

# Appendiks A

## Afgasning fra byggematerialer i NO-Tech



Formålet med NO-Tech huset var blandt andet at påvise muligheden for at opnå lave emissioner i nybyggeri ved hjælp af 'kildekontrol'. Derfor udvalgte man nøje byggematerialer med formodet lave eller ingen afgasninger. Imidlertid viser Performancerapportens resultatafsnit om afgasninger fra materialer, at der i NO-Tech huset - uventet – sås en markant større afgasning end i YES- og NOW-Tech husene, som blev bygget med standard tilgængelige byggematerialer. Dette efterlod forskningsteamet med flere spørgsmål...

### Udfordring

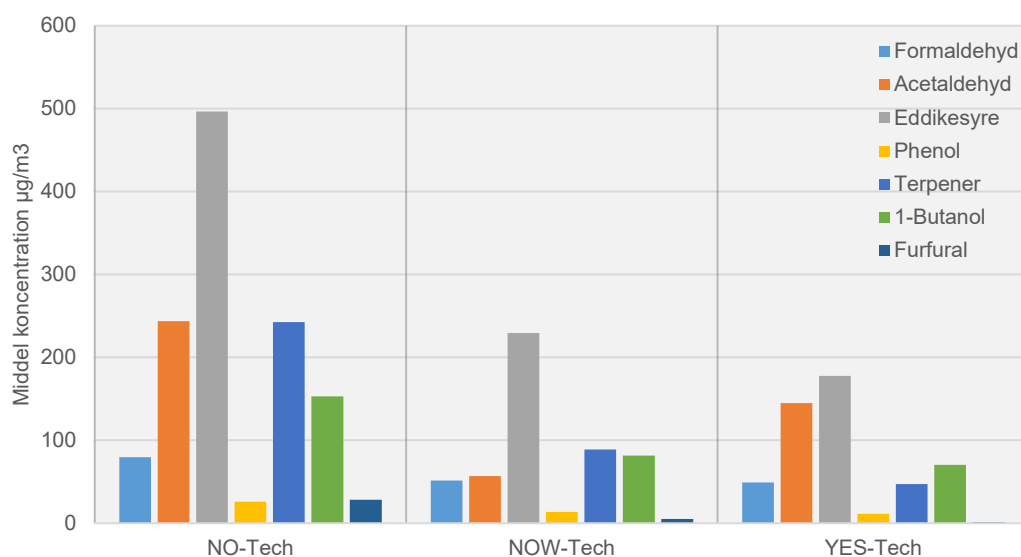
Byggematerialerne i NO-Tech huset afgassede mere end forventet, når det gøres op i en total mængde flygtige organiske stoffer i luften. Udfordringen lå efterfølgende i at kortlægge, hvilke enkeltstoffer som kunne spores i rumluften, hvor farlige enkeltstofferne var, og ikke mindst hvilke specifikke byggematerialer enkeltstofferne kom fra. Ofte opgøres afgasninger i rumluften som TVOC (Total Volative Organic Compounds) som grundlæggende beskriver vægten af alle flygtige organiske stoffer i rumluften tilsammen. Dette betyder også, at mængden af formaldehyd og andre yderst kræftfremkaldende stoffer sidestilles med ufarlige organiske stoffer og/eller stoffer, som har en meget højere grænseværdi før stoffet bliver farligt. Med mange forskellige materialer i samme rum, og en stor sandsynlighed for cocktaileffekter mellem enkeltstofferne, var den eneste mulighed for at finde ud af, hvor stofferne kom fra, at undersøge materialerne hver for sig.

### Løsning

Forskningsteamet udvalgte flere mistænkte byggematerialer fra NO-Tech huset til en uvildig ekstern afgasningstest. Materialerne blev testet i det velakkrediterede testlaboratorium Eurofins' klimakamre, og derefter sammenlignet med målingerne af enkeltstoffer foretaget i huset. Nogle af materialerne blev desuden sat sammen på den måde, de er brugt i NO-Tech huset for at undersøge mulige kombinations-/cocktaileffekter. Ydermere blev der undersøgt forskelle mellem naturmaling uden konserveringsstoffet MI (Metylisotiazolinon; et allergifremkaldende stof) og en standard gængs akrylmaling med MI.

Følgende spørgsmål blev forsøgt besvaret:

- 1) Hvilke byggematerialer kommer afgasningerne fra?
- 2) Forekommer der kombinationseffekter?
- 3) Hvordan performer linolie-maling vs. akrylmaling i forhold til VOC'er og aldehyder og herunder det allergifremkaldende MI?



Figur 1 - Afgasninger af udvalgte stoffer i de 3 boliger

# Klimakammertest af byggematerialer

For at teste byggematerialers individuelle afgasninger blev forskningsteamet assisteret af Eurofins Product Testing som råder over verdens største kammertest-center i Galten, Danmark. Kammertesten omfattede en 3 dages test i de sterile stålkamre, som kan opretholde et bestemt konstant luftskifte. I kammerets fraluft blev der opsamlet emissioner på forskellige prøveudtagningsrør (Tenax TA og DNPH). Emissionerne blev herefter analyseret for diverse enkeltstoffer.

Forskningsteamet bag afgasningsforsøgene udvalgte nedenstående byggematerialer til test i klimakamre. Materialerne blev valgt med udgangspunkt i hvor meget og hvor direkte de er eksponeret mod rumluften i NO-Tech huset, og med skelen til byggematerialets renommé for indhold af sundhedsskadelige kemiske stoffer. Eksempelvis er flere malerprodukter beskyldt for at indeholde høje niveauer af MI.



|                      | Bygningsdel          | Producent                    | Produktnavn                                                             | Hus & placering                                                                                                       |
|----------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Test 1               | OSB-plade            | Træfiber Danmark / Pfeiderer | <a href="#">LivingBoard P5</a>                                          | <b>NO-Tech</b><br>Indvendig beklædning i stue og badeværelser                                                         |
| Test 2               | Træfiber isolering   | Homatherm                    | <a href="#">Holzflex®Standard</a>                                       | <b>NO-Tech</b><br>Bag OSB-plader som inderste lag isolering                                                           |
| Test 3               | UV tape              | Dafa Airsystem               | <a href="#">Dafa UV tape</a>                                            | <b>NO-Tech</b><br>Samlinger - Folieklæber til fugning af inderste OSB plade (dampspærre) ned mod betongulv, alle rum. |
| Test 4               | Fugemasse            | Flügger                      | <a href="#">All Seal</a>                                                | <b>NO-Tech</b><br>Samlinger                                                                                           |
| Test 5               | Maling               | Egen Vinding og Datter       | <a href="#">Naturmaling extradækkende væg- og loftsmaling, uden MI.</a> | <b>NO-Tech</b><br>Soveværelser                                                                                        |
| Test 6               | Linolie              | Egen Vinding og Datter       | Linolie                                                                 | <b>NO-Tech</b><br>Soveværelser                                                                                        |
| Test 7               | Maling               | Flügger                      | <a href="#">Flutex 5</a>                                                | <b>NOW- &amp; YES-Tech</b><br>Alle vægge i boligerne                                                                  |
| Test 8               | Fyrretræ             | Trælasten                    | Træliste af fyrretræ                                                    | <b>NO-Tech</b><br>Soveværelser                                                                                        |
| Test 9 Kombi-Test 1  | Malet OSB-plade      | Træfiber Danmark / Pfeiderer | <a href="#">LivingBoard P5</a>                                          | <b>NO-Tech</b><br>Soveværelser                                                                                        |
|                      |                      | Egen Vinding & Datter        | <a href="#">Naturmaling extradækkende væg- og loftsmaling, uden MI.</a> |                                                                                                                       |
| Test 10 Kombi-Test 2 | Fyrretræ med linolie | Trælasten                    | Træliste af fyrretræ                                                    | <b>NO-Tech</b><br>Vindueskarme/ bundplader og hjørnelister i rum med ubehandlede livingboard P5                       |
|                      |                      | Egen Vinding & Datter        | Linolie                                                                 |                                                                                                                       |

# TVOC vs. Enkeltstoffer

En høj TVOC-værdi (Total Volatile Organic Compounds) afspejler ikke nødvendigvis en direkte sundhedsrisiko. TVOC-værdien fortæller kun hvor stor en *samlet* mængde flygtige organiske stoffer, der kan spores i luften. Ikke alle kemiske stoffer kan lugtes, selvom grænsen for sundhedsfare overskrides. Her har TVOC-målere en fordel, da man relativt simpelt og billigt kan fortælle om der er en stigning i mængden af luftens indhold af giftige stoffer, og dermed bør reageres.

## Enkeltstoffer i Sunde Boliger

I Sunde Boliger fremkom TVOC-værdierne på baggrund af avancerede PTR-MS-målinger (Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry). Det er en metode, som kan kortlægge stort set alle kemiske enkeltstoffer i rumluften. Dermed opnåede forskningsteamet et detaljeret indblik i de enkeltstoffer, som byggematerialerne afgassede til rumluften. Man kunne derfor sammenligne specifikke enkeltstoffer (VOC-værdier; Volatile Organic Compund) med deres respektive sundhedsmæssige grænseværdier for rumluft. Samtidig kunne den samlede TVOC-værdi visualisere afgasningsskurven for byggematerialer.

### Kemiske stoffer i NO-Tech

For at komme et skridt nærmere kortlægningen af de kemiske stoffers oprindelse i NO-Tech, var det nødvendigt at kvantificere alle identificerede enkeltstoffer målt ude i huset af Aarhus Universitet (GC-MS- og PTR-MS-målinger). Indledningsvis blev GC-MS-måling brugt til at finde de overordnede stofgrupper for at spore måletagerne ind på, hvordan enkeltstofferne fordeles. Derpå målte man med en PTR-MS, som kan identificere tusindvis af enkeltstoffer. I nedenstående oversigt ses alle de identificerede stofgrupper, samt tilhørende målte koncentrationer af enkeltstoffer. Der

blev målt fem gange, fordelt mellem dag 1 og dag 175 efter udførelse. Den generelle tendens er, at emissionsraten for de forskellige stoffer er nedadgående. I nedenstående tabel er markeret syv kemiske forbindelser, som blev undersøgt nærmere og sammenlignet med de senere udførte kammertests. Det skal understreges, at grænseværdier fra Umweltbundesamt (Guide Value 1) og EU-LCI grænseværdier ikke kan sammenholdes direkte med kammertestresultater. Guide Values 1 afspejler rumluftniveauer ved prøvetagning i almindelige rumluft, mens EU-LCI forholder sig til kammertest efter 28 dage.

| Stofgruppe    | Kemisk forbindelse                | Grænseværdier*       |             | Måling 1       | Måling 2        | Måling 3        | Måling 4         | Måling 5         |
|---------------|-----------------------------------|----------------------|-------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
|               |                                   |                      | µg/m3       | Dag 1<br>µg/m3 | Dag 14<br>µg/m3 | Dag 42<br>µg/m3 | Dag 107<br>µg/m3 | Dag 175<br>µg/m3 |
| Aldehyder     | <u>Formaldehyd</u>                | <u>Guide Value 1</u> | <u>100</u>  | 79,6           | 59,5            | 62,7            | 28,0             | 41,4             |
|               | <u>Acetaldehyd</u>                | <u>Guide Value 1</u> | <u>100</u>  | 243,8          | 114,4           | 119,7           | 58,3             | 37,9             |
|               | <u>Furfural</u>                   | <u>Guide Value 1</u> | <u>10</u>   | 28,2           | <u>26,8</u>     | <u>17,2</u>     | <u>17,5</u>      | <u>0,0</u>       |
|               | Benzaldehyd                       | Guide Value 1        | 20          | 27,0           | 42,7            | 15,1            | 4,7              | 4,1              |
| Alkoholer     | Methanol                          | -                    | -           | 1676,0         | 1100,4          | 1288,4          | 567,1            | 601,7            |
|               | Ethanol                           | -                    | -           | 118,3          | 78,6            | 63,3            | 46,6             | 24,5             |
|               | <u>1-butanol</u>                  | <u>Guide Value 1</u> | <u>700</u>  | 152,9          | 86,7            | 88,2            | 48,8             | 24,7             |
|               | Benzylalkohol                     | Guide Value 1        | 20          | 21,2           | 11,7            | 8,8             | 1,1              | 7,3              |
|               | 2-butoxy-ethanol                  | Guide Value 1        | 100         | 5,1            | 3,1             | 1,4             | 0,0              | 0,0              |
|               | 2-phenoxy-ethanol                 | EU-LCI               | 60          | 11,0           | 10,0            | 6,1             | 2,7              | 0,0              |
|               | 2-(2-butoxy-ethoxy)-ethanol       | Guide Value 1        | 400         | 0,0            | 1,6             | 0,6             | 0,0              | 0,0              |
|               |                                   |                      |             |                |                 |                 |                  |                  |
| Benzener      | Benzen                            | -                    | -           | 5,5            | 14,2            | 0,9             | 0,0              | 0,0              |
|               | Toluene                           | Guide Value 1        | 300         | 18,6           | 79,2            | 28,5            | 0,0              | 43,3             |
|               | Styren                            | Guide Value 1        | 30          | 6,3            | 4,2             | 1,7             | 0,5              | 0,9              |
|               | Naphthalen                        | Guide Value 1        | 10          | 6,2            | 3,1             | 1,9             | 0,0              | 0,0              |
|               | 2-methylnaphthalen                | Guide Value 1        | 10          | 6,4            | 2,4             | 3,5             | 0,7              | 0,0              |
|               | 1,4-dichlorobenzen                | EU-LCI               | 150         | 0,0            | 13,7            | 0,0             | 0,0              | 0,0              |
| Carboxylsyrer | <u>Eddikesyre</u>                 | <u>EU-LCI</u>        | <u>1200</u> | 496,7          | 608,2           | 389,0           | 639,7            | 245,8            |
| Ketoner       | Pentansyre                        | -                    | -           | 33,2           | 17,9            | 15,8            | 5,1              | 2,1              |
|               | Acetone                           | -                    | -           | 592,5          | 367,6           | 355,3           | 152,2            | 93,2             |
|               | 2-butanon                         | EU-LCI               | 20000       | 128,7          | 58,8            | 52,3            | 0,0              | 0,0              |
|               | Cyclohexanon                      | EU-LCI               | 410         | 39,9           | 8,0             | 5,1             | 0,0              | 0,0              |
|               | Benzophenon                       | -                    | -           | 0,7            | 0,0             | 0,0             | 0,0              | 0,0              |
| Phenoler      | <u>Phenol</u>                     | <u>Guide Value 1</u> | <u>20</u>   | 25,9           | 21,6            | 14,4            | 6,7              | 18,8             |
| Terpener      | <u>Terpener (α-pinen, camfen)</u> | <u>Guide Value 1</u> | <u>1000</u> | 242,4          | 168,1           | 127,1           | 48,0             | 43,9             |

\*EU-LCI forholder sig til produkttest og ikke prøvetagninger i rumluft. Guide Value 1 forholder sig til rumluft og ikke prøvetagning i kammer.

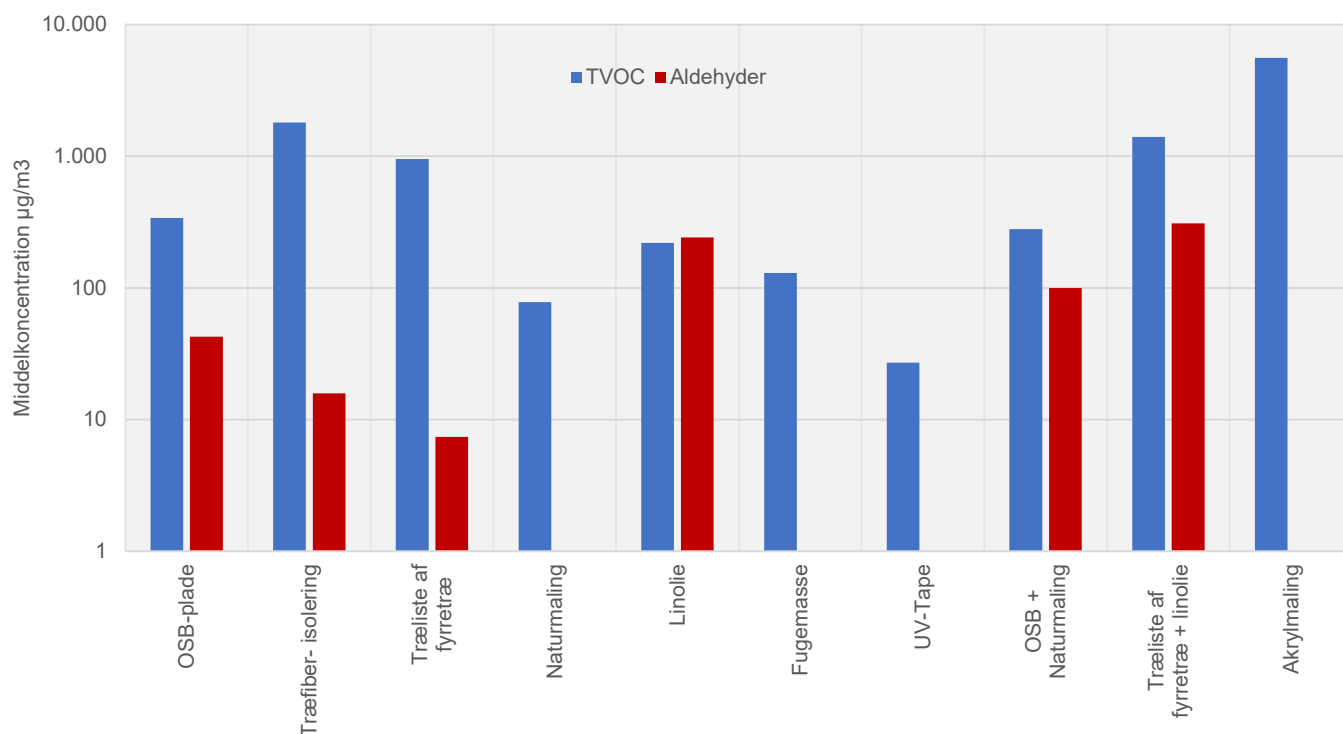
Tabel 1 - Registrerede stoffer i NO-Tech huset samt markering af udvalgte specifikke afgasninger som udfordrede eller nærmede sig grænseværdier i Umweltbundesamt (Guide Value 1 for rumluft) eller EU-LCI (kammertest – 28 dage).

# Produkternes afgangning i kammertest

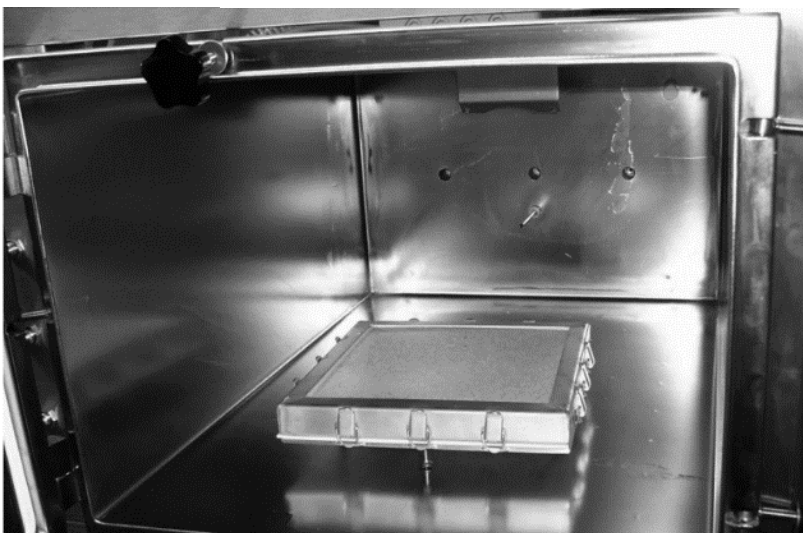
Byggematerialerne viste sig i kammertestene at afgasse en lang række forskellige kemiske stoffer. Som det ses i nedenstående *logaritmiske* graf (bemærk skala til venstre!), var det især akrylmalingen og træfiberisoleringen som afgassede større mængder flygtige organiske stoffer. Kombinationen af fyrretrælisten og linolien gav også et relativt højt niveau af VOC'er. Ser man specifikt på aldehydafgasninger, var det igen de træbaserede produkter og linolien, som gav udslag. Det er nok overraskende for de fleste, at selv naturmaterialer, som træ og linolie, altså har afgasninger af både VOC'er og aldehyder, som kan være sundhedsfarlige. Som det ses i ovenstående tabel 1, så var der desværre flere tilfælde hvor grænse-

værdien for rumluft var overskredet jf. Umweltbundesamts Guide Value 1. Dog er der først flyttet beboere ind efter forsøgets afslutning, hvor alle niveauer af kemiske stoffer for længst var under grænseværdierne fra Guide Value 1. Havde beboerne flyttet ind direkte efter byggeriets aflevering, havde historien været en anden.

Det er svært at sige, hvor vidt de forøgede rumluftniveauer skyldes enkeltmaterials afgasninger i sig selv, eller at netop disse afgasninger reagerer med andre stoffer i indeklimaet og derved skaber nye, sundhedsfarlige stoffer; den såkaldte cocktaileffekt. Under afsnittet "resultater fra kombinationseffekt" ses hvilke effekter projektgruppen fandt frem til i nærværende projekt.



Figur 3 – Kammertest: TVOC og aldehydafgasning fra de forskellige byggematerialer



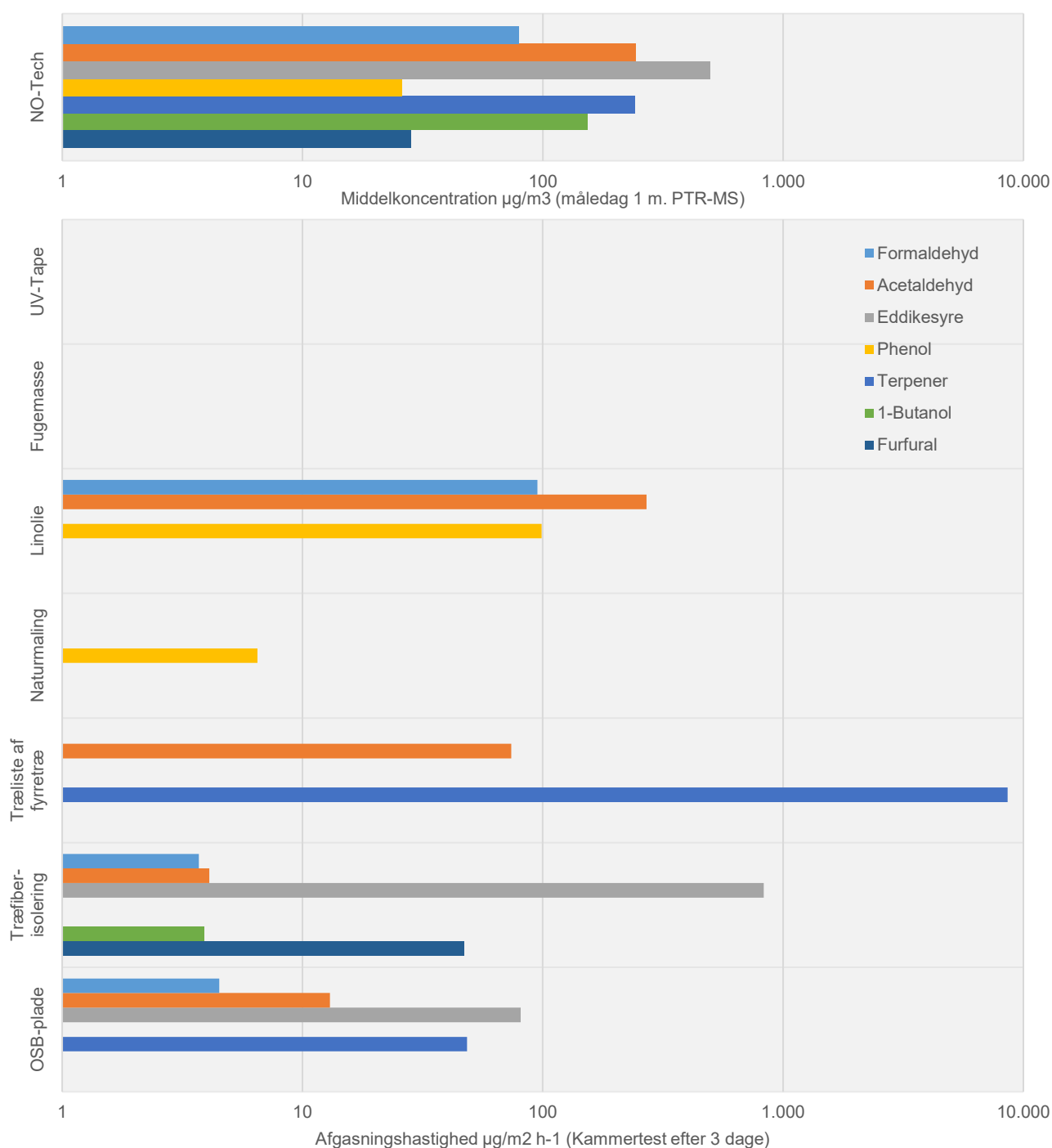
# Afgasningernes oprindelse

Performancetesten i de Sunde Boliger udpegede de specifikke kemiske stoffer, som optrådte i større mængder (se ovenstående Tabel 1). Kammertestene blev herefter søsat for at se, om disse forhøjede afgasningerne kunne spores tilbage til bestemte byggematerialer.

I nedenstående grafer præsenteres de 7 markant tilstedeværende stoffer. De to grafer kan ikke sammenlignes direkte; den øverste, fra huset, viser en middelkoncentration pr kubikmeter (volumen), mens de øvrige, fra kammertestene, viser afgasningshastigheden pr. kvadratmeter (overflade). Alligevel kan der konstateres en vis sammenhæng; de målte rumluftniveauer kan i flere tilfælde delvist spores tilbage til de udvalgte materialer – dog med en vis usikkerhed.

Som det ses, er alle de stærkest repræsenterede stoffer fra husene også repræsenteret i de udførte kammertests. Rumluftens indhold af specifikke kemiske stoffer er imidlertid afhængig af flere parametre. Det kan fx være størrelsen af et afgassende materiales overflade i forhold til rummets volumen, størrelsen af luftskiftet i boligen eller kombinationseffekter, som skaber ny eller forstærket kemi.

Derfor kan vi ikke konkludere med sikkerhed at rumluftens indhold af eksempelvis terpenener stammer 100 % fra OSB-plader og trælistor af fyrretræ. Vi kan dog konkludere, at disse produkter bidrager til rumluftkoncentrationen - med stor sandsynlighed væsentligt.

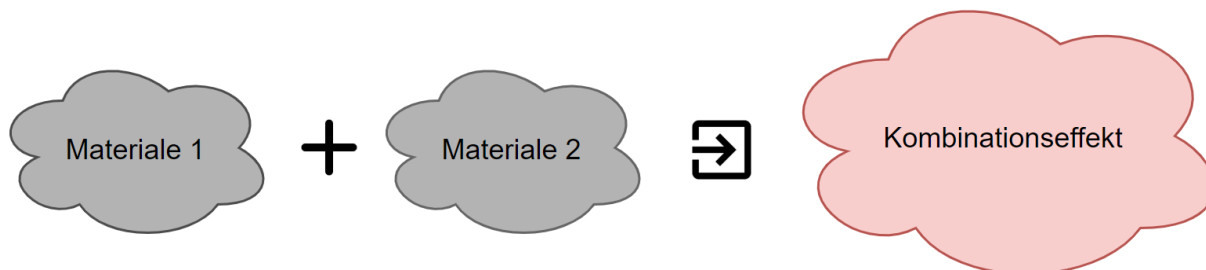




# Forsøg med kombinerede materialer

Mødet mellem to forskellige enkeltstoffer kan have flere forskellige udfald. De kan fx helt upåvirkede af hinanden fortsætte hver for sig som oprindeligt; men de kan også smelte sammen og blive til ét nyt, samlet stof, eller blive til et eller flere nye enkeltstoffer. For at kortlægge, hvordan to sæt af to udvalgte materialer i NO-Tech huset reagerer kemisk med hinanden, blev der udført to kombinationsforsøg.

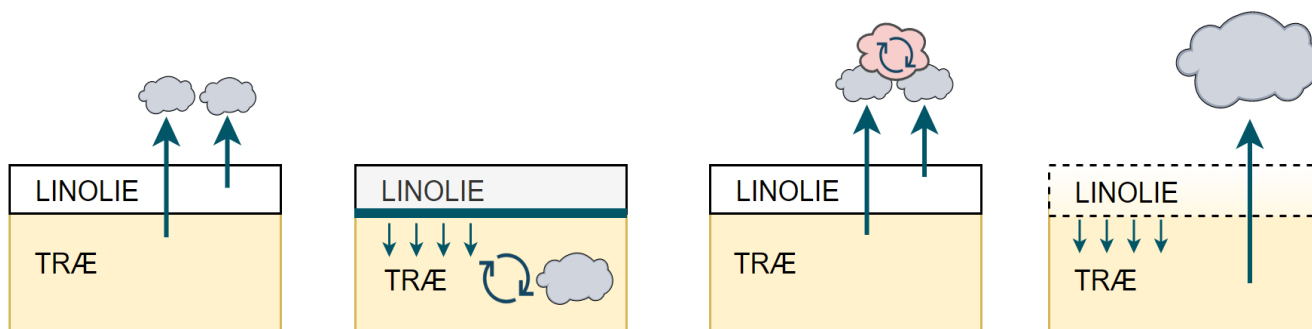
Første test inkluderede linolie og en træliste af fyr, som både blev testet hver for sig, men også i kombination, hvor linolien blev strøget på trælisten. Det andet forsøg testede OSB-plade og linoliemaling, igen både hver for sig og i kombination, hvor linoliemalingen blev strøget på OSB-pladen.



## Afgasningsprocesser ved kombinerede materialer

Et byggemateriale afgasser ofte flere forskellige stoffer, som kan interagere på forskellig måde med de tilsvarende afgasningsprodukter fra et andet byggemateriale. Når linolie eksempelvis påføres et træprodukt, kan der forekomme følgende effekter, som illustreret i nedenstående figur:

**1) Status quo:** Afgasninger fra begge materialer fortsætter uændret og reagerer ikke med andre afgasninger. **2) Forsegling:** Linolien danner en forsegling på træet som tilbageholder såvel afgasninger fra linolien som fra træet. **3) Ny kemi:** Der forekommer reaktion mellem de forskellige afgasninger som skaber ny kemi. **4) Forstærkning:** Afgasningerne i træet trækkes ud ved påføring af linolie og forstærkes hermed.



# Resultater fra kombinationstest

Forskningsteamets forventning til kombinationstestene var, at linoliemalingen og linolien i høj grad ville forsegle afgangningerne fra fyrretræ og OSB-plade. Resultaterne viste sig at være langt fra det forventede:

## Linolie på fyrretræ

I tabellen herunder ses de mange enkeltstoffer, som afgasses af træliste, linolie og kombinationen af de to. Det ses tydeligt, at kombinationen medfører langt flere flygtige organiske stoffer. VOC'erne er gjort op i specifikke værdier og ikke toluen ækvivalenter. Stoffer som 2-Butenal og Limonen ser ud til at blive forseget fuldt eller i nogen grad. Andre stoffer, som 2-Pentenal og 1-Butanol, kunne ikke måles i træ eller linolie hver for sig, men

blev målt ved kombination (markeret NY KEMI). Nogle stoffer blev forstærket op mod en faktor 5,5 (Hexanal). Samlet set forekom der en stigning i både VOC'er og aldehyder på henholdsvis 20% og 24%, så vi ser altså en negativ kombinationseffekt. Blandt de nye kemikalier opstod eksempelvis 2-pentenal, et kemisk stof med grænseværdi jf. EU-LCI listen på max 7 µg/m³ efter 28 dage. Selvom nærværende kammertest kun er forløbet over 3 dage og dermed ikke kan sammenlignes direkte med EU-LCI værdierne, er det foruroligende, at der ved kombination af to gængse naturprodukter blandt andet dannes et brandfarligt, akut giftigt, miljøskadeligt og sundhedsfarligt stof som 2-pentenal.

| Enkeltstoffer                                             | CAS-nr.    | Træliste af fyrretræ | Linolie      | Træliste af fyrretræ + linolie |             |
|-----------------------------------------------------------|------------|----------------------|--------------|--------------------------------|-------------|
|                                                           |            | µg/m³                | µg/m³        | µg/m³                          | % - ændring |
| Sum Ikke-identificerede                                   |            | 4,8                  | 143,3        | 87,8                           | -41%        |
| Sum Ikke-identificerede                                   | <C6        | 0                    | 14,4         | 13,2                           | -8%         |
| Toluene                                                   | 108-88-3   | 4,2                  | 0            | 0                              | -100%       |
| Phenol *                                                  | 108-95-2   | 0                    | 9,9          | 0                              | -100%       |
| Pentanal                                                  | 110-62-3   | 19                   | 0            | 67                             | 253%        |
| Other Alkylbenzene *                                      | 1-1-1      | 7,7                  | 0            | 4,4                            | -43%        |
| Heptanal                                                  | 111-71-7   | 0                    | 2,4          | 4                              | 67%         |
| Dimethyl glutarate *                                      | 1119-40-0  | 0                    | 3,5          | 0                              | -100%       |
| .beta.-Myrcene *                                          | 123-35-3   | 16                   | 0            | 20                             | 25%         |
| 2-Butenal *                                               | 123-73-9   | 0                    | 18           | 0                              | -100%       |
| β-Pinene *                                                | 127-91-3   | 71                   | 0            | 180                            | 154%        |
| 3-Caren *                                                 | 13466-78-9 | 350                  | 0            | 390                            | 11%         |
| Limonene *                                                | 138-86-3   | 87                   | 0            | 45                             | -48%        |
| Hexanoic acid *                                           | 142-62-1   | 0                    | 8,7          | 0                              | -100%       |
| 2-Ethylhexanoic acid *                                    | 149-57-5   | 0                    | 3,3          | 2,2                            | -33%        |
| 2-Pentenal *                                              | 1576-87-0  | 0                    | 0            | 12                             | NY KEMI     |
| Bicyclo[2.2.1]heptan-3-one, 6,6-dimethyl-2-methylene- *   | 16812-40-1 | 3,5                  | 0            | 0                              | -100%       |
| Fenchol *                                                 | 2217-02-9  | 2,4                  | 0            | 3,2                            | 33%         |
| Other Alkylbenzene *                                      | 2-2-2      | 0                    | 0            | 14                             | NY KEMI     |
| (-)-alpha-Phellandren *                                   | 4221-98-1  | 2,3                  | 0            | 2,3                            | 0%          |
| 2,4-Heptadienal, (E,E)- *                                 | 4313-03-5  | 0                    | 15           | 0                              | -100%       |
| (+)-Campher *                                             | 464-49-3   | 0                    | 0            | 5,3                            | NY KEMI     |
| 1-Terpinen-4-ol *                                         | 562-74-3   | 0                    | 0            | 6,3                            | NY KEMI     |
| 2-Heptenal *                                              | 57266-86-1 | 0                    | 2,9          | 3,1                            | 7%          |
| Terpinolene *                                             | 586-62-9   | 24                   | 0            | 26                             | 8%          |
| Tricyclo[5.4.0.0(2,8)]undec-9-ene, 2,6,6,9-tetramethyl- * | 5989-08-2  | 0                    | 0            | 8,8                            | NY KEMI     |
| 1-Penten-3-ol *                                           | 616-25-1   | 0                    | 14           | 0                              | -100%       |
| Hexanal                                                   | 66-25-1    | 12                   | 0            | 79                             | 558%        |
| 1-Butanol                                                 | 71-36-3    | 0                    | 0            | 5,6                            | NY KEMI     |
| Camphene *                                                | 79-92-5    | 5,6                  | 0            | 5,9                            | 5%          |
| α-Pinene *                                                | 80-56-8    | 320                  | 0            | 380                            | 19%         |
| α-Terpineol *                                             | 98-55-5    | 7,4                  | 0            | 28                             | 278%        |
| γ-Terpinene *                                             | 99-85-4    | 4                    | 0            | 4,7                            | 18%         |
| α-Terpinene *                                             | 99-86-5    | 3                    | 0            | 2,4                            | -20%        |
| <b>TVOC C6-C16</b>                                        |            | <b>950</b>           | <b>220</b>   | <b>1400</b>                    | <b>20%</b>  |
| Formaldehyd                                               | 50-00-0    | 0                    | 9,5          | 8                              | -16%        |
| Acetaldehyd                                               | 75-07-0    | 7,4                  | 27           | 43                             | 25%         |
| Propionaldehyd                                            | 123-38-6   | 0                    | 190          | 240                            | 26%         |
| Butyraldehyd                                              | 123-72-8   | 0                    | 0            | 6,6                            | NYKEMI      |
| 2-butenal                                                 | 123-73-9   | 0                    | 15           | 12                             | -20%        |
| Glutaraldehyd                                             | 111-30-8   | 0                    | 0            | 0                              | 0%          |
| <b>Total aldehyder</b>                                    |            | <b>7,4</b>           | <b>241,5</b> | <b>309,6</b>                   | <b>24%</b>  |

både forsegling, forstærkning og ny kemi. Det understreges igen, at der i nedenstående tabel er tale om specifikke afgangninger og ikke toluen-ækvivalente. Det er de færreste af stofferne som fortsætter afgangningen uændret.

Linoliemalingen er generelt meget lidt afgassende i forhold til målbare VOC'er i intervallet C6-C16. De flygtige organiske stoffer, som kunne registreres ved måling af

linoliemalingens afgangninger alene, er alle lavere eller helt forsvundet ved kombination. Til gengæld er nogle stoffer, såsom Hexanal, Pentanal og Heptanal fra OSB-pladen forstærket ved kombination. Det generelle billede viser en nedgang i samlede afgangninger fra de to materialer, men desværre også en del uforudsete kombinationseffekter som kan have sundhedsmæssige konsekvenser i rette mængder.

| Enkeltstof                               | CAS-nr.    | OSB-Plade<br>µg/m³ | Naturmaling<br>µg/m³ | OSB-Plade + Naturmaling<br>µg/m³ | %-ændring   |
|------------------------------------------|------------|--------------------|----------------------|----------------------------------|-------------|
| Sum Not identified *                     |            | 0                  | 16,5                 | 8,7                              | -47%        |
| 2-Ethyl-1-hexanol                        | 104-76-7   | 0                  | 2,7                  | 0                                | -100%       |
| Benzene, heptyl- *                       | 1078-71-3  | 0                  | 2,1                  | 0                                | -100%       |
| Toluene                                  | 108-88-3   | 8,7                | 5,4                  | 6,8                              | -52%        |
| Phenol *                                 | 108-95-2   | 0                  | 13                   | 2,3                              | -82%        |
| Pentanal                                 | 110-62-3   | 18                 | 0                    | 48                               | 167%        |
| Heptanal                                 | 111-71-7   | 2,1                | 0                    | 7                                | 233%        |
| Ethylidiglycol *                         | 111-90-0   | 0                  | 15                   | 0                                | -100%       |
| Ethanol, 2-[2-(2-ethoxyethoxy)ethoxy]- * | 112-50-5   | 0                  | 8,7                  | 0                                | -100%       |
| β-Pinene *                               | 127-91-3   | 11                 | 0                    | 11                               | 0%          |
| 3-Caren *                                | 13466-78-9 | 32                 | 0                    | 33                               | 3%          |
| Limonene *                               | 138-86-3   | 7,7                | 0                    | 7,7                              | 0%          |
| n-Heptane                                | 142-82-5   | 0                  | 8,6                  | 0                                | -100%       |
| 2-Pentylfuran *                          | 3777-69-3  | 3,8                | 0                    | 4,4                              | 16%         |
| Tetraethylenglycoldiethylether *         | 4353-28-0  | 0                  | 8,4                  | 0                                | -100%       |
| Terpinolene *                            | 586-62-9   | 0                  | 0                    | 3,2                              | NY KEMI     |
| Acetic acid *                            | 64-19-7    | 160                | 0                    | 0                                | -100%       |
| Hexanal                                  | 66-25-1    | 53                 | 0                    | 110                              | 108%        |
| α-Pinene *                               | 80-56-8    | 46                 | 0                    | 44                               | -4%         |
| α-Terpineol *                            | 98-55-5    | 0                  | 0                    | 4                                | NY KEMI     |
| <b>TVOC C6-C16</b>                       |            | <b>340</b>         | <b>78</b>            | <b>280</b>                       | <b>-33%</b> |

|                        |          |             |          |            |             |
|------------------------|----------|-------------|----------|------------|-------------|
| Formaldehyde           | 50-00-0  | 8,9         | 0        | 11         | 24%         |
| Acetaldehyde           | 75-07-0  | 26          | 0        | 40         | 54%         |
| Propionaldehyde        | 123-38-6 | 5           | 0        | 39         | 767%        |
| Butyraldehyde          | 123-72-8 | 3           | 0        | 10         | 223%        |
| 2-butenal              | 123-73-9 | 0           | 0        | 0          | 0%          |
| Glutaraldehyde         | 111-30-8 | 0           | 0        | 0          | 0%          |
| <b>Total aldehyder</b> |          | <b>16,5</b> | <b>0</b> | <b>100</b> | <b>506%</b> |





# Akrylmaling versus linoliemaling

Kan det betale sig at bruge linoliemaling i forhold til en standard tilgængelig akrylmaling, når man tænker på VOC afgasningen? Forskningsteamet undersøgte linoliemaling og valgte efterfølgende at undersøge en almindelig akrylmaling for at sammenligne afgasninger netop i forhold til, hvilke dampe vi indånder i den første tid efter der bliver malet. I nedenstående resultatliste ses, at akrylmalingen afgasser væsentligt flere VOC'er end linoliemalingen. Akrylmalingen afgassede i høj grad texanol, som er et opløsningsmiddel, der ikke er undersøgt

meget. Hverken akrylmalingen eller linoliemalingen havde aldehydafgasninger. Det er svært at svare med sikkerhed på, hvilken maling som bør anvendes, men akrylmalingen indeholdt både flere afgasninger af flygtige organiske stoffer og samtidig afgasning af det allergifremkaldende stof MI. Forsøgene blev ydermere udført som individuelle 3-dags test, og derfor ved vi heller ikke hvordan afgasningerne vil udvikle sig i kombination og/eller over længere tid. Dette vil kræve yderligere tests.

| Enkeltstof                               | CAS-nr.     | Naturmaling<br>µg/m <sup>3</sup> | Akrylmaling<br>µg/m <sup>3</sup> |
|------------------------------------------|-------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Sum Not identified                       | -           | 16,5                             | 132,8                            |
| Ethylbenzene                             | 100-41-4    | 0                                | 3,8                              |
| n-Propylbenzene                          | 103-65-1    | 0                                | 3,4                              |
| 2-Ethyl-1-hexanol                        | 104-76-7    | 2,7                              | 14                               |
| Benzene, heptyl- *                       | 1078-71-3   | 2,1                              | 0                                |
| Toluene                                  | 108-88-3    | 5,4                              | 2,7                              |
| Phenol *                                 | 108-95-2    | 13                               | 4,1                              |
| Butanoic acid, butyl ester *             | 109-21-7    | 0                                | 7                                |
| Other Alkylbenzene *                     | 1-1-1       | 0                                | 6,4                              |
| Methyldiglycol *                         | 111-77-3    | 0                                | 19                               |
| Ethyldiglycol *                          | 111-90-0    | 15                               | 0                                |
| Butyldiglycol *                          | 112-34-5    | 0                                | 130                              |
| Ethanol, 2-[2-(2-ethoxyethoxy)ethoxy]- * | 112-50-5    | 8,7                              | 0                                |
| n-Heptane                                | 142-82-5    | 8,6                              | 9,3                              |
| n-Butyl ether *                          | 142-96-1    | 0                                | 4,4                              |
| 1,3-Pentandiol, 2,2,4-trimethyl- *       | 144-19-4    | 0                                | 43                               |
| 4-Heptanone, 3-methyl- *                 | 15726-15-5  | 0                                | 2,1                              |
| m/p-Xylene *                             | 179601-23-1 | 0                                | 12                               |
| Texanol *                                | 25265-77-4  | 0                                | 4600                             |
| 2-methyl-4-isothiazolin-3-on *           | 2682-20-4   | 0                                | 38                               |
| Tetraetehylenglycoldiethylether *        | 4353-28-0   | 8,4                              | 0                                |
| 1,2-Propandiol (Propylene glycol) *      | 57-55-6     | 0                                | 470                              |
| Propanoic acid, butyl ester *            | 590-01-2    | 0                                | 2,3                              |
| TXIB *                                   | 6846-50-0   | 0                                | 18                               |
| 1-Butanol                                | 71-36-3     | 0                                | 5                                |
| 1-Phenoxypropan-2-ol *                   | 770-35-4    | 0                                | 3,7                              |
| Isobutyric acid *                        | 79-31-2     | 0                                | 58                               |
| o-Xylene                                 | 95-47-6     | 0                                | 2,8                              |
| <b>TVOC C6-C16</b>                       |             | <b>78</b>                        | <b>5600</b>                      |

# Diskussion

## Byggevarerdekclarationers anvendelighed

Analyseresultater påviste formaldehyd i afgangningen fra en OSB-plade. Formaldehyd er et farligt kemisk stof, som projektteamet netop havde forsøgt at undgå. Selvom mængderne var langt mindre end grænseværdien for afgangning af byggematerialer til rumluft, var det overraskende at finde et kræftfremkaldende opløsningsmiddel i et produkt som markedsføres som "100% formaldehydfri". Om det skyldes fejlbehæftet deklaration eller en kemisk proces i træfibrene som nedbrydes og dermed frigiver formaldehyd efter indbygning, er svært at sige med sikkerhed. I sidstnævnte fald kan man konstatere, at selv troværdig deklaration ikke er tilstrækkeligt til at sikre et kemifrit slutprodukt, såfremt man ikke tager hensyn til den eventuelle udvikling over tid rent kemisk – alene, eller i kombination med andre stoffer.

Formaldehyd er blot en af mange farlige kemiske stoffer som flourer blandt byggematerialer, selvom der efterhånden er skrappe krav til brug af kemi i samme. PCB, Bly og asbest er nogle af de bedste eksempler på hvordan vi hele tiden bliver klogere og formentligt slet ikke ved nok om de kemiske stoffer i byggematerialer, og ikke mindst interaktionen herimellem, som vi anvender i dag.

Nærværende projekt vidner om et behov for at vi tager skridtet videre til der hvor man ikke blot sætter sin tillid til produkterne. Materialepas, gennemsigtige produktdeklarationer, indeklimatekninger, HPD'er (Health Product Declaration) svarende til EPD'er bare med sundhed i fokus i stedet for miljø) - mulighederne er mange for at hjælpe forbrugerne til at vælge med omtanke når der handles byggematerialer. Spørgsmålet er så hvorvidt de efterfølgende kombinationseffekter når afgangninger fra byggematerialer interagerer i samme rumluft, nogeninde kan kortlægges tilstrækkeligt så brugerne ikke indånder sundhedsskadelige kemiske komponenter.

## Træprodukter i indeklimaet

De fleste genkender duften af træ. Når træ saves eller bearbejdes frigives typisk en lang række terpenener som kan genkendes af vores lugtesans. Indånding og kontakt med terpenener i større mængder, kan dog være sundhedsskadeligt, hvorfor Arbejdstilsynet i arbejdsregi stiller krav til rumluftens indhold af samme. Det er dog ikke kun terpenernes specifikke form som gør dem sundhedsskadelige, men også deres klæbrige konsistens som inviterer til andre kemiske processer. En stor del af harpiks fra fyrretræer består eksempelvis af terpenener. På samme måde som den klistrede harpiks, klæber terpenener sig til overflader og andre kemiske stoffer. Dette kan resultere i dannelsen af andre farlige kemiske stoffer såsom formaldehyd eller medføre opståen af partikler i mange forskellige fraktioner der blandt andet kan vandre ned i vores lunger og videre ud i blodbanen. Der er formentligt stor forskel på træes afgangninger som afhænger af sort, forarbejdning, lagringstid, mm., men en ting er sikkert, træprodukter i indeklimaet bør undersøges nærmere.

## Kombinationseffekter

Eksemplet på frigivelsen af terpenener fra træprodukter kan formentligt være med til at besvare spørgsmålet om hvorfor rumluftkoncentrationen af VOC'er i NO-Tech huset generelt var højere end i de andre boliger. Kammer-testforsøg af byggematerialerne viste mange forskellige afgangninger der i sit hele skabte et væld af muligheder for kombinationseffekter. Med andre ord, så er de flygtige terpenener blot et eksempel på stoffer som uden tvivl bidrog til den kemi der forekom i boligen, herunder tilvejebringelsen af nye kemiske stoffer. De testede materialer er formentligt ikke, hver i sær, dominerende i forhold til den endelige rumluftkoncentration. Kombinationseffekter estimeres derimod at have en langt større indflydelse på rumluftens samlede indhold af VOC'er og aldehyder. Linolie på træliste af fyrretræ og linoliemaling på OSB-plade reagerede fuldstændig utilregneligt, dog med én fælles vigtig konklusion – Når to relativt fredelige produkter mødes, kan der skabes ny potentiel farlig kemi.



# Konklusion og perspektivering

Afgasningernes oprindelse kunne delvist spores tilbage til alle udvalgte materialer. Det kan ikke konkluderes at afgasningerne stammer 100% fra de individuelle byggematerialer, men derimod at de udvalgte materialer bidrager til rumluftkoncentrationen med forskellige kemiske stoffer.

Der har uden tvivl forekommet kombinationseffekter i NO-Tech huset, som skabte ny kemi - heriblandt nogle potentielt sundhedsskadelige kemiske stoffer. Kombinationen af linolie og træliste af fyrretræ skabte både flere aldehyder og TVOC'er, hvilket viser, at såkaldte naturprodukter ikke nødvendigvis er så 'uskyldige' som man skulle tro. OSB-pladen kombineret med linoliemaling resulterede i mere end 5 gange flere aldehyder end produkterne summeret hver for sig. Cocktaileffekterne er, efter alt at dømme, meget mere komplicerede end først antaget. Langt de fleste afgasninger ændrede mængdemæssig tilstedeværelse efter kombination.

Den testede linoliebaserede maling afgassede væsentligt færre VOC'er end den testede akrylmaling. Akrylmalingen afgassede også 2-methyl-4-isothiazolin-3-on som er i gruppe med MI, det allergifremkaldende konserveringsmiddel, der stadig anvendes i mange akrylmaling. Det var nogle enkelte stoffer i akrylmalingen, som for alvor gav udslag i kammertesten; Texanol og 1,2 Propanediol var blandt de komponenter, som toppede listen over bidrag til TVOC-værdien. De er dog samtidigt stoffer, som ikke umiddelbart forbindes med akut toksicitet eller sundhedsfare.

Dette afgasningsforsøg har for så vidt rejst flere spørgsmål, end det besvarede. Testkammerforsøgene blev udført som 3-dages test for at afdække flest mulige byggematerialer både individuelt og i kombination. I bagklogskabens lys ville en 28 dages test have muliggjort direkte sammenligning med EU-LCI. Det havde givet stor værdi at teste produkterne flere gange, samt over en længere periode, for at se hvor lang tid der i realiteten går, før produkternes afgasninger aftager. Samtidig vil kombinationseffekterne formentlig ændre sig over tid.

Rapportens resultater kan have betydning for mindst to igangværende debatter i byggeriet: Tankerne om en Frivillig Bæredygtighedsklasse med en indbygget maksimalgrænse for TVOC'er, og debatten om mere træbyggeri.

Der er ingen tvivl om at resultaterne peger på et stort ukendt land som hedder kombinationseffekter, som betyder at der for rådgivere vil ligge en kompleks opgave i at projektere sig frem til overholdelse af den givne TVOC grænse – med mindre producenterne begynder at deklarere sine produkter, ikke blot i forhold til afgasninger nu og her, men også på eventuelle henfaldsprodukter over tid, og især i forhold til mulig kombinations-kemi når produktet bringes i samspil med de gængse øvrige produkter, man typisk bygger sammen. Som det er lige nu, findes der ingen værktøjer til projektering af byggeri med tilstrækkeligt lave afgasninger fra byggematerialer – der mangler viden om håndtering og sammenspil mellem byggematerialernes afgasninger. Det betyder naturligvis ikke at man skal opgive tanken om en TVOC grænse – blot være opmærksom på de udfordringer, der ligger heri.

På samme måde kan resultaterne nuancere debatten om mere træ i byggeriet. Hvor et træbyggeri i 'gamle dage' måske ikke blev kombineret med meget andet end tegl og kalk, vil der i det moderne byggeri ske kombination med tusindvis af andre stoffer. Her er det vigtigt at man har for øje, at træets terpenener kan medføre uønskede kombinationseffekter, som man bedst tackler ved at være opmærksom på udfordringen allerede i projekteringen. Enten ved at skærme eller forsegle træet, så eksempelvis terpenenerne ikke florerer i indeklimaet, hvor de kan klistre sig til støv eller andre luftbårne partikler og potentielt skabe kombinationskemi, eller alternativt på anden vis sikre, at træet er fuldt afgasset før det indgår som overflade i opholdsrummet. Heller ikke her skal resultaterne tages til indtægt for modstand mod træbyggeri; også her skal det blot ses som en nuancering af debatten, og en belysning af nogle hidtil upåagtede forhold, man med fordel bør medtage i sin planlægning."