nedtagning af udstyr, og det vil betyde ændringer i trykdifferensen i rummet. Der ses også et lille fald i temperaturen med en efterfølgende stigning, se figur 9 ovenfor.

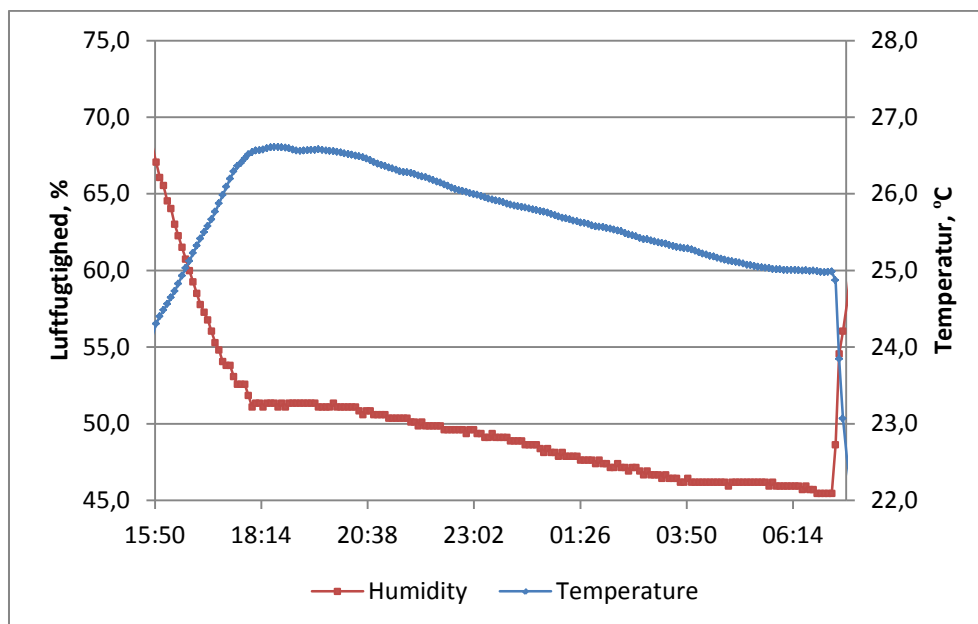
Negativt differenstryk angiver et undertryk i indeluften i bygningen i forhold til hulrummet i ydermuren. Det vil sige, at der er luftudveksling fra hulrummet til bygningens øvrige rum og det vil sige at den akkumulerede luft i hulrummet i muren vil sprede sig mod højere tryk og dermed vil der være en luftstrømning ud af hulrummet mod mødelokalet.

5.3.2 Rum B

Der er lavet målinger i rum B som er beliggende i stueplan over temperatur og fugt, differenstryk mellem inde og hulmur samt indeluftkoncentration af PCB. Der er ikke målt luftskifte.

Der er påvist et indhold af PCB i indeluften på 1.100 ng/m³ i rum B.

Målingerne for luftens temperatur og relative fugtighed fremgår af figur 12.

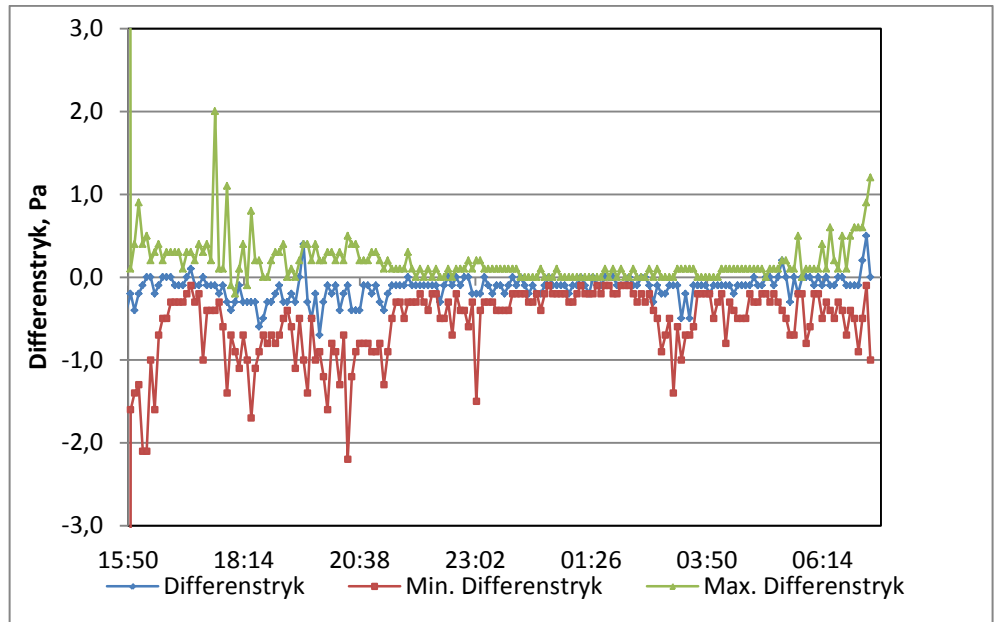


Figur 12 Variation af temperatur og luftfugtighed under indeluftmåling i rum B.

Som det fremgår af figuren, så har temperaturen varieret mellem ca. 24,9 °C og 26,6 °C og luftfugtigheden varieret mellem ca. 45 og 67,5 %. Generelt ses det, at både temperaturen og luftfugtigheden er svagt faldende over prøveperioden. Dette skyldes at prøvetagningen er foretaget om natten.

Der er monteret en trykdifferensmåler i stueetagen, der måler trykdifferensen mellem indeluft og hulmur. Det var nødvendigt at placere denne måler i stueetagen, da det ud fra bygningstegninger blev vurderet, at der ikke var hulrum i kælderplan.

Målinger af differenstryk i bygnings hulmur beskriver trykforholdene i bygningen på måletidspunktet. Hvis der er ændringer i differenstrykket på måleperioden, så kan der være tale om at rummet udveksler luft med det et større luftvolumen som er til stede i hulrummet. Differenstrykmålinger i hulumuren af en bygning foretages altid i læ siden af bygningen, idet ændringerne i differenstrykket vil være betydelige i luv-siden af bygningen. Hvis differenstrykmålingerne udføres i læsiden kan målingerne anvendes til at beskrive forholdene omkring opsamling af indeluftmålingen. Selvom resultaterne ikke er udført i rum A, så anvendes resultaterne til at fortælle om bygningens trykforhold under måleperioden. Resultaterne fremgår af figur 13.



Figur 13 Trykdifferensmålinger over en måleperiode fra 16.00-07.10. Målt mellem indeluft og hulrum i rum B i stueplan. Som det fremgår, er der svingende trykdifferens i bygningen i måleperioden, hvilket betyder at der er perioder med overtryk og perioder med undertryk i bygningen. Negativ trykdifferens betyder, at der er undertryk i boligen. Grøn kurve er den højeste målte positive trykdifferens i perioden mellem to dataregistreringer. Rød kurve er den højeste målte negative trykdifferens i perioden mellem to dataregistreringer. Blå kurve er trykdifferensen, der er registreret i måleperioden.

Ved måling af differenstryk i hulrum i stueetagen er der generelt målt et negativt differenstryk på ca. 0,5 Pa. Generelt ligger trykdifferensen meget stabilt over prøveperioden, så længe der ikke er aktiviteter i området, som påvirker måleren. Under prøvetagningen har der kun været begrænset vindtryk på huset, jf. figur. 4 I starten af perioden er differenstrykmålingerne mere ustabile, hvilket sandsynligvis skyldes aktiviteter uden for rummet.

Positivt differenstryk angiver et overtryk i indeluften i forhold til hulmuren. Det vil sige, at der er potentiale for en transport af flygtig PCB ind i vægmaterialerne fra indeluften. Det tyder dog på, at der ikke er væsentlige utætheder eller lignende som betyder, at indeluften udveksler luft med den stillestående luft i hulmuren, i løbet af måleperioden.

6 PCB-koncentrationer i materialer og i luft

Der er påvist en primær kilde bestående af indvendig fuger ved vinduesfacade i et møderum, hvilket er opbygget som resten af rummene i bygningen. Der er undersøgt en vindueskarm af træ som er en sekundær kilde. Øvrige bygningsmaterialer vurderes at være tertiære kilder med PCB.

Koncentrationsniveauet i fugen (primær kilde) er mellem 200.000-265.000 mg/kg PCB. Der er påvist koncentrationer på mellem 290 mg/kg i vindueskarm, som tolkes at være en sekundær kilde. I to vægmalinge, udtaget væk fra primærkilden, og en plastliste er der påvist mellem 49,5-100 og 70 mg/kg, hvilket tolkes som væren-

de tertiære kilder, hvor koncentrationen skyldes udveksling med PCB forureningen i indeluften. Højeste koncentration er påvist i vindueskarmen på 290 mg/kg.

Der er påvist indhold i indeluft på mellem 900-1.100 ng/m³ PCB total, i stueplan ved den udførte indeluftmåling, målt ved en temperatur på mellem ca. 24,9 og 26,6 °C.

Det er vurderet, at denne indeluftkoncentration kan reduceres til ca. 500 ng/m³ PCB, hvis temperaturen mindskes til 20-22 °C.

Målingen er gennemført i bygningen, mens der ikke var ophold i bygningen. Det vides fra 12 måleserier, hvor der er foretaget målinger i både anvendelsestiden og udenfor bygningens anvendelsestid, at koncentrationen kan variere mellem 2-5 gange. Det betyder, at den målte koncentration kan forventes at variere i intervallet ca. 200-1.100 ng/m³. Vurderet på baggrund af de to mest almindelige variationer i bygningen temperatur og luftskifte.

Det kan ikke vurderes om der er eller kan være højere indeluftkoncentrationer på, stueplan af bygningen. Det vides dog, at der ikke er markant udveksling af luft med bygningens hulmur, hvorimod der forventes at være en mere betydelig udveksling med hosliggende rum og øvrige etager i bygningen.

Luftskiftet i stueplan af denne bygning er målt til 0,17 h⁻¹, hvilket er lavt, da det målt luftskifte også inkludere lufttilførslen fra hosliggende rum. SBI har tidligere gennemført målinger i etagebyggerier målt med PFT-metoden, hvor der er målt mellem ca. 0,07-0,77 h⁻¹ i anvendelsessituationen,

I forbindelse med de udførte målinger er der ved åbning af døren målt et luftskifte på 1,26 h⁻¹, dvs. andelen af "brugt" luft der tilføres via gangen med åben dør er forholdsvis højt i forhold til det målte luftskifte med lukket dør.

Det vurderes, at der generelt kan forventes et større luftskifte i den øvrige del af bygningen, idet der blandt andet er et lokalt udsugningsanlæg i nogle af de andre rum på samme etage.

7 Referencer

- /1/ <http://anvisninger.dk/Publikationer/Sider/Undersoegelse-og-vurdering-af-pcb-i-bygninger.aspx>
- /2/ Afhjælpningstiltag ved forhøjede indeluft koncentrationer af PCB. Haven og Langeland, 2011
- /3/ Bergsøe. 1994: SBI-rapport 241. Ventilationsforhold i renoverede og ikke-renoverede etageboliger. Statens Byggeforskningsinstitut. 1994

/4/ Undersøgelse af metoder til sporing af aktive transportveje til indeklimaet i boliger, blowerdoor, termografi, avanceret PID og sporgas. Langeland et al, 2013

/5/ Per Hesselberg, AAU, 2011

/6/

http://www.esource.com/escrc/0013000000DP22YAAT/BEA1/OMA/OMA_BuildingEnvelope/OMA

/7/ <http://arbejdstilsynet.dk/da/laes-ogsaa/maling-og-vurdering-af-indeklimaet/23-ventilation.aspx>

/8/ DSS447:2013. Mekanisk ventilation i kontorer – mekanisk, naturlige og hybride ventilationssystemer.

KONTOR OG OFF. INSTITUTION (SKOLE)

SAMMENFATNING MELLEM INDHOLD AF PCB I INDELUFTE, MATERIALER,
TEMPERATUR, LUFTFUGTIGHED OG DIFFERENSTRYK

ADRESSE Grontmij A/S
Granskoven 8
2600 Glostrup

KONTAKT Majbrith Langeland
MLS@Grontmij.dk
Tlf: 9879 9876

Marie Kloppenborg Jensen
MKJN@Cowi.dk
Tlf: 5640 6715

SIDE 1/16

INDHOLD

1	Indledning og baggrund	2
2	Situationsplan og prøvetagningssteder	2
3	Udførte målinger	3
4	Vejrforhold på måletidspunktet	3
5	Resultater – Rum A	5
5.1	PCB i indeluft og materialeprøver	5
5.2	Luftskiftemålinger	6
5.3	Differenstryk, luftens temperatur og relative fugtighed	9
6	Resultater – Rum B	12
7	PCB i materialer og luft	15
8	Referencer	16

VERSION 01
UDGIVELSESDATO 4. oktober 2013
UDARBEJDET SOI (GRONTMIJ)
KONTROLLERET MLS (GRONTMIJ), JN (COWI)
GODKENDT MKJN (COWI)

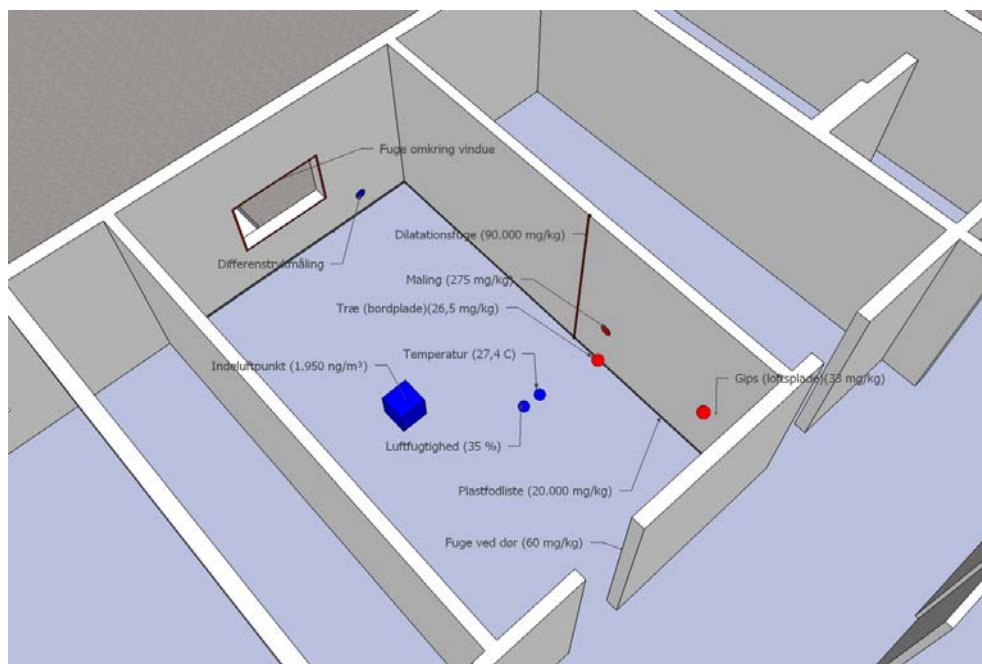
1 Indledning og baggrund

Denne case omfatter en bygning i kategorien ”Offentlige bygninger og institutioner” i den nationale kortlægning af PCB i bygninger i Danmark

2 Situationsplan og prøvetagningssteder

Ejendommen er en skole i 2 etager, en del af bygningen er uden kælder.

Til indeværende undersøgelse er der valgt et rum, som anvendes til undervisning (rum A) i hovedbygningen i stueplan, hvor undersøgelserne er udført. Rum A har et volumen på 158 m³. Der er et facadevindue i rummet, som svarer til halvdelen af den ene væg i rummet, dog undtaget den nederste meter, der er betonkonstruktion samt en dør til fordelingsgangen i hovedbygning. Der er ingen ventilation af rummet, der er ikke monteret passive ventiler i vinduesfacaden, der er sprække under døren i lokalet. I figur 1 vist en situationsplan over undervisningslokalet og resultater fra de udførte målinger i bygningsmaterialer og indeluft er indsat. Rum B er et undervisningslokal i den modsatte side af bygningen i stueplan og indeluftmålingerne i dette rum anvendes som supplerende data for udførte målinger i rum A



Figur 1. Målepunkter for koncentrationen i bygningsmaterialer og indeluften, luftens temperatur og relative fugtighed samt angivelse af resultat af målinger. På denne lokalitet er primærkilden fugematerialer indvendig i form af dilationsfuge. Plastfodliste vurderes at være en sekundær/tertiær kilde. Øvrige bygningsmaterialer vurderes at være sekundære eller terciære kilder med PCB.

3 Udførte målinger

Målinger er udført den 5. juni 2013. Der er lavet følgende målinger:

- Indeluftmålinger i rum A og rum B
- Materialeprøver af sekundære og tertiære materialer (5 stk. i hhv. rum A og rum B)
- Luftskiftemåling i rum A
- Differenstrykmåling hulmur/indeluft i stueplan (rum A og rum B)
- Datalogning af luftens temperatur og relative fugtighed under måleperiode i rum A og rum B
- Der er endvidere taget udtræk fra DMI om vejrforholdene på prøvetagningstidspunktet.

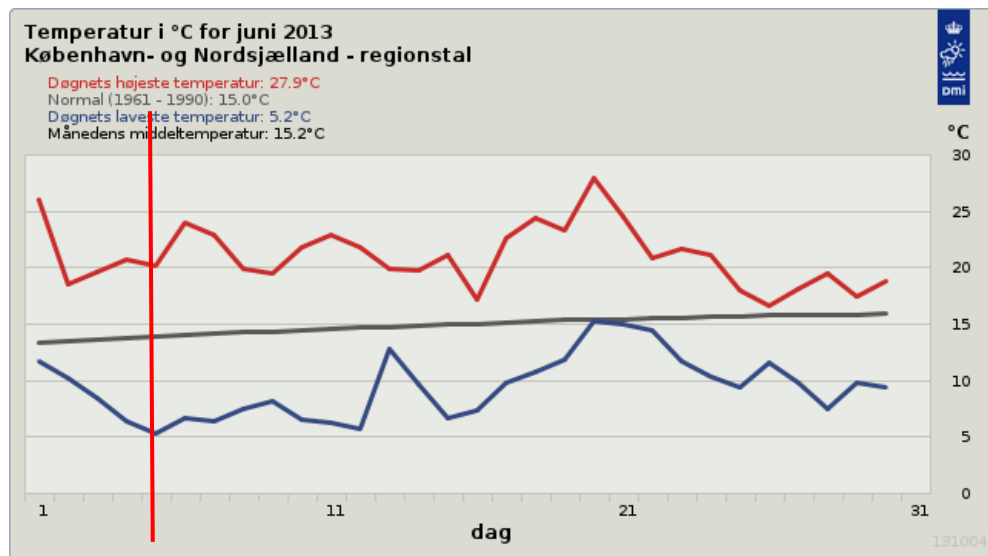
Metodebeskrivelse for målinger udført under den nationale kortlægning er fulgt. Metodebeskrivelser findes i hovedrapporten kapitel 4 samt bilag 1.

Indeluftmålingen i rum A er udført den 5. juni i tidsrummet 9:48 til 14:48, hvor bygningen ikke blev anvendt. I den samme periode er der målt luftskifte, differenstryk, temperatur og luftfugtighed i rummet. De 2 differenstrykmålere, måler trykforskellen mellem inde og hulrum. Efterfølgende er der lavet målinger på 5 materialeprøver i rummet. For placering af målepunkter henvises til figur 1. Dør og vindue i rum A har været lukket under hele prøvetagningen. Der har ikke været aktivitet i rummet under prøvetagningen. Prøverne af bygningsmaterialer er først udtaget efter gennemførelse af indeluftmålingerne.

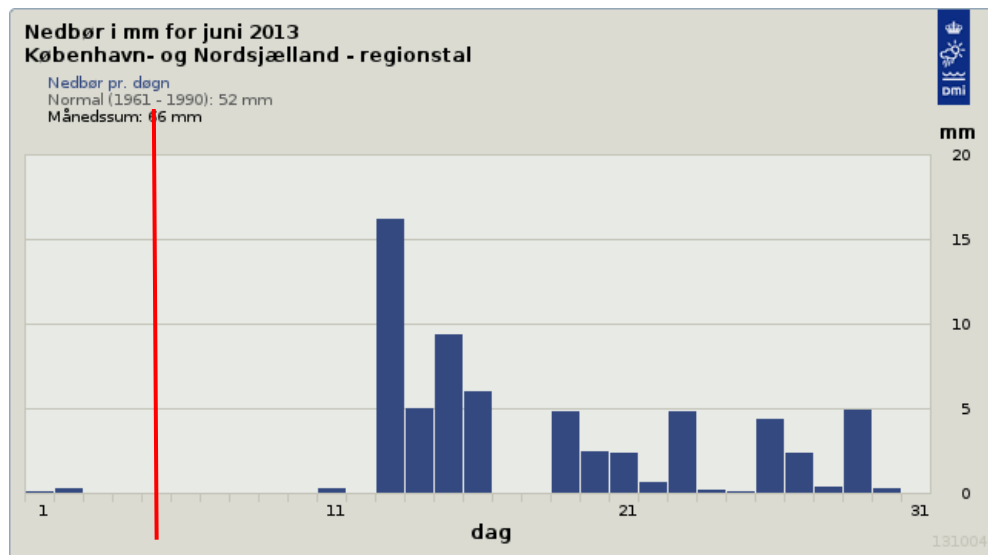
Målingerne i rum B er udført i samme tidsrum, der er målt differenstryk, luftens temperatur og relative fugtighed i rummet.

4 Vejrforhold på måletidspunktet

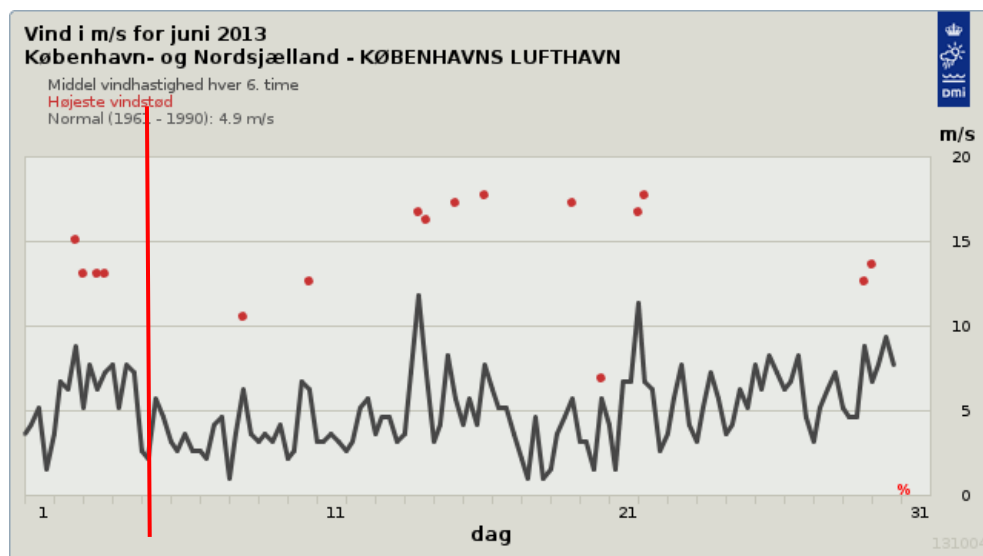
I figur 2-5 er indsat grafer som viser vejrforholdene i området omkring måleperioden. Der er tale om udtræk fra www.DMI.dk.



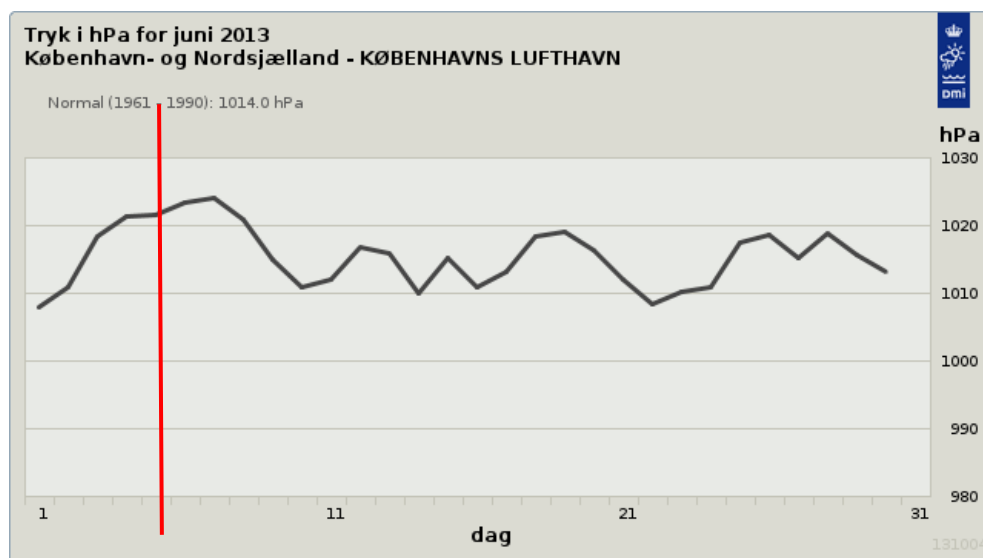
Figur 2 viser temperaturvariation på prøvetagningsdagen den 5. juni 2013



Figur 3 viser nedbør på prøvetagningsdagen den 5. juni 2013



Figur 4 viser vindhastighed på prøvetagningsdagen den 5. juni 2013



Figur 5 viser lufttrykket på prøvetagningsdagen den 5. juni 2013

Heraf fremgår det, at der i dagene op til prøvetagning ikke har været væsentlige vindtryk, og vindhastigheden har været lav, og at der ikke har været ændringer i lufttryk, som vil kunne have medført særlige meteorologiske forhold under prøvetagningen. Det vurderes derfor, at de udførte målinger i indeluft og bygningen er repræsentative for normale klimatiske forhold.

5 Resultater – Rum A

5.1 PCB i indeluft og materialeprøver

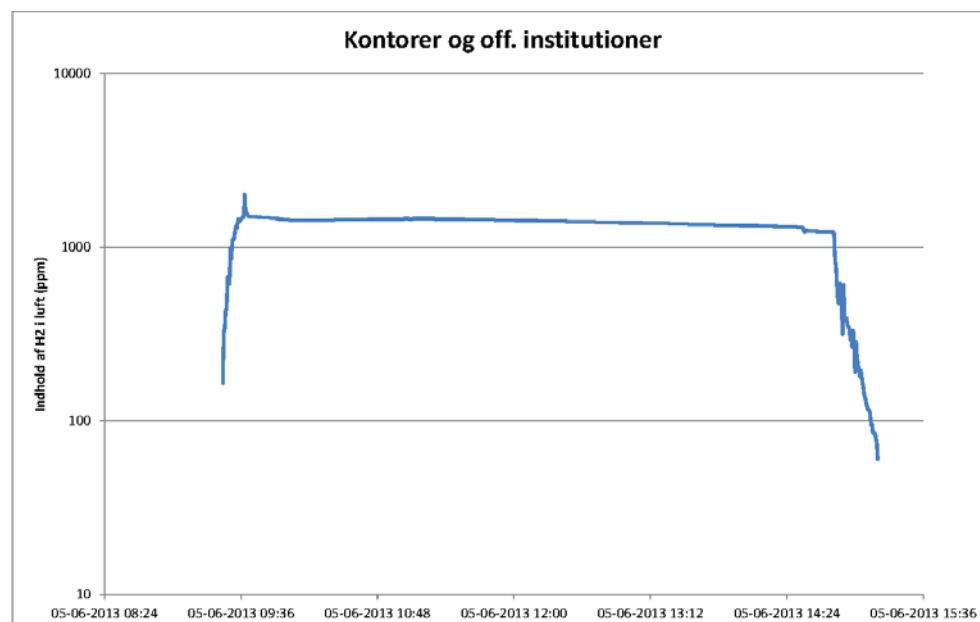
Indeluften i rum A har et indhold af total PCB på 1.950 ng/m³.

Der er lavet 5 materialeprøver i rum A. Analyseresultaterne er vist i figur 1. Med baggrund i materialeprøver udtaget i juni 2013, så vurderes indvendige fuger mellem betonelementerne (dilatationsfuger) at være primær kilden til PCB indholdet i indeluften. I indvendige fuger er der påvist koncentrationer mellem 80.000 - 140.000 mg/kg.

5.2 Luftskeftemålinger

Luftskeftet i bygningen påvirker PCB-koncentrationen i luften, og luftskeftet vil almindeligvis være forskelligt i alle bygningens rum. Flere faktorer påvirker luftskeftet, bl.a. temperaturdifferensen mellem inde og ude samt vindtrykket på bygningen, der kan forårsage, at der kan være forskel på måleresultater taget på læ- og luvside af bygningen. /1/

Der er udført måling af luftskeftet i rum A over ca. 5 timer. I figur 6 er den målte henfaldskurve for brint vist. Med baggrund i den udførte måling er der beregnet et luftskeft i rummet. Der er beregnet et luftskefte i rummet på 0,016 h⁻¹.



Figur 6. Målte henfald af brint efter udspredding og homogenisering i rum A. Luftskeftet beregnes ud fra kurvens hældning.

Rum A er et undervisningslokale med et areal på 42,7 m² og et rumvolumen på 158 m³ og med plads til 20 elever og én underviser. I tilfældet har hver person et volumen på 7,5 m³ til rådighed, hvor kravet er 6 m³ luft per person efter BR10. Desuden opfyldes også arealkravet per person på 2 m².

BR10 angiver også mindstekravet til ventilation som ved antallet af personer og gulvarealet ved den givne lofthøjde svarer til et luftskefte på 2,7 h⁻¹.

I den ny standard DS447:2013, hvori der angives retningslinjer for opnåelse af en acceptabel luftkvalitet ved mekanisk ventilation. Det oftest anvendte kriterium for acceptabilitet er, at en personandel på 20 % forventes at være "utilfredse" med

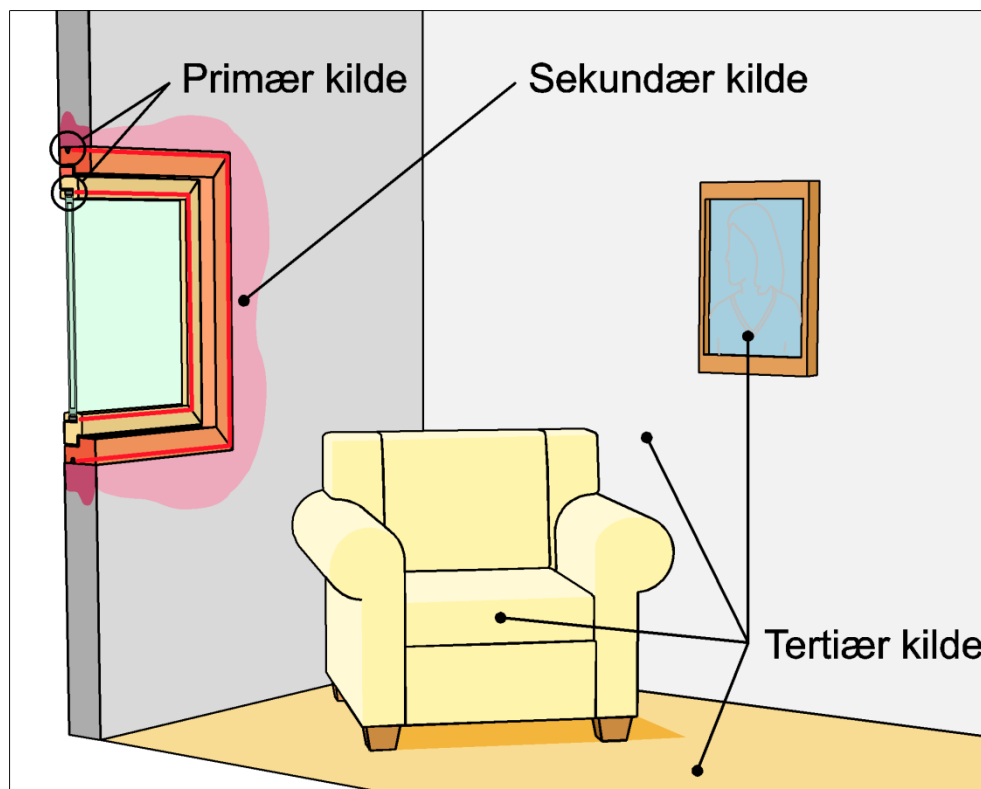
luftkvaliteten. Ved mekanisk ventilerede rum i et lavt forurenet rum og med det givne gulvareal er denne acceptabilitet opnået ved et luftskifte på $4,0 \text{ h}^{-1}$.

I casen er målt et lavere luftskifte, end hvad der normalt vil anvendes ved personbelastning af rummet. Udeluft tilføres ved åbning af vinduet, ved mekanisk eller naturlig ventilation samt ved infiltration gennem facaden. Rummet indeholder ikke mekanisk ventilation eller udeluftventiler, og vinduet er lukket som forudsætningen for målingen. Den tilførte luft udgøres af luft fra hosliggende rum samt udelufttilførslen, hvilket giver det lave luftskifte. Udelufttilførslen er bestemt af påvirkningen fra vind og temperaturdifferensen mellem ind og ude samt fra trykdifferenser skabt ved ventilationsanlæg i bygnings andre rum. På måletidspunktet er vindhastigheden lav og temperaturdifferensen mellem inde og ude er et par få grader, hvorved udeklimaets drivkræfter til at få tilført udeluft har også været meget lavt.

Det målte luftskifte på $0,016 \text{ h}^{-1}$ i nærværende undersøgelse, hvori er lufttilførslen fra øvrige rum også er medtaget, har derfor også et lavere udeluftskifte af, hvad det ville have været, hvis udeluftskiftet havde været målt med brug af bygningen. Den påviste primærkilde i form af indvendige fuger betyder, at der kan påvises PCB i indeluft i bygningen på de øvrige etageplan og tilbygninger. Dette er ikke målt ved disse undersøgelser.

I forhold til den påviste forurening med PCB i rummet, så betyder det, at så længe vinduet er lukket, så sker der kun en begrænset fortynding af den påviste PCB-forurening i rummet, og der vil være en spredning til den øvrige del af bygningen via de skiftende luftstrømninger i bygningen ved forskellige vejrforhold og ændringer i adfærden i bygningen under brug, samt ændringer i brugen af lokale ventilationsanlæg.

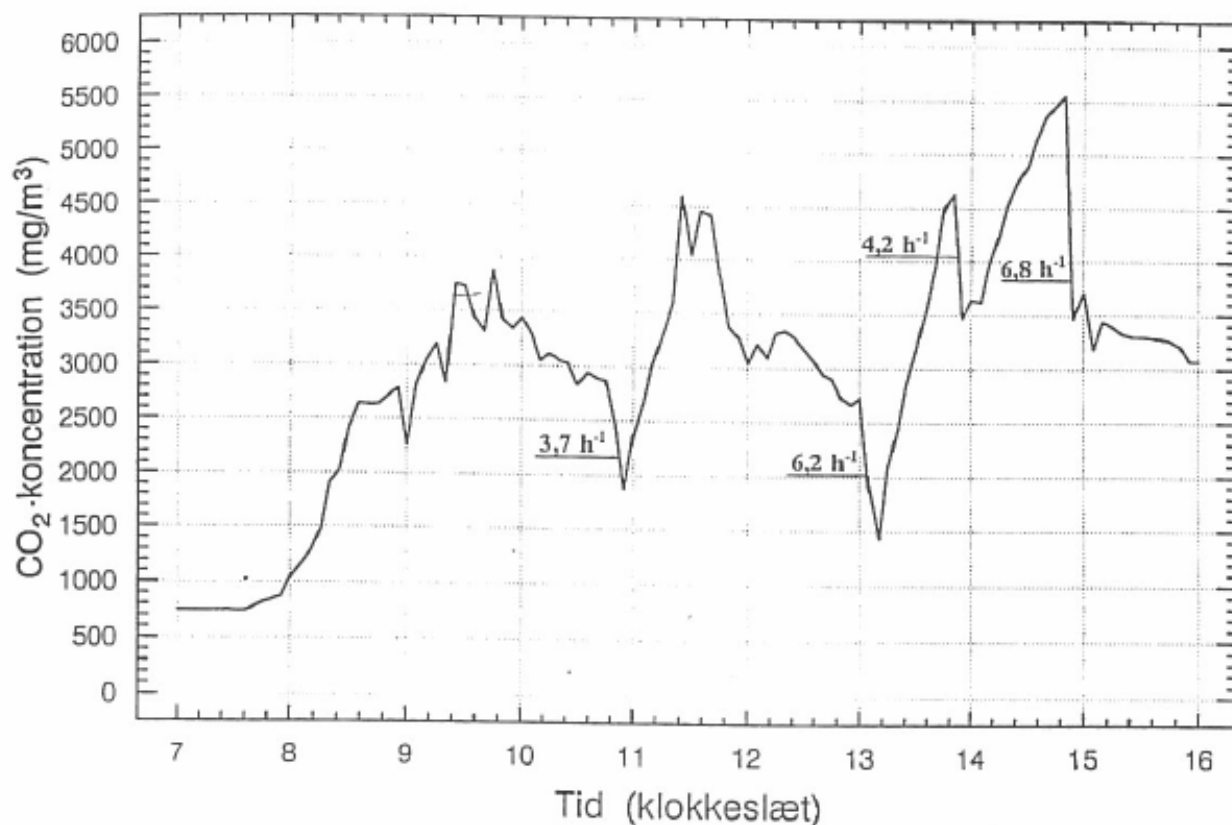
Det vil ligeledes betyde, at der er tertiære kilder i form af inventar i den øvrige del af bygningen, som er forurenet af PCB spredt i bygning via luften i forbindelse med den almindelige adfærd og luftudvekslingen i bygningen.



Figur 7 viser principskitse for primær, sekundær og tertiære kilder i en bygning med en primærkilde af indvendige fuger, her mangler fuger mellem beton elementer. SBI-anvisning 241

I /3/ fra 2001 er udeluftskiftet målt i 3 skoler ved tilsvarende metode som anvendt i disse undersøgelser, hvor luftskifte blev fundet til mellem $0,07-0,85\text{ h}^{-1}$. I samme undersøgelser blev luftskiftet målt til mellem $0,68-2,45\text{ h}^{-1}$ under brug af 3 lokaler i en bygning fra 1974. Disse undersøgelser viser, at der ved anvendelse af bygningen kan være et luftskifte som er mellem 3-10 gange højere, end uden brug af bygningen.

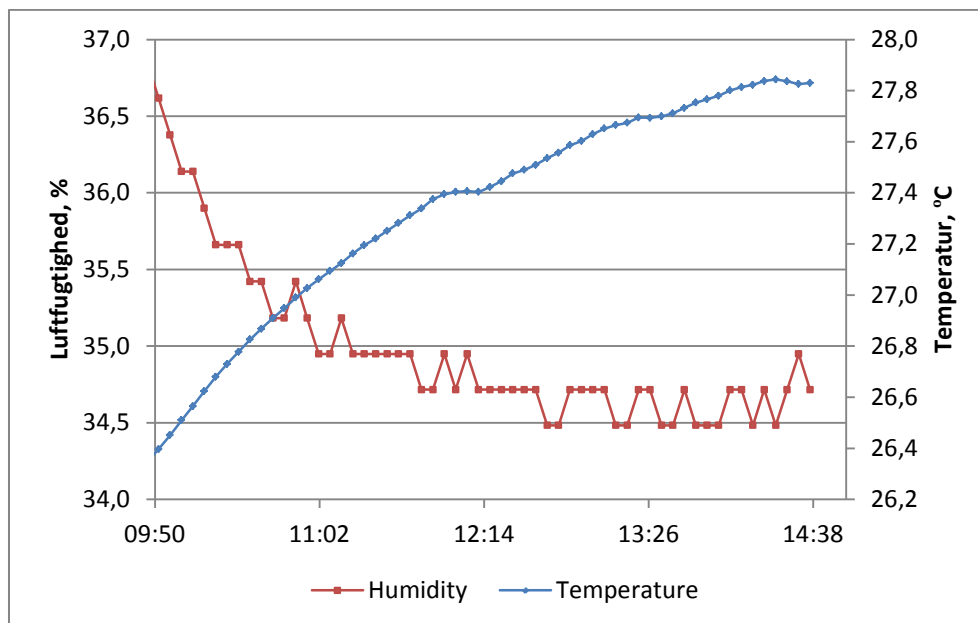
Nedenfor på figur 8 er CO_2 -koncentrationen (mg/m^3) målt i et undervisningsrum på et gymnasium, hvor der ikke var mekanisk ventilation /4, 5/. Eleverne møder lidt før kl. 8 om morgenen og CO_2 -koncentrationen bygges langsomt op. De steder på grafen, hvor koncentrationen har et markant fald, luftes der ud i undervisningslokalet ved åbning af vinduer og døren til gangområdet. På baggrund af faldets hældning er udeluftskiftet ved udluftningen estimeret. Det ses, at udeluftskiftet kortvarig i pauserne har været mellem $3,7\text{ h}^{-1}$ til $6,8\text{ h}^{-1}$, hvilket er et højt luftskiftet sammenholdt med kravene i BR10 på $2,7\text{ h}^{-1}$. Når vinduet lukkes igen stiger CO_2 -koncentrationen hurtigt igen. Arbejdstilsynet anbefaler 1.800 mg/m^3 ($= 1.000\text{ ppm}$), som er overskredet allerede efter 15 min. ind i første undervisningstime, og på nær 10 min. resten af dagen. En kraftig udluftning i pauserne har ikke ved pågældende undervisningsrum været tilstrækkeligt til at kunne nedbringe CO_2 -koncentrationen til det anbefalede niveau af Arbejdstilsynet. Det skyldes den høje persontæthed, hvor der ikke kan åbnes vinduerne under undervisningen, da den koldere udeluft forårsager træk og kuldenedfald om vinteren.



Figur 8. Registrering af CO₂-koncentrationen i et undervisningsrum på gymnasium over en skoledag (1000 mg CO₂/m³ luft svarer til 555 ppm CO₂ eller 0,0555 Vol % CO₂).

5.3 Differenstryk, luftens temperatur og relative fugtighed

Erfaringerne siger, at PCB-koncentrationen i indeluften stiger med stigende temperatur, idet congenernes damptryk stiger. Ved en undersøgelse er det fundet, at PCB-koncentrationen i indeluften fordobles ved en temperaturstigning fra 18 til 24 °C. En bygning vil have meget forskellig temperatur afhængig af solindfald, isolering, byggematerialer og arealet af f.eks. vinduer og døre. Det er derfor væsentligt ved vurdering af indeluftmålinger af have målinger i flere rum i bygningen over flere årstider.



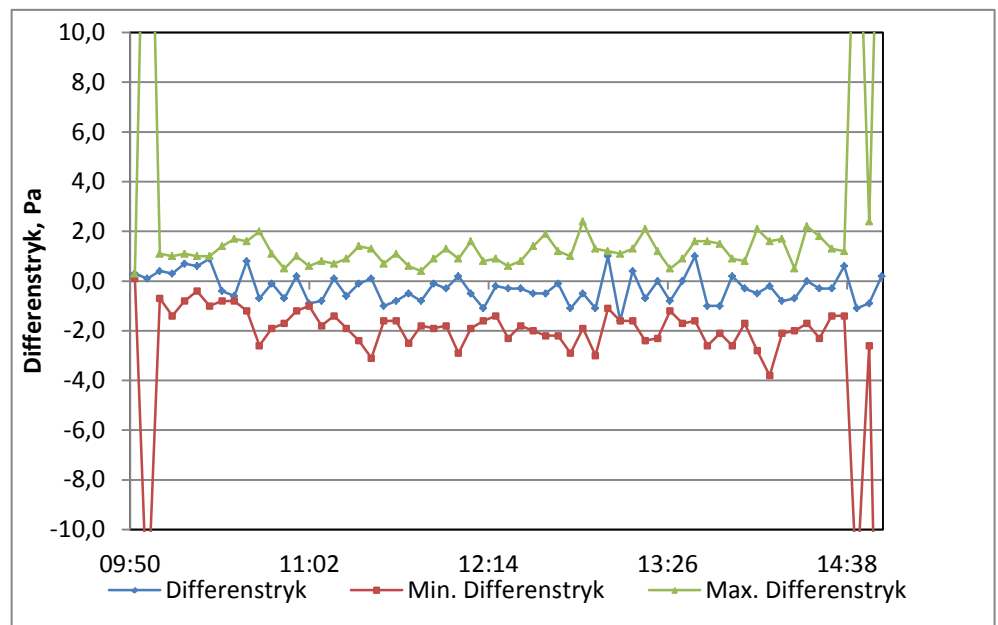
Figur 9 Variation af luftens temperatur og relative fugtighed under måling af indeluft.

På denne lokalitet kan det vises, at der er en temperaturvariation i rummet under gennemførelse af indeluftmålinger som vurderes at være forårsaget af solpåvirkning til rummet og af at døren lukkes.

Under målingen er ændringerne i både luftens temperatur og relative fugtighed beskudne, og det ses af figur 2-5, at der i måleperioden ikke har været egentlige væsentlige forandringer i f.eks. vejrligs forhold, der kan påvirke luftskiftet og trykpåvirkningerne.

På nuværende tidspunkt er der kun meget begrænset viden om, hvorvidt den relative fugtighed påvirker koncentrationen af PCB i indeluften /1/. Der ses en tendens til, at indeluftkoncentrationen på tilsvarende måde som ved temperaturvariationer falder ved faldende luftfugtighed.

Hvis målingerne af temperatur og luftfugtighed ses i en sammenhæng med det målte differenstryk i bygningen, så ses det af figur 8, at opstart af målinger og afslutning af målingerne i rum A, giver aktiviteten i bygningen en ændring i trykforholdene i bygningen. Den lille trykvariation i starten og slutningen af målingerne, skyldes ændringer i trykforhold på bygningen ved åbningen og lukningen af døre mm.



Figur 10. Trykdifferensmålinger over en måleperiode fra 9.48-14.48. Målt mellem indeluft og hulmur. Som det fremgår, er der svingende trykdifferens i bygningen i måleperioden, hvilket betyder at der er perioder med overtryk og perioder med undertryk i bygningen. Negativ trykdifferens betyder, at der er undertryk i boligen. Grøn kurve er den højeste målte positive trykdifferens i perioden mellem to dataregistreringer. Rød kurve er den højeste målte negative trykdifferens i perioden mellem to dataregistreringer. Blå kurve er trykdifferensen, der er registreret i måleperioden.

Den konvektive lufttransport i en bygning er styret af trykforskellene mellem to områder, idet lufttransporten vil foregå fra områder med højt tryk til områder med lavere tryk.

Hvis der er lavere tryk inde i en bygning end i hulrummet i bygningen, vil der være en luftstrømning mod stedet, hvor der måles lavt tryk, luften strømmer fra udeluft eller fra hosliggende rum ind mod målestedet.

Normalt forventes det, at der er et mindre overtryk i bygninger som er tætte og efterisoleret tilstrækkeligt.

5.3.1 Opsummering

Der er lavet målinger i rum A over temperatur og fugt. Resultaterne er samlet i figur 9. Som det fremgår af figuren, så har temperaturen varieret mellem ca. 26,4 og 27,3 °C og luftfugtigheden har varieret mellem ca. 26,5 % og 27,8 %. Generelt ses det, at temperaturen stiger igennem hele prøvetagningsperioden. Ligeledes ses der en tendens til, at luftfugtigheden er faldende gennem prøveperioden.

Oftest vil der kunne forventes en faldende luftfugtighed ved stigende temperatur.

I dette tilfælde er variationerne for både temperatur og fugt over måleperioden meget små, og det vurderes derfor at der i måleperioden ikke har været egentlige for-

ændringer i f.eks. vejrligs forhold, luftskiftet som i dette rum styres af tilførsel af luft fra hosliggende rum.

Luftfugtigheden skal normalt tilstræbes at være under 40-45 % i vinterperioden, og lavest muligt resten af året. Arbejdstilsynet beskriver et normalområde på mellem 20-65 %. Luftfugtigheden er relativt lavt i stueplan set i forhold til den målte temperatur i rum A, ved de gennemførte målinger.

Ved måling af differenstryk mellem inde og hulmur er der generelt målt et negativt differenstryk på -1 Pa. I starten og slutningen af perioden er differenstrykmålingerne mere ustabile, hvilket med overvejende sandsynligvis skyldes aktiviteter uden for rummet, hvor prøvetageren bevæger sig væk fra rummet og forlader bygningen. Luftskiftet i bygningen øges ved åbning af dør til rummet med henblik på nedtagning af udstyr, og det vil betyde ændringer i trykdifferensen i rummet. Der ses også et lille fald i temperaturen med en efterfølgende stigning, se figur 8 og 9 ovenfor.

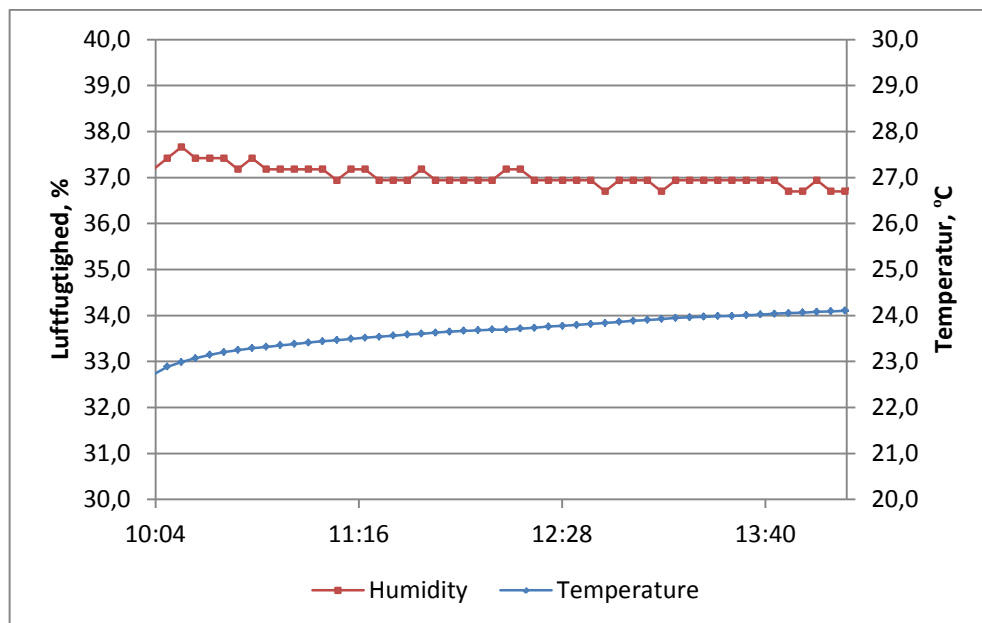
Negativt differenstryk angiver et undertryk i hulrummet i forhold til indeluften i bygningen. Det vil sige, at der er luftudveksling mod hulrummet fra bygningens øvrige rum og det vil sige at den akkumulerede luften i hulrummet i bygningen vil sprede sig mod højere tryk og dermed vil der være en luftstrømning ud af hulrummet mod undervisningslokalet.

6 Resultater – Rum B

Der er lavet målinger i rum B som er beliggende i stueplan over temperatur og fugt, differenstryk mellem inde og hulmur samt indeluftkoncentrationen af PCB. Der er ikke målt luftskifte. Der er ligeledes indendørs fuger i dette rum.

Der er påvist et indhold af PCB i indeluften på 1.800 ng/m³ i rum B.

Målingerne for temperatur og luftfugtighed fremgår af figur 11.

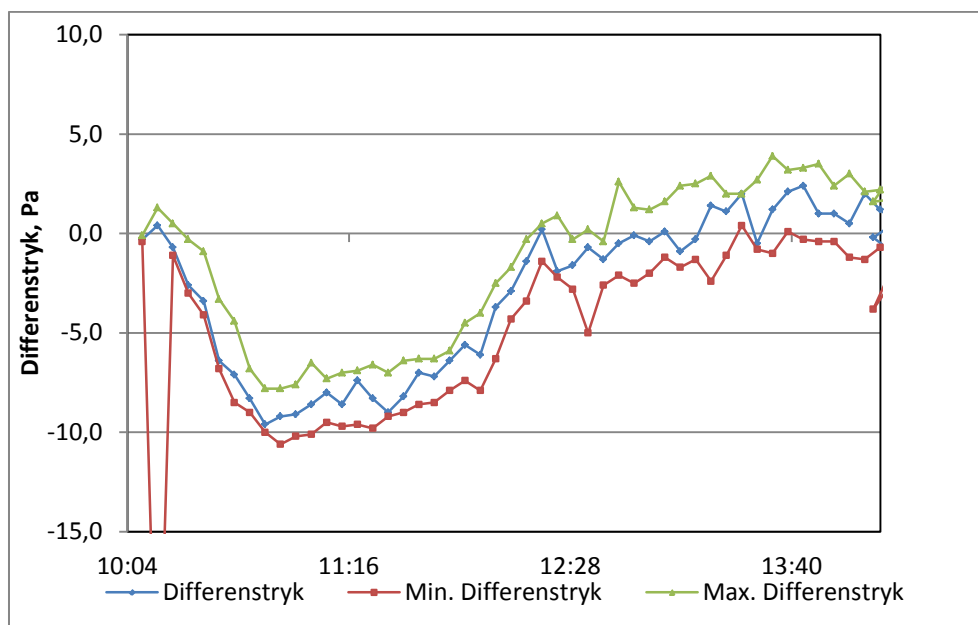


Figur 11. Variation af luftens temperatur og relative fugtighed under måling af indeluft i rum B.

Som det fremgår af figuren, så har temperaturen varieret mellem ca. 22,9 og 24,1 °C og luftfugtigheden varieret mellem ca. 36,7 og 37,7 %. Generelt ses det, at temperaturen er svagt stigende over prøveperioden, mens luftfugtigheden er svagt faldende gennem prøveperioden. Dette stemmer overens med, at der oftest vil kunne forventes en faldende luftfugtighed ved stigende temperatur.

Der er monteret en differenstrykmåler i stueetagen, der måler trykdifferensen mellem indeluft og hulmur. Det var nødvendigt at placere denne måler i stueetagen, da det ud fra bygningstegninger blev vurderet, at der ikke var hulrum i kælderplan.

Målinger af differenstryk i bygnings hulmur beskriver trykforholdene i bygningen på måletidspunktet. Hvis der er ændringer i differenstrykket på måleperioden, så kan der være tale om, at rummet udveksler luft med det et større luftvolumen, som er til stede i hulrummet. Differenstrykmålinger i hulumuren af en bygning er foretaget i læsiden af bygningen, idet ændringerne i differenstrykket vil være betydelige i luv-siden af bygningen. Hvis differenstrykmålingerne udføres i læsiden kan målingerne anvendes til at beskrive forholdene omkring opsamling af indeluftmålingen. Selvom resultaterne ikke er udført i rum A, så anvendes resultaterne til at fortælle om bygningens trykforhold under måleperioden. Resultaterne fremgår af figur 11.



Figur 12 Trykdifferensmålinger over en måleperiode fra 10.08-14.08. Målt mellem indeluft og hulrum i rum B stueplan. Som det fremgår, er der svingende trykdifferens i bygningen i måleperioden, hvilket betyder at der er perioder med overtryk og perioder med undertryk i bygningen. Negativ trykdifferens betyder, at der er undertryk i boligen. Grøn kurve er den højeste målte positive trykdifferens. Rød kurve er den højeste målte negative trykdifferens. Blå kurve er trykdifferensen, der er registreret i måleperioden.

Differenstrykket mellem indeluften og luften i hulmuren i rum B, ligger mellem -11 og 4 Pa. Hvis differenstrykket er positivt er der overtryk i indeluften i forhold til hulmuren. I starten af perioden (fra ca. 10:10 til ca. 10:50) falder differenstrykket fra ca. 1 Pa til ca. -11 Pa. I den resterende del af perioden stiger differenstrykket igen fra ca. -11 til ca. 4 Pa. Der er et negativt differenstryk i perioden fra kl. 10:20 til ca. 12:40. Der er dog i hele perioden udsving der giver negative differenstryk.

Det betyder, at der er en luftstrømning fra ydervæggen og ind i rummet i ca. halvdelen af måleperioden, hvorimod der i den sidste del af måleperioden er en luftstrømning væk fra rummet.

Positivt differenstryk angiver et overtryk i indeluften i forhold til hulmuren. Det vil sige, at der er potentiale for en transport af flygtig PCB ind i vægmaterialeerne fra indeluften. Der er et spring i differenstrykmålingerne i hulmuren i rum B, som tyder på, at der påbegyndes en aktivitet som påvirker trykforholdene i bygningen. Det vurderes at der formodentligt er tale om ventilationsanlægget i baderum i et hosliggende rum som igangsættes, således der opstår et undertryk i bygningen i området. Der kan også være tale om ændringer i vindtrykket på bygningen. Den store ændring i differenstrykmålingerne i mellem hulrum og indeluften i rum B betyder, at der i den første del af måleperioden er en luftstrømning fra hulrummet til indeluften og i den anden del af måleperioden at der er en luftstrømning mod hulrummet fra indeluften.

7 PCB i materialer og luft

Der er påvist en primær kilde af i form af indvendige fuger mellem betonelementer i bygningen i stueplan. Øvrige bygningsmaterialer vurderes at være sekundære eller tertiære kilder med PCB.

Koncentrationsniveauet i malingen er mellem 80.000 -140.000 mg/kg PCB. Der er påvist koncentrationer på 20.000 mg/kg i plastfodliste, som tolkes som en sekundær kilde. Der er påvist 275 mg/kg i maling som vurderes at være en sekundær kilde. Der er påvist 26,5 mg/kg i træbordplade, 33 mg/kg i gipsplade og 60 mg/kg i indvendig fuge ved dør, som tolkes som værende tertiære kilder, hvor koncentrationen skyldes udveksling med PCB forureningen i indeluftmålingen.

Der er påvist indhold i indeluft på 1.950 ng/m³ PCB total, i undervisningslokalet. Ved den udførte indeluftmåling er der målt temperaturer på mellem ca. 26,4 og 27,3 °C.

På grund af den høje temperatur ved gennemførelse af PCB-koncentrationen i luft, så vurderes det at der kan opnås relativ god effekt af sænkning af temperaturen til 20-22 °C. Det vurderes at sænkning af temperaturen vil kunne ændre de påviste koncentrationsniveauer til ca. 1.000 ng/ m³.

Målingen er gennemført i bygningen, mens der ikke var ophold i bygningen. Det vides fra 12 måleserier, hvor der er foretaget målinger i både anvendelsestiden og uden for anvendelsestiden af bygningerne, at koncentrationen kan variere mellem 2-5 gange. Det betyder, at den målte koncentration kan forventes at variere i intervallet ca. 500 -3.900 ng/m³. Vurderet på baggrund af de to mest almindelige variationer der kan forekomme i bygningen.

Det vurderes, at der generelt i denne bygning vil kunne påvises indeluftkoncentrationer i ovennævnte interval, idet udveksling i bygningen med udeluften er meget begrænset og der primært vil være en udveksling med hosliggende rum.

Det skønnes, at luftskiftet i bygningens stueplan vil være i størrelsesorden 0,016h⁻¹ op til 0,16 h⁻¹ baseret på undersøgelser udført af Gunnarsen, 2001.

Det målte luftskifte på 0,016 er ekstremt lavt, hvilket er forårsaget af meget lille vindhastighed og temperaturdifferens mellem ude og inde.

Der er uens luftudveksling i rum A og B, hvilket vurderes at skyldes et lokalt ventilationsanlæg i baderum. Udsugningen af luft påvirker luftstrømningen i rum B, således at det kan dokumenteres at der vil være et større hulrum i denne bygning som må forventes at have tilsvarende koncentrationer som påvist i indeluften i rum A og rum B, i størrelsesorden 1.800-1.950 ng/m³.

Hvis der blev etableret et luftskifte på mere end 2,7 h⁻¹, så vurderes det, at der vil kunne opnås en reduktion af indeluftkoncentration på mellem 2-5 gange i størrelsesorden 400-600 ng/ m³.

8 Referencer

- /1/ <http://anvisninger.dk/Publikationer/Sider/Undersoegelse-og-vurdering-af-pcb-i-bygninger.aspx>
- /2/ Afhjælpningstiltag ved forhøjede indeluftkoncentrationer af PCB. Haven og Langeland, 2011
- /3/ Skoleundeersøgelsen i København. Indeklimaundersøgelse af klasseværelser og lærerværelser i 20 skoler. Internt rapport. Statens Byggeforskningsinstitut, Nielsen, J.B. 1998.
- /4/ Skolers ventilation skal forbedres. Valbjørn, O., Nielsen, J.B. og Meyer, H. VVS, nr. 15. 1998.
- /5/ Reduceret energiforbrug til skoleventilation. En interventionsundersøgelse. Lars Gunnarsen. By og Byg Resultater 04. Statens Byggeforskningsinstitut. 2001.

Bilag 4 Eksempel på analyse- og undersøgelsesrapport

Xxxx vej xx
9999 By
Att: bygningsejer

ADRESSE Grontmij A/S
Granskoven 8
2600 Glostrup

KONTAKT Majbrith Langeland
MLS@Grontmij.dk
Tlf: 9879 9876

Marie Kloppenborg Jensen
MKJN@Cowi.dk
Tlf: 5640 6715

SIDE 1/8

Resultat af undersøgelse for PCB i byggematerialer

Som aftalt har vi undersøgt følgende bygning/bygninger for indhold af PCB i udvalgte byggematerialer:

- > Bygning, Xxxx vej xx, 9999 By

Resultaterne af undersøgelserne fremgår af den/de vedlagte bygningsrapporter.

Der er påvist indhold af PCB i en eller flere af de undersøgte materialer ved de gennemførte undersøgelser i bygning/bygningerne

- > Bygning, Xxxx vej xx, 9999 By

Energistyrelsen tilbyder at gennemføre undersøgelser for indholdet af PCB i indeluften i følgende bygning/bygninger

- > Bygning, Xxxx vej xx, 9999 By

Undersøgelserne af indeluften for indholdet af PCB er uden omkostninger for bygningsejeren. Undersøgelserne kommer til at forløbe over en periode fra 8. april 2013 til 1. juni 2013.

Af hensyn til gennemførelse af indeluftmålingerne vil vi gerne have en tilbagemelding fra jer om I ønsker at deltage i undersøgelsen, gerne på mail. Hører vi ikke fra jer inden 22 marts 2013 vil I blive kontaktet af den relevante områdeleder:

Søren Kreilgaard
Grontmij Aalborg
Direkte tlf: 9879 9880
Mobil tlf: 2723 9875
Mail: SOI@Grontmij.dk
Område leder for Region Nord og Midtjylland
eller

Tine Kyed
Cowi, Vejle
Direkte tlf: 5640 6478
Mobil tlf: 2019 8449
Mail: TUJ@CowI.dk
Område leder for Region Syd og Sjælland

I vil herefter blive kontaktet for nærmere information om undersøgelses omfang, indhold samt koordinering i forhold til tidsplan og mulighed for gennemførelse af undersøgelserne i jeres bygning/bygninger.

Undersøgelsen

Ved den udførte undersøgelse er der foretaget en indledende bygningsgennemgang for registrering af potentielle PCB-kilder i bygningen. Resultaterne af bygningsgennemgangen fremgår af bilag 1 for den enkelte bygning.

Efterfølgende er der udtaget prøver af udvalgte bygningsdele til analyse for indhold af PCB. Prøvetagningen har omfattet følgende materialer:

- Fugemasser: Alle fleksible fugemasser anvendt såvel indendørs som udendørs.
- Maling: Gulvmaling, korrosionsbeskyttende maling (f.eks. på metaldøre), udendørs facademaling (f.eks. altaner og svalegange).
- Gulvmasser: Skridsikre gulvbelægninger, selvnivellerende gulvmasser og gulvklæber under f.eks. linoleum.

Termoruder fra perioden ca. 1950 – ca. 1980 kan erfaringsmæssigt indeholde PCB. Af hensyn til bygningens fortsatte drift er der ikke udtaget prøver af termoruder, da der er tale om destruktiv prøvetagning.

Tolkning af resultater

Analyseresultater for alle analyserede prøver fremgår af den/de vedlagte bygningsrapporter i bilag 2. Resultaterne er både angivet for syv udvalgte PCB-congener (Sum af PCB-7) og for det beregnede totalindhold af PCB (PCB-total). Rapporterne omfatter endvidere en beskrivelse og et foto af prøvetagningsstederne. Det påviste koncentrationsniveau af PCB kan ses nederst under foto som angiver prøvetagningsstedet.

Når resultaterne skal sammenlignes med grænseværdierne i den følgende tabel om betydningen af de påviste koncentrationsniveauer af PCB bruges værdien for PCB-total. Hvis der ikke er angivet et analyseresultat betyder det, at der ikke er konstateret PCB i den analyserede prøve.

Hvad betyder de påviste koncentrationsniveauer?

Koncentrationsniveauerne kan opdeles i nedenstående grupper

Totalindhold af PCB, mg/kg	Hvad betyder det?	Tolkning
< 0,1	Der er ikke påvist PCB i de undersøgte prøver	De undersøgte bygningsmaterialer vurderes at være uden PCB
0,1 – 1,0	Der er påvist spor af PCB i de undersøgte prøver	De undersøgte bygningsmaterialer vurderes at være uden PCB af betydning, idet der kun er fundet spor af PCB i prøverne. Der har med stor sandsynlighed ikke oprindeligt været anvendt PCB i bygningsmaterialet, men spor af PCB vurderes at kunne stamme fra andre kilder i omgivelserne eller fra bygningsmaterialer som ikke findes i bygningen mere eller tidligere aktiviteter i bygningen. Der kan f.eks. være tale om påvirkning fra elektriske apparater, hvor der har været anvendt PCB. Der er f.eks. viden om, at der i kondensatorer, som anvendes i lysstofarmaturer, fra perioden 1950-1987 kan være anvendt PCB.
1,0 – 10	Der er påvist PCB i de undersøgte prøver	De undersøgte bygningsmaterialer vurderes at indeholde PCB, der er dog ikke tale om et højt niveau. Der har med stor sandsynlighed ikke været anvendt PCB i bygningsmaterialet oprindeligt, men spor af PCB vurderes at kunne stamme fra andre kilder i omgivelserne eller fra bygningsmaterialer som ikke findes i bygningen mere eller tidligere aktiviteter i bygningen.
10 – 50	Der er påvist PCB i de undersøgte prøver	De undersøgte bygningsmaterialer vurderes at indeholde PCB. Der har sandsynligvis ikke været anvendt PCB i bygningsmaterialet oprindeligt. PCB indholdet vurderes at kunne stamme fra andre kilder i omgivelserne eller fra bygningsmaterialer som ikke findes i bygningen mere eller tidligere aktiviteter i bygningen. Hvis der er tale om maling eller gulvmasser er det sandsynligt, at der er en kilde som indeholder PCB i omgivelserne eller at der tidligere har været PCB i omgivelserne. Hvis der er tale om fugemateriale, så er det sandsynligt at der tidligere har været en PCB kilde i omgivelserne eller at der f.eks. i termoruder er anvendt PCB.
> 50	Der er påvist PCB i de undersøgte prøver	De undersøgte bygningsmaterialer vurderes at indeholde PCB. Koncentrationsniveauet er over grænseværdien for farligt affald som for PCB er på 50 mg/kg. Hvis koncentrationsniveauet er over 50 mg/kg, så er der tale om betydende PCB kilder i bygningen. Det vurderes, at der kan være tale om bygningsmaterialer hvor der oprindeligt har været anvendt PCB i bygningsmaterialet. PCB indholdet kan også stamme fra andre kilder i omgivelserne som indeholder PCB eller fra bygningsmaterialer som ikke findes i bygningen mere eller tidligere aktiviteter i bygningen. Hvis der er tale om maling eller gulvmasser er det sandsynligt at PCB har været anvendt i bygningsmaterialet oprindeligt. Hvis der er tale om fugemateriale, så er det sandsynligt at der har været anvendt PCB i fugematerialet.

Der findes i dag ingen generel lovgivning, som påbyder bygningsejere at fjerne PCB-holdige bygningsdele. Skal bygningen derimod renoveres eller nedrives, er der krav om at bygningen undersøges for, om der kan være anvendt PCB-holdige materialer - med henblik på korrekt håndtering af affaldet jf. en ændring af affaldsbekendtgørelsen pr. 1. januar 2013.

PCB i bygningsdele kan sprede sig til indeluften og andre materialer i bygningen ved afdampning eller ved at vandre ind i tilstødende materialer. Mennesker optager PCB gennem kosten, ved berøring af PCB holdige materialer eller ved indånding af PCB-dampe i indeluften.

Selvom der er PCB i boligen, er det ikke givet, at det er forbundet med en forøget helbredsrisiko. Sundhedsstyrelsen har udmeldt aktionsværdier for PCB i indeluften, dvs. PCB-indeluftsværdier, som kan relateres til forøgede helbredsrisici. Der kan læses mere om Sundhedsstyrelsens aktionsværdier på www.pcb-guiden.dk/aktionsvaerdier-indeluft.

Spredningen til indeklimaet er meget forskellig fra bygning til bygning og afhænger bl.a. af kildens placering og omfang samt spredningsvejene i bygningen.

Der er ikke målt indhold af PCB i indeluft ved disse undersøgelser.

Det er Grontmij/Cowis erfaring, at påvisning af PCB i en bygning i forskellige bygningsmaterialer ikke nødvendigvis er ensbetydende med, at der findes PCB i indeluften i niveauer, som er over Sundhedsstyrelsens aktionsniveauer.

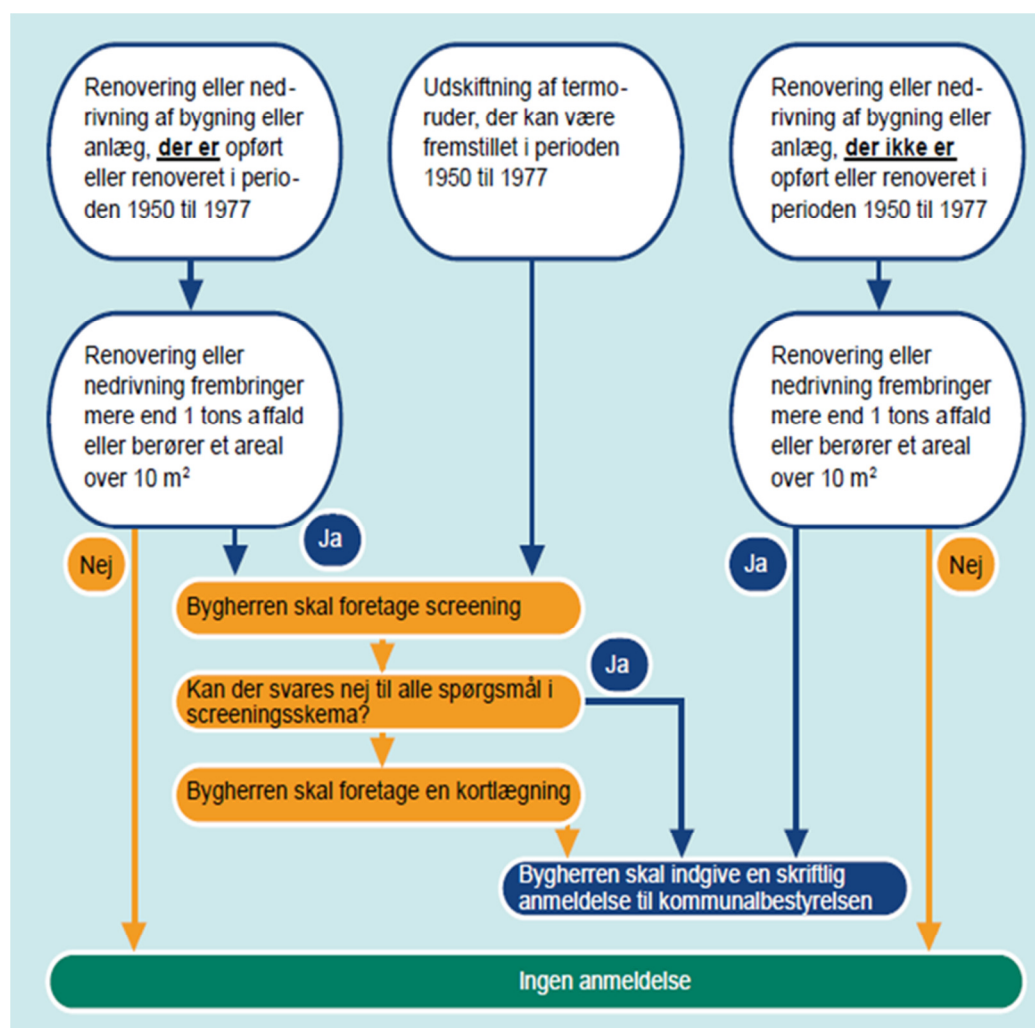
Det er væsentligt om PCB indholdet er påvist i indvendige eller udvendige bygningsmaterialer. Indvendige PCB kilder har størst indflydelse på indholdet i indeluften.

Det er Grontmij/COWIs erfaring, at Sundhedsstyrelsens aktionsværdier kun overskrides i en del af de bygninger, hvor der er anvendt PCB i byggematerialerne. Risikoen for spredning til indeklimaet er størst, hvis der findes høje PCB-koncentrationer (over 50 mg PCB-total/kg) i indvendige PCB-kilder /4/.

Det er bygningsejerens ansvar, at bygningen ikke er sundhedsfarlig at bo eller opholde sig i. Hvis der er konstateret koncentrationer af PCB på over 50 mg PCB-total/kg i indvendige bygningsdele kan det være en god idé, at få undersøgt om der er en påvirkning af indeluften med PCB. Det kan ikke helt afvises, at der også ved lavere koncentrationer kan findes PCB i koncentrationer over 300 ng PCB/m³, men det er med den foreliggende viden ikke særlig sandsynligt.

Håndtering af PCB-holdigt bygge- og anlægsaffald

Hvis der skal foretages ombygning, renovering eller nedrivning i bygninger, hvor der er påvist PCB, skal der foretages en vurdering af, om indholdet af PCB har en betydning for det arbejde som skal udføres. Hvis der er påvist PCB, så skal der tages stilling til arbejdsmiljø, og hvordan eventuelt affald skal håndteres, jf. affaldsbekendtgørelse af 1.1.2013./5/.



Kilde: Dansk Byggeri

Ifølge regler i EU skal affald som indeholder eller er forurenet med blandt andet PCB som hovedregel destrueres, omdannes irreversibel eller deponeres underjordisk.

Som følge heraf har Miljøstyrelsen angivet vejledende grænseværdier og retningslinjer for håndtering af affald med et PCB indhold på 0,1-50 mg/kg /1/. Materialer med indhold under 50 mg/kg skal afleveres til et modtageanlæg, som kommunen har godkendt til modtagelse af PCB-holdigt affald. Grænseværdierne

er angivet som PCB-total, fremkommet ved måling af de 7 udvalgte congenere, der skal indgå i analysen i henhold til standarden, ganget med en korrektionsfaktor på 5.

For materialer der har et indhold af PCB under 0,1 mg/kg skal der ikke tages særlige hensyn i forbindelse med ombygning, renovering eller nedbrydning. Materialer med et indhold af PCB <0,1 mg/kg skal ikke udsorteres fra de øvrige materialer.

Affald med et indhold af PCB over 0,1 mg/kg skal udsorteres fra det øvrige affald.

Brændbare materialer med PCB-koncentrationer i intervallet 0,1-50 mg/kg kan destrueres som ikke-farligt affald på forbrændingsanlæg, der er godkendt til forbrænding af PCB-holdigt affald. Bemærk der kan være krav om neddeling af emner større end 1 m. Det er væsentligt at undersøge, hvordan affaldet kan bortskaffes til godkendt modtager.

Ikke-brændbare materialer med PCB-koncentrationer i intervallet 0,1-50 mg/kg TS kan deponeres ved godkendte modtager efter Miljøstyrelsens vejledning jf. tabel ovenfor.

Affald der indeholder PCB eller rester af PCB, skal markeres med en affaldskode for PCB uanset at PCB-indholdet er under grænseværdien på 50 mg/kg.

Der skal indgives en anmeldelse til kommunen vedrørende håndtering af affald. For nærmere beskrivelse se vedlagte bilag 1.

Arbejds miljø

Ved arbejde med PCB-holdige materialer skal arbejdstilsynets regler overholdes /2/. Reglerne indebærer bl.a., at der skal anvendes særlige værnemidler, så som handsker, dragter og åndedrætsværn. Asbestforeningen har udarbejdet en generel vejledning til PCB-arbejder, som også indeholder en vejledning i anvendelse af værnemidler /3/.

Hvor kan der findes mere viden?

I forbindelse med indgåelse af aftale om undersøgelse af Deres bygning/bygninger er der fremsendt materiale med generelle informationer om PCB. Der kan fås flere informationer på PCB-guiden.dk.

Referencer

/1/ www.pcb-guiden.dk

/2/ At-intern instruks nr. 3/2011, PCB i bygninger

/3/ Asbestforeningen, PCB-vejledning, http://asbest.dk/gule-vejledning-c-6_2.html

/4/ Erhvervs- og Byggestyrelsen og Socialministeriet, Afhjælpningstiltag ved forhøjede PCB-niveauer i indeklimaet. udarbejdet af Grontmij | Carl Bro, 10. maj 2011.

/5/ Dakofa, <http://www.dakofa.dk/NogH/>

Ved spørgsmål til undersøgelsen og resultaterne kan en af nedenstående kontaktes på telefon eller mail.

Region Nordjylland:

Søren Kreilgaard
Grontmij Aalborg
Direkte tlf: 9879 9880
Mobil tlf: 2723 9875
Mail: SOI@Grontmij.dk

Region Sjælland og Hovedstaden

Andreas Rose
Grontmij Glostrup
Direkte tlf: 4348 4624
Mobil tlf: 2723 4624
Mail: AFR@Grontmij.dk

Region Syddanmark:

Rune Haven
Grontmij Kolding
Direkte tlf: 8228 1479
Mobil tlf: 2723 1479
Mail: RUH@Grontmij.dk
Med venlig hilsen

Region Midtjylland

Tine Kyed
Cowi Vejle
Direkte tlf: 5640 6478
Mobil tlf: 2019 8449
Mail: TUJ@Cowi.dk

Majbrith Langeland

Mail: Majbrith.Langeland@grontmij.dk

Telefon: +45 9879 9876/2723 9876

Bygningsgennemgang

Konsortiet Grontmij/Cowi

Bygning:

Xxx vej xx, 9999 By, Areal: 61

Bygningsadresse:

Vej og husnr.:	Xxxx vej xx	Postnr. og by:	9999 By
----------------	-------------	----------------	---------

Billeder af bygning er vedlagt som bilag A.

Bygningsgennemgang gennemført:

Dato:	04-12-2012 10:37:00	Medarbejder:	Mj
-------	---------------------	--------------	----

Tjekliste til bygningsgennemgang:

Er der udført interview?	N	9
Hvis ja, skriv navn og tilhørsforhold på person?		9
Er der foretaget PCB relevant renovering?	N	10
Hvis ja, hvor mange?	0	10
Årstal for den mest omfattende renovering?		11
Beskrivelse af omfang?		11
Årstal for den næst mest omfattende renovering?		28
Beskrivelse af omfang?		28
Ved 3 eller flere relevante renoveringer, noteres yderligere årstal og beskrivelser af omfang her.		60
Er der elastiske fuger ved vinduer indendørs?	N	12
Hvis ja, udfyld med omfang?		12
Er der elastiske fuger ved vinduer udendørs?	N	13
Hvis ja, udfyld med omfang?		13
Er der elastiske fuger ved døre indendørs?	N	14

Xxxx xx, 9999 By, Areal: 61, ENS_RegXxx

Udskrevet d. 24-04-2013 08:52

Side 1

Bygningsgennemgang

Konsortiet Grontmij/Cowi

Hvis ja, udfyld med omfang?		14
Er der elastiske fuger ved døre udendørs?	N	15
Hvis ja, udfyld med omfang?		15
Er der elastiske fuger ved betonelementer indendørs?	N	16
Hvis ja, udfyld med omfang?		16
Er der elastiske fuger ved betonelementer udendørs?	Y	17
Hvis ja, udfyld med omfang?		17
Er der betonmaling indendørs?	Y	18
Hvis ja, udfyld med omfang?		18
Er der betonmaling udendørs?	Y	19
Hvis ja, udfyld med omfang?		19
Er der termoruder?	Y	20
Hvis ja, hvornår er de produceret?		20
Hvem er producenten?	Ikke angivet.	20
Er der udskiftet termoruder?	N	61
Er der skridsikre/selvnivellerende gulve der kan indeholde PCB?	N	21/64
Hvor?		64
Er der gulvklæber, der kan indeholde PCB, under gulvbelægning?	N	22/65
Hvor?		65
Er der andre potentielle PCB-kilder?	Y	23
Hvis ja, hvilke?	Maling på radiator, faldstamme og gelænder.	23
Er der viden om skjulte PCB-kilder der ikke prøvetages fra?	N	24
Hvis ja, hvilke?		24
Er der aktiv ventilation?	Nej	25
Er der rum, der ikke var mulige at besigtige?	N	62

Bygningsgennemgang

Konsortiet Grontmij/Cowi

Hvis ja, hvilke og hvorfor?		62
Eventuelle bemærkninger		63

SITE_NAME:

ENS_RegXxx

LOC_NAME:

Xxxx vej xx, 9999 By, Areal: 61

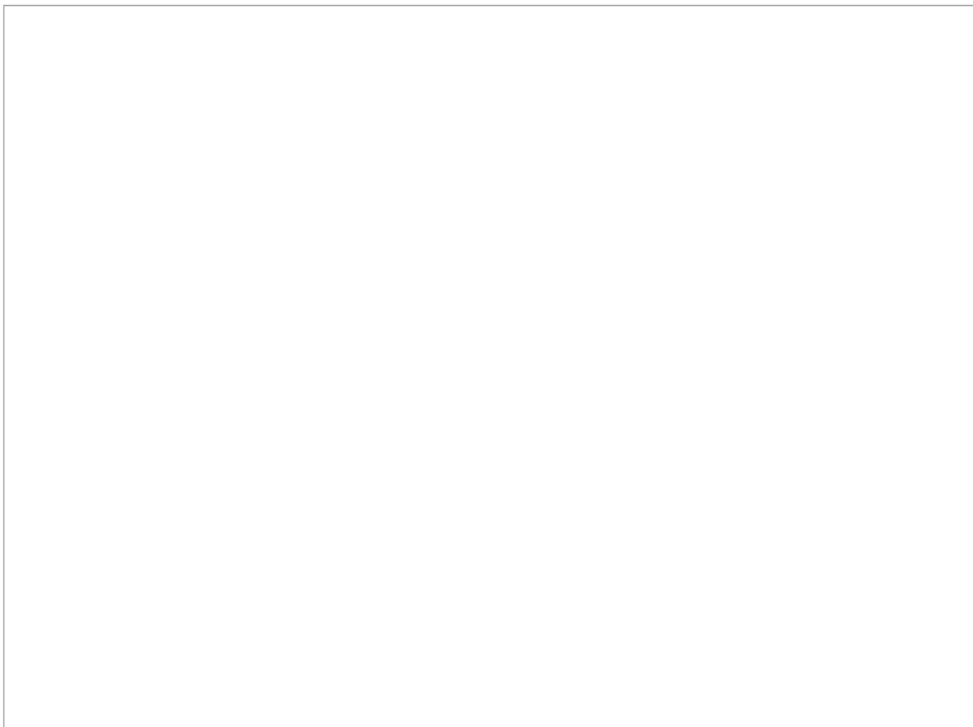
Vej og husnummer:

Xxxx vej xx

Postnummer og by:

9999 By

Evt. beskrivelse:



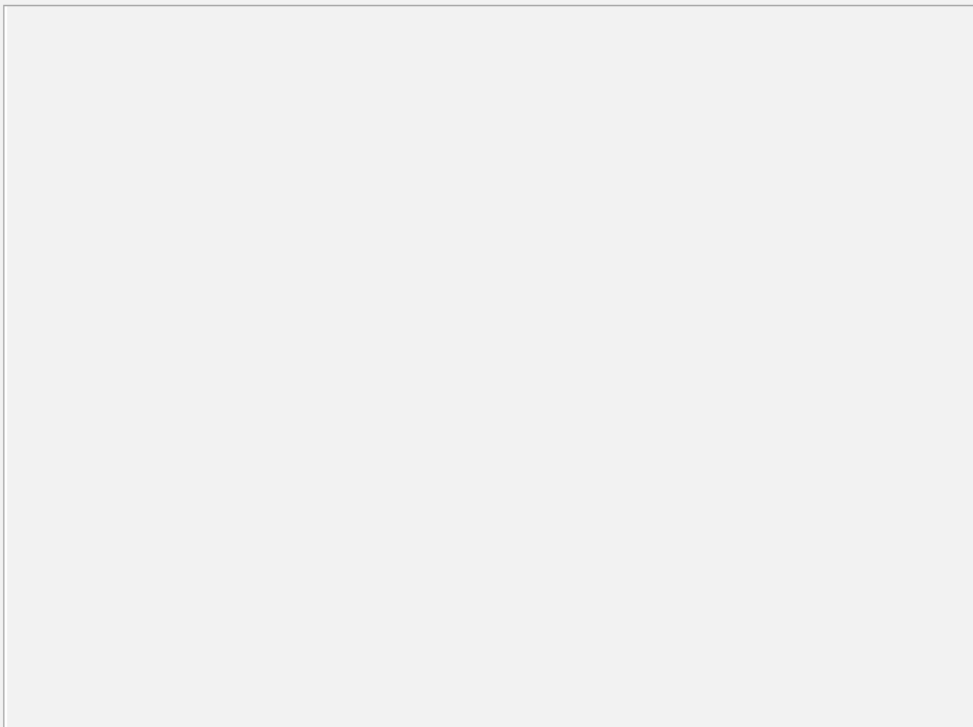
Uploadet d. 04-12-2012 10:35:46

Af bruger: Mj

Billedenavn: loc_-1753329028_Mj_2012-12-04 10-07-21_IMG_0673.JPG

Evt. beskrivelse:

Hus set fra gaden



Uploadet d. 04-12-2012 10:35:46

Af bruger: Mj

Billedenavn: loc_-1753329028_Mj_2012-12-04 10-34-48_IMG_0678.JPG

LOC_NAME:

Xxxx vej xx, 9999 By, Areal: 61

Vej og husnummer:

Xxxx vej xx

Postnummer og by:

9999 By

Prøve Type: MALING

MALING01

Prøve udtaget den: 04-12-2012 10:46:27 Af: Mj

Tjekliste prøve:

Er prøven taget udenfor eller indenfor?	Indenfor
For indendørs prøver, hvor er de taget?	Stue
Hvis "Andet", skriv hvor?	
Mod hvilket verdenshjørne vender den udtagne prøve (udendørs prøver)?	
Hvad er den primære anvendelse for rummet (indendørs prøver)?	Andet
Hvis "Andet", beskriv.	Toilet.
Hvilket materiale består prøven af?	Anden maling
Hvis "Andet", beskriv.	Maling på radiator.
Hvilket materiale består første tilstødende materiale af?	Metal
Hvis "Andet", beskriv.	
Hvilket materiale består andet tilstødende materiale af?	
Hvis "Andet", beskriv.	
Hvilket materiale består tredje tilstødende materiale af?	
Hvis "Andet", beskriv.	
Hvilket redskab er brugt til at udtage prøven med?	Hobbykniv
Hvis "Andet", beskriv.	
Eventuelle andre kommentarer til prøven og prøvetagningen? (Farve, beskaffenhed, meter fuge, areal maling/klæb beton, andet)	Hvid.
Evt. billede beskrivelse:	



Analyse resultater:

Prøve navn: <GC60856>MALING01 | Xxx vej xx, 9999 By, Areal: 61

Sum af 7 PCB	21 mg/kg	Hvis ingen værdi, svarer det til under detektionsgrænsen.
TotalPCB	105 mg/kg	

MALING02

Prøve udtaget den: 04-12-2012 10:50:31 Af: Mj

Tjekliste prøve:

Er prøven taget udenfor eller indenfor?	Indenfor
For indendørs prøver, hvor er de taget?	Stue
Hvis "Andet", skriv hvor?	
Mod hvilket verdenshjørne vender den udtagne prøve (udendørs prøver)?	
Hvad er den primære anvendelse for rummet (indendørs prøver)?	Værelse
Hvis "Andet", beskriv.	
Hvilket materiale består prøven af?	Anden maling
Hvis "Andet", beskriv.	Radiator
Hvilket materiale består første tilstødende materiale af?	Metal
Hvis "Andet", beskriv.	
Hvilket materiale består andet tilstødende materiale af?	
Hvis "Andet", beskriv.	
Hvilket materiale består tredje tilstødende materiale af?	
Hvis "Andet", beskriv.	
Hvilket redskab er brugt til at udtage prøven med?	Hobbykniv
Hvis "Andet", beskriv.	
Eventuelle andre kommentarer til prøven og prøvetagningen? (Farve, beskaffenhed, meter fuger, areal maling/klæb beton, andet)	Hvid maling
Evt. billede beskrivelse:	



Analyse resultater:

Prøve navn: <GC60906>MALING02 | Xxx vej xx, 9999 By, Areal: 61

Sum af 7 PCB	6,9 mg/kg	Hvis ingen værdi, svarer det til under detektionsgrænsen.
TotalPCB	34,5 mg/kg	

MALING03

Prøve udtaget den: 04-12-2012 10:52:47 Af: Mj

Tjekliste prøve:

Er prøven taget udenfor eller indenfor?	Indenfor
For indendørs prøver, hvor er de taget?	Kælder
Hvis "Andet", skriv hvor?	
Mod hvilket verdenshjørne vender den udtagne prøve (udendørs prøver)?	
Hvad er den primære anvendelse for rummet (indendørs prøver)?	Andet
Hvis "Andet", beskriv.	Kælder rum.
Hvilket materiale består prøven af?	Anden maling
Hvis "Andet", beskriv.	Maling på faldstamme.
Hvilket materiale består første tilstødende materiale af?	Metal
Hvis "Andet", beskriv.	
Hvilket materiale består andet tilstødende materiale af?	
Hvis "Andet", beskriv.	
Hvilket materiale består tredje tilstødende materiale af?	
Hvis "Andet", beskriv.	
Hvilket redskab er brugt til at udtage prøven med?	Hobbykniv
Hvis "Andet", beskriv.	
Eventuelle andre kommentarer til prøven og prøvetagningen? (Farve, beskaffenhed, meter fuge, areal maling/klæb beton, andet)	Grå
Evt. billede beskrivelse:	



Analyse resultater:

Prøve navn: <GC60925>MALING03 | Xxx vej xx, 9999 By, Areal: 61

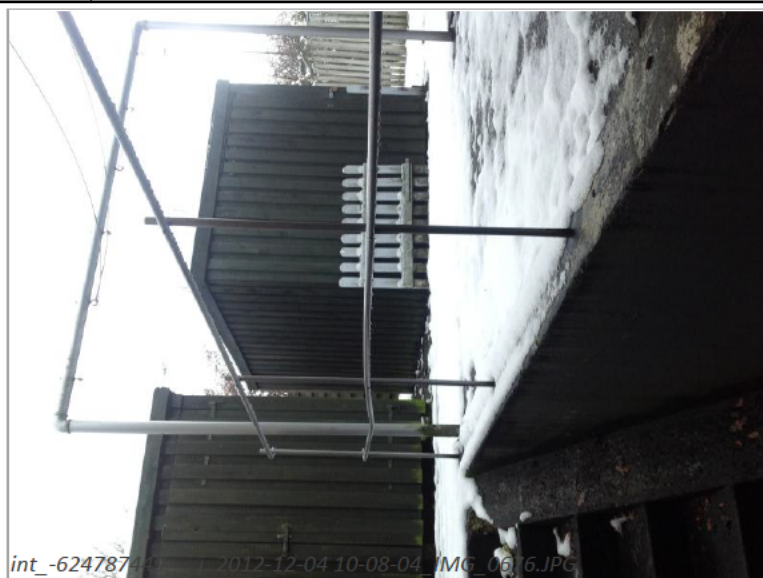
Sum af 7 PCB	0,39 mg/kg	Hvis ingen værdi, svarer det til under detektionsgrænsen.
TotalPCB	1,95 mg/kg	

MALING04

Prøve udtaget den: 04-12-2012 10:55:59 Af: Mj

Tjekliste prøve:

Er prøven taget udenfor eller indenfor?	Udenfor
For indendørs prøver, hvor er de taget?	
Hvis "Andet", skriv hvor?	
Mod hvilket verdenshjørne vender den udtagne prøve (udendørs prøver)?	Vest
Hvad er den primære anvendelse for rummet (indendørs prøver)?	
Hvis "Andet", beskriv.	
Hvilket materiale består prøven af?	Anden maling
Hvis "Andet", beskriv.	Maling på gelænder.
Hvilket materiale består første tilstødende materiale af?	Metal
Hvis "Andet", beskriv.	
Hvilket materiale består andet tilstødende materiale af?	
Hvis "Andet", beskriv.	
Hvilket materiale består tredje tilstødende materiale af?	
Hvis "Andet", beskriv.	
Hvilket redskab er brugt til at udtage prøven med?	Hobbykniv
Hvis "Andet", beskriv.	
Eventuelle andre kommentarer til prøven og prøvetagningen? (Farve, beskaffenhed, meter fuge, areal maling/klæb beton, andet)	Grå
Evt. billede beskrivelse:	



Analyse resultater:

Prøve navn: <GC60961>MALING04 | Xxxx vej xx, 9999 By, Areal: 61

Sum af 7 PCB

mg/kg

Hvis ingen værdi, svarer det til under detektionsgrænsen.

TotalPCB

mg/kg

Bilag 5 Fotodokumentation af termoruder , herunder fugebånd og forseglingslim

Vedlagt som separat pdf fil. Det vedlagte eksemplar indeholder kun et udsnit af armaturerne for at vise, hvad den samlede fil vil omfatte.

Af hvert foto fremgår en loc nr. dette nr. viser samhørigheden mellem termoruder og efterfølgende detailfotos af prøvetagningsmaterialet

Bilag 6 Fotodokumentation af kondensatorer og armaturer

Vedlagt som separat pdf fil. Det vedlagte eksemplar indeholder kun et udsnit af armaturene for at vise hvad den samlede fil vil omfatte.

Af hvert foto fremgår en loc nr. dette nr. viser sammenhøigheden mellem kondensator og lysstofarmaturer