

RAPPORT

# Termisk rensning af bygningsdele til genbrug

*Genbrug af byggematerialer*

2019-02-15

Deltager:



## Sammenfatning

Det gennemførte projekt med termisk stripping af byggematerialer har vist:

- At forurening med PCB ikke kun forekommer i ældre bygninger, men at også nye bygninger kan indeholde lave koncentrationer af PCB.
- At man kan nedbringe totalkoncentrationen og afgangningen af PCB fra højt kontaminerede materialer.
- At man kan nedbringe afgangningen af PCB fra lavt kontaminerede materialer.
- At det ikke er muligt at nedbringe koncentrationen af PCB til under renhedskriteriet på 0,1 mg PCB-total/kg, indenfor en rimelig tid.
- At gamle vinduer og gulvbrædder ikke skades af opvarmningen.
- At finerdøre skades af opvarmningen.

# Indholdsfortegnelse

<b>1.0</b>	<b>BAGGRUND FOR PROJEKTET</b>	<b>1</b>
1.1	Samfundsrelevans	1
1.2	Afprøvning af en kendt teknik i fuld skala	1
1.3	Økonomisk støtte og deltagere	1
<b>2.0</b>	<b>FORMÅL</b>	<b>2</b>
<b>3.0</b>	<b>HYPOTESER</b>	<b>2</b>
<b>4.0</b>	<b>UDSTYR OG METODE</b>	<b>2</b>
<b>5.0</b>	<b>RESULTATER</b>	<b>3</b>
5.1	Fysiske ændringer af materialerne	8
5.2	Materialeprøver fra nyere bygninger	10
<b>6.0</b>	<b>HVAD HAR VI LÆRT</b>	<b>11</b>
6.1	Er bygninger opført efter 1990 fri for PCB	11
6.2	Blev materialerne rensset for PCB	11
6.3	Blev afgangningen reduceret	12
6.4	Fysiske skade på grund af behandlingen	12
6.5	Praktiske erfaringer med udstyret/håndteringen	12
<b>7.0</b>	<b>KONKLUSION</b>	<b>12</b>

## TABELLER

Tabel 1:	Materialeprøver til bestemmelse af PCB indholdet før under og efter termisk stripping	3
Tabel 2:	Afgasningstest med måling af flux fra gulvbrædder og dørblade før og efter termisk stripping	6
Tabel 3:	Løbende kontrolmålinger af filtereffektivitet	7
Tabel 4:	Gulvbrædders afvigelser i planhed	9
Tabel 5:	Undersøgelse for PCB i nye bygninger	10

## 1.0 BAGGRUND FOR PROJEKTET

### 1.1 Samfundsrelevans

Stigende udledning af CO<sub>2</sub> og truende ressourceknaphed vurderes at kunne forandre vores klima og være barrierer for fortsat velstand. Derfor sættes der i disse år stor fokus på, hvordan vi kan genanvende brugte byggematerialer. Det ses blandt andet i regeringens ressourcestrategier, der sætter fokus på, at vi fremover skal forbrænde mindre, genbruge mere og undgå spredningen af miljøfarlige stoffer. For at accelerere processen, har Miljøstyrelsens etableret et *Partnerskab for Bæredygtigt Byggeri og Affaldsforebyggelse*, hvor aktører fra alle led af værdikæden er samlet i et samarbejde om at fremme processen. Senest har også regeringens *Advisory Board for Cirkulær Økonomi* anbefalet at indsatsen for selektiv nedrivning styrkes.

Trods stor efterspørgsel og velvilje – både inden for det offentlige og det private – går udviklingen desværre langsomt. Årsagerne er typisk funderet i økonomiske og miljømæssige udfordringer. Inden for fraktionen træ, vurderes det, at der årligt bortskaffes ca. 100.000 tons af hvilket en stor andel kunne genanvendes.

En væsentlig barrierer for genbrug af træet opstår, når det i forbindelse med nedrivningsprocessen konstateres, at materialerne er forurenede med PCB og dermed skal bortskaffes som forurenede eller farligt affald.

### 1.2 Afprøvning af en kendt teknik i fuld skala

Det er kendt, at metoden termisk stripning, kan bruges til at nedbringe PCB indholdet i bygningsdele, møbler og inventar, så materialerne ikke længere afdamper sundhedsmæssigst skadelige mængder PCB til indeluften. Termisk stripning er hidtil primært brugt til at sikre indeklimaet i eksisterende bygninger. Ved termisk stripning af bygninger har fokus hovedsagelig været at se på afdampningen fra materialerne og ikke hvordan stripningen påvirker PCB-koncentrationerne i materialerne. Det er uafklaret, om det er muligt i praksis at fjerne PCB, så materialet kan betragtes som rent og kan genanvendes frit.

Et andet væsentligt element for at genanvende byggematerialer af organiske materialer (som trævarer) er, at materialerne ikke deformeres eller på anden vis tager varig skade på grund af opvarmningen.

En afprøvning i fuld skala er nødvendig, for at kunne vurdere om termisk stripning i praksis kan bruges til at rense bygningsdele af træ til genbrug.

### 1.3 Økonomisk støtte og deltagere

Projektet er støttet af Realdania og egenfinansiering fra deltagerne i projektet.

Deltagerne i projektet er Byggeri København, Teknik- og Miljøforvaltningen i Københavns Kommune, Genbyg A/S, TRUST, J. Jensen Nedrivning A/S og Golder.

## 2.0 FORMÅL

Formålet er at skabe rammer for og afprøvning af en fuldskalaløsning, hvor bygningsdelene kan renses for PCB og efterfølgende kan genanvendes i nye eller eksisterende bygninger.

Projektets formål er at undersøge, om det ved hjælp af termisk stripping er muligt, at rense PCB-forurenedede byggematerialer/bygningsdele af træ uden at materialerne tager varig skade. Målet er at kunne rense træet til et PCB-indhold, der ligger under den af Københavns Kommune fastsatte grænseværdi for ikke forurenedede materialer på 0,1 mg/kg. Samtidig skal det være økonomisk rentabelt at rense træmaterialerne. Materialerne skal efter rensning være i en stand, hvor de kan sælges som genbrugsvarer og genindbygges. En økonomisk vurdering afrapporteres særskilt.

## 3.0 HYPOTESER

Til fuldskala undersøgelse af, om byggevarer kan renses for PCB, er der opstillet følgende hypoteser:

- 1) Bygninger opført efter 1990 indeholder ikke PCB. Byggevarer fra bygninger opført efter 1990 kan forventes fri for PCB.
- 2) Byggevarer tertiært forurenede med PCB, kan ved hjælp af termisk stripping renses for PCB.
- 3) Byggevarer som udsættes for termisk stripping i 5 uger, skades ikke.

## 4.0 Udstyr og metode

Der er bygget et mobilt anlæg til rensning af byggevarer ved brug af termisk stripping. Anlægget består af en isoleret 20" container, der kan opvarmes til 50-60 °C og ventileres med 500 m<sup>3</sup>/h (luftskifte på 17 gange i timen). Luften cirkulerer i et lukket kredsløb, der renses for PCB ved passage igennem et filter med aktivt kul. Det lukkede kredsløb er isoleret, så varmetabet begrænses.





Energiforbruget måles sammen med temperaturen indvendig og udvendig.

Materialernes indhold af PCB måles ved, at der tages en prøve af maling eller lak fra overfladen. Prøvestørrelse er 2-5 g. Materialeprøven sendes til analyse hos et analyselaboratorium. Resultatet angives i mg/kg.

Afgasningen fra materialeoverfladen måles ved brug af et åbent målekammer, som er udviklet og igennem flere år har været anvendt af Golder til insitu-målinger af fluxen fra bygningsoverflader i eksisterende bygninger. Målekammerets åbne flade placeres tæt til den flade, som ønskes målt. Målekammeret har en studs i hver ende. Ved den ene studs suges ren luft ind igennem en slange. Inden i målekammeret, på studsen for udsugning placeres et prøverør til opsamling af PCB. På udvendig side trækkes luften igennem ved brug af en luftpumpe. Pumpen er kalibreret til at suge 2 l/min. Der benyttes en prøvetid på 250 minutter, svarende til at der passerer 500 liter igennem prøverøret. Prøverne sendes til analyse på laboratorium.

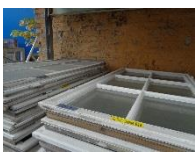








De testede byggevarer er hentet fra eksisterende bygninger, som der er kendskab til indeholder PCB. Materialerne er demonteret og transporteret af Genbyg.dk. Genbyg foretager en registrering af synlige skader og måler dimensionerne på materialerne incl. krumning og vridning før materialerne placeres i containeren.

Materialerne pakkes tæt i containeren, med afstandsstykker, der sikrer fri luftpassage over alle overflader.

## 5.0 RESULTATER

**Tabel 1: Materialeprøver til bestemmelse af PCB indholdet før under og efter termisk stripping.**

ID	Foto	PCB før	PCB, 2 uger	PCB, 3 uger	PCB, 4 uger	PCB, 5 uger
V1		3,4	2,6	2,8	2,5	2,8
V2		0,17	0,42	1	0,53	0,96

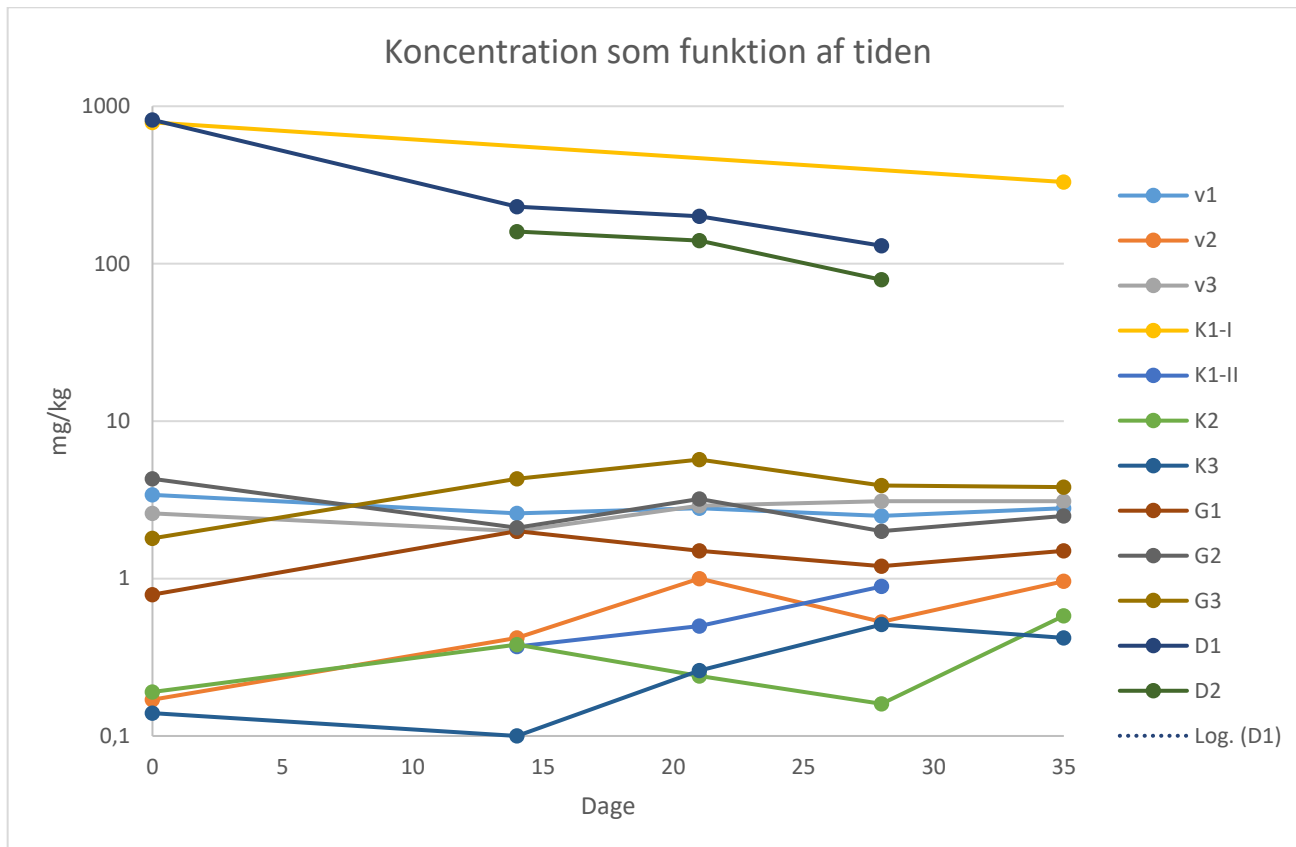
ID	Foto	PCB før	PCB, 2 uger	PCB, 3 uger	PCB, 4 uger	PCB, 5 uger
V3		2,6	2	2,9	3,1	3,1
K1-I		790				330
K1-II			0,37	0,5	0,89	
K2		0,19	0,38	0,24	0,16	0,58
K3		0,14	0	0,26	0,051	0,42
G1		0,8	2	1,5	1,2	1,5
G2		4,3	2,1	3,2	2,0	2,5
G3		1,8	4,3	5,7	3,9	3,8
D1		820	230	200	130	Ingen måling
D2		-	160	140	79	Ingen måling

Prøver af maling fra vinduer benævnes V1, V2 og V3.

Prøver af vindueskit fra vinduestype V1 benævnes K1, og så fremdeles K2 og K3.

Prøver af lak fra gulvbræt benævnes G1, G2 og G3.

Prøver af maling fra døre benævnes D1 og D2.

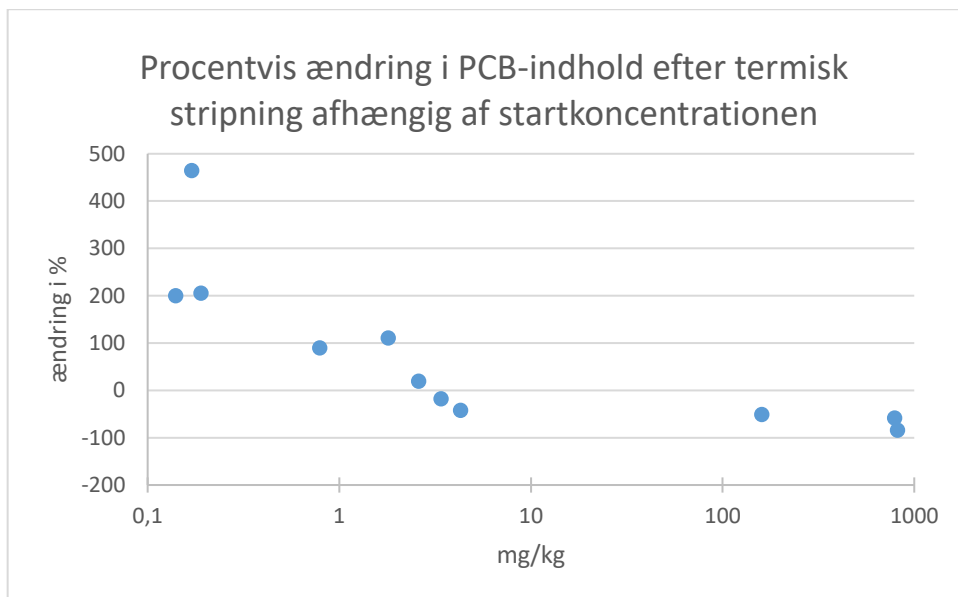


Udviklingen i koncentration over tid viser, at materiale som i udgangspunkt har de højeste indhold af PCB falder hurtigst. Materialer som i startkoncentration har under 3 mg/kg har gennemgående et nettooptag af PCB.


En beregning viser, at hvis koncentrationen for døren D1 fortsat falder eksponentielt med samme forløb som i de målte 28 dage, vil det tage 138 dage med termisk stripping før koncentrationen er under 0,1 mg/kg.



Prøverne af kit, der er taget fra vindue V1 (K1), er med meget varierende koncentrationer af PCB. Selv om prøverne er taget fra samme vindue, tolkes de forskellige koncentrationer som, at der er tale om forskellige typer af kit, som er anvendt på samme vindue. Prøveresultaterne er derfor delt op, som var der tale om to typer kit.





Tabel 2: Afgasningstest med måling af flux fra gulvbrætter og dørblade før og efter termisk stripping.

ID	Foto	Data før-måling	Flux, før	Flux, efter
Luft-G1		Temperatur: 21,5 °C Konc. : 20 ng/m <sup>3</sup> Areal: 459 cm <sup>2</sup> Periode: 250 min  Temperatur: 21,0 °C Konc. : 3 ng/m <sup>3</sup> Areal: 450 cm <sup>2</sup> Periode: 250 min	52 ng/m <sup>2</sup> /time	8 ng/m <sup>2</sup> /time
Luft-G2		Temperatur: 10-15 °C Konc.: 7,3 ng/m <sup>3</sup> Areal: 445 cm <sup>2</sup> Periode: 240 min  Temperatur: 21,0 °C Konc ud: 2,6 ng/m <sup>3</sup> Areal: 445 cm <sup>2</sup> Periode: 250 min	35 ng/m <sup>2</sup> /time	7 ng/m <sup>2</sup> /time

Luft-G3		Temperatur: 10-15 °C Konc ud: 0 ng/m <sup>3</sup> Areal: 459 cm <sup>2</sup> Periode: 240 min  Temperatur: 20,9 °C Konc ud: 0 ng/m <sup>3</sup> Areal: 450 cm <sup>2</sup> Periode: 250 min	0 ng/m <sup>2</sup> /time	0 ng/m <sup>2</sup> /time
Luft-D1		Temperatur: 10-15 °C Konc ud: 88 ng/m <sup>3</sup> Areal: 447 cm <sup>2</sup> Periode: 240 min  Temperatur: 20,5 °C Konc ud: 17 ng/m <sup>3</sup> Areal: 447 cm <sup>2</sup> Periode: 250 min	421 ng/m <sup>2</sup> /time	46 ng/m <sup>2</sup> /time
Luft-D2		--Førmåling af flux blev ikke udtaget--  Temperatur: 20,3 °C Konc ud: 28 ng/m <sup>3</sup> Areal: 447 cm <sup>2</sup> Periode: 250 min		75 ng/m <sup>2</sup> /time

### Filterkontrolmålinger:

Der udtages luftprøver før og efter filter for at kontrollere at filteret tilbageholder PCB (filtereffektiviteten er mindst 80%).

**Table 3: Løbende kontrolmålinger af filtereffektivitet**

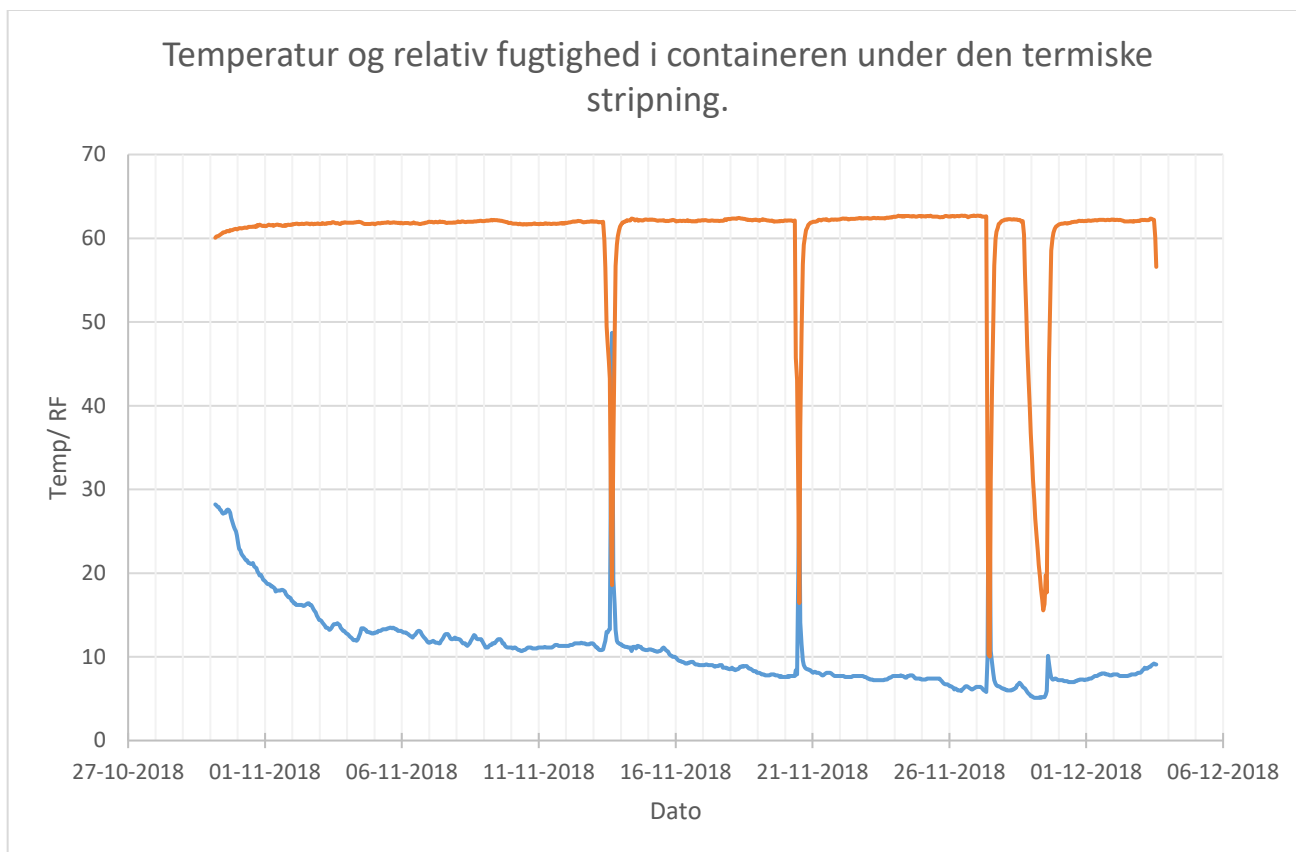
Tidspunkt	Konc. før filter	Konc. efter filter	Filtereffektivitet
Før opstart	0	0	-
Dag 2 (stabil temp)	520	0	100 %
Dag 14	470	0	100 %
Dag 35	66	0	100 %

Resultaterne viser, at filtereffektiviteten har været optimal igennem hele opvarmingsperioden, med 100% absorption. Flowet igennem filteret er i hele perioden konstant 500 m<sup>3</sup>/h.

Afgasningen falder i løbet af opvarmningsperioden startende med 520 ng/m<sup>3</sup> og faldende til 470 i løbet af de første 14 dage. Ved den sidste filtertest er dørene fjernet fra containeren, her måles afgasningen til 66 ng/m<sup>3</sup>.

Det er beregnet, at der er i perioden er opsamlet ca. 163 mg PCB på filterne.

Energiforbruget i løbet af 5 uger: 3.297 kWh, ved en gennemsnitlig temperatur i containeren på 60,4 °C og udendørs på 4,9 °C.






Figur 1 Varmen afbrudt pga strømsvigt den 29-11 med temperatur under 60 °C i 24 timer og kortvarigt afbrudt i forbindelse med prøvetagninger.

## 5.1 Fysiske ændringer af materialerne

Under den termiske proces udtørres materialerne. Når træ tørrer opstår svindrevner og materialer kan slå sig. Som en del af undersøgelsen er det registreret om materialerne bliver deformeret eller der opstår revner mv.

Vinduerne viser ikke synlige tegn på forandringer eller skader. Under processen blev der observeret dryp af harpiks.

Dørene, som er lette indvendige døre med finere, viser forskelligt omfang af skader efter opvarmningen. Der er synlige revner i dørene langs samlingerne mellem for og bagside. En af de 4 sider er kraftig misfarvet og mat. Det vurderes at de lette indvendige finerdøre er uegnede til behandling med termisk stripning.

Før	Efter	
		
	Dør 2 er misfarvet på den ene side	

Gulvbrædderne har ikke et øget omfang af sprækker eller svindrevner efter den termiske stripning. Under den termiske stripning var brædderne placeret stående skråt op mod væggen, hvorfor de efter den termiske stripning buer mellem 1,2-6,4 mm per lbm. Det vurderes, at deformationen skyldes at brædderne ikke blev lagt vandret med punktvis understøtning under opvarmningen.

**Tabel 4: Gulvbrædders afvigelser i planhed.**



Prøve id.	Afvigelse fra vandret i mm	Længde af bræt i m	Krumning i mm per lbm
G1	2	1,74	1,2
G2	6	1,375	4,4
G3	7	1,10	6,4

## 5.2 Materialeprøver fra nyere bygninger

For at undersøge om PCB også kan findes i nyere bygninger er der taget materialeprøver fra bygninger som er opført efter 1990, hvor det ikke forventes at finde byggematerialer eller elektroniske komponenter produceret med PCB.

Tabel 5: Undersøgelse for PCB i nye bygninger

Foto	Materialetype	PCB-total [mg/kg]
	Maling fra betonvæg i bygning fra 1997	<b>PCB: 5,9 mg/kg</b>
	Blød elastisk fuge omkring vinduesparti i bygning fra 1997.	<b>PCB: 0,4 mg/kg</b>
	Grå klæber under blød gulvflise i bygning fra 1997.	<b>PCB: 1,3 mg/kg</b>

Foto	Materialetype	PCB-total [mg/kg]
	Udvendig grå fuge omkring vinduesparti i bygning fra 1997.	<b>PCB: 0,62 mg/kg</b>
	Hvid plastmaling i industrikøkken. Bygning fra 1998.	<b>PCB: 0,43 mg/kg</b>

## 6.0 HVAD HAR VI LÆRT

### 6.1 Er bygninger opført efter 1990 fri for PCB

Ikke alle nyere bygninger er fri for PCB. Der er i forbindelse med projektet fundet flere eksempler på materialeprøver fra bygninger opført efter 1990, der indeholder PCB over renhedskriteriet. Vi kan derfor ikke antage, at en bygning er fri for PCB, fordi den er af nyere dato. Derimod kan vi forvente at PCB kun forekommer i lave koncentrationer i nyere bygninger, så problemet er afgrænset til at være et spørgsmål om arbejdsmiljø, affaldsbortskaffelse og genanvendelse, men ikke et omfang som påvirker indeklimaet i væsentlig grad.

### 6.2 Blev materialerne rensset for PCB

Materialerne blev ikke rensset for PCB. Koncentrationen af PCB faldt i overfladen af de mest forurenede materialer i løbet af opvarmningsperioden. Materialer der til start var let kontamineret med PCB i koncentrationer <3 mg/kg optog PCB i løbet af perioden.

En del af PCB'en blev fjernet ved optag på kulfilteret, og der skete et fald i PCB-koncentrationen af luften som skulle passere filteret i løbet af perioden. Den samlede afgangning faldt således.

Resultaterne viser, at ud over at der fjernes PCB også sker en omfordeling, således at materialer, der i udgangspunkt har et lavt PCB-indhold, optager PCB i løbet af perioden, mens materialer der i udgangspunkt har et højt PCB-indhold (>3 mg/kg) afgiver PCB.

Ud fra testen er det ikke muligt at konkludere, at det er muligt at nedbringe PCB-koncentrationen til under renhedskriteriet på 0,1 mg/kg. Det vurderes som realistisk, at koncentrationen for kraftigt forurenede materialer kan nedbringes til under grænsen for farligt affald.

### 6.3 Blev afgangningen reduceret

Indeklimaet i en bygning med PCB-holdige materialer påvirkes af hvor meget PCB der afgasser fra de kontaminede overflader i forhold til hvad der bortventileres. Den samlede mængde af PCB som afgives fra genbrugsmaterialerne til indeluften, skal være ubetydelig, så indeklimaet ikke påvirkes over normalt baggrundsniveau.

Som en del af testen blev afgangningen fra overfladerne (fluxen) målt før og efter den termiske stripning. Af målingerne ses at afgangningen faldt for alle materialer.

Afgangningen fra gulvbræt G3 var ikke målelig hverken før eller efter opvarmningen.

Afgangningen faldt således også fra en prøve som G1, hvor koncentrationen i materialet er steget fra 0,8 til 1,5 mg/kg.

### 6.4 Fysiske skade på grund af behandlingen

De undersøgte vinduer er ikke mærket af varmebehandlingen.

Gulvbrædderne buer efteropvarmningen, fordi de ikke har ligget vandret med punktvise understøtning underbehandlingen.

Finerdørene er væsentlig misfarvede og skadet med synlige revner.

### 6.5 Praktiske erfaringer med udstyret/håndteringen

Det anbefales, at koncentrationerne er ensartede for de materialer som behandles samtidig, så der ikke sker en afsmitning fra kraftig forurenede materialer til let forurenede materialer.

Tynde materialer, som eksempelvis gulvbrædder, placeres vandret og med punktvis understøtninger for at undgå deformationer.

## 7.0 KONKLUSION

Det gennemførte projekt med termisk stripning af byggematerialer har vist:

- At forurening med PCB ikke kun forekommer i ældre bygninger, men også nye bygninger kan indeholde lave koncentrationer af PCB.
- At man kan nedbringe total koncentrationen og afgangningen af PCB fra højt kontaminede materialer.
- At man kan nedbringe afgangningen af PCB fra lavt kontaminede materialer.
- At det ikke er muligt at nedbringe koncentrationen af PCB til under renhedskriteriet, indenfor en rimelig tid.
- At gamle vinduer og gulvbrædder ikke skades af opvarmningen.
- At finerdøre skades af opvarmningen.

# Signatur Side

## Golder Associates A/S

Charlotte Gudum  
*Senior projektleder*

Thomas Hougaard  
*Kvalitetsansvarlig*

Golder and the G logo are trademarks of Golder Associates Corporation

z:\projekt\2017\1784082 - genbrug af bygningsdele\4 rapportering\1784082 genbrug af byggematerialer - teknisk rapport -final rev 0.docx



**BILAG A**

**Foto registrering materialer**













































**[golder.com](http://golder.com)**