

# **FFI RAPPORT**

## **Spredning av hvitt fosfor ved detonasjon av røykgranater med hvitt fosfor. Sluttrapport**

SØBYE Edgar, JOHNSEN Arnt, LONGVA Kjetil Sager,  
STRØMSENG Arnljot, LJØNES Marita, ODDAN Asbjørn

**FFI/RAPPORT-2004/00177**



FFIBM/327801/138.2

Godkjent  
Kjeller 16. januar 2004

Bjørn Arne Johnsen  
Forskningsjef

**Spredning av hvitt fosfor ved detonasjon av  
røykgranater med hvitt fosfor. Sluttrapport**

SØBYE Edgar, JOHNSEN Arnt, LONGVA Kjetil Sager,  
STRØMSENG Arnljot, LJØNES Marita, ODDAN Asbjørn

FFI/RAPPORT-2004/00177

**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-2004/00177	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 71
1a) PROJECT REFERENCE FFIBM/327801/138.2	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE Spredning av hvitt fosfor ved detonasjon av røykgranater med hvitt fosfor. Sluttrapport  Distribution of white phosphorus from the detonation of white phosphorus smoke rounds. Final report		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) SØBYE Edgar, JOHNSEN Arnt, LONGVA Kjetil Sager, STRØMSENG Arnljot, LJØNES Marita, ODDAN Asbjørn		
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>Smoke rounds</u>	b) <u>Røykammunisjon</u>	
c) <u>Distribution</u>	c) <u>Spredning</u>	
d) <u>Detonation</u>	d) <u>Detonasjon</u>	
e) <u>Crater</u>	e) <u>Krater</u>	
THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT On assignment from Forsvarsbygg and Hærstaben, FFI has assessed the distribution of white phosphorus from the detonation of 155 mm and 81 mm smoke rounds.  White phosphorus is a highly toxic material that is noxious to all living organisms. White phosphorus reacts immediately to non-toxic compounds in contact with air, while in aquatic environments it can stay unreacted for several years.  Field tests were conducted to determine the spatial distribution of white phosphorus residues after the detonation of smoke rounds, by collecting burning particles of white phosphorus in trays filled with water. Most of the white phosphorus was deposited within a 20 meters radius from the point of detonation. No traces of white phosphorus were found further than 50 meters for 81 mm smoke rounds and 150 meters for 155 mm smoke rounds along the simulated shooting direction. Large amounts of white phosphorus will probably deposit in the crater at impact and possibly stay unreacted for a long period.  The environmental hazard concerning military use of white phosphorus smoke rounds are mainly connected to when detonation occurs close to water and when large amounts of white phosphorus deposits in detonation craters. Therefore wet detonation areas have to be avoided. Use of proximity fuse or time fuse will probably prevent crater formation and decrease white phosphorus depositing.		
9) DATE 16. January 2003	AUTHORIZED BY This page only Bjørn Arne Johnsen	POSITION Director of Research

ISBN-82-464-0791-0

**UNCLASSIFIED**

**SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE**  
 (when data entered)



**INNHOOLD**

	<b>Side</b>	
1	FORMÅL	7
2	BAKGRUNN	8
3	FELTUNDERSØKELSER	10
3.1	Foto/film	10
3.2	Oppsamling	10
3.2.1	Utsetting av plastkar og presenningsbasseng	11
3.3	Detonasjon av granater	13
3.4	Sikting/fraksjonering	14
3.5	Prøvetaking av jord	16
3.6	Luftprøvetaking	17
3.7	Logging av værdata på HFK-sletta	18
4	KJEMISK ANALYSE	19
5	RESULTATER	20
5.1	Detonasjon av 81 mm bombekastergranater	21
5.1.1	Plastkar – bombekasterdetonasjon	21
5.1.2	Presenningsbasseng – bombekasterdetonasjon	24
5.1.3	Plastfolie – bombekasterdetonasjon	25
5.1.4	Størrelse på oppsamlede hvitt fosfor partikler – bombekasterdetonasjon	26
5.1.5	Vurdering av spredning ut fra bildemateriale – bombekasterdetonasjon	27
5.1.6	Jordprøver – bombekasterdetonasjon	30
5.1.7	Luftprøver – bombekasterdetonasjon	31
5.1.8	Oppsummering av resultater – bombekasterdetonasjon	32
5.2	Detonasjon av 155 mm artillerigranater	33
5.2.1	Plastkar – artilleridetonasjon	34
5.2.2	Presenningsbasseng – artilleridetonasjon	37
5.2.3	Plastfolie – artilleridetonasjon	38
5.2.4	Størrelse på oppsamlede partikler av hvitt fosfor – artilleridetonasjon	39
5.2.5	Spredningsavstand – artilleridetonasjon	43
5.2.6	Jordprøver – artilleridetonasjon	46
5.2.7	Luftprøver – artilleridetonasjon	49
5.2.8	Oppsummering av resultater – artilleridetonasjon	50
5.3	Værdata for HFK-sletta	51
5.4	Eksempel på konsekvenser ved eventuell bom på målområdet	54
5.4.1	Detonasjon i og ved tjern	54
5.4.2	Detonasjon i og ved myrområde	55
5.4.3	Detonasjon i bekk/elv	56
	KONKLUSJON	58
	APPENDIKS	60
A.1	FFI-analyserapport	60
A.2	FOLAT-analyserapport	68
	LITTERATUR	71





## **Spredning av hvitt fosfor ved detonasjon av røykgranater med hvitt fosfor. Sluttrapport**

### **1 FORMÅL**

For å skaffe kunnskap om spredningen av hvitt fosfor fra røykgranater har Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) etter initiativ fra Østerdal garnison (Militær Plangruppe Regionfelt Østlandet) og på oppdrag fra Forsvarsbygg og Hærstaben, foretatt en feltundersøkelse på HFK-sletta i Hjerkinnskytefelt. Feltundersøkelsen hadde som formål å kartlegge hvor langt hvitt fosfor spredte seg og hvor stor mengde som ble spredt ved detonasjon av røykgranater med hvitt fosfor. Undersøkelsen er foretatt slik at det er mulig å komme med anbefalinger om hvordan røykgranater med hvitt fosfor skal benyttes for å minimalisere miljørisikoen.

## 2 BAKGRUNN

Forsvaret benytter i hovedsak to typer røykammunisjon som inneholder 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 for å skjerme egne styrker mot innsyn, blende og isolere motstander og markere spesielle mål. Infanteriet benytter en 81 mm granat med 0,71 kg hvitt og Artilleriet benyttet en 155 mm granat med 7,1 kg hvitt fosfor. Gjennomsnittlig forbruk av hvitt fosfor fra 1992 til 2002 er anslått å være 5700 kg per år (1).

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 (2). I fugler som er døde grunnet forgiftning med hvitt fosfor blir det funnet forandringer i nyrer, lever og milt (2).

Hovedproblemet med hvitt fosfor er om det kommer i et miljø med liten tilgang til oksygen. I slike miljø vil hvitt fosfor forbli uforandret over lang tid. Om biter av hvitt fosfor havner i vann, kan disse derfor bli liggende tilnærmet uforandret i flere år (3). Ofte vil biter av hvitt fosfor som havner i vann etter hvert bli liggende nede i sedimentene, noe som øker tiden disse blir liggende uforandret. Om dyr eller fugler spiser biter av hvitt fosfor som ligger i vann og sedimenter, vil dette kunne føre til død. Dette er blitt identifisert som et problem i et skytefelt som ligger i et våtmarksområde i Alaska, USA (4).

Forsvaret benytter nedslagsområder for granater med hvitt fosfor som hovedsakelig er tørre områder for å unngå at biter av hvitt fosfor skal havne i vandig miljø. Bruk av røykammunisjon med hvitt fosfor i tørre områder fører til at minimale mengder med ureagert hvitt fosfor blir liggende i naturen. Nye retningslinjer i Forsvaret angående bruk av røykgranater med hvitt fosfor, vedtatt av Forsvarsstaben november 2003, sier at:

- Ammunisjon med hvitt fosfor skal kun skytes mot noen få, nøye utvalgte målområder
- Forut for skyting skal området hvor det er aktuelt å tillate bruk av ammunisjon med hvitt fosfor rekognoseres
- Målområdet skal være tørt og uten snø, myr eller vannspeil
- All bruk av ammunisjon skal registreres, herunder mengde, tid og sted

Det er knyttet noe usikkerhet til spredningen til biter av hvitt fosfor rundt detonasjonspunktet til røykammunisjon med hvitt fosfor. Det er viktig å ha kjennskap til dette ved utvelgelse av nedslagsområder, slik at nedslagsområdet blir lagt tilstrekkelig langt fra våte områder. Det er også av interesse å ha kjennskap til partikkelstørrelsen av de ureagerte bitene av hvitt fosfor. Partikkelstørrelsen er avgjørende for hvor lenge bitene vil være i miljøet.

I teknisk håndbok for bombekasterammunisjon er det angitt at spredningen av hvitt fosfor fra en 107 mm bombekastergranat med 3,4 kg hvitt fosfor vil være 15-20 m (5). Tilsvarende data for artillerigranater med hvitt fosfor er ikke tilgjengelig. FFI gjorde en undersøkelse med samme type ammunisjon i 1988 for å se på spredning og oppholdstid i miljøet av hvitt fosfor (6). Her

ble det funnet kun små mengder av hvitt fosfor lenger ut enn 20 m fra nedslagspunktet, noe som stemmer godt med informasjonen i teknisk håndbok for bombekasterammunisjon.

I USA er det foretatt en lignende undersøkelse i 1993, der en 81 mm bombekastergranat med 0,725 kg hvitt fosfor ble avsatt på en slik måte at normalt nedslag ble simulert (7). Denne undersøkelsen viste at biter av hvitt fosfor i hovedsak havner innenfor en avstand på 10 m fra nedslagspunktet og at det er minimale mengder som havner utenfor 20 m. I denne undersøkelsen ble det også foretatt en analyse av partikkelstørrelsen til biter av hvitt fosfor. Disse undersøkelsene viste at mesteparten av bitene var under 1 mm. Resultater fra denne undersøkelsen stemmer derfor godt med undersøkelsen som FFI gjorde i 1988 og med beskrivelse i teknisk håndbok for bombekasterammunisjon.

I denne feltundersøkelsen ble det samlet opp nedfall av hvitt fosfor fra detonasjon av bombekaster- og artillerigranater med hvitt fosfor. Nedfallet ble fanget opp i kar fylt med vann, siktet i tre fraksjoner, ekstrahert i karbondisulfid og kvantifisert ved hjelp av gasskromatografi (GC). Spredningsavstander ble kartlagt ut fra målte verdier i vannkar, observasjoner av nedfall på bakken og vurdering av bildemateriale.

### 3 FELTUNDERSØKELSER

Feltundersøkelsen ble foretatt på opparbeidet område på HFK-sletta i Hjerkinnskytefelt i perioden 16-21 juni 2003.

Før igangsetting av feltundersøkelsen på Hjerkinnskytefelt ble det foretatt noen laboratorieundersøkelser for å avklare hvordan feltundersøkelsen skulle gjennomføres. Det ble også gjort filmopptak av nedslaget til røykgranater under skyteøvelse i Hjerkinnskytefelt for å få en viss innsikt i hvor langt fosforpartikler spredte seg og for å verifisere at detonasjonen ved skyting ikke var vesentlig forskjellig fra den som ble observert under feltundersøkelsen.

For å få informasjon om mengde og partikkelstørrelse på biter av hvitt fosfor som deponeres på bakken ved detonasjon, var det nødvendig å benytte kar fylt med vann som ville stoppe forbrenningen av hvitt fosfor. Den totale mengden hvitt fosfor i karene vil derfor gjenspeile hvor mye hvitt fosfor som vil treffe bakken i uforbrent tilstand. Med bakgrunn i disse tallene vil det være mulig å beregne mengden hvitt fosfor som havner i vandig miljø ved skyting i ulike områder. Om biter av hvitt fosfor havner på tørre områder vil de fortsette å brenne eller oksideres raskt, slik at de omdannes til ufarlige forbindelser.

#### 3.1 Foto/film

Det ble foretatt fotografering og filming av detonasjonen til både 81 mm bombekastergranater og 155 mm artillerigranater i forbindelse med skyting. Hensikten med dette var først og fremst å dokumentere at detonasjonene i feltforsøket var tilsvarende med det som ble observert ved skyting. Den 23 mai 2003 ble detonasjonen til 155 mm artillerigranater med 7,1 kg hvitt fosfor fotografert og filmet, mens det 3-4 juni 2003 ble gjort tilsvarende for 81 mm bombekastergranater med henholdsvis 0,71 kg og 1,885 kg hvitt fosfor. Resultatene fra dette arbeidet ble også benyttet til å avgjøre hvor langt ut oppsamlingskar skulle plasseres fra detonasjonspunktet.

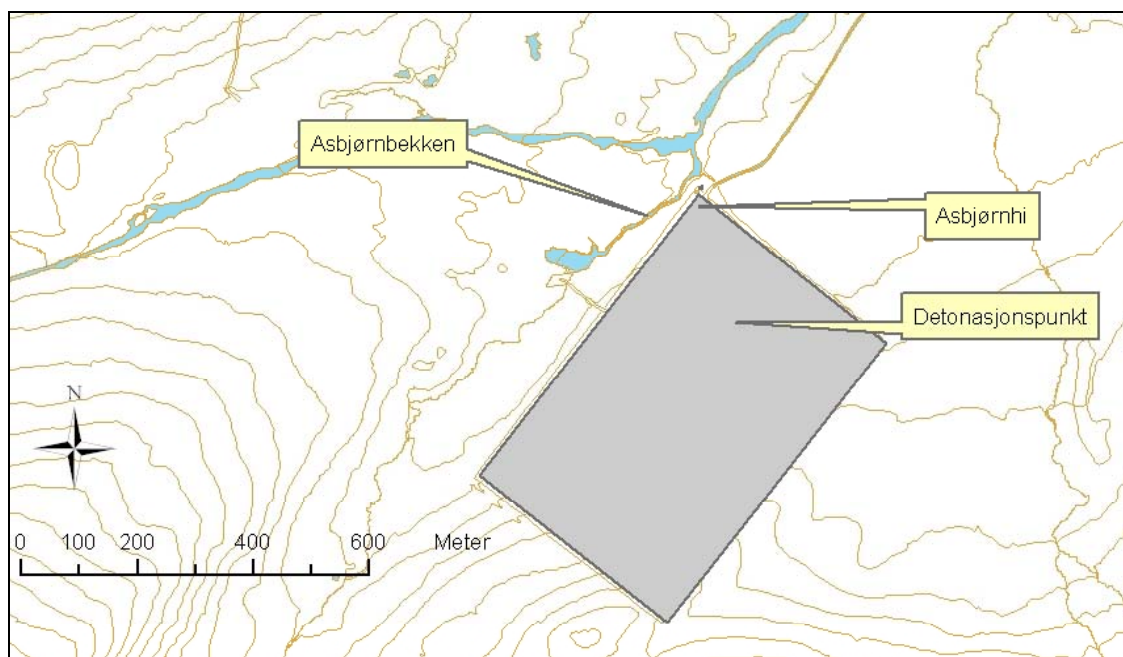
#### 3.2 Oppsamling

I forkant av feltundersøkelsen ble egnede kar for oppsamling av brennende biter med hvitt fosfor undersøkt. Det ble valgt et plastkar av typen Slugis levert av IKEA med en størrelse på 73 x 55 x 16 cm for oppsamling av biter med hvitt fosfor. Kriteriene for valg av kar var størrelse på karene, feltmessig håndterlighet og liten brennbarhet. Det ble også valgt ut egnet presenning for å lage større oppsamlingsbasseng for hvitt fosfor. Presenningen var av typen W47 hvit ( $450 \text{ g/m}^2$ ) med størrelse 4 x 5,5 m og ble levert av O.B.Wiik AS.

Hensikten med plastkarene var å samle opp nedfall av hvitt fosfor innen et område for å kartlegge spredningsmønsteret ved detonasjon av røykammunisjon med hvitt fosfor. En strategisk plassering av presseningsbassengene, i tillegg til at disse dekket et større areal, ville gjøre det mer sannsynlig å samle opp større og flere biter av hvitt fosfor.

### 3.2.1 Utsetting av plastkar og presenningsbasseng

Etter at detonasjonspunktet var fastsatt, ble de 102 plastkarene plassert ut. Området rundt detonasjonspunktet ble delt inn i fire sektorer. Hver sektor ble delt inn i fire avstandsområder, og det ble plassert seks kar i hver av disse (Figur 3.5). De seks plastkarene nærmest detonasjonspunktet i simulert skyteretning ble duplisert for å få ytterligere informasjon i dette området, hvor det kunne forventes større mengder nedfall av hvitt fosfor. Plastkarene ble fylt med 10-15 liter vann fra Asbjørnbekken ved Asbjørnhi (Figur 3.1). Det ble tilsatt en dråpe oppvaskmiddel for å bryte overflatespenningen på vannet, slik at fosforbiter ikke skulle bli liggende på vannoverflaten å brenne.



Figur 3.1 Kart som viser området rundt HFK-sletta i Hjerkinnskytefelt, samt lokalisering av detonasjonspunkt

I tillegg til de 102 plastkarene ble det laget seks presenningsbasseng i størrelse 4 x 5 meter (Figur 3.2). Disse bassengene bestod av en ramme av trebjelker, der presenningen ble festet på oversiden av rammen. Fire av disse bassengene ble plassert i simulert skyteretning og to ble plassert i motsatt retning. Avstanden fra detonasjonspunktet var i skyteretningen på henholdsvis 10 m, 20 m, 30 m og 40 m, og mot skyteretningen var avstanden 10 m og 20 m fra sentrum i bassengene. Presenningsbassengene ble fylt med vann fra Asbjørnbekken, slik at hele bunnen var dekket med vann. Også i disse karene ble det tilsatt noen dråper oppvaskmiddel for å bryte overflatespenningen.

Det ble også rullet ut en plastfolie (bredde 2 meter) 5 m fra detonasjonspunktet og ut til 60-80 m i hver sektor. I skyteretningen ble denne plastfolien rullet ut til 80 meter, mens den i de andre tre retningene ble rullet ut til 60 meter. Dette ble gjort for å kunne registrere nedfall av biter med hvitt fosfor på bakken ved å observere brennmerker på plastfolien. Utlegging av plastfolie er vist i Figur 3.3.



*Figur 3.2 Utformingen av presenningsbasseng med størrelse 4 x 5 m*

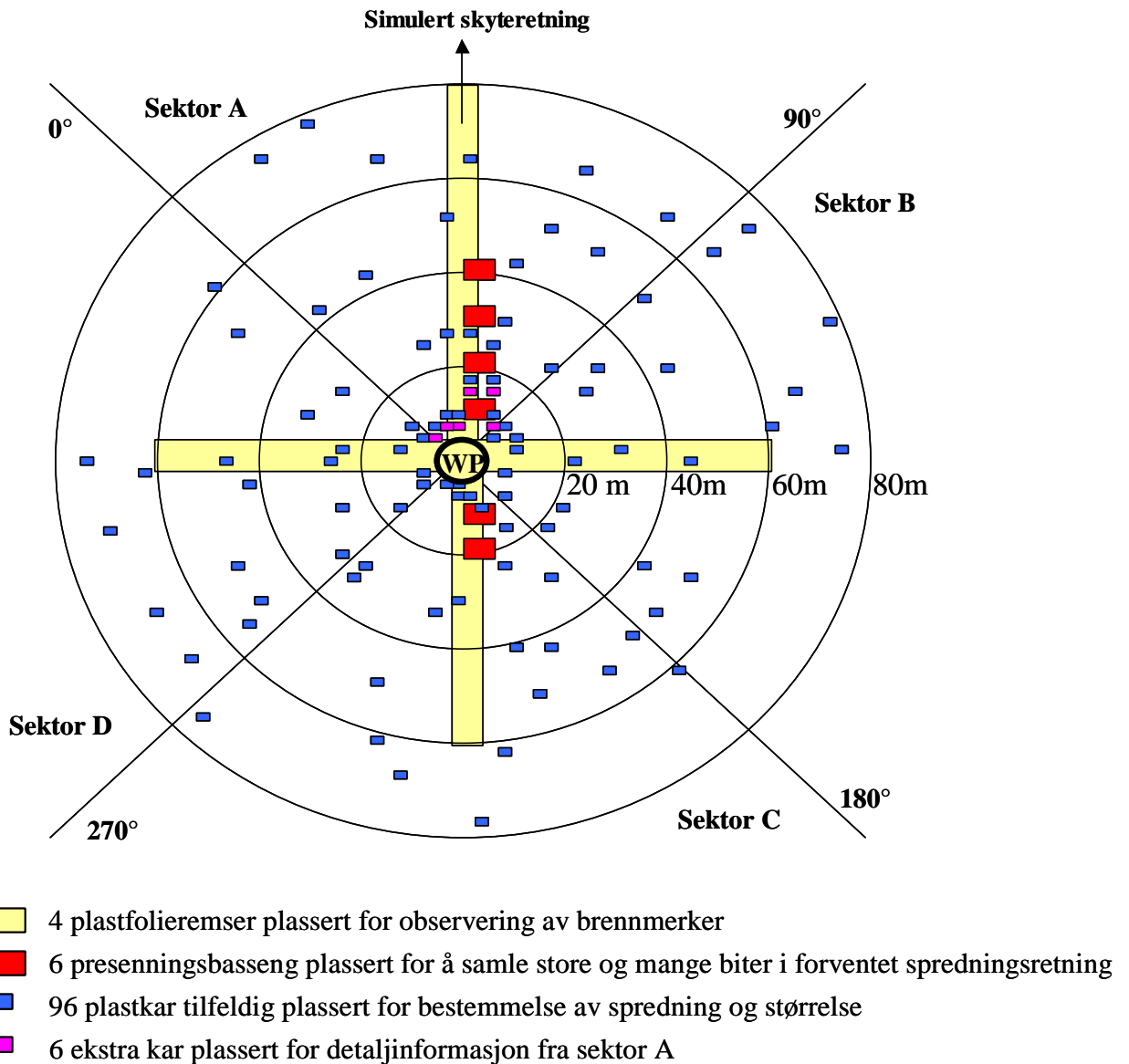


*Figur 3.3 Utlegging av plastfolie*

Figur 3.4 viser foto tatt fra helikopter med oversikt over hvordan plastkar, presenningsbasseng og plastfolie er utplassert i forsøksområdet, mens det i Figur 3.5 er vist en illustrasjon over fordelingen av plastkar i de ulike sektorene, plassering av presenningsbasseng og plastfolie.



*Figur 3.4 Bilde fra helikopter som viser hvordan plastkar, presenningsbasseng og plastfolie var utplassert i forsøksområdet*



Figur 3.5 Illustrasjon over fordelingen av plastkar, presenningsbasseng og plastfolie rundt detonasjonspunktet

### 3.3 Detonasjon av granater

Både 81 mm bombekastergranater med 0,71 kg hvitt fosfor og 155 mm artillerigranater med 7,1 kg hvitt fosfor ble plassert i valgt detonasjonspunkt på en slik måte at de gjenspeilet den vinkelen granatene ville ha hatt i nedslaget ved skyting. Plassering av både bombekastergranat og artillerigranat er vist i Figur 3.6. Bombekastergranatene som ble benyttet var av typen 81 mm G40/16 MK1 m/BRL 127A3 Røyk, WP Lot 05-BS-89 og artillerigranatene var av typen 155H WP Smoke Proj M110 E2 Lot AOY-560-38 G-72.

Detonasjon av tre bombekastergranater ble foretatt 18 juni. Tennsatsen i granatene var fjernet og detonasjon av granatene ble foretatt ved at litt sprengstoff ble plassert der tennsatsen hadde vært, før granatene ble avfyrt med elektrisk fenghette. Detonasjonspunktet for de tre granatene var forskyvet omkring en meter i forhold til hverandre. Etter første detonasjon ble det foretatt en inspeksjon av detonasjonsområdet for å se at de utplasserte plastkarene ikke ble nevneverdig skadet. Deretter ble de to andre bombekastergranatene detonert i rask rekkefølge. Detonasjon av tre artillerigranater ble foretatt 19 juni på samme måte som bombekastergranatene.



Figur 3.6 Plassering av bombekastergranat og artillerigranat i detonasjonspunktet før detonasjon

### 3.4 Sikting/fraksjonering

For å bestemme størrelsen på partiklene av hvitt fosfor, ble partiklene etter oppsamling i plastkarene siktet i følgende fraksjoner: 2 mm, 0,63 mm og 0,10 mm. Innholdet i karene ble helt over i siktene før siktene ble spylt med vann for å holde partiklene våte og for å få siktet innholdet i karene. Det er vist hvordan dette er gjort i Figur 3.7. Oppsamlet materiale i hver sikt ble overført til glassflasker som vist i Figur 3.8 og fylt fulle med vann.



Figur 3.7 Sikting av oppsamlet materiale i kar





Figur 3.8 Overføring av oppsamlet materiale i siktene til glassflasker som ble fylt med vann

Vann og partikler som gikk gjennom den minste sikten på 0,10 mm ble samlet opp i 100 liters plasttønner. Innholdet i disse tønnene ble pumpet gjennom et glassfiberfilter (293 mm i diameter) med nominell porestørrelse på 0,002 mm. Det ble benyttet en filtreringshastighet på 10-20 l/min. Glassfiberfiltret ble raskt tatt ut av filtreringsenheten og plassert i en glassflaske som ble fylt med vann. Gjennomføring av filtrering er vist i Figur 3.9.



Figur 3.9 Filtrering av restinnholdet som har gått gjennom sikten på 0,10 mm

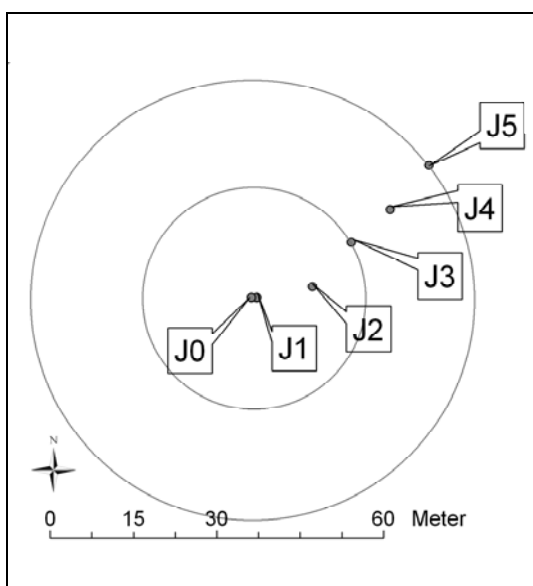
Vannet i presenningsbassengene ble dekantert forsiktig ut samtidig som partikler ble spylt og samlet i en ende av karet. Da det var omkring 100 liter vann igjen ble det resterende innholdet helt gjennom de samme siktene som ble benyttet ved sikting av innholdet i plastkarene. Innholdet i siktene ble overført til glassflasker som ble fylt fulle med vann. Figur 3.10 viser hvordan dette ble utført. Det ble ikke tatt prøve av fraksjonen som gikk gjennom 0,10 mm sikten fra presenningsbassengene.



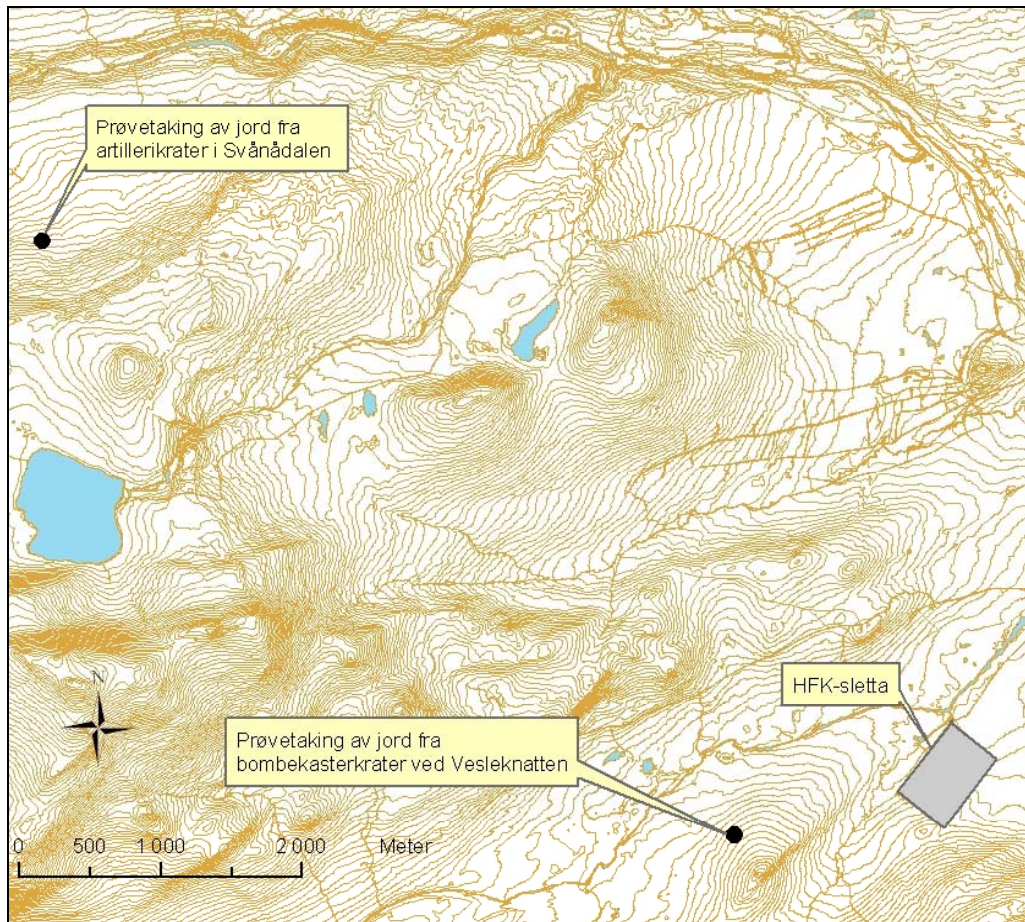
Figur 3.10 Sikting av innholdet i presenningsbassengene

### 3.5 Prøvetaking av jord

For å studere nedbrytningen av hvitt fosfor som hadde falt ned på bakken, ble det tatt noen jordprøver på forhåndspreparerte områder (store steiner ble fjernet). Prøvene ble tatt i ulik avstand fra detonasjonspunktet etter at detonasjonen av både bombekastergranater og artillerigranater var avsluttet. Jordprøvene ble tatt ved siden av presenningsbassengene i skyteretningen og i ett utvalgt detonasjonskrater, og det ble tatt oppfølgende jordprøver både 21 juli og 18 august 2003. I tillegg ble det tatt noen prøver av jord i krater fra bombekastergranater etter skyting 3-4 juni 2003 og i krater fra artillerigranater etter skyting 26 august 2003. Lokaliseringen av prøvepunkter for jordprøver på HFK-sletta er vist i Figur 3.11, mens det i Figur 3.12 er vist hvor det ble tatt jordprøver i nedslagsområdet fra skyting 3-4 juni og 26 august 2003.



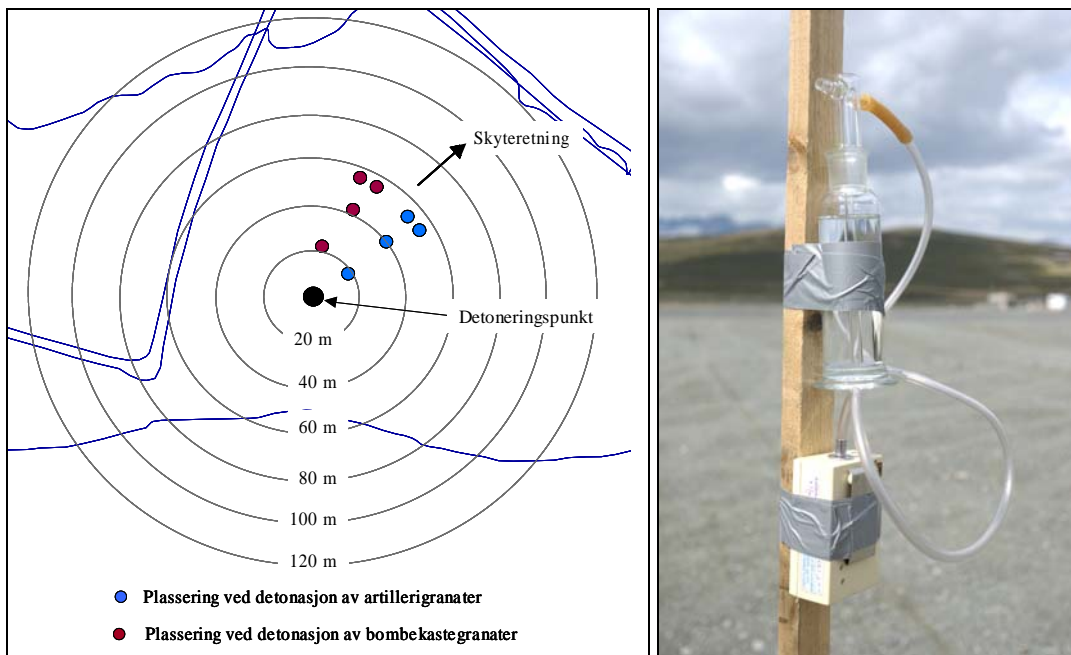
Figur 3.11 Lokalisering av prøvepunkter der det ble tatt jordprøver på HFK-sletta. J0 er detonasjonspunktet til granatene



Figur 3.12 Lokalisering av områdene der jordprøver ble tatt i krater fra skyting med bombekaster og artilleri

### 3.6 Luftprøvetaking

For å vurdere helserisiko forbundet med innånding av røyk fra hvitt fosfor granater, ble det utplassert luftprøvetakere i vindretningen fra detonasjonspunktet. Dette var gassvaskeflasker fylt med vann som var koblet til en luftpumpe som pumpet luft ned i gassvaskeflasken med en hastighet på 2 l/min. Luftprøvetakerne var plassert på en trestokk ca 1,7 m over bakken. Det ble utplassert 4 luftprøvetakere i ulik avstand og retning fra detonasjonspunktet. Figur 3.13 viser bilde av luftprøvetakerne og plassering i forhold til detonasjonspunktet ved detonasjon av bombekastergranater og artillerigranater.



Figur 3.13 Bilde og plassering av luftprøvetakere ved detonasjon av bombekastergranater og artillerigranater

### 3.7 Logging av værdata på HFK-sletta

I forbindelse med undersøkelsene ble det i perioden 18 juni til 30 september 2003 foretatt registreringer av meteorologiske data. Det ble registrert verdier for temperatur, luftfuktighet, vind, nedbør og solinnstråling. Sensorer var plassert i en mast over bunkeren Asbjørnhi på HFK-sletta. Måleverdier fra sensorene ble digitalisert og mellomlagret i en datalogger før de ble overført til PC. En oversikt over sensortype, fabrikk, plasseringshøyde og nøyaktighet er gitt i Tabell 3.1. Data for nøyaktighet inkluderer usikkerheter i dataloggeren. Angitte høyder er referert til bakkenivå ved bunkeren.

Sensor	Fabrikk/type	Nøyaktighet	Høyde
Lufttemperatur	Vaisala, HMP35D	$\pm 0.35^{\circ}\text{C}$	5.8 m
Luftfuktighet	Vaisala, HMP35D	$\pm 3\%\text{RH}$	5.8 m
Nedbør	Aanderaa, 3064	--	5.7 m
Solinnstråling	Kipp&Zonen, SP Lite	$\pm 10\%$	6.1 m
Vindstyrke	Gill, 2 axis ultrasonic	$\pm 5\%\text{rms}$	6.9 m
Vindretning	Gill, 2 axis ultrasonic	$\pm 4^{\circ}$	6.9 m
Datalogger	Agilent 34970A med modulene 34901A og 34907A		

Tabell 3.1 Beskrivelse av værdata logger

#### 4 KJEMISK ANALYSE

Alle prøvene samlet inn under feltundersøkelsen i Hjerkinnskytefelt er analysert for innhold av hvitt fosfor ved laboratoriet på FFI i juli/august 2003. Noen prøver er sendt til Forsvarets laboratorietjeneste (FOLAT) for analyse av totalfosfor.

Analyse av alle fraksjoner fra siktingen er analysert ved at prøven er overført til en skilletrakt og ristet ved 200 rpm i 10 minutter med 20 ml karbondisulfid. Fasen med karbondisulfid er så tatt ut og tørket med natriumsulfat. Det ble deretter foretatt en gasskromatografisk analyse med nitrogen/fosfor detektor av denne fasen.

Prøvene med glassfiberfilter ble overført til en 250 ml sentrifugeflasker av teflon og ristet i 10 minutter ved 200 rpm med 20 ml karbondisulfid. Deretter ble prøven filtrert gjennom et papirfilter for å skille filtermassen fra fasen med karbondisulfid. Vannfasen ble fjernet og fasen med karbondisulfid ble tørket med natriumsulfat. Det ble deretter foretatt en gasskromatografisk analyse med nitrogen/fosfor detektor av denne fasen.

Jordprøver er overført til en 250 ml sentrifugeflasker av teflon og ristet i 10 minutter ved 200 rpm med 20 ml karbondisulfid. Deretter ble prøven sentrifugert ved 1700 rpm i 5 minutter og fasen med karbondisulfid ble tatt ut. Vannfasen ble fjernet og fasen med karbondisulfid ble tørket med natriumsulfat. Deretter ble jordprøven tørket ved 105°C i to døgn og tørrvekten ble registrert.

Analysemetodene som er beskrevet gir en deteksjonsgrense ned mot 0,05 µg/prøve.

## 5 RESULTATER

Med bakgrunn i fotografier fra detonasjon av både bombekastergranater og artillerigranater ved skyting og fra detonasjon i feltundersøkelsene ser det ut til spredningen av hvitt fosfor er omtrent den samme i feltundersøkelsen som ved skyting. Spredningen i feltforsøkene på HFK-sletta gir noe mer utkast bakover enn det som er tilfellet ved skyting, men fragmentering og omfang av spredning ser ut til å være tilsvarende ( Figur 5.1 og Figur 5.2).



*Figur 5.1 Sammenligning av detonasjon av bombekastergranat ved skyting (til venstre) og i feltforsøk på HFK-sletta (til høyre)*



*Figur 5.2 Sammenligning av detonasjon av artillerigranat ved skyting (til venstre) og i feltforsøk på HFK-sletta (til høyre)*

## 5.1 Detonasjon av 81 mm bombekastergranater

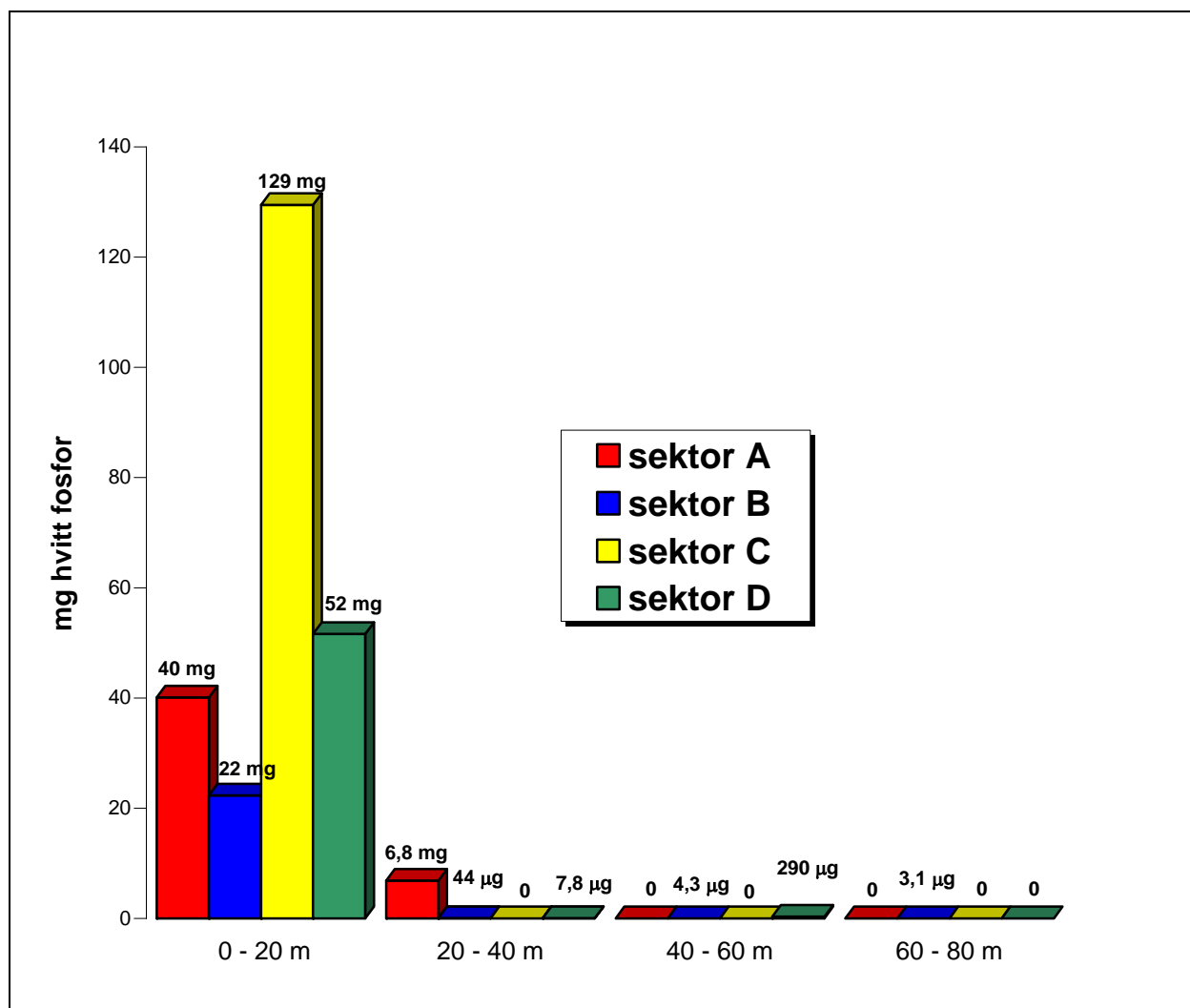
Figur 5.3 viser omfanget av spredningen til hvitt fosfor ved detonasjon av en 81 mm bombekastergranat med 0,71 kg hvitt fosfor.



*Figur 5.3 Detonasjon av bombekastergranat i feltforsøk på HFK-sletta. Foto tatt fra helikopter et halvt sekund etter detonasjon (øverst). Foto tatt fra Edvinbu et halvt sekund og to sekunder etter detonasjon (midten og nederst)*

### 5.1.1 Plastkar – bombekasterdetonasjon

Figur 5.4 viser målt mengde hvitt fosfor som ble fanget opp i de 96 plastkarene som var tilfeldig plassert i de ulike sektorene etter detonasjon av tre bombekastergranater. Oppsamlingsareal for hvert kar er  $0,4 \text{ m}^2$ . Målt mengde hvitt fosfor i de ulike avstandsområdene i hver sektor (6 kar for hvert avstandsområde) multiplisert med arealet av avstandsområdet indikerer at 92 % av den totale mengden av hvitt fosfor havnet innenfor 20 m fra detonasjonspunktet og at bare 0,6 % av den totale mengden hvitt fosfor ble spredt lengre enn 40 m (Tabell 5.1).



Figur 5.4 Målt mengde hvitt fosfor i plastkarene i sektor A, B, C og D

Avstandsområde	Målt mengde hvitt fosfor ( $\mu\text{g}$ )	Areal ( $\text{m}^2$ )	Andel hvitt fosfor (%)
0-20 m	243 000	1257	91,6
20-40 m	6 890	3770	7,8
40-60 m	292	6283	0,6
60-80 m	3,1	8796	0

Tabell 5.1 Fordelingen av hvitt fosfor i plastkarene ut fra avstand fra detonasjonspunkt (basert på målt mengde hvitt fosfor multiplisert med arealet til avstandsområdene)

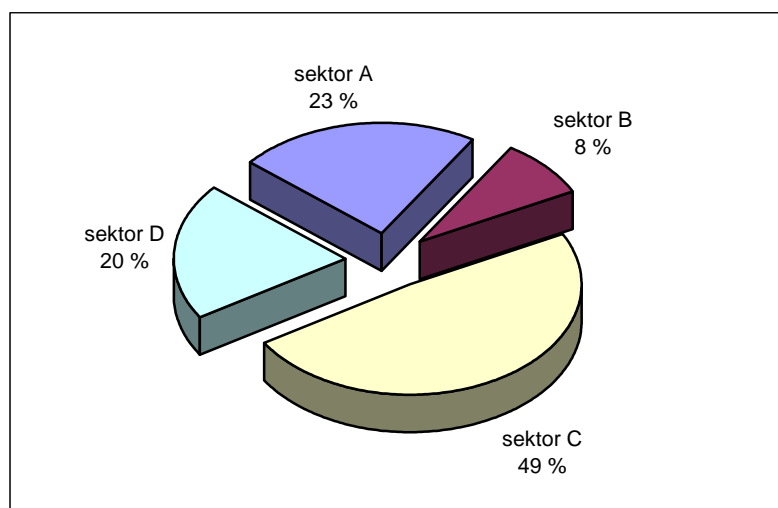
Av de seks karene i sektor A i avstandsområde 0-20 m (kar A1–A6) ble mesteparten av nedfallet av hvitt fosfor funnet i karene som var mindre enn 10 meter fra detonasjonspunktet. Her var overflatekonsentrasjonen opp mot 30 mg hvitt fosfor per  $\text{m}^2$ , mens det i karene på 15-20 m ble målt en overflatekonsentrasjon på opp mot 6 mg per  $\text{m}^2$  (Tabell 5.2).



<i>Kar</i>	<i>Avstand fra detonasjonspunkt (m)</i>	<i>Overflatekonsentrasjon (mg/m<sup>2</sup>)</i>
A1	3,0	29
A2	3,3	5
A3	3,3	29
A6	7,3	26
A5	15,9	6
A4	17,4	5
	<i>Gjennomsnittsavstand fra detonasjonspunkt (m)</i>	<i>Gjennomsnittlig overflatekonsentrasjon (mg/m<sup>2</sup>)</i>
Alle sektorer 0 – 20 m	8,5	25
Alle sektorer 20 – 40 m	27	0,7

Tabell 5.2 *Overflatekonsentrasjonen av hvitt fosfor ut fra avstand fra detonasjonspunktet*

Målingene av hvitt fosfor i plastkarene viser at til sammen 72 % av den totale mengden hvitt fosfor ble funnet igjen i sektor A og C, dvs langs simulert skyteretning, hvor av 49 % ble funnet i sektor C (Figur 5.5). Avstandsområdet 0-20 m i sektor C (kar C1-C6) har imidlertid lavest gjennomsnittsavstand fra karene til detonasjonspunktet med 6,8 m. Gjennomsnittsavstanden i sektor A, B og D er henholdsvis 8,4 m 10,6 m og 8,1 m. Det vil derfor være sannsynlig at mengden hvitt fosfor er unaturlig høy i sektor C.



Figur 5.5 *Fordelingen av hvitt fosfor i hele sektor A, B, C og D basert på resultater fra plastkarene*

På bakgrunn av målt mengde hvitt fosfor i de 96 tilfeldig plasserte plastkarene, er den gjennomsnittlige mengden av hvitt fosfor på overflaten i avstandsområdet 0-20 m beregnet til 25 mg/m<sup>2</sup> (Tabell 5.2). Tilsvarende for avstandsområdet 20-40 m er det beregnet en gjennomsnittlig overflatekonsentrasjon av hvitt fosfor på 0,7 mg/m<sup>2</sup>.

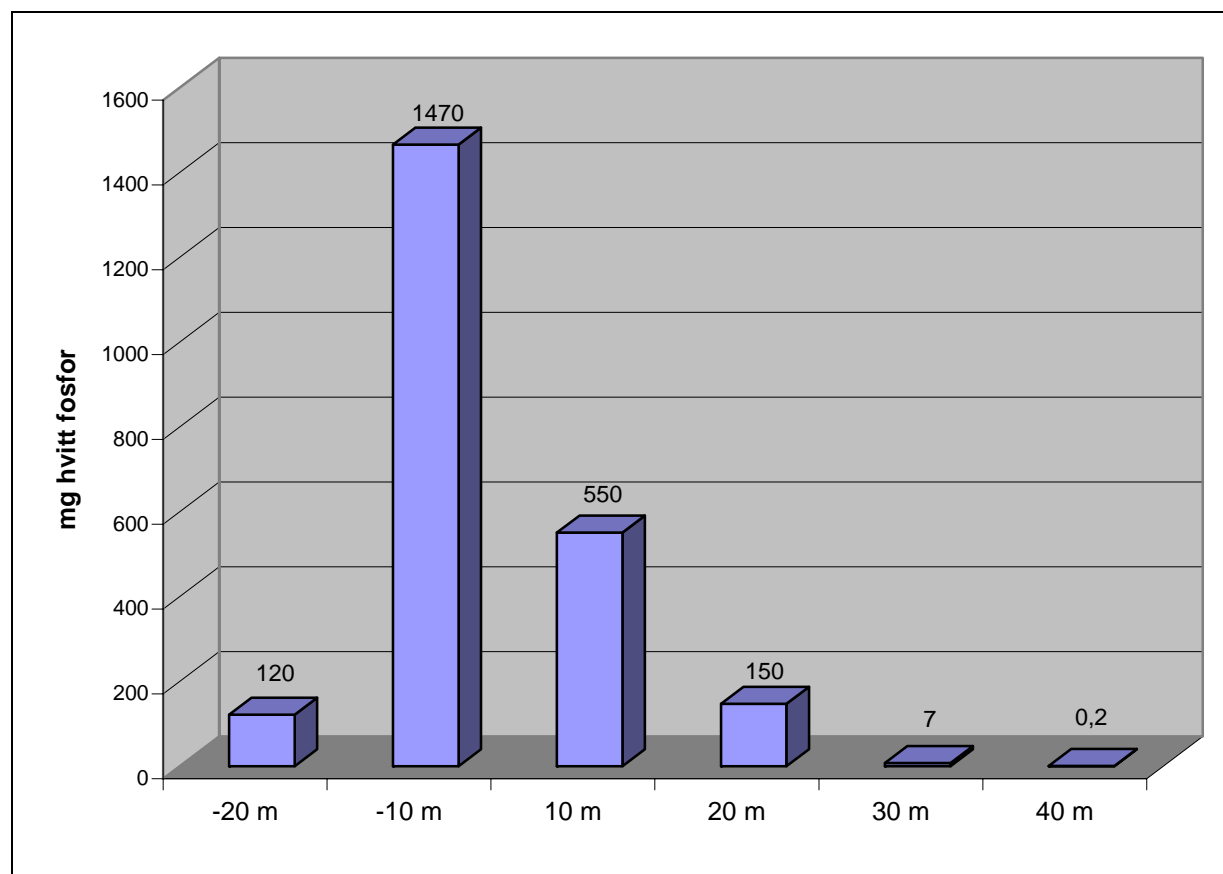
Etter detonasjon av tre bombekastergranater som til sammen inneholdt 2,1 kg hvitt fosfor, er det beregnet at det totale nedfallet av hvitt fosfor ut til en radius på 80 m vil være omkring 35 g. Dette tilsvarer 1,6 % av det totale innholdet av hvitt fosfor i granatene, og det kan være en

indikasjon på hvor mye ureagert hvitt fosfor som i verste fall kan bli liggende igjen rundt et ugunstig detonasjonssted. I tillegg observeres det hvitt fosfor i detonasjonskratre, og dette vil øke prosentandelen for hva som kan bli liggende igjen i ugunstige nedslagsområder. Dette er nærmere omtalt i kapittel 5.1.6.

### 5.1.2 Presenningsbasseng – bombekasterdetonasjon

På grunn av bevisst plassering lå presenningsbassengene i områder med stor sannsynlighet for høye verdier av hvitt fosfor. Figur 5.6 viser mengden hvitt fosfor oppsamlet i de seks presenningsbassengene på 20 m<sup>2</sup> som var plassert i forventet spredningsretning.

Ut fra mengden oppsamlet hvitt fosfor i presenningsbassengene og arealet av disse er det beregnet en gjennomsnittlig overflatekonsentrasjon ved 10, 20, 30 og 40 m fra detonasjonspunktet. Disse resultatene er vist i Tabell 5.3. Overflatekonsentrasjonen av hvitt fosfor avtar kraftig med avstanden fra detonasjonspunktet og den høyeste konsentrasjonen på 73 mg hvitt fosfor per m<sup>2</sup> ble registrert 10 m fra detonasjonspunktet.



Figur 5.6 Mengde hvitt fosfor i presenningsbasseng etter detonasjon av bombekastergranater

<i>Avstand fra detonasjonspunkt</i>	<i>Mengde hvitt fosfor (mg/m<sup>2</sup>)</i>
20 m - retning sektor C	6
10 m - retning sektor C	73
10 m - retning sektor A	28
20 m - retning sektor A	7
30 m - retning sektor A	0,4
40 m - retning sektor A	0,01

*Tabell 5.3 Mengde hvitt fosfor per kvadratmeter i ulik avstand og retning fra detonasjonspunktet beregnet ut fra målt mengde hvitt fosfor i presenningsbasseng*

### 5.1.3 Plastfolie – bombekasterdetonasjon

Tabell 5.4 viser antall brennmerker som ble observert fra 7 - 80 m ut fra detonasjonspunktet. Brennmerkene er beskrevet ut fra merkenes diameter og delt inn i kategorier større enn 5 cm, mellom 5 og 1 cm og mindre enn 1 cm. I tillegg er ytterste brennmerke registrert for å vise hvor stor spredningen er i hver sektor. Det observeres brennmerker i sektor A, B og D ut til 20-27 m fra detonasjonspunktet. I sektor C som tilsvarer mot skyteretningen observeres det brennmerker kun ut til 11 m. Dette kan tyde på at bombekastergranater med hvitt fosfor gir jevn spredning i og ut til sidene for skyteretningen, mens spredningen av hvitt fosfor mot skyteretningen er kortere.

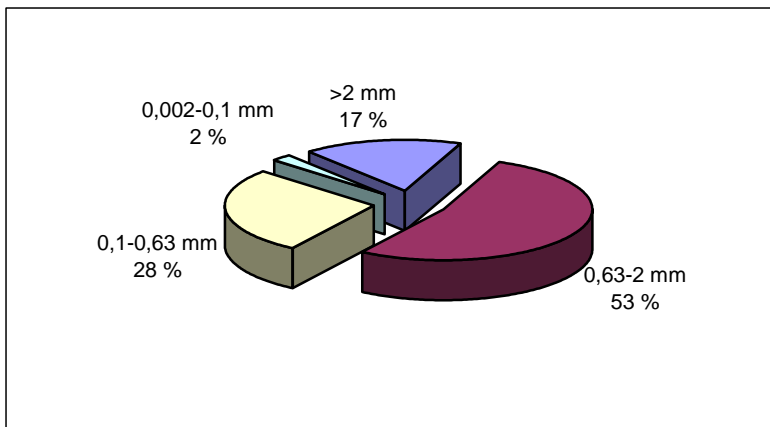
Avstand	<i>Sektor A</i>				<i>Sektor B</i>			
	>5cm	5-1cm	<1cm	Sum	>5cm	5-1cm	<1cm	Sum
7 – 10 m	-	1	2	3	11	9	22	42
10 – 20 m	1	13	13	27	8	11	27	46
20 – 30 m	-	2	1	3	-	-	-	-
Sum 7-80 m	1	16	16	33	19	20	49	88
Ytterste brennmerke	23 m				20 m			

Avstand	<i>Sektor C</i>				<i>Sektor D</i>			
	>5cm	5-1cm	<1cm	Sum	>5cm	5-1cm	<1cm	Sum
7 – 10 m	12	11	2	25	6	33	8	47
10 – 20 m	1	1	-	2	5	31	11	47
20 – 30 m	-	-	-	-	1	2	11	14
Sum 7-80 m	13	12	2	27	12	66	30	108
Ytterste brennmerke	11 m				27 m			

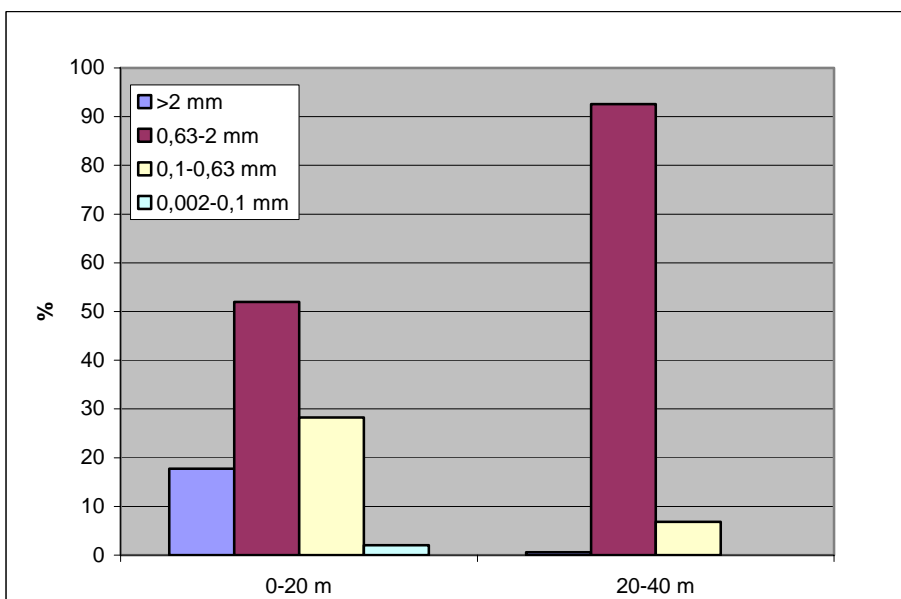
*Tabell 5.4 Antall brennmerker på plastfolien i sektor A, B, C og D*

### 5.1.4 Størrelse på oppsamlede hvitt fosfor partikler – bombekasterdetonasjon

En gjennomsnittlig størrelsesfordeling av hvitt fosfor partikler fra de 102 plastkarene vises i Figur 5.7. Figuren viser andelen av hver siktefraksjon, og den er basert på den totale mengde hvitt fosfor fra 0-80 m i alle sektorene. Filterfraksjonen på 0,002-0,1 mm utgjør kun 2 % av den totale fosformengden, mens det er 53 % hvitt fosfor i fraksjonen på 0,63-2 mm. Når størrelsesfordelingen ved 0-20 m og 20-40 m undersøkes, så ser man at fraksjonen på 0,63-2 mm dominerer i begge tilfeller. Men andelen av denne fraksjonen øker med økende avstand fra detonasjonspunktet, samtidig med at de andre fraksjonene reduseres (Figur 5.8). Dette kan komme av at de større bitene av hvitt fosfor fragmenterer i luften og forbrenner, slik at et større antall mindre biter havner på bakken, når avstanden fra detonasjonspunktet øker (omtalt i kapittel 5.2.4). Mindre biter av hvitt fosfor vil sannsynligvis i større grad rekke å brenne opp når avstanden fra detonasjonspunktet øker. Det er også observert i laboratorieforsøk at når brennende biter av hvitt fosfor treffer en vannoverflate, vil de ofte dele seg i flere små biter.

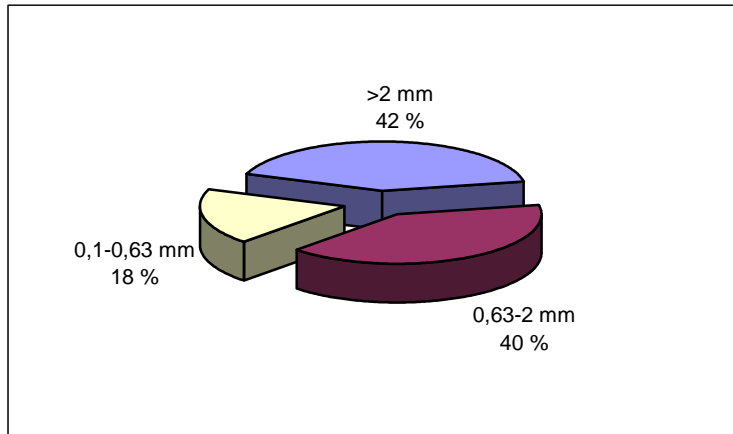


Figur 5.7 Mengde hvitt fosfor i ulike størrelsesfraksjoner – plastkar

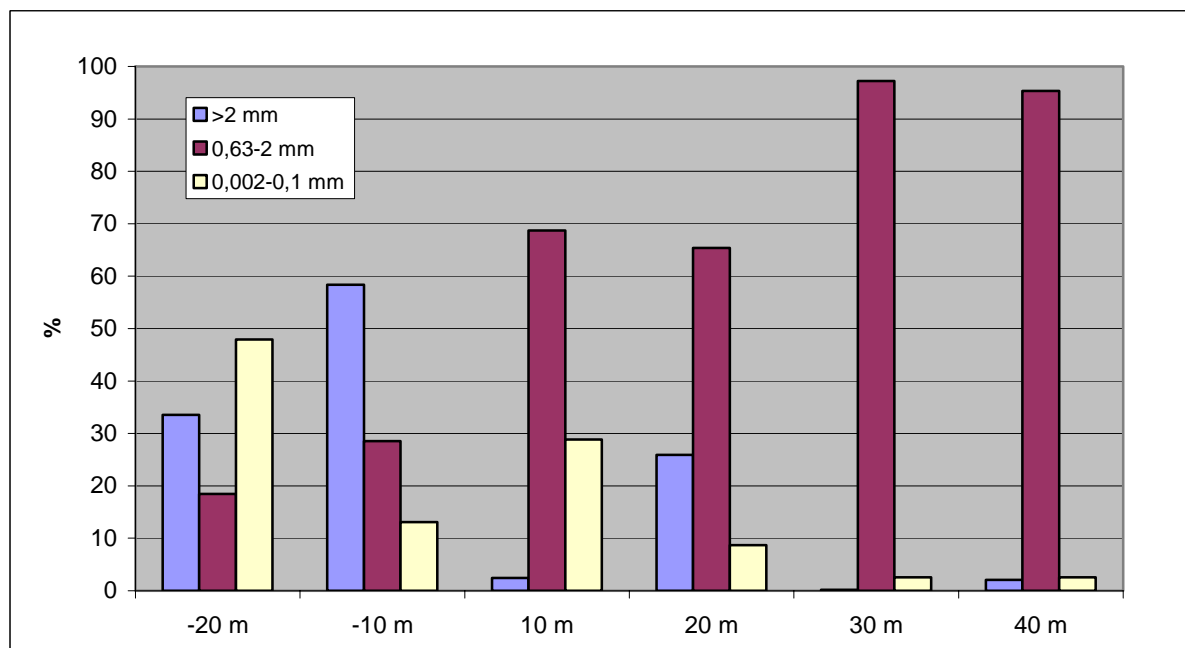


Figur 5.8 Størrelsesfordeling av hvitt fosfor partikler som funksjon av avstand fra detonasjonspunkt – plastkar

Størrelsesfordelingen av hvitt fosfor partikler fra de seks presenningsbassengene er vist i Figur 5.9. Siktefraksjonen på 0,63-2 mm og >2 mm utgjør til sammen i overkant av 80 %. Figur 5.10 beskriver størrelsesfordelingen av hvitt fosfor partikler ved forskjellig avstand fra detonasjonspunktet. Tilsvarende med det som ble registrert i plastkarene, observeres det også her en økende andel av hvitt fosfor i fraksjonen på 0,63-2 mm med økende avstand fra detonasjonspunktet. Denne fraksjonen dominerer fullstendig ved 30 m og 40 m.



Figur 5.9 Mengde hvitt fosfor i ulike størrelsesfraksjoner - presenningsbasseng



Figur 5.10 Størrelsesfordeling av hvitt fosfor partikler som funksjon av avstand fra detonasjonspunkt - presenningsbasseng

### 5.1.5 Vurdering av spredning ut fra bildemateriale – bombekasterdetonasjon

Ut fra både video og fotografier er det mulig å se hvordan store partikler med hvitt fosfor spres ut fra detonasjonspunktet, enten som glødende partikler eller som hvite røykspor i luften. Med bakgrunn i dette er det foretatt en analyse av bildematerialet for å anslå hvordan store partikler med hvitt fosfor spres fra detonasjonspunktet.

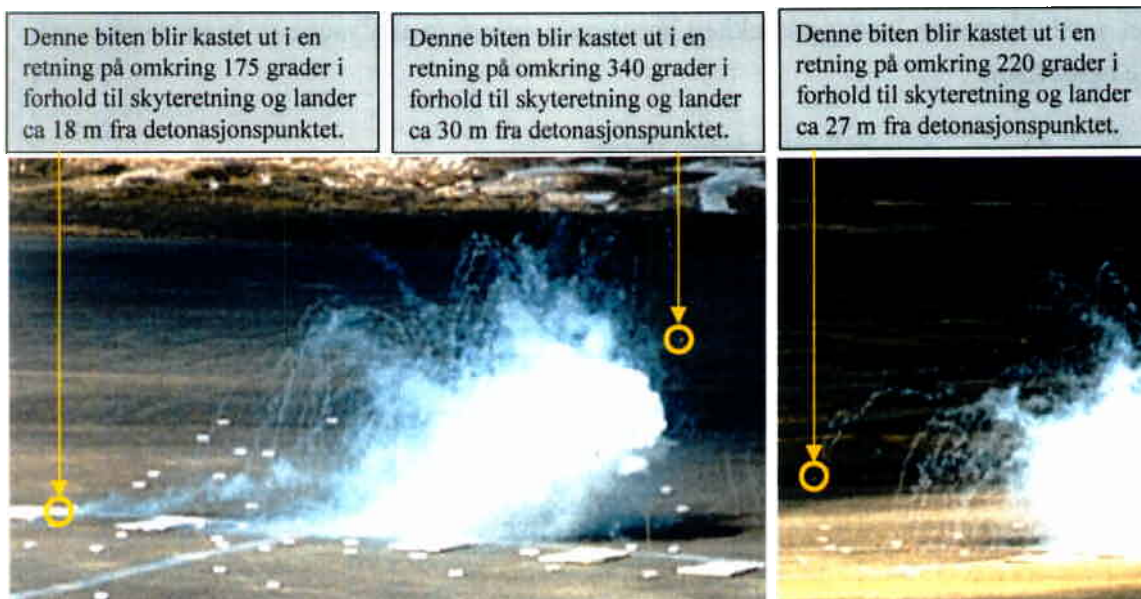
Ut fra bildene er det tydelig å se at de store bitene av hvitt fosfor som blir kastet ut fra detonasjonspunktet etter hvert blir til mange små biter. Dette kommer sannsynligvis av at de store bitene med hvitt fosfor raskt blir varme på overflaten, noe som medfører at hvitt fosfor smelter her. Dette fører til at det drypper flytende hvitt fosfor fra de store bitene med hvitt fosfor. I omtalen av artillerigranater i kapittel 5.2.5 er dette nærmere beskrevet.

Analyse av bildemateriale fra bombekastergranat 1 viser at det er en bit av hvitt fosfor som kastes ut i en retning av ca 260 grader i forhold til skyteretningen og som lander omkring 45 m fra detoneringspunktet. Ut fra bildematerialet er det denne biten som kastes lengst ut fra detonasjonspunktet til bombekastergranat 1. Det blir også kastet en bit 160 grader i forhold til skyteretningen og som lander omkring 30 m fra detoneringspunktet. De bitene som kastes lengst ut er biter som går til siden eller bakover i forhold til skyteretningen. I Figur 5.11 er disse to bitene markert.



Figur 5.11 Spredning av biter med hvitt fosfor fra bombekastergranat 1

Analyse av bildemateriale fra bombekastergranat 2 viser at det er en stor bit av hvitt fosfor som kastes ut i ca 175 grader i forhold til skyteretningen og som lander omkring 18 m fra detoneringspunktet. En noe mindre bit kastes ut i ca 340 grader i forhold til skyteretningen og lander ved omkring 30 m fra detonasjonspunktet. Ut fra bildematerialet er det denne biten som blir kastet lengst ut fra detonasjonspunktet til bombekastergranat 2. Det blir også kastet en bit 220 grader i forhold til skyteretningen og som lander omkring 27 m fra detoneringspunktet. Ut fra bildene kan det også her se ut til at det er flest biter som blir kastet bakover. I Figur 5.12 er de nevnte bitene markert.



Figur 5.12 Spredning av biter med hvitt fosfor fra bombekastergranat 2

Analyse av bildemateriale fra bombekastergranat 3 viser at en bit av hvitt fosfor kastes ut i ca 180 grader i forhold til skyteretningen og lander omkring 15 m fra detoneringspunktet. En bit kastes ut i ca 0 grader i forhold til skyteretningen og lander omkring 30 m fra detonasjonspunktet. Ut fra bildematerialet er det denne biten som blir kastet lengst ut fra detonasjonspunktet til bombekastergranat 3. Det blir også kastet en bit 260 grader i forhold til skyteretningen som lander omkring 18 m fra detoneringspunktet. Ut fra bildene kan det også her se ut til at det er flest biter som blir kastet bakover. I Figur 5.13 er de nevnte bitene markert.



Figur 5.13 Spredning av biter med hvitt fosfor fra bombekastergranat 3

Ut fra bildematerialet ble det ikke observert at biter med hvitt fosfor kastes lenger enn 45 m fra detonasjonspunktet. Det ser ut til at de bitene som kastes lengst ut fra detoneringspunktet har en retning på tvers av skyteretningen eller nærmest i skyteretningen. Dette stemmer godt overens med analysene av hvitt fosfor i plastkarene, der det i avstandsområdet 20-40 m og 40-60 m ble funnet mest hvitt fosfor i henholdsvis sektor A og sektor D. Det ser ut til at det er et relativt

begrenset antall biter som lander på bakken brennende, noe som analysene av brennmerker på plastfolie også viser.

### 5.1.6 Jordprøver – bombekasterdetonasjon

Det ble tatt prøver av jord i forskjellige krater fra bombekastergranater etter skyting 3-4 juni 2003. Tabell 5.5 viser mengde hvitt fosfor som ble funnet i bombekasterkratrene fra 2 til 10 uker etter skyting.

Prøvenr	Prøvetakingssted, dato	mg hvitt fosfor/kg tørr jord
03-498	Vesleknatten S1, 16 juni 2003	3 700
03-499	Vesleknatten S2, 16 juni 2003	200
03-500	Vesleknatten S3, 16 juni 2003	2 800
03-501	Vesleknatten S4, 16 juni 2003	13 000
03-502	Vesleknatten S5, 16 juni 2003 (utenfor krater til S4)	0,1
03-515	Vesleknatten S6, 21 juli 2003	40
03-516	Vesleknatten S7, 21 juli 2003	1 500
03-527	Vesleknatten 1 BK, 25 august 2003	60
03-528	Vesleknatten 2 BK, 25 august 2003	0,6
03-529	Vesleknatten 3 BK, 25 august 2003	0,3

Tabell 5.5 Analyseresultater av jordprøver fra bombekasterkrater ved Vesleknatten etter skyting 3-4 juni 2003

Resultatene viser at større mengder hvitt fosfor blir liggende igjen i detonasjonskrateret i flere uker etter detonasjon. To uker etter skyting ble høyeste verdi av hvitt fosfor i fire utvalgte krater målt til 13 g hvitt fosfor per kg tørr jord. Etter sju uker ble det målt opp til 1,5 g hvitt fosfor per kg tørr jord. Dette betyr at det i detonasjonskrateret vil ligge høye konsentrasjoner av hvitt fosfor i lengre tid, mens konsentrasjonen av hvitt fosfor utenfor krateret vil reduseres relativt raskt. Det ble observert ved prøvetakingen at det særlig befinner seg rester av hvitt fosfor i bombekastergranatens haleparti og at dette ofte trykkes ned i jorda ved detonasjon (Figur 5.14). Dette er også observert i skytefelt i USA (9). Det ble også observert spontanbrann i lyngen ca 2 måneder etter skyting med bombekaster i Hjerkinnskytefelt.

Målinger og observasjoner tyder derfor på at det er hovedsaklig i krateret at rester av hvitt fosfor fra bombekastergranater kan bli liggende over tid i vesentlige mengder.



Figur 5.14 Haleparti fra bombekastergranat tatt opp fra krater (til venstre). Haleparti presset ned i krater (til høyre)



### 5.1.7 Luftprøver – bombekasterdetonasjon

Ut fra videomaterialet som ble tatt under detonasjonene ser en tydelig at røykskyen fra de to første detonasjonene treffer luftprøvetakerne, mens røyken fra den tredje detonasjonen bare delvis treffer luftprøvetakerne. I og med at den gjennomsnittlige vindhastigheten er rundt 5 m/s driver røykskyen relativt raskt forbi luftprøvetakerne. Ut fra bildemateriale og observasjoner er det estimert at luftprøvetakerne blir eksponert for røyk i 45 sekunder for hver detonasjon.

Det ble ikke påvist hvitt fosfor over deteksjonsgrensen i noen av de utplasserte luftprøvetakerne ved detonasjon av bombekastergranater. Det ble funnet spormengder av totalfosfor i prøvene, noe som tyder på at luften ikke har inneholdt vesentlige mengder av fosforsyre.

En person vil i hviletilstand puste inn omkring 5 liter luft i minuttet. Ved hardt arbeid kan dette øke til opp mot 200 liter luft i minuttet. Resultatene fra målingene viser at mengden hvitt fosfor i røykskyen er mindre enn  $7,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  luft. Hvis en person med luftinntak på 100 liter/minutt er eksponert for røykskyen i 10 minutter, betyr dette at eksponeringen for hvitt fosfor er mindre enn  $7,5 \mu\text{g}$ . Administrativ norm for hvitt fosfor i arbeidsatmosfære er i Norge på  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (10), og den samme grensen gjelder i USA (11).

Ut fra de målinger som er gjort er det klart at nivået av hvitt fosfor i røyken som dannes etter detonasjon av bombekastergranater ligger langt under det som er satt som administrativ norm for arbeidsatmosfære. Et opphold i røyken i 10 minutter vil gi en ubetydelig eksponering for hvitt fosfor. Det er derfor meget lite sannsynlig at hvitt fosfor vil utgjøre noen helserisiko ved kortvarig opphold i røyken fra en bombekastergranat.

Den maksimale konsentrasjonen av totalfosfor i prøvetakerne ble registrert til  $0,5 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  luft (Tabell 5.6). Dette tallet er noe usikkert da det ligger så vidt over deteksjonsgrensen til analysemetoden og under kvantifiseringsgrensen. Dersom man antar at mengden totalfosfor som er kvantifisert utelukkende kommer fra fosforsyre ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), så vil den maksimale konsentrasjonen av fosforsyre være  $1,5 \text{mg}/\text{m}^3$  luft i røykskyen. Den administrative normen for fosforsyre i arbeidsatmosfære er satt til  $1 \text{mg}/\text{m}^3$  i Norge (10). I perioder på 15 minutter kan denne normen overskrides med 200 %, noe som medfører at kortvarig eksponering over  $3 \text{mg}/\text{m}^3$  kan gi helseskader. Selv om de kjemiske målingene som er gjort er noe usikre er det grunn til å tro at konsentrasjonen av fosforsyre i røykskyen er så lav at det ikke er forbundet noen helsefare ved eksponering for denne over kort tid.

<i>Avstand fra detonasjonspunkt</i>	<i>Konsentrasjonen av totalfosfor (<math>\mu\text{g}/\text{dm}^3</math>)</i>
Luftprøve 20 m	0,4
Luftprøve 40 m	0,2
Luftprøve 50 m venstre	0,3
Luftprøve 50 m høyre	0,5

Tabell 5.6 *Konsentrasjonen av totalfosfor i luft under røykutvikling etter detonasjon av bombekastergranater*

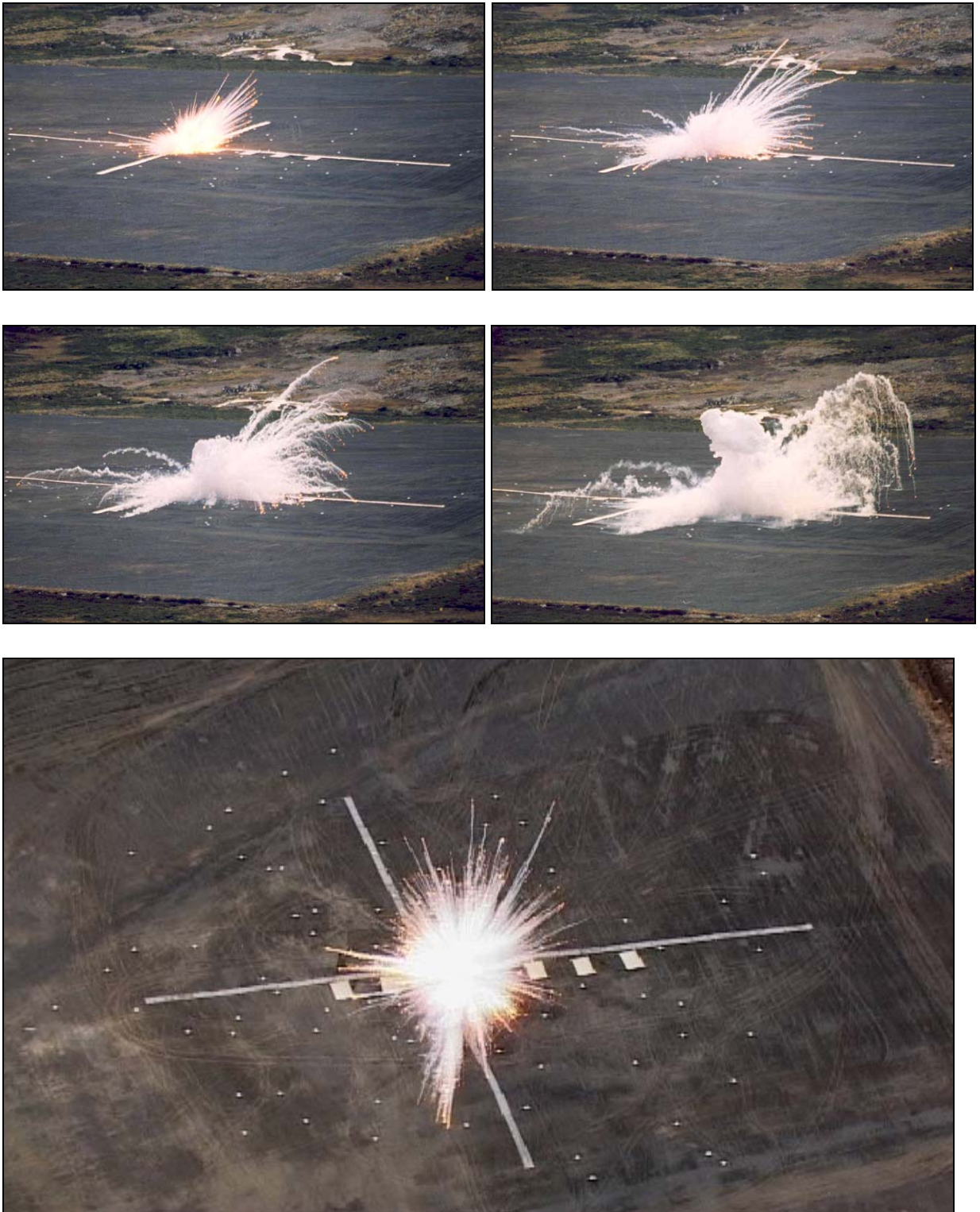
Det kan også være andre forbindelser enn hvitt fosfor og fosforsyre i røyken som er giftige. Det er mulig at det er små mengder av de giftige forbindelsene fosfin ( $\text{PH}_3$ ) og fosfortrioksid ( $\text{P}_2\text{O}_6$ ) i røyken. Disse dannes ofte når hvitt fosfor brenner med liten tilgang til oksygen. Bruk av Forsvarets vernemaske vil beskytte mot både partikler av hvitt fosfor, fosforsyre og fosfortrioksid, men vil høyst sannsynlig ikke beskytte mot fosfin.

#### 5.1.8 Oppsummering av resultater – bombekasterdetonasjon

Resultater viser at mesteparten av ureagerte biter av hvitt fosfor vil havne innenfor 20 m fra detonasjonspunktet ved en detonasjon. Det ble observert brennmerker på plastfolien ut til 27 m, mens en vurdering av bildematerialet viser at brennende biter av hvitt fosfor lander ut til ca 45 m fra detonasjonspunktet. Resultater viser at det kun er spormengder av hvitt fosfor som spres lengre enn dette. Det er størst mengde hvitt fosfor i størrelsesfraksjonen på 0,63-2 mm i plastkarene og presenningsbassengene. Andelen av denne fraksjonen øker med økende avstand fra detonasjonspunktet. Det ble funnet opp til 13 g hvitt fosfor per kg tørr jord i kratre på Vesleknatten to uker etter skyting med bombekaster. Det ble observert større mengder med rester av hvitt fosfor i halepartiene til granatene. I røyken fra bombekasterdetonasjonene er det ikke påvist hvitt fosfor. Det ble imidlertid funnet spormengder av totalfosfor som stammer fra fosforsyre i røyken.

## 5.2 Detonasjon av 155 mm artillerigranater

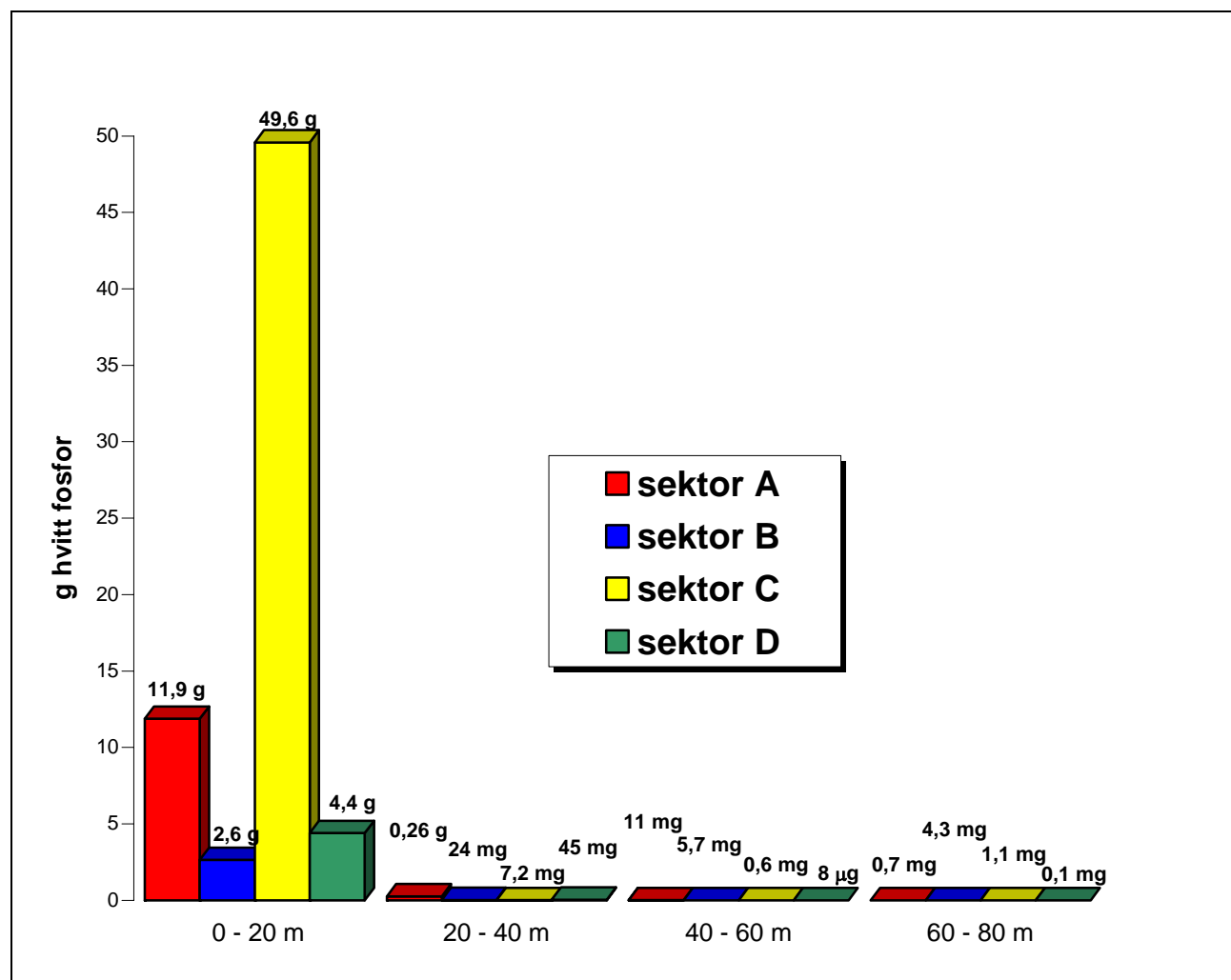
Figur 5.15 viser forløpet av en detonasjon til en 155 mm artillerigranat med 7,1 kg hvitt fosfor.



Figur 5.15 Detonasjon av en 155 mm artillerigranat med 7,1 kg hvitt fosfor i feltforsøk på HFK-sletta. Foto av detonasjonsforløpet tatt fra Edvinbu (øverst). Foto tatt fra helikopter (nederst)

### 5.2.1 Plastkar – artilleridetonasjon

Figur 5.16 viser målt mengde hvitt fosfor som ble fanget opp i 96 plastkar på 0,4 m<sup>2</sup> fordelt i 4 sektorer etter detonasjon av tre artillerigranater. Målt mengde hvitt fosfor i hver sektor og avstandsområde (6 kar) multiplisert med arealet på avstandsområdene indikerer at ca 98 % av den totale mengden hvitt fosfor havnet innenfor 20 m fra detonasjonspunktet og at ca 0,2 % ble spredt lengre enn 40 m fra detonasjonspunktet (Tabell 5.7).



Figur 5.16 Målt mengde hvitt fosfor i sektor A, B, C og D

Avstandsområde	Målt mengde hvitt fosfor (mg)	Areal (m <sup>2</sup> )	Andel hvitt fosfor (%)
0-20 m	68 500	1257	98,4
20-40 m	340	3770	1,5
40-60 m	17	6283	0,1
60-80 m	6,1	8796	0,06

Tabell 5.7 Fordelingen av hvitt fosfor i plastkarene ut fra avstand fra detonasjonspunkt (basert på målt mengde hvitt fosfor multiplisert med arealet til avstandsområdene)

Av de seks karene i sektor A i avstandsområde 0-20 m (kar A1–A6) ble nesten alt nedfallet av hvitt fosfor funnet i karene som var mindre enn 10 meter fra detonasjonspunktet. I to av disse karene var overflatekonsentrasjonen ca 13 g hvitt fosfor per m<sup>2</sup>, mens det i karene på 15-20 m ble målt en overflatekonsentrasjon på opp mot 0,1 g per m<sup>2</sup> (Tabell 5.8). Tatt i betraktning hvor stor andel av arealet fra 0-5 m kar A1-A3 dekker, er det beregnet ut fra disse tre karene at ca 90 % av alt nedfall av hvitt fosfor fra detonasjon av en artillerigranat vil havne innenfor 5 m fra detonasjonspunktet. Det ble også observert ved detonasjonspunktet at mesteparten av restproduktet etter forbrenningen av hvitt fosfor lå igjen innenfor ca 5 m fra detonasjonspunktet (Figur 5.17).

<i>Kar</i>	<i>Avstand fra detonasjonspunkt (m)</i>	<i>Overflatekonsentrasjon (mg/m<sup>2</sup>)</i>
A1	3	13 000
A2	3,3	13 400
A3	3,3	2 700
A6	7,3	190
A5	15,9	70
A4	17,4	100
	<i>Gjennomsnittsavstand fra detonasjonspunkt (m)</i>	<i>Gjennomsnittlig overflatekonsentrasjon (mg/m<sup>2</sup>)</i>
Alle sektorer 0 – 20 m	8,5	7100
Alle sektorer 20 – 40 m	27	35
Alle sektorer 40 – 60 m	48	1,8
Alle sektorer 60 – 80 m	69	0,6

Tabell 5.8 *Overflatekonsentrasjonen av hvitt fosfor ut fra avstand fra detonasjonspunktet*



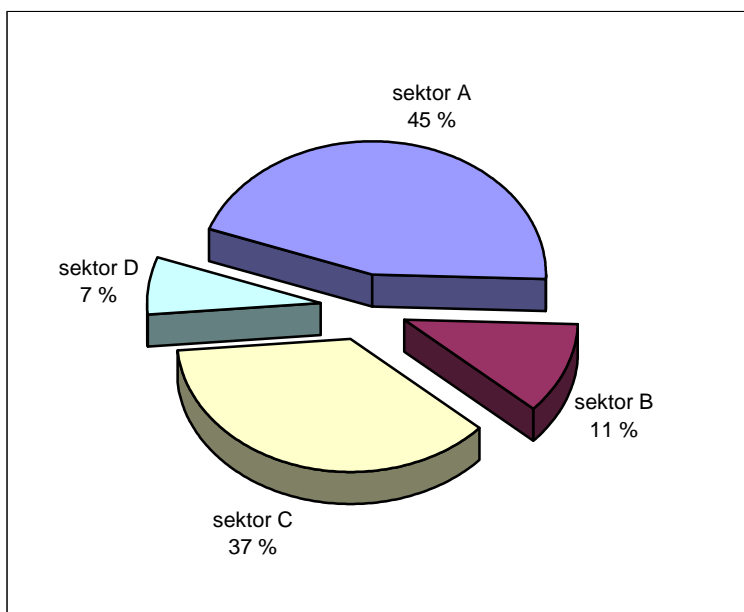
Figur 5.17 *Detonasjonsområdet kort tid etter detonasjon av artillerigranat. Det røde restproduktet sees tydeligst på steder med størst nedfall av hvitt fosfor*

Målte mengder av hvitt fosfor i plastkarene viser at 89 % av den totale mengden hvitt fosfor ble funnet igjen i sektor A og C, dvs langs simulert skyteretning, hvor av 71 % ble funnet i sektor C (Tabell 5.9). Avstandsområdet 0-20 m i sektor C (kar C1-C6) har som tidligere nevnt lavest

gjennomsnittsavstand fra karene til detonasjonspunktet med 6,8 m (kapittel 5.1.1). Det vil derfor være sannsynlig at prosentandelen av hvitt fosfor i denne sektoren vil være unaturlig høy. Hvis denne fordelingen beregnes ut fra en kurvetilpassing der spredningen i alle sektorene er lik som i sektor A, og det er tatt hensyn til varierende gjennomsnittsavstand og målte verdier av hvitt fosfor, vil det antagelig gi et riktigere bilde av en reell fordeling. Tabell 5.9 viser denne fordelingen av hvitt fosfor i tillegg til fordelingen ut fra målte verdier. Siden de beregnede verdiene antagelig vil være mest representative ved reell skyting, presenteres disse i Figur 5.18 og vil bli benyttet i videre beregninger.

<i>Sektor</i>	<i>Fordeling av hvitt fosfor (målte verdier)</i>	<i>Fordeling av hvitt fosfor (beregnete verdier)</i>
Sektor A	18 %	45 %
Sektor B	4 %	11 %
Sektor C	71 %	37 %
Sektor D	7 %	7 %

*Tabell 5.9 Fordelingen av hvitt fosfor ut fra målte verdier i plastkarene og ut fra beregnede verdier der det er tatt hensyn til gjennomsnittsavstand fra karene til detonasjonspunktet*



*Figur 5.18 Fordelingen av hvitt fosfor i hele sektor A, B, C og D basert på beregnede verdier fra plastkarene*

Med bakgrunn i mengden hvitt fosfor i de 96 tilfeldig plasserte plastkarene, så er den gjennomsnittlige mengden av hvitt fosfor på overflaten ut til 20 m fra detonasjonspunktet beregnet til  $7100 \text{ mg/m}^2$  (Tabell 5.8). I området fra 20-40 m er gjennomsnittlig overflatekonsentrasjon beregnet til  $35 \text{ mg/m}^2$ , mens i området fra 40-60 m og 60-80 m faller konsentrasjonen til henholdsvis  $1,8 \text{ mg/m}^2$  og  $0,6 \text{ mg/m}^2$ .

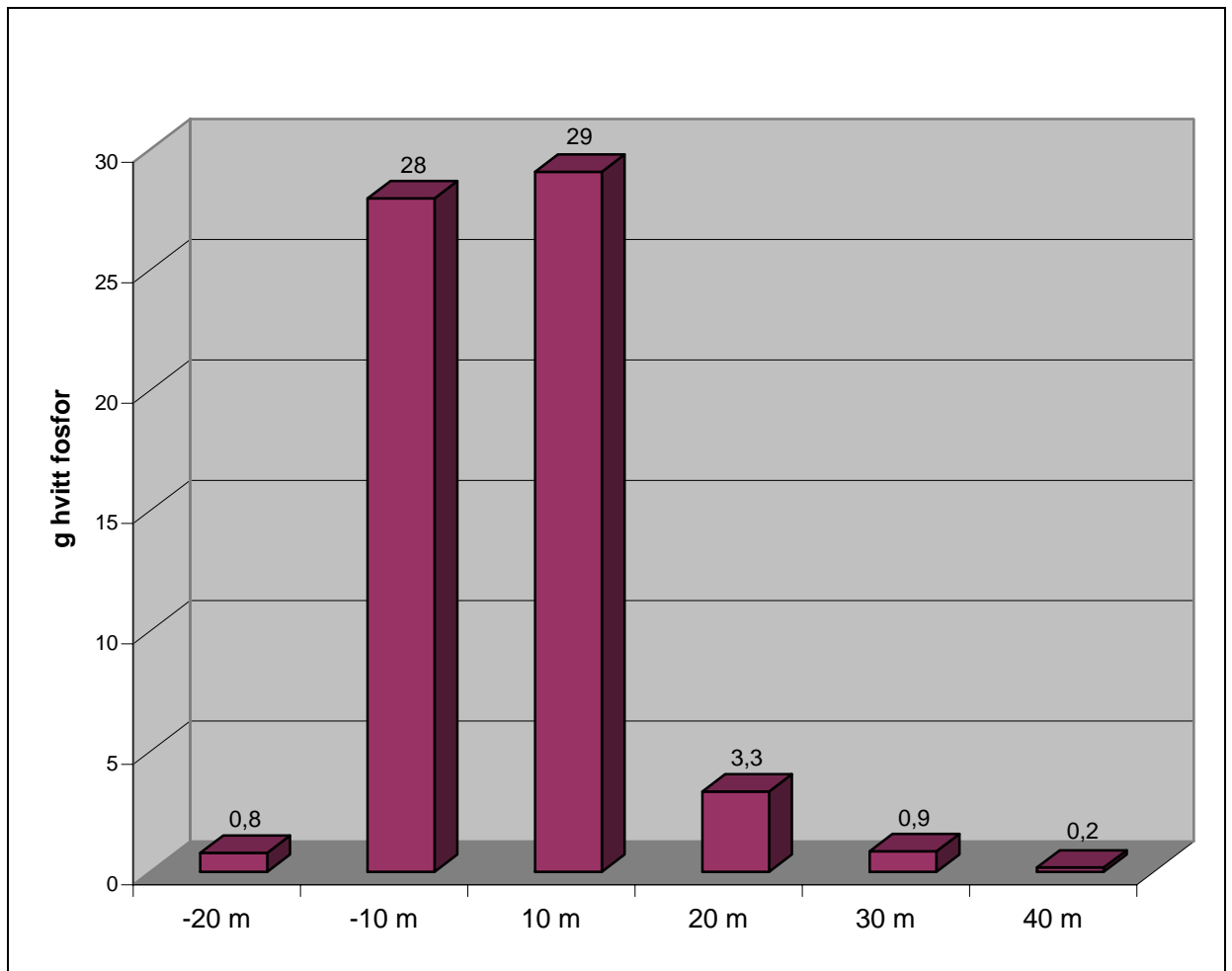
Etter detonasjon av tre artillerigranater som til sammen inneholdt 21,3 kg hvitt fosfor, er det beregnet at det totale nedfallet av hvitt fosfor ut til en radius på 80 m vil være omkring 9 kg. Dette tilsvarer 43 % av det totale innholdet av hvitt fosfor i granatene, og det kan være en

indikasjon på hvor høy andel ureagert hvitt fosfor som i verste fall kan bli liggende igjen rundt et ugunstig detonasjonssted. Det er i tillegg observert større mengder hvitt fosfor liggende igjen i detonasjonskratre, og dette vil øke prosentandelen for hva som kan bli liggende igjen (beskrevet i kapittel 5.2.6).

### 5.2.2 Presenningsbasseng – artilleridetonasjon

Presenningsbassengene lå på grunn av bevisst plassering i områder med stor sannsynlighet for høye verdier av hvitt fosfor. Figur 5.19 viser mengden hvitt fosfor oppsamlet i de seks presenningsbassengene på 20 m<sup>2</sup> som var plassert i forventet spredningsretning.

Ut fra mengden oppsamlet hvitt fosfor i presenningsbassengene og arealet av disse er det beregnet en gjennomsnittlig overflatekonsentrasjon ved 10, 20, 30 og 40 m fra detonasjonspunktet. Disse resultatene er vist i Tabell 5.10. Overflatekonsentrasjonen av hvitt fosfor avtar kraftig med avstanden fra detonasjonspunktet. 10 m fra detonasjonspunktet ble det i begge retninger målt en overflatekonsentrasjon på ca 1,4 g hvitt fosfor per m<sup>2</sup>. 20 m fra detonasjonspunktet var overflatekonsentrasjonen fire ganger høyere i simulert skyteretning i forhold til mot skyteretningen. 40 m fra detonasjonspunktet var konsentrasjonen falt til 9 mg hvitt fosfor per m<sup>2</sup>.



Figur 5.19 Mengde hvitt fosfor i presenningsbasseng etter detonasjon av artillerigranater

<i>Avstand fra detonasjonspunkt</i>	<i>Mengde hvitt fosfor på overflaten (mg/m<sup>2</sup>)</i>
20 m - retning sektor C	40
10 m - retning sektor C	1 398
10 m - retning sektor A	1 453
20 m - retning sektor A	167
30 m - retning sektor A	43
40 m - retning sektor A	9

*Tabell 5.10 Mengde hvitt fosfor per kvadratmeter i ulike avstand og retning fra detonasjonspunktet beregnet ut fra total mengde hvitt fosfor i presenningsbassengene*

### 5.2.3 Plastfolie – artilleridetonasjon

Tabell 5.11 viser antall brennmerker som ble observert fra 10 - 80 m fra detonasjonspunktet og ut til 130 m i forlengelsen av plastfolien i sektor A. Brennmerkene er beskrevet ut fra merkenes diameter og delt inn i kategorier større enn 5 cm, mellom 5 og 1 cm og mindre enn 1 cm. I tillegg er ytterste brennmerke registrert for å vise hvor stor spredningen er i hver sektor. For sektor A ble det dessuten foretatt en visuell registrering av antall merker etter restprodukter på bakken i forlengelse av plastfolien. Den største spredningen ble observert i sektor A, det vil si i simulert skyteretning. Her ble det funnet restprodukter på bakken ut til 121 m fra detonasjonspunktet i forlengelse av plastfolien. I sektor B og D som tilsvarer ut til sidene for skyteretningen, ble det observert brennmerker ut til 53-59 m fra detonasjonspunktet. I sektor C som tilsvarer mot skyteretningen, ble det observert brennmerker ut til 38 m. Dette beskriver at artillerigranater med hvitt fosfor har en asymmetrisk spredning hvor mesteparten blir spredt i skyteretningen og lite blir spredt mot skyteretningen.

Avstand	Sektor A				Sektor B			
	>5cm	5-1cm	<1cm	Sum	>5cm	5-1cm	<1cm	Sum
10 – 20 m		>> 100		>> 100		>> 100		>> 100
20 – 30 m	27	97	110	234	14	78	65	157
30 – 40 m	7	17	27	51	10	22	40	72
40 – 50 m	9	22	27	58	-	5	7	12
50 – 60 m	3	13	30	46	4	12	78	94
60 – 70 m	8	57	68	133	-	-	-	-
70 – 80 m	5	7	34	46				
Sum (20-80 m)	59	213	296	568	28	117	190	335
80 – 125 m	63 (i forlengelse av plastfolien)							
Ytterste brennmerke	121 m				59 m			



Avstand	Sektor C				Sektor D			
	>5cm	5-1cm	<1cm	Sum	>5cm	5-1cm	<1cm	Sum
10 – 20 m		>> 100		>> 100		>> 100		>> 100
20 – 30 m	-	4	147	151	14	24	25	63
30 – 40 m	-	6	9	15	2	5	8	15
40 – 50 m	-	-	-	-	-	1	4	5
50 – 60 m					-	-	1	1
Sum (20-80 m)		10	156	166	16	30	38	84
Ytterste brennmerke	38 m				53 m			

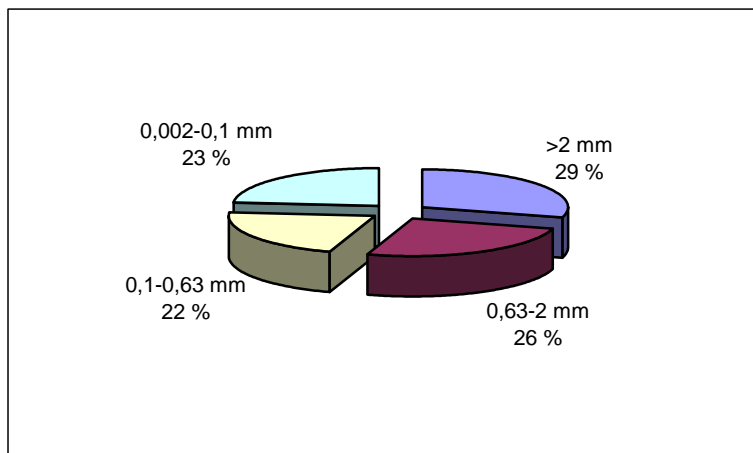
Tabell 5.11 Antall brennmerker på plastfolie i sektor A, B, C og D og i forlengelse av sektor A etter detonasjon av artillerigranater

#### 5.2.4 Størrelse på oppsamlede partikler av hvitt fosfor – artilleridetonasjon

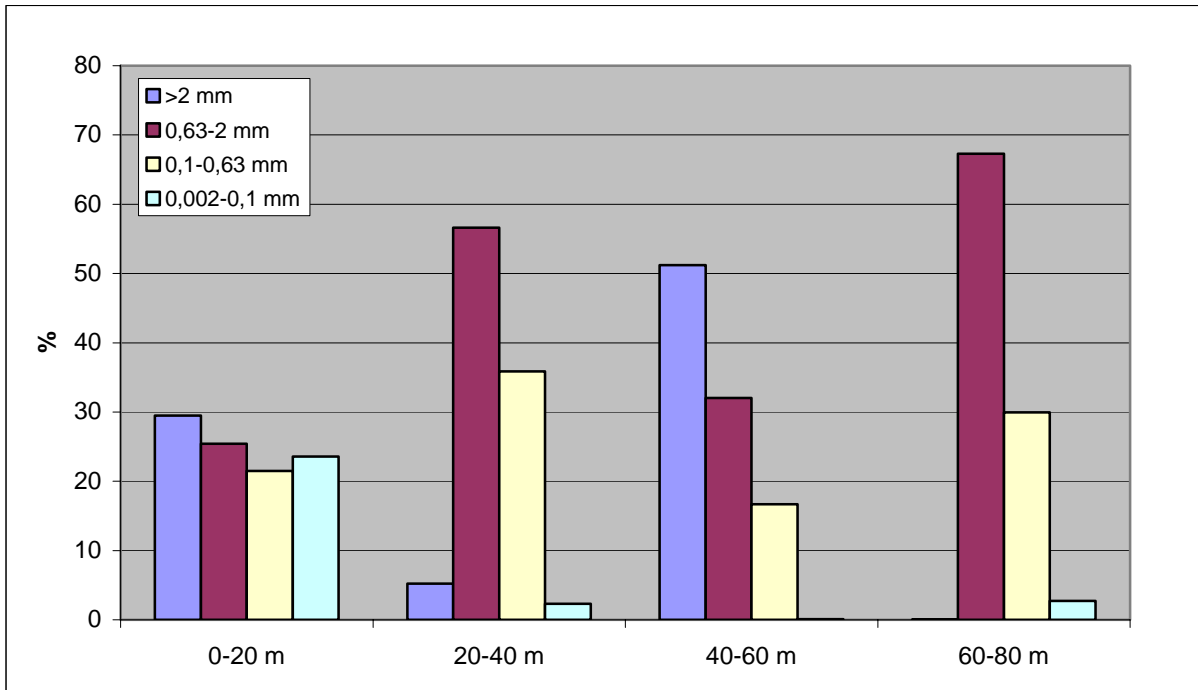
Størrelsesfordelingen av hvitt fosfor partiklene oppsamlet i plastkarene er vist i Figur 5.20. Figuren viser andelen av hvitt fosfor i hver siktefraksjon basert på den totale mengden hvitt fosfor fra 0-80 m i alle sektorene. Alle størrelsesfraksjonene er omtrent like store, noe som betyr at mange små partikler i den minste fraksjonen utgjør tilnærmet den samme mengden hvitt fosfor som få store partikler i den største fraksjonen.

Størrelsesfordelingen av hvitt fosfor for artillerigranater skiller seg derfor noe fra det som ble observert for bombekastergranater, der det ble funnet lite i fraksjonen på 0,002-0,1 mm. Dette kan skyldes at hvitt fosfor pulveriserer i større grad ved bombekasterdetonasjon, slik at det dannes flere små partikler av hvitt fosfor som rekker å brenne opp før de treffer bakken.

Figur 5.21 beskriver størrelsesfordelingen ved de ulike avstandsområdene. Siktefraksjonen på 0,63-2 mm dominerer ved 60-80 m, mens mengden i fraksjonen på 0,002-0,1 mm er lav når avstanden fra detonasjonspunktet er lengre enn 20 m. Andelen i fraksjonen på 0,63-2 mm ser ut til å øke noe med avstanden fra detonasjonspunktet, på samme måte som for bombekastergranatene. Det ble ikke funnet partikler av hvitt fosfor i fraksjonen på >2 mm i avstandsområdet 60-80 m.

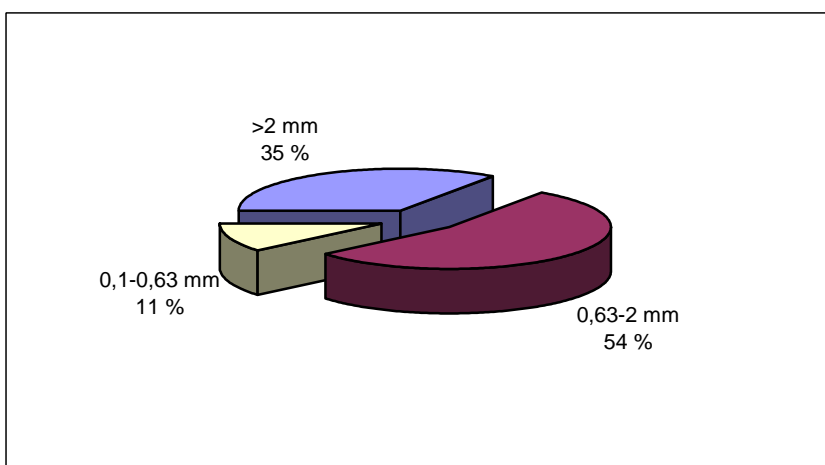


Figur 5.20 Mengde hvitt fosfor i de ulike størrelsesfraksjonene - plastkar

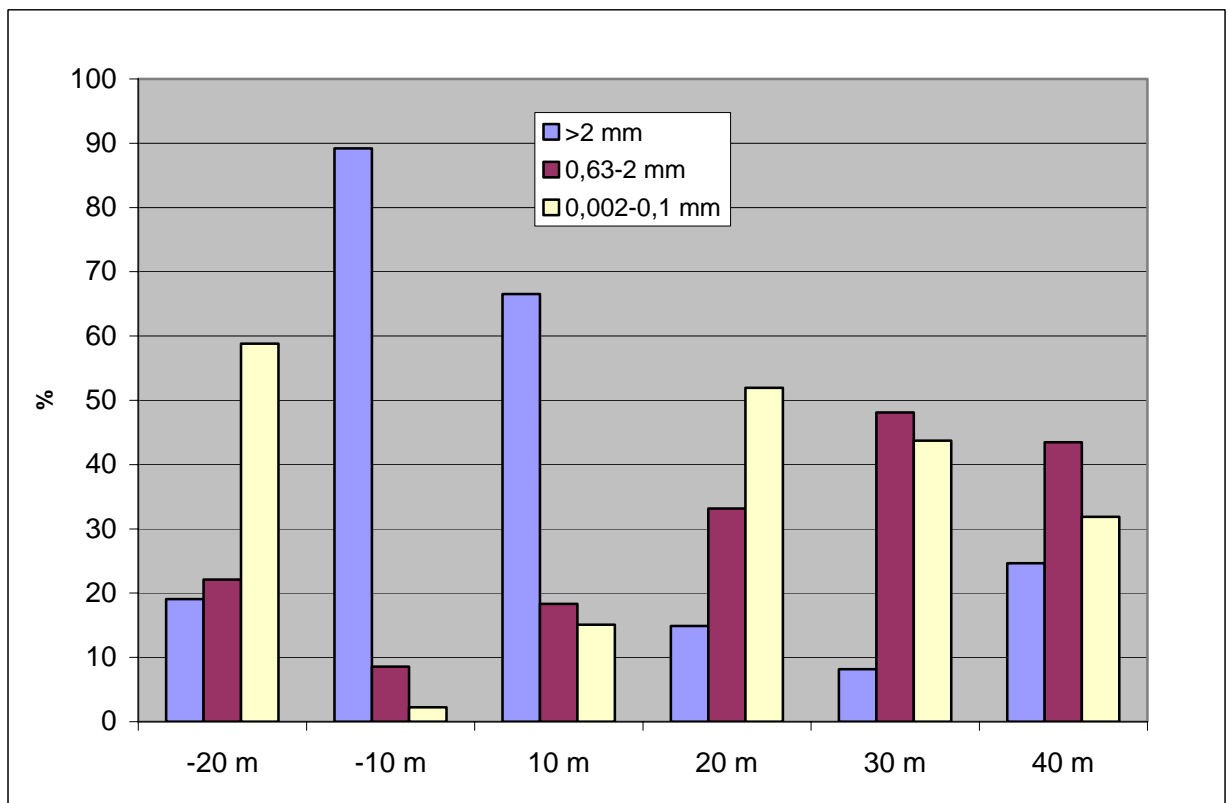


Figur 5.21 Størrelsesfordeling av hvitt fosfor partikler som funksjon av avstand fra detonasjonspunkt - plastkar

Størrelsesfordelingen av hvitt fosfor partikler fra de seks presenningsbassengene er vist i Figur 5.22. Siktefraksjonen på 0,63-2 mm utgjør i overkant av 50 %. Figur 5.23 beskriver størrelsesfordelingen av hvitt fosfor ved forskjellig avstand fra detonasjonspunktet. Fraksjonen på >2 mm er dominerende 10 m fra detonasjonspunktet, mens fraksjonen på 0,63-2 mm øker med økende avstand fra detonasjonspunktet på samme måte som for plastkarene. Dette kan indikere at større partikler av hvitt fosfor hovedsaklig spres innenfor en mindre avstand fra detonasjonspunktet.



Figur 5.22 Mengde hvitt fosfor i de ulike størrelsesfraksjonene - presenningsbasseng



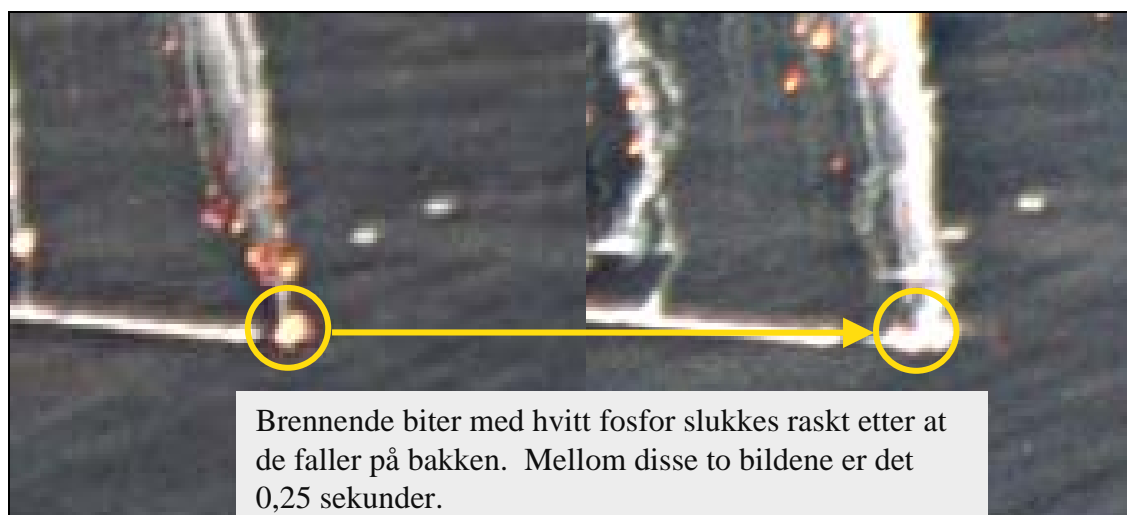
Figur 5.23 Størrelsesfordeling av hvitt fosfor partikler som funksjon av avstand fra detonasjonspunkt - presenningsbasseng

Figur 5.24 viser deler av grunnen til at det spres forholdsvis få store partikler av hvitt fosfor langt fra detonasjonspunktet. Ut fra analyse av bildematerialet observeres det at større brennende biter av hvitt fosfor fra detonasjonen har en tendens til å bli til mange små biter i svevfasen. Årsaken til dette er sannsynligvis at de store bitene med hvitt fosfor smelter på overflaten som følge av forbrenningen. Det vil da dryppe flytende hvitt fosfor fra de store bitene, og dette medfører at det ikke vil lande veldig store biter av hvitt fosfor på bakken langt fra detonasjonspunktet. I banen til en stor bit med hvitt fosfor vil det derfor bli mange brennende biter med hvitt fosfor som faller ned. De mindre bitene som drypper fra den store biten vil av og til rekke å brenne opp før de når bakken. Det er også observert i laboratorieforsøk at når brennende biter av hvitt fosfor treffer en vannoverflate vil de ofte dele seg i flere små biter. Dette kan føre til at de minste størrelsesfraksjonene blir noe høyere ved detonasjon på en vannoverflate i forhold til på bakken.

Ut fra en analyse av fotografisk materiale er det tydelig at de brennende bitene med hvitt fosfor slukker i det de treffer bakken. Eksempel på dette er vist i Figur 5.25. De fleste fosforbitene er sannsynligvis tilnærmet flytende som følge av oppvarming fra forbrenningen når de lander. Når bitene da treffer bakken med høy hastighet vil de bli klint utover bakken og få en rask avkjøling som følge av dette. Selv om de bitene som har landet på bakken ikke brenner, reagerer de fortsatt relativt kraftig med oksygen i lufta og avgir røyk. Eksempler på dette er vist i Figur 5.26, og tilfellene bekreftes ved at det observeres at mange av de oppsamlede partiklene har en flakliknende form. Ved forbrenningen av hvitt fosfor observeres det et oransjefarget restprodukt som høyst sannsynlig består av rødt fosfor. Analysen av restproduktet foretatt ved Forsvarets laboratorietjeneste (FOLAT) bekrefter at dette består nesten utelukkende av elementet fosfor.



*Figur 5.24 Foto av brennende biter av hvitt fosfor som deler seg i mindre biter i svevet. Når overflaten til store biter av hvitt fosfor smelter, drypper det flytende hvitt fosfor fra de store bitene*



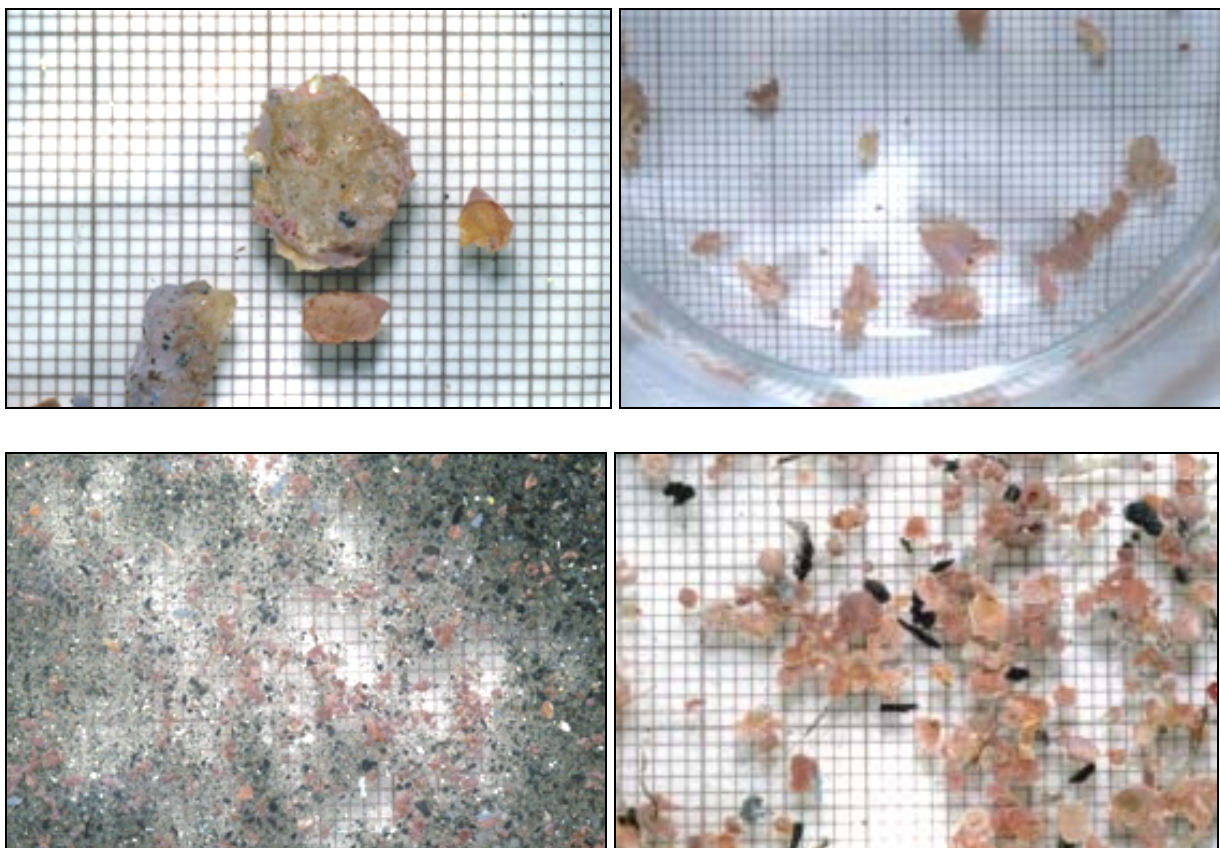
*Figur 5.25 Brennende biter av hvitt fosfor slukker så snart de treffer bakken, men blir liggende å ryke inntil alt fosfor er forbrent*



*Figur 5.26 Den brennende massen av hvitt fosfor som lander på bakken er nærmest flytende og blir klint utover bakken. Den orange fargen skyldes at rødt fosfor dannes som restprodukt ved forbrenningen av hvitt fosfor*

Figur 5.27 viser foto av oppsamlede partikler av hvitt fosfor fra artilleridetonasjonen med millimeterpapir som underlag. Partiklene er dekket av et beskyttende lag som sannsynligvis består av hovedsaklig rødt fosfor, noe som gir den rødlige fargen. Partiklene får på denne måten en noe lengre halveringstid i luft enn partikler av rent hvitt fosfor.

Mange av de oppsamlede bitene av hvitt fosfor er formet som flak, men noen har også tilnærmet kuleform. De største bitene som ble observert målte i overkant av 2 cm i diameter og hadde en klumpete form. Dette skyldes sannsynligvis at større biter med kort svevphase smelter i mindre grad før de treffer bakken, slik at bitene ikke danner dråper som gir kuleform eller flakform ved nedfall.



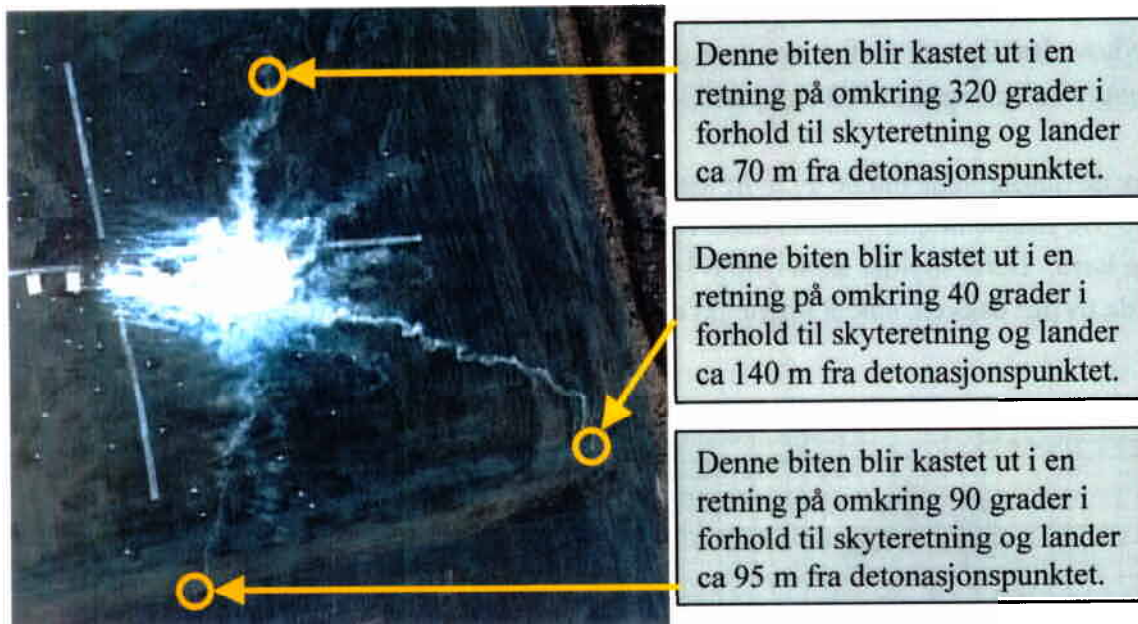
Figur 5.27 Foto av oppsamlede biter av hvitt fosfor. Bitene i størrelsesfraksjonen på over 2 mm har klumpete eller flaklignende form (øverst). Bitene under 2 mm har kule- eller flakform (nederst)

### 5.2.5 Spredningsavstand – artilleridetonasjon

Ut fra både video og fotografier er det mulig å se hvordan store partikler med hvitt fosfor spres ut fra detonasjonspunktet, enten som glødende partikler eller som hvite røykspor i luften. Med bakgrunn i dette er det foretatt en analyse av bildematerialet for å anslå hvordan store partikler med hvitt fosfor spres fra detonasjonspunktet.

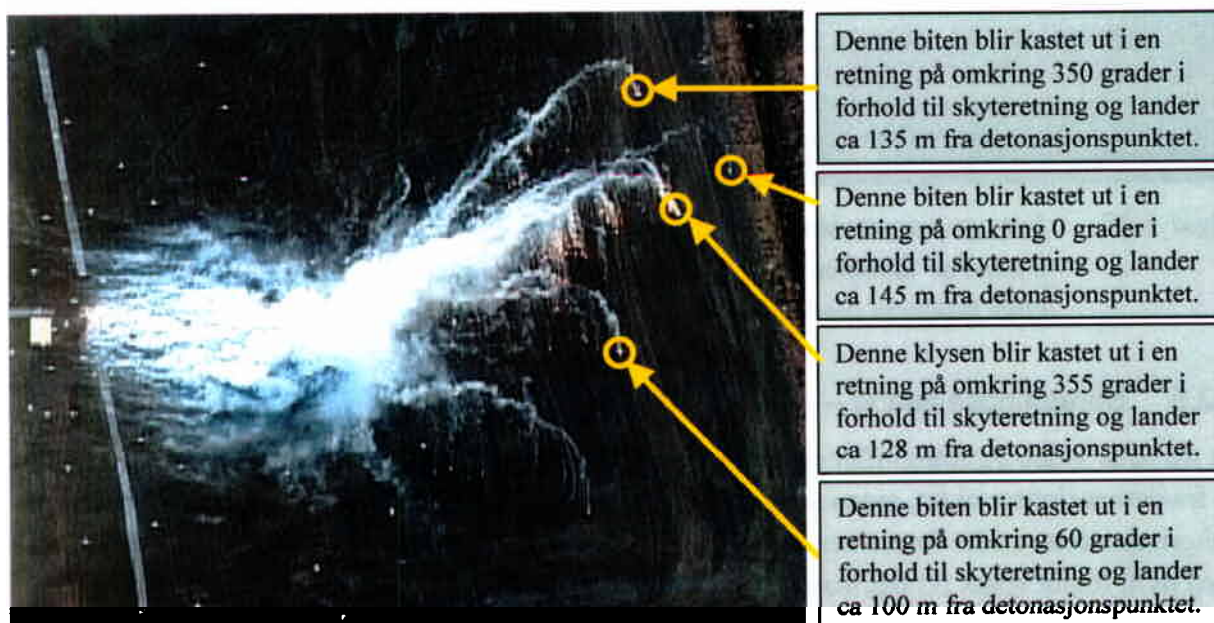
Analyse av bildemateriale fra artillerigranat 1 viser at det er en bit av hvitt fosfor som lander rundt 140 m fra detonasjonspunktet i en retning på ca 40 grader i forhold til skyteretningen. En bit havner rundt 95 m fra detonasjonspunktet i en retning på ca 90 grader i forhold til skyteretningen, mens en annen bit lander rundt 70 m fra detonasjonspunktet i en retning på ca

320 grader i forhold til skyteretningen. I Figur 5.28 er disse bitene markert. Stort sett alle de brennende bitene med hvitt fosfor slynges i skyteretningen og lander fortrinnsvis i sektor A.



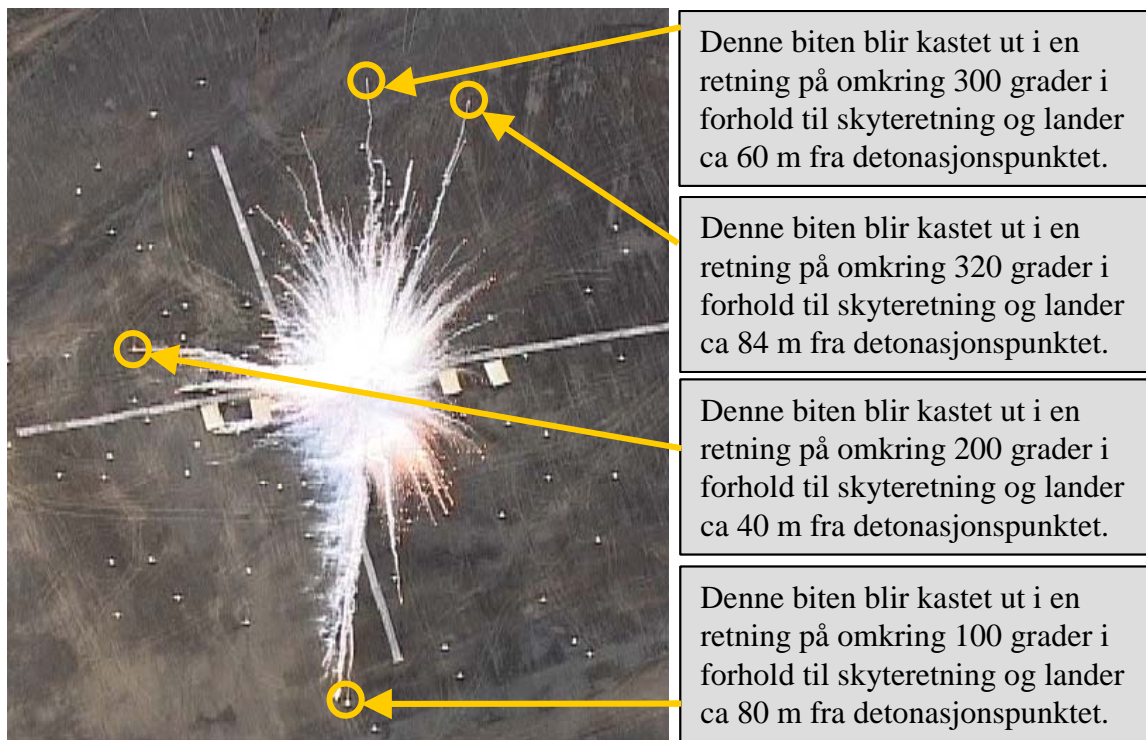
Figur 5.28 Spredning av brennende biter med hvitt fosfor fra artillerigranat 1

Analyse av bildemateriale fra artillerigranat 2 viser at det er en bit av hvitt fosfor som lander hele 145 m fra detonasjonspunktet i skyteretningen. I tillegg blir det registrert at en stor klyse med brennende hvitt fosfor lander omkring 128 m fra detonasjonspunktet nesten i skyteretningen. Det lander mindre brennende biter med hvitt fosfor ut til 135 m og 100 m i en retning av henholdsvis 350 og 60 grader i forhold til skyteretningen. I Figur 5.29 er disse bitene markert. Omtrent alle de brennende bitene med hvitt fosfor slynges i skyteretningen og lander stort sett i sektor A.



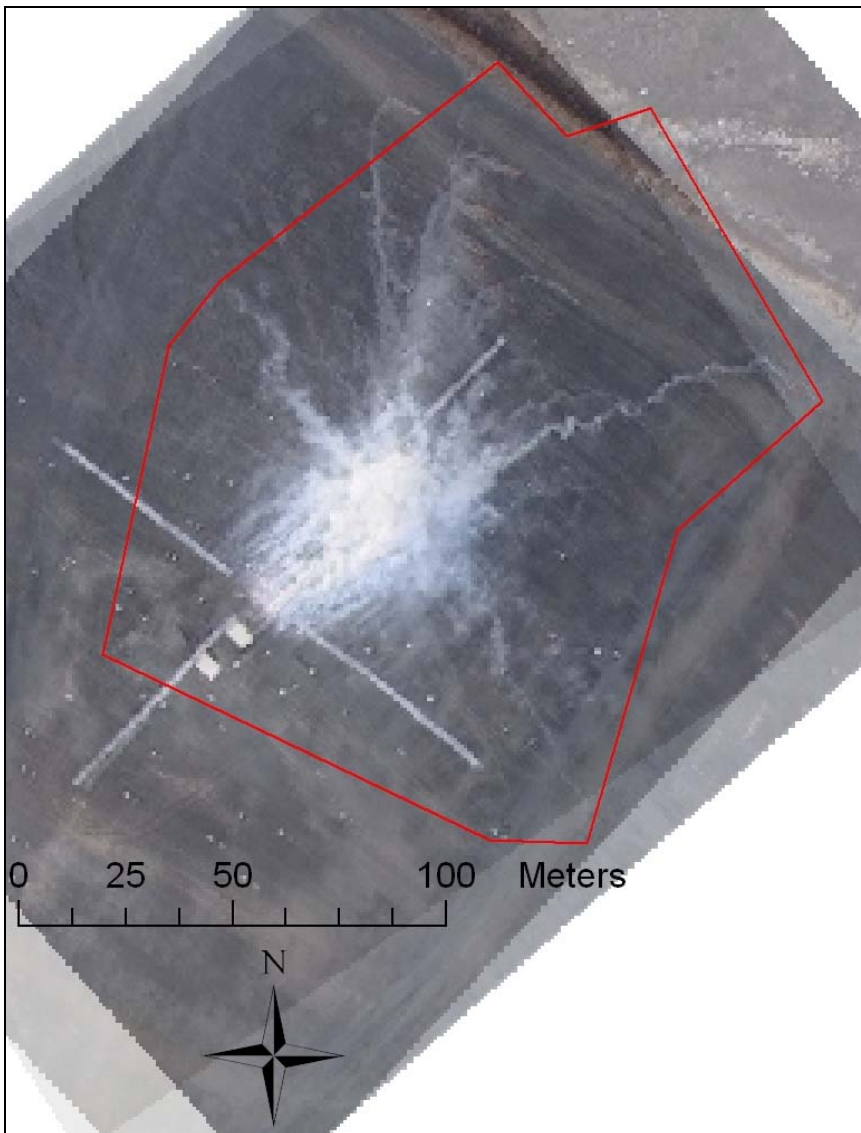
Figur 5.29 Spredning av brennende biter med hvitt fosfor fra artillerigranat 2

Analyse av bildemateriale fra artillerigranat 3 viser at det ikke er en så stor spredning av brennende biter med hvitt fosfor som for de to andre artillerigranatenes. Det blir i større grad spredd biter ut til sidene og bakover i forhold til skyteretningen enn for de andre to granatene. Det vil derfor være en større andel hvitt fosfor som havner i sektor B og D enn for de andre to granatene. Den biten med brennende hvitt fosfor som spres lengst ut fra detonasjonspunktet lander på 84 m i en retning på 320 grader i forhold til skyteretningen, mens en brennende bit av hvitt fosfor lander omkring 80 fra detonasjonspunktet i en retning på 100 grader fra skyteretningen. Det havner en relativt stor bit 40 m fra detonasjonspunktet i en retning på 200 grader i forhold til skyteretningen. En mindre bit havner 60 m fra detonasjonspunktet i en retning på 300 grader i forhold til skyteretningen. I Figur 5.30 er disse bitene markert.



Figur 5.30 Spredning av brennende biter med hvitt fosfor fra artillerigranat 3

Ved å legge bilder tatt fra helikopteret av detonasjonen til alle de tre artillerigranatenes inn i kartprogrammet Arcmap, er det mulig å få et oversiktsbilde av maksimal spredning av hvitt fosfor fra artillerigranatenes. For å gjøre et estimat over hvor stort areal som får nedfall av brennende fosforpartikler er det dratt en linje fra de bitene som lander lengst fra detonasjonspunktet for hver granat. Denne linjen er markert rød i Figur 5.31. Arealet innenfor denne linjen er estimert til 15200 m<sup>2</sup>. Dette betyr at et område tilsvarende dette vil kunne få nedfall av fosforpartikler etter detonasjon av artillerigranater.



*Figur 5.31 Et transparent bilde av spredningen til hvitt fosfor fra de tre artillerigranatene, der det er dratt en rød linje fra de bitene som lander lengst fra detonasjonspunktet for de tre granatene. Området som ligger innenfor den røde linjen kan få nedfall av hvitt fosfor og arealet av dette området er estimert til 15200 m<sup>2</sup>*

### 5.2.6 Jordprøver – artilleridetonasjon

Det ble tatt prøver av jord ved 6 prøvepunkt på HFK-sletta etter detonasjon av bombekaster- og artillerigranater. Jordprøvene er tatt fra like store areal og analyseresultatene er vist i Tabell 5.12. Resultatene viser at det i detonasjonskrateret blir liggende igjen betydelige mengder med hvitt fosfor. Oppfølgende prøver fra de samme prøvepunktene ble tatt en og to måneder senere for å se hvor mye hvitt fosfor som hadde blitt nedbrutt i jorda. En stor del av mengden med hvitt fosfor lå igjen etter en måned, men etter to måneder ble det kun funnet spormengder av hvitt fosfor i detonasjonskrateret. Resultater fra jordprøvene tatt utenfor detonasjonskrateret viser at hvitt fosfor blir tilnærmet helt nedbrutt i løpet av en måned. HFK-sletta er imidlertid gruslagt og vil på grunn av lavt vanninnhold og god dreneringsevne i jorda, gi tilnærmet optimale forhold for nedbryting av hvitt fosfor. Nedbrytingen av hvitt fosfor i jorda vil også være avhengig av nedbør og temperatur, og da særlig nedbør siden vann på bakken og i jorda vil kunne hindre nedbrytingen. I perioden fra første til andre prøvetidspunkt (19 juni til 21 juli) var



det 9 dager med mer enn 5 mm nedbør og totalt 11 dager med opphold på HFK-sletta (se kapittel 5.3). I perioden fra andre til tredje prøvetakingstidspunkt (21 juli til 25 august) var det en langt tørrere værtype med 2 dager med mer enn 5 mm nedbør og 14 dager med opphold. Værstasjonen på HFK-sletta var ute av drift en uke i denne perioden, og for den uken er det blitt benyttet data fra Fokstua værstasjon. Den fuktige perioden mellom 19 juni og 21 juli bør sees i sammenheng med at nedbrytingen av hvitt fosfor i krateret skjedde langsomt i denne perioden. Målt mengde hvitt fosfor i krateret for 19 juni og 21 juli var henholdsvis 34 mg og 21 mg, mens etter den påfølgende tørre perioden (25 august) ble det målt kun 0,3 µg hvitt fosfor. Dette indikerer at nedbørsperioder kan hindre nedbrytingsprosessen betydelig.

<i>Prøvenr</i>	<i>Prøvetakingssted, Dato</i>	<i>µg hvitt fosfor</i>
03-503	J0 - i detonasjonskrater, 19 juni 2003	34 000
03-504	J1 - ved detonasjonskrateret, 19 juni 2003	3 200
03-505	J2 - 10 m fra detonasjonspunkt, 19 juni 2003	14 000
03-506	J3 - 20 m fra detonasjonspunkt, 19 juni 2003	160
03-507	J4 - 30 m fra detonasjonspunkt, 19 juni 2003	3 100
03-508	J5 - 40 m fra detonasjonspunkt, 19 juni 2003	2 000
03-514	J0 - i detonasjonskrater, 21 juli 2003	21 000
03-510	J2 - 10 m fra detonasjonspunkt, 21 juli 2003	0,6
03-511	J3 - 20 m fra detonasjonspunkt, 21 juli 2003	0,3
03-512	J4 - 30 m fra detonasjonspunkt, 21 juli 2003	3
03-513	J5 - 40 m fra detonasjonspunkt, 21 juli 2003	0,8
03-530	J0 - i detonasjonskrater, 25 august 2003	0,3

*Tabell 5.12 Mengde hvitt fosfor i jordprøver fra HFK-sletta*

Det ble også tatt jordprøver i forskjellige krater fra artillerigranater etter skyting i Svånådalen 26 august 2003. Tabell 5.13 viser konsentrasjonen av hvitt fosfor i artillerikratrene etter henholdsvis 4 dager og 5 uker etter skyting.



*Figur 5.32 Kratre etter detonasjon av artillerigranater med hvitt fosfor*

<i>Prøvenr</i>	<i>Prøvetakingssted, Dato</i>	<i>µg hvitt fosfor</i>
03-551	Svånådalen krater 1-bøtte, 30 aug 2003	20 000 000
03-552	Svånådalen krater 2-bøtte, 30 aug 2003	2 200 000
<i>Prøvenr</i>	<i>Prøvetakingssted, Dato</i>	<i>µg hvitt fosfor/kg tørr jord</i>
03-553	Svånådalen nede i krater 1, 30 aug 2003	8 100 000
03-554	Svånådalen utenfor krater 1, 30 aug 2003	8 900
03-555	Svånådalen nede i krater 2, 30 aug 2003	2 000 000
03-556	Svånådalen utenfor krater 2, 30 aug 2003	3 100
03-610	Svånådalen nede i krater 1, 2 okt 2003	220 000
03-611	Svånådalen utenfor krater 1, 2 okt 2003	2
03-612	Svånådalen utenfor krater 1, 2 okt 2003	4
03-613	Svånådalen utenfor krater 1, 2 okt 2003	<0,015
03-614	Svånådalen utenfor krater 1, 2 okt 2003	6
03-615	Svånådalen nede i krater 2, 2 okt 2003	10 000
03-616	Svånådalen utenfor krater 2, 2 okt 2003	3 600
03-617	Svånådalen utenfor krater 2, 2 okt 2003	31 000
03-618	Svånådalen utenfor krater 2, 2 okt 2003	730
03-619	Svånådalen utenfor krater 2, 2 okt 2003	6

Tabell 5.13 *Konsentrasjon av hvitt fosfor i jordprøver tatt fra artillerikrater i Svånådalen*

Resultatene viser at større mengder hvitt fosfor blir liggende igjen i detonasjonskrateret etter detonasjon. I to utvalgte krater ble det funnet henholdsvis 20 g og 2,2 g hvitt fosfor 4 dager etter detonasjon. I krateret med høyeste målte verdi av hvitt fosfor befant det seg ca 8 g hvitt fosfor per kg tørr jord. Etter 5 uker ble det målt ca 0,2 g hvitt fosfor per kg tørr jord i samme krateret. I denne perioden var kratrene delvis fylte med vann (Figur 5.32). Dette vil hindre nedbrytingen av hvitt fosfor som ligger i vannet, noe som medfører at hvitt fosfor kan bli liggende helt til kratrene eventuelt tørker ut.

I ett krater i Svånådalen ble det funnet en bit av hvitt fosfor med anslått størrelse på 10x7x7 cm. Biten ble observert på innsiden av et metallfragment fra artillerigranaten, og ved litt pirking i fragmentet begynte biten av hvitt fosfor å brenne (Figur 5.33). Biten kan være resultatet av en "low-order detonation" der bare deler av eksplosivet antennes. En slik detonasjon kan inntreffe i spesielle tilfeller og gir ikke ønsket forbrenning og spredning av hvitt fosfor. Ut fra anslått størrelse på biten vil den ha en masse på ca 900 g hvitt fosfor, noe som utgjør ca 13 % av hvitt fosfor innholdet i en artillerigranat.

I området utenfor kratrene ble det 5 uker etter detonasjon målt verdier opp mot ca 30 mg hvitt fosfor per kg tørr jord. Det var imidlertid flere kratre i samme område, noe som antagelig bidro til høyere verdier enn normalt for nærområdet til ett krater fra én detonasjon.

Ut fra disse målingene av hvitt fosfor i jordprøver og nevnte observasjoner tyder det på at det er i nedslagskratre som ikke tørker ut at rester av hvitt fosfor kan bli liggende over tid i vesentlige mengder, og dermed kan utgjøre en miljømessig risiko.



Figur 5.33 Bit av hvitt fosfor i krater etter detonasjon av artillerigranat som selvantenner når den tas opp og blir eksponert for luft

### 5.2.7 Luftprøver – artilleridetonasjon

Ut fra videomaterialet som ble tatt under detonasjonene ser en tydelig at røykskyen fra alle detonasjonene treffer luftprøvetakerne. I og med at den gjennomsnittlige vindhastigheten er rundt 5 m/s driver røykskyen relativt fort forbi luftprøvetakerne. Ut fra bildemateriale og observasjoner er det estimert at luftprøvetakerne blir eksponert for røyk i 3-4 minutter for hver detonasjon.

Det ble registrert hvitt fosfor over deteksjonsgrensen i to av de fire luftprøvetakerne. Den høyeste konsentrasjonen av hvitt fosfor ble registrert i prøvetakeren som stod nærmest detonasjonspunktet (omkring 20 m fra detonasjonspunkt). Konsentrasjonen av hvitt fosfor ble her registrert til  $9,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  luft (Tabell 5.14).

Avstand fra detonasjonspunktet	Konsentrasjon av hvitt fosfor ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Luftprøve 20 m	9,1
Luftprøve 40 m	< 0,7
Luftprøve 50 m, venstre	2,2
Luftprøve 50 m, høyre	< 0,7

Tabell 5.14 Konsentrasjon av hvitt fosfor i luft under røykutvikling etter detonasjon av artillerigranater

Som nevnt i kapittel 5.1.7 er den administrative normen for hvitt fosfor i arbeidsatmosfære satt til  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  luft (9). Hvis en person med luftinntak på 100 liter/minutt er eksponert for røykskyen i 10 minutter, betyr dette at eksponeringen for hvitt fosfor er  $9,1 \mu\text{g}$ .

Ut fra de målinger som er gjort er det klart at nivået av hvitt fosfor i røyken som dannes etter detonasjon av artillerigranater ligger langt under det som er satt som administrativ norm for arbeidsatmosfære. Et opphold i røyken i 10 minutter vil gi en ubetydelig eksponering for hvitt fosfor. Det er derfor meget lite sannsynlig at hvitt fosfor vil utgjøre noen helserisiko ved kortvarige opphold i røyken fra en artillerigranat.

Den maksimale konsentrasjonen av totalfosfor i prøvetakerne ble registrert til  $2,4 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  luft (Tabell 5.15). Dersom man antar at mengden totalfosfor som er kvantifisert utelukkende kommer fra fosforsyre ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), så vil den maksimale konsentrasjonen av fosforsyre være  $7,4 \text{ mg}/\text{m}^3$  luft i røykskyen. Som nevnt i kapittel 5.1.7 er den administrative normen for fosforsyre i arbeidsatmosfære satt til  $1 \text{ mg}/\text{m}^3$  i Norge (9). I perioder på 15 minutter kan denne normen overskrides med 200 %, noe som medfører at kortvarig eksponering over  $3 \text{ mg}/\text{m}^3$  kan gi helseskader. Den målte konsentrasjonen av fosforsyre i røykskyen er over administrativ norm. For å hindre at helseskade skal oppstå bør personell unngå å bli eksponert for denne røyken. Innånding av fosforsyre kan gi etseskader i luftveiene med mulighet for dannelse av lungeødem.

<i>Avstand fra detonasjonspunkt</i>	<i>Konsentrasjonen av totalfosfor (<math>\mu\text{g}/\text{dm}^3</math>)</i>
Luftprøve 20 m	2,4
Luftprøve 40 m	0,2
Luftprøve 50 m venstre	0,8
Luftprøve 50 m høyre	0,5

*Tabell 5.15 Konsentrasjon av totalfosfor i luft under røykutvikling etter detonasjon av artillerigranater*

Det kan også være andre forbindelser enn hvitt fosfor og fosforsyre i røyken som er giftige. Det er mulig at det er små mengder av de giftige forbindelsene fosfin ( $\text{PH}_3$ ) og fosfortrioksid ( $\text{P}_2\text{O}_6$ ) i røyken. Disse dannes ofte når hvitt fosfor brenner med liten tilgang til oksygen. Bruk av Forsvarets vernemaske vil beskytte mot både fosforsyre og fosfortrioksid, men vil høyst sannsynlig ikke beskytte mot fosfin. Dersom det er nødvendig å oppholde seg i røyken anbefales det derfor å beskytte seg ved å ta på Forsvarets vernemaske.

### 5.2.8 Oppsummering av resultater – artilleridetonasjon

Resultater viser at det ble funnet ureagert hvitt fosfor helt ut til 80 m, som var ytterste plassering av kar. Omtrent all hvitt fosfor (ca 98 %) vil havne innenfor 20 m fra detonasjonspunktet ved en detonasjon. Det ble registrert merker etter omdannet hvitt fosfor på bakken 121 m fra detonasjonspunktet i forlengelsen av plastfolien. En vurdering av bildematerialet viser imidlertid at brennende biter av hvitt fosfor lander ut til ca 145 m fra detonasjonspunktet. Størrelsesfraksjonen på  $>2$  mm dominerer fra 0-20 m, mens andelen av fraksjonen på 0,63-2 mm øker med økende avstand fra detonasjonspunktet og ser ut til å dominere fra 30 m og utover. Det ble funnet betydelige mengder av hvitt fosfor i detonasjonskratrene på HFK-sletta

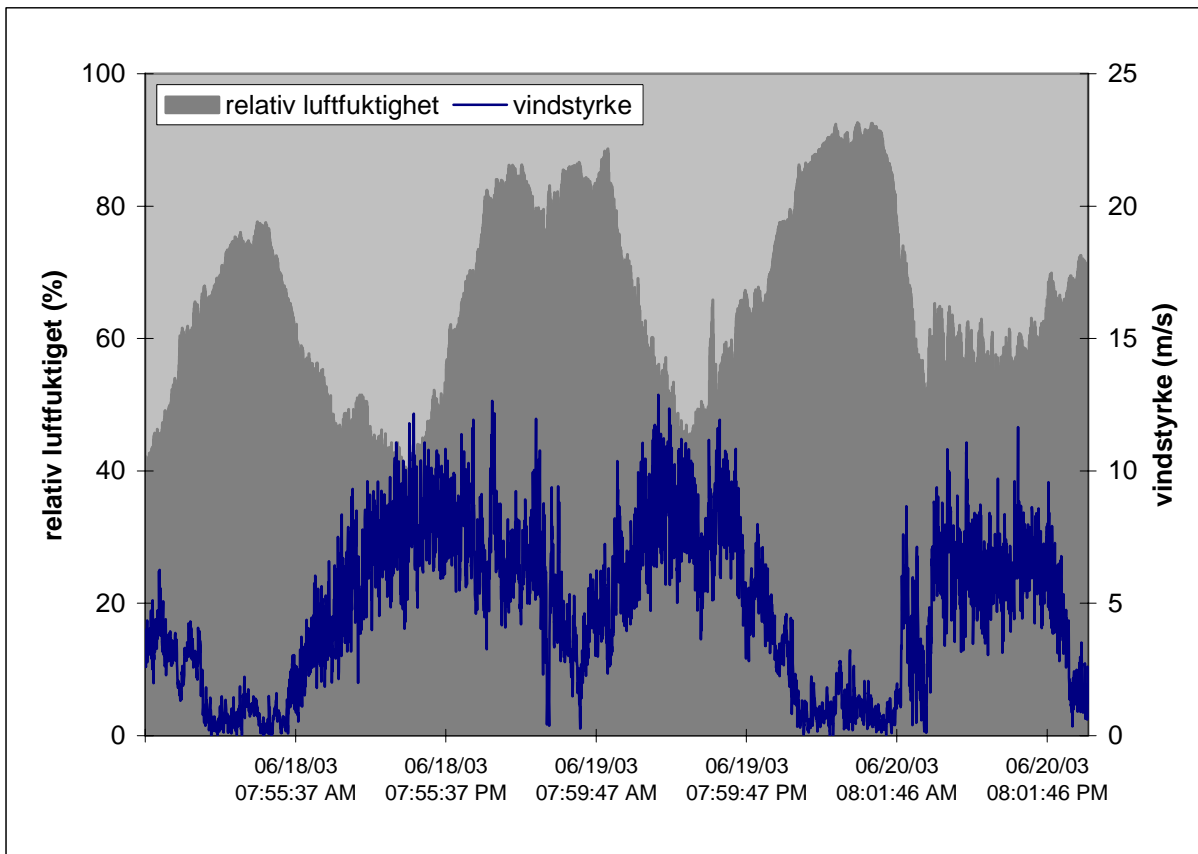
etter detonasjon av artillerigranater, men dette var nedbrutt etter ca to måneder. I kratre 4 dager etter skyting i Svånådalen ble det funnet ca 8 g hvitt fosfor per kg tørr jord. I tillegg ble det i ett krater funnet en bit ureagert hvitt fosfor med anslått størrelse på 10x7x7 cm og masse på 900 g. I røyken fra artilleridetonasjonene ble det kun påvist spormengder av hvitt fosfor. Det ble påvist totalfosfor som stammer fra fosforsyre i røyken, og målte verdier lå 8 ganger høyere enn administrativ norm for arbeidsatmosfære.

### 5.3 Værdata for HFK-sletta

Figur 5.34 viser alle værdata ved tidspunktet for detonasjon av de tre bombekastergranatene og av de tre artillerigranatene. Relativ luftfuktighet har innvirkning på mengden av røyk som dannes ved detonasjon av granater med hvitt fosfor. Detonasjon i høy luftfuktighet vil føre til en mer fullstendig forbrenning av hvitt fosfor og gi større røykutvikling enn ved lav luftfuktighet, siden fuktighet i luften trengs for å danne fosforsyre som er det endelige forbrenningsproduktet (12). Relativ luftfuktighet ved detonasjonstidspunktet var 46 % for bombekaster og 66 % for artilleri. Røykutviklingen ville antagelig vært dobbel så stor ved luftfuktighet på over 90 % (12). Vindstyrken ved detonasjonstidspunktene var ca 5 m/s i retning sektor A, noe som gjorde at røyken spredte seg forholdsvis raskt med vindretningen. Figur 5.35 viser relativ luftfuktighet og vindstyrke i en tredagersperiode inkludert detonasjonstidspunktene. Luftfuktigheten varierer fra 40 % til 90 % i denne perioden og vindstyrken er målt opp til 13 m/s.

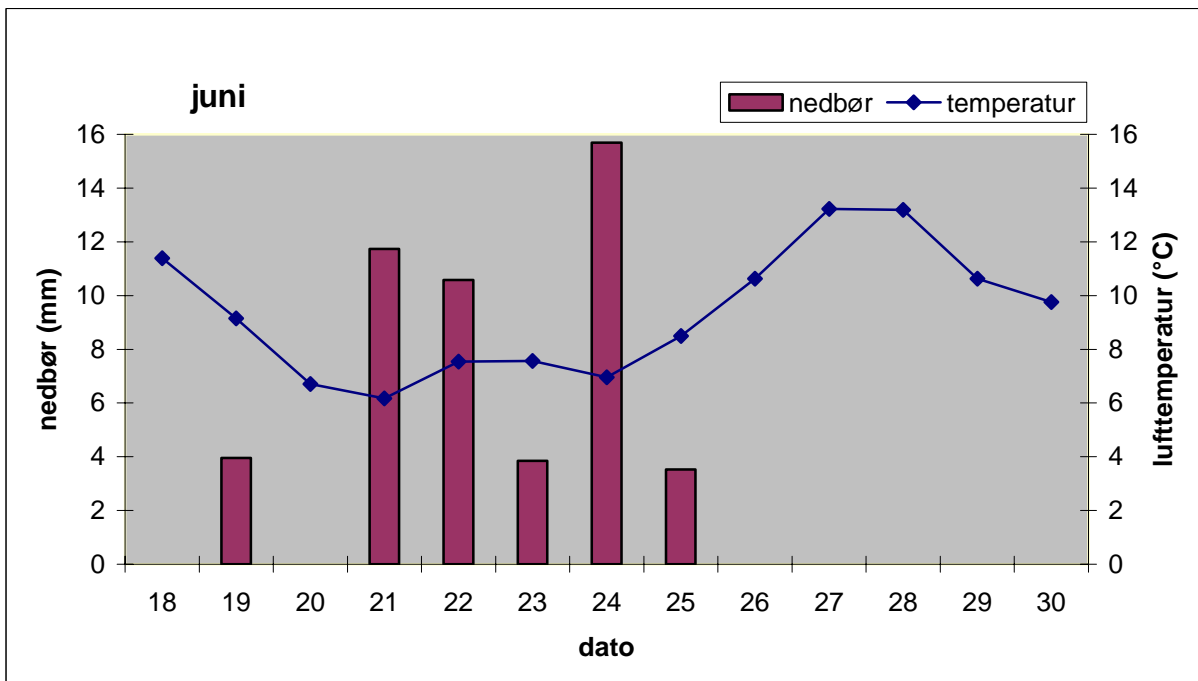
	Temperatur (°C)	Relativ luftfuktighet (%)	Vindstyrke (m/s)	Vindretning (°)	Nedbør (mm)	Sol- innstråling (W/m <sup>2</sup> )
<b>BK</b>						
18.06.03 11:23-11:58	13,6	45,8	4,9	222 (SV)	0	503
<b>ART</b>						
19.06.03 20:24-21:06	8,4	65,5	5,7	235 (SV)	0	94

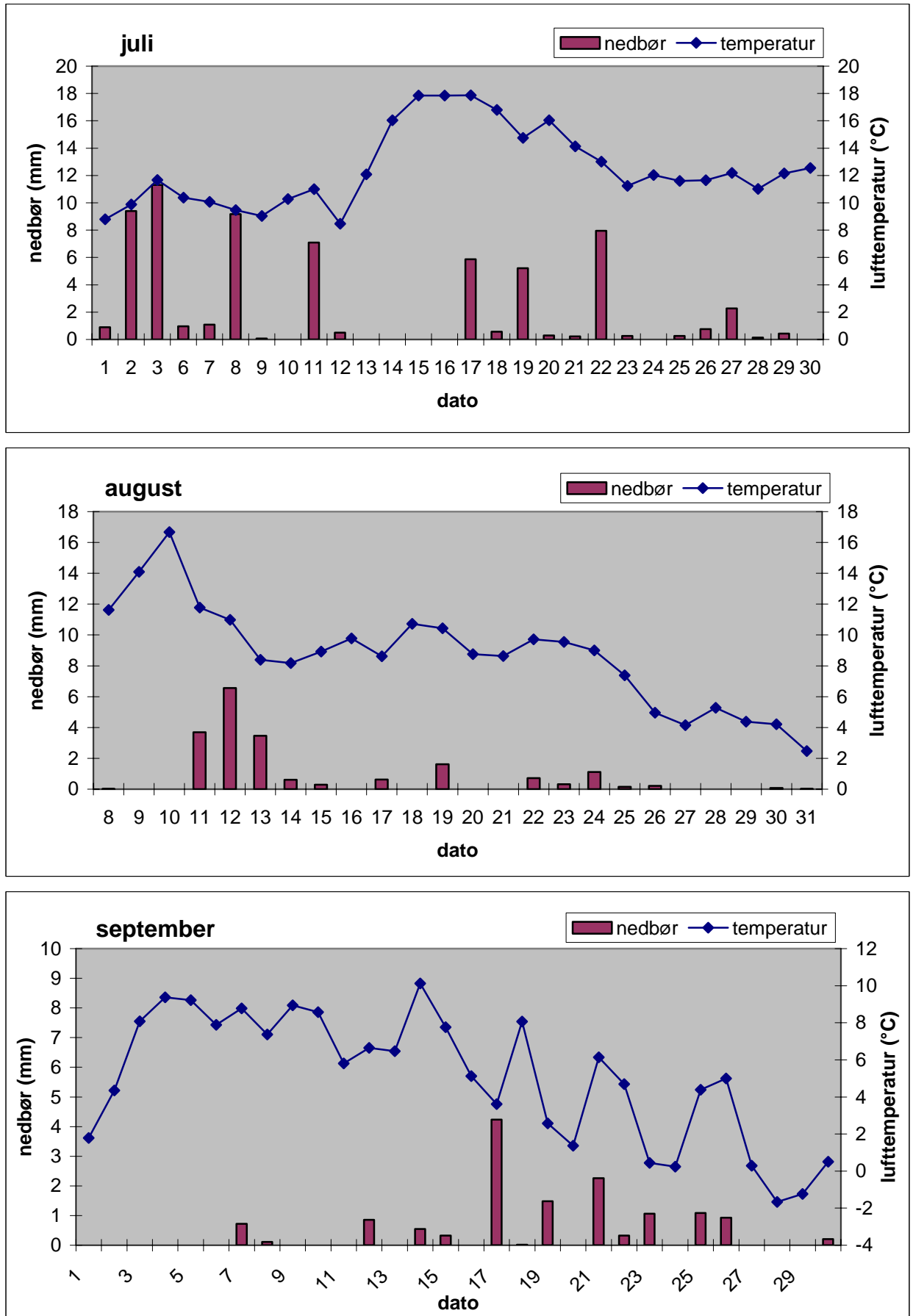
Figur 5.34 Værdata ved detonasjonstidspunktene for bombekaster- og artillerigranater



Figur 5.35 Relativ luftfuktighet og vindstyrke på HFK-sletta 18 - 20 juni 2003

Figur 5.36 viser nedbør og temperatur på HFK-sletta fra 18 juni til 30 september. I siste del av juni og i juli var det en relativ fuktig værtype med totalt 61 mm nedbør, noe som kan hindre nedbrytingen av hvitt fosfor på bakken og i jorda. Temperaturen vil også ha noe innvirkning på nedbrytingshastighet i jord og vann. Gjennomsnittstemperaturen i denne perioden var 11,4°C. I august og september var det en tørrere og kaldere værtype med totalt 37 mm nedbør og med en gjennomsnittstemperatur på 6,7°C.





Figur 5.36 Nedbør og temperatur på HFK-sletta fra juni til september 2003

## 5.4 Eksempel på konsekvenser ved eventuell bom på målområdet

Den miljømessige risikoen ved benyttelse av røykammunisjon med hvitt fosfor etter Forsvarets retningslinjer vil være lav, men en vurdering av konsekvenser ved en eventuell bom på målområdet vil bli gitt i dette kapittelet. Det er beskrevet mulige konsekvenser ved detonasjon i de minst gunstige nedslagsområder miljømessig sett.

### 5.4.1 Detonasjon i og ved tjern

En bom på målområdet der detonasjonen av en granat med hvitt fosfor finner sted på vannoverflaten i et tjern/vann, vil være det minst gunstige scenarioet sett ut fra et miljøperspektiv. Dette vil medføre at større mengder hvitt fosfor vil havne uforbrent i vann og bli liggende der i lengre tid, noe som vil kunne utgjøre en betydelig miljørisiko.

I kapittel 5.2.1 ble det beregnet at ca 43 % av mengden hvitt fosfor i artillerigranatene landet ureagert på bakken, hvorav 98 % landet innenfor 20 m fra detonasjonspunktet. I tillegg finner man større mengder hvitt fosfor i kratrene ved artilleriskyting. En detonasjon på en vannoverflate vil arte seg tilnærmet på samme måte som på tørr grunn, og ved skyting vil granaten ha en høy hastighet rettet nedover og fremover i detonasjonsøyeblikket slik at mindre hvitt fosfor vil spres opp i lufta enn ved detonasjonene i feltforsøket. Derfor kan minst 3,5 kg hvitt fosfor forventes å havne uforbrent i vannet ved detonasjon av én artillerigranat med 7,1 kg hvitt fosfor i et tjern med vann minst 20 meter fra detonasjonspunktet i alle retninger.

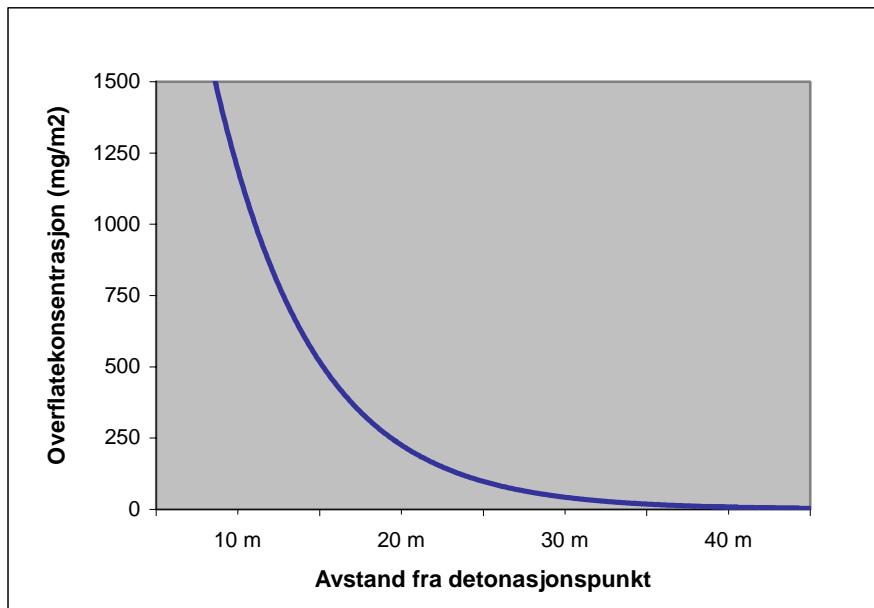
I stillestående vann er oppløsningshastigheten av hvitt fosfor  $0,1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  per time (3). Hvis bitene fra detonasjonen regnes som kuleformede med gjennomsnittlig diameter på 1 mm vil halveringstiden for en gitt mengde hvitt fosfor i stillestående vann være i overkant av 20 år. Selv 20 år etter detonasjon av én artillerigranat i vann, vil sannsynlig minst 1,5 kg hvitt fosfor fortsatt ligge ureagert og det vil sannsynligvis ta godt over 100 år før alt hvitt fosfor er oppløst (5). Halveringstider ved så lave oppløsningshastigheter vil være unøyaktige siden oppløsningsprosessen også er avhengig av blant annet vanntemperatur. Derfor bør det antagelig konkluderes med at hvitt fosfor i stillestående vann blir liggende på ubestemt tid.

Ved detonasjon av en artillerigranat omkring 30 m fra kanten av et tjern med størrelse på  $1000 \text{ m}^2$ , vil det kunne havne omkring 40 g hvitt fosfor i tjernet ut fra overflatekonsentrasjoner beregnet i kapittel 5.2.1 og 5.2.2 på ca  $40 \text{ mg}/\text{m}^2$ . Figur 5.37 viser beregnet overflatekonsentrasjon av hvitt fosfor avhengig av avstanden fra et detonasjonspunkt. Data er basert på nedfall av hvitt fosfor funnet i presenningsbassengene som var strategisk plassert i forventet spredningsretning.

Ved detonasjon av en bombekastergranat med 0,71 kg hvitt fosfor i et tjern, vil kanskje opp mot 5 % av denne mengden forbli ureagert, dersom rester av hvitt fosfor i halepartiet inkluderes. Dette betyr at ca 35 g hvitt fosfor vil havne i tjernet etter detonasjon.

Ved detonasjon av en bombekastergranat mer enn 20 m fra en vannforekomst (tjern, myr, bekk) vil kun spormengder av hvitt fosfor bli liggende ureagert i vannforekomsten.





Figur 5.37 Overflatekonsentrasjon av hvitt fosfor avhengig av avstand fra detonasjonspunkt

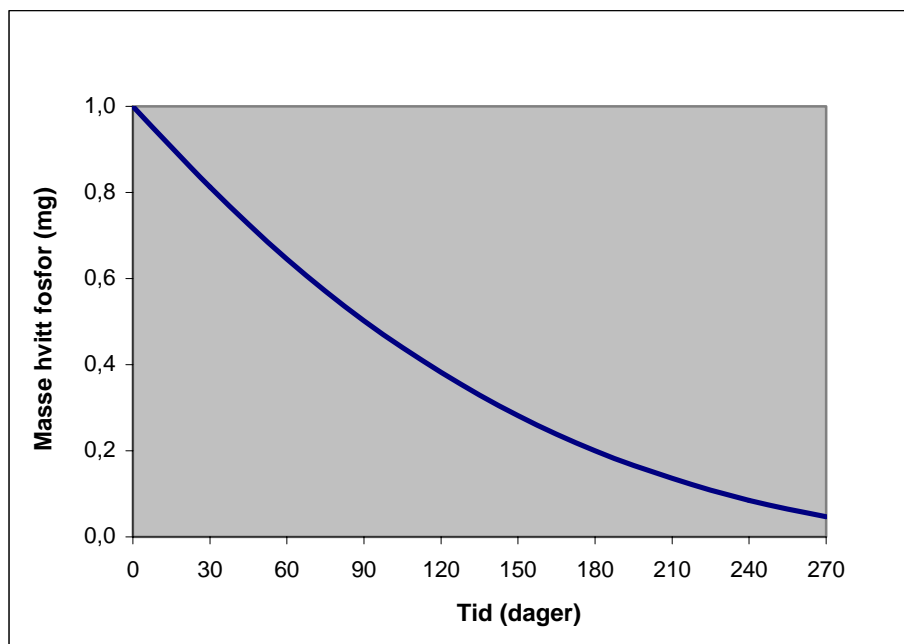
#### 5.4.2 Detonasjon i og ved myrområde

En bom på målområdet hvor granater med hvitt fosfor detonerer i et myrområde vil ha forskjellige miljømessige konsekvenser avhengig av vanninnholdet i jorda. I jord med høyt vanninnhold vil nedbrytingshastigheten for hvitt fosfor være lav, mens den i jord med lavt vanninnhold vil være relativt høy. Dette vil si at nedbrytingen av hvitt fosfor i myrområder hovedsakelig finner sted i perioder hvor myrområdene er tørket ut eller er umettet med vann. Ved detonasjon av granater med hvitt fosfor i et myrområde, vil hvitt fosfor som lander på vegetasjon over vannspeilet sannsynligvis nedbrytes relativt raskt. Der hvitt fosfor lander i vannpytter og i detonasjonskrateret der hvitt fosfor vil bli presset ned i myra, vil nedbrytingen skje langsomt i perioder hvor myra er mettet med vann. Det er estimert en nedbrytningstid for rester av hvitt fosfor etter detonasjon i myr, ut fra at myrområdet er umettet med vann to måneder i året. En partikkel med hvitt fosfor med diameter på 1 cm, i jord med porøsitet på ca 40 % og med vanninnhold på ca 30 %, oksideres fullstendig i løpet av ca 10 år (3). Hvis det fortsatt antas kuleformede partikler av hvitt fosfor med diameter på 1 mm, vil disse antagelig oksideres omkring 10 ganger raskere enn biter med diameter på 1 cm. Dette medfører at det i dette tilfellet antagelig vil ta ca 6 år før en gitt mengde hvitt fosfor er fullstendig nedbrutt i myrområdet. I Alaska har det blitt foretatt feltundersøkelser av nedbryting av hvitt fosfor i umettet jord (8). Resultater herfra beskriver at i løpet av fire måneder vil mengden hvitt fosfor være redusert med 30 % til 95 % avhengig av metningsgraden i jorda.

Ved detonasjon mer enn 20 m fra et myrområde vil nedbrytningstiden for hvitt fosfor som havner i myra fortsatt være ca 6 år, men for artillerigranater vil kun ca 2 % av mengden hvitt fosfor spres lengre enn 20 m. Det vil derfor være mindre enn 50 g hvitt fosfor som kan havne i myrområdet, og de miljømessige konsekvenser vil bli ubetydelige i forhold til en eventuell detonasjon av artillerigranat på vannspeilet til myra hvor ca 3,5 kg hvitt fosfor kan havne i myrområdet.

### 5.4.3 Detonasjon i bekk/elv

Hvis detonasjon av granater med hvitt fosfor finner sted i en elv eller en bekk, vil det kunne føre til at større mengder hvitt fosfor havner uforbrent i vannet, noe som kan utgjøre en betydelig miljørisiko. I rennende vann vil oppløsningshastigheten være ti til hundre ganger høyere enn i stille vann avhengig av blant annet vannføringen (3). Hvis det tas utgangspunkt i kuleformede biter med gjennomsnittlig partikkelstørrelse på 1 mm i diameter, så vil halveringstiden for en gitt mengde hvitt fosfor variere fra 3 måneder til 2,5 år (Figur 5.38). Mange observerte biter av hvitt fosfor har derimot flakform, og da vil halveringstiden til biter med diameter på 1 mm halveres ytterligere på grunn av lavere masse per bit.



Figur 5.38 Hurtigste nedbrytningstid i turbulent vann for kuleformede biter av hvitt fosfor med diameter på 1 mm (1 mg). Halveringstiden for bitene er 3 måneder

Ved detonasjon av en artillerigranat i en 2 m bred bekk, må man regne med at mesteparten av mengden ureagert hvitt fosfor fra detonasjonen kan havne i bekken. I kapittel 5.2.1 er det beregnet at ca 90 % av nedfallet med hvitt fosfor havner innenfor 5 m fra detonasjonspunktet, i tillegg til at nesten 90 % havner i forlengelsen av og mot skyteretningen. Dette medfører at hvis bekken er langsgående i skyteretningen, så vil antagelig 80 % av mengden ureagert hvitt fosfor havne i vannet. En artillerigranat med 7,1 kg hvitt fosfor hvor halvparten forbrennes vil kunne gi opp mot 3 kg hvitt fosfor i bekken, og etter 2,5 år kan det fremdeles ligge opp mot 1,5 kg hvitt fosfor der.

Ved detonasjon av en artillerigranat omkring 30 m fra en 2 m bred bekk med lengde på ca 60 m, er det mulig at opp til 5 g hvitt fosfor kan bli liggende i bekken.

Om bombekastergranater detonerer i en bekk/elv, vil det kunne medføre at opp til 20 gram hvitt fosfor kan bli liggende igjen i bekken etter detonasjon.

Det meste av hvitt fosfor som havner i vandig miljø vil legge seg i sedimentene, med en fordeling på ca 90 % i sedimentene og ca 10 % i vannmassene (13). Det kan derfor tenkes at det

i rennende vann transporteres partikler nedstrøms. Sedimenteringshastigheten for sandpartikler med diameter på 0,1 mm er ca 1 cm per sekund i stille vann (14). Sedimenteringshastigheten vil være lavere i turbulent vann og for partikler av hvitt fosfor vil den være enda noe lavere på grunn av egenvekten. Partikler av hvitt fosfor med diameter på 0,1 mm vil sannsynligvis også sedimentere forholdsvis raskt i turbulent vann og dermed ikke transporteres nedstrøms i betydelig grad. Partikler med diameter på 1 mm vil høyst sannsynlig sedimentere med en gang. Største kornstørrelse for sandpartikler som under vanlige forhold kan fraktes suspendert i en laminær vannstrøm, er nær 0,2 mm. Sporadiske og sterke turbulenspulser kan godt ta med seg langt større partikler opp i vannet, men de vil ganske raskt falle ut igjen (15). Ut fra egenvekten til hvitt fosfor i forhold til sand er det derfor liten sannsynlighet for at partikler av hvitt fosfor større enn 0,3 mm transporteres nedstrøms i vesentlig grad.

Tabell 5.16 oppsummerer nedbrytningstid for en gitt mengde hvitt fosfor i forskjellige miljø. Beregningene baserer seg på kuleformede biter av hvitt fosfor med diameter på 1 mm.

<i>Miljø</i>	<i>Eksempel</i>	<i>Nedbrytningstid</i>
Stillestående vann	Tjern, vann, innsjø	> 100 år
Turbulent vann	Bekk, elv	1 - 10 år
Myrområde	Myr – umettet 2 måneder i året	1 - 10 år
Jord - fuktig	Vanninnhold: 30 % Porøsitet: 40 %	~ 1 år

Tabell 5.16 Beregnet nedbrytningstid for hvitt fosfor i ulike miljø

## KONKLUSJON

Undersøkelsen i Hjerkins skytefelt er gjennomført slik at resultatene viser hvor mye hvitt fosfor som potensielt kan treffe bakken i uforbrent tilstand. Hvitt fosfor i denne tilstanden vil, dersom det treffer tørr bakke, fortsette å brenne slik at mesteparten omdannes til ufarlige forbindelser.

Spredningen av hvitt fosfor i forbindelse med detonasjon av både bombekastergranatene og artillerigranatene i feltundersøkelsen vurderes ut i fra fotografi og video til å være tilsvarende det som observeres ved skyting av granater. Spredningen i feltforsøkene på HFK-sletta gir noe mer utkast bakover enn det som er tilfellet ved skyting, men fragmentering og omfang av spredning ser ut til å være tilsvarende. Kratrene etter detonasjon av granater på den grusbelagte HFK-sletta er mindre i forhold til krater fra skyting i terrenget.

Som forventet og vist i tidligere studier vil hovedmengden av hvitt fosfor som lander på bakken, lande innenfor 20 meter fra detonasjonspunktet. Det er en relativ liten del av den totale mengden hvitt fosfor som treffer bakken i uforbrent tilstand fra bombekastergranater. Ved detonasjon av artillerigranater treffer imidlertid nesten halvparten av den totale mengden hvitt fosfor i granatene bakken i uforbrent tilstand. Dette tilsier at det bør settes strengere krav angående fuktighet i artilleriets nedslagsområder enn det som er nødvendig ved skyting med bombekastergranater.

Detonasjon av artillerigranater gir en jevn fordeling mellom de ulike størrelsesfraksjonene, mens detonasjon av bombekastergranater gir mest hvitt fosfor i fraksjonen mellom 0,63 mm til 2 mm og minst i den minste fraksjonen. Biter større enn 2 mm utgjør en større andel innenfor 20 m fra detonasjonspunktet, mens andelen av biter mellom 0,63 mm og 2 mm øker med økende avstand fra detonasjonspunktet og ser ut til å dominere ved lengre avstander for både bombekaster og artilleri.

Mengden totalfosfor i røyken fra artillerigranater med hvitt fosfor er så høy at en ikke bør oppholde seg i røyken uten tilstrekkelig beskyttelse.

Studier av bildemateriale og de kjemiske analysene tilsier at det ikke er spredning av hvitt fosfor til områder som ligger over 50 meter fra detonasjonspunktet for bombekastergranater og til områder som ligger over 150 meter fra detonasjonspunkt for artillerigranater. Det kan imidlertid være mulig å finne spor av hvitt fosfor utenfor disse avstandene i medvinds retning. Mengdene vil imidlertid være helt ubetydelige for miljøet og vil reduseres raskt på grunn av liten størrelse på partiklene. Avstander fra detonasjonspunkt som vurderes som sikre for miljøet med hensyn på spredningen av hvitt fosfor anses derfor å være 70 meter fra detonasjonen av bombekastergranater og 200 meter for artillerigranater.

Den miljømessige risikoen ved benyttelse av røykammunisjon med hvitt fosfor etter Forsvarets retningslinjer vil være lav. En eventuell bom på målområdet der detonasjonen finner sted i en vannforekomst, kan imidlertid føre til betydelige miljømessige konsekvenser ved at større mengder hvitt fosfor blir liggende på ubestemt tid..

Hovedutfordringen når det gjelder skyting med granater med hvitt fosfor er detonasjonskrateret. Undersøkelser fra Hjerkinnskytefelt og skytefelt i Alaska, USA viser at større mengder hvitt fosfor ofte kan bli liggende i detonasjonskrateret i lengre tid (8). Det er også observert i Hjerkinnskytefelt at kratrene delvis fylles med vann i perioder med nedbør, noe som vil redusere omdanningen av hvitt fosfor til ufarlige forbindelser. For bombekastergranater er det observert at halepartiet ofte blir presset ned i jorden. Dette kan ofte inneholde større mengder hvitt fosfor som kan bli liggende godt skjermet. For å redusere mengden av ureagert hvitt fosfor som blir liggende igjen i kratrene er det viktig at nedslagsområdene er så tørre som mulig, slik at nedbrytingen av hvitt fosfor kan skje raskt. Mengden ureagert hvitt fosfor i kraterområdet kan sannsynligvis også reduseres ved bruk av røykgranater med nærhetsbrannrør eller tidsbrannrør, og det anbefales derfor at enkle undersøkelser gjøres for å vurdere denne muligheten.

## APPENDIKS

### A.1 FFI-analyserapport

## Analyserapport – Hvitt fosfor

Oppdragsgiver: Forsvarsbygg

Antall prøver: 256

Adresse:

Mottatt dato: Sommer og høst 2003

Anmerkninger: Ingen

Analyserapporten gjelder følgende analyser:

Analyse-parameter	Metode-identitet	Omfattes av akkreditering	Måleområde	Usikkerhet, %
Hvitt fosfor	-	Nei	15 - 7500 ng	30

Denne analyserapporten består av i alt 6 sider, inkludert kromatogrammer. Analyserapporten gjelder analyse av prøvene slik de ble mottatt av FFI. Rapporten kan ikke gjengis i utdrag uten skriftlig godkjenning av FFI. Analysemetoden kan rekvireres fra FFI. Prøvene oppbevares i 2 måneder. Klagefrist på resultatene er satt til 1 måned.

Kjeller, 11 november 2003

Arnt Johnsen  
Forsker

## ANALYSE AV HVITT FOSFOR

Instrument: Gasskromatograf, Autosystem, Perkin Elmer med NPD til analyse av hvitt fosfor  
 Operatør: Arnt Johnsen og Edgar Søybe

Prøvenr	Beskrivelse	Prøvenr	Beskrivelse
03-280	BK Kar A1, > 2,00 mm	03-313	BK Kar A19 – A24, 0,63 - 2,00 mm
03-281	BK Kar A1, 0,63 - 2,00 mm	03-314	BK Kar A19 – A24, 0,10 - 0,63 mm
03-282	BK Kar A1, 0,10 - 0,63 mm	03-315	BK Kar A19 – A24, 0,002 - 0,10 mm
03-283	BK Kar A1, 0,002 - 0,10 mm	03-316	BK Kar B1 - B6, > 2,00 mm
03-284	BK Kar A2, > 2,00 mm	03-317	BK Kar B1 - B6, 0,63 - 2,00 mm
03-285	BK Kar A2, 0,63 - 2,00 mm	03-318	BK Kar B1 - B6, 0,10 - 0,63 mm
03-286	BK Kar A2, 0,10 - 0,63 mm	03-319	BK Kar B1 - B6, 0,002 - 0,10 mm
03-287	BK Kar A2, 0,002 - 0,10 mm	03-320	BK Kar B7 - B12, > 2,00 mm
03-288	BK Kar A3, > 2,00 mm	03-321	BK Kar B7 - B12, 0,63 - 2,00 mm
03-289	BK Kar A3, 0,63 - 2,00 mm	03-322	BK Kar B7 - B12, 0,10 - 0,63 mm
03-290	BK Kar A3, 0,10 - 0,63 mm	03-323	BK Kar B7 - B12, 0,002 - 0,10 mm
03-291	BK Kar A3, 0,002 - 0,10 mm	03-324	BK Kar B13 - B18, > 2,00 mm
03-292	BK Kar A4, > 2,00 mm	03-325	BK Kar B13 - B18, 0,63 - 2,00 mm
03-293	BK Kar A4, 0,63 - 2,00 mm	03-326	BK Kar B13 - B18, 0,10 - 0,63 mm
03-294	BK Kar A4, 0,10 - 0,63 mm	03-327	BK Kar B13 - B18, 0,002 - 0,10 mm
03-295	BK Kar A4, 0,002 - 0,10 mm	03-328	BK Kar B19 - B24, > 2,00 mm
03-296	BK Kar A5, > 2,00 mm	03-329	BK Kar B19 – B24, 0,63 - 2,00 mm
03-297	BK Kar A5, 0,63 - 2,00 mm	03-330	BK Kar B19 – B24, 0,10 - 0,63 mm
03-298	BK Kar A5, 0,10 - 0,63 mm	03-331	BK Kar B19 – B24, 0,002 - 0,10 mm
03-299	BK Kar A5, 0,002 - 0,10 mm	03-332	BK Kar C1 - C6, > 2,00 mm
03-300	BK Kar A6, > 2,00 mm	03-333	BK Kar C1 - C6, 0,63 - 2,00 mm
03-301	BK Kar A6, 0,63 - 2,00 mm	03-334	BK Kar C1 - C6, 0,10 - 0,63 mm
03-302	BK Kar A6, 0,10 - 0,63 mm	03-335	BK Kar C1 - C6, 0,002 - 0,10 mm
03-303	BK Kar A6, 0,002 - 0,10 mm	03-336	BK Kar C7 - C12, > 2,00 mm
03-304	BK Kar A7 - A12, > 2,00 mm	03-337	BK Kar C7 - C12, 0,63 - 2,00 mm
03-305	BK Kar A7 - A12, 0,63 - 2,00 mm	03-338	BK Kar C7 - C12, 0,10 - 0,63 mm
03-306	BK Kar A7 - A12, 0,10 - 0,63 mm	03-339	BK Kar C7 - C12, 0,002 - 0,10 mm
03-307	BK Kar A7 - A12, 0,002 - 0,10 mm	03-340	BK Kar C13 - C18, > 2,00 mm
03-308	BK Kar A13 - A15, > 2,00 mm	03-341	BK Kar C13 - C18, 0,63 - 2,00 mm
03-309	BK Kar A13 - A15, 0,63 - 2,00 mm	03-342	BK Kar C13 - C18, 0,10 - 0,63 mm
03-310	BK Kar A13 - A15, 0,10 - 0,63 mm	03-343	BK Kar C13 - C18, 0,002 - 0,10 mm
03-311	BK Kar A13 - A15, 0,002 - 0,10 mm	03-344	BK Kar C19 - C24, > 2,00 mm
03-312	BK Kar A19 - A24, > 2,00 mm	03-345	BK Kar C19 – C24, 0,63 - 2,00 mm

<b>Prøvenr</b>	<b>Beskrivelse</b>	<b>Prøvenr</b>	<b>Beskrivelse</b>
03-346	BK Kar C19 – C24, 0,10 - 0,63 mm	03-380	ART Kar A5, > 2,00 mm
03-347	BK Kar C19 – C24, 0,002 - 0,10 mm	03-381	ART Kar A5, 0,63 - 2,00 mm
03-348	BK Kar D1 - D6, > 2,00 mm	03-382	ART Kar A5, 0,10 - 0,63 mm
03-349	BK Kar D1 - D6, 0,63 - 2,00 mm	03-383	ART Kar A5, 0,002 - 0,10 mm
03-350	BK Kar D1 - D6, 0,10 - 0,63 mm	03-384	ART Kar A6, > 2,00 mm
03-351	BK Kar D1 - D6, 0,002 - 0,10 mm	03-385	ART Kar A6, 0,63 - 2,00 mm
03-352	BK Kar D7 - D12, > 2,00 mm	03-386	ART Kar A6, 0,10 - 0,63 mm
03-353	BK Kar D7 - D12, 0,63 - 2,00 mm	03-387	ART Kar A6, 0,002 - 0,10 mm
03-354	BK Kar D7 - D12, 0,10 - 0,63 mm	03-388	ART Kar A7 - A12, > 2,00 mm
03-355	BK Kar D7 - D12, 0,002 - 0,10 mm	03-389	ART Kar A7 - A12, 0,63 - 2,00 mm
03-356	BK Kar D13 - D18, > 2,00 mm	03-390	ART Kar A7 - A12, 0,10 - 0,63 mm
03-357	BK Kar D13 - D18, 0,63 - 2,00 mm	03-391	ART Kar A7 - A12, 0,002 - 0,10 mm
03-358	BK Kar D13 - D18, 0,10 - 0,63 mm	03-392	ART Kar A13 - A18, > 2,00 mm
03-359	BK Kar D13 - D18, 0,002 - 0,10 mm	03-393	ART Kar A13 - A18, 0,63 - 2,00 mm
03-360	BK Kar D19 - D24, > 2,00 mm	03-394	ART Kar A13 - A18, 0,10 - 0,63 mm
03-361	BK Kar D19 – D24, 0,63 - 2,00 mm	03-395	ART Kar A13 - A18, 0,002 - 0,10 mm
03-362	BK Kar D19 – D24, 0,10 - 0,63 mm	03-396	ART Kar A19 - A24, > 2,00 mm
03-363	BK Kar D19 – D24, 0,002 - 0,10 mm	03-397	ART Kar A19 – A24, 0,63 - 2,00 mm
03-364	ART Kar A1, > 2,00 mm	03-398	ART Kar A19 – A24, 0,10 - 0,63 mm
03-365	ART Kar A1, 0,63 - 2,00 mm	03-399	ART Kar A19 – A24, 0,002 - 0,10 mm
03-366	ART Kar A1, 0,10 - 0,63 mm	03-400	ART Kar B1 - B6, > 2,00 mm
03-367	ART Kar A1, 0,002 - 0,10 mm	03-401	ART Kar B1 - B6, 0,63 - 2,00 mm
03-368	ART Kar A2, > 2,00 mm	03-402	ART Kar B1 - B6, 0,10 - 0,63 mm
03-369	ART Kar A2, 0,63 - 2,00 mm	03-403	ART Kar B1 - B6, 0,002 - 0,10 mm
03-370	ART Kar A2, 0,10 - 0,63 mm	03-404	ART Kar B7 - B12, > 2,00 mm
03-371	ART Kar A2, 0,002 - 0,10 mm	03-405	ART Kar B7 - B12, 0,63 - 2,00 mm
03-372	ART Kar A3, > 2,00 mm	03-406	ART Kar B7 - B12, 0,10 - 0,63 mm
03-373	ART Kar A3, 0,63 - 2,00 mm	03-407	ART Kar B7 - B12, 0,002 - 0,10 mm
03-374	ART Kar A3, 0,10 - 0,63 mm	03-408	ART Kar B13 - B18, > 2,00 mm
03-375	ART Kar A3, 0,002 - 0,10 mm	03-409	ART Kar B13 - B18, 0,63 - 2,00 mm
03-376	ART Kar A4, > 2,00 mm	03-410	ART Kar B13 - B18, 0,10 - 0,63 mm
03-377	ART Kar A4, 0,63 - 2,00 mm	03-411	ART Kar B13 - B18, 0,002 - 0,10 mm
03-378	ART Kar A4, 0,10 - 0,63 mm	03-412	ART Kar B19 - B24, > 2,00 mm
03-379	ART Kar A4, 0,002 - 0,10 mm	03-413	ART Kar B19 – B24, 0,63 - 2,00 mm



<b>Prøvenr</b>	<b>Beskrivelse</b>	<b>Prøvenr</b>	<b>Beskrivelse</b>
03-414	ART Kar B19 – B24, 0,10 - 0,63 mm	03-447	ART Kar D19 – D24, 0,002 - 0,10 mm
03-415	ART Kar B19 – B24, 0,002 - 0,10 mm	03-448	BK Kar 1, > 2,00 mm
03-416	ART Kar C1 - C6, > 2,00 mm	03-449	BK Kar 1, 0,63 - 2,00 mm
03-417	ART Kar C1 - C6, 0,63 - 2,00 mm	03-450	BK Kar 1, 0,10 - 0,63 mm
03-418	ART Kar C1 - C6, 0,10 - 0,63 mm	03-451	BK Kar 2, > 2,00 mm
03-419	ART Kar C1 - C6, 0,002 - 0,10 mm	03-452	BK Kar 2, 0,63 - 2,00 mm
03-420	ART Kar C7 - C12, > 2,00 mm	03-453	BK Kar 2, 0,10 - 0,63 mm
03-421	ART Kar C7 - C12, 0,63 - 2,00 mm	03-454	BK Kar 3, > 2,00 mm
03-422	ART Kar C7 - C12, 0,10 - 0,63 mm	03-455	BK Kar 3, 0,63 - 2,00 mm
03-423	ART Kar C7 - C12, 0,002 - 0,10 mm	03-456	BK Kar 3, 0,10 - 0,63 mm
03-424	ART Kar C13 - C18, > 2,00 mm	03-457	BK Kar 4, > 2,00 mm
03-425	ART Kar C13 - C18, 0,63 - 2,00 mm	03-458	BK Kar 4, 0,63 - 2,00 mm
03-426	ART Kar C13 - C18, 0,10 - 0,63 mm	03-459	BK Kar 4, 0,10 - 0,63 mm
03-427	ART Kar C13 - C18, 0,002 - 0,10 mm	03-460	BK Kar 5, > 2,00 mm
03-428	ART Kar C19 - C24, > 2,00 mm	03-461	BK Kar 5, 0,63 - 2,00 mm
03-429	ART Kar C19 – C24, 0,63 - 2,00 mm	03-462	BK Kar 5, 0,10 - 0,63 mm
03-430	ART Kar C19 – C24, 0,10 - 0,63 mm	03-463	BK Kar 6, > 2,00 mm
03-431	ART Kar C19 – C24, 0,002 - 0,10 mm	03-464	BK Kar 6, 0,63 - 2,00 mm
03-432	ART Kar D1 - D6, > 2,00 mm	03-465	BK Kar 6, 0,10 - 0,63 mm
03-433	ART Kar D1 - D6, 0,63 - 2,00 mm	03-466	ART Kar 1, > 2,00 mm
03-434	ART Kar D1 - D6, 0,10 - 0,63 mm	03-467	ART Kar 1, 0,63 - 2,00 mm
03-435	ART Kar D1 - D6, 0,002 - 0,10 mm	03-468	ART Kar 1, 0,10 - 0,63 mm
03-436	ART Kar D7 - D12, > 2,00 mm	03-469	ART Kar 2, > 2,00 mm
03-437	ART Kar D7 - D12, 0,63 - 2,00 mm	03-470	ART Kar 2, 0,63 - 2,00 mm
03-438	ART Kar D7 - D12, 0,10 - 0,63 mm	03-471	ART Kar 2, 0,10 - 0,63 mm
03-439	ART Kar D7 - D12, 0,002 - 0,10 mm	03-472	ART Kar 3, > 2,00 mm
03-440	ART Kar D13 - D18, > 2,00 mm	03-473	ART Kar 3, 0,63 - 2,00 mm
03-441	ART Kar D13 - D18, 0,63 - 2,00 mm	03-474	ART Kar 3, 0,10 - 0,63 mm
03-442	ART Kar D13 - D18, 0,10 - 0,63 mm	03-475	ART Kar 4, > 2,00 mm
03-443	ART Kar D13 - D18, 0,002 - 0,10 mm	03-476	ART Kar 4, 0,63 - 2,00 mm
03-444	ART Kar D19 - D24, > 2,00 mm	03-477	ART Kar 4, 0,10 - 0,63 mm
03-445	ART Kar D19 – D24, 0,63 - 2,00 mm	03-478	ART Kar 5, > 2,00 mm
04-446	ART Kar D19 – D24, 0,10 - 0,63 mm	03-479	ART Kar 5, 0,63 - 2,00 mm

Prøvenr	Beskrivelse	Prøvenr	Beskrivelse
03-480	BK Kar 5, 0,10 - 0,63 mm	03-514	Jordprøve J0, 21 juli 2003
03-481	BK Kar 6, > 2,00 mm	03-515	Jordprøve S6 BK krater, Vesleknatten, 21 juli 2003
03-482	BK Kar 6, 0,63 - 2,00 mm	03-516	Jordprøve S7 BK krater, Vesleknatten, 21 juli 2003
03-483	BK Kar 6, 0,10 - 0,63 mm	03-527	Jordprøve 1 BK krater, Vesleknatten, 25 august 2003
03-484	BK luftprøve 20 m	03-528	Jordprøve 2 BK krater, Vesleknatten, 25 august 2003
03-485	BK luftprøve 40 m	03-529	Jordprøve 3 BK krater, Vesleknatten, 25 august 2003
03-486	BK luftprøve 50 m venstre	03-530	Jordprøve J0, 25 august 2003
03-487	BK luftprøve 50 m høyre	03-531	Jordprøve J1, 25 august 2003
03-488	ART luftprøve 20 m	03-532	Jordprøve J2, 25 august 2003
03-489	ART luftprøve 40 m	03-533	Jordprøve J3, 25 august 2003
03-490	ART luftprøve 50 m venstre	03-534	Jordprøve J4, 25 august 2003
03-491	ART luftprøve 50 m høyre	03-535	Jordprøve J5, 25 august 2003
03-498	Jordprøve S1 BK krater, Vesleknatten, 16 juni 2003	03-551	Jordprøve ART krater 1, hel bøtte, Svånådalen, 30 aug 2003
03-499	Jordprøve S2 BK krater, Vesleknatten, 16 juni 2003	03-552	Jordprøve ART krater 2, hel bøtte, Svånådalen, 30 aug 2003
03-500	Jordprøve S3 BK krater, Vesleknatten, 16 juni 2003	03-553	Jordprøve ART krater 1, nede i kratret, Svånådalen, 30 aug 2003
03-501	Jordprøve S4 BK krater, Vesleknatten, 16 juni 2003	03-554	Jordprøve ART krater 1, utenfor kratret, Svånådalen, 30 aug 2003
03-502	Jordprøve S5 BK krater, Vesleknatten, 16 juni 2003	03-555	Jordprøve ART krater 2, nede i kratret, Svånådalen, 30 aug 2003
03-503	Jordprøve J0, 19 juni 2003	03-556	Jordprøve ART krater 2, utenfor kratret, Svånådalen, 30 aug 2003
03-504	Jordprøve J1, 19 juni 2003	03-610	Jordprøve ART krater 1, nede i kratret, Svånådalen, 2 okt 2003
03-505	Jordprøve J2, 19 juni 2003	03-611	Jordprøve ART krater 1, utenfor kratret i skyteretning, Svånådalen, 2 okt 2003
03-506	Jordprøve J3, 19 juni 2003	03-612	Jordprøve ART krater 1, utenfor kratret i skyteretning, Svånådalen, 2 okt 2003
03-507	Jordprøve J4, 19 juni 2003	03-613	Jordprøve ART krater 1, utenfor kratret i skyteretning, Svånådalen, 2 okt 2003
03-508	Jordprøve J5, 19 juni 2003	03-614	Jordprøve ART krater 1, utenfor kratret i skyteretning, Svånådalen, 2 okt 2003
03-509	Vann fra Grisungbekken, 16 juni 2003	03-615	Jordprøve ART krater 2, nede i kratret, Svånådalen, 2 okt 2003
03-510	Jordprøve J2, 21 juli 2003	03-616	Jordprøve ART krater 2, utenfor kratret i skyteretning, Svånådalen, 2 okt 2003
03-511	Jordprøve J3, 21 juli 2003	03-617	Jordprøve ART krater 2, utenfor kratret i skyteretning, Svånådalen, 2 okt 2003
03-512	Jordprøve J4, 21 juli 2003	03-618	Jordprøve ART krater 2, utenfor kratret i skyteretning, Svånådalen, 2 okt 2003
03-513	Jordprøve J5, 21 juli 2003	03-619	Jordprøve ART krater 2, utenfor kratret i skyteretning, Svånådalen, 2 okt 2003

Prøvenr	µg hvitt fosfor	Prøvenr	µg hvitt fosfor	Prøvenr	µg hvitt fosfor
03-280	7200	03-313	<0,05	03-346	<0,05
03-281	11000	03-314	<0,05	03-347	<0,05
03-282	4900	03-315	<0,05	03-348	3700
03-283	15	03-316	150	03-349	25000
03-284	7	03-317	17000	03-350	22000
03-285	2700	03-318	6100	03-351	2900
03-286	1500	03-319	3	03-352	2
03-287	68	03-320	40	03-353	5
03-288	6400	03-321	2	03-354	2
03-289	14000	03-322	3	03-355	<0,05
03-290	3000	03-323	<0,05	03-356	<0,05
03-291	220	03-324	2	03-357	<0,05
03-292	3	03-325	3	03-358	<0,05
03-293	3700	03-326	<0,05	03-359	290
03-294	360	03-327	<0,05	03-360	<0,05
03-295	<0,05	03-328	2	03-361	<0,05
03-296	0,6	03-329	<0,05	03-362	<0,05
03-297	4300	03-330	<0,05	03-363	<0,05
03-298	530	03-331	2	03-364	7800000
03-299	<0,05	03-332	33000	03-365	1600000
03-300	5	03-333	59000	03-366	420000
03-301	14000	03-334	36000	03-367	710000
03-302	7100	03-335	2800	03-368	820000
03-303	3	03-336	<0,05	03-369	6100000
03-304	<0,05	03-337	<0,05	03-370	760000
03-305	6400	03-338	<0,05	03-371	3200000
03-306	470	03-339	<0,05	03-372	910000
03-307	<0,05	03-340	<0,05	03-373	1100000
03-308	<0,05	03-341	<0,05	03-374	200000
03-309	<0,05	03-342	<0,05	03-375	53000
03-310	<0,05	03-343	<0,05	03-376	1500
03-311	<0,05	03-344	<0,05	03-377	35000
03-312	<0,05	03-345	<0,05	03-378	39000

Prøvenr	µg hvitt fosfor	Prøvenr	µg hvitt fosfor	Prøvenr	µg hvitt fosfor
03-379	150	03-412	<0,05	03-445	3
03-380	27000	03-413	3000	04-446	120
03-381	16000	03-414	1400	03-447	<0,05
03-382	16000	03-415	0,4	03-448	14000
03-383	11	03-416	12000000	03-449	380000
03-384	55000	03-417	10000000	03-450	160000
03-385	82000	03-418	14000000	03-451	39000
03-386	260000	03-419	15000000	03-452	97000
03-387	140	03-420	2	03-453	13000
03-388	12000	03-421	2	03-454	16
03-389	170000	03-422	4	03-455	7300
03-390	86000	03-423	7200	03-456	190
03-391	330	03-424	2	03-457	4
03-392	4700	03-425	590	03-458	190
03-393	3700	03-426	5	03-459	5
03-394	2300	03-427	18	03-460	860000
03-395	0,2	03-428	2	03-461	420000
03-396	<0,05	03-429	710	03-462	200000
03-397	440	03-430	250	03-463	41000
03-398	180	03-431	110	03-464	23000
03-399	58	03-432	2000000	03-465	58000
03-400	560000	03-433	1100000	03-466	20000000
03-401	930000	03-434	1300000	03-467	5400000
03-402	1100000	03-435	160000	03-468	4400000
03-403	79000	03-436	1100	03-469	500000
03-404	4900	03-437	15000	03-470	1200000
03-405	13000	03-438	30000	03-471	1800000
03-406	7000	03-439	25	03-472	71000
03-407	330	03-440	<0,05	03-473	420000
03-408	4000	03-441	4	03-474	380000
03-409	1200	03-442	4	03-475	44000
03-410	520	03-443	0,4	03-476	78000
03-411	<0,05	03-444	<0,05	03-477	57000

Prøvenr	µg hvitt fosfor	Prøvenr	µg hvitt fosfor	Prøvenr	µg hvitt fosfor
03-478	25000000	03-483	470000	03-533	<0,015
03-479	2400000	03-509	0,08	03-534	<0,015
03-480	630000	03-530	0,3	03-535	<0,015
03-481	160000	03-531	<0,015	03-551	20000000
03-482	180000	03-532	<0,015	03-552	2200000
Prøvenr	µg/dm <sup>3</sup> luft i hele prøvetaksperioden hvitt fosfor		µg/dm <sup>3</sup> luft under røykutvikling hvitt fosfor		
03-484	< 0,0005		< 0,0076		
03-485	< 0,0005		< 0,0076		
03-486	< 0,0005		< 0,0076		
03-487	< 0,0005		< 0,0076		
03-488	0,0017		0,0091		
03-489	< 0,0001		< 0,0007		
03-490	0,0004		0,0022		
03-491	< 0,0001		< 0,0007		
Prøvenr	µg/ kg tørr jord hvitt fosfor	Prøvenr	µg/ kg tørr jord hvitt fosfor	Prøvenr	µg/ kg tørr jord hvitt fosfor
03-498	3700000	03-515	39000	03-617	31000
03-499	200000	03-516	1500000	03-618	730
03-500	2800000	03-527	55000	03-619	6
03-501	13000000	03-528	630		
03-502	110	03-529	310		
03-503	34000	03-553	8100000		
03-504	3200	03-554	8900		
03-505	14000	03-555	2000000		
03-506	160	03-556	3100		
03-507	3100	03-610	220000		
03-508	2000	03-611	2		
03-510	0,6	03-612	4		
03-511	0,3	03-613	<0,015		
03-512	3	03-614	6		
03-513	0,8	03-615	10000		
03-514	21000	03-616	3600		

## A.2 FOLAT-analyserapport


**Forsvarets laboratorietjeneste**
**Teknisk Rapport**
**Analytisk Laboratorium**  
**Kjemi og materialteknologi**

<b>Oppdragsgiver</b> <b>Arnt Johnsen</b> <b>FFI BM</b> <b>Postboks 25</b> <b>2007 Kjeller</b>		<b>Oppdragsgivers referanse</b>
<b>Gjenpart</b>		
<b>Tittel</b> <b>Bestemmelse av fosfor og tungmetaller i jord/sediment- og vannprøver</b>		
<b>Rapportnr</b> A-02-026	<b>Ordrenr</b> 33395	<b>Antall sider/vedlegg</b> 2/1
<b>Dato for mottak av oppdrag</b> 05.11.02	<b>Jobbnr</b> A-01-026	<b>Dato for utgivelse</b> 26.11.02
<b>Utført av</b> Oing E Larsen		<b>Sjef VLA</b> Senioring T A Gustavsen
<b>Sammendrag</b> Forsvarets laboratorietjeneste (FOLAT) har på oppdrag fra FFI bestemt innholdet av fosfor og tungmetaller i jord/sediment og vannprøver.		

## 1. INNLEDNING

Forsvarets laboratorietjeneste (FOLAT) har på oppdrag fra FFI bestemt innholdet av fosfor og tungmetaller i jord/sediment og vannprøver.

## 2. PRØVEMETODER

Jord/sedimentprøvene ble tørket og oppsluttet i mikrobølgeovn i henhold til NS-EN 133346. Det ble oppsluttet både referanseprøve og blindprøve sammen med jord/sedimentprøvene. Dette ble gjort for å ha kontroll med nøyaktigheten og eventuell kontaminering. Det ble oppsluttet tre paralleller av tre av prøvene for å se på homogeniteten av prøvene. Vannprøvene ble surgjort med salpetersyre før analyse. Den instrumentelle analysen ble utført med ICP-AES (induktivt koblet plasma atomemisjonsspektroskopi). Nedenfor er det en oversikt over hvilke bølgelengder som ble benyttet for de ulike grunnstoffene:

Grunnstoff	Valgt bølgelengde (nm)
Arsen (As)	188,98
Barium (Ba)	233,53
Kadmium (Cd)	214,44 (228,80-vannprøver)
Kobber (Cu)	327,39
Fosfor (P)	214,91
Bly (Pb)	220,35
Antimon (Sb)	206,84
Sink (Zn)	213,86 (206,19-vannprøver)

Kvikksølv ble bestemt ved hjelp av kalddamp atomabsorpsjon.

## 3. RESULTATER

Resultatet av analysen for jord/sedimentprøvene er gitt i vedlegg 1, tabell 1 og resultatet for vannprøvene er gitt i vedlegg 1, tabell 2.

Analyse av referansemateriale viste at det var god gjenfinning for alle elementene utenom Ba og Sb som var på henholdsvis 28 % og 63 %. Gjenfinningen for hvert element er gitt i vedlegg 1, tabell 1.

I kvalitetskontrollen ble det under analyse av vannprøvene funnet 12 µg/L Ba. Denne løsningen skal i utgangspunktet ikke inneholde Ba. En mulig årsak er at kvalitetskontrollen er blitt forurenset eller at spekteret overlapper med et annet element. Overlapping anses som lite sannsynlig da det ikke finnes noen andre elementer i dette bølgelengdeområde som skal kunne interferere. De andre elementene i kvalitetskontrollen var riktige.

På grunnlag av parallellene som ble analysert for jord/sedimentprøvene, anslås en usikkerhet på 10 % for disse prøvene. Den instrumentelle usikkerheten estimeres til 2-5 % som da blir usikkerheten for vannprøvene.

Deteksjonsgrensen (LOD) angir laveste konsentrasjon som lar seg bestemme. Kvantifiseringsgrensen (LOQ) angir laveste konsentrasjon som kan bestemmes nøyaktig. Den er blitt bestemt som 3,33 ganger deteksjonsgrensen. Oppgitte verdier som ligger mellom LOD og LOQ er dermed beheftet med større usikkerhet enn verdiene som er høyere enn LOQ.

<b>Vedlegg nr. : 1</b>	<b>Ant. Sider : 2</b>	<b>Rapport nr. : A-02-026</b>
<b>Oppdragets tittel: Bestemmelse av fosfor og tungmetaller i jord/sediment- og vannprøver</b>		

Tabell 1. Konsentrasjon av As, Ba, Cd, Cu, P, Pb, Sb, Zn og Hg i jord/sedimentprøvene. Konsentrasjonen er gitt som mg/kg prøve. “-” betyr at funnet konsentrasjon ligger lavere enn oppgitt deteksjonsgrense (LOD). Kvantifiseringsgrensen (LOQ) og % gjenfinning er også oppgitt. For de tre prøvene som det ble tatt paralleller av, er usikkerheten oppgitt som standardavviket for de tre parallellene

Konsentrasjon (mg/kg)

Prøve ID	As	Ba	Cd	Cu	P	Pb	Sb	Zn	Hg
F 02-200	-	29 ± 2	0,63 ± 0,02	21 ± 1	<b>467 ± 4</b>	-	-	31 ± 5	0,031 ± 0,001
F 02-201	-	44	1,2	26	<b>590</b>	-	-	35	0,96
F 02-202	-	40	0,8	54	<b>620</b>	-	-	35	0,019
F 02-203	-	52	2,3	87	<b>740</b>	16	1,5	76	0,061
F 02-204	-	34	2,1	180	<b>680</b>	21	1,3	100	0,053
F 02-205	-	71	1,6	81	<b>970</b>	11	2,3	64	0,065
F 02-206	-	51 ± 6	1,6 ± 0,1	55 ± 8	<b>580 ± 40</b>	-	1,5 ± 0,7	47 ± 2	0,056 ± 0,003
F 02-207	-	66	3,6	167	<b>500</b>	130	8,7	570	0,12
F 02-208	-	49	5,4	200	<b>800</b>	49	3,5	310	0,055
F 02-209	-	54	4,1	220	<b>570</b>	28	2,9	120	0,019
F 02-210	-	180	11	500	<b>660</b>	230	3,4	890	0,047
F 02-211	-	47	0,9	12	<b>570</b>	-	-	43	0,024
F 02-212	-	100	2,9	54	<b>1300</b>	25	-	100	0,063
F 02-213	51	84	11	62	<b>1200</b>	52	-	130	0,13
F 02-214	-	49	5,7	300	<b>560</b>	56	7,6	640	0,033
F 02-215	-	38 ± 1	2,8 ± 0,2	92 ± 5	<b>380 ± 30</b>	-	-	69 ± 3	0,011 ± 0,003
LOD	34	0,7	0,4	0,8	<b>25</b>	11	1	0,6	0,001
LOQ	114	2	1	3	<b>82</b>	35	5	2	0,002
% gjenfinning	101	28	93	98	<b>101</b>	98	63	97	102

Tabell 2. Konsentrasjon av As, Ba, Cd, Cu, P, Pb, Sb, Zn og Hg i vannprøvene. Konsentrasjonen er gitt som µg/L. “-” betyr at funnet konsentrasjon ligger lavere enn oppgitt deteksjonsgrense (LOD). Kvantifiseringsgrensen (LOQ) er også oppgitt.

Konsentrasjon (µg/L)

Prøve ID	As	Ba	Cd	Cu	P	Pb	Sb	Zn	Hg
02-216	2	180	-	-	-	-	-	47	-
02-217	-	28	-	1,3	-	-	-	2	-
02-219	-	5	-	-	-	-	-	-	-
02-220	4	190	-	1,3	-	-	-	370	-
02-221	-	170	-	12	-	-	-	2	-
02-222	-	16	-	-	-	-	-	2	-
LOD	2	0,3	0,5	1	<b>5</b>	3	5	1	0,001
LOQ	7	0,8	2	3	<b>16</b>	9	15	3	0,002



## Litteratur

- (1) Forsvarets logistikkorganisasjon/Ammunisjonskontroll (2003): Oversikt over forbruk av ammunisjon som inneholder hvitt fosfor, 1983-2003
- (2) 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
- (3) Spanggord RJ, Rewick R, Chou TS, Wilson R, Podoll RT, Parnas R, Platz R, Roberts D (1985): Environmental fate of white phosphorus/red phosphorus/butyl rubber military screening smokes. US Army Medical Research and Development Command, Ft Detrick, Maryland
- (4) Nam S-I, Walsh MR, Collins CM, Thomas L (1999): Eagle river flats remediation project. Comprehensive bibliography - 1950 to 1998. Special Report 99-13
- (5) Hærens stab (1969): Teknisk håndbok ammunisjon. Hefte 3. Bombekasterammunisjon. TH 9-1300
- (6) Tørnes JA (1988): Bestemmelse av hvitt fosfor i prøver fra Forsvarets skytefelt på Dovre, FFI/Rapport-6009
- (7) Walsh ME, Collins CM (1993): Distribution of white phosphorus residues from the detonation of 81-mm mortar wp smoke rounds at an upland site. US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory, Special report 93-18
- (8) Walsh MR (2003): Eagle river flats remediation project. Comprehensive bibliography - 1998 to 2003. ERDC/CRREL TR-03-15
- (9) Walsh MR (2003): Personlig meddelelse
- (10) Arbeidstilsynet (2003): Administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære, veiledning til arbeidsmiljøloven
- (11) National Research Council (2000): Toxicity of Military Smokes and Obscurants, Volume 2, The National Academy Press, Washington DC
- (12) Johnsen A, Longva KS, Ringnes H, Strømseng A (2002): Helse- og miljømessige konsekvenser ved bruk av røykammunisjon med hvitt fosfor, FFI/Rapport-2002/04042
- (13) Berkowitz JB, Young GS, Anderson RC, Colella AJ, Lyman WJ, Preston AL, Steber 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.
- (14) Krogstad T, Jørgensen P, Sogn T, Børresen T, Kolnes AG (1991): Manual for kornfordelingsanalyser etter pipettemetoden, Institutt for jordfag, Norges landbrukshøgskole.
- (15) Institutt for geofysikk (1998): Kompendium i hydrologi til GF 141 del 2, Universitetet i Oslo.