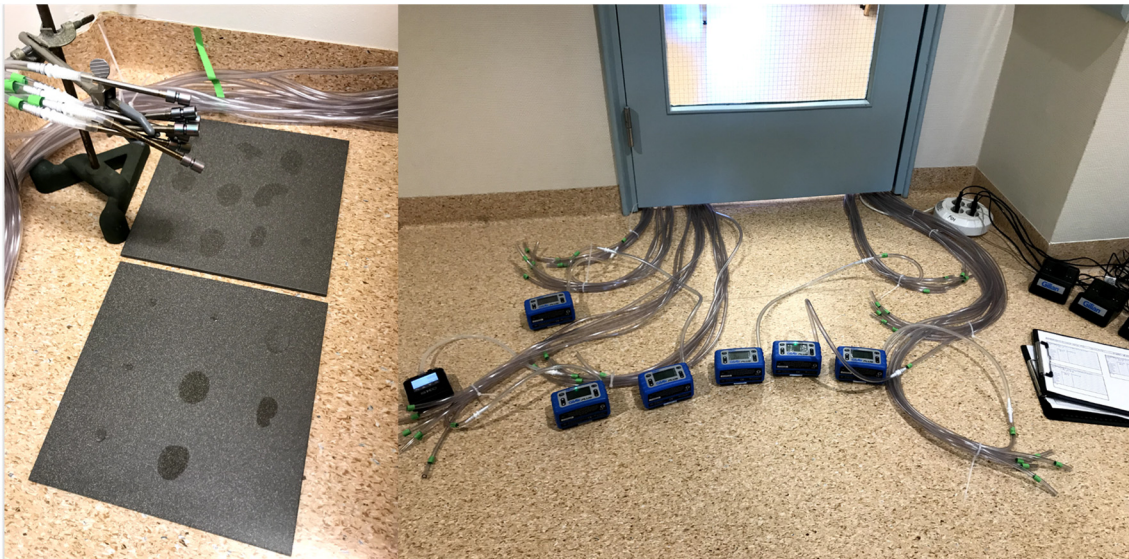


Projektnummer/Project no Kund/Customer  
A401021 Försvarsdepartementet  
FoT-område  
Inget FoT-områdeFörfattare/Author  
Roger Magnusson och Anders ÖstinDatum/Date Memo nummer/Number  
2021-09-29 FOI Memo 7615

## Luftspridning av flyktiga ämnen från spill i rum – förbättrad fältanalys för CBRN-team



Titel/Title

Memo nummer/Number

Luftspridning av flyktiga ämnen från spill i rum – förbättrad fältanalys för CBRN-team FOI Memo 7615

# 1 Introduktion

FOI har de senaste åren aktivt arbetat med att kompetensutveckla CBRN-team både inom Försvarmakten (SkyddC) och civila myndigheter (Avancerad indikering, AI). Det har gjorts dels inom det avslutade projektet *Fältanalys av gaser vid het zon*, dels i form av framtagning av metodik och utbildning i fältanalys, samt som aktivt expertstöd. En av flera återkommande frågeställningar under detta arbete har varit hur gasformiga ämnen kan spridas i ett rum och var det är mest fördelaktigt att utföra luftprovtagning eller mätning med portabel gaskromatografi-masspektrometri (GC-MS) i fall där ingen källa kan identifieras.

Ett återkommande scenario för AI är uttryckning på grund av att människor påverkats av dålig eller stickande lukt som uppstått i rum eller byggnader, uppdrag som ofta slutar med att man inte lyckas identifiera orsaken. CBRN-teamens strategi vid luftmätning i fall som detta är att söka en mätplats med erforderlig luftkoncentration av ämnet för att kunna identifiera det. Detta kan vara relativt lätt om rekognosering med direktvisande instrument, exempelvis en fotojonisationsdetektor (PID), påvisar en tydlig källa av vätskeformigt eller fast ämne som avger flyktiga ämnen i hög koncentration, men det är betydligt svårare om ämnet helt avdunstat till gasfas innan ett CBRN-team är på plats eller att ämnet är gasformigt redan från början. Som första åtgärd, redan innan CBRN-teamet är på plats, inleds dessutom ofta en utvädring. Denna åtgärd minskar effektivt risken för exponering, vilket är av högsta prioritet, men innebär också ytterligare försämrad möjlighet för CBRN-teamet att identifiera orsaken. I dessa fall har rekommendationen varit att mäta i trånga utrymmen eller hörn där hypotesen är att det tar längre tid att vädra ut ämnet. I andra förekommande scenarion kan det vara aktuellt med luftprovtagning eller mätning i utrymmen som inte vädrats ut, till exempel inuti en anländ transportcontainer. Här bör man ha i åtanke att en inledande rekognosering kan innebära en utvädring i sig.

Det analysinstrument som idag används för luftmätning både inom Försvarmakten och civila myndigheter heter HAPSITE Smart Plus och är en bärbar GC/MS. En analys med detta instrument tar cirka 15 minuter vilket innebär att en prov- och bakgrundsmätning kan ta mer än 30 minuter. Ofta finns inte tid, möjlighet eller batterikapacitet att utföra mer än en eller några få mätningar under en insats, vilket gör det än viktigare att mätningar utförs på ett så bra ställe som möjligt.

Denna studie initierades för att med några avgränsade försök utreda hur avgasade ämnen sprider sig från ett litet spill i ett normalventilerat rum. Följande frågor ställdes:

- Hur förändras ämnenas luftkoncentration över tid på olika platser utan vädring och hur påverkas den av utvädring?
- Varierar luftkoncentrationen på olika höjd i rummet?
- Är det mer fördelaktigt att utföra mätning i avgränsade utrymmen som hörn, skrymslen eller skåp med potentiellt sämre omblandning, där gasformiga ämnen kan finnas kvar längre tid än i rummet i övrigt?
- Hur förändras luftkoncentrationerna över tid för snabbt avdunstande flyktiga ämnen, jämfört med mindre flyktiga ämnen som kan ligga kvar under lång tid?

För att få svar på frågor som dessa utformades och utfördes två separata försök, ett för att över tid studera luftspridningen av flyktiga ämnen från spill i ett stängt rum med normal omblandande ventilation, samt ett uppföljande försök för att studera inverkan av viss utvädring och hur spridning sker in till ett helt stängt skåp.

Titel/Title

Memo nummer/Number

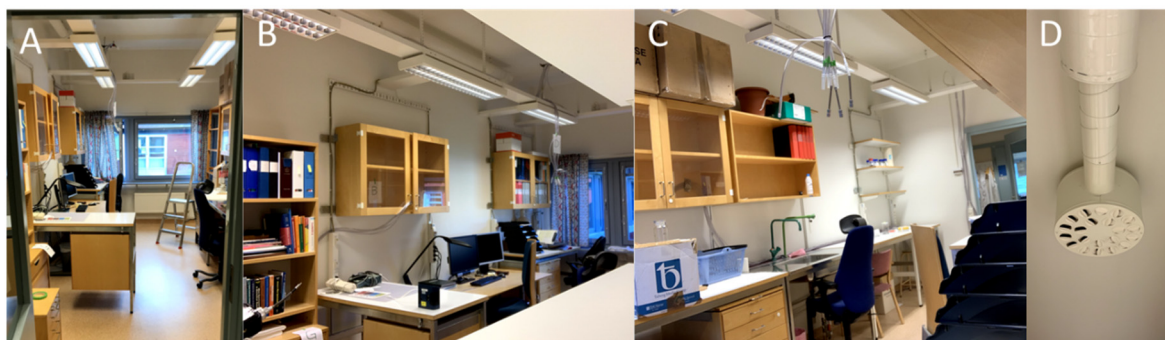
Luftspridning av flyktiga ämnen från spill i rum – förbättrad fältanalys för CBRN-team FOI Memo 7615

## 2 Material och metoder

### 2.1 Beskrivning av rum

Försöket utfördes i ett rum med måtten 3 x 6 m och en takhöjd på 3,25 m, vilket innebär en rumsvolym på 58,5 m<sup>3</sup>. Rummet hade tidigare använts som laboratorium men var nu huvudsakligen inrett som kontor. Rummet hade en ingång från kortsidan och två fönster i motsatt kortsida (se figur 1). Längs vänstra långsidan fanns en lådhurts, en bokhylla, ett skrivbord med hurts, ett databord med två datorskärmar, ytterligare ett skrivbord med hurts och två vägghängda skåp med glasdörrar. Längs högra sidan fanns två laboratoriebanker med en vask emellan, två vägghängda hyllor och ett vägghängt skåp med glasdörrar. I rummet stod också tre kontorsstolar. Övriga föremål som böcker, lampor, kontorsutrustning m.m. lämnades orörda kvar på plats.

Rummet var försett med omblandande ventilation, med både mekanisk till- och frånluft som var inställd för att ge ett litet övertryck i rummet. Tilluftsdonet var placerat strax under taket i mitten av rummet, 2,2 m från ingångens kortsida (figur 1D), och frånluftsdonet strax under taket i bortre änden av rummet nära vänstra långsidans vägg. Ventilationsflödet för tilluft uppmättes till ~100 m<sup>3</sup>/timme vilket ger en luftomsättning på ~1,7 rumsvolymer per timme.



**Figur 1.** Foton från rummet tagna in genom dörröppningen (A), från övre hörn höger om dörröppningen (B), från övre hörn vänster om fönstren (C), och på ventilationsdonet i taket (D).

### 2.2 Försöksämnen, applicering av spill och provtagningsplatser

Som försöksämnen användes 18 vätskeformiga organiska ämnen, tio n-alkaner och åtta estrar (tabell 1). Dessa täcker in ett stort spann i flyktighet med ångtryck mellan 0,00066-17,6 kPa och är relativt harmlösa, vilket möjliggjorde utförandet av försöken i ett vanligt rum på arbetsplatsen utan omfattande försiktighetsåtgärder. Föreningarnas retentionsindex (RI) var jämnt fördelade inom intervallet 600-1500 (RI är ett standardiserat mått på ett ämnes retentionstid vid analys med GC) vilket gjorde det enkelt att analysera alla 18 föreningar samtidigt. Några av de valda föreningarna låg utanför analysområdet för HAPSITE Smart Plus (RI<1250), men går att analysera med stationära GC/MS-instrument och även med HAPSITE ER eller Griffin G510, som är modernare versioner av portabla GC/MS-instrument. Valda föreningar var lätta att analysera vilket innebar att utvärderingen av analysdata från försöken inte påverkades nämnvärt av eventuella analytiska svårigheter.

Försöken inleddes genom att 40 mg av varje ämne, 37-61 µl, beroende på ämne (vilket i snitt motsvarar 1/20 kryddmått), applicerades på två klinkerplattor (30 x 30 cm) placerade på golvet i hörnet direkt till vänster om ingången (se figur 2). Ämnena applicerades i omvänd ångtrycksordning för att motverka avdunstning under appliceringen, vilken tog ~1 minut. Efter appliceringen stängdes dörren till rummet och försöket startades. Provtagning utfördes på sju platser i rummet i försök 1 och

Titel/Title

Memo nummer/Number

Luftspridning av flyktiga ämnen från spill i rum – förbättrad fältanalys för CBRN-team FOI Memo 7615

på två platser i försök 2, enligt tabell 2 och figur 2 och 3. Provtagningsplats A var placerad i anslutning till spillet och övriga provtagningsplatser var utspridda i rummet, vissa på öppna platser där inverkan av ventilationsflödet antogs vara stor och andra i skåp eller undanskymda ställen där omblandningen antogs vara sämre. Provtagningsplats C, D och E var öppet placerade på samma position men på olika höjder för att undersöka eventuella höjdrelaterade skillnader. I försök 2 användes endast provtagningsplats B samt ytterligare en provtagningsplats H inne i ett helt stängt vägghängt skåp.

Inledande avdunstningsförsök utfördes för hexan, nonan, dodekan och pentadekan genom att placera en bit klinkerplatta på en känslig våg och på den applicera 50 µl av vardera ämne och följa viktförändringen tills ämnet helt avdunstat.

**Tabell 1.** Egenskaper hos försöksämnen inkluderade i studien.

Ämne	Summaformel	CAS-nr	Molekylvikt (g/mol)	Kokpunkt (°C)	Ångtryck 20-25 °C (kPa)	RI*
<b><u>n-Alkaner</u></b>						
Hexan	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	110-54-3	86	68,8	17,6	600
Heptan	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	142-82-5	100	98,4	5,3	700
Oktan	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	111-65-9	114	125,6	1,47	800
Nonan	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	111-84-2	128	150,7	0,59	900
Dekan	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	124-18-5	142	174,1	0,195	1000
Undekan	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	1120-4-21	156	195	0,055	1100
Dodekan	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	112-40-3	170	216	0,018	1200
Tridekan	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	629-50-5	184	234	0,012	1300
Tetradekan	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	629-59-4	198	255	0,005	1400
Pentadekan	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	629-62-9	212	270	0,00066	1500
<b><u>Estrar</u></b>						
tert-Butylacetat	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	540-88-5	116	97	6,3	639
Etyltrimetylacetat	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	3938-95-2	130	118,4	2,4	774
Etylisopentanoat	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	108-64-5	130	135	1,1	854
Propylisopentanoat	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	557-00-6	144	155,9	0,35	946
Fenylacetat	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	122-79-2	136	196	0,05	1067
Etylbensoat	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	93-89-0	150	212	0,036	1171
Etylfenylacetat	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	101-97-3	164	227	0,008	1246
Pentylbensoat	C <sub>12</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	2049-96-9	192	260	0,003	1452

\*Kovats retentionsindex



Titel/Title

Memo nummer/Number

Luftspridning av flyktiga ämnen från spill i rum – förbättrad fältanalys för CBRN-team

FOI Memo 7615

**Tabell 2.** Beskrivning av spillens placering och provtagningsplatser i rummet.

Beskrivning/placering	Höjd (cm)	Avstånd från spill (cm)
<b>Spill (A)</b> På två klinkerplattor placerade på golvet i rummets hörn direkt till vänster om ingången.	0	0
<b>Provtagningsplatser</b>		
<b>A</b> 25 cm ovanför centrum av spill, mittemellan klinkerplattor.	25	25
<b>B</b> Längst ned i vägghängt skåp på rummets vänstra vägg, skåpdörr 2,5 cm på glänt.	150	300
<b>C</b> Öppen golvposition i rummets borte del.	0	440
<b>D</b> Öppen position mitt mellan golv och tak i rummets borte del.	160	455
<b>E</b> Öppen takposition, 20 cm under taknivå i rummets borte del.	305	535
<b>F</b> Golvposition mitt bakom kartong (25×30×40 cm) placerad 10 cm från vägg under labbänk längs rummets högra vägg.	0	265
<b>G</b> Längst in i hörn i trångt fack (30×80×10 cm) i bokhylla placerad längs vänstra väggen. Facket är i övrigt fyllt med pappersmaterial.	75	175
<b>H</b> Längst ned i vägghängt skåp på rummets högra vägg i borte delen av rummet, skåpdörr helt stängd.	145	490

**Figur 2.** Skiss och foton över platser (A-G) i rummet där luftprovtagning utfördes. Position A var placerad 25 cm ovanför de två klinkerplattor där spill applicerades.**Figur 3.** Provtagningsplats H som användes i försök 2 var placerad inne i ett vägghängt skåp, med helt stängda glasdörrar. Skåpet var placerat på rummets högra sida.

Titel/Title

Memo nummer/Number

Luftspridning av flyktiga ämnen från spill i rum – förbättrad fältanalys för CBRN-team FOI Memo 7615

## 2.3 Provtagning och analys

Provtagning utfördes genom att pumpa 840 ml rumsluft (70 ml/min i 12 min) genom ett adsorbenttrör fyllt med Tenax TA (Cat Nr 25055, Supelco, Bellefonte, PA, USA) med hjälp av en kalibrerad provtagningspump (GilAir Plus, Gilian). Alla adsorbenttrör placerades ut i rummet innan försöket startades, med provtagningsänden försedd med ett inert DiffLok-lock (Nr C-DLS10, Markes International). DiffLok är en patenterad teknik som möjliggör pumpat flöde genom adsorbenttrör utan passivt upptag av ämnen på adsorbenten under den tid då pumpen inte är igång. Användning av denna teknik var helt avgörande för försöken då upplägget innebar att alla adsorbenttrör förvarades på plats i rummet under hela försökets gång. Varje enskilt adsorbenttrör var anslutet till en provtagningspump utanför rummet, med hjälp av fördragen provtagnings slang. Slangar till provtagningsplats H i försök 2 (se figur 3) drogs genom ett uppborrat hål i botten av skåpet som sedan tätades för att bevara skåpet helt stängt.

Innan spill applicerades utfördes en bakgrundsprovtagning på varje provtagningsplats. På varje provtagningsplats fanns ytterligare ett adsorbenttrör utrustat med DiffLok vilket var anslutet till 50 cm provtagnings slang som var pluggad i ena änden. Dessa adsorbenttrör användes inte för pumpad provtagning utan för kontrollmätning av totalt passivt upptag under hela försökets genomförande.

## 2.4 Design och utförande av försök

Vid försök 1 utfördes all provtagning i ostört rum med stängd dörr. Detta för att undersöka spridningen av flyktiga ämnen i rummet över tid utan inverkan av eventuell utvädring som öppning av dörr eller fönster kan orsaka. Efter att spill applicerats och dörren stängts utfördes provtagning vid sex olika tidpunkter, 10 minuter, 30 minuter, 1, 2,5, 5 och 10 timmar (se tabell 3).

Vid försök 2 lades fokus på jämförelse mellan två identiska skåp och inverkan av lättare utvädring, ett med dörr lite på glänt som i försök 1 (provtagningsplats B) och ett med helt stängd dörr (provtagningsplats H). Efter att spill applicerats hölls dörren till rummet stängd under provtagning vid de första tre tidpunkterna (30 minuter, 1 timme och 2,25 timmar), precis som i försök 1 (se tabell 3). Efter fullbordad provtagning vid 2,25 timmar öppnades dörren och den fick sedan stå öppen medan två personer gick in och efterliknade en rekognosering under 20 minuter. Därefter lämnades dörren fortsatt öppen och provtagning utfördes vid ytterligare tre tidpunkter: 20 minuter, 45 minuter och 1,5 timmar efter öppning av dörren.

Parallellt med provtagningen vid 2,25 timmar utfördes även mätning med HAPSITE (SmartPlus, INFICON) och mätning med PID (ppbRAE3000, RAE Systems) in under dörren. Rekognoseringen som gjordes innefattade fotografering och PID-mätning. Efter den sista provtagningen gick två personer återigen in i rummet för ytterligare PID-mätning och HAPSITE-mätningar.

**Tabell 3.** Tidpunkter för provtagning i de två olika försöken.

<b>Försök 1</b>	<b>Försök 2</b>
<b>Provtagningsplats A, B, C, D, E, F, G</b>	<b>Provtagningsplats B, H</b>
10 minuter	
30 minuter	30 minuter
1 timme	1 timme
2,5 timmar	2,25 timmar
5 timmar	20 minuter efter öppning av dörr
10 timmar, sedan togs spill bort	45 minuter efter öppning av dörr
26 timmar	1,5 timmar efter öppning av dörr

Titel/Title

Memo nummer/Number

Luftspridning av flyktiga ämnen från spill i rum – förbättrad fältanalys för CBRN-team FOI Memo 7615

### 3 Resultat och diskussion

Inledande avdunstningsförsök med 50 µl ämne på en klinkerplatta visade att tiden tills allt ämne hade avdunstat var 1,5 minuter för hexan (det flyktigaste ämnet), 18,5 min för nonan, 3 timmar för dodekan och 24 timmar för pentadekan (det minst flyktiga ämnet). Detta innebär att redan strax efter andra tidpunkten för provtagning i försök 1 (30 min) har åtminstone de åtta flyktigaste ämnena helt avdunstat medan några av de minst flyktiga finns kvar i vätskeform under hela försöket (10 timmar).

Bakgrundmätningar innan applicering av ämnena visade inga detekterbara mängder av ämnena medan den passiva kontrollen visade ett litet kumulativt upptag under hela försöket, vilket var störst för de flyktigaste ämnena. Alla mätvärden korrigerades för detta passiva upptag, vilket hade viss inverkan på de allra lägsta mätvärdena för respektive ämne och provtagningsplats.

#### 3.1 Försök 1 – provtagning nära spillet (plats A)

Resultaten från försök 1 visas i figur 4 och 5. Vid provtagningsplats A nära källan till utsläppet uppvisade de nio flyktigaste ämnena (upp till och med dekan) en liknande trend med högsta luftkoncentrationer (2800-4200 µg/m<sup>3</sup>, 480-1200 ppb) efter 10 minuter och sedan snabbt minskande koncentrationer, vilket stämmer väl med de relativt korta avdunstningsförloppen för ämnena med dessa ångtryck.

Resterande nio ämnena med lägre flyktighet visade en annorlunda trend vid provtagningsplats A. Luftkoncentrationerna för dessa ämnen förändrades på olika sätt över tid enligt nedan:

- steg under 1-2,5 timmar för att sedan sjunka (alkanerna undekan, dodekan och tridekan)
- steg under fem timmar för att sedan sjunka (etylbensoat)
- ökade för varje tidpunkt och nådde högst koncentration i luften efter 10 timmar (fenylacetat, etylfenylacetat, tetradekan, pentylbensoat, pentadekan).

Maximal luftkoncentration för dessa nio ämnena med lägre flyktighet varierade mellan 30-3000 µg/m<sup>3</sup> (4-480 ppb). Luftkoncentrationerna minskade generellt med minskad flyktighet för alkaner respektive estrar var för sig, där estrarna uppvisade lägre luftkoncentrationer än alkanerna med motsvarande ångtryck, med etylbensoat som undantag. Skillnaden mellan alkaner och estrar påvisar inverkan av andra faktorer än enbart ångtryck på avdunstningsförloppet, till exempel ytspänningens påverkan på utflytningsförmågan och därigenom tillgänglig area för avdunstning. Speciellt etylbensoat flöt ut mer vid applicering än de tre övriga mindre flyktiga estrarna och uppvisade också ett snabbare tidsförlopp avseende förändring i luftkoncentration. En genomgående trend för alla ämnena vid provtagningsplats A verkade vara ökad luftkoncentration tills strax innan ämnet helt avdunstat för att sedan minska. Detta är ett rimligt förlopp. Till exempel nådde dodekan, som avdunstar helt efter 3 timmar, sin maxkoncentration i luften efter 2,5 timmar.

#### 3.2 Försök 1 - provtagning på övriga platser i rummet (plats B-G)

På övriga provtagningsplatser, B-G, uppmättes liknande luftkoncentrationer för alla ämnena vid varje enskild tidpunkt, speciellt från 30 minuter och framåt, med något sämre överensstämmelse för de mindre flyktiga ämnena. Redan efter 30 minuter var luftkoncentrationerna alltså i princip densamma överallt i rummet förutom vid källan (provtagningsplats A) och förändrades på samma sätt över tid. För de åtta flyktigaste ämnena hade luftkoncentrationerna vid provtagningsplats A minskat till liknande nivåer som vid övriga mätplatser redan efter 0,5-2,5 timmar, medan luftkoncentrationen vid provtagningsplats A för mindre flyktiga ämnen var högre eller betydligt högre under hela perioden på 10 timmar. Trenden i koncentrationsförändring över tid vid provtagningsplats B-G stämde väl överens med provtagningsplats A för alla ämnena, med undantag för luftkoncentrationen vid 10 minuter för de nio flyktigaste ämnena. Detta bekräftar den snabba omblandningen och homogeniseringen av luften i rummet. Högsta uppnådda luftkoncentrationer vid provtagningsplats

Titel/Title

Memo nummer/Number

Luftspridning av flyktiga ämnen från spill i rum – förbättrad fältanalys för CBRN-team FOI Memo 7615

B-G låg mellan 250-600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  för de nio flyktigaste ämnena och 0,5-180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  för de nio mindre flyktiga ämnena.

### 3.3 Försök 1 - slutsatser

Resultaten för de mindre flyktiga ämnena bekräftar att det alltid är fördelaktigt att mäta nära källan så länge en sådan finns kvar. Efter att källan har avdunstat verkar däremot val av mätpunkt inte spela någon större roll för ett rum med en väl omblandande ventilation, men analys bör utföras så snabbt som möjligt, något som med all sannolikhet gäller även ämnen som initialt är gasformiga. I detta fall stämmer alltså inte hypotesen att luftkoncentrationen skulle variera på annat sätt i trängre utrymmen på grund av sämre omblandning än rummet i övrigt, i alla fall inte när utrymmet står i viss öppen förbindelse med övriga rummet. Vidare var det uppenbart att ångorna inte spred sig lågt längs golvet på grund av lägre densitet än luft, då inga skillnader mellan golv och taknivå kunde observeras. Luftomrörning av ventilationen verkar vara den totalt dominerande faktorn för hur ämnen i gasform fördelas i rummet. I ett sämre ventilerat rum är det därför sannolikt att spridningen ser något annorlunda ut på grund av utebliven eller betydligt lägre omblandande effekt, med förlängd tid innan homogen koncentration i luften uppnås.

Om man jämför luftkoncentrationer för de nio flyktigaste ämnena i figur 4 mot detektionsgränser som för HAPSITE SmartPlus är  $\sim 5\text{-}40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  med PPM-metoden och  $\ll 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  med PPB-metoden, bör dessa ämnen gå att identifiera i upp till fem timmar med PPM-metoden och i minst tio timmar med PPB-metoden, trots att allt spill sedan länge avdunstat helt. Vid större mängd spill än i detta försök ( $\sim 50 \mu\text{l}$  per ämne) i ett liknande rum bör högre luftkoncentration uppnås och därför bör också tiden för möjlig identifiering med HAPSITE förlängas. För de mindre flyktiga ämnena som inte hinner avdunsta är luftkoncentrationerna vid provtagningsplats B-G inte lika relevanta då HAPSITE-mätning med fördel kan utföras vid källan.

### 3.4 Försök 2 – jämförelse mellan stängt och nästan stängt skåp (H och B)

Resultaten från försök 1 ledde fram till upplägget av försök 2, där koncentrationsförloppet i ett helt stängt vägghängt skåp (provtagningsplats H) jämfördes med det i väggskåp med dörr på glänt (provtagningsplats B), före och efter lätt utvädring. Resultaten från försök 2 illustreras i figur 6 - 8.

Luftkoncentrationerna av de olika ämnena vid provtagningsplats B innan utvädring (0,5, 1 och 2,25 timmar) var relativt lika motsvarande koncentrationer under försök 1, vilket visar på ett liknande avdunstnings- och spridningsförlopp. Luftkoncentrationerna av de flyktigare ämnena (upp till dekan) minskade mellan tiden 0,5 till 2,25 timmar och fortsatte efter vädring (som inleddes efter 2,45 timmar) att minska till mycket låga koncentrationer vid 4,1 timmar. Det helt stängda skåpet (provtagningsplats H) uppvisade ett helt annat koncentrationsförlopp för dessa ämnen, med låga men långsamt ökande luftkoncentrationer ända tills vädring, och sedan relativt oförändrade eller långsamt minskande luftkoncentrationer vid 4 timmar. Luftkoncentrationerna vid provtagningsplats H var vid 0,5 och 1 timme mycket lägre än vid provtagningsplats B, men vid 4,1 timmar (efter vädring i 1,5 timmar) hade förhållandet vänt och koncentrationerna för ämnena med flyktighet till och med nonan uppmättes i genomsnitt till  $37 \pm 14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vilket var 3-23 ggr högre ( $12 \pm 14$  ggr) högre än vid provtagningsplats B. Koncentrationsskillnaderna var störst för de allra flyktigaste ämnena medan propylisopentanoat, dekan och undekan uppvisade ungefär samma luftkoncentrationer vid provtagningsplatserna H och B, 1,5 timmar efter vädring. För de mindre flyktiga ämnena (fenylacetat och uppåt) var luftkoncentrationerna vid provtagningsplats H betydligt lägre än de vid provtagningsplats B under hela försökets gång.

### 3.5 Försök 2 – mätning med PID och HAPSITE vid rekognosering

PID-mätning som inleddes vid påbörjad rekognosering efter 2,45 timmar konfirmerade att den totala koncentrationen av mätbara ämnen i luften var homogen i hela rummet ( $\sim 30$  ppb) även i detta försök, förutom precis innanför öppnad dörr (0 ppb) och vid källan (0-1000 ppb, 5 cm över kvarvarande spill och  $> 10000$  ppb med tratt över spill). Inledande mätning in under stängd dörr vid



Titel/Title

Memo nummer/Number

Luftspridning av flyktiga ämnen från spill i rum – förbättrad fältanalys för CBRN-team FOI Memo 7615

2,25 timmar visade däremot betydligt lägre nivåer än mätning inne i rummet, 0-5 ppb med PID och knappt mätbara nivåer med HAPSITE PPM-mätning, och var i detta fall alltså ett sämre val av mätplats. PID-mätningarna i rummet och på provtagningsplats B visade förvånansvärt låga luftkoncentrationer jämfört med resultaten från stationär provtagning, vilket innebär att PID i detta fall underskattar den faktiska koncentrationen. PID-mätning utförd efter avslutad stationär provtagning vid 4,1 timmar (efter 1,5 timmars vädring) visade 0 ppb i hela rummet förutom vid kvarvarande spill, där luftkoncentrationen var 400 ppb. PPB-mätningar med HAPSITE, utrustad med nål, verifierade att luftkoncentrationerna av de flyktigare ämnena var betydligt högre inne i det stängda skåpet (provtagningsplats H) än 20 cm rakt utanför skåpet. Även PID-mätning vid öppning av skåpdörren på glänt gav ökat utslag (10-70 ppb), liksom införsel av mätprob i skåpet (180 ppb).

### 3.6 Försök 2 – slutsatser

En generell slutsats är alltså att koncentrationsförändringen i luften i ett stängt skåp ser helt annorlunda ut än i öppna delar av rummet, eller i utrymmen som har viss öppen förbindelse med övriga rummet. Koncentrationen ökar betydligt långsammare i det helt stängda skåpet och når aldrig samma nivå som initialt uppnås i rummet i övrigt. Men eftersom det även tar längre tid för luftkoncentrationerna i skåpet att minska kan man här identifiera gasformiga ämnen även efter det att ett spill har avdunstat och ångorna vädrats ut från öppnare delar av rummet, vilket ofta är fallet när ett CBRN-team kommer på plats. Dock visar försöken att skåpet måste vara helt stängt för att denna effekt ska slå igenom. Finns spill kvar är det givetvis fortsatt fördelaktigast att mäta vid källan.

### 3.7 Försök 2 – effekt av utvädring

En jämförelse mellan försök 1 och 2 för skåpet med dörr på glänt (provtagningsplats B) visade att effekten av lättare utvädring under 1,5 timmar var stor för mindre flyktiga ämnen (upp till dekan samt för undekan och dodekan (figur 8), där kvoter mellan koncentrationer innan vädring (2,25 timmar) och 1,5 timmar efter vädring (4,1 timmar) uppgick till  $23 \pm 14$  ggr för försök 2 jämfört med  $3 \pm 0,8$  ggr för motsvarande tider i försök 1. För ämnen med flyktighet upp till dekan motsvarade luftkoncentrationerna efter 4,1 timmar (inklusive 1,5 timmars utvädring) ungefär den efter 10 timmar utan utvädring i försök 1. För övriga mindre flyktiga ämnen (förutom undekan och dodekan) hade inte utvädring någon effekt och motsvarande kvoter för dessa ämnen uppgick till  $0,8 \pm 0,3$  ggr i försök 1 och  $0,8 \pm 0,2$  ggr i försök 2 och här fortsatte luftkoncentrationen öka trots utvädring. Uppenbarligen har en lätt utvädring under 1,5 timmar stor effekt på luftkoncentration av flyktigare ämnen i öppnare delar av rummet då källan redan avdunstat. För mindre flyktiga ämnen där källan fortfarande finns kvar, har utvädring förvånande nog en viss positiv effekt för vissa ämnen och luftkoncentrationen fortsätter öka efter utvädring. En förklaring till detta kan möjligen vara ökad avdunstningshastighet på grund av uppvirvling vid utvädring och/eller av personer i rörelse i rummet under rekognosering. Återigen är luftkoncentrationerna av de mindre flyktiga ämnena på olika platser i rummet inte så relevant då mätning av dessa ämnen företrädesvis bör ske vid kvarvarande källa.

### 3.8 Rekommendation

Vid insats där lukt eller annan indikation på luftpåverkan i rum har observerats och där luftmätning ska utföras är det ur mätsynpunkt fördelaktigt att rummet är väl förslutet, att luftomsättningen är låg och att mätning kan utföras så snart som möjligt. I realiteten tar det dock minst 1-2 timmar innan CBRN-team hunnit komma på plats och etablerat sig. Utvädring har dessutom ofta redan påbörjats, vilket innebär att låga luftkoncentrationer av orsakande ämne ofta kan förväntas. En lämplig första åtgärd ur mätsynpunkt är då att omedelbart stänga igen öppna fönster eller dörrar för att öka chansen att detektera flyktiga kvarvarande ämnen. Även en inledande rekognosering kan innebära ökad utvädring genom att dörrar öppnas och av att personer rör sig i rummet. För att få ett luftprov med så hög koncentration som möjligt är det därför fördelaktigt att utföra en luftprovtagning med VeriAirFlex-påse redan i samband med påbörjad rekognosering, direkt man kommit in i rummet och stängt dörren. Påsen kan sedan analyseras med HAPSITE efter fullbordad rekognosering och åtminstone i fallet med redan utvädrat rum bör PPB-metod vara förstahandsval. Har man under

Titel/Title

Memo nummer/Number

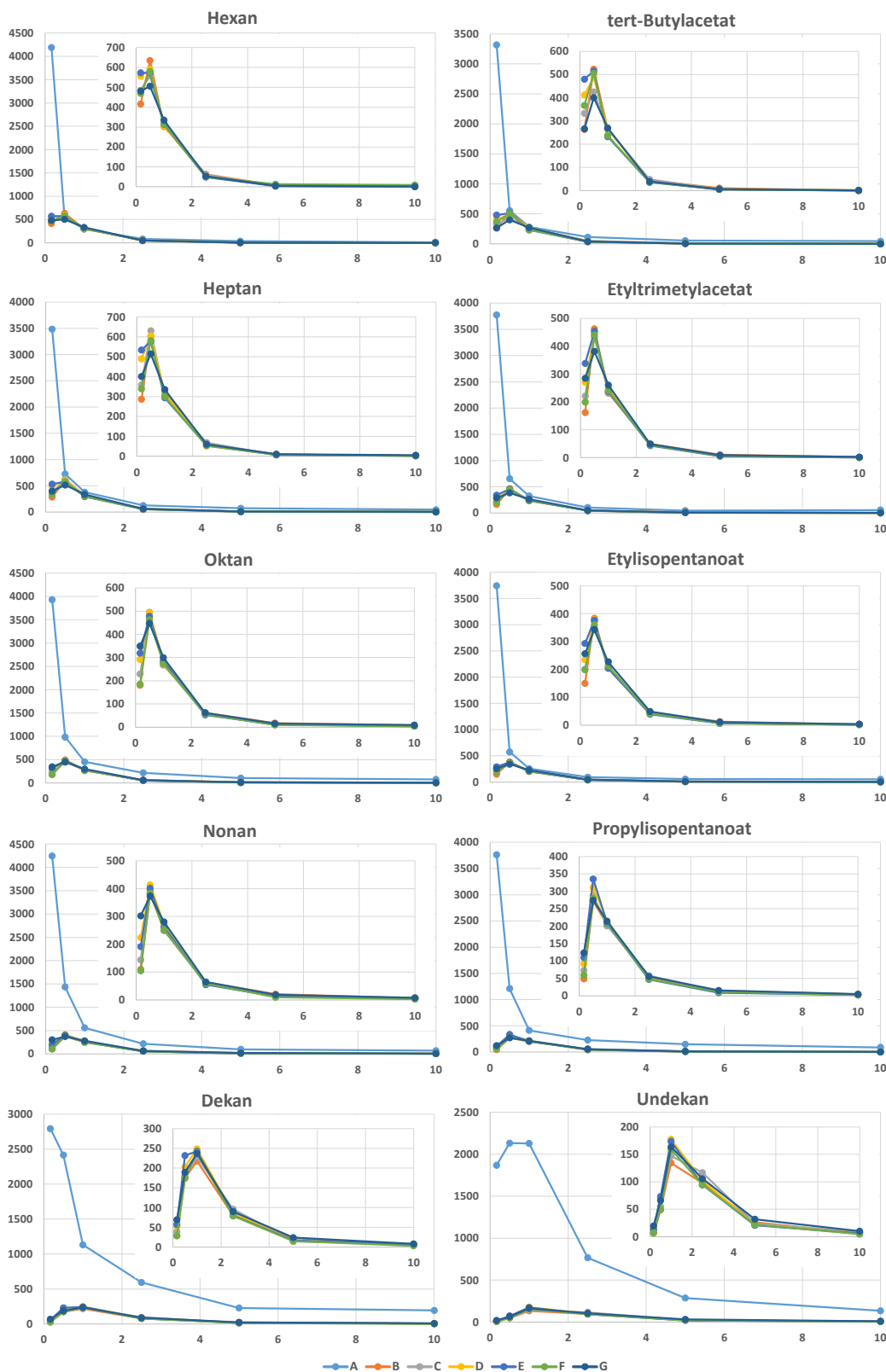
Luftspridning av flyktiga ämnen från spill i rum – förbättrad fältanalys för CBRN-team FOI Memo 7615

rekognoseringen fått mycket lågt eller inget utslag med detektionsinstrument bör om möjligt även mätning i skåp övervägas. Identifieras en tydlig källa i form av spill eller liknande under rekognoseringen behöver inte påsen användas utan mätningen utförs lämpligen där istället. Notera att vid HAPSITE-mätning (speciellt med PPB-metod) finns det chans att ämnen kan detekteras även i fall där PID-mätning visat 0 ppb. Vid scenarier där detektionsinstrument istället indikerar mycket höga koncentrationer inne i rummet eller där det finns andra indikationer på fortsatt allvarlig hälsorisk bör man ur risksynpunkt överväga att fortsätta eller påbörja utvädring.

Titel/Title

Memo nummer/Number

Luftspridning av flyktiga ämnen från spill i rum – förbättrad fältanalys för CBRN-team FOI Memo 7615



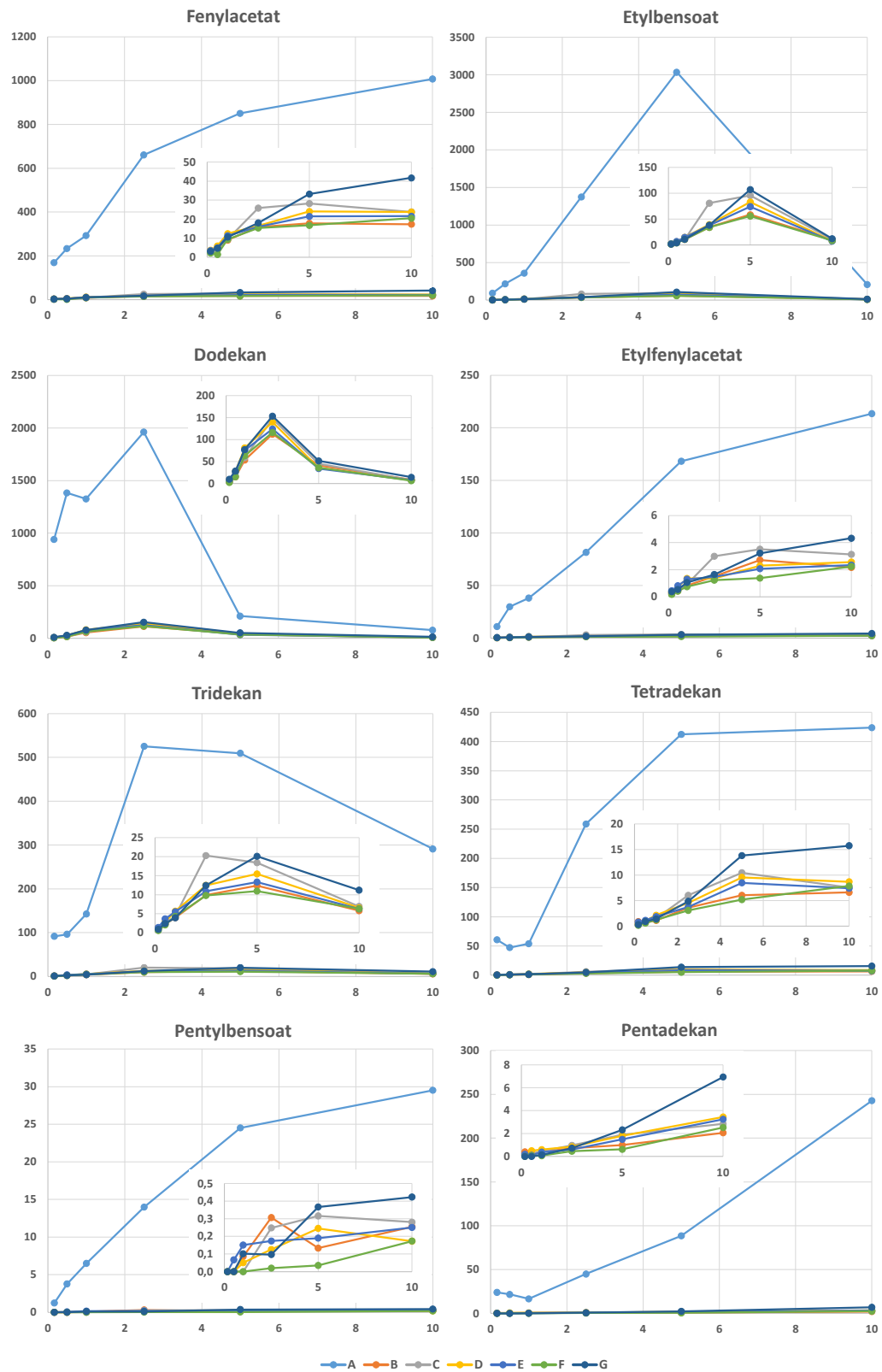
Figur 4. Koncentrationer ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) av flyktigare ämnen på de sju mätplatserna A-G som en funktion av tid efter applicering (timmar). Infälld vy visar alla provtagningsplatser förutom den vid spillet (A).

Titel/Title

Memo nummer/Number

Luftspridning av flyktiga ämnen från spill i rum – förbättrad fältanalys för CBRN-team

FOI Memo 7615

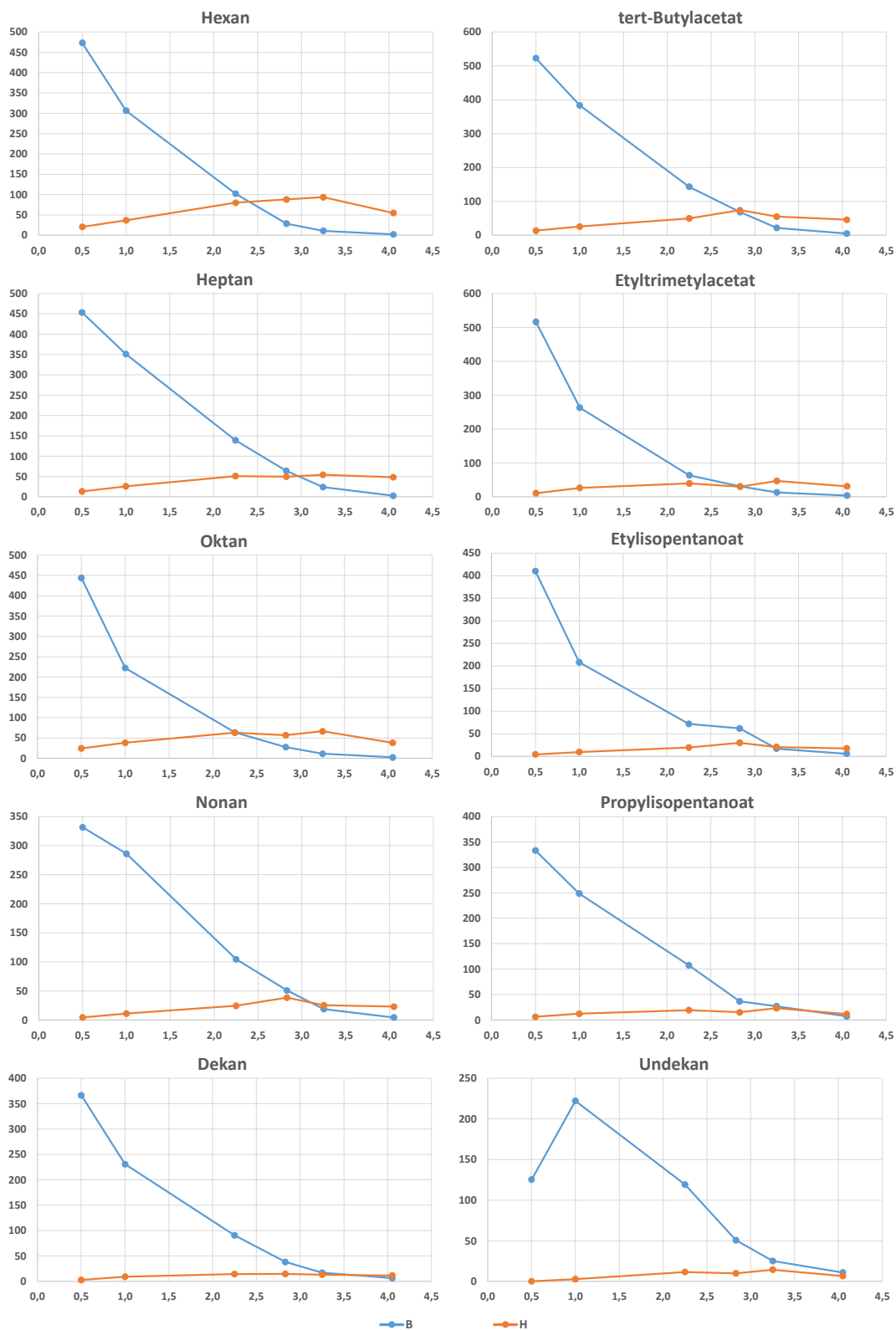


**Figur 5.** Luftkoncentrationer ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) av mindre flyktiga ämnen på de sju provtagningsplatserna A-G som en funktion av tid efter applicering (timmar). Infälld vy visar alla provtagningsplatser förutom den vid spillet (A).

Titel/Title

Memo nummer/Number

Luftspridning av flyktiga ämnen från spill i rum – förbättrad fältanalys för CBRN-team FOI Memo 7615



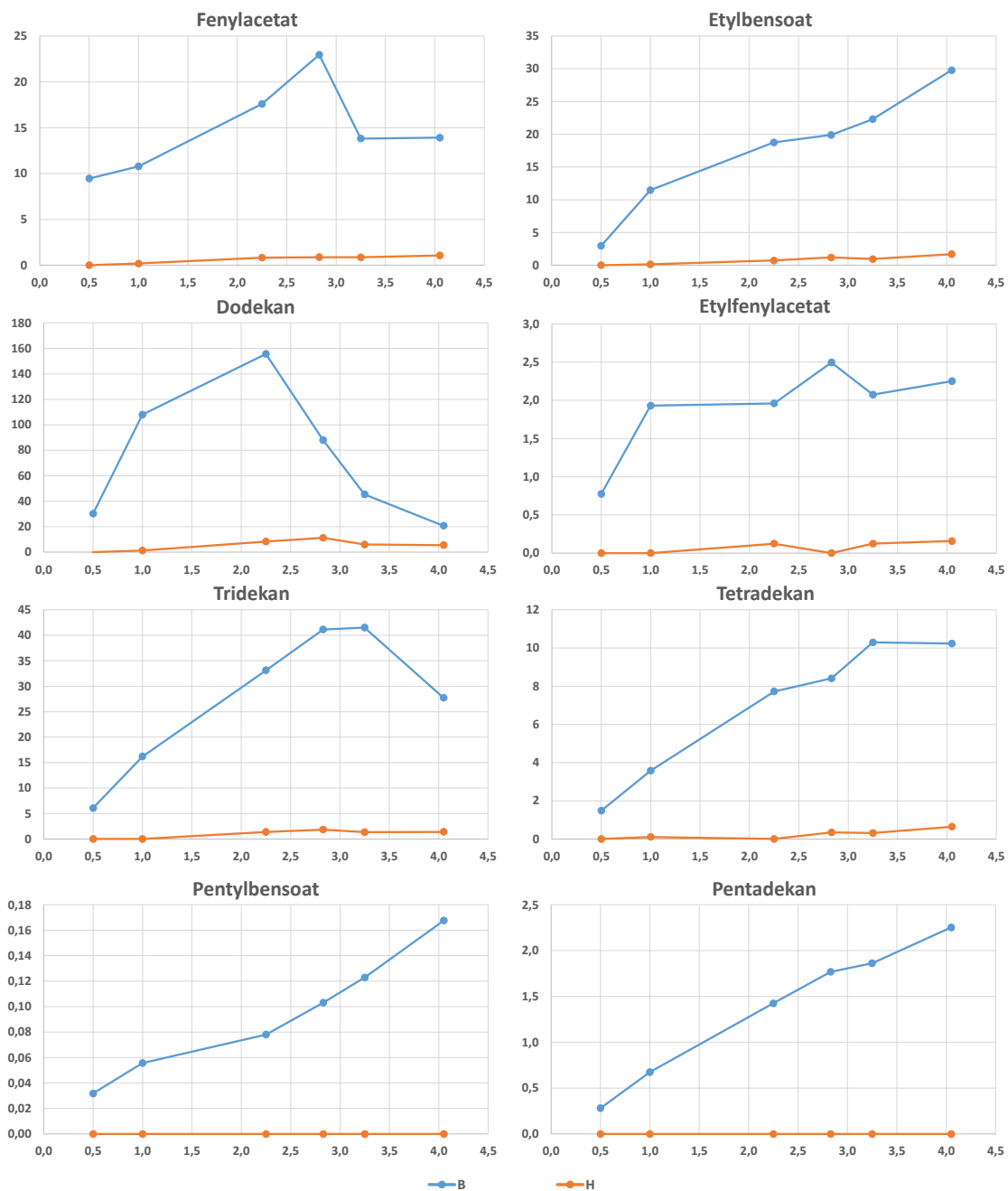
Figur 6. Luftkoncentrationer ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) av flyktigare ämnen i skåp med dörr lite på glänt (provtagningsplats B), och helt stängt skåp (provtagningsplats H), som en funktion av tid efter applicering av spill (timmar). Vädring inleddes efter 2,45 timmar.

Titel/Title

Memo nummer/Number

Luftspridning av flyktiga ämnen från spill i rum – förbättrad fältanalys för CBRN-team

FOI Memo 7615



**Figur 7.** Luftkoncentrationer ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) av mindre flyktiga ämnen i skåp med dörr lite på glänt (provtagningsplats B) och helt stängt skåp (H) som en funktion av tid efter applicering av spill (timmar). Vädring inleddes efter 2,45 timmar.

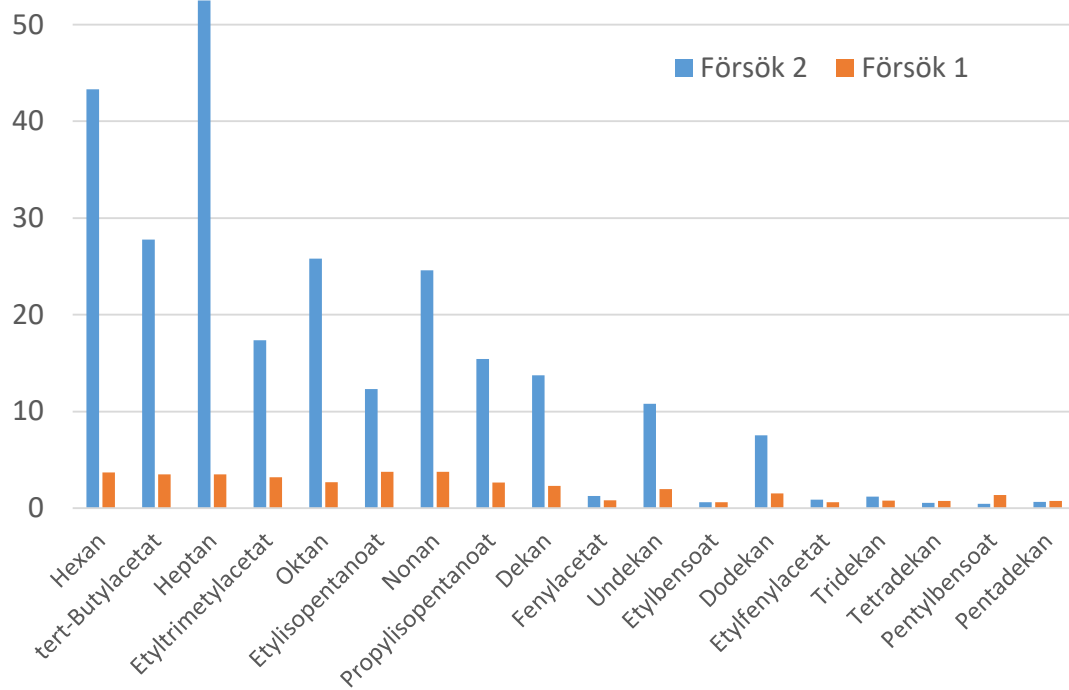


Titel/Title

Luftspridning av flyktiga ämnen från spill i rum – förbättrad fältanalys för CBRN-team

Memo nummer/Number

FOI Memo 7615



**Figur 8.** Effekt av 1,5 timmars lätt vädring på provtagningsplats B. Kvoter mellan koncentrationer innan vädring (2,25 timmar) och 1,5 timmar efter vädring i försök 2, och motsvarande tidpunkter utan vädring i försök 1.