

FFI RAPPORT

HELSE- OG MILJØMESSIGE KONSEKVENSER VED FORSVARETS BRUK AV RØYKAMMUNISJON MED HVITT FOSFOR

JOHNSEN Arnt, LONGVA Kjetil Sager, RINGNES, Hege,
STRØMSENG Arnljot

FFI/RAPPORT-2002/04042

FFIBM/813/138.2

Godkjent
Kjeller 7. februar 2003

Bjørn Arne Johnsen
Forskningsjef

**HELSE- OG MILJØMESSIGE KONSEKVENSER
VED FORSVARETS BRUK AV
RØYKAMMUNISJON MED HVITT FOSFOR**

JOHNSEN Arnt, LONGVA Kjetil Sager, RINGNES,
Hege, STRØMSENG Arnljot

FFI/RAPPORT-2002/04042

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

FORSVARETS FORSKNING SINSTITUTT (FFI)
Norwegian Defence Research Establishment

UNCLASSIFIED

P O BOX 25
 NO-2027 KJELLER, NORWAY
REPORT DOCUMENTATION PAGE

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2002/04042 1a) PROJECT REFERENCE FFIBM/813/138.2	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED 2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	3) NUMBER OF PAGES
4) TITLE HELSE- OG MILJØMESSIGE KONSEKVENSER VED FORSVARETS BRUK AV RØYKAMMUNISJON MED HVITT FOSFOR HEALTH AND ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES FROM THE USE OF AMMUNITION WITH WHITE PHOSPHORUS BY THE DEFENCE		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) JOHNSEN Arnt, LONGVA Kjetil Sager, RINGNES, Hege, STRØMSENG Arnljot		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: IN NORWEGIAN: a) <u>White phosphorus</u> a) <u>Hvitt fosfor</u> b) <u>Ammunition</u> b) <u>Ammunisjon</u> c) <u>Toxicity</u> c) <u>Toksisitet</u> d) <u>Health risk</u> d) <u>Helsefare</u> e) <u>Environmental risk</u> e) <u>Miljøfare</u>		
THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT Literature about the toxic, physical and chemical properties of white phosphorus is studied to assess the health and environmental consequences from the use of white phosphorus ammunition. Information from the Norwegian Military Defence indicate that wet areas and areas covered with snow are avoided when the field of fire for white phosphorus ammunition is selected. The amount of white phosphorus ammunition used is small, and shooting exercises do not cause exposure of humans from white phosphorus smoke. Clearing of unexploded shells may represent a risk of exposure from white phosphorus if adequate protective gear not is used. Due to minimal exposure of humans for white phosphorus the health risk associated with the use of such ammunition is neglectable. The fields of fire where white phosphorus ammunition is used in Norway are relatively dry, and therefore most of the white phosphorus will react with air and produce phosphoric acid. It is therefore only a very small fraction of white phosphorus that will remain on the surface. Ducks and swans are rare in these areas. The deposit of phosphorus can cause an increased growth of plants and algae and acidify. This is only expected to give local effects and the use of white phosphorus ammunition is therefore considered not to cause significant environmental effects.		
9) DATE 7. February 2003	AUTHORIZED BY This page only Bjørn Arne Johnsen	POSITION Director of Research

ISBN 82-464-0691-4

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHOLD

	Side	
1	BAKGRUNN	7
1	BAKGRUNN	7
2	FORSVARETS BRUK AV GRANATER MED HVITT FOSFOR	7
3	KJEMISKE OG FYSISKE EGENSKAPER TIL HVITT FOSFOR OG FORBRENNINGSPRODUKTER	8
3.1	Kjemiske reaksjoner til hvitt fosfor	11
4	SKJEBNE OG TRANSPORT	12
4.1	Spredning ved sprengning	12
4.2	Hvitt fosfor i luft	14
4.3	Hvitt fosfor i jord	14
4.4	Hvitt fosfor i vandig miljø	14
4.5	Hvitt fosfor i sedimenter	15
5	TOKSIKOLOGISKE EGENSKAPER TIL HVITT FOSFOR OG NEDBRYTNINGSPRODUKTER	15
5.1	Hvitt fosfor	15
5.1.1	Effekter på mennesker	15
5.1.2	Effekter på dyr	16
5.2	Fosforsyre	17
5.3	Rødt fosfor	17
6	VURDERING AV HELSEMESSIGE KONSEKVENSER	18
6.1	Eksposering	18
6.2	Helsefare	18
7	VURDERING AV MILJØMESSIGE KONSEKVENSER	19
7.1	Rester av hvitt fosfor i nedslagsområdet	19
7.2	Eksposering	20
7.2.1	Hvitt fosfor	20
7.2.2	Fosforsyre	21
8	KONKLUSJON	22
9	ANBEFALINGER	22
	APPENDIKS	24
A	SPRENGNING AV EN 107 MM FOSFORGRANAT	24

Litteratur	26
Fordelingsliste	29

HELSE- OG MILJØMESSIGE KONSEKVENSER VED FORSVARETS BRUK AV RØYKAMMUNISJON MED HVITT FOSFOR

1 BAKGRUNN

Forsvaret har i dag flere typer røykammunisjon som benyttes til skjermingsrøyk for å skjule egne stillinger og forflytninger, for å villedde varmesøkende raketter og missiler og for å blinde fienden. I røykammunisjonen som Forsvaret benytter kan røyksatsen bestå av heksakloretan, titantetraklorid eller hvitt fosfor. Forsvaret opplyser at de i dag benytter to typer granater som inneholder hvitt fosfor med et anslagsvis forbruk på 3000 granater pr år (1).

I forbindelse med etableringen av Regionfelt Østlandet er det satt fokus på eventuelle miljøskader ved bruk av ammunisjon med hvitt fosfor. Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) har derfor gjort en gjennomgang av relevant litteratur og gjort en oppsummering av helse- og miljømessige konsekvenser ved bruk av ammunisjon som inneholder hvitt fosfor.

Hvitt fosfor er meget giftig for alle organismer og det er rapportert om dødsfall både hos mennesker (2,3), pattedyr (4,5,6) fugler (7) og fisk (8). Hvitt fosfor har f.eks vært benyttet som rottegift og som giftåte mot kråker. I juli 1987 ble det funnet fem døde moskusdyr i Hjerkinnskytefelt. Veterinærinstituttet undersøkte prøver av ulike organer fra disse dyrene og det ble konstatert skader på nyrene og fordøyelsessystemet. Med bakgrunn i de funn som ble gjort, ble det konstatert at dyrene sannsynligvis hadde dødd av fosforforgiftning (4).

I et amerikansk skytefelt lokalisert ved utløpet av Egel River ved Cook Inlet nær Anchorage i Alaska ble det tidlig på 1980-tallet oppdaget et stort antall døde andefugler hvert år (7). I de etterfølgende år ble det funnet omkring 2000 døde andefugler hvert år. På begynnelsen av 1990-tallet ble det konstatert at hvitt fosfor var årsaken til de døde fuglene. Fuglene var døde som følge av at de hadde spist små biter av hvitt fosfor på størrelse med frø som var lagret i sedimentene. I løpet av de siste 10 årene er det gjort omfattende tiltak i dette området for i størst mulig grad å hindre at fugler eksponeres for hvitt fosfor (7).

2 FORSVARETS BRUK AV GRANATER MED HVITT FOSFOR

Granater med hvitt fosfor benyttes av Infanteriet til å skjerme egne avdelinger for innsyn fra fiendtlige avdelinger i forbindelse med forflytning, mens Artilleriet benytter granater med hvitt fosfor sammen med sprenggranater for brannstifting av spesielle mål.

For at militært personell skal lære seg bruken av våpen med hvitt fosfor er det viktig å foreta øvelser der denne typen ammunisjon blir satt inn i en taktisk ramme. For å kvalitetssikre funksjonaliteten til lagrede våpen med hvitt fosfor er det nødvendig å kontrollskyte et vist antall

med jevne mellomrom.

I dag øves det hovedsakelig i skytefeltene Hjerkin, Setermoen, Mauken, Blåtind og Porsangermoen/Halkavarre med granater som inneholder hvitt fosfor. Skyteøvelsene finner hovedsakelig sted på våren og om høsten. Infanteriet røyklegger områder ved først å skyte en ildskur som består av 20 stk 81 mm bombekastergranater. Deretter skyter de omkring en granat hvert minutt for å opprettholde røykskjermen inntil tildelt ammunisjon for øvelsen er brukt opp (9). Nedslagsområder som infanteriet benytter er typisk 150 ganger 150 meter. Ved øvelse med artilleri blir det skutt 6 stk 155 mm fosforgranater i kombinasjon med 12 sprenggranater som utgjør en ildskur. Dette gjentas eventuelt flere ganger inntil tildelt ammunisjon for øvelsen er bruk opp (10). Et typisk nedslagsområdet for artillerigranater er i utgangspunktet 150 ganger 150 meter, men kan være opp mot 250 ganger 250 meter.

Opplysninger fra Forsvaret per august 2002 viser at planlagt årlig forbruk av granater med hvitt fosfor er omkring 3000 granater. Av disse er om lag 2000 155 mm artillerigranater og resten 81 mm bombekastergranater (1). I all hovedsak er det Hæren som står for dette forbruket. Granaten på 155 mm inneholder 7,1 kg hvitt fosfor, mens 81 mm granaten inneholder 0,71 kg hvitt fosfor. Dette betyr at for året 2002/2003 planlegger Forsvaret et totalt forbruk av hvitt fosfor på rundt 14900 kg. Det virkelige forbruket vil kunne være noe forskjellig fra det planlagte, og forbruket vil variere noe fra år til år.

Det finnes i dag ikke nedskrevne retningslinjer for hvordan nedslagsområdet til røykammunisjon med hvitt fosfor skal velges for at mest mulig hvitt fosfor blir forbrent. Forsvaret opplyser imidlertid at nedslagsområdene de siste årene er utvalgt med hensyn til at de ikke skal bestå av våtmarksområder eller snødekte områder. All skyteøving med ammunisjon som inneholder hvitt fosfor utføres på en slik måte at personell ikke blir utsatt for røyk fra disse våpnene (9,10).

Forsvaret mener at det i fremtiden vil være et fortsatt behov for å bruke granater som inneholder hvitt fosfor i en taktisk ramme. Det vil derfor være nødvendig å foreta øvelser med disse granatene i fremtiden. Erfaringer i bruk av denne ammunisjonsstypen er også nyttige ved deltagelse i internasjonale operasjoner.

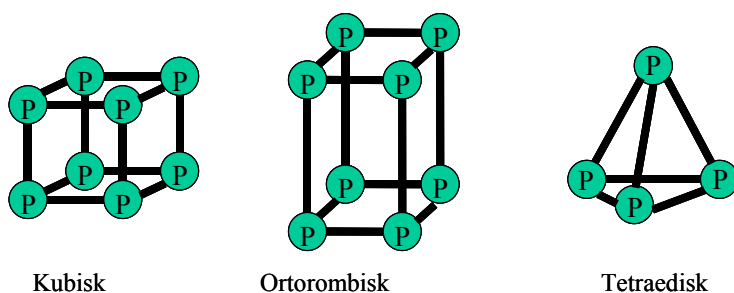
3 KJEMISKE OG FYSISKE EGENSKAPER TIL HVITT FOSFOR OG FORBRENNINGSPRODUKTER

For å forstå hvordan hvitt fosfor vil oppføre seg i miljøet er det viktig å ha kjennskap til de kjemiske og fysiske egenskapene til hvitt fosfor. I Tabell 3.1 er det listet opp en del kjemiske og fysiske egenskaper til hvitt fosfor (11,12).

Kjemisk navn	Hvitt fosfor
Kjemisk formel	P ₄
CAS- nr	12185-10-3
Molvekt	123,9
Smeltepunkt, °C	44,1
Kokepunkt, °C	280
Tetthet, kg/dm ³	1,82 (20 °C)
Damptrykk, kPa	0,024
Form	Fast vokslignende
Farge	Fargeløs eller hvit
Tenntemperatur, °C	30-45
Løselighet i vann, mg/l	3
Løselighet i alkohol, g/l	2,5
Løselighet i CS ₂ , g/l	1250
Løselighet i olivenolje, g/l	12,5
K _{ow}	1200

Tabell 3.1 Kjemiske og fysiske egenskaper til hvitt fosfor

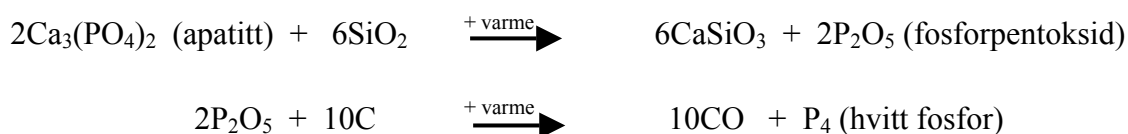
Rent fosfor i fast form forekommer hovedsakelig i tre hovedformer benevnt som hvitt fosfor, rødt fosfor og svart fosfor. Hvitt fosfor har en kubisk krystallstruktur ved temperaturer over -79 °C og opp til smeltepunktet på 44,1 °C. I væskeform og i gassform forekommer hvitt fosfor som tetraediske P₄ molekyler under 800 °C. Rødt fosfor kan ha mange forskjellige strukturer, mens svart fosfor har en ortorombisk struktur. Av de nevnte formene er det hvitt fosfor som er den desidert mest reaktive og det er denne formen som Forsvaret benytter i røykammunisjon. Forsvaret benytter rødt fosfor i små mengder som markeringsrøyk i enkelte flybomber. Ved sprengning kan det være mulig at noe hvitt fosfor omdannes til rødt fosfor som følge av høy temperatur og mangel på oksygen. Forsvaret benytter ikke svart fosfor.



Figur 3.1 Forskjellige krystallstrukturer for fosfor

Rent fosfor finnes ikke i naturen, men er en vanlig bestanddel i mineraler. Ved industriell produksjon av rent fosfor benyttes vanligvis mineralet apatitt som fosforkilde. Dette finnes det store mengder av bl a i Russland, Marokko og USA (13). Fosfor utvinnes fra apatitt ved oppvarming til 1500 °C sammen med kvartssand (SiO₂) og koks. I denne prosessen blir det dannet hvitt fosfor. De kjemiske reaksjonene for industriell produksjon av hvitt fosfor er vist

under.



Ettersom hvitt fosfor utvinnes fra mineraler vil det i ferdigprodusert hvitt fosfor finnes forurensninger av en rekke grunnstoffer. I Tabell 3.2 er det gitt en oversikt over mengder av ulike grunnstoffer som kan finnes i hvitt fosfor (14).

Grunnstoff	Mengde (mg/kg)
Bor	715
Silisium	377
Jern	94
Arsen	84
Aluminium	20
Kalsium	18
Natrium	9,5
Vanadium	4,2
Magnesium	3,6
Bly	1,3
Kopper	1,2
Nikkel	0,96
Kadmium	0,88
Sink	0,88
Mangan	0,58
Kobolt	0,57
Krom	0,49
Barium	0,45
Molybden	0,09

Tabell 3.2 Mengder av forurensninger i hvitt fosfor

Fosfor benyttes blant annet i produksjon av stål, ammunisjon og pyroteknisk materiell, gjødselsproduksjon, plantevernmidler, rengjøringsmidler, flammehemmere og til produksjon av fosforsyre (næringsmiddelindustri).

Hvitt fosfor er i ren form fargeløs eller hvit, men den kan ofte se gulaktig ut som følge av forurensninger og eller at noe hvitt fosfor er omdannet til rødt fosfor. Ved lypåvirkning vil fargen på hvitt fosfor mørkne og gå over til rødt fosfor. Ved eksponering av hvitt fosfor for luft i mørke omgivelser vil en se et grønnaktig lys (fosforescens) og hvit røyk (fosforpentoksid, fosforsyrer). Hvitt fosfor antenner spontant ved temperaturer mellom 30 °C til 45 °C avhengig fuktigheten i luften. Når fuktigheten i luften stiger vil tenntemperaturen synke. Hvitt fosfor er

flyktig og vil sublimere ved romtemperatur. Hvitt fosfor er lite løselig i vann, men er relativt godt løselig i organiske løsningsmiddel. Dette fører til at vann/oktanol fordelingskoeffisienten K_{ow} er på 1200 (12). Hvitt fosfor er en del tyngre enn vann, noe som fører til at det vil synke til bunnen i et vandig miljø.

Rødt fosfor fremstilles ved å varme opp hvitt fosfor uten lufttilgang til over 275 °C. Rødt fosfor er relativt stabilt og reagerer ikke spontant med luft. Tettheten til rødt fosfor (2,34 g/dm³) er noe høyere enn for hvitt fosfor. Rødt fosfor er nærmest uløselig i både vann og organiske løsningsmidler.

Svart fosfor ligner på grafitt i formen og produseres fra hvitt fosfor under høyt trykk. Svart fosfor er mer stabilt enn rødt fosfor og reagerer ikke spontant med luft. Svart fosfor er også nærmest uløselig i både vann og organiske løsningsmidler.

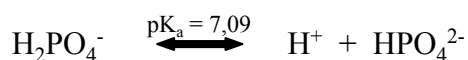
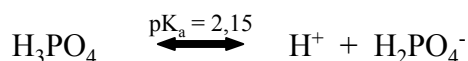
3.1 Kjemiske reaksjoner til hvitt fosfor

En granat med hvitt fosfor har en bristeladning som avsettes ved treff. Denne ladningen fører til at hvitt fosfor i granaten blir eksponert for luft samtidig som bristeladningen er med på å starte forbrenningen av hvitt fosfor. Hvitt fosfor forbrenner til fosforpentoksid som igjen reagerer med fuktigheten i luften og danner fosforsyre (hvitaktig røyk). Nedenfor er det vist hvilke to hovedreaksjoner som foregår når fosfor reagerer med luft og vann.



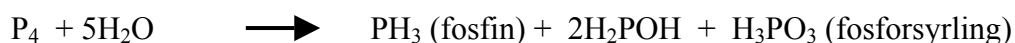
I tillegg til fosforpentoksid (P_2O_5) dannes det mindre mengder av en rekke ulike fosforoksidene som P_4O , P_2O , P_2O_3 , P_2O_4 og P_2O_6 . Alle disse oksidene vil når de reagerer med vann danne fosforsyre (H_3PO_4) (14).

Ettersom fosforpentoksid er ekstremt hygroskopisk reagerer det raskt med vanndampen som finnes i luften og danner ulike fosforsyrer avhengig av mengden vanndamp i luften. Denne reaksjonen er sterkt eksoterm og medfører stor varmeutvikling. Konsentrerte fosforsyrer kan inneholde opp mot 75 % P_2O_5 . Fosforsyre er en treprotisk syre med syrekonstanter på henholdsvis 2,15, 7,09 og 12,32 (11). Dette fører til at fosforsyre dissosierer i tre trinn i henhold til de reaksjonene som er vist nedenfor.



En fortynnet løsning av fosforsyre i vann på 0,1 N vil ha en pH på 1,5. Fosforsyre har en tetthet på 1,68 kg/dm³ (85 % løsning) ved 25 °C.

Selv om hvitt fosfor er lite løselig i vann, kan det reagere med vann og danne fosfin og fosforsyrer i henhold til reaksjon vist nedenfor (12).



4 SKJEBNE OG TRANSPORT

I de underliggende kapitler er det gjort en oppsummering av skjebne og transport til hvitt fosfor og forbrenningsprodukter med basis i tilgjengelig litteratur.

4.1 Spredning ved sprengning

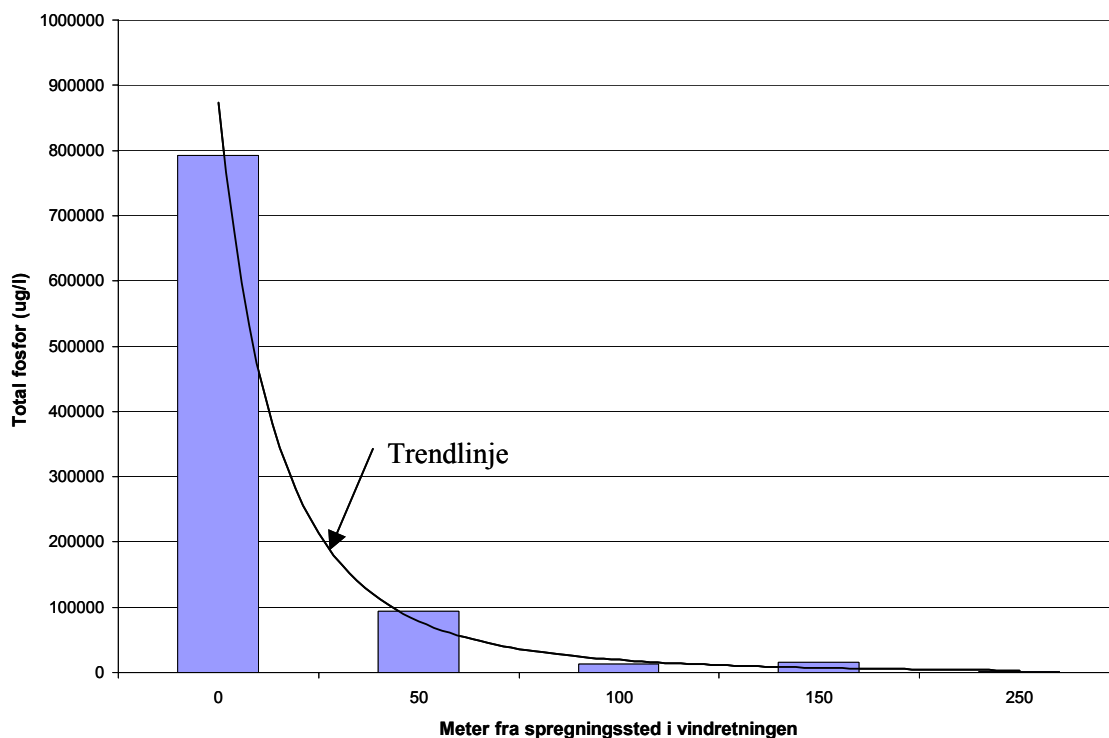
Ved sprengning av røykammunisjon som inneholder hvitt fosfor vil mesteparten forbrennes til fosforpentoksid som raskt vil omdannes til fosforsyre i fuktig miljø. Det er gjort undersøkelser som viser at så mye som 8 % hvitt fosfor kan forbli ureagert etter sprengning (12). Det er derfor mulig at betydelige mengder hvitt fosfor kan bli liggende ureagert etter bruk av røykgranater med hvitt fosfor. Relativ luftfuktighet har innvirkning på mengden av røyk som dannes fra hvitt fosfor. Ved høy luftfuktighet vil det dannes mer røyk enn ved lav luftfuktighet. I Tabell 4.1 er det vist hvordan mengden av røyk endres ved ulike luftfuktigheter (15). Avfyring i høy luftfuktighet vil føre til en mer fullstendig forbrenning av hvitt fosfor. Ved en relativ luftfuktighet på 50 % er det rapportert om at 0,0001 - 0,1 % hvitt fosfor forblir ureagert ved forbrenning (16). I Norge er den gjennomsnittlige relative luftfuktigheten høy og nær 80 % (17), noe som fører til en god forbrenning av hvitt fosfor.

Relativ luftfuktighet, %	10	20	40	50	60	70	80	90
Relativ mengde røyk dannet	3,82	4,42	5,04	5,36	5,97	7,13	9,33	16,29

Tabell 4.1 Relativ mengde røyk dannet ved ulike relative luftfuktigheter

I en undersøkelse utført av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) i 1994 (18) virker det som omkring 90 % av den totale fosformengden blir funnet igjen innenfor en avstand på 50 m fra sprengningsstedet ved sprengning av en 105 mm granat med 1,82 kg hvitt fosfor på snø (se Figur 4.1). Det ble likevel funnet en betydelig forhøyet total fosformengde 250 m fra sprengningsstedet i medvindretningen. I juli 1988 foretok FFI en undersøkelse av spredningen til ureagert hvitt fosfor etter sprengning av en 107 mm granat med 3,4 kg hvitt fosfor (4). I denne undersøkelsen ble det funnet betydelige mengder (900 mg/kg) med ureagert hvitt fosfor direkte på sprengningsstedet fem timer etter sprengning. Det ble også funnet en del hvitt fosfor

20 m fra sprengningsstedet (3 mg/kg) og spor av hvitt fosfor (0,001 mg/kg) ut til 200 m i medvindretningen. I teknisk håndbok for bombekasterammunisjon (19) er det beskrevet at spredningen av hvitt fosfor fra en 107 mm bombekastergranat med 3,4 kg hvitt fosfor vil være 15-20 m, noe som stemmer godt med de funn som ble gjort av FFI i 1988. Dette stemmer også godt overens med det som er beskrevet i undersøkelsen til NIVA (18). I dette studiet ble det ikke analysert for hvitt fosfor, men observasjoner i forbindelse med kjemisk analyse tyder på at det kunne være en del ureagert hvitt fosfor i prøven direkte fra sprengningsstedet og 50 m fra sprengningsstedet i vindretningen.



Figur 4.1 Konsentrasjonen av totalfosfor i smeltet snø i ulike avstander i vindretningen fra sprengningsstedet (18)

I en amerikansk studie er det foretatt en sprengning av en 81 mm bombekastergranat med 0,725 kg hvitt fosfor (20). Sprengningen ble foretatt på en måte som simulerte et normalt nedslag. Biter av hvitt fosfor er samlet opp i vannkar i ulike avstander fra sprengningsstedet. Resultater fra dette studiet viste at det var lite hvitt fosfor som ble spredd lenger ut en 20 m fra sprengningsstedet. Det ble også foretatt en undersøkelse av partikkelstørrelsen til bitene av hvitt fosfor som viste at mesteparten av bitene hadde en størrelse under 1 mm. Beregninger gjort av FFI med bakgrunn i de resultater som fremkom fra denne undersøkelsen viser at omkring 0,0003 % hvitt fosfor ble uforbrent.

Ved forbrenning av hvitt fosfor vil det frigis mye varme (710 Kcal/mol P_4 eller 24000 W/gram) noe som fører til et kraftig løft av røykskyen som følge av at varm luft stiger opp. Dette kan føre til at hvitt fosfor og forbrenningsprodukter spres over et relativt stort område avhengig av

vindhastigheten. I undersøkelsen gjort av FFI i 1988 (4) ble vindhastigheten ikke registrert, men ansvarlig for undersøkelsen mener at vinden var svak under dette forsøket. I NIVAs undersøkelse ble det registrert en vindhastighet på 5 m/s (18). De to forsøkene har derfor vært foretatt ved lave vindhastigheter og en må regne med en større spredning av reaksjonsprodukter og til dels hvitt fosfor ved høyere vindhastigheter. Ut fra de resultater som er fremkommet fra undersøkelser gjort av FFI, NIVA og USA kan en konkludere at hvitt fosfor vil spres til nærområdet av nedslagspunktet, mens reaksjonsprodukter av hvitt fosfor vil spre seg flere hundre meter i vindretningen. Hovedmengden av reaksjonsprodukter vil imidlertid avsettes innenfor 50 m fra sprengningsstedet ved lave vindhastigheter.

4.2 Hvitt fosfor i luft

Som nevnt i kapittel 3 reagerer hvitt fosfor spontant med luft ved temperaturer over 30 °C. Ved temperaturer over 5 °C oksideres fosfor relativt raskt og halveringstiden i luft for hvitt fosfor antas å være omkring 5 minutter (2). Fosforpentoksid som er forbrenningsproduktet av hvitt fosfor i luft vil raskt reagere med vanddampen i luften og danne fosforsyrer. Både fosforpentoksid og fosforsyrer har relativt stor egenvekt og vil forholdsvis raskt deponeres på jordoverflaten litt avhengig av størrelsen på dannede partikler og aerosol og vindhastigheten.

4.3 Hvitt fosfor i jord

I jord med liten evne til å transportere luft vil hvitt fosfor ha en lang halveringstid. Det vil ta omkring 10 år før en partikkel med diameter på 1 cm blir oksidert i jord (12). Løst hvitt fosfor antas å være relativt mobilt i jord etter som det i liten grad adsorberes til jordpartikler og har moderat flyktighet (12). Hvitt fosfor i fast form vil ha liten mobilitet i jord etter som vannløseligheten er lav. Laboratorieforsøk indikerer at organiske forbindelser løst i jordvæsken har en stabiliserende effekt på hvitt fosfor når ikke oksygen er tilstede (12). I dette forsøket ble det funnet igjen 41 % hvitt fosfor i referanseprøven, mens det ble funnet igjen hele 86 % hvitt fosfor i prøven med jordvæske. For å kunne vurdere mobiliteten til hvitt fosfor i et område er det derfor nødvendig med spesifikk informasjon om jordsmonnet.

4.4 Hvitt fosfor i vandig miljø

Hvitt fosfor har liten løselighet i vann og vil derfor kunne forekomme uforandret i vann over lenger tid. Oppløsningshastigheten av hvitt fosfor i vann er bestemt til 0,1 µg/cm² per time (12). I turbulent vann som f.eks i elver vil oppløsningshastigheten imidlertid være en god del høyere (1-10 µg/cm² per time) (12). Halveringstiden for en bit hvitt fosfor med diameter på 1,2 cm (1,8 gram) i turbulent vann er beregnet til ca 2,4 år. Halveringstiden kan imidlertid være lengre hvis vannet er oksygenfattig (12).

Halveringstiden for hvitt fosfor løst i vann er mellom 3,5 til 6 timer (21). Ved en vanntemperatur på 30 °C er halveringstiden for løst hvitt fosfor målt til mindre enn en time (22). I oksygenfattige vannmasser vil imidlertid halveringstiden til løst fosfor økes betraktelig (42 timer). Faktorer som er av betydning for bestemmelse av halveringstiden er mengden løst

oksygen, temperatur og pH i vannet (høy pH gir lavere halveringstid). I vann vil mesteparten av løst hvitt fosfor oksideres til H_3PO_2 (underfosforsyring) og H_3PO_3 (fosforsyring) grunnet begrenset tilgang på oksygen. I turbulente vannmasser antas det at hoveddelen av løst hvitt fosfor forsvinner fra vannet som damp til overliggende luftmasser (12). Hvitt fosfor kan også danne fosfin (PH_3) i vandige miljø med lite oksygen. Fosfin vil på grunn av lav løselighet i vann og høyt damptrykk raskt fordampe til atmosfæren, der det blir omdannet til mindre farlige forbindelser (2).

4.5 Hvitt fosfor i sedimenter

På grunn av at hvitt fosfor har høyere tetthet enn vann og er lite løselig, vil partikler som faller i vann for det meste sedimentere og bli liggende uforandret. Det er antatt at omkring 90 % vil lagres i sedimentene, mens resten finnes i vannmassene (16). Stabiliteten til hvitt fosfor i sedimentene påvirkes først og fremst av vannmengden i sedimentene og tildels temperaturen. I laboratorieforsøk (23) gjort med fosforpartikler på 2 mm er det vist at mengden hvitt fosfor i sediment som ikke er mettet med vann reduseres med 99,9 % etter 30 døgn og med mer enn 99,999 % etter 60 døgn ved en temperatur på 15 °C. For samme sediment ble det ved en temperatur på 4 °C kun observert en 50 % reduksjon av mengden hvitt fosfor etter 56 døgn. Selv ved 20 °C ble det ikke observert noen reduksjon av mengden hvitt fosfor i sediment mettet med vann. Det er derfor sannsynlig at partikler med hvitt fosfor som havner i vann og synker ned i sedimentene vil ha meget lang halveringstid. Tilsvarende resultater er funnet i feltforsøk med hvitt fosfor (23).

5 TOKSIKOLOGISKE EGENSKAPER TIL HVITT FOSFOR OG NEDBRYTNINGSPRODUKTER

5.1 Hvitt fosfor

Hvitt fosfor er blant de mest giftige uorganiske stoffene, og dosen som vil være dødelig for fugler og pattedyr ligger mellom 1 og 10 mg/kg kroppsvekt avhengig av eksponeringsvei. I fugler som er døde grunnet forgiftning med hvitt fosfor blir det funnet forandringer i nyrer, lever og milt (24).

5.1.1 Effekter på mennesker

Det finnes eksempler på både kronisk og akutt eksponering av mennesker for hvitt fosfor. I mennesker kan oralt inntak av 1 mg hvitt fosfor per kg kroppsvekt være dødelig. Det er imidlertid rapportert om dødsfall etter et oralt inntak av kun 15 mg hvitt fosfor. Et oralt inntak av 0,2 mg hvitt fosfor per kg kroppsvekt kan gi kraftige toksiske effekter (2). Tegn på forgiftning vil være ekstrem tørste, sjokk, koma og kramper (25). Ved oralt inntak av hvitt fosfor vil dette føre til oppkast og ødeleggelse av magen og fordøyelsessystemet. Død kan inntreffe innen 12 timer. Hvis personen overlever, og vedkommende etter få dager begynner å

kaste opp igjen, er dette tegn på at det kan være skader på lever og nyrer i tillegg til fordøyelsessystemet (26). Symptomer på forgiftning med hvitt fosfor er degenerering av beinstruktur, forstørret hjerte, skade på sentralnervesystemet og celledød i andre organer (27). Degenerering av kjeven ble påvist hos arbeidere ved en fosforfabrikk. Det antas at dette var forårsaket av at de hadde berørt munnen med fosforrester på hendene (25). Tilsvarende er også rapportert hos arbeidere som er blitt langtidseksponert med luftbåren hvitt fosfor.

Det finnes lite informasjon om effekter av hvitt fosfor på mennesket etter inhalering (2).

Hvitt fosfor forårsaker brannskader dersom det kommer i kontakt med hud. Kjemiske brannsåre som skyldes eksponering for hvitt fosfor er forskjellig fra ”vanlige” varme (termiske) brannsåre. I tillegg til varmeintensitet og varighet av eksponeringen, blir man eksponert for fosforsyre. Behandling av brannskade som skyldes hvitt fosfor består først og fremst i å fjerne forurensede klær raskt, og deretter skylle med vann. Hvitt fosfor vil fortsette å brenne i luft, derfor må man raskt fjerne partikler fra huden. Ved å skylle sårene kan man stoppe forbrenningen, senke temperaturen i forbrent område og fortynne fosforsyren som er dannet.

5.1.2 Effekter på dyr

Forsøk med rotte og hund som ble kronisk eksponert for hvitt fosfor viser at en daglig eksponering over 0,05 mg hvitt fosfor per kg kroppsvekt gir toksiske effekter (28).

Laboratorieforsøk med ender viste at hvitt fosfor ødelegger de røde blodlegemene og gav vevsforandringer i lever og nyrer. Dette resulterte i anfall/krampetrekninger og unormal oppførsel (29). I en liknende undersøkelse på svaner ble det funnet tilsvarende skader (30).

Skadede og forgiftede fugler blir lett offer for predatorer som ørn, falk, rev og ulike mårdyr. Risikoen er derfor tilstede for at rovfugl og rovdyr blir eksponert for, og forgiftet av hvitt fosfor. Basert på at hvitt fosfor hovedsaklig er funnet i kråsen, fettvev og hud på fugler er det gjort undersøkelser på om hvitt fosfor kunne bioakkumuleres i tårnfalk (27). Selv om opptaket av hvitt fosfor var raskt, ble hvitt fosfor i liten grad akkumulert oppover i næringskjeden. I dette studiet var degraderingsprosessen (enzymatisk og/eller kjemisk) effektiv nok til å eliminere mesteparten av inntatt hvitt fosfor. Større predatorer spiser typisk også kråsen på fuglen, og får dermed i seg en større dose i form av partikler. Dette kan føre til bioakkumulering i predatorens vev.

Hvitt fosfor er funnet i egg fra fiskemåke og vadefugler som hekker i militære øvingsområder i Alaska (7). I et forsøk med høner ble det påvist at hvitt fosfor overføres til egget ved oralt inntak. Mengden hvitt fosfor i eggeplommen var avhengig av dosen som ble gitt til hønene, og utgjorde 0,01% av dosen. Eksponerte høner la også færre egg per dag enn høner som ikke ble eksponert for hvitt fosfor (31).

Det er påvist fiskedød som følge av forurensning med hvitt fosfor. I Placentia bay, Newfoundland, Canada førte utslipp av hvitt fosfor til at store mengder fisk døde (8). Noen av

de observerte effektene på forgiftning av fisken var reduksjon av røde blodceller (27). Forsøk utført på torsk (*Gadus morhua*) og atlantehavslaks (*Salmo salar*) viste at en konsentrasjon på 14,4 µg/l etter 48 t eksponering førte til at 50 % av individene døde (LC₅₀ lik 14,4 µg/l). Ingen toksiske effekter ble observert under 1 µg/l. Akkumulering av løst hvitt fosfor i vann skjer raskt i fisk, men om fisken overføres til rent vann reduseres konsentrasjonen raskt i fisken. Den biologiske halveringstiden for hvitt fosfor i dette forsøket ble beregnet til omkring en time (32).

I Tabell 5.1 er det vist en oversikt over toksikologiske verdier for hvitt fosfor.

<i>Organisme</i>	<i>Eksponeringsvei</i>	<i>Effekt</i>	<i>Eksponering</i>	<i>Ref</i>
Fugler og pattedyr	Variabel	Død	1-10 mg/kg	(24)
Menneske	Oralt	Diverse toksiske effekter	0,2 mg/kg	(2)
Rotte og hund	Kronisk eksponering	Diverse toksiske effekter	0,05 mg/kg	(28)
Torsk og laks	Vann	LC ₅₀	14,4 µg/l	(32)
Torsk og laks	Vann	Ingen observerte effekter	1 µg/l	(32)

Tabell 5.1 Oppsummering av toksikologiske verdier for hvitt fosfor

5.2 Fosforsyre

Ettersom hvitt fosfor reagerer kraftig med luft og danner ulike fosforsyrer vil en kunne eksponeres for disse syrene enten gjennom inhalasjon eller som dråper på huden om en befinner seg inne i røyken fra hvitt fosfor. Systemiske effekter av fosforsyre inkluderer blant annet hematuria (blod i urinen), oliguria (unormalt lav produksjon av urin), gulsott, akutt størrelsesreduksjon av leveren, kramper og hypokalsemia (unormalt høyt nivå av kalsium i blodet) (33). I Norge er administrativ norm for fosforsyre 1,0 mg/m³.¹

I pattedyr som er eksponert for en aerosol av fosforsyre er det påvist vevsdød i luftrør og strupe og betennelseslignende reaksjoner. Effekter på lungene vil være overbelastning, blødning og ødem. Dette er generelle effekter som forventes etter inhalering av syreaerosoler (34).

I vann med lav bufferkapasitet (liten motstandsevne overfor tilsetning av syrer) er det risiko for forsuring. Fosfor er et minimumsstoff for algevekst i vann, og oksidasjon av hvitt fosfor fører til dannelsen av ortofosfat.

5.3 Rødt fosfor

Rødt fosfor har lav toksisitet, forutsatt at det ikke er forurenset med hvitt fosfor. I forsøk der kanin og hamster ble eksponert for rødt fosfor på huden ble det ikke observert hudirritasjon på noen av artene ved doser på 0,5 g per eksponeringssted. Eksponering med 100 mg rødt fosfor resulterte ikke i øyeirritasjon hos kanin (35). I rotter er LD₅₀ (akutt forgiftning der 50 % av individene dør) ved oralt inntak større enn 10 g/kg kroppsvekt (35).

Det er ikke gjort studier på røyk fra rødt fosfor på mennesker. Det er imidlertid estimert at

¹ Administrative normer er normene for forurensninger i arbeidsatmosfære.

mennesker kan dø som følge av en eksponering med 2000 mg/m³ i mer enn 15 min, at akutt eksponering ved konsentrasjoner på 1000 mg/m³ ikke er tålbare og at 700 mg/m³ er høyeste konsentrasjonen som kan tolereres, over denne konsentrasjonen må egnede vernemasker benyttes (35). Det er kjent at eksponering av mennesker med konsentrasjoner på 100-700 mg/m³ i 2-15 minutter gav signifikante, men reversible symptomer (respirasjonsproblemer og øyeirritasjon).

I Tabell 5.2 er det gjort en oppsummering av toksikologiske verdier for rødt fosfor.

<i>Organisme</i>	<i>Eksponeringsvei</i>	<i>Effekt</i>	<i>Eksponering</i>	<i>Ref</i>
Menneske	Luft, respirasjon	Død (estimat)	2000 mg/m ³ (> 15 min)	(35)
Menneske	Luft, respirasjon	Respirasjon og øye-irritasjon	100-700 mg/m ³ (2-15 min)	(35)
Rotte	Oralt	LD ₅₀	> 10 g/kg	(35)
Kanin og hamster	Hud	Ingen hudirritasjon	0,5 g	(35)
Kanin	Øye	Ingen øyeirritasjon	100 mg	(35)

Tabell 5.2 Oppsummering av toksikologiske verdier for rødt fosfor

6 VURDERING AV HELSEMESSIGE KONSEKVENSER

6.1 Eksponering

Opplysninger fra Forsvaret tilsier at personell ikke blir eksponert for røyk fra granater med hvitt fosfor ved skyteøvelser. Ved rydding av blindgjengere kan imidlertid personell komme i skade for å bli eksponert for hvitt fosfor.

6.2 Helsefare

Dersom personell ikke er eksponert for røyk fra hvitt fosfor, vil det ikke være noen helsefare knyttet til selve skyteøvelsen med røykkommunisjon som inneholder hvitt fosfor. Ved rydding av blindgjengere er det imidlertid viktig at personell blir informert om giftigheten til hvitt fosfor og at det benyttes egnet verneutstyr for å unngå eksponering. En samlet vurdering tilsier at det ikke er knyttet noen helsefare med Forsvarets bruk av røykkommunisjon med hvitt fosfor, under forutsetning at egnet verneutstyr benyttes ved rydding av blindgjengere og at annen eksponering unngås.

Det anbefales imidlertid at det foretas målinger av konsentrasjonen av hvitt fosfor og fosforsyre i røyk i forbindelse med sprengninger. Dette vil kunne danne grunnlaget for konsekvensvurderinger av en eventuell utilsiktet/uheldig eksponering av personell.

7 VURDERING AV MILJØMESSIGE KONSEKVENSER

7.1 Rester av hvitt fosfor i nedslagsområdet

Forsvarets forbruk av ammunisjon som inneholder hvitt fosfor er relativt lavt. Det er antatt et årlig forbruk på nærmere 15 tonn hvitt fosfor. Ved bruk av røykammunisjon som inneholder hvitt fosfor vil mesteparten forbrennes og gi fosforsyre.

Det finnes lite dokumentasjon på hvor mye hvitt fosfor som forblir ureagert fra granaten ved bruk, da dette vil være sterkt avhengig av hvilket miljø den brukes i. Med bakgrunn i undersøkelser fra USA er det rapportert om at det kan være opp mot 8 % som forblir ureagert etter sprengning av en granat (12). Etersom Forsvaret i den senere tid ikke har skutt røykgranater med hvitt fosfor i våtmarksområder eller på snødekte område (10), er det grunn til å tro at mengden hvitt fosfor som er blitt liggende ureagert i nedslagsområdet er minimal. Tidligere ble røykgranater med hvitt fosfor sannsynligvis også skutt inn i våtmarksområder i tillegg til at det ble skutt mot snødekte områder. I våtmarksområder kan det bli liggende rester av hvitt fosfor i sedimentene selv etter lang tid, mens rester i snø ofte vil kunne omdannes til fosforsyre når snøen smelter om våren.

Ureagert hvitt fosfor vil i hovedsak spre seg i nærheten av treffpunktet til granaten. Undersøkelser gjort av FFI (4), NIVA (18) og USA tyder på at mesteparten vil havne innenfor en avstand på 50 meter fra treffpunktet på granaten. Spredningen av røyken fra en granat er også vanskelig å fastsette ettersom den vil variere mye avhengig av vindhastigheten i området når skyteøvelsen pågår. Undersøkelsen gjort av NIVA (18) tyder på at et område på flere hundre meter i vindretningen vil påvirkes av nedfall fra røyken. I appendiks er det vist en bildesekvens fra sprengningen av en fosforgranat i forbindelse med undersøkelsene som FFI gjorde i 1988 (4).

Hovedårsaken til at hvitt fosfor forblir ureagert er at det kommer i vann eller vannmettede sedimenter eller i jord med liten evne til å transportere luft. Forsvaret har lokalisert sine nedslagsområder for røykammunisjon med hvitt fosfor til relativt tørre områder. Dette fører antagelig til at det vil være minimale mengder av hvitt fosfor som vil forbli ureagert etter en skyteøvelse. Ureagert hvitt fosfor vil kunne finnes i sedimentene til små dammer eller vannpytter i nedslagsområdet eller eventuelt et stykke ned i jorden der det er lite tilgang på luft i nærheten av treffpunktet for granaten. I undersøkelsen som FFI gjorde i 1988 ble det to måneder etter avfiring av røykgranaten kun funnet rester av hvitt fosfor i treffpunktet til granaten, der det hadde dannet seg en liten vannpytt. I en amerikansk undersøkelse ble det funnet noe hvitt fosfor i krateret ett år etter sprengningen, mens det to år etter ikke ble funnet rester av hvitt fosfor (36).

Det er rester av hvitt fosfor som i hovedsak vil utgjøre en trussel for andefugler og for organsimer som lever i et vandig miljø. Dersom en antar at 0,05 % (et valgt nivå mellom 0,0001 % og 8 % ut fra at nedslagsområdet er relativt tørt og at høy relativ luftfuktighet

medfører en høy omsetning av hvitt fosfor) hvitt fosfor forblir ureagert etter sprengning vil dette føre til at Forsvarets bruk av røykammunisjon med hvitt fosfor tilfører miljøet om lag 7,5 kg hvitt fosfor i løpet av et år. Denne mengden blir så fordelt i nedslagsområdene til de ulike skytefeltene nevnt i kapittel 2. Dersom vi videre antar at 30 % av den totale mengden kan bli deponert i et nedslagsområde i et skytefelt, vil det si at omkring 2,25 kg hvitt fosfor kan bli deponert i løpet av et år. Dersom dette fordeles jevnt i et nedslagsområde på 150 ganger 150 meter vil det årlig tilføres 100 mg hvitt fosfor per kvadratmeter. Det er lite trolig at det er en jevn fordeling av hvitt fosfor i nedslagsområdet, og det vil derfor i utsatte områder sannsynligvis kunne finnes betydelig høyere nivåer av hvitt fosfor. Vanligvis vil det i løpet av et år benyttes flere nedslagsområder for hvitt fosfor i et skytefelt. Dette, kombinert med den raske omsetningen av hvitt fosfor i luft, gjør det derfor lite sannsynlig at det vil kunne akkumuleres hvitt fosfor i nedslagsområdene.

En annen kilde til hvitt fosfor i nedslagsområdet er blindgjengere. Om granaten har havnet i et miljø med lite oksygen vil korrosjonen av granaten gå veldig langsomt. Når det er korrodert hull på granaten vil hvitt fosfor sakte løses i vann. Ettersom løseligheten av hvitt fosfor i vann er lav vil det ta lang tid før innholdet i en granat er løst opp og transportert bort med vannet. Hvitt fosfor i granater det er korrodert hull i eller granater som er slått i stykker ved anslag vil når den blir eksponert for luft reagere med oksygen og vanddamp i luften og danne fosforsyre. Når temperaturen om sommeren blir høy nok er det også mulig at fosforet selvantenner, noe som kan føre til branner.

7.2 Eksponering

7.2.1 Hvitt fosfor

Nedslagsområdene for fosforammunisjon i Norge er av en slik karakter at det ikke vil være større forekomster av andefugler i disse områdene. Andre fugler vil i liten grad kunne forveksle hvitt fosfor med mat, og vil derfor i liten grad kunne bli eksponert (7). Det er i liten grad kjent at andre dyr er blitt eksponert for hvitt fosfor fra røykammunisjon i skytefelt. På grunn av at hvitt fosfor raskt omdannes i fri luft vil det være lav sannsynlighet for at pattedyr blir eksponert i særlig grad.

Hvitt fosfor løser seg dårlig i vann, og vil derfor i liten grad transporteres ut i elver eller vassdrag. Hvitt fosfor som er løst i vann blir også relativt raskt brutt ned, noe som er med på å redusere spredningen av hvitt fosfor med vannmassene. Ut fra at Forsvaret velger sine nedslagsområder for fosforammunisjon til tørre områder vil de ikke inneholde større elver eller bekker. Det er derfor liten sannsynlighet for at fisk eller andre vannlevende organismer blir eksponert for konsentrasjoner av hvitt fosfor som kan føre til skade. I en vurdering gjort av det svenske Forsvaret er det konkludert med at det er liten risiko for langvarige negative effekter på plante- eller dyreliv som følge av blindgjengere med hvitt fosfor (37).

I felt der det benyttes hvitt fosfor må det påregnes enkelttilfeller av forgiftning eller skade på

organismer, men det lite sannsynlig at det vil forekomme skader av stort omfang eller av varig karakter.

7.2.2 Fosforsyre

Det vil dannes omkring 47 tonn med fosforsyre hvert år fra Forsvarets bruk av hvitt fosfor. Mesteparten av dette vil deponeres i nedslagsområdet ut fra de resultater som fremkom etter NIVA sine undersøkelser i 1994 (se Figur 4.1). Vi antar (som i kapittel 7.1) at 30 % av det totale forbruket av hvitt fosfor kan deponeres i nedslagsområdene til et skytefelt. Den årlige avsetningen av fosforsyre i nedslagsområdene i skytefeltet vil da være omkring 14 tonn, noe som tilsvarer omkring 4,5 tonn fosfor. Dersom denne mengden deponeres relativt jevnt i et nedslagsområde på 150 ganger 150 meter, vil det være en årlig tilførsel av totalt fosfor på omkring $0,2 \text{ kg/m}^2$. Vanligvis vil det i løpet av et år benyttes flere nedslagsområder for hvitt fosfor i et skytefelt, slik at belastningen av totalt fosfor vil være mindre enn $0,2 \text{ kg/m}^2$. I Norge er årlig deponering av langtransportert fosfor via nedbør på innsjøer anslått til $10\text{-}35 \text{ kg/km}^2$ (38). Tilførselen av fosfor fra fosforammunisjon kan derfor være opp mot 20000 ganger høyere enn det som tilføres naturlig fra atmosfæren i et nedslagsområde. Med utgangspunkt i en bindingskapasitet for fosfor i jord på 200 mg/kg vil denne tilførselen mette jorda med fosfor ned til ca 0,7 m. Selv om jorda har ganske stor evne til å binde fosfater vil det være sannsynlig at en del blir drenert ut til bekker eller elver. I Norge vil vanligvis fosfor være en begrensende faktor for plantevekst. Det er bare løst ortofosfat (PO_4^{3-}) som er tilgjengelig for opptak hos planter. I vanlig innsjøvann finnes oftest under 5 % av den totale fosformengden som løst ortofosfat. Som det fremgår av syrekonstantene (pKa) til fosforsyre (se kapittel 3.1) vil fosforsyre danne veldig lite ortofosfat ved de surhetsgrader (pH) som er i norske innsjøer. Det kan likevel ikke utelukkes at det tilføres tilstrekkelige mengder av ortofosfat til bekker, elver eller innsjøer i nærheten av et nedslagsområde til at dette medfører økt næringstilgang for planter og alger.

I verste fall kan den årlige tilførselen av fosforsyre være opp mot 14 tonn i et nedslagsområde. Om denne mengden fordeles jevnt ut i et nedslagsområde på 150 ganger 150 meter vil dette tilsvare en årlig tilførsel på $0,6 \text{ kg/m}^2$. Denne syren vil i hovedsak fortynnes av nedbør i området. Typisk nedbørmengde for fjellområder ligger rundt 400 mm per år (39), noe som betyr at 400 liter nedbør deponeres per kvadratmeter hvert år. Om hele mengden med fosforsyre løses i denne vannmengden blir konsentrasjonen $0,0015 \text{ kg/liter}$. Denne konsentrasjonene av fosforsyre i rent vann vil gi en pH rundt 2. I Norge er det svovel som bidrar mest til forsuring. Avsetningen av svovel i Norge er til sammenligning over 200 ganger lavere enn avsetningen av fosfor i et nedslagsområde. I vann med lav bufferkapasitet vil derfor tilførselen av fosforsyre bidra til en forsuring av vannet. Dette vil i hovedsak være aktuelt i nærheten av nedslagsområdet for fosforammunisjon. Ettersom denne forsuringen er lokal vil den sannsynligvis ikke ha betydning for organismer som lever i vassdrag i nærheten av nedslagsområdet. Forsuringen kan føre til at eventuelle metaller som er deponert i området og mineraler lettere korroderer og gir mobile forbindelser. For å redusere forsuringen er det en fordel om nedslagsområdene legges til kalkrike områder i skytefeltet. Nedslagsområdene kan også kalkes for å redusere forsuringen.

Dersom det i en periode er lite nedbør i et område der det har foregått omfattende bruk av ammunisjon med hvitt fosfor vil fosforsyren kunne medføre større skader som følge av høy konsentrasjon.

8 KONKLUSJON

Hvitt fosfor er meget giftig og eksponering av mennesker og dyr må unngås. Ved kontakt med luft vil hvitt fosfor forbrenne og gi lite giftige forbindelser. Derfor er risikoen for skader ved dagens bruk av fosforholdig ammunisjon lav dersom den benyttes på en måte som sikrer høy omdannelse av hvitt fosfor.

Hvitt fosfor som lander i fuktige miljø kan bli liggende lenge uforandret, og vil representere en risiko for mennesker og dyr.

Mengden tilført fosfor i et nedslagsområde fra røykammunisjon med hvitt fosfor er mye større enn tilførselen fra nedbør. Ettersom fosfor i Norge ofte er en begrensende faktor for plantevekst er det trolig at disse fosformengdene lokalt vil føre til en økt vekst for planter og alger.

Røyken som dannes fra fosforgranater består av ulike fosforsyrer som hovedsakelig vil deponeres i nedslagsområdet. Dette kan forårsake forsuring i områder der det forbrukes store mengder slik ammunisjon. Det er imidlertid lite trolig at dette kan ha noen vesentlig innvirkning på organismer som lever i vassdrag i nærheten av nedslagsområdet.

Deponeringen av fosforsyre i nedslagsområdet kan føre til en økt utlekking av eventuelle tungmetaller deponert i området og utløsning av tungmetaller fra mineraler.

Informasjonen om Forsvarets forbruk av ammunisjon som inneholder hvitt fosfor er mangelfull når det gjelder når og hvor forbruket har funnet sted. Videre er ikke spredningen av uforbrent hvitt fosfor i forbindelse med skyting tilstrekkelig studert. Dette forårsaker en viss usikkerhet omkring vurderingen av miljøkonsekvensene beskrevet i denne rapporten.

9 ANBEFALINGER

Forsvaret bør innarbeide rutiner for å registrere hvor det benyttes ammunisjon med hvitt fosfor, samt hvilke mengder som benyttes på de ulike lokaliteter. Denne overvåkingen bør danne grunnlaget for nærmere miljøundersøkelser i områder med utstrakt bruk.

Forsvaret har i dag ikke nedskrevne retningslinjer for hvordan nedslagsområdet til røykammunisjon med hvitt fosfor skal velges for at mest mulig hvitt fosfor blir forbrent. Forsvaret opplyser imidlertid at nedslagsområdene de siste årene er utvalgt med bakgrunn i at de ikke skal bestå av våtmarksområder eller snødekte områder. All skyteøving med ammunisjon

som inneholder hvitt fosfor utføres på en slik måte at personell ikke blir utsatt for røyk fra disse våpnene. Det anbefales at denne praksisen blir dokumentert og beskrevet i egnet dokument.

Det anbefales at det gjennomføres et forsøk med sprengning av fosforgranater for å studere hvilke størrelsesfraksjoner og mengder av fosfor som spres til ulike avstander fra detonasjonen. Dette er viktig å ha kjennskap til for å sikre at nedslagsområdene bli lagt tilstrekkelig langt fra våte områder. Det vil også være en viktig basis for vurderinger av potensialet for at hvitt fosfor blir liggende i naturen og hvor lenge det vil bli liggende.

APPENDIKS**A SPRENGNING AV EN 107 MM FOSFORGRANAT**



Alle foto er tatt av John Aa Tørnes, Forsvarets forskningsinstitutt.

Litteratur

- (1) Forsvarets logistikkorganisasjon/Ammunisjonskontroll (2002): Ammunisjonsbudsjett 2002/2003.
- (2) National Research Council (2000): Toxicity of Military Smokes and Obscurants, Volume 2, The National Academy Press, Washington DC, side18-44.
- (3) Diaz-Rivera RS, Collazo PJ, Pons ER, Torregrosa MV (1950): Acute phosphorus poisoning in man, A study of 56 cases, *Medicine*, **29**, 269-298.
- (4) Tørnes John Aa (1988): Bestemmelse av hvitt fosfor i prøver fra Forsvarets skytefelt på Dovre, FFI/Rapport-6009
- (5) Stewart WL (1930): A curious case of phosphorus poisoning in sheep, *Agric Jrl Min Agric (Great Britain)* **37**, 56-59.
- (6) Adams SH, Davies RO, Ashton WM (1942): Phosphorus poisoning, *Agric Jrl Min Agric (Great Britain)* **49**, 1, 61-63.
- (7) Nam S-I, Walsh MR, Collins CM, Thomas L (1999): Eagle river flats remediation project. Comprehensive bibliography - 1950 to 1998.
- (8) Jangaard PM (1972): Effects of elemental phosphorus on marine life. Circular no 2. Atlantic Regional Office, Research and Development, Fisheries Research Board of Canada, Halifax, Nova Scotia.
- (9) Finn Ola Helleberg (2002): Personlig meddelelse. 6 Divisjon INFBN2 STØKP, Skjold Leir
- (10) Morten Berntsen (2002): Personlig meddelelse. KAMPUKS SSFA, Rena Leir
- (11) Budavari S, O'Neil MJ, Smith A, Heckelman PE, Kinneary JF (1996): The Merck Index. An encyclopedia of chemicals, drugs, and biological. Twelfth edition, Merck Research Laboratories, Whitehouse Station, NJ, side1265.
- (12) Spangford RJ, Rewick R, Chou TS, Wilson R, Podoll RT, Parnas R, Platz R, Roberts D (1985): Environmental fate of white phosphorus/felt and red phosphorus/butyl rubber military screening smokes. US Army Medical Research and Development Command. Fort Detrick, Frederick, Maryland.
- (13) <http://karghia7.tripod.com/phosphor.htm>
- (14) Yon RL, Wentsel RS, Bane JM (1983): Programmic life cycle environmental assessment for smoke/obscurants. Vol 2. Red, white and plasticized white phosphorus. US Army Armament, Munitions and Chemical Command. Aberdeen Proving Ground. Maryland.
- (15) Davies N (1999): Red phosphorus for use in screening smoke compositions. Contract number NBSA5B/2701. Task No 8. Royal Military College of Science. Cranfield University. Shrivenham.
- (16) Berkowitz JB, Young GS, Anderson RC, Colela AJ, Lyman WJ, Preston AL, Streber WD, Thomas RG, Vranka RG (1981): Occupational and environmental hazards associated with

- the formation and use of white phosphorus-felt and red phosphorus - butyl rubber screening smokes. Final report. US Army Medical Research and Development Command, Ft Detrick, Maryland. 21701.
- (17) Ahrens CD (1994): *Meteorology today: an introduction to weather, climate and environment*. Fifth edition. West publishing company, St Paul, MN.
 - (18) Rognerud S, Løvik JL, Boye B, Tellefsen T (1994): Avsetninger av forurensninger på snø ved bruk av røykammunisjon og rakettartilleri (MLRS). NIVA-rapport 3150.
 - (19) Hærens stab (1969): Teknisk håndbok ammunisjon. Hefte 3. Bombekasterammunisjon. TH 9-1300.
 - (20) Walsh ME, Collins CM (1993): Distribution of white phosphorus residues from the detonation of 81-mm mortar WP smoke rounds at an upland site. Special report 93-18. US Army Corps of Engineers. Cold Regions Research & Engineering Laboratory. Hanover, New Hampshire.
 - (21) Lai M, Rosenblatt D (1977): Identification of transformation products of white phosphorus in water. DAMD17-77-C-7027. US Army Medical Research and Development Command, Ft Detrick, Maryland. ADA041068.
 - (22) Addison RF (1977): Analysis of elemental phosphorus and some of its compounds by gas chromatography. Proc. Int. Symp. Identification Measurement Environmental Pollutants. Ottawa, 14-17 juni 1977.
 - (23) Walsh RM, Walsh EM, Collins MC (1996): Persistence of white phosphorus (P₄) particles in salt marsh sediments, *Environmental Conservation* **15**, 6, 846-855.
 - (24) Sparling DW, Gustafson M, Klein P, Karouma-Renier N (1997): Toxicity of white phosphorus to waterfowl: Acute exposure in mallards, *J Wildlife Diseases* **33**, 2, 187-197.
 - (25) Vann SL, Sparling DW, Ottinger MA (2000): Effects of white phosphorus on mallard reproduction, *Environmental toxicology and chemistry* **19**, 10, 2525-2531.
 - (26) Wasti K, Abaidoo KJR, Villaume JE (1978): A literature review-problem definition studies on selected toxic chemicals. Vol 2. Occupational health and safety aspects of phosphorus smoke compounds. AD-A056019. US Army Armament, Munitions and Chemical Command, Aberdeen Proving Ground, Edgewood, Md.
 - (27) Nam S-I, Roebuck BD, Walsh ME (1994): Uptake and loss of white phosphorus in American kestrels, *Environmental toxicology and chemistry* **13**, 4, 637-641.
 - (28) American Conference of Governmental Industrial Hygienists (1989): *Phosphorus, I Documentation of the Threshold Limits Values and Biological Exposure Indices*, Fifth edition.
 - (29) Sparling DW, Vann S, Grove RA (1998): Blood changes in mallards exposed to white phosphorus, *Environmental toxicology and chemistry* **17**, 12, 2521-2529.
 - (30) Sparling DW, Day D, Klein P (1999): Acute toxicity and sublethal effects of white phosphorus in mute swans, *Cygnus olor*, *Archives of environmental contamination and toxicology* **36**, 316-322.

- (31) Nam S-I, MacMillan DL, Roebuck BD (1996): The translocation of white phosphorus from hen (*Gallus domesticus*) to egg, *Environmental toxicology and chemistry* **15**, 9, 1564-1569.
- (32) Maddock BG, Taylor D (1976): The acute toxicity of dissolved elemental phosphorus to cod (*Gadus morhua*), *Water Research* **10**, 289-294.
- (33) Chou TD, Lee TW, Chen SL, Tung YM, Dai NT, Chen SG, Lee SH, Chen TM, Wang HJ (2001): The management of white phosphorus burns, *Burns* **27**, 492-497.
- (34) Ballantyne B (1998): Acute inhalation toxicity of red phosphorus smoke, *Toxic substance mechanisms* **17**, 251-266.
- (35) National Research Council (1997): Toxicity of Military Smokes and Obscurants, Volume 1, The National Academy Press, Washington DC, side98-126.
- (36) Walsh ME (2002): Personlig meddelelse. Army Corps of Engineers. Cold Regions Research & Engineering Laboratory. Hanover, New Hampshire.
- (37) Berglind R, Henriksson C (2000): Kvarlämnad rökammunionn med vit fosfor (P4). Miljörisker ur ett långtidsperspektiv. Forsvarets forskningsanstalt, Avdelingen för NBC-skydd.
- (38) Økland J, Økland KA (1998): Vann og vassdrag 3. Kjemi, fysikk og miljø, Vett og Viten AS, Nesbru, Norge, 140-146.
- (39) Førland EJ (1993): Nedbørnormaler. Normalperiode 1961-1990. Rapport nr 39/93 Klima. Det norske meteorologiske institutt.

FORDELINGSLISTE

FFIBM
Dato: 7. februar 2003

RAPPORTTYPE (KRYSS AV) <input checked="" type="checkbox"/> RAPP <input type="checkbox"/> NOTAT <input type="checkbox"/> RR		RAPPORT NR. 2002/04042	REFERANSE FFIBM/813/138.2	RAPPORTENS DATO 7. februar 2003
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD UGRADERT		ANTALL EKS UTSTEDT 65	ANTALL SIDER 29	
RAPPORTENS TITTEL HELSE- OG MILJØMESSIGE KONSEKVENSER VED FORSVARETS BRUK AV RØYKAMMUNISJON MED HVITT FOSFOR		FORFATTER(E) JOHNSEN Arnt, LONGVA Kjetil Sager, RINGNES, Hege, STRØMSENG Arnljot		
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF Bjørn Arne Johnsen		FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF: Jan Ivar Botnan		

EKSTERN FORDELING

INTERN FORDELING

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
1		FO	9		FFI-Bibl
1		v/Kom kapt Jon Ole Siggerud	1		Adm direktør/stabssjef
1		v/Maj Eldar Elvebu	1		FFIE
1		FLO/Sjø	1		FFISYS
1		v/Avd ing Harald Juvik	10		FFIBM
1		FLO/Luft	1		FFIN
1		v/Maj Walter Blix	4		Forfattereksemplar
1		FLO/Land	5		Restopplag FFI-bibl
1		v/Oing Jan Harald Evensen			ELEKTRONISK FORDELING:
1		v/Maj Arnfinn Roseth			FFI-veven
1		v/Maj Per Johnny Pedersen			Jan Ivar Botnan (JIB)
1		Forsvarsbygg			Bjørn Arne Johnsen (BAJ)
1		v/Torgeir Mørch			Kjetil Sager Longva (KSL)
1		v/Harald Bjørnstad			Arnt Johnsen (Ajo)
1		v/Svein Sollie			Arnljot Einride Strømseng (Asg)
1		v/Are Vestli			Hege Ringnes (HRi)
1		v/Odd-Erik Martinsen			Helle Rosslund (HRo)
1		KAMPUKS			Marita Ljønes (MLj)
1		v/Maj Thor Bergerengen			Edgar Søbye (EdS)
1		v/Kapt Rune Kampesveen			John Aa Tørnes (JAT)
1		FO/HST			
1		6 Divisjon			
1		v/Kapt Øystein Løvli			
1		v/Kapt Ove Andreassen			
1		v/Kapt Roger Heiskel			
1		v/Kapt Petter Glorvigen			
1		Artilleribataljon Setermoen			
1		Infanteribataljon Skjold			
1		Hjerkinn skytefelt			
1		Setermoen skytefelt			
1		Porsanger skytefelt			
1		Mauken skytefelt			
1		Blåtind skytefelt			

FFI-K1

Retningslinjer for fordeling og forsendelse er gitt i Oraklet, Bind I, Bestemmelser om publikasjoner for Forsvarets forskningsinstitutt, pkt 2 og 5. Benytt ny side om nødvendig.