

---

# FFI-RAPPORT

---

16/00973

## Eksposering for helsefarlige stoffer i militære operasjoner

—  
Marte Melnes



# **Eksponering for helsefarlige stoffer i militære operasjoner**

Marte Melnes

---

## **Emneord**

Eksponering  
Kjemikalier  
Militære operasjoner  
Helseskadelige stoffer  
Toksikologi  
Gifter i industrien

## **FFI-rapport**

FFI-RAPPORT 16/00973

## **Prosjektnummer**

132801

## **ISBN**

P: ISBN 978-82-464-2732-4

E: ISBN 978-82-464-2733-1

## **Godkjent av**

*Øyvind Voie, forskningsleder*

*Janet Blatny, avdelingsjef*

---

---

## Sammendrag

I utenlandstjeneste kan deployert militært personell bli eksponert for et bredt spekter av kjemiske stoffer fra det operasjonelle arbeidsmiljøet. Slike stoffer medfører en risiko for negative helseeffekter på kort eller lang sikt. Potensielt helsefarlige stoffer kan stamme fra militær aktivitet, lokale miljøforhold eller fra utilsiktet eller tilsiktet utslipp av kjemikalier. Eksponeringer komme av bruk av industrikjemikalier i reparasjon og vedlikehold av utstyr og kjøretøy, bruk av fossilt brennstoff, sveising, skjæring og sprengning, bruk av våpen, eller forurensningsstoffer og kjemikalier i luft, jord eller vann.

Formålet med denne studien var å identifisere noen av de mest sentrale helsefarlige stoffene en kan eksponeres for i ulike scenarioer i militære operasjoner, og hvordan disse stoffene kan påvirke helsen til deployert personell. Rapporten konsentreres i hovedsak om eksponering for luftbårne kjemiske stoffer og partikler, der inhalasjon representerer den største eksponeringsruten.

Det har blitt gjennomført en litteraturstudie i tillegg til samtaler og intervjuer med personell i de norske operative styrkene for å identifisere eksponeringssituasjoner i internasjonale militære operasjoner. Eksponering for luftbårne partikler, avgasser fra forbrenning av avfall eller drivstoff og toksiske industrikjemikalier og løsemidler kan være vanlige i enkelte militære operasjoner. Disse eksponeringene kan gi negative helseeffekter avhengig av operasjonens art, eksponeringslengde og -frekvens, og eksponering for flere helsefarlige stoffer samtidig.

Forsvarets sanitet utfører områdekartlegginger av operasjonslokalitetene for å utarbeide helserisikovurdering ved deployering. Mulig eksponering for helsefarlige kjemikalier og andre stoffer kan avdekkes ved å basere seg på disse områdekartleggingene. I tillegg til miljøkartlegginger bør overvåkning av biomarkører for eksponering i soldater i forbindelse med utenlandsopphold påkrevs. Dokumentasjon av eksponeringer og helsestatus i Forsvarets helseregistre etter tjenestegjøring er essensielt for å knytte eksponering til effekt. Denne koblingen avhenger videre av økte kunnskaper om helsevirkningen av ulike stoffer som deployert personell kan eksponeres for.

---

---

## Summary

In military operations, deployed personnel might be exposed to a wide range of chemical substances from the operational working environment which may cause adverse health effects on a short or long term. Hazardous substances may originate directly, from military activity, local environmental conditions, or from accidental or intentional release of chemicals. Exposures may result from the use of industrial chemicals in repair and maintenance of equipment and vehicles, use of fossil fuels, welding, cutting and blasting, use of weapons, or from contaminants in air, soil or water.

The aim of this study was to identify some of the most significant chemical threat substances one can be exposed to in different scenarios in military operations, and to investigate how these threat agents may affect the health of deployed personnel. The report is primarily concentrated on airborne chemical substances and particles by which inhalation is the main route of exposure.

The report provides a review of the literature as well as interviews and conversations with personnel in the Norwegian operational forces in order to identify common exposure situations in military operations abroad. Exposure to airborne particulates, exhaust gases from the combustion of waste or fuels, and toxic industrial chemicals and solvents may be common in certain military operations. These exposures may cause adverse health effects depending on the nature of the operations, the length and frequency of the exposure and exposure to multiple substances simultaneously.

*Forsvarets sanitet* (the military medical) conduct area assessments of the operational locations for the preparation of health risk assessments at deployment. Potential exposures to hazardous chemicals and other substances may thus be uncovered. In addition to environmental surveys, biomonitoring of exposure in soldiers deployed abroad should be required. Documentation of exposures and health status in the Norwegian Armed Forces' health registers after deployment is essential in order to link exposure to health outcome. This linking depends on increasing knowledge about health impacts of various substances that deployed personnel may be exposed to.

---

---

# Innhold

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Emneord</b>   | <b>2</b>  |
| <b>Sammendrag</b>  | <b>3</b>  |
| <b>Summary</b>   | <b>4</b>  |
| <b>1 Innledning</b>  | <b>6</b>  |
| 1.1 Bakgrunn   | 6         |
| 1.2 Eksponeringer og helseeffekter                         | 7         |
| 1.3 Scenarioeksempler for eksponeringer i militærtjeneste  | 8         |
| <b>2 Eksponeringer relatert til Forsvarets aktiviteter</b> | <b>10</b> |
| 2.1 Drivstoff og forbrenningsprodukter                     | 10        |
| 2.2 Eksponeringer fra våpen og ammunisjon                  | 13        |
| 2.3 Militære røyksatser                                    | 15        |
| 2.4 Industrielle militærrelevante kjemikalier              | 17        |
| <b>3 Eksponeringer relatert til miljø</b>                  | <b>22</b> |
| 3.1 Støv og partikler                                      | 22        |
| 3.2 Pesticider   | 23        |
| 3.3 Forurensningsstoffer i drikkevann                      | 24        |
| <b>4 Diskusjon og konklusjon</b>                           | <b>26</b> |
| <b>Referanser</b>  | <b>29</b> |

---

---

# 1 Innledning

Forsvaret bidrar i internasjonale oppdrag av varierende art og omfang i en rekke forskjellige nasjoner, og helsestøtte til deployert personell skal sikres i forbindelse med utenlandstjeneste. I følge regjeringens "Handlingsplan for ivaretagelse av personell før, under og etter utenlandstjeneste" [1] bør styrker være godt forberedt på forholdene en skal operere under for å unngå negative effekter på fysisk eller psykisk helse. Handlingsplanen fastslår videre utvikling av en screeningmetode for å kartlegge soldaters helse før, under og etter tjenestegjøring for å forebygge sykdom og skade.

Bidrag i internasjonale operasjoner vil alltid innebære en viss helserisiko. Deployert militært personell kan eksponeres for et vidt spekter av kjemiske stoffer fra industri og omgivende miljø som kan gi negative helseeffekter på kort eller lang sikt. Historisk har det blitt fokusert på tradisjonelle kjemiske, biologiske radiologiske og nukleære stridsmidler (CBRN-agenter), men i senere tid er det blitt et økende fokus på helserisiko forbundet med eksponering for kjemikalier utover de klassiske stridsmidlene som følge av spesifikke miljøforhold og aktiviteter under militære operasjoner. Flere tidligere FFI-rapporter har undersøkt helse- og sikkerhetstrusler både i Norge og i internasjonale operasjoner. I rapporten *Scenarioer for CBRN-trusler mot Norge og norske styrker i utenlandsoperasjoner* [2] vurderes også utilsiktet spredning av kjemiske, biologiske og radiologiske trusselstoffer som følge av ulykker eller stridshandlinger i ulike scenarioklasser. Tørnes m.fl (2009) beskrev kjemiske, radiologiske og nukleære trusler for norske tropper deployert i to ulike internasjonale operasjonelle miljø med fokus også på forurensningsstoffer og toksiske industrikjemikalier (TICs) [3]. Formålet med denne rapporten er å gi en oversikt over hvilke typer potensielle helsefarlige stoffer andre enn klassiske kjemiske, biologiske og radiologiske stridsmidler deployert militært personell kan eksponeres for, og hvordan disse eksponeringene kan påvirke helserisiko.

Det har blitt foretatt en gjennomgang av relevant litteratur om eksponering for helsetrusler i militære operasjoner. tillegg ble det gjennomført intervju med relevant personell fra norske operative styrker, henholdsvis Marinejegerkommandoen, Forsvarets spesialstyrker og Hærens sanitet, for å kartlegge relevante eksponeringsscenarier i tjeneste. Intervjuene foregikk enten over telefon eller ved personlig møte mellom april og mai 2015.

Eksponeringene er i denne rapporten strukturert etter situasjon og scenario der de er aktuelle i en militær operasjon. De ulike stoffene er delt opp etter eksponeringer relatert til militærspesifikk aktivitet og eksponeringer relatert til det omgivende miljøet.

## 1.1 Bakgrunn

I forkant av en ny deployering anmoder Forsvarets Operative Hovedkvarter (FOH) en områdeundersøkelse av operasjonens lokalitet. Medisinsk informasjonshenting (MEDINTEL) innebærer å skaffe informasjon om blant annet smittestatus, skadedyrstatus og miljøstatus i operasjonsområder. Veterinærtjenesten under Forsvarets sanitet (FSAN) utvikler en helserisikovurdering hovedsakelig basert på resultater fra feltundersøkelser, som luftmålinger og vannmålinger, tilgjengelige fra allierte enheter eller andre kilder. Helsetrusselvurderingen utgjør et beslutningsgrunnlag for etablering av leir, logistikk, smitteforebygging med mer. Basert på vurderinger av operasjonsområdet blir det videre utarbeidet en områdespesifikk bestemmelse for



---

---

vaksinasjon og medikamentell profylakse som skal gis til personell i Forsvaret i Norge og utenlands av Sjef FSAN [4].

Forsvarets elektroniske pasientjournalssystem (SANDOK) er et system for dokumentasjon av helseopplysninger om militært personell. I databasen registreres informasjon om diagnostikk, helsesyntomer, vaksinasjon og annen behandling til både vernepliktige i Norge og personell i utenlandstjeneste. På denne måten vil symptomer og eventuelle helseeffekter som oppstår under eller i etterkant av deployering i operasjoner dokumenteres og eventuelt kunne knyttes til spesifikke forhold under tjenestegjøring.

Helserisiko ved militær utenlandstjeneste inkluderer - i tillegg til risiko for å bli såret i strid eller annen skade på psykisk eller fysisk helse - blant annet eksponering for ulike klimaforhold (sterk varme, kulde eller støy), smittsomme sykdommer, fysiske trusler som ulykker, eksplosjoner og ioniserende stråling, kjemiske, biologiske og radiologiske stridsmidler samt et stort antall kjemikalier en kan eksponeres for. Kilder til disse faremomentene kan være spesifikke for operasjonens vertsnasjon, som lokal industri og forurensning i vann, jord, luft og mat. Eksponeringene kan også stamme direkte fra militær aktivitet som utstyrsvedlikehold, bruk av fossilt drivstoff, operasjoner med avfallshåndtering og bruk av våpen. Det som blir betegnet som *The Gulf War Illness*, eller Gulfsyndromet, beskriver en rekke symptomer og helseplager rapportert hos veteraner etter Gulfkrigen i 1990-1991 og har blitt brukt som et eksempel som henviser til et usikkert eksponeringsbilde i en stridssituasjon. Senskadene som oppsto, med de svært varierende symptomene, har blitt foreslått å være linket til eksponering for et vidt spekter av kjemiske stoffer og forhold under deployeringen. Erfaringene etter Gulfsyndromet med usikre eksponeringer og uspesifikke symptomer førte til at det ble tillagt fokus på yrkesmessig og miljømessig helseovervåking i slike deployeringsområder. Sikkerhet og beskyttelse av militært personell deployert under ulike forhold internasjonale operasjoner er svært viktig. I tillegg til å utøve helserisiko hos deployert personell kan eksponeringer for ulike stoffer og forhold i utenlandstjeneste representere en trussel for operativ evne.

Politiske forhold i operasjonens vertsnasjon vil også kunne påvirke eksponeringsteateret så vel som sannsynlighet for eksponeringer. Bekymring for eksponering for kjemiske stridsmidler som nervegasser kan eksempelvis øke ved deployering i en nasjon som ikke har undertegnet Kjemivåpenkonvensjonen. Videre kan konflikt og krig gi ødeleggelser på industri og infrastruktur. Dårlig vedlikehold og tekniske tilstander på lokale anlegg som kjernekraftverk, produksjonsfasiliteter for kunstgjødsel og produksjonsanlegg og lagre av industrikjemikalier kan representere en bekymring og påvirke eksponeringsbildet [2]. Eksponering for kjemikalier under operasjoner utenlands er i tillegg ofte uunngåelig på grunn av oppdragslokaliteten eller arten av den militære aktiviteten.

## 1.2 Eksponeringer og helseeffekter

For å vurdere eksponering av militært personell for spesifikke helsefarlige stoffer mot den øvrige sivile populasjonen er det nødvendig å ta i betraktning både eksponeringsscenarier og varighet. Militær eksponeringer for spesifikke stoffer som industrikjemikalier sammenlignes gjerne med yrkeseksponeringer. Her er det imidlertid viktig å innse at i en yrkessituasjon vil eksponering være aktuelt 8 timer daglig, 5 dager i uken, mens militær eksponering i operasjoner kan dreie seg mer om større deler av dagen hele uken, men begrenses til operasjonens lengde, gjerne noen måneder. Videre

---

---

kan for eksempel inhalasjonsrate og vanninntak være høyere blant militært personell enn sivil befolkning, noe som kan påvirke eksponeringsgraden.

Eksponering for helsefarlige stoffer kan foregå periodevis, kontinuerlig eller samtidig, og helseeffekter kan være akutte eller kroniske. Kontinuerlig langtidseksponering gir økt risiko for langtids helseeffekter. Eksponering for en kreftfremkallende forbindelse (et karsinogen) kan for eksempel gi kreftutvikling tiår senere. Gentoksiske stoffer kan i tillegg til kreftutvikling føre til effekter på fosterutvikling. Denne latenstiden for utvikling av helseplager som følge av en eksponering kompliserer evnen til å avdekke årsak-virknings-sammenheng mellom eksponering og helseeffekt. I tillegg har det historisk foreligget utfordringer ved at eksponeringer er selvrapporterte og uvaliderte, som videre har vanskeliggjort muligheten til å knytte militær deployering til spesifikk helserisiko, i tillegg til uvisshet om hva en faktisk eksponeres for i ulike militære operasjoner. Videre betyr en kompleks eksponeringssituasjon at en kan eksponeres for flere ulike stoffer til samme tid, som kompliserer kartleggingen av mulige helseeffekter som følge av blandingstoksikologi. Disse utfordringene synliggjør viktigheten av å kartlegge hva deployert personell kan eksponeres for og kunnskap om toksisiteten til de aktuelle kjemikaliene en kan utsettes for i militære operasjoner.

### 1.3 Scenarioeksempler for eksponeringer i militærtjeneste

- *Vannforurensning ved Camp Lejeune, North Carolina* [5]: U.S. Marinekorps og deres familier bodde ved denne basen fra 1953 til 1985, der de vasket seg i og drakk springvann forurenset med helse- og miljøskadelige kjemikalier. Flere utviklet kreft og andre kroniske lidelser i etterkant av oppholdet. I vannet ble det detektert industrielle kjemikalier som perckloroetylen, trikloroetylen, benzen og andre organiske løsemidler. Tenkelige kilder til forurensningen inkluderte utslipp av løsemidler fra et lokalt renseri, bruk av kjemikalier for å rense militært utstyr på basen og lekkasjer fra drivstofftanker. Det ble i 2014 rapportert om signifikant høyere dødelighet fra ulike krefttyper samt større sannsynlighet for utvikling av amyotrofisk lateral sklerose (ALS) blant personell på Camp Lejeune sammenlignet med en tilsvarende militærleir uten kjent forurensning.
- *Fasiliteter for produksjon av narkotiske stoffer* [ref: personlig korrespondanse med operativt personell]: en militær internasjonal operasjon kan inkludere destruksjon av ulovlige fasiliteter for produksjon av narkotiske stoffer I slike fabrikker kan det stå lagret store mengder ofte ukjente kjemikalier på uhensiktsmessig måte. I fasiliteter for heroinproduksjon er kjemikalier som acetylklorid, eddiksyreanhydrid, kalsiumklorid, ammoniakk og saltsyre tenkelig å komme over, i tillegg til hjelpemidler og løsemidler som bensin, eter og kloroform. Eksponering av blandinger av ukjente kjemikalier vil påvirkes av fasilitetenes tekniske tilstand og lagringsmåte av kjemikaliene, samt eventuelle lekkasjer og sprengning.
- *Brann fra svovelutvinningsverk, Irak* [6]: En massiv brann fra svovelutvinningsverket Al-Mishraq i Nord-Irak i 2003 forårsaket det største kjente menneskeskapte utslippet av svoveldioksid (SO<sub>2</sub>) noensinne. Brannen, som ble regnet som påtømt, pågikk en måned og en gruppe soldater deployert fra USA ble eksponert for røyk inneholdende svært høye nivåer av SO<sub>2</sub> og mindre mengder av andre svovelforbindelser over lang tid. Mange av soldatene rapporterte om redusert fysisk evne som følge av nedsatt lungefunksjon flere år senere [7].

- 
- 
- *Sandstorm og "Al Eskan disease"*[8]: Operasjoner i områder preget av sandstormer som Midtøsten kan ha uheldige helsevirkninger. Lungebetennelse blant deployert personell i Saudi-Arabia under Gulfkrigen, som følge av eksponering for sand og støv med assosierte organiske eller uorganiske forbindelser (*Al Eskan disease*) er tenkt å ha bidratt i det komplekse sykdomsbildet knyttet til Gulfsyndromet.
  - *Påtente oljebrønner i Kuwait*: Flere enn 600 oljebrønner ble påtent i Kuwait av irakiske militære styrker under Gulfkrigen i 1991. Brannene pågikk i flere måneder, og produserte store svarte røykskyer av petroleumsforbindelser og forbrenningsprodukter som militære styrker og brannslukningsarbeidere ble eksponert for.
  - *Industriell kjemikalieeksponering ved vannbehandlingsanlegg i Irak* [9]: I 2003 rapporterte soldater fra *U.S. Army National Guard* under vakthold ved et industrielt vannbehandlingsanlegg i Irak mulig eksponering for rustforhindrende kjemikalier ved anlegget (natrium-dikromat) inneholdende heksavalent krom, som er et svært toksisk industrikjemikalie.

---

---

## 2 Eksponeringer relatert til Forsvarets aktiviteter

### 2.1 Drivstoff og forbrenningsprodukter

Militære operasjoner og øvelser innenlands og utenlands involverer ofte høyt forbruk av fossilt brennstoff. Drivstoff brukes i både tunge kjøretøy, luftfartøy, marinefartøy, aggregater, som energikilde for oppvarming i telt, til rens av utstyr og forbrenning av avfall. Personell kan eksponeres for både uforbrent drivstoff og forbrenningsproduktene, der inhalasjon av eksosgasser fra kjøretøy eller branner representerer en stor eksponeringssituasjon. En ekstra kilde til eksponering for oljekomponenter i militær sammenheng er ved bruk av røykskjerming og obskuranter basert på oljeforbindelser, som tåkeolje og uforbrent dieselryk (avsnitt 2.3.4 og 2.3.5). Drivstoff kan søles på både hud og i miljøet, der sistnevnte også kan representere en risiko for eksplosjoner eller branner ved uforsvarlig håndtering av drivstoffet.

Fossilt drivstoff består av en kompleks blanding hydrokarboner. Forståelsen av toksisiteten til flere typer drivstoff er mangelfull og problemet kompliseres av sammensetningene av komponenter og mulige blandingseffekter av disse. Den komplekse blandingen av potensielle toksiske komponenter, både individuelt og i blandinger, samt den høye eksponeringsraten for ulike drivstoff på grunn av den utbredte bruken gjør drivstoffblandinger til en av de viktigste gruppene kjemikalier en eksponeres for i militær virksomhet.

Helseeffekter ved korttidseksponeringer for høye konsentrasjoner av damp fra diesel og andre fossile drivstoff ved innånding kan være svimmelhet, desorientering og hodepine, som alle er relatert til effekter på sentralnervesystemet. Risiko for langvarige helseproblemer som følge av eksponering for drivstoffkomponenter er mest sannsynlig ved langtidseksponering, som følge av blandingseffekter ved eksponering for andre toksiske kjemikalier på samme tid eller ved eksponering av sensitive eller mottakelige personer. Langvarig eksponering er forbundet med et bredt spekter av helseeffekter som skade på reproduksjonssystemet, skade på lunge, nyre og lever, lidelser knyttet til effekt på sentralnervesystemet og effekter på hud. Helseeffekter ved eksponering for drivstoff og forbrenningsprodukter vil avhenge av den kjemiske oppbyggingen av og kvaliteten på drivstofftypen, i tillegg til frekvens og lengde av eksponering og eksponeringsrute. De kjemiske bestanddelene i spesifikke drivstofftyper (flydrivstoff, diesel etc.) er relativt konsekvent, mens de relative mengdene av de ulike ingrediensene i drivstoffet kan variere sterkt og avhenger av for eksempel lokalitet, bruksområde og værforhold. Ved bruk av lokalt drivstoff internasjonalt kan lavere kvalitet på drivstoffet eksempelvis kunne gi høyere innhold av svovel i forbrenningsrøyken, som vil påvirke toksisiteten [10]. Den sammensatte blandingen av forbindelser i røyk fra petroleumbasert brennstoff gjør den totale toksisitet utfordrende å bestemme. Enkeltkomponentenes toksisitet er ofte vel karakterisert, men eksponering for blandinger kan gi mulige additive, synergistiske eller antagonistiske effekter. Det er derfor utfordrende å determinere blandingstoksisiteten eller hvilke komponenter som er de mest helseskadelige i drivstoffblandinger.

#### 2.1.1 Forsvarets drivstoff

Forsvarets drivstoff F-34, også kjent som *Jet Propellant 8* (JP-8), er standard drivstoff i alle luftfartøy med jetmotorer, og benyttes også i Forsvarets kjøretøyer med dieselmotorer. Studier av toksisitet til det tidligere benyttede F-40, eller JP-4, har assosiert drivstoffkomponentene toluen, xylen, benzen og

---

---

*n*-hexan med helseeffekter som hudirritasjon, nevropati og psykologiske lidelser [11]. F-40 og F-34 inneholder typisk større andeler av den mindre flyktige hydrokarbon-blandingen parafin i stedet for bensin. Militært personell kan eksponeres for parafin-basert drivstoff gjennom vedlikehold av luftfartøy og kjøretøy og brenselhåndtering ved enten hudkontakt med drivstoffet i seg selv eller med bekledning mettet av drivstoffet, innånding av drivstoff eller eksos i gass- eller aerosolfase, eller oralt via kontaminert mat eller vannforsyning [12].

Utviklingen mot mindre flyktige militære drivstoff kan bety at stoffene kan vedvare på hudoverflate og på klær, og at hudkontakt er en viktig eksponeringsrute å ta i betraktning. Videre kan variasjon i additiver i drivstoffet påvirke absorpsjonsraten gjennom huden. Militære drivstoff vil også kunne inneholde andre additiver for økt ytelse og operativitet sett i sammenheng med sivile drivstoff. Som et eksempel er et vanlig additiv i F-34 dietylen-glykol-monometyl eter (DIEGME), som er vist å ha en svært høy koeffisient for permeabilitet, en egenskap som kan påvirke absorpsjon av komponenter i F-34 over huden. Parafin-baserte drivstoff kan også brukes til å drive annet motorutstyr, varmeovner, lyskilder, som kjølevæske i luftfartøy og dekontaminering av utstyr og kjøretøy i militær virksomhet. Nevrologiske effekter og irritasjonseksem er rapportert av arbeidere eksponert for F-34 [13]. *In vitro*-studier har vist frigjøring av pro-inflammatoriske cytokiner (TNF- $\alpha$  og IL-8) i humane hudceller [14]. Det er ikke vist risiko for kreftutvikling som følge av innånding av damp fra F-34, men hudkontakt kan representere en risiko for å utvikle hudkreft og allergier [15].

Helseplager ved eksponering for F-34-eksos har blitt rapportert fra militærleirer i Nord-Norge. Under eksosmålinger ved drivstoffanlegget på Rusta leir i 2013 ble det detektert eksosnivåer over grenseverdiene satt for korttidseksponering. Det ble rapportert om plager som hoste, pustebevis, hodepine, slapphet, kvalme, svimmelhet og sviende øyne blant personell som jobber ved kjøretøy og dermed blir direkte eksponert, og fra personell som ble indirekte eksponert på ventilerte kontorer [16]. Problemet med helseplager etter eksos eksponering er større i områder preget av kaldt og vindstille klima, da den kalde luften med eksosen holdes nede som følge av temperaturinversjon.

### **2.1.2 Biprodukter fra forbrenning**

Ved forbrenning frigis en blanding av gasser, partikulært materiale og organiske stoffer. Forbrenningsproduktene består gjerne av en blanding av gassene svoveldioksid (SO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>), nitrogenmonoksid (NO), nitrogendioksid (NO<sub>2</sub>), karbonmonoksid (CO), karbondioksid (CO<sub>2</sub>), hydrogen sulfid (H<sub>2</sub>S), organiske flyktige forbindelser (VOC) og finpartikulært materiale (PM) [17]. PM kan ofte bære med seg kjemiske forbindelser som organisk og elementært karbon, sulfater, nitrater, polyaromatiske hydrokarboner (PAHer), toksiske metaller og biologisk materiale som pollen og mikrobielle kontaminanter. Partikler og metaller som frigjøres ved forbrenning er små nok til å kunne avsettes i lungene ved inhalasjon og føre til respiratoriske effekter. Videre kan de kreftfremkallende egenskapene forbundet med eksos og sot særlig tilskrives de mutagene evnene til PAHer [18]. Studier har implisert en direkte sammenheng mellom eksponering for røyk fra branngrøper og finpartikulært materiale (PM) under amerikanske styrkers deployering i Irak og Afghanistan og utvikling av kroniske lungesykdommer [19]. Akutt luftveisirritasjon, astmaliknende symptomer og forverring av allergiske responser er potensielle akutte effekter av eksponering for avgasser og eksos fra fossilt drivstoff. Av kroniske effekter er "popkornlunge", reaktiv luftveissykdom og kronisk bronkitt assosiert med langtidseksponering for eksosgasser [20]. Under følger en gjennomgang av helseeffekter av et lite utvalg forbrenningsprodukter fra fossilt drivstoff.

---

---

### **2.1.2.1 Polisykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)**

Fossilt brensel som F-34 inneholder typisk ulike PAHer, inkludert naftalen, benzo(a)pyrene (BaP), pyren, fluoranthen og chrysen. Eksponering for PAHer er forbundet med potensiell metabolisering til mer toksiske forbindelser i kroppen, og det er særlig sett økt risiko for kreftutvikling, skade på epitelceller og nyreskader [12]. Særlig blir BaP og fluoranthen nevnt blant de mest toksiske substanser en kan eksponeres for i *The Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)* [21].

### **2.1.2.2 Benzen**

Benzen foreligger i lave konsentrasjoner i fossilt brensel brukt i dag, men er et velkjent karsinogen for mennesker [22] og et av de mest skadelige komponentene i F-34. Benzen er flyktig og absorberes hovedsakelig ved inhalasjon. Eksponering gir korttidseffekter som svimmelhet, hodepine, irriterer hud, øyer og øvre luftveier. De kreftfremkallende egenskapene til benzen er særlig forbundet med utvikling av leukemi, i tillegg til å gi effekter på beinmarg og anemi. En studie på militært personell i *U.S. Air Force* som hadde jevnlig kontakt med F-34 viste at disse ble eksponert for benzennivåer over den gjeldende øvre grenseverdien for helseeffekter ved kronisk eksponering [23].

### **2.1.2.3 Svoveloksider og nitrogenoksider**

Utslipp av svoveloksider (SO<sub>x</sub>) og nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>) stammer i hovedsak fra forbrenning av fossilt brennstoff og er også to viktige bidragsyttere til dårlig luftkvalitet. Dette er vanlige luftforurensningsstoffer som kan inhaleres og gi helseskader. Eksponering for NO<sub>x</sub> fra sveiserøyk er også relevant for militær- og yrkeseksponering (avsnitt 2.4.3.5) Utvikling av konstruktiv bronkiolitt har blitt assosiert med miljø- og yrkesmessig eksponering for svovel- og nitrogenoksider ved inhalasjon. Hovedkildene er imidlertid heller industrielle fasiliteter enn de mindre mengdene som finnes i drivstoff i bruk i dag.

### **2.1.2.4 Hydrazin**

Hydrazin er en svært toksisk forbindelse som kan benyttes som drivstoff i blandinger for raketter, missiler og jetmotorer, og kan derfor representere en særskilt risiko for militært personell i enkelte operasjoner. Hydrazin kan også forekomme i bestemte pesticider. Hydrazin har høy akutt toksisitet ved inhalasjon og kontakt med hud. Korttidseksponering kan gi irritasjon på slimhinner og hoste, mens langtidseksponering kan forårsake skader på nervesystemet og reproduksjonssystemet i tillegg til å være et antatt karsinogen [24].

### **2.1.2.5 Perklorat**

Perklorat kan foreligge som komponent i rakettdrivstoff og brukes også i annen pyroteknikk. Som et resultat er kilder til perkloratforurensning ofte fra gamle eller nåværende militære baser. Den mest sannsynlige eksponeringsruten av perklorat er ved inntak av forurenset mat og drikkevann. Tyroidkjertelen er målorganet for toksisitet, og eksponering kan føre til underskudd på jod, som er særlig uheldig for barns utvikling [25].

---

---

## 2.2 Eksponeringer fra våpen og ammunisjon

### 2.2.1 Avgasser fra våpensystemer

Når ammunisjon forbrukes frigis en blanding av gasser, partikler og metaller som skytteren kan eksponeres for ved inhalasjon. Ved forbrenning av krutt kan det dannes gasser som ammoniakk (NH<sub>3</sub>), hydrogencyanid (HCN), CO, metan (CH<sub>4</sub>), partikler av sot og uforbrent krutt, og inhalerbare metallpartikler fra hylsa, mantelen eller kjernematerialet i prosjektilet. Slike metaller kan typisk være kobber (Cu), sink (Zn), antimon (Sb) og bly (Pb). Eksponering for blypartikler kan også forekomme ved sprengning av dører og lignende med blyholdig ammunisjon, spesielt innendørs. Det er rapportert helseplager som feber, frysninger, kvalme, hodepine, kortpustethet og muskel- og leddsmerter i Forsvaret som følge av innånding av avgasser fra ammunisjon forbrukt i håndvåpen. I en tidligere FFI-studie ble akutte effekter som følge av bruk av håndvåpenet HK416 og tre ammunisjonstyper undersøkt [26]. 54 av 55 personer rapporterte om symptomer som feber og sykdomsfølelse, tungpustethet eller hoste, og 52 av 55 hadde forhøyede verdier av betennelsesmarkørene CRP, totalt antall hvite blodceller og nøytrofile granulocytter etter skyting. Mange av symptomene var forenelig med metallfeber, noe de forhøyede nivåene av særlig Cu og Zn i svevestøvet etter avfiring av skudd er tenkt å kunne forklare. Metallfeber er kjent å være forbigående når skytteren fjernes fra eksponeringskilden. Ved gjentatt eksponering for metallstøv og avgasser kan imidlertid risikoen for varig redusert lungefunksjon økes.

### 2.2.2 Utarmet uran

Utarmet uran er et biprodukt fra anrikelsesprosessen av uran for bruk som brensel i kjernereaktorer. Utarmet uran har vesentlig høyere tetthet enn bly, og har på grunn av sin høye gjennomslagskraft blitt brukt som panserbrytende ammunisjon under Gulfkrigen i 1991, i Bosnia-Herzegovina i 1995 og i Kosovo i 1999. Det er ikke lagret eller produsert ammunisjon med utarmet uran i Norge eller blitt brukt av norske styrker. Bruk av uranholdig ammunisjon kan imidlertid forekomme i flere andre land, og er tenkt å ha bidratt til helseproblemer blant soldater etter slike konflikter, herunder særskilt Gulfsyndromet [27]. En utdypende presentasjon av anvendelse og helsekonsekvenser som følge av bruk av uranholdig ammunisjon er beskrevet i en tidligere FFI-rapport [28].

På grunn av at utarmet uran har lavere spesifikk radioaktivitet enn naturlig uran, og dominerende alfastråling med kort rekkevidde representerer ikke utarmet uran en akutt risiko ved ytre eksponering. Utarmet uran er selvantennelig, og når prosjektiler inneholdende utarmet uran treffer harde eller pansrede materialer vil det antennes, forbrenne og forstøves slik at det genereres partikler av hovedsakelig uranoksider som kan spres i luft. Partiklene kan agglomerere, festes til flater som inne i et kjøretøy, deponeres i miljø eller forekomme som fine partikler som kan inhaleres og avsettes i lungene [29]. Vind vil medvirke til spredning og oppvirvling av deponert støv inneholdende uranoksider. Personell som oppholder seg i nærheten av objekter ødelagt av ammunisjon med utarmet uran vil ha sannsynlighet for å bli eksponert for uranstøv ved inhalasjon. Negative helseeffekter kan skyldes enten kjemisk eller radiologisk toksisitet. Uløselige uranforbindelser kan forbli i lungevevet og representere en lokal radioaktiv risiko, mens kjemisk toksisitet av løselige former av utarmet uran har nyrene som målorgan for effekt [30]. Løseligheten til større partikler inneholdende DU som avsettes i sand og jord kan i tilfeller være høy nok til å gi lokal forurensning av grunnvann.

---

---

Det har vært stilt spørsmål om eventuelle sammenhenger mellom ulike helseeffekter det er rapportert om blant militært personell i områder der det er kjent at ammunisjon med utarmet uran har vært anvendt. Det har særlig vært bekymringer for fredsbevarende styrker, humanitære arbeidere og lokale populasjoner i områder forurenset med utarmet uran etter en konflikt [31]. Det finnes begrenset informasjon om bruk av utarmet uran i våpensystemer produsert utenfor USA og NATO, selv om slik ammunisjon regnes som enkelt tilgjengelige.

### 2.2.3 Wolframlegeringer

Legeringer med wolfram og andre tungmetaller har blitt vurdert som erstatninger for utarmet uran i panserbrytende ammunisjon. Prosjektiler med kjerne av wolfram har også vært utviklet og utprøvd av *U.S. Army* for å erstatte det miljøbelastende blyprosjektilet, men produksjonen ble stanset i 2003 på grunn av ustabilitet ved utskytning [32]. Ammunisjon med wolfram består av en kombinasjon av wolfram, nikkel og enten kobolt eller jern, og inneholder i motsetning til utarmet uran ikke radioaktive komponenter. Det finnes begrenset informasjon om toksisitet av wolfram sammenlignet med andre metaller. Det mangler kunnskap om langtidseffektene av både utarmet uran og wolframlegeringer i mennesker, men begge har vist å ha tumorutviklende egenskaper *in vivo* og er gentoksiske *in vitro* [33].

Hudkontakt og inhalasjon av støv er hovedrutene for yrkeseksponering og militær eksponering av wolframforbindelser. Laboratorieforsøk med dyr har imidlertid vist akutte effekter som utmattelse, tap av styrke, pustevansker og kolikk ved eksponering for wolfram via injeksjon eller oralt inntak. I en studie ble rotter implantert intramuskulært med kapsler av militærrelevante wolframlegeringer som etterligning av et splintersår. Rottene utviklet svær aggressiv svulstdannelse rundt implantatene kort tid etter implantering [34]. Studier på kroniske effekter har også pekt ut wolfram som mulig menneskelig karsinogen [35]. Et lokalt wolfram-smelteverk ble antatt å være en årsak til unormalt høy forekomst av leukemi hos barn i Fallon, Nevada på slutten av 1990-tallet. En militærrelevant legering av wolfram, nikkel og kobolt ble i en studie vist å stimulere genuttrykk involvert i utvikling av kreft [33]. Videre har andre wolframforbindelser vist en gentoksiske effekt i humane celler [36, 37]. Det er imidlertid usikkert om dosen av wolfram generert ved bruk av ammunisjon av wolframlegeringer aktuelt for militært personell er stor nok til å kunne gi helseeffekter blant militært personell.

### 2.2.4 Eksplosiver

Militære øvelser og operasjoner involverer ofte bruk av eksplosiver. Militært personell kan imidlertid også komme over hjemmelagde eksplosiver av ukjent innhold under en operasjon, som representerer en risiko ved håndtering. Hjemmelagde eksplosiver kan produseres av relativt lett tilgjengelige og vanlige husholdnings- eller industrikjemikalier, som blir eksplosive i kombinasjon. Ved at disse kjemikaliene står lagret umerket, sammen med andre kjemikalier som utgjør en farlig blanding, eller lagring i teknisk degraderte fasiliteter representerer en risiko for eksponering.

Som følge av militær aktivitet, uforsvarlig håndtering eller avhending kan eksplosive forbindelser og deres biprodukter forurense miljøet rundt og videre føre til menneskelig eksponering i områder preget av militær konflikt eller trening. 2,4,6-trinitrotoluene (TNT) og hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine (RDX) er begge klassifisert som potensielle menneskelige karsinogener, og TNT er assosiert med effekter på leverfunksjon og utvikling av anemi [38, 39].



---

---

Degradering av det historisk mye brukte eksplosivet nitroglycerin over tid fører til mer ustabile forbindelser. Dette gjør transport og bruk, så vel som håndtering for avhending av nitroglycerin som har stått lagret lenge mer risikofylt. Akutt industriell eksponering for nitroglycerin er assosiert med utvikling av hodepine, kvalme, kramper eller cyanose (blåsott). Kronisk eksponering kan føre til kraftige hodesmerter, hallusinasjoner og utslett på hud [40]. Eksplosiver basert på perklorat som oksidasjonsmiddel kan påvirke helse ved å gi forstyrrelser på opptak av jod i tyroidkjertelen (se avsnitt 2.1.2.5 om perklorat).

## **2.3 Militære røyksatser**

I militær aktivitet i trening og operasjoner benyttes røyksatser og obskuranter for å redusere sikt og kamuflere kjøretøy, tropper og bevegelse av disse for fienden. Ved langvarig opphold i eller høy eksponering for militær røyk kan helseeffekter oppstå. Helseeffekter som følge av eksponering for militære røyksatser oppstår som oftest grunnet dannelse av svært reaktive komponenter i forbrenningsrøyken. Under følger en kort beskrivelse av de vanligste stoffene brukt til røykskjerming. En fullstendig utredning av helse- og miljøeffekter som følge av bruk av militære røyksatser er beskrevet i en tidligere FFI-rapport [41].

### **2.3.1 Hvitt fosfor**

Hvitt fosfor brukes i artillerigranater, bombekastergranater og håndgranater. Forbrenning av hvitt fosfor produserer hvit røyk som hovedsakelig består av fosforpentoxid, fosforsyre og mindre mengder uforbrent fosfor. Skadevirkningene ved opphold i den mengden røyk som er av relevante eksponeringer er sjelden alvorlige, siden soldater tvilsomt vil eksponeres for ekstreme konsentrasjoner eller over lang tid. Moderat og lav eksponering for røyk fra hvitt fosfor ved inhalasjon kan imidlertid virke irriterende på øyne, slimhinner i nesa og luftveiene. Vevsskader kan oppstå ved høyere konsentrasjoner. Mange av skadevirkningene er tenkt å skyldes dannelsen av fosforsyre. Hvitt fosfor er sterkt toksisk ved oralt inntak [42].

### **2.3.2 Rødt fosfor**

Forbrenningsproduktene fra rødt fosfor består av mange av de tilsvarende stoffene fra hvitt fosfor, med de viktigste produktene fosforpentoxid og videre dannelse av fosforsyre. Rødt fosfor er, i motsetning til hvitt fosfor, uløselig og er dermed ikke akutt toksisk ved inntak. Det er dannelse av ortofosforsyre som er tenkt å være hovedårsaken til irritantvirkningene av rødt fosfor. Skadevirkninger som følge av eksponering for røyk fra rødt fosfor ved inhalasjon er irritasjon og inflammasjon i luftveiene [43].

### **2.3.3 HC (heksakloretan)-røyk**

Blant de mest utbredte røykgranatene brukt i strid er de som produserer røyk ved forbrenning av en blanding av klorerte hydrokarboner og sinkoksid (ZnO). Heksakloretan (HCE)-røyk genereres ved forbrenning av HCE, ZnO og små mengder aluminium, og toksisiteten til røyken tilskrives produksjon av sinkklorid (ZnCl<sub>2</sub>) i reaksjonen. Røyken kan også inneholde små mengder fosgen, karbonmonoksid, klor og klorerte organiske forbindelser. Det finnes eksempler på at eksponeringer av ubeskyttede soldater for høye konsentrasjoner av HC-røyk selv i kort tid har ført til både skade og død [44]. Akutte

---

---

toksiske effekter ved inhalasjon av  $ZnCl_2$  oppstår ved reaksjon i slimhinner i de øvre luftveiene. De ultrafine partiklene i røyken kan videre nå dypt i lungene, og eksponering kan gi kortpustethet, brystmerter, hoste og utvikling av lungeødem og lungebetennelse. Det er antatt at fosgen, heksakloretan og karbonmonoksid bidrar til de observerte respiratoriske effektene sett ved inhalasjon av HC-røyk. Det er sett eksempel på utvikling av akutt lungesvikt hos en sveitsisk soldat etter eksponering for røyk inneholdende  $ZnCl_2$  under en militærøvelse [45]. Det er sett kreftfremkallende effekter i mus som følge av eksponering for HC-røyk [46], men det foreligger mangel på data for vurdering av mulig karsinogen eller mutagen effekt av  $ZnCl_2$  i mennesker.

#### **2.3.4 Tåkeolje**

Oppvarming, fordamping og kondensering av mineralolje genererer partikler som utgjør oljerøyk og danner en svært effektiv røykskjerming. De aerosoliserte oljedråpene kan deponeres i vann eller på land, og mennesker kan eksponeres for tåkeolje hovedsakelig gjennom inhalasjon, men også via oralt inntak. Som alle oljer består tåkeolje av en kompleks blanding av ulike hydrokarboner og dette kompliserer en toksikologisk vurdering av blandingen. Det eksisterer lite spesifikk data på toksisitet for tåkeolje, og vurderingene gjøres ut fra toksisiteten som er kjent fra mineraloljene og smøreoljene som tåkeolje typisk består av. Toksisitet ved eksponering for tåkeolje avhenger av råproduktene i oljen og generering av luftbårne partikler. En eldre variant av tåkeolje i bruk før 1986 besto av kreftfremkallende oljekomponenter som PAHer, men i den nyere militære standarden som er i bruk i dag er det fjernet kreftfremkallende substanser, og er kjent for å være lite akutt toksisk. Hudeksponering for tåkeolje kan gi utslett og eksem og yrkeseksponering for oljedamp ved inhalasjon kan påvirke utvikling av lungebetennelse og dannelse av granulomer (ansamling av betennelsesceller og bindevev) i lungene [43].

#### **2.3.5 Dieslrøyk**

Militære kjøretøyer kan i mange tilfeller generere røykskjerming ved bruk av diesel i eksossystemet. Dieselen kondenserer til en tykk hvit røyk som militært personell kan eksponeres for både under trening og strid. Eksponering skjer hovedsakelig ved inhalasjon av partikler og lungene er målorgan for skadevirkninger [43]. Det er imidlertid lite informasjon tilgjengelig om helseeffekter som følge av eksponering for uforbrent dieslrøyk i mennesker, i motsetning til forbrent dieseleksos. Det er observert vevsskade i luftveiene og lungeødem i dyr eksponert for dieslrøyk [47, 48]. Det er ikke funnet kumulativ toksisitet som følge av gjentatte lavdose-eksponeringer for dieslrøyk [49].

#### **2.3.6 Titanettraklorid**

Ved reaksjon med fuktig luft hydrolyseres titanklorid til en tykk hvit røyk og det produseres blant annet saltsyre, partikler av titanoksyklorid og titanoksid. De etsende egenskapene til saltsyre kan gi skade på kroppsvev som i luftveiene, øyer og hud [50]. Eksponering ved inhalasjon gir irritasjonseffekter på lunge som følge av både saltsyre og partikler av titanoksyklorid, som er tenkt å kunne gi skadelige effekter i de nedre luftveiene som følge av at de når dypt i lungene ved innpust.

#### **2.3.7 Titandioksid**

Ved bruk av titandioksid-røyk kan militært personell eksponeres for fine og ultrafine partikler av titandioksid som kan avsettes dypt i luftveiene og gi lungeskader. Videre er titandioksid klassifisert

---

---

som mulig karsinogen i mennesker [51], og inhalasjon av titandioksidpartikler i gass med saltsyre har vist å kunne gi metallfeber [52].

## 2.4 Industrielle militærrelevante kjemikalier

Det kan foreligge større helserisiko for militært personell som følge av økt bruk av industrikjemikalier i operasjoner og operativ aktivitet i urbane og industrielle miljøer der ulykker og terrorisme kan føre til utslipp av slike kjemikalier [53]. Utsiktede utslipp av kjemikalier kan skyldes operative prosedyrer, uopplærte operatører, utilstrekkelig forebyggende vedlikehold av utstyr, degradert utstyr eller lagringstanker eller ulykker. Utslipp kan skje under produksjon, transport, lagring eller bruk av industrikjemikalier. Militære leirer kan befinne seg i nærheten av industrifasiliteter som er dårlig vedlikeholdt. I slike situasjoner kan kjemikalier være lagret på uforsvarlig vis, enten i nærheten av andre kjemikalier som ikke bør blandes, under umerket lagring, eller at fasilitetene for lagring er teknisk utdatert. I tillegg vil noen eksponeringer for industrikjemikalier være uunngåelig ved mange tjenesterrelaterede aktiviteter. Vedlikehold og reparasjon av kjøretøy og utstyr, bruk av maling som er løsemiddelresistente, sprengningsarbeid, sveising og skjæring er eksempler på situasjoner i operasjoner der kjemikalieeksponering kan være vanlig. Mange produkter til bruk i standard prosedyrer som vedlikehold av motorisert materiell i militære operasjoner inneholder helse- og miljøskadelige kjemikalier. I tillegg inneholder flere produkter brukt i arbeid med vedlikehold av motor og lignende mange av de samme komponentene som kan finnes i fossilt brensel.

### 2.4.1 Toksiske industrikjemikalier

Eksponering for toksiske industrielle materialer (TIMs) og -kjemikalier (TICs) kan være signifikante og potensielt gi langsiktige helseeffekter for militært personell og påvirke operativ evne [54]. Trussel for eksponering for TICs består i første rekke av mulige utslipp som følge av uhell og ulykker knyttet til produksjons- og distribusjonsanlegg, lagertanker og under transport. Det er videre et voksende antall operasjoner i nærhet av industrianlegg og lagertanker som følge av deltakelse i fredsbevarende operasjoner, med kilder til utslipp av TICs som følger [55]. I andre situasjoner er det tenkelig at militært personell må ta seg inn i industribygninger, for eksempel ved hjelp av sprengning, der trykksatte kjemikalier i dårlige vedlikeholdte tanker kan stå lagret. TICs representerer også en risiko ved tilsiktet bruk i terrrorsammenheng. Mange industrikjemikalier lagres eller transporteres i store mengder og over store områder, hvilket gjør dem tilgjengelige i forhold til utslipp som følge av ulykker, men også tilsiktet utslipp. Det finnes et svært stort antall potensielt giftige kjemikalier. I den 12. utgaven av *Sax's dangerous properties of industrial materials* [56] er det listet giftige egenskaper til over 28 000 industrielle kjemiske stoffer. Under følger en beskrivelse av et lite utvalg av noen svært vanlige og giftige industrikjemikalier.

#### 2.4.1.1 Klor

Høy kjemisk reaktivitet gjør klor til et svært vanlig industrikjemikalie på verdensbasis. Klor brukes blant annet til desinfisering av drikkevann, i svømmebasseng og kloakkrensaneanlegg, i rengjøringsprodukter, til bleking av papir og tekstiler, og som intermediat i syntese av polyvinylklorid (PVC) og pesticider. I tillegg til utsiktede eksponering for klogass fra industrielle uhell, kan klogass også brukes i terrorformål, og var utbredt som stridsmiddel under første verdenskrig. Store mengder klor lagres og transporteres over store avstander på verdensbasis, som gjør klor i likhet med mange

---

---

andre giftige industrikjemikalier tilgjengelige for uønskede utilsiktede og tilsiktede hendelser og er dermed sikkerhetsmessig i en gråsoner. I romtemperatur foreligger klor i gassform og er gulgrønn av farge. Gassen er tyngre enn luft og spres dermed nærme bakken. Inhalasjon er hovedeksponeringsruten, og den høye toksisiteten til klorgass skyldes i stor grad den høye reaktiviteten med vann i slimhinner i øvre luftveier, lunger og øyne. Reaksjonen produserer saltsyre (HCl), hypoklorsyre (HClO) og frie radikaler som sammen virker irriterende og etsende på vev i lunge og øyne. Videre kan Cl reagere med sulfhydrylgrupper på aminosyrer og enzymer. Symptomer er tåresekretasjon, hoste, sårhet, kvelningsfølelse, åndenød og brystmerter, og høy eksponering kan gi respirasjonsstans [57].

#### **2.4.1.2 Svoveldioksid**

SO<sub>2</sub> er i tillegg til et av de vanligste luftforurensningsstoffene også en kjemisk forbindelse involvert i mange industrielle formål. Det finnes historiske eksempler på bruk av SO<sub>2</sub> som kjemisk stridsmiddel. SO<sub>2</sub> er en fargeløs gass og inhalasjon er hovedeksponeringsruten. Akutte effekter på luftveiene inkluderer hoste, åndenød, irritasjon i nese, hals og øyne og astmaliknende symptomer. Astmatikere kan oppleve forverrede symptomer eller økt sensitivitet og mottakelighet for lungeeffekter av SO<sub>2</sub>. Eksponering skjer oftest som følge av inhalasjon av røyk fra forbrenning av kull eller olje fra kraftanlegg eller som biprodukt fra kobbersmelteverk [58]. Ved frigjøring til luft kan svoveldioksid reagere til å produsere svovelsyre, en alvorlig irritant i luftveiene, eller andre svoveloksidforbindelser. Svovelsyre blir også produsert ved reaksjon mellom SO<sub>2</sub> og vann i slimhinner i øvre luftveier. Ved reaksjon med forbindelser i atmosfæren kan svoveldioksid danne små partikler som kan penetrere dypt i lungene og gi mer alvorlige helseeffekter som lungeemfysem, bronkitt og forverrede eksisterende hjertelidelser. Akutt eksponering for høye doser kan være dødelig. Kronisk eksponering kan gi langtidseffekter som reaktive-luftveier-dysfunksjon-syndrom eller som co-karsinogen (kreftfremkallende kun i kombinasjon med andre substanser, som dieseleksospartikler) [59].

#### **2.4.1.3 Cyanid**

Cyanid finnes i mange industriforbindelser som hydrogencyanid (HCN), natriumcyanid (NaCN) og kaliumcyanid (KCN). Som industrikjemikalie er HCN i bruk som et intermediat i produksjon av mange andre kjemikalier, som insektmiddel og finnes i lave konsentrasjoner i eksos fra kjøretøy. HCN er en fargeløs gass eller væske. Utilsiktet eksponering skjer hovedsakelig fra industriutslipp, som ved inhalasjon av røyk fra industri og avfallsforbrenning. Høy dødelighet ved spredning i lukkede miljøer så vel som høy forekomst og bruk av dette vanlige industrikjemikaliet gjør cyanidforbindelser aktuelle for bruk i terrorformål. HCN og cyanogenklorid (CNCl) har blitt brukt som kjemiske stridsmiddel blant annet under både første og andre verdenskrig. Cyanid er sterkt akutt toksisk for mennesker. Akutt eksponering kan gi hodepine, kvalme, respirasjonsforstyrrelse, hudirritasjon, tap av bevissthet og død. Kroniske effekter inkluderer toksisitet på respirasjonssystemet, sirkulasjonssystemet og sentralnervesystemet ved å forstyrre oksygenutnyttelse [60].

#### **2.4.1.4 Ammoniakk**

Ammoniakk (NH<sub>3</sub>) foreligger som en vannløselig, fargeløs gass med sterk lukt. Som industrikjemikalie er ammoniakk vanlig i bruk som blant annet gjødsel, i kjemisk syntese av nitrogenforbindelser, som husholdningskjemikalie og i kjøleanlegg. Militært personell kan eksponeres for NH<sub>3</sub> i flere situasjoner. Det dannes små mengder ammoniakk i avgasser fra avfiring av våpen som

---

---

kan pustes inn [26]. Videre kan det forekomme utslipp av  $\text{NH}_3$  som følge av lekkasje eller sabotasje fra gjødselprodusenter, slakterier, bryggerier eller andre industrielle fasiliteter som lagrer store mengder med  $\text{NH}_3$ . Det er ikke kjent bruk av ammoniakk i tilsiktede utslipp, men utslipp kan skje som følge av industrielle uhell eller ved bombing i nærheten av kjøleanlegg. Målorganene for akutt ammoniakkforgiftning er, som klorgass, øyne og luftveiene. Ammoniakk reagerer sterkt med vann i slimhinner i øvre luftveier og i øyne og produserer ammoniumhydroksid. Effekter som følge av inhalasjon av  $\text{NH}_3$  kan være astmaliknende symptomer, hoste, pustevansker og irritasjon i øyne [61].

### 2.4.2 Løsemidler

Løsemidler brukes blant annet til renhold, avfetting og vedlikehold av kjøretøy og utstyr, og i spraymaling motstandsdyktige mot kjemikalier (*chemical agent resistant coating*). Bruk av løsemidler i militære operasjoner involverer stort sett medbragte, standardiserte og godkjente kjemikalier. I noen tilfeller også kan industrikjemikalier være kjøpt inn lokalt og ikke nødvendigvis identifisert. På grunn av flyktigheten til de fleste organiske løsemidlene er inhalasjon hovedeksponeringsruten. De generelle fettløselige egenskapene til mange løsemidler gir lett absorpsjon etter inntak over lunger eller hud [62]. Etter absorpsjon kan løsemidler metaboliseres til enten mindre eller mer toksiske forbindelser og intermediater. Fettløselige løsemidler distribueres til fettvev der det kan lagres i lengre tid og forårsake helseeffekter lenge etter den ytre løsemiddeleksponeringen har opphørt.

Mange løsemidler deler flere egenskaper, inkludert kjemisk struktur og evne til å forårsake liknende helseeffekter. Dette inkluderer skade på hud, lever, nyre, nervesystemet, lunger og reproduksjonssystemet. Mange løsemidler er i tillegg mutagene. Kronisk og akutte høydoseeksponering for enkelte løsemidler kan gi effekter på sentralnervesystemet, og de fleste organiske løsemidler virker irriterende på hud og slimhinner ved langtidseksponering. Videre er noen løsemidler som *n*-hexan, karbon-disulfid og metyl-*n*-butyl-keton kjent for å forårsake perifer nevropati [63]. Noen aromatiske hydrokarboner som benzen, toluen og xylener var utbredt brukt tidligere, men er ikke lenger i bruk som løsemidler på grunn av toksisitet. Disse aromatiske hydrokarbonene er assosiert med effekter på beinmargen, utvikling av anemi, og har karsinogene egenskaper. Disse stoffene brukes imidlertid fortsatt i syntese av andre kjemikalier og som komponent i bensin og F-34-drivstoff. Helseeffekter fra akutt høydoseeksponering av de fleste løsemidler er identifisert, effekter av lavdoseeksponering er imidlertid mindre kjent. Videre vil man i mange situasjoner med bruk av løsemidler eksponeres for en blanding av ulike stoffer, og siden mange organiske løsemidler har samme egenskaper og effekter kan additive effekter forekomme. I tillegg vil individuell mottakelighet spille en rolle for effekter som følge av eksponering for løsemidler. Siden løsemidler er lungeirriteranter kan personell med respiratoriske lidelser som astma få forsterkede symptomer.

Enkelte halogenerte hydrokarboner kan også virke som løsemidler, og noen av disse er kjente menneskelige karsinogene forbindelser, som trikloretylen (TCE) [64]. TCE har vært svært utbredt i bruk som metallavfetting, i rensmiddel og som malingsfjerner i industri og også i militær virksomhet. TCE er svært flyktig og er dermed lett tilgjengelig for eksponering ved inhalasjon.

### 2.4.3 Metaller og gasser i sveiserøyk

Sveising, sliping og skjæring i materialer som er overflatebehandlet kan føre til at kjemikalier i belegget kan frigjøres og pustes inn. Slipestøv kan irritere hud og slimhinner og skade lungene ved

---

---

innånding, avhengig av kjemikaliene som frigis. Eksponering for toksiske avgasser fra sveise- og skjæreaktivitet av militært personell er situasjonsavhengig. I øvelse eller rutinearbeid vil verneutstyr som pustemaske være vanlig å benytte, mens dette ikke nødvendigvis er tilfelle i en hastesituasjon i en operasjon.

Avgasser som oppstår ved sveising er typisk en blanding av ulike metaller (kadmium, krom, jern, bly, mangan og nikkel) og toksiske gasser som CO, O<sub>3</sub> og NO<sub>x</sub> som kan inhaleres, avsettes i lungene og gi ugunstige helseeffekter, særlig ved opphold i avlukkede rom. Fra yrkessituasjoner med sveising som er sammenlignbare med den militære aktiviteten har det blitt rapportert om yrkesastma (astma forårsaket av faktorer i arbeidet), bronkitt, metallfeber, effekter på sirkulasjonssystemet og lungefibrose som følge av eksponering for sveiserøyk [65]. Bestanddelene i sveiserøyk som er tenkt å særlig forårsake de negative helseeffektene er krom, nikkel, fluor, sink og mangan. Toksisiteten involverer mer enn ett metall og de toksiske effektene kan være additive. Kjemisk lungebetennelse er en alvorlig tilstand av akutt lungeskade som typisk kan oppstå ved inhalasjon av kadmiumoksider frigjort ved industriell aktivitet som sveising, brenning og skjæring i materialer inneholdende kadmiumlegeringer, eller fra smelting av sink og bly, der kadmiumrøyk er et biprodukt [66]. I tillegg til effekter på lungefunksjon og mulig utvikling av astma, er eksponering for sveiserøyk vurdert som potensielt kreftfremkallende i mennesker [67]. Respirasjonssystemet er et målorgan for helseeffekter som følge av inhalasjon av metallforbindelser, men kronisk eksponering av metaller som bly, kvikksølv og mangan ved inhalasjon kan også gi systemiske effekter som nevrologiske skader. Videre kan kadmium gi skader på nyrer i tillegg til lunger [66]. Studier tyder på at yrkesmessig (langvarig) eksponering for mangan øker risiko for å utvikle, eller akselerere utviklingen av *Parkinson's disease* [68]. Under følger beskrivelse av et lite utvalg av toksiske stoffer som kan frigis i sveiserøyk.

#### **2.4.3.1 Kromater**

Rustbeskyttelse og grunninger for maling til bruk på kjøretøy og luftfartøy kan blant annet inneholde toksiske kromforbindelser. Spesielt heksavalent krom (Cr(VI)) er sterkt toksisk på grunn av høy oksiderende kraft, og er historisk mye brukt til industrielle formål. Eksponering for kromforbindelser gjennom industriell aktivitet relevant for militære styrker er i størst grad gjennom inhalasjon, og eksponeringen er som regel en blanding mellom trivalent krom (Cr(III)) og Cr(VI). Oralt inntak av kromforbindelser er tenkt å være mye mindre toksisk enn ved inhalasjon fordi inntatt Cr(VI) metaboliseres til inaktivt Cr(III) i magen [69]. Kromeksponering kan gi akutte lungeskader og irritere slimhinner i nesen. Visse Cr(VI)-forbindelser er også vist å være et potensielt menneskelig lokalt karsinogen ved høye eksponeringer. Som et eksempel er natrium dikromat (Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) et kjent toksisk industrikjemikalie og rustinhibitor inneholdende Cr(VI) som er assosiert med lungekreft hos yrkeseksponerte ved langtidseksponering. Effekter knyttet til lavdoseeksponering av Cr(VI)-forbindelser er imidlertid usikre. I tillegg oppstår eventuelle langtidseffekter som følge av kromeksponering ofte tiår etter eksponeringen har opphørt, som kompliserer etableringen av forholdet mellom eksponering for kromforbindelser og mange andre industrielle kjemikalier av deployert militært personell.

---

---

#### **2.4.3.2 Sink og kobber**

Særlig er inhalasjon av oksider av sink og kobber i sveiserøyk assosiert med metallfeber, i likhet med avgasser av de samme metallene fra våpenavfyring (se avsnitt 2.2.1). Metallfeber er forbundet med influensalignende symptomer og milde respiratoriske plager [70].

#### **2.4.3.3 Bly**

Sveising og skjæring i blyholdige legeringer eller metalloverflater som har blitt malt med blyholdig maling kan generere røyk av blyoksider. Bly er et svært giftig tungmetall. Akutte symptomer på blyforgiftning ved inhalasjon av blyholdig sveiserøyk kan være kvalme, magekramper og metallisk smak i munnen. Lengre eksponering av bly ved inhalasjon er forbundet med anemi og effekter på hjerne, sentralnervesystemet, nyrer og reproduksjonssystemet [71].

#### **2.4.3.4 Fosgen**

Fosgen er en gass kjent fra bruk som kjemisk stridsmiddel under første verdenskrig. I tillegg til tilsiktet bruk kan en eksponeres for fosgengass utilsiktet, som biprodukt fra industriell aktivitet. Damp fra avfettingsmidler kan inneholde organiske løsemidler, og ved sveising av behandlet materiale kan rester av avfettingsmidler som inneholder klorerte løsemidler som det karsinogene trikloroetylen (TCE) spaltes til svært giftige gasser som fosgen og dikloroacetyl-klorid. Fosgengass kan videre reagere med vann i lungene, hvilket produserer HCl, som er skadelig på lungevev [71]. Militært personell kan også eksponeres for fosgen ved kontakt med HC-røyk som kan inneholde spor av fosgen [41].

#### **2.4.3.5 Nitrogenoksider**

Inhalasjon av NO<sub>2</sub> og NO som dannes ved sveise- og skjæreaktivitet kan virke irriterende på slimhinner, og gi effekter som sterk hoste, kortpustethet, svimmelhet og kvalme. Høye eksponeringer er mest aktuelt under skjæresituasjoner der varmere flamme genererer høyest konsentrasjoner av nitrøse gasser. Helseeffekter er særlig forbundet med NO<sub>2</sub>-eksponering [71].

#### **2.4.3.6 Ozon**

Ozondannelse under sveising kan gi irritasjon på alle slimhinner, særlig i de øvre luftveiene. Helseeffekter som hodepine, brystmerter og hoste kan forekomme. Ozondannelse skjer kun ved gnistdannelse og er derfor tenkt å begrenses som følge av det [70].

---

---

### 3 Eksponeringer relatert til miljø

I alle miljøer der militært personell er deployert vil det foreligge spesielle lokale faktorer og hensyn som vil påvirke eksponeringssituasjoner og – scenarier. Eksempler [72] på slike lokale miljøforhold kan være:

- Områdets industrielle basis
- Lokal forurensning i vann, jord og luft
- Grad av informasjon om industrielle kjemikalier i området, og eventuell menneskelig eksponering av disse
- Lokal avfallshåndtering
- Grad av kunnskap om innvirkning av miljø eller kjemikalier på sykdom i området
- Energikilder i leir og i området
- Kjemikalier relatert til lokalt landbruk, som type og mengde gjødsel og sprøytemidler
- Kvaliteten på vannforsyninger og matforsyninger

Videre kan vertsnasjonens egne standarder på helse, miljø og sikkerhet (HMS) avvike fra hjemlige forhold og påvirke risikoer knyttet til ulike eksponeringer. Økt risiko kan skyldes manglende kontroll på miljø og omgivelser, situasjoner knyttet til forbrenning av diverse materiale eller lokal forurensning i jord, luft eller vann. Inhalering av støv og sand og luftbårne kontaminanter som følge av dårlig luftkvalitet representerer en betydelig helse- og sykdomsrisiko. I tillegg vil militært personell kunne deployeres i områder med ekstremt klima, som for eksempel ekstrem varme, som i betydelig grad vil kunne påvirke helse og ytelse til mannskap. Det er også mulig at ulike klimafaktorer kan innvirke på effekten av andre eksponeringer.

#### 3.1 Støv og partikler

Eksponering for partikulært materiale (PM) i luft kan utvikle eller påvirke lungefunksjon, andre helseeffekter og mortalitet. Slike fine partikler kan ha enten industrielt opphav, fra forbrenning av fossilt brensel fra motorredskaper, kjøretøy og forbrenning av avfall, eller naturlig opphav som sand og støv fra oppvirvling av jordskorpe eller sandstormer. Militær aktivitet som manøvrering av tunge kjøretøy genererer mye støv og kan gi oppvirvling av jordskorpe. Dette kan øke inhalasjonsmengden av partikler og assosierte forbindelser blant militært personell [20]. Områder preget av tung industri eller regioner som rammes av sandstormer er spesielt sårbare for økte partikkelkonsentrasjoner i lufta. Eksponering for luftforurensning som partikler, sand og støv kan gi økt risiko for utvikling av astma, allergier og lungefibrose, i tillegg til bronkitt og generelt nedsatt lungefunksjon. Risikoen ved eksponering for PM avhenger av eksponeringsfrekvens, immunologisk status i tillegg til konsentrasjon og komposisjon av partiklene. Toksisiteten av partikler avhenger sterkt av deres evne til å bære andre stoffer, eksempelvis organiske forbindelser og mikroorganismer, metaller, radioisotoper, industrielle



---

---

forurensningsstoffer og pesticider. En kompliserende faktor ved helserisikovurdering av PM er at egenskapene til en forbindelse festet til partikler, og dermed potensiale for toksisitet, er ofte ulik forbindelsenes iboende egenskaper. Toksisiteten til sand- og støvskyer avhenger også av jordskorpas elementære oppbygging. I tillegg kan toksiske metaller som arsen og kvikksølv forekomme i støv og sand i ørkenområder [73]. Allergener og mikroorganismer som virus og bakterier båret på partikler kan påvirke patogenese, for eksempel eksponering av sensitive individer for pollen og allergener og utvikling av luftveissykdommer som astma. Som et eksempel kan cyanobakterier, som spiller en stor rolle i nitrogen- og karbonsyklus i ørkenen, bli båret av ørkenstøv og dermed inhaleres. Nevrotoksiner produsert av cyanobakteriene er potensielle acetylcholin esterase (AChE)-inhibitorer og har blitt assosiert med utvikling av neurodegenerative sykdommer. Frekvensen av amyotrofisk lateral sklerose (ALS) var høy blant personell deployert under Gulfkrigen, og har blitt assosiert med inhalasjon av aerosoliserte cyanotoksiner [74]. I tillegg kan bakteriell oppblomstring av for eksempel cyanotoksiner også skje i drikkevannsforsyninger til deployert personell, som representerer en mer velkjent eksponeringsrute for ulike toksiner [75].

Områder berørt av sandstormer, som Midtøsten, Nord-Afrika og Karibien er kjent for spesielt mange tilfeller av astma. Videre er både utvikling av lungebetennelse (som *Al Eskan disease* under Gulfkrigen), økt dødelighet, kardiovaskulære lidelser og andre respiratoriske sykdommer knyttet til eksponering for støv- og sandpartikler [76]. Av bekymring er spesielt partikler <10 µm i størrelse, og særlig små partikler (<2,5 µm) og ultrafine partikler (<0,1 µm) som kan nå dypt i lungene og gi negative helseeffekter gjennom oksidativt stress [73]. *In vitro* og *in vivo* forskning har vist at PM kan nå alveolene og være årsak til lungebetennelser, nedsatt funksjon til alveolære makrofager, skade på epitelceller i luftveiene i tillegg til å forverre tilstand ved allerede eksisterende luftveisplager. Studier har vist toksiske effekter av sandpartikler på alveolære makrofager i rotter og oksidativ skade i både lunge, hjerte og lever i rotter som følge av eksponering for PM fra sandstormer [76, 77].

### 3.2 Pesticider

Bruk av pesticider i militære leirer og på militær bekledning er utbredt og nødvendig i internasjonale operasjoner. Under deployering i fremmede miljø kan personell utsettes for bitt fra vektorer for patogener. Mange av pesticidene brukt historisk er i dag forbudte i bruk og produksjon som følge av høy toksisitet og persistens. Nevrologiske symptomer i amerikansk militært personell deployert under Gulfkrigen ble assosiert med eksponering for blandinger av insekticider som organofosforforbindelser, karbamater, pyrethriner og pyrethroider, lindan og *N,N*-diethyl-3-metylbenzamid (DEET) [71].

Pesticider som brukes i internasjonale militære operasjoner i dag er av NATO-standardisering. Imidlertid er det vanskelig å kontrollere eventuell kjøp og bruk av ikke-godkjente insektmidler med ukjent innhold og mulige toksiske egenskaper fra det lokale markedet i operasjonens vertsnasjon. Pyrethroider og pyrethriner er vanlige pesticidgrupper i bruk i dagens militære operasjoner. Bruk av permethrin, som er et pyrethroid, har blitt utbredt som følge av bredt bruksområde som vektorkontroll og tydelig lavere toksisitet for pattedyr enn for insekter. Militær bruk av permethrin inkluderer hovedsakelig spraying på uniform og impregnering av insektsnetting. Sivile populasjoner eksponeres for forbindelser som permethrin gjennom mat og tekstiler grunnet middelets utbredte bruk i landbruk. Det er ingen kjente langtidseffekter som følge av eksponering av permethrin i mennesker, men det er

---

---

usikkerheter rundt eventuelle blandingseffekter ved kombinasjon med andre insektsmidler [78]. I tillegg til hva militært personell bruker selv av midler for å kontrollere insekter, er det også viktig å vurdere hvilke pesticider som brukes av befolkningen rundt. Som et eksempel kan toksiske pesticider i lokal bruk på avlinger og gressområder akkumulere og migrere til grunnvannet og slik forurense drikkevannet. I tillegg kan det ta år eller tiår før kjemikaliene når grunnvannet, slik at personell som benytter slike drikkevannsforsyninger kan eksponeres for rester fra de svært toksiske pesticidene som var i bruk tidligere, men som i dag er utfaset [79].

### 3.3 Forurensningsstoffer i drikkevann

Industriell aktivitet, gruvedrift og militære fasiliteter med det brede spekteret aktiviteter forbundet med slik virksomhet har betydelig potensiale til å påvirke kvaliteten til både avlinger og grunnvann i nærheten. Denne påvirkningen kan skje som følge av avfallsdeponering, lagring av materiale eller som et resultat av lekkasjer og utslipp. Aktuelle forurensningsstoffer kan være både mikrobielle kontaminanter eller patogener, kjemiske forurensninger fra antropogen aktivitet i tillegg til naturlig forekommende kjemikalier i grunnvann. Deployert personell i de fleste operasjoner i dag benytter seg av flaskevann, men dersom det benyttes lokale drikkevannsforsyninger kan disse være forurenset fra industrielle eller naturlige kilder. Der det ikke benyttes godkjent drikkevann skal det i henhold til Forsvarets sikkerhetsbestemmelser (UD 2-1) [80] benyttes et klorpreparat godkjent av veterinær, som dreper sykdomsfremkallende mikrober. Det anbefales videre i UD 2-1 at ved bruk av ikke-godkjente drikkevannskilder i felt bør vannet kokes eller filtreres gjennom vannrensere. Forurensninger som stammer fra militær aktivitet og som kan påvirke grunnvannskvalitet kan for eksempel være hydrokarboner fra fossilt brennstoff, pesticider, løsemidler, metaller, avfall eller rester fra eksplosive stoffer. Som et eksempel på sistnevnte er 2,4,6-TNT svært løselig i vann, persistent mot degradering og har høy toksisitet for mennesker, inkludert klassifisering som mulig kreftfremkallende i mennesker. Historisk produksjon og bruk av kjemiske stridsmidler, og destruksjon eller avvikling av fasiliteter for produksjon av kjemisk bevæpning har også i ettertid reist store spørsmål om forurensning av slike stoffer i miljø inkludert grunnvann og mulig menneskelig eksponering for tilknyttede substanser. I noen tilfeller kan også dårlig lokalisert latriner eller septiktanker være en kilde til forurensning av spesielt vann fra brønner.

Drikkevann fra et område preget av gruvedrift kan være forurenset av metaller og metalloider av helsebekymring som arsen, mangan, bly, kadmium, nikkel, kobber, sink, aluminium, kvikksølv og uran [81]. Uran er assosiert med toksiske effekter på nyrefunksjon [82]. Uran, radium, radon og thorium er videre radioaktive elementer som kan gi risiko for utvikling av kreft ved lengre eksponering. Arsen er en vanlig kontaminant i drikkevann i flere områder i verden. En kan eksponeres for arsen fra arsenholdige pesticider, gruvedrift eller forbrenning av fossilt brensel, men uorganisk arsen fra naturlige kilder representerer også en stor kilde for eksponering fra drikkevann. Arsen i drikkevann har blitt assosiert med kreft i lunger, hud, blære og nyrer i tillegg til toksiske effekter på hormonsystemer og reproduksjonssystemet [83]. Videre har utslipp av avløpsvann fra kloakk til overflatevann vist å inneholde miljøgifter som ftalater, bisfenoler, alkylfenoler, alkylfenol-etoxylater. Slike forbindelser er forbundet med forstyrrelse av hormonsystemene og kan assosieres med et bredt spekter av helseeffekter. Det er imidlertid begrenset kunnskap om effekten av hormonforstyrrende miljøgifter fra slike forekomster i mennesker [82].

---

---

I en masteroppgave fra 2014 ble det undersøkt om grunnvannet hadde tilfredsstillende drikkevannskvalitet i to områder i Afghanistan der norske styrker har vært deployert (Maimanah og Kabul) [84]. Grunt grunnvann er den viktigste kilden til drikkevann i Kabul. På grunn av manglende systematisk kloakkrensing eller renovasjonssystem blir det grunne grunnvannet i betydelig grad påvirket av forurensning fra naturlige og antropogene kilder. Vannprøver ble tatt i 2013, og analysene viste nivåer av metallene bor (B), natrium (Na), magnesium (Mg) og mangan (Mn) ved en eller flere brønner i Kabul høyere enn tåleverdiene satt i Drikkevannsforskriften ved inntak av kun 2 liter vann per dag. Bor er toksisk for reproduksjonssystemet. Toksiske effekter fra eksponering for magnesium i drikkevann er størst i personer med nyrelidelser. Eksponering for mangan kan gi hodepine, apati og svakhet, og langtidseksponering kan gi effekter på nervesystemet. Høyere nivåer av natrium enn anbefalt i drikkevann vil først og fremst ha en dehydrerende effekt og kan påvirke utvikling av høyt blodtrykk.

---

---

## 4 Diskusjon og konklusjon

I militære operasjoner er deployert personell eksponert for et bredt spekter av potensielt helsefarlige stoffer fra det operasjonelle arbeidsmiljøet som kan gi negative helseeffekter på kort eller lang sikt. Disse stoffene kan stamme fra militær aktivitet, lokale miljøforhold i vertsnasjonen eller utilsiktet eller tilsiktet utslipp av kjemikalier. Eksponeringer kan resultere fra bruk av industrielle kjemikalier i reparasjon og vedlikehold av utstyr og kjøretøy, bruk av fossilt brennstoff, sveising, skjæring og sprengning, bruk av våpen, eller eksponeringer for forurensningsstoffer i luft, jord eller vann. Inhalasjon representerer den viktigste eksponeringsruten for kjemiske stoffer og partikler beskrevet i denne studien.

Tabell 1 viser tålegrensene for yrkesmessig eksponering for aktuelle helsefarlige stoffer i militære operasjoner. Det er viktig å ta i betraktning at eksponeringsvinduet for deployert personell skiller seg fra en vanlig yrkeseksponering. Eksponeringene relevant for deployert personell er gjerne knyttet til en spesiell oppgave eller operasjon av varighet fra minutter til flere dager, som skiller seg vesentlig fra eksponering gjennom en definert arbeidsdag.

Tabell 4.1. Grenseverdier for yrkesmessig eksponering for militærrelevante kjemikalier og stoffblandinger hentet fra Arbeidstilsynet [85]. Verdiene er maksimumsnivåer for gjennomsnittskonsentrasjon av kjemikalier i referanseperioden på 8 timer daglig, 5 dager i uken. Eksponeringsruten er ved inhalasjon med mindre annet er spesifisert.

| Forbindelse   | Grenseverdier for 8t, 5d. (mg/m <sup>3</sup> ) | Kommentar  |
|---|--|--|
| Parafin (røyk)                                      | 2  |  |
| Svoveldioksid                                       | 2  |  |
| Ozon  | 0,2  |  |
| Nitrogenoksid                                       | 30   |  |
| Nitrogendioksid                                     | 1,1  |  |
| PAH   | 0,04   |  |
| Karbonmonoksid                                      | 29   |  |
| Karbondioksid                                       | 9000   |  |
| Hydrogensulfid                                      | 7  |  |
| Dieseleksospartikler (elementært karbon som markør) | 0,1  | Grenseverdi hentet fra <i>Toxicology Excellence for Risk Assessment</i> [86] |
| Naftalen  | 50   |  |
| Benzen  | 3  |  |
| Hydrazin  | 0,01   |  |
| Ammoniakk   | 11   |  |
| Hydrogencyanid                                      | 5  |  |
| Kobber (røyk)                                       | 0,1  |  |
| Kobber (støv)                                       | 1  |  |
| Antimon   | 0,5  |  |
| Bly (støv)  | 0,05   |  |
| Uran og uranforbindelser                            | 0,2  |  |
| Wolfram   | 5  |  |
| TNT   | 0,1  |  |

|  |           |  |
|--|-----------|--|
| <b>RDX</b>                               | 0,5       | Grenseverdi hentet fra <i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i> [87] |
| <b>Nitroglycerin (glyceroltrinitrat)</b> | 0,27      |  |
| <b>Fosforsyre</b>                        | 1         |  |
| <b>Sinkklorid</b>                        | 1         |  |
| <b>Sink (sinkoksid)</b>                  | 5         |  |
| <b>Fosgen</b>                            | 0,2       |  |
| <b>Titanoksyklorid (støv)</b>            | 5         |  |
| <b>Titandioksid</b>                      | 5         |  |
| <b>Tåkeolje (mineraloljepartikler)</b>   | 1         |  |
| <b>Klor</b>                              | 1,5       |  |
| <b>Sveiserøyk, uspesifisert</b>          | 1         |  |
| <b>n-heksan</b>                          | 72        |  |
| <b>Karbondisulfid</b>                    | 5         |  |
| <b>Metylbutylketon</b>                   | 4         |  |
| <b>Toluene</b>                           | 94        |  |
| <b>Xylene</b>                            | 108       |  |
| <b>Trikkloreten</b>                      | 50        |  |
| <b>Kvikksølv</b>                         | 0,01      |  |
| <b>Kromsyre og kromater (Cr(VI))</b>     | 0,005     |  |
| <b>Krom (II og III)</b>                  | 0,5       |  |
| <b>Saltsyre</b>                          | 7         |  |
| <b>Arsen</b>                             | 0,01      |  |
| <b>Arsen (i vann, mg/l)</b>              | 0,01      |  |
| <b>Fluor</b>                             | 0,2       |  |
| <b>Bor (i vann, mg/l)</b>                | 1         |  |
| <b>Mangan</b>                            | 1         |  |
| <b>Mangan (i vann, mg/l)</b>             | 0,05 mg/l |  |
| <b>Magnesium (i vann, mg/l)</b>          | 125 mg/l  |  |
| <b>Natrium (i vann, mg/l)</b>            | 200 mg/l  |  |

Eksposering for de kjemiske stoffene og partiklene kartlagt i denne rapporten kan gi negative helseeffekter avhengig av operasjonens art, lengde, eksponeringsfrekvens, og eventuell eksponering av flere stoffer samtidig. Utfordringene med helserisikovurdering av deployering i militære operasjoner er blandingseffekter ved eksponering for mange kjemikalier til samme tid, eller i komplekse stoffblandinger, manglende årsak-effekt-sammenheng samt helseeffekter som utvikles lang tid etter deployering og eksponering har opphørt.

Det er videre utfordrende å bestemme til hvilken grad eksponering for potensielt helseskadelige stoffer i militære operasjoner overskrider de gitte grenseverdiene en opererer med i yrkesmessige situasjoner (Tabell 1), ettersom eksponeringene ikke nødvendigvis er like identifiserte og regulerte som i en yrkessituasjon. I svært mange tilfeller er det uvisshet om hva en eksponeres for, og det er mulig at bruken av verneutstyr som pustemaske, støvmaske eller hansker i operasjonelle forhold varierer. Videre kan risikoreducerende tiltak begrenses som følge av dårlige miljøforhold, som naturlig høye støvnivåer i luft.

---

---

Ut fra litteraturstudien og intervjuene med personell i operative miljø er det særlig tenkelig følgende situasjoner der gitte normverdier kan overskrides i internasjonale militære operasjoner:

- Inn pust av røyk og eksos fra forbrenning av fossilt brensel i aggregater og kjøretøy eller forbrenning av avfall
- Opphold i områder preget av sandstormer eller høy luftforurensning, og inn pust av dertilhørende partikler, støv og sand.
- Eksponering for toksiske industrikjemikalier enten som følge av lekkasjer fra lokale kjemikalielagre av dårlig teknisk tilstand eller som følge av sabotasje og tilsiktede utslipp.

Helse- og miljørisikovurderinger ved deployering er nødvendig på en måte som øker bevisstgjøring og forståelse og samtidig minimerer trusler og bekymringer for helse og sikkerhet. Ved siden av FSANs kartlegging av området for smittefarlige og miljøfarlige substanser (MEDINTEL) bør overvåking av kjemikalier, stoffer og biomarkører i biologisk media (kroppsvæv, blod etc.) (biomonitorering av eksponering) påkrevs. Soldaters helse må ivaretas før, under og etter deployering. I Forsvarsdepartementets strategi for forskning og utvikling for forsvarssektoren [88] inkluderer ett av de prioriterte temaområdene forebygging og oppfølging av helsemessige forhold knyttet til veteraner. Videre spesifiseres det i regjeringens "Handlingsplan for ivaretagelse av personell før, under og etter utenlandstjeneste" [1] utvikling og implementering av metoder for å kartlegge helseutvikling i forbindelse med internasjonal tjenestegjøring. Relevansen av denne studien er dermed høy, og flere studier bør gjennomføres for å avdekke potensielle negative helseeffekter i forbindelse med deployering for soldater som tjenestegjør i internasjonale operasjoner.

Negative effekter av miljøkontaminanter kan påvirke troppers beredskap og operativitet i tillegg til å kunne forårsake helseproblemer på lang sikt og videre kunne representere store kostnader. Derfor er utvikling av metoder for påvisning av eksponering for toksiske substanser av deployert militært personell essensielt. Tidligere FFI-rapporter har vurdert hvordan utilsiktede hendelser som utslipp av toksiske industrikjemikalier og andre trusselstoffer kan utgjøre en helse- og sikkerhetstrussel for deployerte styrker. Denne rapporten har presentert mulige situasjoner for slike utilsiktede eksponeringer i internasjonale militære operasjoner og hvordan disse kan påvirke helse til tjenestegjørende. Dokumentasjon av eksponeringer og helseutvikling hos personell i Forsvarets pasientjournalssystem (SANDOK) er dermed essensielt for kunnskapsutvikling av hvordan forskjellige miljø under utenlandstjeneste kan påvirke helse til militært personell. Å tilknytte eksponering for ulike stoffer til utvikling av eventuelle seneffekter avhenger videre av økt kunnskap om helsevirkningen av stoffer som deployert personell eksponeres for i ulike operasjonelle forhold.

---

---

## Referanser

1. Forsvarsdepartementet, *Handlingsplan: I tjeneste for Norge*, in *Regjeringens handlingsplan for ivaretagelse av personell før, under og etter utenlandstjeneste*. 2011: regjeringen.no.
2. Endregard, M., et al., *Scenarioer for CBRN-trusler mot Norge og norske styrker i utenlandsoperasjoner*, in *FFI-rapport 2013/01412*. 2015, Forsvarets Forskningsinstitutt.
3. Tørnes, J.A., et al., *The CRN threat against Norwegian troops in international operations - a comparative study: Kosovo and Afghanistan*, in *FFI-rapport 2009/00078*. 2009.
4. Kontreadmiral Sjøf FSAN og S.J. Pettersen, *Bestemmelse om vaksinasjon og medikamentell profylakse*. 2015: Forsvaret.
5. Bove, F.J., et al., *Evaluation of mortality among marines and navy personnel exposed to contaminated drinking water at USMC base Camp Lejeune: a retrospective cohort study*. *Environmental Health*, 2014. **13**(10): p. 10.1186.
6. Baird, C.P., et al., *Respiratory health status of US Army personnel potentially exposed to smoke from 2003 Al-Mishraq sulfur plant fire*. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 2012. **54**(6): p. 717-723.
7. King, M.S., et al., *Constrictive bronchiolitis in soldiers returning from Iraq and Afghanistan*. *New England Journal of Medicine*, 2011. **365**(3): p. 222-230.
8. Korényi-Both, A.L. og D. Juncer, *Al Eskan disease: Persian Gulf syndrome*. *Military Medicine*, 1997. **162**(1): p. 1-13.
9. Mancuso, J.D., M. Ostafin, og M. Lovell, *Postdeployment evaluation of health risk communication after exposure to a toxic industrial chemical*. *Military medicine*, 2008. **173**(4): p. 369-374.
10. Zhang, J., et al., *Influence of fuel sulfur on the characterization of PM 10 from a diesel engine*. *Fuel*, 2009. **88**(3): p. 504-510.
11. Mattie, D.R. og T.R. Sterner, *Past, present and emerging toxicity issues for jet fuel*. *Toxicology and applied pharmacology*, 2011. **254**(2): p. 127-132.
12. Ritchie, G., et al., *Biological and health effects of exposure to kerosene-based jet fuels and performance additives*. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part B: Critical Reviews*, 2003. **6**(4): p. 357-451.
13. Baynes, R.E., et al., *Mixture effects of JP-8 additives on the dermal disposition of jet fuel components*. *Toxicology and applied pharmacology*, 2001. **175**(3): p. 269-281.
14. Allen, D., J. Riviere, og N. Monteiro-Riviere, *Identification of early biomarkers of inflammation produced by keratinocytes exposed to jet fuels jet A, JP-8, and JP-8 (100)*. *Journal of biochemical and molecular toxicology*, 2000. **14**(5): p. 231-237.
15. National Research Council (NRC), *Toxicological assessment of jet-propulsion fuel 8* The National Academies Press. Washington D.C, 2003.
16. Yttervoll, M. og S. Oddvarsdotter, Kjersti. *Informasjon og helseplager ved eksoseksponering*. 2016.
17. Institute of Medicine of the National Academies, *Gulf War and Health: Volume 3. Fuels, Combustion Products and Propellants*. Committee on Gulf War and Health. The National Academies Press, Washington D.C. USA, 2005.
18. United States Environmental Protection Agency, *Health Assessment Document for Diesel Engine Exhaust*. EPA/600/8-90/057F, 2002.
19. Morris, M.J., L.L. Zacher, og D.A. Jackson, *Investigating the respiratory health of deployed military personnel*. *Military medicine*, 2011. **176**(10): p. 1157-1161.

- 
- 
20. Weese, C.B. og J.H. Abraham, *Potential health implications associated with particulate matter exposure in deployed settings in southwest Asia*. Inhalation toxicology, 2009. **21**(4): p. 291-296.
  21. Ostrowski, S.R., et al., *Agency for Toxic Substances and Disease Registry's 1997 priority list of hazardous substances. Latent effects—carcinogenesis, neurotoxicology, and developmental deficits in humans and animals*. Toxicology and Industrial Health, 1999. **15**(7): p. 602-644.
  22. International Agency for Research on Cancer (IARC), *Some industrial chemicals and dyestuffs*. IARC Monogram Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans, 1982. **29**: p. 95-148.
  23. Egeghy, P., et al., *Benzene and naphthalene in air and breath as indicators of exposure to jet fuel*. Occupational and environmental medicine, 2003. **60**(12): p. 969-976.
  24. U.S. Environmental Protection Agency, *Integrated Risk Information System (IRIS) on Hydrazine/Hydrazine Sulfate*. National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, Washington DC. USA, 1999.
  25. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, *Public Health Statement for Perchlorates*. U.S. Department of Health and Human Services, 2008.
  26. Voie, Ø., et al., *Helseeffekter ved bruk av blyholdig og blyfri ammunisjon i kombinasjon med HK416*, in *FFI-rapport 2013/02026*. 2013, Forsvarets Forskningsinstitutt.
  27. Harley, N.H., et al., *A Review of the Scientific Literature as it Pertains to Gulf War Illnesses. Vol. 7, Depleted Uranium*. 1999, Corporation National Defense Research Institute, Washington, USA.
  28. Høibråten, S., O. Dullum, og P. Aas, *Ammunisjon med utarmet uran - bakgrunn og virkninger*, in *FFI-rapport 2001/04471*. 2001, Forsvarets forskningsinstitutt.
  29. Bleise, A., P. Danesi, og W. Burkart, *Properties, use and health effects of depleted uranium (DU): a general overview*. Journal of Environmental Radioactivity, 2003. **64**(2): p. 93-112.
  30. U.S. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine (USACHPPM), *Depleted uranium- Human exposure assessment and health risk characterization in support of the environmental exposure report "Depleted uranium in the Gulf" of the Office of the Special Assistant to the Secretary of Defense for Gulf War Illnesses.*, in *Health risk assessment consultation No.26-MF-7555-00D*. 2000: Medical Readiness and Military Deployments OSAGWI Levels I, II and III Scenarios.
  31. World Health Organization (WHO), *Depleted Uranium: Sources, Exposure and Health Effects*. WHO, Geneva, 2001.
  32. Clausen, J.L., et al., *Fate and transport of tungsten at Camp Edwards small arms ranges*. 2007: Engineering Research and Development Center, Cold Regions Research and Engineering Lab, Hanover.
  33. Miller, A.C., et al., *Effect of the militarily-relevant heavy metals, depleted uranium and heavy metal tungsten-alloy on gene expression in human liver carcinoma cells (HepG2)*. Molecular and cellular biochemistry, 2004. **255**(1-2): p. 247-256.
  34. Kalinich, J.F., et al., *Embedded weapons-grade tungsten alloy shrapnel rapidly induces metastatic high-grade rhabdomyosarcomas in F344 rats*. Environmental Health Perspectives, 2005: p. 729-734.
  35. Koutsospyros, A., et al., *A review of Tungsten: from Environmental Obscurity to Scrutiny*. Journal of Hazardous Materials, 2006. **136**(1): p. 1-19.
  36. Anard, D., et al., *In vitro Genotoxic Effects of Hard Metal Particles Assessed by Alkaline Single Cell Gel and Elution Assays*. Carcinogenesis, 1997. **18**(1): p. 177-184.
  37. Van Goethem, F., D. Lison, og M. Kirsch-Volders, *Comparative evaluation of the in vitro micronucleus test and the alkaline single cell gel electrophoresis assay for the detection of DNA damaging agents: genotoxic effects of cobalt powder, tungsten carbide and cobalt-tungsten carbide*. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 1997. **392**(1): p. 31-43.



- 
- 
38. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. *2,4,6-Trinitrotoluene (TNT) fact sheet*. 1996 07.03.2016]; Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts78.html>.
  39. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. *RDX fact sheet*. 1996 07.03.2016]; Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts78.html>.
  40. Pichtel, J., *Distribution and fate of military explosives and propellants in soil: a review*. Applied and Environmental Soil Science, 2012. **2012**.
  41. Voie, Ø., *Helse- og miljørisikovurdering av militære røyksatser*, in *FFI-rapport 2013/02530*. 2013, Forsvarets Forskningsinstitutt.
  42. National Research Council (NRC), *Toxicity of Military Smokes and Obscurants volume 2*. 1999: Committee on Toxicology, Commission on Life Sciences, National Academy Press, Washington D.C. USA.
  43. National Research Council (NRC), *Toxicity of Military Smokes and Obscurants volume 1*. 1997: Committee on Toxicology, Commission on Life Sciences. National Academy Press, Washington D.C. USA.
  44. Holmes, P.S., *Pneumomediastinum associated with inhalation of white smoke*. Military medicine, 1999. **164**(10): p. 751.
  45. Hillgaertner, F., et al. *Severe acute respiratory distress syndrome after smoke bomb explosion*. in *Swiss Medical Weekly*. 2010. EMH Swiss Medical Publishers LTD Farnsburgerstr. 8, Ch-4132 Muttenz, Switzerland
  46. Marrs, T., et al., *The repeated dose toxicity of a zinc oxide/hexachloroethane smoke*. Archives of toxicology, 1988. **62**(2-3): p. 123-132.
  47. Callahan, J., et al., *Acute inhalation toxicity of diesel fuels (DF2 and DF1) used in Vehicle Engine Exhaust Smoke Systems (VEESS). Technical report, October 1978-August 1979*. 1983, Army Armament Research and Development Command, Aberdeen Proving Ground, MD (USA). Chemical Systems Lab.
  48. Callahan, J., et al., *Subchronic inhalation toxicity of df2 (diesel fuel) used in vehicle engine exhaust smoke systems (VEESS). Technical report*. 1986, Chemical Research and Development Center, Aberdeen Proving Ground, MD (USA).
  49. Lock, S., et al., *Chemical Characterization and Toxicologic Evaluation of Airborne Mixtures. Inhalation Toxicology of Diesel Fuel Obscurant Aerosol in Sprague-Dawley Rats. Phase 3. Subchronic Exposures*, in *ORNL/TM-9403. AD-A150 100. Oak Ridge National Laboratory*. 1984.
  50. Kapias, T. og R. Griffiths, *Accidental releases of titanium tetrachloride (TiCl<sub>4</sub>) in the context of major hazards—spill behaviour using REACTPOOL*. Journal of hazardous materials, 2005. **119**(1): p. 41-52.
  51. International Agency for Research on Cancer (IARC), *Carbon Black, Titanium Dioxide, and Talc*. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 2010. **93**.
  52. Otani, N., S. Ishimatsu, og T. Mochizuki, *Acute group poisoning by titanium dioxide: inhalation exposure may cause metal fume fever*. The American journal of emergency medicine, 2008. **26**(5): p. 608-611.
  53. Bacon, D., et al., *Industrial Hazards to Military Personnel*. 2005: Armed Forces Medical Intelligence Center Fort Detrick Frederick MD.
  54. Hauschild, V.D. og A.P. Lee, *Assessing chemical exposures during military deployments*. Military medicine, 2004. **169**(2): p. 142-146.
  55. Gjesdal, T., et al., *Terror mot industrianlegg - en vurdering av mulige scenarier*, in *FFI-rapport 2008/02092*. 2008, Forsvarets Forskningsinstitutt.
  56. Lewis, S.J.R., *Sax' Dangerous Properties of Industrial Materials, 12th ed*. 2012.
  57. Jones, R., B. Wills, og C. Kang, *Chlorine gas: an evolving hazardous material threat and unconventional weapon*. Western Journal of Emergency Medicine, 2010. **11**(2).

- 
- 
58. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, *Public Health Statement: Sulfur Dioxide*. U.S. Department of Health and Human Services, 1998.
  59. The Centre for Research Information Inc, *Health Effects of Project Shad Chemical Agent: Sulfur Dioxide*. The National Academies Press, 2004.
  60. Baskin, S.I. og G.A. Rockwood, *Neurotoxicological and behavioral effects of cyanide and its potential therapies*. *Military Psychology*, 2002. **14**(2): p. 159.
  61. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, *Toxicological Profile for Ammonia*. U.S. Department of Health and Human Services, 2004.
  62. Bruckner, J.V. og D.A. Warren, *Toxic effects of solvents and vapors*. 6 ed. Cassarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons, ed. C.D. Klaassen. 2001.
  63. Graham, D.G., et al., *Pathogenetic studies of hexane and carbon disulfide neurotoxicity*. *Critical reviews in toxicology*, 1995. **25**(2): p. 91-112.
  64. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, *Toxicological profile for Trichloroethylene*. U.S. Department of Health and Human Services, 2014.
  65. Hartmann, L., et al., *Assessment of the biological effects of welding fumes emitted from metal inert gas welding processes of aluminium and zinc-plated materials in humans*. *International journal of hygiene and environmental health*, 2014. **217**(2): p. 160-168.
  66. Nemery, B., *Metal toxicity and the respiratory tract*. *European Respiratory Journal*, 1990. **3**(2): p. 202-219.
  67. International Agency for Research on Cancer (IARC), *Chromium, Nickel and Welding*, in *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans vol. 49*. 1990, WHO.
  68. Lu, L., et al., *Alteration of serum concentrations of manganese, iron, ferritin, and transferrin receptor following exposure to welding fumes among career welders*. *Neurotoxicology*, 2005. **26**(2): p. 257-265.
  69. Pellerin, C. og S.M. Booker, *Reflections on hexavalent chromium: health hazards of an industrial heavyweight*. *Environmental health perspectives*, 2000. **108**(9): p. A402.
  70. Antonini, J.M., *Health effects of welding*. *Critical Reviews in Toxicology*, 2003. **33**(1): p. 61-103.
  71. Ashby, H.S., *Welding fume in the workplace*. *Professional Safety*, 2002. **47**(4): p. 55.
  72. Tran, N.L., et al., *Environmental health risk assessment methodology for overseas military deployment*. *Johns Hopkins APL technical digest*, 1999. **20**(3): p. 405.
  73. Griffin, D.W., *Atmospheric movement of microorganisms in clouds of desert dust and implications for human health*. *Clinical microbiology reviews*, 2007. **20**(3): p. 459-477.
  74. Cox, P.A., et al., *Cyanobacteria and BMAA exposure from desert dust: a possible link to sporadic ALS among Gulf War veterans*. *Amyotrophic Lateral Sclerosis*, 2009. **10**(S2): p. 109-117.
  75. Funari, E. og E. Testai, *Human health risk assessment related to cyanotoxins exposure*. *Critical reviews in toxicology*, 2008. **38**(2): p. 97-125.
  76. Meng, Z. og Q. Zhang, *Oxidative damage of dust storm fine particles instillation on lungs, hearts and livers of rats*. *Environmental toxicology and pharmacology*, 2006. **22**(3): p. 277-282.
  77. Geng, H., Z. Meng, og Q. Zhang, *Effects of blowing sand fine particles on plasma membrane permeability and fluidity, and intracellular calcium levels of rat alveolar macrophages*. *Toxicology letters*, 2005. **157**(2): p. 129-137.
  78. Mross, K.-G., et al., *Human Exposure Biomarkers: Permethrin as a Military-Relevant Model*, in *Biotechnologies for Assessment of Toxic Hazards in Operational Environments*. 2008.
  79. U.S. Geological Survey Water Science School. *Pesticides in Groundwater*. 2015 [09.03.2016]; Available from: <http://water.usgs.gov/edu/pesticidesgw.html>.
  80. Forsvaret, *UD 2-1*, in *Forsvarets sikkerhetsbestemmelser for landmilitær virksomhet*. 2016.

- 
- 
81. Teaf, C., et al., *Industry, mining and military sites: Potential hazards and information needs*. Protecting Groundwater for Health, ed. J. Chilton og I. Chorus. 2006, World Health Organization. 309-336.
  82. Fawell, J. og M.J. Nieuwenhuijsen, *Contaminants in drinking water Environmental pollution and health*. British Medical Bulletin, 2003. **68**(1): p. 199-208.
  83. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, *Arsenic Toxicity*. U.S. Department of Health and Human Services, 2011.
  84. Sundem, L., *Quality of drinking water in Afghanistan*, in *Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), Institutt for miljøvitenskap*. 2014.
  85. Arbeidstilsynet, *Forskrift om tiltaks- og grenseverdier for fysiske og kjemiske faktorer i arbeidsmiljøet samt smitterisikogrupper for biologiske faktorer*. 2011.
  86. Assessment, T.E.f.R., *Occupational Exposure Limit Evaluation: Diesel Particulate Matter*. 2014, Ohio.
  87. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), *Threshold Limit Values of Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices*. 2011, Cincinnati, OH.
  88. Forsvarsdepartementet, *Strategi for forskning og utvikling for forsvarssektoren* 2013.

## About FFI

The Norwegian Defence Research Establishment (FFI) was founded 11th of April 1946. It is organised as an administrative agency subordinate to the Ministry of Defence.

### FFI's MISSION

FFI is the prime institution responsible for defence related research in Norway. Its principal mission is to carry out research and development to meet the requirements of the Armed Forces. FFI has the role of chief adviser to the political and military leadership. In particular, the institute shall focus on aspects of the development in science and technology that can influence our security policy or defence planning.

### FFI's VISION

FFI turns knowledge and ideas into an efficient defence.

### FFI's CHARACTERISTICS

Creative, daring, broad-minded and responsible.

## Om FFI

Forsvarets forskningsinstitutt ble etablert 11. april 1946. Instituttet er organisert som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter underlagt Forsvarsdepartementet.

### FFIs FORMÅL

Forsvarets forskningsinstitutt er Forsvarets sentrale forskningsinstitusjon og har som formål å drive forskning og utvikling for Forsvarets behov. Videre er FFI rådgiver overfor Forsvarets strategiske ledelse. Spesielt skal instituttet følge opp trekk ved vitenskapelig og militærteknisk utvikling som kan påvirke forutsetningene for sikkerhetspolitikken eller forsvarsplanleggingen.

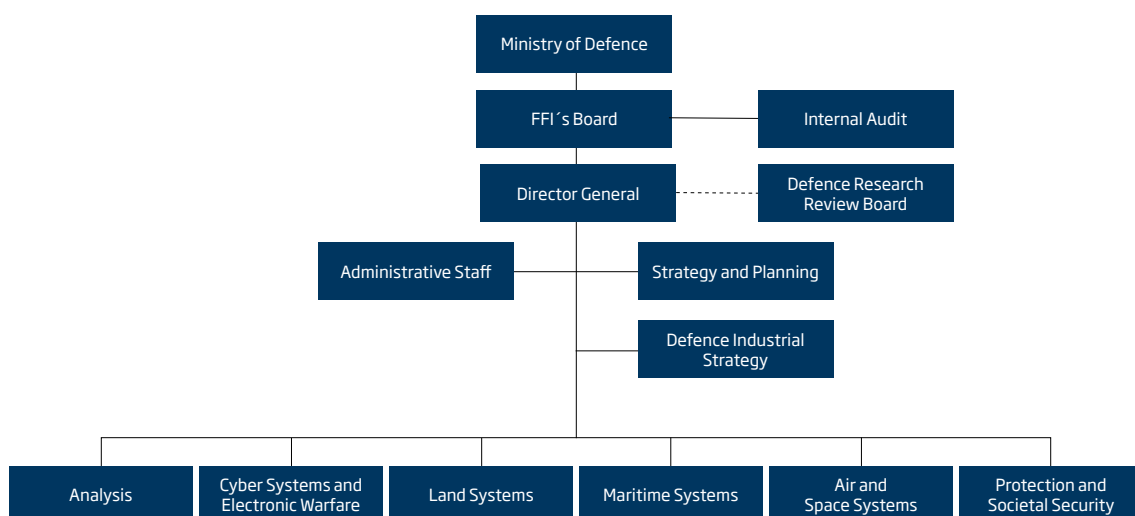
### FFIs VISJON

FFI gjør kunnskap og ideer til et effektivt forsvar.

### FFIs VERDIER

Skapende, drivende, vidsynt og ansvarlig.

## FFI's organisation



**Forsvarets forskningsinstitutt**  
Postboks 25  
2027 Kjeller

Besøksadresse:  
Instituttveien 20  
2007 Kjeller

Telefon: 63 80 70 00  
Telefaks: 63 80 71 15  
Epost: [ffi@ffi.no](mailto:ffi@ffi.no)

**Norwegian Defence Research Establishment (FFI)**  
P.O. Box 25  
NO-2027 Kjeller

Office address:  
Instituttveien 20  
N-2007 Kjeller

Telephone: +47 63 80 70 00  
Telefax: +47 63 80 71 15  
Email: [ffi@ffi.no](mailto:ffi@ffi.no)