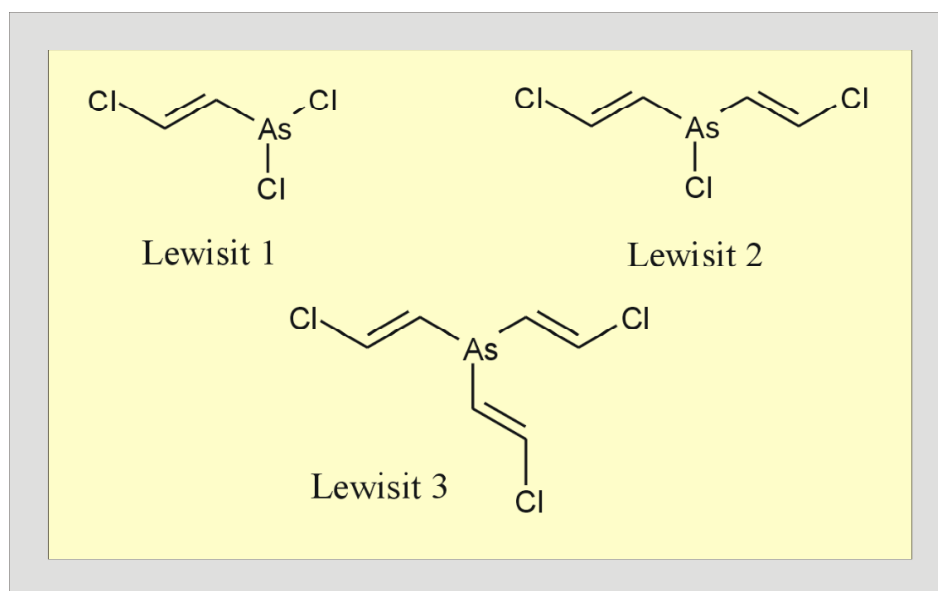


## Derivatiserings- och upparbetningsmetoder för verifiering av lewisit



Åsa Fällman

TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

NBC-skydd  
901 82 Umeå

FOI-R--0432--SE

Augusti 2002

ISSN 1650-1942

**Metodrapport**

# **Derivatiserings- och uppärbetningsmetoder för verifiering av lewisit**

Åsa Fällman

|  |   |                                       |  |
|--|---|---------------------------------------|--|
| <b>Utgivare</b><br>Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI<br>NBC-skydd<br>901 82 Umeå  | <b>Rapportnummer, ISRN</b><br>FOI-R--0432--SE         | <b>Klassificering</b><br>Metodrapport |  |
|  | <b>Forskningsområde</b><br>3. Massförstörelsevapen    |                                       |  |
|  | <b>Månad, år</b><br>Augusti 2002                      | <b>Projektnummer</b><br>A4855         |  |
|  | <b>Verksamhetsgren</b><br>2. NBC-skyddsforskning      |                                       |  |
|  | <b>Delområde</b><br>32 B- och C- forskning            |                                       |  |
| <b>Författare/redaktör</b><br>Åsa Fällman  | <b>Projektledare</b><br>Martin Nygren                 |                                       |  |
|  | <b>Godkänd av</b><br>Karin Hjalmarsson                |                                       |  |
|  | <b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b>      |                                       |  |
| <b>Rapportens titel</b><br>Derivatiserings- och upparbetningsmetoder för verifiering av lewisit  |   |                                       |  |
| <b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b><br>För att C-analysgruppen framgångsrikt ska kunna delta i interkalibreringar, s.k. proficiency tests, måste upparbetnings- och analysmetoder finnas för samtliga ämnen på OPCWs lista 1. I den här rapporten beskrivs en metod för verifiering av lewisit 1 och 2 (eller deras motsvarande hydrolysisprodukter) där ett derivatiseringsreagens används för att kemiskt modifiera ämnet innan analys med GC/MS sker. Fyra olika tioler har undersökts som möjliga derivatiseringsreagens; etantiol, etanditiol, 3,4-dimerkaptotoluen och metyltioglykolat (tioglykolsyra metylester) varav den sista befanns mest lämplig. Upparbetningsmetoder för lewisit i vatten och jord har studerats och som lämplig metod valdes den att derivatisera i surgjort vatten och därefter extrahera med hexan. Lagringsstabiliteten av lewisit och dess hydrolysisprodukt i vatten samt i jord har studerats och visar att hydrolysisprodukterna av lewisit 1 och 2 är möjliga att återfinna efter en veckas lagring av proverna. |   |                                       |  |
| <b>Nyckelord</b><br>Derivatisering, lewisite, L, analys  |   |                                       |  |
| <b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>   | <b>Språk</b> Svenska                                  |                                       |  |
| <b>ISSN</b> 1650-1942  | <b>Antal sidor:</b> 16 s + 7 bilagor                  |                                       |  |
| <b>Distribution enligt missiv</b>  | <b>Pris:</b> Enligt prislista<br><br><b>Sekretess</b> |                                       |  |

|  |  |  |
|--|--|--|
| <b>Issuing organization</b><br>FOI – Swedish Defence Research Agency<br>NBC Defence<br>SE-901 82 Umeå  | <b>Report number, ISRN</b><br>FOI-R--0432--SE                        | <b>Report type</b><br>Methodology report |
|  | <b>Research area code</b><br>3. Weapons of Mass Destruction          |  |
|  | <b>Month year</b><br>August 2002                                     | <b>Project no.</b><br>A4855              |
|  | <b>Customers code</b><br>2. NBC-Defence Research                     |  |
|  | <b>Sub area code</b><br>32 Biological and Chemical Defence Research  |  |
| <b>Author/s (editor/s)</b><br>Åsa Fällman  | <b>Project manager</b><br>Martin Nygren                              |  |
|  | <b>Approved by</b><br>Karin Hjalmarsson                              |  |
|  | <b>Scientifically and technically responsible</b>                    |  |
| <b>Report title (In translation)</b><br>Derivatisation and Work Up Procedures for Verification of Lewisite   |  |  |
| <b>Abstract (not more than 200 words)</b><br><p>In order to successfully participate in intercalibrations, the so-called Proficiency Tests, the CWA Analysis Group must keep work up and analysis methods for all chemicals on the OPCW Schedule 1 list. In this report a method for verification of lewisite 1 and 2 (or their corresponding products of hydrolysis) is described where a derivatisation reagent is used to chemically modify the substance prior to GC/MS analysis. Four different thiols have been tested as possible derivatisation reagents; ethanethiol, ethanedithiol, 3,4-dimercaptotoluene and methyl thioglycolate (thioglycolic acid methylester) of which the last one was found to be the most suitable. Work up procedures for lewisite in water and soil have been studied and as suitable method derivatisation in acidified water followed by hexane extraction was chosen. The stability in storage of lewisite and its corresponding products of hydrolysis in water and soil have been studied and show that the hydrolyte products of lewisite 1 and 2 are possible to find after one week of sample storage.</p> |  |  |
| <b>Keywords</b><br>Derivatisation, lewisite, L, analysis   |  |  |
| <b>Further bibliographic information</b>   | <b>Language</b> Swedish  |  |
| <b>ISSN</b> 1650-1942  | <b>Pages</b> 16 p + 7 enclosures                                     |  |
|  | <b>Price acc. to pricelist</b><br><br><b>Security classification</b> |  |

## Innehållsförteckning

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 Inledning .....</b>                | <b>5</b>  |
| 1.1 Historia .....                      | 5         |
| <b>2 Lewisit .....</b>                  | <b>6</b>  |
| 2.1 Teknisk lewisit .....               | 6         |
| 2.2 Lewisits kemiska reaktioner .....   | 6         |
| <b>3 Utförda försök .....</b>           | <b>9</b>  |
| 3.1 Val av derivatiseringsreagens ..... | 9         |
| 3.2 Upparbetning av vatten .....        | 10        |
| 3.3 Upparbetning av jord .....          | 10        |
| <b>4 Resultat och diskussion .....</b>  | <b>12</b> |
| 4.1 Val av derivatiseringsreagens ..... | 12        |
| 4.2 Upparbetning av vatten .....        | 13        |
| 4.3 Upparbetning av jord .....          | 13        |
| <b>5 Referenser .....</b>               | <b>15</b> |
| <b>6 Bilagor .....</b>                  | <b>16</b> |

**Bilaga 1.** Lewisit 1 derivatiserad med etantiol (L1-ET)

**Bilaga 2.** Lewisit 1 derivatiserad med etanditiol (L1-EDT)

**Bilaga 3.** Lewisit 1 derivatiserad med 3,4-dimerkaptotoluen (L1-DMT)

**Bilaga 4.** Lewisit 1 derivatiserad med metyltioglykolat (L1-MTG)

**Bilaga 5.** Lewisit 2 derivatiserad med metyltioglykolat (L2-MTG)

**Bilaga 6.** Arseniktriklorid derivatiserad med metyltioglykolat (AsCl<sub>3</sub>-MTG)

**Bilaga 7.** Lewisit 3 (L3)

## 1 Inledning

Eftersom lewisit står på C-vapenkonventionens lista 1 finns det ett behov av att kunna verifiera ämnet i olika matriser, t.ex. vatten, jord och lösningsmedelsextrakt. Teknisk lewisit är en blandning av tre olika ämnen vilka benämns lewisit 1, 2 och 3 där den sistnämnda kromatograferar på en gaskromatograf utan kemisk modifiering, s.k. derivatisering. Lewisit 1 och 2 måste först derivatiseras för att kunna passera en GC-kolonn och därefter detekteras. Målet med den här studien är därför att bestämma vilket derivatiseringsreagens som är det mest lämpliga för lewisit 1 och 2 samt att finna bra uppreningsmetoder för lewisit i matriserna jord, vatten och extrakt. Därtill har lagringsförsök utförts med lewisit 1 och 2 i jord och i vatten för att bestämma möjligheten att verifiera lewisit i dessa matriser efter en viss tids lagring av prover.

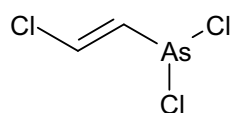
### 1.1 Historia

Under första världskrigets senare del försökte flera länder att göra effektiva C-stridsmedel, lewisit är ett av dem. Namnet kommer från dess amerikanske uppfinnare captain W Lee Lewis som var chef för en arbetsgrupp på ett universitet i Washington DC. Lewisit användes aldrig under första världskriget men under mellankrigsåren producerade flera länder ämnet, bl.a. USA, England, Tyskland, Sovjet och Japan och vid andra världskrigets början hade dessa länder stora lager av ämnet. Under andra världskriget blev lewisit förlegat som C-stridsmedel eftersom BAL, British Anti Lewisite upptäcktes vara ett bra och billigt motmedel. Dessutom var det svårt att uppnå dödliga koncentrationer av ämnet i fält och hydrolyskänsligheten var stor. Därför började man under andra världskriget att använda lewisit som fryspunkt-nedsättare för senapsgas. Denna blandning (HL) användes bl.a. av Japan i attacken mot Kina 1938.

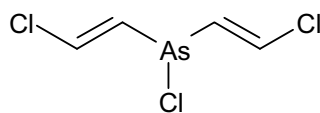
## 2 Lewisit

### 2.1 Teknisk lewisit

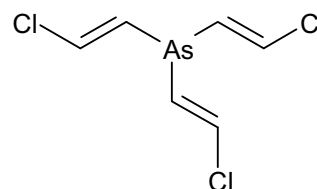
Vid storskalig tillverkning av lewisit erhålls en blandning av flera ämnen. Så kallad teknisk lewisit innehåller både cis- och transisomererna av 2-klorvinylarsinerna samt oreagerad arseniktriklorid och har följande ungefärliga sammansättning<sup>1</sup>:



Lewisit 1  
(L1) >65 %



Lewisit 2  
(L2) 7-10 %



Lewisit 3  
(L3) 4-12 %

Fördelningen mellan cis- och transisomererna är ungefär 1:10. Teknisk lewisit har en doft av pelargon medan lewisit 1 är färg- och luktlös i ren form. Se tabell 1 för egenskaper hos lewisit 1<sup>2</sup>.

**Tabell 1.** Fysikaliska egenskaper hos lewisit 1.

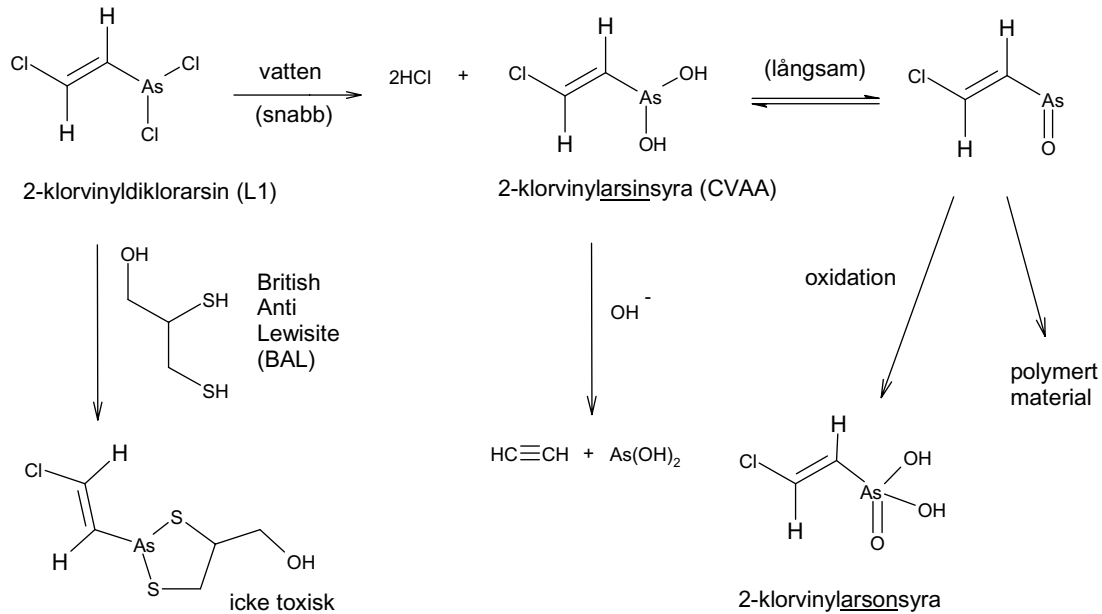
|                      |                        |
|----------------------|------------------------|
| CAS nr               | 541-25-3               |
| Smältpunkt           | -18°C                  |
| Kokpunkt             | 190°C                  |
| Ångtryck (20°C)      | 0,35 mmHg              |
| Densitet (20°C)      | 1,89 g/cm <sup>3</sup> |
| Löslighet i vatten   | 0,5 g/l                |
| Temperaturstabilitet | < 49°C                 |

Då försöken med lewisit påbörjades fanns endast ren lewisit 1 i lager på FOI, varför en ny syntes gjordes som resulterade i en teknisk blandning bestående av 60 % lewisit 1, 39 % lewisit 2 och 1 % lewisit 3. Denna blandning användes då lagringsstabiliteten av lewisit 1 och 2 undersöktes.

### 2.2 Lewisits kemiska reaktioner

Lewisit kan syntetiseras genom reaktion mellan arseniktriklorid och acetylen i saltsur vattenlösning med en lewis-syra (t.ex. kvicksilver(II)klorid) som katalysator. Produktförhållandet mellan de tre olika lewisitformerna kan styras med reaktionstiden och med lämpligt val av katalysator.

Lewisit 1 och 2 är som tidigare nämnts extremt känsliga för fukt och hydrolyseras momentant till motsvarande arsinsyra vid kontakt med vatten, se figur 1. Arsinsyran kan därefter oxideras till motsvarande arsonsyra men denna process sker relativt långsamt. I figur 1 ses även reaktionen med British Anti Lewisite (BAL) och alkali.

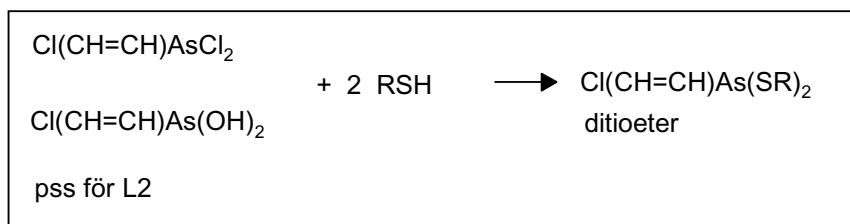


**Figur 1.** Reaktionen för Lewisite 1.

Då Lewisite 1 och 2 sätts till jord och vatten bildas motsvarande arsinsyra snabbt. Båda dessa föreningar är möjliga att derivatisera med tioler och ditioler i sur miljö.

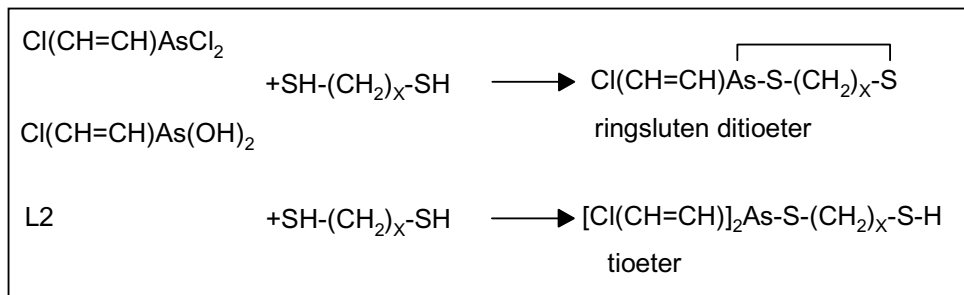
Vid användning av tioler sker en substitution av båda kloratomerna i Lewisite 1 (båda hydroxygrupperna i motsvarande arsinsyra) och en substitution av kloratomen i Lewisite 2 (hydroxygruppen i motsvarande arsinsyra) och en liknande produkt erhålls i båda fallen, se figur 2.

Då ditioler används som derivatiseringsreagens erhålls en ringsluten produkt med Lewisite 1 (och motsvarande arsinsyra) och en icke-ringsluten produkt för Lewisite 2 (och motsvarande arsinsyra), se figur 3. Den senare produkten (tioetern) kan därefter reagera med ytterligare en Lewisite-molekyl (ev. flera) och bilda flera olika produkter, vilket är ett problem som senare i försöken avgjorde valet av derivatiseringsreagens.



**Figur 2.** Derivatisering av Lewisite 1 och 2 med tiol.



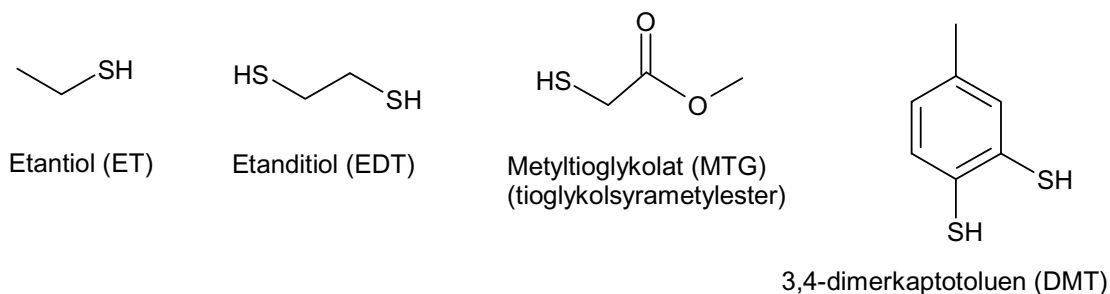


**Figur 3.** Derivatisering av lewisit 1 och 2 med ditiol.

### 3 Utförda försök

#### 3.1 Val av derivatiseringsreagens

Fyra olika svavelinnehållande föreningar (tioler) undersöktes som möjliga derivatiseringsreagens för lewisit 1 och 2:



Eftersom lewisit är stabilt i kloroform och hexan<sup>3</sup> utfördes derivatiseringarna i det senare lösningsmedlet. Derivatiseringarna utfördes på lewisit 1 eftersom det var den enda formen av lewisit som fanns att tillgå vid det tillfället.

En stamlösning av 1000 ppm (v/v) lewisit 1 i hexan späddes till 10 ppm (v/v) i 1 ml hexan. Stamlösningar av de fyra derivatiseringsreagensen bereddes i hexan med koncentrationen 40 g/l varav 20 µl sattes till lewisitlösningen. Derivatiseringen utfördes i rumstemperatur<sup>4</sup> under 15 minuter.

Alla analyser utfördes på Hewlett Packards masspektrometer MSD 5972 med ugnen 5890. Använd kolonn var DB5 MS (J&W) och temperaturprogrammet 40°C i 1 min, 10°C/min upp till 280°C i 5 minuter.

I bilaga 1-4 finns totaljonkromatogram och masspektra för derivatisering av lewisit 1 med de fyra olika derivatiseringsreagensen. För att kunna bestämma vilka toppar i totaljonkromatogrammet som härrörde från lewisit bereddes även en motsvarande blank där 20 µl av reagensstamlösningen sattes till 1 ml hexan.

För att bestämma om derivatiseringsgraden kan ökas genom att derivatisera i ultraljudsbad bereddes 10 ppm (v/v) lösningar av lewisit 1, enligt ovan och derivatiserades med metyltioglykolat. Ett prov stod i ultraljudsbad medan ett stod i dragskåp och derivatiseringstiden var i båda fallen 15 minuter.

Vid de utförda försöken ovan hade endast lewisit 1 funnits att tillgå. Vid de efterföljande försöken fanns ny syntetiserad teknisk lewisit att tillgå, vilken bestod av en blandning lewisit 1 och 2 samt en mycket liten mängd av lewisit 3.

Tiden för derivatiseringen undersöktes genom att en 10 ppm (v/v) lösning av den tekniska lewisiten, innehållande en blandning av lewisit 1 och 2, derivatiserades med metyltioglykolat och fick stå i dragskåp 2 timmar respektive 15 minuter.

Detektionsgränsen för L1-MTG och L2-MTG uppskattades genom att en lösning av 1 ppm (v/v) av den tekniska lewisiten derivatiserades i 15 minuter i rumstemperatur med metyltioglykolat.

### 3.2 Upparbetning av vatten

Eftersom FOA Verifikation använder en ackrediterad procedur<sup>5</sup> för upparbetning av vatten, metod P2, så utfördes ett försök att upparbeta lewisit 1 i vatten enligt extraktion A (extraktion med diklormetan) och extraktion B (sur extraktion med diklormetan) genom att först derivatisera med metyltioglykolat.

Då lewisit sätts till vatten sker en omedelbar hydrolys till motsvarande arsinsyra, se figur 1, vilken kan derivatiseras på samma sätt som lewisit. Observera här, att i fallet av ett okänt prov går det inte att avgöra om det var lewisit eller motsvarande arsinsyra som ursprungligen fanns i provet.

Till 30 ml Milliporevatten sattes 60 µl lewisit 1 ur en 1000 ppm (v/v) lösning av lewisit 1 i aceton. Lösningen skakades i skakapparat under 1 timme och pH justerades till 7. Därefter extraherades 10 ml av lösningen med 2×5 ml diklormetan och lösningen indunstades till 1 ml. 40 µl metyltioglykolat av koncentrationen 40 g/l tillsattes och lösningen fick stå 15 minuter i rumstemperatur innan GC/MS-analys. På samma sätt gjordes för extraktion B med den skillnaden att provet surgjordes till pH 1 innan extraktion.

Enligt en rapport från OPCW<sup>6</sup> som utgavs vid detta tillfälle skulle lewisit bäst upparbetas genom att derivatisera direkt i vattnet och därefter skaka med hexan, jfr stycket ovan. Denna metod kallas *lewisitmetoden* i efterföljande text:

På samma sätt som tidigare bereddes en vattenlösning av lewisit (arsinsyran). Till 30 ml Milliporevatten sattes 60 µl ur en 1000 ppm (v/v) lösning av den tekniska lewisiten i aceton. Lösningen skakades i skakapparat under 1 timme och förvarades sedan i kylskåp. Efter en dag och sju dagar gjordes följande upparbetning, lewisitmetoden: 10 ml av provet surgjordes till pH 1 med 1 M HCl. 40 µl metyltioglykolat av koncentrationen 40 g/l tillsattes och provet skakades i skakapparat under 1 timme. Lösningen extraherades med 2×5 ml hexan och lösningen indunstades till 1 ml. Dessutom bereddes ett referensprov med 20 ppm (v/v) av den tekniska lewisiten i aceton som derivatiserades med 40 µl metyltioglykolat av koncentrationen 40 g/l. Detta gjordes för att kunna beräkna utbytet av arsinsyra derivatiserad med metyltioglykolat efter lagring av provlösningen.

### 3.3 Upparbetning av jord

Lewisit 1 sattes till en certifierad jordtyp från Askania AB, kallad silversand 55 som upparbetades med lewisitmetoden efter en respektive åtta dagar:

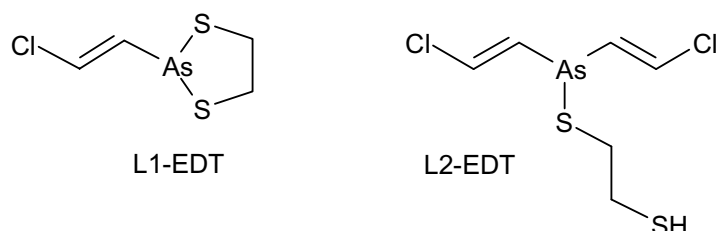
40 µl lewisit 1 ur en 1000 ppm (v/v) stamlösning i aceton sattes till 20 g jord som sedan skakades försiktigt i skakapparat 1 timme och därefter fick stå i dragskåp utan lock över natt för att avdunsta aceton. Provet förvarades sedan i kylskåp. Till 10 g av

provet sattes 10 ml Milliporevatten och pH justerades till 1 med 1 M HCl. Provet skakades 1 timme i skakapparat, centrifugerades och filtrerades genom ett PTFE-filter varefter pH kontrollerades. 40 µl metyltioglykolat av koncentrationen 40 g/l tillsattes och provet skakades i skakapparat under 1 timme. Lösningen extraherades med 2×5 ml hexan och lösningen indunstades till 1 ml. Även här bereddades ett referensprov för att kunna beräkna utbytet av arsinsyra derivatiserad med metyltioglykolat efter lagring av jordprovet. Ett prov med 20 ppm (v/v) lewisit 1 i aceton derivatiserades med 40 µl metyltioglykolat av koncentrationen 40 g/l.

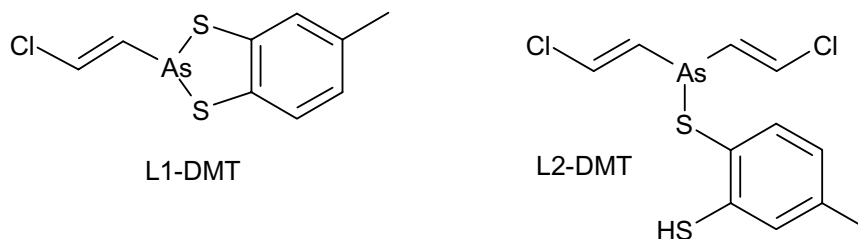
## 4 Resultat och diskussion

### 4.1 Val av derivatiseringsreagens

Alla fyra tiolerna fungerade bra som derivatiseringsreagens för lewisit 1. Etanditiol och dimerkaptotoluen ger något högre derivatiseringsgrad av lewisit 1 än etantiol och metyltioglykolat. Dessutom erhålls färre fragment i masspektret för dessa ämnen, se bilaga 2 och 3, vilket medför att lägre koncentrationer av den derivatiserade lewisiten kan detekteras. Emellertid så uppstår problem med ditiolerna (EDT och DMT) då lewisit 2 ska derivatiseras vilket inses genom följande resonemang. Då lewisit 1 derivatiseras med etanditiol så bildas en femring. Då lewisit 2 derivatiseras med etanditiol så kan inte en ringbildning ske utan den derivatiserade molekylen får en fri tiolgrupp som sedan kan reagera med en annan lewisitmolekyl och på så sätt kan dimerer av lewisit och derivatiseringsreagenset erhållas:

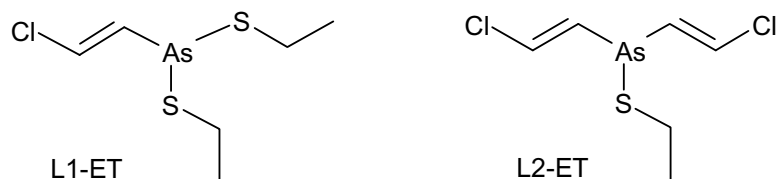


På samma sätt erhålls en fri tiolgrupp när lewisit 2 derivatiseras med dimerkaptotoluen:



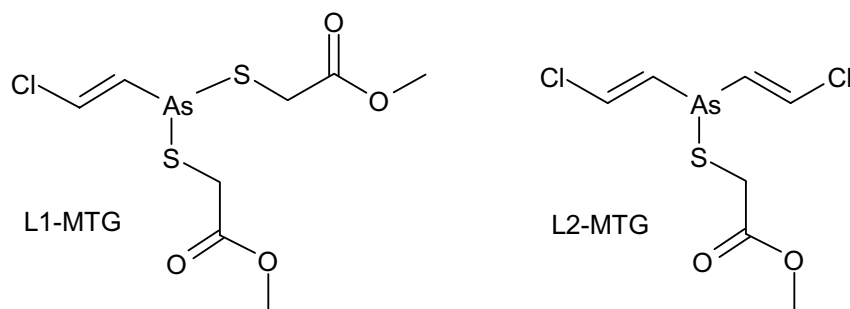
Eftersom möjlighet till flera olika produkter är oacceptabelt vid derivatisering så återstod två tioler som möjliga ämnen att använda som derivatiseringsreagens, etantiol och metyltioglykolat.

Då lewisit 1 derivatiseras med etantiol bildas ingen ringstruktur utan två raka kedjor fästs på arsenikatomen. I fallet med lewisit 2 substitueras kloratomen mot en kedja:



L1-ET och L2-ET har nästan samma molmassa, vilket medför att de får ungefär samma retentionstid på GC-kolonnen. Detta är inte önskvärt och därför valdes

slutligen metyltioglykolat som derivatiseringsreagens för lewisit 1 och lewisit 2 med följande molekyler som derivat:



Derivatiseringsgraden ökade inte om provet kördes i ultraljud eller stod stilla i dragskåpet. Om derivatiseringstiden ökades till 2 timmar istället för 15 minuter erhöles inte en högre derivatiseringsgrad och ej heller mer L2-MTG i förhållande till L1-MTG. Detektionsgränsen för L1-MTG och L2-MTG var 0,1 ppm (v/v) lewisit 1 respektive lewisit 2 då s/n sattes till 3.

## 4.2 Upparbetning av vatten

Då upparbetningen gjordes enligt FOA Verifikations procedur för vatten, extraktion A och B, kunde ingen 2-klorvinyl arsinsyra derivatiserad med metyltioglykolat (förkortas CVAA-MTG) återfinnas. Arsinsyran med två hydroxylgrupper stannar kvar i vattenfasen vid extraktionen med diklormetan.

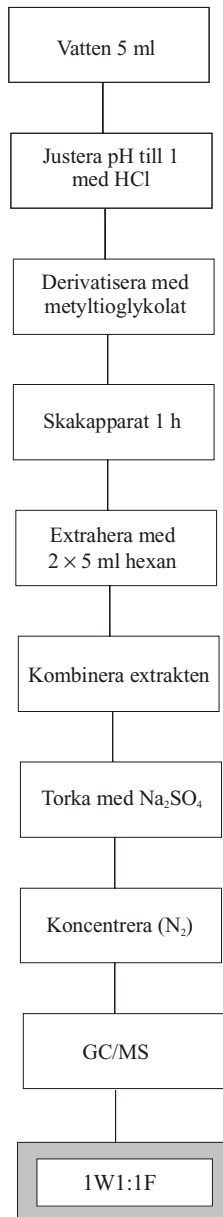
Vid upparbetning av vatten efter en respektive sju dagar enligt lewisitmetoden kunde 85 % återfinnas efter en dag och 57 % efter sju dagar. Procentsiffrorna anger förhållandet CVAA-MTG i vattenprovet till L1-MTG i referensprovet, mätt i areaenheter på GC/MS. Vid ett senare tillfälle gjordes även motsvarande studie på lewisit 2 där 64 % kunde återfinnas efter sex dagar.

Lewisitmetoden, derivatisering i surgjort vattnet följt av extraktion med hexan, fungerar för upparbetning av både lewisit 1 och 2 i vatten och kan adderas till ackrediterad procedur för vatten enligt figur 4.

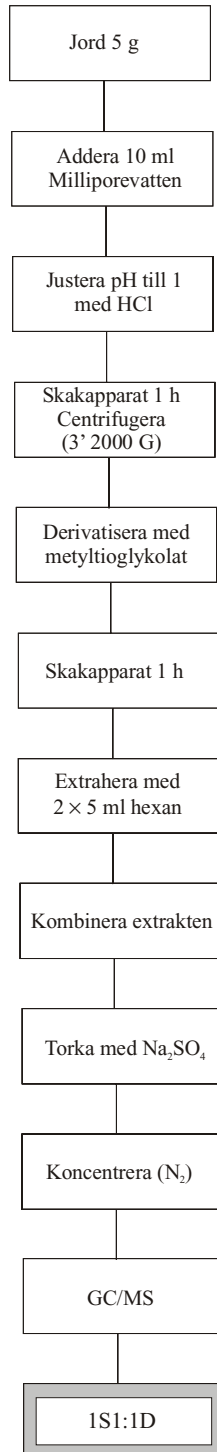
## 4.3 Upparbetning av jord

Då lewisit 1 sattes till en certifierad jord och lewisitmetoden användes vid upparbetningen kunde 19 % återfinnas efter en dag och 30 % efter åtta dagar. Procentsiffrorna anger förhållandet CVAA-MTG i jordprovet till L1-MTG i referensprovet, mätt i areaenheter på GC/MS. Det faktum att mer CVAA-MTG kunde återfinnas efter åtta dagar beror förmodligen på att det är svårt att få en homogen blandning av jord och lewisit 1 vid provberedningen. Resultatet visar dock att lewisit 1 kan återfinnas i jord genom upparbetning med lewisitmetoden efter åtta dagar, se figur 4.

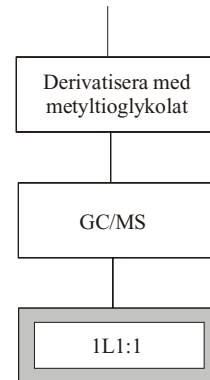
**Vatten  
Metod P2  
Extraktion F**



**Jord  
Metod P1  
Extraktion D**



**Organiskt extrakt  
Metod P7**



**Figur 4.** Upparbetningsschema för vatten, jord och organiskt extrakt.

## 5 Referenser

1. Lindberg Gösta, Runn Per, Winter Stellan, Fällman Åsa. Basic Information on Lewisite. FOA-R-96-00238-4.5-SE. 1997.
2. <http://www.mitretek.org/mission/eneve/chemical/agents/lewisite.html>
3. Quantitation of Lewisite Prepared in Organic Solutions Using Gas Chromatography. U.S. Army Medical Res. Inst. of Chemical Defence, Aberdeen Proving Ground, USA. 1993.
4. Rainer Haas. Gas Chromatographic Analysis of Chlorovinylarsines and their Metabolites by Derivatization with Thiols. Environ. Sci and Pollut. Res. 5(1)2-3. 1998.
5. FOA Verifikation. Procedurer.
6. Prel. Evaluation of Results. OPCW. Technical Secretariat, 2000.



## 6 Bilagor

Innehåller totaljonkromatogram och spektra för:

- Bilaga 1.** Lewisit 1 derivatiserad med etantiol (L1-ET)
- Bilaga 2.** Lewisit 1 derivatiserad med etanditiol (L1-EDT)
- Bilaga 3.** Lewisit 1 derivatiserad med 3,4-dimerkaptotoluen (L1-DMT)
- Bilaga 4.** Lewisit 1 derivatiserad med metyltioglykolat (L1-MTG)
- Bilaga 5.** Lewisit 2 derivatiserad med metyltioglykolat (L2-MTG)
- Bilaga 6.** Arseniktriklorid derivatiserad med metyltioglykolat (AsCl<sub>3</sub>-MTG)
- Bilaga 7.** Lewisit 3 (L3)