



Februar 2004

Revideret farligheds- vurdering for TNT og RDX

304 Ammunitionsarsenalet Elling

1.	SAMMENFATNING	3
2.	BAGGRUND	4
3.	FOREKOMST OG ANVENDELSE	5
3.1	Trinitrotoluen	5
3.2	RDX	5
3.3	“Red” og ”pink” spildevand	5
4.	FYSISK-KEMISKE EGENSKABER	7
4.1	TNT	7
4.2	DNT	8
4.3	Amino-DNT	8
4.4	Amino-nitrotoluen	9
4.5	RDX	9
4.6	HMX	10
5.	TNT OG NEDBRYDNINGSPRODUKTER - SPREDNING OG NEDBRYDNING	11
5.1	Spredning	11
5.2	Nedbrydning af TNT	11
5.2.1	<i>Fotonedbrydning</i>	12
5.2.2	<i>Aerobe forhold</i>	12
5.2.3	<i>Anaerobe forhold</i>	13
5.2.4	<i>Nedbrydning med svampe</i>	13
5.2.5	<i>Nedbrydning i jord</i>	13
5.2.6	<i>Omsætning af DNT</i>	13
6.	RDX- SPREDNING OG NEDBRYDNING	14
6.1	Spredning	14
6.2	Nedbrydning af RDX	14
6.2.1	<i>Fotonedbrydning</i>	14
6.2.2	<i>Anaerob nedbrydning</i>	14
7.	EFFEKTER OG KRITERIER	16
7.1	Miljømæssige effekter	16
7.1.1	<i>TNT</i>	16
7.1.2	<i>RDX</i>	16
7.2	Sundhedsmæssige effekter	16
7.2.1	<i>Beregning af kvalitetskriterier</i>	16
7.2.2	<i>Sundhedsmæssige effekter af TNT</i>	18

7.2.3	<i>Sundhedsmæssige effekter af DNT</i>	19
7.2.4	<i>Sundhedsmæssige effekter af 2A-DNT og 4A-DNT</i>	20
7.2.5	<i>Sundhedsmæssige effekter af RDX</i>	20
7.3	Klassificering	21
7.3.1	<i>TNT</i>	21
7.3.2	<i>RDX</i>	21
7.4	Luftkriterier	21
7.4.1	<i>TNT</i>	21
7.4.2	<i>RDX</i>	22
7.5	Vandkriterier	22
7.5.1	<i>TNT</i>	22
7.5.2	<i>DNT</i>	23
7.5.3	<i>2A-DNT og 4A-DNT</i>	23
7.5.4	<i>RDX</i>	23
7.6	Jordkriterier	24
7.6.1	<i>TNT</i>	24
7.6.2	<i>RDX</i>	24
7.7	Sammenfatning af kriterier	25
8.	AFVÆRGE OVERFOR JORD- OG GRUNDVANDSFORURENING ...	26
8.1	TNT og RDX i grundvand	26
8.2	TNT og RDX i jord	27
9.	FORKORTELSER	29
10.	REFERENCER	30

1. SAMMENFATNING

TNT og RDX er mobile i jord og kan forventes udvasket til grundvandet. Der er i udlandet fundet jord- og grundvandsforureninger med TNT og RDX i nærheden af installationer, hvor der produceres eller udstøbes TNT/RDX.

TNT og RDX er giftige stoffer, som kan medføre både akutte og kroniske effekter ved eksponering af mennesker ved indånding, indtagelse og i mindre grad ved hudkontakt.

Nedbrydning i jord og grundvand er dokumenteret for både TNT og RDX, hvor RDX nedbrydes langsomt og hovedsageligt under anaerobe forhold, hvilket kan betyde at RDX er mere eller mindre persistent i iltede grundvandsmagasiner.

Nedbrydningen af TNT og RDX er sjældent fuldstændig. 2-amino-dinitrotoluen er den mest almindelige nedbrydningsprodukt af TNT, men nedbrydningsprodukterne sorberes i jordmatrix og er mindre mobile end TNT. Der er kun lidt kendskab til nedbrydningsprodukternes miljø- og sundhedsmæssige effekter. Nedbrydning af TNT er mest sandsynligt for grundvandsmagasiner med langsomme grundvandsstrømningshastigheder.

RDX er mere persistent og mobil end TNT og er dermed ofte dimensionsgivende ved de fleste afværgeforanstaltninger.

På grundlag af de foreliggende informationer har NIRAS beregnet jordkvalitets- og drikkevandskriterier i henhold til normal praksis i Danmark /18/, og følgende kvalitetskriterier er foreslået ved følsom arealanvendelse:

Jordkvalitetskriterium

TNT	=	25 mg/kg
RDX	=	10 mg/kg

Drikkevandskriterier

TNT	=	1 µg/l.
DNT	=	0,05 µg/l
2A-DNT / 4A-DNT	=	1 µg/l
RDX	=	0,35 µg/l.

2. **BAGGRUND**

I 1997 er der i en indledende undersøgelsesrapport /1/ udarbejdet en farligheds-vurdering for TNT og RDX. Arbejdet blev iværksat, da der i modsætning til de almindelige forureningskomponenter som forekommer i tilknytning til civile produktionsvirksomheder, ikke fandtes danske kvalitetskriterier.

Farlighedsvurderingen i 1997 blev udarbejdet som en sammenfatning af Forsvarets eksisterende viden på området, ligesom der blev gennemført en supplerende informationsindsamling med henblik på at fremskaffe tilgængelig information om stoffernes miljømæssige og toksikologiske egenskaber samt deres kemisk-fysisk egenskaber i jord- og grundvandsmiljøet. Erfaringer fra lignende sager i udlandet blev desuden vurderet.

I nærværende vurdering er den oprindelige farlighedsvurdering revideret og der er udført en supplerende litteraturgennemgang for nyere viden indenfor området, især med henblik på en risikovurdering af nedbrydningsprodukter fra TNT og RDX overfor grundvandsressourcer.

3. FOREKOMST OG ANVENDELSE

3.1 Trinitrotoluen

Trinitrotoluen (TNT) har i mange år været anvendt som sprængstof, ofte blandet med andre sprængstoffer /2/. TNT's lave smeltepunkt tillader, at det kan påfyldes ammunition i smeltet form. TNT anvendes ofte sammen med andre sprængstoffer, f.eks. RDX, PETN, Tetryl, ammoniumpicrat, idet effektiviteten forbedres ved tilsætning af en accelerator (stoffer med et højere iltindhold). Hos AMA-Elling er det primært RDX, der anvendes som accelerator.

TNT kan detonere ved kraftig mekanisk påvirkning (f.eks. svarende til et 2 kg lods fald fra en højde på 150 cm) samt ved varmepåvirkning (ca. 300 °C). Høje temperaturer, som medfører pludselig opvarmning af TNT til en temperatur over 300 °C, vil medføre detonation.

I forhold til andre sprængstoffer er TNT stabilt, og der stilles få restriktioner til håndteringen, hvilket er en væsentlig grund til at TNT er et almindeligt anvendt sprængstof. TNT kan endvidere anvendes under vand.

3.2 RDX

RDX, cyclonite (sym-trimethyltrinitramine eller hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine) er et kraftigt sprængstof, som har været anvendt i mange år sammen med TNT. RDX kan detonere ved kraftig mekanisk påvirkning samt ved væsentlig varmepåvirkning (>205°C) /16/.

3.3 “Red” og ”pink” spildevand

Ved produktion af TNT dannes et spildprodukt, som i litteraturen omtales som “Red water” på grund af den stærke røde farve. “Red water” indeholder TNT, men også de vandopløselige komponenter 2,4-dinitrotoluen-3-sulfonat og 2,4-dinitrotoluen-5-sulfonat, samt andre pt. ukendte stoffer.

“Pink water” er et spildprodukt som dannes i forbindelse med udstøbning af TNT/RDX i sprænglegemer, bl.a. ved rengøring af udstyr. “Pink water” har en anden sammensætning og et mindre tørstofindhold end “red water”, men indeholder ligeledes TNT, ofte sammen med RDX. Den lyserøde/røde farve, fra

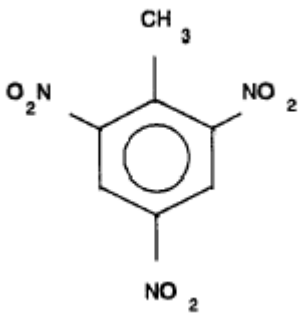
svagt gul til murstensrød, opstår under neutrale eller basiske forhold, og især under påvirkning af sollys /11/. En række photonedbrydningsprodukter er fundet i "pink water", bl.a. 2-amino og 4-amino derivativer af dinitrotoluener, nitrotoluen, toluen, nitrobenzen, 1,3,5-trinitrobenzen og 2,4- samt 2,6-dinitrotoluener, som sandsynligvis er urenheder i TNT /11/.

Flere undersøgelser omkring militære sprængstoffabrikker i USA beskriver tilstedeværelse af TNT og RDX i grundvandet /10, 11, 16/.

4. FYSISK-KEMISKE EGENSKABER

Analysemetoder er beskrevet i /60, 61/ hvor der hovedsageligt er omtalt HPLC som analysemetode. Fysisk/kemisk egenskaber for TNT, TNT's nedbrydningsprodukter og RDX er angivet nedenunder:

4.1 TNT

2,4,6 trinitrotoluen	C ₇ H ₅ N ₃ O ₆	
Cas. nr	118-96-7	
EF nr.	204-289-6	
Synonymer:	TNT, trotyl, triton, tritol, tolite, trilite	
Molvægt:	227,15	
Form:	Hvid-gul monokline krystaller	
Smeltepunkt:	80,1 °C /24,25/	
Kogepunkt:	240 °C /24/	
Vandopløselighed:	130 mg/l ved 20 °C /24, 25/.	
Damptryk:	1,99 x 10 ⁻⁴ mm Hg (ved 20°C) /24/	
Henrys konstant	4,57 x 10 ⁻⁷ atm. m ³ /mol	
Deflagrationspunkt:	300 °C	
Omregning luft:	1 ppm = 9,26 mg/m ³	
Log K _{ow} (Oktanol/vand fordelingskoefficient)	1,6 /24/	

Log K _{oc} (Organisk kulstof/ vand fordelingskoefficient)	2,47 /24/
K _d (Jord/ vand fordelingskoefficient)	1,07 /12/
	0,27 (oxiderende forhold)
	1,5 (reducerede forhold) /7/

4.2

DNT

2,4 dinitrotoluen	C ₇ H ₅ N ₂ O ₅
2,6 dinitrotoluen	
CAS nr.	121-14-2 (2,4-DNT) 606-20-2 (2,6-DNT)
Synonymer:	DNT, 2,4-DNT, 2,6-DNT
Molvægt:	182,15
Vandopløselighed:	2,4-DNT 280 mg/l (25 °C) /28/ 2,6-DNT 206 mg/l (25 °C) /28/
Damptryk:	2,4-DNT 2,2 x 10 ⁻⁴ mm Hg (25°C) /28/ 2,6-DNT 5,7 x 10 ⁻⁴ mm Hg (25°C) /28/
Log K _{oc} (Organisk kulstof/ vand fordelingskoefficient)	2,4-DNT 2,4 /28/ 2,6-DNT 1,9 /28/

4.3

Amino-DNT

2-amino-4,6-dinitrotoluen	C ₇ H ₇ N ₃ O ₅
4-amino-2,6 dinitrotoluen	
Cas. nr	33572-78-2 (2A-DNT) 1946-51-0 (4A-DNT)
Synonymer:	2A-DNT, 4A-DNT
Molvægt:	197,17
Vandopløselighed:	2A-DNT 38 mg/l (25 °C) /31/ 4A-DNT 43 mg/l (25 °C) /31/
Damptryk:	4 x 10 ⁻⁵ mm Hg (25°C) (skønnede i /31/)

Henrys konstant	3×10^{-3} L-tor/mol
Log K_{oc} (Organisk kulstof/ vand fordelingskoefficient)	1,06 - 0,94 -0,5 (skønnede i /31/)
K_d (Jord/ vand fordelingskoefficient)	2A-DNT 4,3 (oxiderende forhold) 4A-DNT 4,9 (oxiderende forhold) 2A-DNT 3,4 (reducerede forhold) 4A-DNT 3,7 (reducerede forhold) /7/

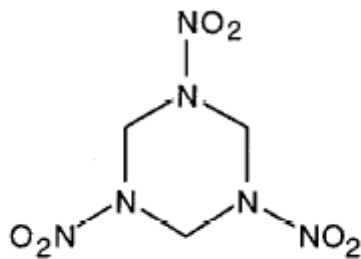
4.4

Amino-nitrotoluen

2-amino-4-nitrotoluen	$C_7H_8N_2O_3$
Cas. nr	99-55-8 (2A-4-NT)
Synonymer:	Fast scarlet Base G Azoic Diazo component 12
Molvægt:	152,15
Vandopløselighed:	751 mg/l (25 °C) /63/
Damptryk:	$6,5 \times 10^{-5}$ mm Hg (25°C) /63/

4.5

RDX

Hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine	$C_3H_6N_6O_6$
	
Cas. nr	121-82-4
EF nr.	
Synonymer:	Cyclonite; Cyclotrimethylenetrinitramine; Hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5 triazine; Trimethy-

	lentrinitramine; 1,3,5-trinitro-1,3,5-triazacyclohexan; hexogen; hexolite
Molvægt:	222,26
Form:	Hvidt pulver
Smeltepunkt:	205 – 206 °C
Kogepunkt:	-
Vandopløselighed:	38,4 – 39,9 mg/l ved 20 °C /16/.
Damptryk:	1×10^{-9} mm Hg ved 20 °C /16/
Henrys konstant	$1,2 \times 10^{-5}$ atm. m ³ /mol
Deflagrationspunkt:	-
Omregning luft:	1 ppm = 9,26 mg/m ³
Log K _{ow} (Oktanolvand fordelingskoefficient)	0,87 /16/
log K _{oc} (Organisk kulstof/vand fordelingskoefficient)	1,8 /16/
K _d (Jord/vand fordelingskoefficient)	1,59 /12/

4.6

HMX

Octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine	
Cas. nr	2691-41-0
Synonymer:	HMX - high melting explosive
Molvægt:	296.16
Vandopløselighed:	6,6 mg/l (20 °C) /64/
Smeltepunkt	276-280 °C
Damptryk:	3×10^{-9} mm Hg (100°C) /64/

5. TNT OG NEDBRYDNINGSPRODUKTER - SPREDNING OG NEDBRYDNING

5.1 Spredning

TNT har et lavt damptryk og en relativ høj vandopløselighed på 130 mg/l. Af-dampning fra jord og grundvand vurderes til at være langsom og ubetydelig i denne sammenhæng og det forventes at TNT spredes med grundvand /11, 24/.

TNT adsorberes kun i begrænset omfang i jorden (K_d er omkring 1). I /7,12/ er det vurderet, at de høje koncentrationer af TNT som typisk findes i overfladenær jord ved TNT-kilder, kan henføres til krystalliseret TNT, som herved udgør en reservoir af TNT der langsomt udvaskes grundvandet.

K_d -værdier for aminodinitrotoluen (2-ADNT og 4-ADNT) der er nedbrydningsprodukter fra TNT er under oxiderende forhold henholdsvis 4,3 og 4,9 samt 3,4 og 3,7 under reducerende forhold /7/. Dette indikerer at sorption af nedbrydningsprodukter er højere end for TNT (K_d er henholdsvis 0,3 og 1,5 under oxiderende og reducerende forhold for TNT). Sorption af nedbrydningsprodukter er tilsvarende i modsætning til TNT højere under oxiderende forhold end under reducerede forhold.

I /12/ er det undersøgt og dokumenteret, at desorption og udvaskning fra jord kan fjerne op til 88% af adsorberet TNT efter tre udvaskninger. Jordens pH har næsten ingen betydning for adsorptionen, men der tilbageholdes mere TNT under reducerede forhold end under oxiderede forhold /24/. Dette betyder, at der ved iltning af forurenede jordlag (f.eks. ved opgravning) kan forekomme øget frigivelse/udvaskning af TNT til grundvand /12, 24/.

2A-DNT er fundet i jorden i koncentrationer op til 19-37 mg/kg /31/.

5.2 Nedbrydning af TNT

I /22/ er udarbejdet en redegørelse af biologisk nedbrydning af TNT i diverse media og muligheden for biologisk nedbrydning som afværgeforanstaltning over for jord og grundvand. TNT er et symmetrisk molekyle, som dermed er mindre modtagelig for kemisk eller mikrobiologisk nedbrydning end f.eks. mono- eller

dinitrotoluen. Oxygen i nitrogruppen er elektronegativ og N-O-bindingen er polar. Dette betyder at nitrogruppen nemt kan reduceres, selv under aerobe forhold. Reduktionen til en aminogruppe betyder dog, at molekylet har et mindre elektronegativt potentiale og at et lavt redox potentiale (anaerobe forhold) er nødvendigt for at reducere de to andre nitrogrupper.

5.2.1 *Fotonedbrydning*

TNT i overfladevand er udsat for fotonedbrydning til 1,3,5-trinitrobenzen, nitroanliner og diverse azoforbindelser, som desuden medfører farvning af vandet ("pink water") /11, 12, 24/. Fotonedbrydningen er hurtig hvorfor halveringstiden for TNT i spildevand der er udsat for sollys er 3-84 timer /11, 24/.

2A-DNT nedbrydes ligeledes fotolytisk.

5.2.2 *Aerobe forhold*

TNT kan nedbrydes af bakterier (bl.a. *Pseudomonas*) under aerobe forhold, men processen er baseret på reduktion af nitrogruppen til aminogruppen (2A-DNT og 4A-DNT) /22/. Nedbrydning af amino-DNT er ofte det hastighedsbegrænsende trin /31/. Der er dog kun fundet få bakterier der kan anvende TNT som kvælstof- eller kulstofkilde og mineralisering af de organiske nedbrydningsprodukter til uorganiske molekyler er sjældent konstateret. I nogle tilfælde omfatter nedbrydningsvejen typisk dannelsen af 2,4-dinitrotoluen, der er mere toksisk end TNT.

Biologisk nedbrydning af TNT i overfladevand medfører dannelse af 2-amino- og 4-amino-dinitrotoluener (2-ADNT og 4-ADNT), hvor halveringstiden for TNT er beregnet til 1-6 måneder /11, 24/.

Der er beregnet en halveringstid for TNT i grundvand på 1-12 måneder, men stoffet er også fundet at være persistent i grundvand /24/.

I vandprøver med TNT-indhold konstateres der ofte mindre indhold af 2,6-dinitrotoluen og 2,4-dinitrotoluen og 1,3,5 trinitrobenzen, som kan skyldes nedbrydning af TNT eller urenheder i den oprindelige TNT. Diverse TNT nedbrydningsprodukter i grundvand er omtalt i litteraturen /10, 24/:

- 2,4-dinitrotoluen
- 2,6-dinitrotoluen
- 2-amino-DNT
- 4-amino-DNT
- 2,4-diaminonitrotoluen (2,4-DANT)
- nitrobenzen
- 1,3,5-trinitrobenzen (urenhed i 2,4,6 TNT).

5.2.3 *Anaerobe forhold*

Anaerob nedbrydning af TNT er rapporteret med mange bakteriearter. Nedbrydning er ofte hurtigt og med dannelse af bl.a. triaminotoluen (TAT). Mineralisation af TAT kræver anaerobe forhold og neutral pH. Der er kun sjældent, at der er noteret mineralisation til uorganiske molekyler /22/.

Halveringstiden for TNT i overfladevand under anaerobe forhold er beregnet til 1-6 måneder /24/.

5.2.4 *Nedbrydning med svampe*

Svampe har et stort potentiale til nedbrydning af især svært nedbrydelige organiske stoffer. Svampene udskiller ekstracellulære enzymer til nedbrydning af komplekse organiske strukturer, herunder lignin (findes i træer). Svampe er med få undtagelser strikt aerobe mikroorganismer og forekommer derfor ikke naturligt i større jorddybder.

Nedbrydning (mineralisering) er påvist for TNT /22/ og de indledende trin omfatter reduktion af nitrogrupper til aminogruupper (4A-DNT, 2A-DNT m.fl.).

5.2.5 *Nedbrydning i jord*

TNT som pulver (faststof) kan være persistent i jord i mange år.

TNT er dog rapporteret nedbrudt til 4A-DNT og 2A-DNT samt 2,6-diaminer under både reducerede og oxiderede forhold /7, 8, 24, 14 /. Generelt konstateres der nedbrydningsprodukter dvs. 2A- og 4A-DNT, i alle prøver med TNT. 2A- og 4A-DNT er dog fundet persistent i jordmiljø /31/.

Halveringstiden i jorden er estimeret til 1-6 måneder /24/.

5.2.6 *Omsætning af DNT*

2,6-dinitrotoluen omsættes i dyr (mus) til 2-amino-4-nitrotoluen /63/.

6. RDX- SPREDNING OG NEDBRYDNING

6.1 Spredning

RDX har et lavt damptryk, men en moderat vandopløselighed på ca. 40 mg/l. Fordelingskonstant i jord og vand er lav. Dette betyder, at RDX er mobil i jord og kan udvaskes til grundvand /16/. Der kan ifølge Henry's konstant ske en vis afdampning til atmosfæren.

Under produktion af RDX dannes ofte mindre mængder octahydro-1,3,5-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocid (HMX), der forurener RDX /16/.

Bioakkumulering forventes at være lav /16/.

6.2 Nedbrydning af RDX

6.2.1 Fotonedbrydning

Fotonedbrydningen er hurtig og betyder, at halveringstiden for RDX i luft er 1,5 time /16/. Halveringstiden for RDX i overfladevand udsat for sollys er 9-13 timer /11,16/. Fotonedbrydningsprodukter er formaldehyd og nitrosaminer der begge er giftige.

6.2.2 Anaerob nedbrydning

Nedbrydning af RDX under anaerobe forhold til triazines og hydrazines er omtalt i /10, 23/. Nedbrydningshastigheden er dog lav. Mineralisering af det organiske nedbrydningsprodukter til uorganiske molekyler er dog observeret /23/. Følgende nedbrydningsprodukter er forslået i /16, 23/:

Nitrosodannelse til

- Hexahydro-1-nitroso-3,5 dinitro-1,3,5-triazine (MNX)
- Hexahydro-,1,3-dinitroso-5-nitro-1,3,5 triazine (DNX)
- Hexahydro-1,3,5- trinitroso-1,3,5-triazine (TNX)

eller denitrifikation til

- Methylenedinitramin

og i de endelige trin

- 1,1-dimethyl-hydrazine
- 1,2-dimethyl-hydrazine

- Hydrazine
- Formaldehyd
- Methanol

Nitrosoprodukter er giftige og hydraziner kan være kræftfremkaldende.

7. EFFEKTER OG KRITERIER

7.1 Miljømæssige effekter

7.1.1 TNT

TNT er toksisk for mennesker og dyr og hæmmer væksten af mange bakterietyper bl.a. gær. Ligeledes er flere af nedbrydningsprodukterne toksiske for dyr /40/.

Der er konstateret biologiske effekter hos vandorganismer ved TNT koncentrationer fra 0,4 til >100 mg/l /6, 28/. Ved koncentrationer over 0,5-1 mg/l TNT kan biologisk nedbrydning i vand hæmmes /6/.

LD₅₀ er fra 0,5-29 mg/l er observeret for akvatiske organismer /28/

Til beskyttelse af akvatiske liv har US EPA beregnet et kriterium på 557 µg/l TNT /24/.

Bioakkumulering af TNT i akvatiske organismer og planter er moderate og der er målt BCF (Bio Concentration Faktor) fra 200-400 /24, 28/. En moderate bioakkumulering er forventelig baseret på fordelingskoefficienten i oktanol/vand på 2,2-2,7.

7.1.2 RDX

Der sker ikke bioakkumulering af RDX i akvatiske organismer, men optagelse i planter er observeret /16/.

7.2 Sundhedsmæssige effekter

7.2.1 Beregning af kvalitetskriterier

I Danmark defineres en TDI (tolerabel daglig indtagelse, svarende til en acceptabel daglig indtagelse, ADI). Denne fastsættes ud fra et nul-effektniveau (NOEAL- No Observed Adverse Effect Level) eller lav effektniveau (LOAEL- Low Observed Adverse Effect Level) med anvendelse af sikkerhedsfaktorer for at tage højde for manglende data eller forventelig variation /18/.

Ved beregning af jord- og grundvandskvalitetskriterier er det i Danmark normal praksis at fastlægge den(de) mest kritiske eksponeringsveje, og på dette grundlag

omregne fra ADI til et konkret kvalitetskriterium. I det konkrete tilfælde vurderes den mest kritiske eksponeringsvej at være indtagelse af forurennet jord og drikkevand.

Kvalitetskriterier er beregnet med henblik på at beskytte alle befolkningsgrupper, inkl. børn og syge, ved følsom arealanvendelse (f.eks. parcelhushave), hvor der over en lang årrække opstår hyppig kontakt med forurennet jord og ved indtagelse af forurennet drikkevand.

Ved denne type beregninger anvendes følgende standardindtagelser, som er internationalt anerkendte /18/.

- Den daglige indtagelse af drikkevand sættes til 2 liter for en person på 70 kg og 1 liter for et barn på 10 kg.
- Den daglige indtagelse af jord og støv sættes til 0,2 g og ved enkeltindtagelser op til 10 g for et barn og 0,025 g for en voksen.

Ved beregning af jordkvalitets- og drikkevandskriterier anvendes den toksikologisk vurderede værdi for TDI samt værdien for den daglige indtagelse. Der anvendes en jordindtagelse på 0,2 g for et barn på 10 kg for en TDI baseret på effekter efter længere tids eksponering, og 10 g, hvis TDI er baseret på effekter efter enkeltdosis (akutte effekter) /18/. Drikkevandskriteriet beregnes på grundlag af indtagelse af 2 liter vand af en voksen person på 70 kg /18/.

Jordkvalitetskriterium, mg/kg,

$$= \frac{\text{TDI (mg/kg lgv/d)} \times \text{barns vægt (kg)} \times 1000(\text{g/kg})}{\text{daglig eksponering (g/d)}}$$

Drikkevandskriterium, µg/l,

$$= \frac{\text{TDI (mg/kg lgv/d)} \times \text{voksens vægt (kg)} \times 1000(\mu\text{g/mg})}{\text{daglig eksponering (l/d)}}$$

I USA beregnes drikkevandskriterier i henhold til kræftisiko ved hjælp af følgende formel /11/:

Drikkevandskriterium, µg/l

$$= \frac{R \times \text{voksens vægt (kg)} \times 1000(\mu\text{g/mg})}{q^* \times \text{daglig eksponering (l/d)}}$$

hvor R er kræftisiko, f. eks. 10^{-4} , 10^{-5} eller 10^{-6} og q^* er "human oral slope faktor" beregnet ved hjælp af en matematisk model, baseret på kræft fundet ved dyreforsøg.

En kræftisiko på 10^{-6} beskriver, at der kan forventes ét ekstra kræfttilfælde blandt en population på 1 million over en livstid. En kræftisiko på 10^{-6} anvendes normalt som grundlag for fastlæggelse af kvalitetskriterier i Danmark.

7.2.2 Sundhedsmæssige effekter af TNT

TNT kan optages i kroppen ved inhalation via lungerne, indtagelse (spisning) og ved hudkontakt /11, 24, 25, 51/. Optagelsen er ofte mere end 50%, men TNT nedbrydes i kroppen og udskilles hovedsagelig med urinen. Ved væsentlig eksponering med TNT ses ofte rødfarvning af urinen. Der sker ikke bioakkumulering.

TNT kan give irritation af næse, øjne og hals og give en gullig misfarvning af huden /5/. Det kan endvidere medføre methemoglobinemia (cyanosis) dvs. iltmangel i blodet. Ved stor udsættelse kan der ske blålig misfarvning af huden, åndedrætsbesvær, hjertepåvirkninger og bevidstløshed /25/. Kataraktformationer i øjne (grå stær) efter længere tids eksponering er rapporteret i /11/. Ligeledes forstørret lever og andre hepatic effekter er konstateret /27, 28/. Arbejdsmiljøgener og dødsfald er rapporteret i forbindelse med produktion af TNT under 1. Første Verdenskrig, hvor der ikke var tilstrækkelig opmærksomhed om de sundhedsmæssige effekter ved kontakt med TNT.

Det umiddelbart farlige niveau er 500 mg/m^3 , hvor der kan opstå lunge odema /25/. I tabel 1 er angivet en sammenligning af LD_{50} (dødelig dosis for 50% af dyr) ved oral indtagelse i rotte.

	LD_{50} ved oral indtagelse i rotte mg/kg legemsvægt
TNT	800-1300
DNT	200-800
2A-DNT	2240
4A-DNT	1360
2A-4-NT*	574

*nedbrydningsprodukt af DNT

Tabel 1. LD_{50} i rotte /16, 24, 31, 63/.

Som det ses af tabel 1, er DNT og nedbrydningsprodukter heraf mere problematisk end TNT. Derimod er 2A-DNT og 4A-DNT mindre toksiske end TNT ved oral indtagelse i rotte.

US EPA vurderer efter forsøg hos US Army Medical Research and Development Command, at TNT er mutagent og kræftfremkaldende i bakterie- og dyreforsøg /11/. US EPA vurderer TNT som en klasse 3 (mulig kræftfremkaldende), mens WHO vurderer at der er utilstrækkelig beviser /27/. Sundhedsmæssige effekter kan påvirkes af tilstedeværelse af andre stoffer /27/.

2,4-DNT og 2,6-DNT er potentielt kræftfremkaldende stoffer. På grundlag af dyreforsøg er der i /11/ beregnet følgende kriterier for TNT:

NOAEL (No Observed Adverse Effect Level - niveau for ingen observerede skadelige effekter) –

- Korttidseksponering (4 uger) 35,3 mg/kg legemsvægt/dag
- Livstidseksponering 1,5 mg/kg legemsvægt/dag

NOEL (sub-kronisk) er 0,2-1 mg /kg legemsvægt/dag /28/.

LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level - Laveste niveau for observerede skadelige effekter)

- Eksponering (26 uger) 0,5 mg/kg legemsvægt/dag

På basis af disse data er der i /11/ fastlagt en acceptabel daglig indtagelse (ADI), hvor der anvendes en usikkerhedsfaktor på 1.000. Sikkerhedsfaktor omfatter en faktor 10 ved omregning fra dyreforsøg til mennesker, en faktor 10 fordi der anvendes en LOAEL og en faktor 10 for human variation.

I USA er der beregnet en "reference dose" RfD (reference dosis) på 0,0005 mg/kg legemsvægt/dag, der svarer til en ADI og som tillige omfatter en usikkerhedsfaktor på 1.000 /24, 11/.

ATSDR har defineret en Minimal Risk Level (MRL) på 0,0005 mg/kg/dag for oral indtagelse og US EPA har defineret et RfD på 0,0005 mg/kg legemsvægt/dag, som svarer til TDI eller ADI /11, 24/.

Med hensyn til kræftfremkaldende effekter er der defineret en q^* (jf. afsnit 7.2.1) på $0,03 \text{ (mg/kg legemsvægt /dag)}^{-1}$ for TNT /11, 33/.

7.2.3 Sundhedsmæssige effekter af DNT

2,6-DNT er ca. 10 gange mere toksiske end 2,4 DNT /28/.

US EPA har defineret et RfD (reference dose) på 0,002 mg/kg legemsvægt/dag, som svarer til en TDI eller ADI /34/.

Med hensyn til kræftfremkaldende effekter er der defineret en q^* for blandinger af 2,4- og 2,6-dinitrotoluener på $0,68 \text{ (mg/kg legemsvægt /dag)}^{-1} /35/$.

For 2-amino-4-nitrotoluen (nedbrydningsprodukt af DNT) er q^* beregnet til $0,033 \text{ (mg/kg legemsvægt /dag)}^{-1} /63/$.

7.2.4 *Sundhedsmæssige effekter af 2A-DNT og 4A-DNT*

Der er kun fundet få tilgængelige litteraturkilder der beskriver toksicitet af amino dinitrotoluener /31/.

I /31/ er angivet en NOAEL (No Observed Adverse Effect Level - niveau for ingen observerede skadelige effekter) for pattedyr på 9 mg/kg/d. Hvis der antages en sikkerhedsfaktor på 1.000 fås en RfD på 0,009 mg/kg/d.

7.2.5 *Sundhedsmæssige effekter af RDX*

RDX kan optages i kroppen ved inhalation via lungerne og ved indtagelse (spisning) /16, 52/. Optagelse ved hudkontakt er mindre end ved indtagelse eller inhalation /16/. Ved hudkontakt skal RDX straks afvaskes. Der findes kun begrænsede oplysninger og data om udskillelse af RDX i forsøgsdyr, men RDX udskilles sandsynligvis hovedsageligt via lungerne og urinen, mens en mindre brøkdel udskilles i afføringen. Der er ikke observeret dødsfald ved eksponering med RDX, men ved indtagelse af høje koncentrationer er der observeret dødsfald i dyreforsøg.

Ved inhalation og indtagelse af RDX observeres kvalme og opkastning. Desuden er der observeret krampe, svimmelhed, hukommelsestab og bevidstløshed hos mennesker /16/. Dyreforsøg indikerer at der er risiko for anæmi (blodmangel) og påvirkning af nyrefunktionen. Der er set hudirritation og grå stær ved høje koncentrationer ved dyreforsøg.

LD₅₀ ved oral indtagelse i rotte er fra 40-300 mg/kg legemsvægt /28/. LD₅₀ ved oral indtagelse i rotte for HMX er 6250 mg/kg legemsvægt /64/.

RDX er altså mere giftige end TNT eller HMX ved oral indtagelse i rotte.

På grundlag af dyreforsøg er der i /16/ beregnet følgende kriterier for RDX:

- NOEL (no observed effect level ved akut indtagelse) er 0,3 mg/kg TS /26/.
- NOEL (sub-kronisk) er 0,2-5 mg/kg legemsvægt/dag /26,28/.

På grundlag af dyreforsøg er der i /64/ beregnet følgende kriterier for HMX:

- NOAEL (no observed adverse effect level ved sub-kronisk indtagelse) er 50-115 mg/kg TS /64/.

ATSDR har defineret en Minimal Risk Level (MRL) for RDX på 0,06 mg/kg TS ved akut indtagelse /16/. MRL er ved længere tids eksponering 0,03 mg/kg TS. US EPA har defineret et RfD (kronisk referencedosis ved indtagelse - langvarende eksponering) for RDX på 0,003 mg/kg legemsvægt/dag, der svarer til TDI eller ADI /16/.

På basis af kræft hos en bestemt dyreart har US EPA klassificeret RDX som et muligt kræftfremkaldende stof.

For RDX er $q^* 0,1 \text{ (mg/kg legemsvægt/dag)}^{-1}$ /26/.

7.3 **Klassificering**

7.3.1 *TNT*

TNT er klassificeret i Miljøministeriets liste over farlige stoffer /4/, som følger

- Eksplosivt - E; R2
- Giftigt - T; R23/24/25
- Miljøfarlig stof - N; R51/53

TNT er klassificeret som eksplosionsfarligt ved stød, gnidning, ild samt andre antændelseskilder (R2). Det er giftigt ved indånding, ved hudkontakt og ved indtagelse (R23/24/25) og kan ophobes i kroppen ved gentagen eksponering (R33).

Endvidere er den giftig for organismer der lever i vand og kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i vandmiljøet (R51/53).

7.3.2 *RDX*

RDX er ikke klassificeret i Miljøstyrelsens liste over farlige stoffer /4/.

7.4 **Luftkriterier**

B-værdien (bidragsværdi) er den enkelte virksomheds samlede maksimalt tilladte bidrag til tilstedeværelsen af et forurenende stof i luften i omgivelserne udenfor virksomheden dvs. immissionen. B-værdien skal altid være overholdt ved beregning efter reglerne i luftvejledningen /20, 32/.

7.4.1 *TNT*

Der er varslet en foreløbig administrativ B-værdi for TNT på 0,001 mg/m³ for perioden 1996 – maj 2001, som vil indgå i B-værdilisten ved næste revision af

luftvejledningen, medmindre der tilkendes gives behov for en omfattende vurdering af stoffer /20/.

Arbejdstilsynet /3/ har opstillet en arbejdsmiljømæssig grænseværdi (loftsværdi) for TNT på $0,1 \text{ mg/m}^3$ luft, samt en anmærkning om at stoffet optages igennem huden.

I USA er der fastlagt en 8 timers gennemsnit, tærskel grænseværdi (US TWA-TLV) og en tilladelige eksponeringsgrænseværdi (USA PEL) for TNT på $0,5 \text{ mg/m}^3$ luft ligeledes med en anmærkning om hudoptagelse /11, 24/.

7.4.2 RDX

Der er ingen dansk B-værdi for RDX.

Arbejdstilsynet /3/ har opstillet en arbejdsmiljømæssig grænseværdi (loftsværdi) for RDX på $1,5 \text{ mg/m}^3$ luft samt en anmærkning om at stoffet optages igennem huden.

I USA er der fastlagt en 8 timers gennemsnit, tærskel grænseværdi (US TWA-TLV) og en tilladelige eksponeringsgrænseværdi (USA PEL) for RDX på $1,5 \text{ mg/m}^3$ luft /16/.

7.5 Vandkriterier

Der er ingen danske grundvands- eller drikkevandskriterier for TNT, TNT's nedbrydningsprodukter eller RDX.

7.5.1 TNT

Beregning af drikkevandskriterium baseret på oral indtagelse og RfD- værdien medfører følgende kriterium:

$$=0,0005 \times 70 \times 1000 / 2$$

$$\approx 20 \mu\text{g/l TNT}$$

Baseret på ligninger i afsnit 7.2.1 kan der beregnes et drikkevandskriterium i henhold til mulige kræftfremkaldende egenskaber med en livstidsrisiko på 1 per 1.000.000.

$$=10^{-6} / 0,03 \times 70 \times 1000 / 2$$

$$=1 \mu\text{g/l TNT}$$

I USA er der fastlagt en drikkevandsækvivalent grænse (DWEL-Drinking Water Equivalent Levels) på 20 µg/l TNT, som er baseret på EPA's RfD og som repræsenterer en koncentration i drikkevand der næppe vil medføre effekter i mennesker ved en indtagelse af 2 liter vand/dag /24/.

Ved en livstidseksponering er grænseværdien i USA sat til 2 µg/l TNT. Med en kræftisiko på 1 per 10.000 (10^{-4}) er grænseværdien sat til 100 µg/l /24/.

7.5.2 DNT

Beregning af drikkevandskriterium baseret på oral indtagelse og RfD-værdien medfører følgende kriterium:

$$=0,002 \times 70 \times 1000 / 2$$

$$\approx 70 \mu\text{g/l DNT}$$

Baseret på ligninger i afsnit 7.2.1 kan der beregnes et drikkevandskriterium i henhold til mulige kræftfremkaldende egenskaber med en livstidsrisiko på 1 per 1.000.000.

$$=10^{-6} / 0,68 \times 70 \times 1000 / 2$$

$$=0,05 \mu\text{g/l DNT}$$

7.5.3 2A-DNT og 4A-DNT

Beregning af drikkevandskriterium baseret på oral indtagelse og RfD-værdien medfører følgende kriterium:

$$= 0,009 \times 70 \times 1000 / 2$$

$$\approx 315 \mu\text{g/l 2A-DNT/4A-DNT}$$

På denne grundlag er 2A-DNT og 4A-DNT mindre farlig end TNT. Da der ingen oplysninger haves på kræftfremkaldende effekter antages det, at drikkevandskriteriet for 2A-DNT og 4A-DNT bør sættes til sammen værdi som TNT altså 1 µg/l.

7.5.4 RDX

Ved beregning af drikkevandskriteriet baseret på oral indtagelse og RfD værdien medfører følgende kriterium:

$$= 0,003 \times 70 \times 1000 / 2$$

$\approx 105 \mu\text{g/l RDX}$

Baseret på ligninger i afsnit 7.2.1 kan der beregnes et drikkevandskriterium i henhold til mulige kræftfremkaldende egenskaber med en livstidsrisiko på 1 per 1.000.000.

$$= 10^{-6} / 0,1 \times 70 \times 1000 / 2$$

$$= 0,35 \mu\text{g/l RDX}$$

I USA er der fastlagt en vejledende grænseværdi for drikkevand på $2 \mu\text{g/l RDX}$ /16/.

7.6 Jordkriterier

Der er ingen danske jordkvalitetskriterier for TNT, TNT's nedbrydningsprodukter eller RDX.

7.6.1 TNT

Beregning af jordkvalitetskriteriet baseret på oral indtagelse og RfD-værdien medfører følgende kriterium:

$$= 0,0005 \times 10 \times 1000 / 0,2$$

$$= 25 \text{ mg/kg TNT}$$

Til sammenligning var US army "clean-up" kriterier for jordforurening beregnet ud fra drikkevandskriterier og kildestyrke, med henblik på at beskytte grundvand ved Cornhusker army ammunitions plant /12/ følgende:

- 5 mg/kg TNT
- 15 mg/kg 1,3,5-trinitrobenzen (TNB)

7.6.2 RDX

Beregning af jordkvalitetskriteriet baseret på oral indtagelse og RfD-værdien medfører følgende kriterium:

$$= 0,003 \times 10 \times 1000 / 0,2$$

$$= 150 \text{ mg/kg RDX}$$

Til sammenligning var US army "clean-up" kriterier for jordforurening 10 mg/kg RDX beregnet ud fra drikkevandskriterier og kildestyrke, med henblik på at beskytte grundvand ved Cornhusker army ammunitions plant /12/.

7.7

Sammenfatning af kriterier

I tabel 2 opstilles eksisterende danske kriterier eller forslag til danske kriterier for luft, jord og vand.

	Enhed	TNT	DNT	2A-DNT	4A-DNT	RDX
Luftemission /20/	mg/m ³	0,001	*	*	*	*
Arbejdsmiljø /3/	mg/m ³	0,1	*	*	*	1,5
Jord**	mg/kg TS	25	*	*	*	10
Grundvand**	µg/l	1	0,05	1	1	0,35
Drikkevand**	µg/l	1	0,05	1	1	0,35

* ingen danske kriterier.

** forslag til kriterierne er beregnet.

Tabel 2. Sammenfatning af kriterier.

I tabel 2 er grundvandskriteriet identisk med drikkevandskriteriet, idet kvalitetskrav over for grundvand tager udgangspunkt i at grundvandet efter normal traditionel vandbehandling i form af beluftning og sandfiltrering vil kunne opfylde drikkevandskravene. Da der ikke forventes nævneværdig fjernelse af TNT eller RDX ved en traditionel behandling er kravene de samme for både grundvand og drikkevand.

8. **AFVÆRGE OVERFOR JORD- OG GRUNDVANDSFORURENING**

8.1 **TNT og RDX i grundvand**

Flere teknikker til behandling af TNT-forurenet vand og jord har været benyttet såsom adsorption til aktiv kul, fotolysis, kemisk behandling, slambassinophold og nedbrydning i metalholdigt forsinkelsesbassin - "laksetrappe" som anvendt hos AMA i Elling.

I forbindelse med undersøgelse af en TNT-forurening fra en ammunitionsfabrik i Nebraska, USA /10/ blev det observeret, at TNT-forurening i grundvand var af mindre omfang end RDX-forureningen. TNT-fanen var således kun nået 0,8 km nedstrøms for kilden, mens RDX blev konstateret i en afstand på op til 6,5 km. Maksimale TNT og RDX koncentrationer i grundvandet blev målt til hhv. 350 og 300 µg/l. Det er i forbindelse med denne undersøgelse vurderet, at der kan ske både fotokemisk nedbrydning af TNT før nedsivning og transport i den umættede zone samt sorption på sand og aerob nedbrydning i den umættede zone /10/.

Det er i /10/ vurderet, at sorption til sand er mindre for RDX end for TNT og mere væsentligt; der sker tilsyneladende ikke en signifikant aerob nedbrydning af RDX i grundvandet. Det er usikkert, om der kan ske en begrænset anaerob nedbrydning af RDX i reduceret dybereliggende grundvand /10/.

Koncentrationer af op til 120 mg/l TNT er fundet i grundvand tæt på produktionsanlæg og op til 25 mg/l TNT ved lagre og samleanlæg /24/.

Et treårigt forsøg /15/ med nedbrydning af TNT-holdigt vand med koncentrationer på 10-50 mg/l TNT i et oxidationsbassin (oxidation ditch) demonstrerer, at TNT nedbrydes til ca. 12 - 20% aromatiske nitroaminer, hvor 4-aminodinitrotoluen dominerer. Den trinvis transformation medfører dannelse af aminoprodukter, som til sidst reagerer med at danne komplekse hydrofile produkter. RDX blev ikke nedbrudt. Biologisk nedbrydning af TNT er kun realistisk som afværgeteknik, hvis de oprindelige koncentrationer er lave (<7 mg/l TNT), såle-

des at der kan opnås en slutkoncentration mindre end 1 mg/l for nedbrydningsprodukter.

Den af US EPA anbefalede metode til behandling af "rødt vand" er adsorption af TNT mv. på aktiv kul /11/.

I /14/ er nedbrydningsprodukter af TNT identificeret ved analyse af mange forskellige jordprøver fra forskellige grunde forurenet med TNT og RDX. Generelt er nedbrydningsprodukter altid tilstede i jordprøver forurenet med TNT. HMX blev ligeledes altid fundet i prøver indeholdende RDX.

Tilsyneladende kræver disse biologiske teknikker imidlertid såvel anaerobe og aerobe trin, ligesom nedbrydningsprodukterne ikke er fuldt identificeret og ofte mere toksiske end TNT /9/.

Flere artikler omtaler biologisk nedbrydning af TNT /38, 39/. Ligeledes findes diverse artikler om afværgeteknologier herunder biologisk nedbrydning til fjernelse af RDX og HMX /29, 30, 42, 49, 53-55/.

I nedbrydningsstudie med TNT forurenet grundvand podet med bakterier fra spildevandssediment ses reduktion af TNT fra 100 mg/l til 0-6 mg/l TNT over en 6 døgns periode /24/.

Nedbrydningen af TNT og RDX er sjældent fuldstændig. 2-amino-dinitrotoluen er den mest almindelige nedbrydningsprodukt af TNT, men nedbrydningsprodukterne sorberes i jordmatrix og er mindre mobile end TNT. Der er kun lidt kendskab til nedbrydningsprodukternes miljø- og sundhedsmæssige effekter. Nedbrydning af TNT er mest sandsynligt for grundvandsmagasiner med langsomme grundvandsstrømningshastigheder /36/.

TNT er ofte fraværende i grundvandsmagasiner ved jordforurening med TNT mens der typisk findes RDX og HMX i grundvandet /37/.

RDX er mobil i jorden og kan derfor udvaskes til grundvandet /16/. RDX er mere persistent og mobil end TNT og er dermed dimensionsgivende ved de fleste afværgeforanstaltninger /36/.

8.2 TNT og RDX i jord

Koncentrationer på op til 13.000-40.000 mg/kg TNT er fundet ved militærområder i USA.

Destruktion af overskudssprængstof foretages ved kontrolleret sprængning eller afbrænding i åben grav (open pit burning) /11/. Hvis TNT-affaldet er tilstrække-

lig opblandet med andet materiale, kan det afbrændes f.eks. i et forbrændingsanlæg. Vandblandinger med mere end 55 % TNT er eksplosionsfarlig /17/.

I /8/ er en teknik til behandling af TNT forurenet jord ved tilsætning af amino surfactants (overfladeaktive stoffer) under basiske forhold undersøgt. Tilsætningsstofferne binder TNT og der dannes et uopløseligt, ikke-sprængfarligt udfældningsprodukt, som kan adskilles og efterfølgende brændes eller deponeres. Det vurderes imidlertid i /8/, at teknikken ikke kan anbefales på grund af en række u hensigtsmæssige problemer med øget toksicitet og udvaskning af surfactants til grundvand.

En undersøgelse /13/ med kompostering af TNT-affald gav i 1978 lovende resultater, men der er ikke megen omtale af teknikken i litteraturen i de efterfølgende år, og dermed er det usikkert, om metoden er praktisk anvendelig. Sandsynligvis medfører metoden en biotransformation til aminotoluener som ikke nedbrydes yderligere /28/.

Herudover findes der i litteraturen flere omtaler af forureningsproblematikker herunder biologisk nedbrydning af TNT /41-44, 46-48, 50, 55-59, 62/.

I /13/ er resultater af nedbrydningsforsøg i jord beskrevet, og det konkluderes, at TNT er let nedbrydeligt i jord, men at der sjældent sker en fuldstændig omsætning til kuldioxid, selv ved optimering af nedbrydningsparametrene (ilt, næringsindhold, vand). Undersøgelsen konkluderer, at biologisk nedbrydning er for langsom til at være anvendelig ved oprydning af større mængder TNT-holdigt affald, og at der med tiden vil ske en udvaskning og nedsivning af TNT i jordprofilen.

9. FORKORTELSER

2,6,-DNT	2,6-dinitrotoluen
2A-DNT	2-amino-4,6-dinitrotoluen
4A-DNT	4-amino-2,6 dinitrotoluen
2-A-4-NT	2-amino-4-nitrotoluen
DANT	Diaminonitrotoluen
DNX	Hexahydro-,1,3-dinitroso-5-nitro-1,3,5 triazine
HMX	Octahydro-1,3,5-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocide
MNX	Hexahydro-1-nitroso-3,5 dinitro-1,3,5-triazine
RDX	Hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine
TAT	Triaminotoluen
TNB	1,3,5-trinitrobenzen
TNT	2,4,6-trinitrotoulouen
TNX	Hexahydro-1,3,5- trinitroso-1,3,5-triazine (TNX)

10. REFERENCER

- /1/ Forsvarets Bygningstjeneste. Trotylstøberi, Elling Frederikshavn kommune. Indledende forureningsundersøgelse. Nellesmann, Nielsen & Rauschenberger A/S. Februar 1997.
- /2/ Shreve's Chemical Process Industries, Austin G.T. 5th. Edition. McGraw-Hill. New York. 1984.
- /3/ Arbejdstilsynet. Grænseværdier for stoffer og materialer. At-vejledning C.0.1. Oktober 2002
- /4/ Miljøministeriet. Bekendtgørelse nr. 439 af 3. juni 2002 om Listen over farlige stoffer.
- /5/ Patty's Industrial Hygiene and Toxicology. 3rd. revised edition. Vol IIA Toxicology. Ed. Clayton & Clayton. Wiley-Interscience. New York. 1981.
- /6/ Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals. Verschueren K. 2nd. Edition. Van Nostrand Reinholdt. New York. 1983.
- /7/ Adsorption and desorption of 2,4,6-trinitrotoluene by soils. Pennington, J.C. & Patrick, W.H. Jr. J. Environ. Qual., 19, 559-567, 1990.
- /8/ 2,4,6-trinitrotoluene- surfactant complexes: Decomposition, mutagenicity, and soil leaching studies. Kaplan, D.L. & Kaplan, A.M. Environ. Sci. technol. 16, (9) 566- 571 1982
- /9/ Microbial degradation of TNT (trinitrotoluen) in soil. Stoffers, H. Grothkopp, A. & Winterberg, R. 1455 in Contaminated Soil '93 ed. Arndt.F., Annokkée, G.J. Bosman, R. & van den Brinck, W.J. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1993.
- /10/ Groundwater munition residues and nitrate near Grand Island, Nebraska, USA. Spalding R.F. & Fulton J.W. Journal of Contaminant Hydrology 2, 139-153, 1988.

-
- /11/ Health Advisory on 2,4,6 Trinitrotoluene. US EPA Report nr. PB90-273566. Prepared by the Army Medical Research and Development Command, Fort Detrick, Frederick, MD 21701. January 1989.
 - /12/ Contaminated Soil Cleanup Objectives for Cornhusker Army Ammunitions Plant. Rosenblatt, D. H. Technical report 8603 US Army Medical Bioengineering Research & development laboratory, Fort Detrick, Frederick, Maryland 21701. May 1986
 - /13/ The biodegradation of TNT in enriched soil and compost systems. Osmon, J.L. & Andrews, C.C. Technical report ARLCD-TR-77032. Sciences div. Weapons Quality Engineering Center, Naval Weapons Support Center, Crane, Indiana. January 1978.
 - /14/ Identification of TNT transformation products in soil. Walsh, M.E. & Jenkins, T.F. Special report 92-16. U.S. Army Waterways Experimental Station. June 1992.
 - /15/ Biodegradability of TNT: A Three-year Pilot Plant Study. Hoffsommer, J.C., Kaplan, L.A., Glover, D.J. Report NSWC/WOL-TR-77-136. Naval Surface Weapons Centre, White Oak, Silver Spring, Maryland 20910.13. February 1978
 - /16/ ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for RDX. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp78.html> US Department of Health & Human Services. June, 1995.
 - /17/ Encyclopedia of explosives and related items. Vol 9 Kaye S. M. US Army Armament Research and Development Command Large Caliber New Jersey, 1980.
 - /18/ Toksikologiske kvalitetskriterier for jord og drikkevand. Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen nr. 12. 1995.
 - /19/ Kemiske stoffers opførsel i jord og grundvand: bind 1, kap 7. Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen nr. 20. 1995.
 - /20/ Miljøstyrelsen. 2002. Vejledning nr. 2. B-værdivejledningen
 - /21/ US Army. 1996. Engineers Manuals. CEMP-RT. Risk Assessment Handbook, Volume II: Environmental Evaluation
<http://www.usace.army.mil/inet/usace-docs/eng-manuals/em200-1-4vol2/toc.htm>

- /22/ Biological degradation of 2,4,6-trinitrotoluene. Esteve-Núñez, A; Cabellero, A. & Ramos, J.L. Microbiology and Molecular Biology Reviews. 335-352, 65, (3) Sept. 2001.
- /23/ Biodegradation of Hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine and its mononitroso derivative Hexahydro-1-nitroso-3,5 dinitro-1,3,5-triazine by *Klebsiella pneumoniae* Strain SCZ-1 isolated from an Anaerobic sludge. Zhao, J-S.; Halasz, A.; Paquet, L.; Beaulieu, C. and Hawari, J. Applied and experimental Microbiology. 68, (11), Nov. 2002.
- /24/ ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for 2,4,6-Trinitrotoluene (TNT). <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp81.html>
US Department of Health & Human Services. June, 1995.
- /25/ Beredskabsstyrelsen. 2003. Indsatskort ved kemikalieuheld. Trinitrotoluen. <http://www.kemikalieberedskab.dk/>
- /26/ US EPA Integrated Risk Information. Hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine (RDX) (CASRN 121-82-4) 08/01/1990
<http://www.epa.gov/iris/>
- /27/ Recommendation to list 2,4,6-trinitrotoluen (TNT) as a potential toxic pollutant in New Mexico water quality control commission regulation 20 NMAC 6.2.1101.TT based on toxicity. Prepared for New Mexico Environmental Department groundwater quality bureau. 04.12-2001.
- /28/ US Army Corps of Engineers. Engineer Manuals EM 200-1-4. Risk Assessment Handbook, Volume II: Environmental Evaluation. 30 June 1996. Appendix F: Ecotoxicity profiles for munitions compounds.
<http://www.usace.army.mil/inet/usace-docs/eng-manuals/em200-1-4vol2>
- /29/ Amarillo National Ressource Center for Plutonium. Treatment of HMX and RDX Contamination (ANRCP-1998-2)
Robert E. Card, Jr., Robin L. Autenrieth, March 1998
<http://www.pu.org/main/reports/reports.html#environment>
- /30/ Amarillo National Resource Center for Plutonium. Bioremediation of RDX in the Vadose Zone beneath the Pantex Plant (ANRCP-1999-1) T. L. Shull, G. E. Speitel, Jr., D. C. McKinney, January 1999.
<http://www.pu.org/main/reports/reports.html#environment>
- /31/ Wildlife Toxicity Assessment for 2-Amino-4,6-Dinitrotoluene and 4-Amino-2,6-Dinitrotoluene. Draft report 10 august 2001. Prepared by

- Health effects research program. Environmental risk assessment program. <http://chppm-www.apgea.army.mil/erawg/tox/wta24aaug01.pdf>
- /32/ Miljøstyrelsen. 2001. Vejledning nr. 2. Luftvejledningen
- /33/ US EPA Integrated Risk Information. 2,4,6-Trinitrotoluene (TNT) (CASRN 118-96-7) 06/01/1989 <http://www.epa.gov/iris/>
- /34/ US EPA Integrated Risk Information. 2,4-dinitrotoluene (2-DNT) (CASRN 121-14-2) 02/01/1993 <http://www.epa.gov/iris/>
- /35/ US EPA Integrated Risk Information. 2,4 /2,6-dinitrotoluene mixtures (DNT) 09/01/1990 <http://www.epa.gov/iris/>
- /36/ Explosives-contaminated groundwater: fate and transport and USACE Remedial Action Experience. Coyle, C.G. www.environmental.usace.army.mil/info/technical/process/propubs/presentations/explosives_fate_transport.ppt
- /37/ Migration of explosives at the Massachusetts Military Reservation, Cape Cod, MA. Clausen, J.L.; Grant, M.A. & Boggess, J. Northeastern Section of Geological Society of America. Annual meeting. March 19-22.
- /38/ US Army Phytoremediation – a natural process for groundwater cleanup. Demonstrating cost effective solutions to improve the environment. <http://aec.army.mil/>
- /39/ US Department of Defence. Natural Attenuation of explosives in groundwater. June 1999. Environmental Security Technology Certification Program- ESTCP Cost and Performance Report.
- /40/ US Army center for Health promotion and preventive medicine. Wildlife toxicity assessment for 2,4,6-trinitrotoluen. October 2000.
- /41/ Monitoring TNT-content of soil during phytoremediation. Warrelmann, J.; Behrend, P.; Koehler, H. 1176-1177. ConSoil 2000. Leipzig. Germany. 18-22 September 2000
- /42/ Evaluation of the environmental impact of live firing training at Canadian Force Base Gagetown. Thiboutot, S.; Ampleman, G.; Hamel, A.; Ballard, J.M. Martel, R. & Lefebvre, R.. 3042-3050 ConSoil 2003. Gent. Belgium. 12-16 May 2003.12.22

-
- /43/ Contamination by Chemical Armament Factories. Schneider, U. & König, W. 385-387. in Contaminated Soil '88 ed. Wolf, K., van den Brinck, & Colon, F.J. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1988
- /44/ Biological treatment of TNT-contaminated soil by a two stage anaerobic/aerobic process. Daun, G. Lenke, h., Desiere, F., Stolpmann, H., Warrelmann, J., Reuss, M. & Knackmuss, H.J. 337- 346 in Contaminated Soil '95. Ed. Van den Brinck, Bosman, R. & Arendt.F. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1995
- /45/ Biodegradation of TNT (2,4,6-trinitrotoluen) in contaminated soil samples by white rot fungi. Majhcherczyk, A. Zeddel, A. & Hüttermann. 1345 - 1351 in Contaminated Soil '93 ed. Arendt.F., Annokkée, G.J. Bosman, R. & van den Brinck, W.J. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1993.
- /46/ Experience from investigations of the former warfare-related contaminated site of Stadtallendorf/Hessia. Albers, H. & Brozio, D. 903 - 904 in Contaminated Soil '93 ed. Arendt.F., Annokkée, G.J. Bosman, R. & van den Brinck, W.J. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1993.
- /47/ Conversion products of explosives during combustion - analysis for risk assessment studies of open-pit burning areas. Holl, G. & Schneider, M. 941- 942 in Contaminated Soil '93 ed. Arendt. F., Annokkée, G.J. Bosman, R. & van den Brinck, W.J. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1993.
- /48/ In-situ bioremediation of silty soils contaminated with 2,4,6-trinitrotoluen (TNT). Held, T. 1245 - 1246 in Contaminated Soil '95. Ed. Van den Brinck, Bosman, R. & Arendt.F. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1995.
- /49/ Removal of 2,4,6-trinitrotoluen from contaminated water with microbial mats. Mondecar, M. Bender, J. Ross, J., George, W. & Preslan, J. 342-345 in Applied biotechnology for site remediation. Ed. Hinchee, R.E., Anderson, D.B., Metting, F. B. jr. & Sayles, G.D. Lewis publishers, Boca Raton 1994.
- /50/ Bioremediation of TNT (2,4,6-trinitrotoluen) in contaminated soil samples by white rot fungi. Majhcherczyk, A. Zeddel, A. & Hüttermann, A. 365-370 in Applied biotechnology for site remediation. Ed. Hinchee, R.E., Anderson, D.B., Metting, F. B. jr. & Sayles, G.D. Lewis publishers, Boca Raton 1994.
- /51/ Toxicological review of selected chemicals: TNT.
<http://www.cdc.gov/niosh/pel88/118-96.html>
-

-
- /52/ NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards: RDX Cyclonite
<http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0169.html>
- /53/ Remediation of the TRI dump site. Weingran, C. 2083-2085. ConSoil 2003. Gent. Belgium. 12-16 May 2003.
- /54/ Permeable reactive Barriers: a multidisciplinary approach of a new emerging sustainable ground water treatment technology. Diels, L.; Bastiaena, L.; O'Hannessin, S.; Cortina, J.L.; Alvarez, P.J.; Ebert, M. & Schad, H. 3607-3618. ConSoil 2003. Gent. Belgium. 12-16 May 2003.
- /55/ Surfactant producing TNT-degrading microorganisms for bioremediation. Vorobyov, A.; Marcenko, A.; Rudneva, O.; Radosevich, M. & Borovick, R. 3700-3701. ConSoil 2003. Gent. Belgium. 12-16 May 2003.
- /56/ Acute and chronic toxicity of contaminated field soils with mixed pollution consisting of TNT, PAH's, mineral oil and heavy metals. Bierkens, J.; Weltens, R. & Vangheel, V. 659-660. ConSoil 2003. Gent. Belgium. 12-16 May 2003.
- /57/ Working on warfare-related sites- review after 15 years and perspectives. Scheider, U. 75-86. ConSoil 2003. Gent. Belgium. 12-16 May 2003.
- /58/ Biotransformation of TNT-nitrogen during fungal treatment of TNT-contaminated soils. Weiß, M.; Geyer, R.; Russow, R.; Knicker, H.; Richnow, H.H. & Kästner, M. 899-907. ConSoil 2003. Gent. Belgium. 12-16 May 2003.
- /59/ Characterization and remediation of soils at closed small arms firing ranges. Technical /regulatory guidelines. January 2003. US Interstate Technology and regulatory council.
- /60/ Laboratory and analytical methods for explosives residues in soil. Walsh, M.; Jenkins, T. & Thorne, P. 357-383 via
www.denix.osd.mil.denix
- /61/ US EPA SWA-846 Test methods online Method 8330 Nitroaromatics and nitroamines by high performance liquid chromatography.
<http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/main.htm>
-

-
- /62/ US Army Environmental center. Multiple Biotechnology demonstration of explosives- contaminated soil <http://aec.army.mil/>
- /63/ US Army Environmental center. Toxicity summary for 2-amino-4-nitrotoluen. February 1995 via <http://www.afcee.brooks.af.mil/afceehome.asp>
- /64/ US Army Environmental center. Toxicity summary for 1,3,5,7-tetrazocine (HMX). February 1995 via <http://www.afcee.brooks.af.mil/afceehome.asp>

G:\SAG\03\183.14\Rap\rap-AMA-rev_farlighedsvurdering_tnt-rdx04.doc