



FFI-rapport 2014/00476

Vurdering av helserisiko fra eksponering av kruttgasser under avfiring av Javelin-missil



Arnt Johnsen, Øyvind Voie og Tom Cato Johannessen



Vurdering av helserisiko fra eksponering av kruttgasser under avfyring av Javelin-missil

Arnt Johnsen, Øyvind Voie og Tom Cato Johannessen

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI)

9. januar 2015

FFI-rapport 2014/00476

132901

P: ISBN 978-82-464-2484-2

E: ISBN 978-82-464-2485-9

Emneord

Krutt

Metaller

Gasser

Antitankvåpen

Styrte raketter

Godkjent av

Øyvind Albert Voie

Prosjektleder

Janet Martha Blatny

Avdelingssjef

Sammendrag

Javelin er Hærens nye panserbekjempelsesvåpen som ble besluttet anskaffet av Forsvaret i 2003, mens leveringen av våpensystemet startet i 2006/2007. Den første skarpskytingen med Javelin ble gjort i 2009. Det er nå blitt avfyrt noen få missiler for trening, og våpensystemet skulle for første gang avfyres inne fra en bygning i september 2012. Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) ble i forbindelse med dette anmodet av Panserbataljonen om å utføre målinger av kruttgassene fra våpensystemet ved avfiring, for å avdekke om skytterne blir eksponert for uheldige konsentrasjoner av gasser og metaller. Skytingen foregikk i Mauken skyte- og øvingsfelt den 10. september 2012.

I tillegg til metaller fra drivladningen til Javelin vil det avgis en del gasser. Erfaringer fra dobbelbase drivladningskrutt til artilleri tilsier at det dannes mye karbonmonoksid (CO) samt noe ammoniakk (NH₃) og hydrogencyanid (HCN). Det ble derfor besluttet å foreta måling av gassene CO, NH₃ og HCN. I tillegg ble det tatt prøver av partikler i luft under avfiring for å bestemme mulig eksponering for metaller.

Målingene viser at konsentrasjonen av helsefarlige gasser ved avfiring av Javelin er under grenseverdier for korttidseksponering. Nivåene av disse vil derfor ikke utgjøre noen helsefare. Imidlertid vil operatørene eksponeres for nivåer av bly, kobber og nikkel som kan innebære en helserisiko. Det anbefales derfor at operatørene av Javelin, og eventuelt andre som befinner seg i umiddelbar nærhet når Javelin avfyres, benytter filtermaske i filterklasse P3 under avfiring av missilet. Ved avfiring av Javelin inne fra en bygning eller i lukket område, bør filtermasken ikke fjernes før en er ute av bygningen. For å sikre tilgjengelighet av slike masker for operatørene vil det være en fordel om våpensystemet leveres med maske for skytter og lader.

Arbeidet som er gjort i denne studien er en del av Forsvarets arbeid med å kartlegge utslipp av helsefarlige stoffer ved bruk av våpen. Arbeidet er viktig for å sikre at militært personell ikke utsettes for konsentrasjoner av stoffer som kan gi helseeffekter. Det er også viktig å kartlegge hvilken eksponering militært personell har for bly når de benytter blyholdig ammunisjon. Resultatene fra de undersøkelsene som er gjort viser at også andre våpen enn håndvåpen kan gi helseeffekter ved bruk. Iverksetting av anbefalte tiltak vil hindre helsefarlig eksponering av kruttgasser fra Javelin.

English summary

Javelin is the Norwegian Army's new anti-armor weapon. The decision for procurement was made by the military in 2003, and the delivery started in 2006/2007. The first live firing with Javelin was done in 2009. It has now been fired a few missiles for training, and the weapon system were for the first time fired from inside a building in September 2012. In association with this live firing exercise, the Norwegian Defence Research Establishment (FFI) performed measurements to evaluate the health risk for the operators of Javelin exposed to the fumes from the propellant. The live firing took place in Mauken firing range on September 10th 2012.

In addition to metals, the propellant will emit different gases. Experiences from double base propellant used for artillery, indicates formation of carbon monoxide (CO) and some ammonia (NH₃) and hydrogen cyanide (HCN). It was therefore decided to measure the concentration of these three gases in air close to the head of the operators. In addition, airborne particles were sampled from the same position during firing in order to determine exposure for metals.

The results from this work showed that the operators are not exposed to hazardous gases in concentrations that pose a health risk. However, the operators are exposed to lead, copper and nickel in concentrations that can cause health effects. It is therefore recommended that operators of Javelin, and any others that are in the immediate vicinity when Javelin are fired, use a particulate respirator (filter class P3). When firing Javelin from a closed area or inside a building the particulate respirator should not be removed until the operators are outside the closed area or the building.

The work done in this study is part of the military's efforts to identify discharges of hazardous substances when weapons are fired. The work is important to ensure that military personnel are not exposed to concentrations of substances that can cause health effects. It is also important to identify the lead exposure for military personnel using lead containing ammunition. The results of this study show that also other weapons than small arms may provide health effects when used. Implementation of the recommended measures will prevent hazardous exposure of fumes after firing Javelin.

Innhold

1	Innledning	7
1.1	Formål	7
1.2	Javelin	7
2	Metoder	8
2.1	Måling av gasser	8
2.2	Svevestøv og metaller	8
2.3	Risikovurdering	9
3	Resultater og diskusjon	9
3.1	Avfyring i friluft	9
3.2	Avfyring fra bygning	11
4	Risikovurdering	15
4.1	Avfyring i friluft	15
4.2	Avfyring fra bygning	16
5	Konklusjon	17
Vedlegg A	Beregninger av forbrenningsprodukter fra M-36 krutt	18

1 Innledning

Javelin er Hærens nye panserbekjempelsesvåpen (Figur 1.1). Det ble besluttet anskaffet av Forsvaret i 2003, mens leveringen av våpensystemet startet i 2006/2007. Den første skarpskytingen med Javelin ble gjort i 2009. Det er nå blitt avfyrt noen få missiler for trening, og våpensystemet skulle for første gang avfyres inne fra en bygning i september 2012. Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) ble i forbindelse med dette anmodet av Panserbataljonen om å utføre målinger av kruttgasser, for å avdekke om skytterne blir eksponert for uheldige konsentrasjoner av kruttgasser. Skytingen foregikk i Mauken skyte- og øvingsfelt den 10. september 2012.



Figur 1.1 Avfyring av Javelin under trening i Mauken skyte- og øvingsfelt den 10. september 2012. Foto: Forsvaret/Ole-Sverre Haugli/Hæren.

1.1 Formål

Formålet med undersøkelsene var å kvantifisere eksponeringen av kruttgasser som operatørene for Javelin utsettes for når avfyringen av missilet foregår fra friluft og fra en bygning. Ut fra de målte konsentrasjonene av kruttgasser skulle det gjøres en risikovurdering for å avdekke om det kan være forbundet med helserisiko å avfyre missilet. Eventuelle tiltak for å redusere eksponeringen for kruttgasser skulle foreslås om det ble ansett for nødvendig.

1.2 Javelin

Javelin er et mobilt våpensystem som kun veier 23 kg og er levert av Javelin Joint Venture (samarbeidskonstellasjon mellom Raytheon Company og Lockheed Martin) i USA. Det bemannes av to personer, en skytter og en lader. Missilet benyttes til å bekjempe mål innenfor en avstand på 600-2500 meter. Missilet har en billeddannende infrarød målsøker, og låser seg på målet før avfyring. Det kan velges om missilet skal treffe ovenfra eller fra siden.

Ved avfiring av missilet vil en startmotor få missilet ut av utskyttingsrøret. Rakettmotoren starter først etter ca 15 meter, i trygg avstand for operatørene av våpensystemet. Avgasser fra startmotoren vil være det som operatørene først og fremst blir eksponert for ved skyting fra en bygning. Startmotoren består av M-36 krutt, som er et dobbelbasekrutt, og som i hovedsak består av nitrocellulose og nitroglyserin. I tillegg inneholder dette kruttet mindre mengder av 2-nitrodifenyamin, di-n-propyladipat, blyresorcyilat, kobbersalisylat og voks. Dette betyr at kruttet inneholder både bly og kobber som under avfiring vil gi opphav til bly- og kobberpartikler. Mengden bly i drivladningen til startmotoren er rundt ett gram, mens mengden kobber er omkring et halvt gram. Rakettmotoren består av kruttet Arcocel 430A. Ved firing i friluft vil skytter også kunne bli eksponert for avgasser fra denne rakettmotoren. FFI er ikke kjent med den fullstendige sammensetningen av drivladningen i rakettmotoren, men det er beskrevet at den inneholder blycitrat og zirkoniumkarbid [1].

2 Metoder

I tillegg til metaller fra drivladningen vil det avgis en del gasser. Erfaringer fra dobbelbase drivladningskrutt til artilleri viser at det dannes mye karbonmonoksid (CO) samt noe ammoniakk (NH₃) og hydrogencyanid (HCN) [2;3]. Det ble derfor besluttet å foreta måling av gassene CO, NH₃ og HCN. I tillegg skulle det tas prøver av partikler i luft under avfiring for å bestemme eksponering for metaller.

2.1 Måling av gasser

Gassene CO, NH₃ og HCN ble målt med en gassdetektor fra Dräger (Multiwarn II) både ved skyting fra friluft og fra en bygning. Ved skyting fra friluft ble denne detektoren lagt et par meter bak skytterne, men samtidig i skjul for bakblåsten. Dette ble gjort for å kunne registrere maksimale konsentrasjoner som operatørene kunne utsettes for, da det ved denne skytingen var en frisk vind med vindretning delvis mot operatørene i forhold til målområde. Multiwarn II lagret konsentrasjonen av de tre gassene hvert sekund. I tillegg, ble det i pustesonen på hver av operatørene til våpensystemet festet to personbårne detektorer for CO fra Dräger (PAC 7000). Data fra PAC 7000 ble lagret hvert 10. sekund.

Ved skyting fra bygning ble også PAC 7000 festet i pustesonen til operatørene av våpensystemet, mens Multiwarn II ble plassert i hodehøyde bak lader. På samme sted ble et FT-IR¹ instrument (Gasmeter DX4015) plassert. Dette instrumentet registrerte fortløpende (ca hvert 3. sekund) konsentrasjonen av blant annet NH₃, HCN, metan (CH₄) og nitrogenoksider (N₂O, NO og NO₂), svoveldioksid (SO₂), saltsyre (HCl), fosfin (PH₃) og klordioksid (ClO₂).

2.2 Svevestøv og metaller

Svevestøv ble målt ved hjelp av oppsamling på partikkelfiltre av typen HTPP med porestørrelse på 0,4 µm fra Millipore. Det ble samlet inn prøver av partikler i luft ved bruk av en Airchek

¹ Fourier transform infrarød spektroskopi

XR5000 luftpumpe fra SKC som var koblet til et partikkelfilter. Pumpehastigheten ble satt til 2 liter/minutt. Ved skyting både utendørs og innendørs ble disse filtrene plassert slik at de tok prøver fra innåndingssonen til skytter og lader. Filtrene ble veid før og etter prøvetaking for å bestemme mengden partikler i luften. Det ble benyttet en høyvolumprøvetaker av typen XMX-CV fra Dycor som tar 500 liter luftprøve i minuttet. Denne ble plassert på gulvet i det samme området som Multiwarn II og Gasmeter DX4015. Høyvolumprøvetakeren samler i hovedsak inn partikler med størrelse 1-10 µm [4].

Partikkelfiltrene og prøven fra høyvolumprøvetaker ble oppsluttet i 65 % HNO₃ (salpetersyre) ved 70 °C i minst 24 timer. Deretter ble prøvene fortynnet, før de ble analysert for innhold av metaller (arsen, bly, kadmium, kobber, krom, kvikksølv, nikkel og sink) med AFS² og ICP-SFMS³ av ALS Laboratory Group Norway.

Det ble gjort videoopptak av skytingene for å estimere eksponeringstid av kruttgasser for operatørene av våpensystemet. Ved beregning av konsentrasjon til metaller, ble det benyttet en prøvetakingstid på to minutter ved skyting i friluft (selv om det på videoopptakene så ut til at kruttgassene forsvant noe fortere med vinden) og 3,5 minutter ved skyting fra bygning. Ut fra deponert mengde metaller på filtret eller i høyvolumprøvetaker og mengde luft som var prøvetatt, ble konsentrasjoner av metaller i luft beregnet. Konsentrasjonene er gjennomsnittsverdier for angitt prøvetakingstid.

2.3 Risikovurdering

De målte konsentrasjonene av gassene, svevestøv og metaller i luft sammenholdes med gjeldene grenseverdier for arbeidsmiljø [5]. Både grenseverdier for en 8-timers arbeidsdag og beregnede grenseverdier for korttidsseksponering (15 minutter) benyttes, selv om eksponeringen for kruttgasser for operatørene av våpensystemet vil være en korttidsseksponering. Dette gir informasjon om hvilke marginer en har overfor de gjeldende grenseverdiene for arbeidsmiljø. Ulike vær og vindforhold er også inkludert ved vurdering av helserisiko knyttet til avfiring av Javelin.

3 Resultater og diskusjon

3.1 Avfiring i friluft

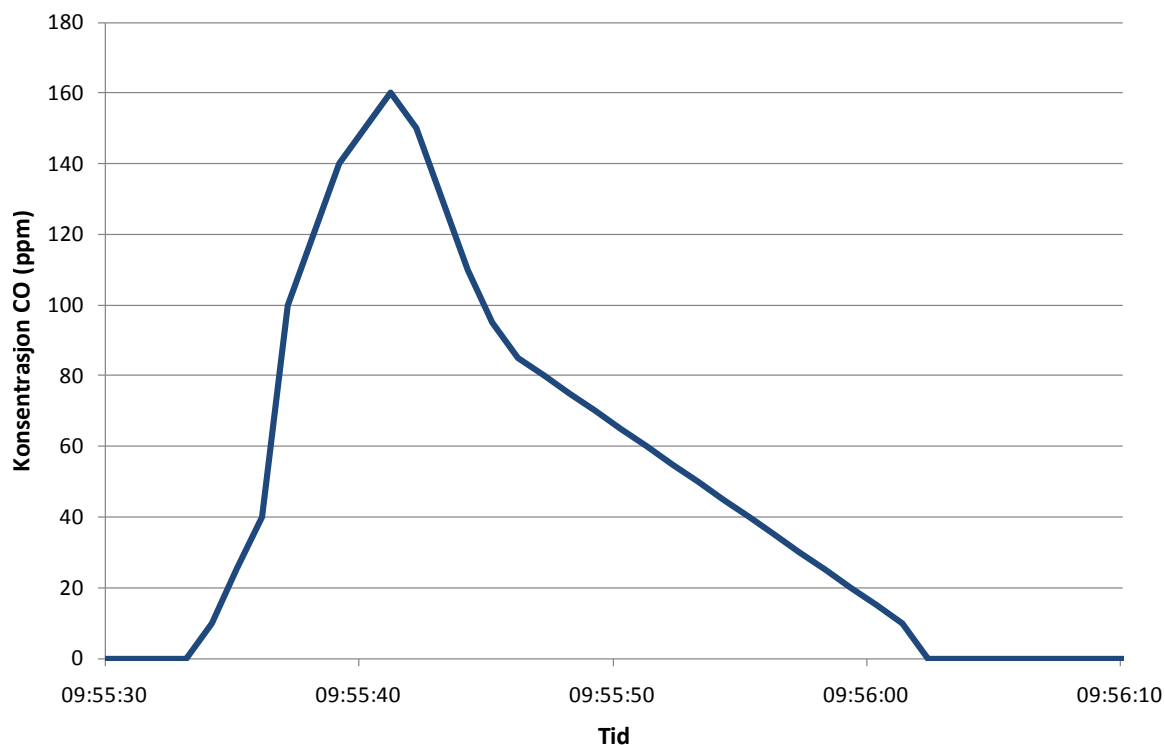
På de personbårne CO-detektorene ble det kun registrert en måling over null, henholdsvis 6 og 8 ppm CO hos de to operatørene til Javelin. Dette er lave konsentrasjoner og operatørene ser derfor ikke ut til å eksponeres for CO i vesentlig grad ved skyting i friluft. Det var noe vind på standplass, slik at avgassene fra avfiringen fort ble ført bort fra operatørene av våpensystemet.

Multiwarn II som var plassert bak operatørene registrerte en maksimal konsentrasjon av CO på 160 ppm (Figur 3.1). En forhøyet konsentrasjon av CO ble kun registrert i omkring et halvt

² Atomfluorescens spektroskopi

³ Induktivt koblet plasma - sektorfokuserende massespektrometri

minutt, der gjennomsnittskonsentrasjonen av CO ble beregnet til 69 ppm. Ved vindstille, eller når vindretningen er direkte i skyteretningen vil operatørene sannsynligvis eksponeres for mer CO enn det som ble registrert i denne undersøkelsen. Det ble ikke registrert HCN i avgassene og kun lave konsentrasjoner av NH₃ (maksimalt 4 ppm og gjennomsnitt på 3 ppm i omkring et halvt minutt).



Figur 3.1 Målt konsentrasjon av CO med Multiwarn II plassert et par meter bak operatørene av våpensystemet.

Ut fra videoopptak og målinger av CO konsentrasjon bak operatørene av våpensystemet anslås det at operatørene eksponeres for kruttgasser i rundt 30 sekunder etter avfyring. Ved beregning av konsentrasjonen av metaller i luft er det benyttet en prøvetakingstid på to minutter, noe som er tilsvarende med den tiden det ble tatt prøve. Dette gir et prøvevolum på kun fire liter luft. Partikkelmengden deponert på det personbårne filtret var derfor ikke målbar ($< 7 \text{ mg/m}^3$) hverken for skytter eller lader. Dette indikerer lav eksponering for partikler. Prøvevolumet er imidlertid for lite til å gi en sikker bestemmelse av støvkonsentrasjonen i luften. Likevel ble det påvist noen elementer i luften (Tabell 3.1). For skytter ble det stort sett registrert lave konsentrasjoner av de målte elementene og under grenseverdi for arbeidsatmosfære ved 8 timers dag. For lader ble det registrert en noe høyere konsentrasjon av bly og nikkel enn hos skytter. Det er usikkert hvorfor det ble målt såpass høy konsentrasjon av nikkel hos lader, da startmotoren til Javelin ikke skal inneholde nikkelforbindelser. Det ble heller ikke målt høye konsentrasjoner av nikkel ved skyting fra bygning (Kapittel 3.2). Det forhøyde nivået av bly hos lader er sannsynligvis forårsaket av at drivladningen i startmotoren inneholder bly. For både skytter og lader registreres det et noe forhøyet nivå av kobber, noe som sannsynligvis er forårsaket av at drivladningen i startmotoren inneholder kobber. Konsentrasjonen av bly og nikkel i pusteluft til lader ble registrert til å være

henholdsvis 0,28 mg/m³ og 0,36 mg/m³. Dette er over grenseverdien som er satt til arbeidsatmosfære ved 8-timers arbeidsdag [5]. Konsentrasjonen er også over det som beregnes som grenseverdi for korttidseksponering (0,15 mg/m³ over 15 minutter). Disse nivåene av metaller i luft anses derfor som høye og det vil kunne oppstå helseeffekter hos operatørene ved skyting med Javelin. Dette er nærmere beskrevet i Kapittel 4 Risikovurdering.

Resultatene tyder på at det kan være ganske stor forskjell i eksponering for avgasser mellom skytter og lader ved avfiring av Javelin i friluft. Forskjellen i eksponering for metaller mellom skytter og lader observert ved skyting i friluft er sannsynligvis først og fremst forårsaket av vindforholdene på standplass. Etter granskning av video fra skytingen kan det synes som om lader i større grad ble eksponert for avgasser fra missilet. Lader har også hodet sitt omkring 10 – 20 cm nærmere bakblåsten enn det som er tilfellet for skytter. Det ble imidlertid ikke målt vesentlig forskjellig nivå av CO i pustesonen til skytter og lader, noe som skulle tyde på ganske lik eksponering for avgasser fra missilet.

Metaller	Skytter	Lader	Grenseverdi 8 timer	Grenseverdi 15 minutter
Partikler, mg/m ³	< 7	< 7	5	10
Arsen (As), mg/m ³	< 0,05	< 0,01	0,01	0,03
Kadmium (Cd), mg/m ³	< 0,0005	< 0,0005	0,05	0,15
Krom (Cr), mg/m ³	0,05	0,07	0,5	1,5
Kobber (Cu), mg/m ³	0,09	0,10	0,1	0,3
Kvikksølv (Hg), mg/m ³	0,0007	0,0005	0,02	0,06
Nikkel (Ni), mg/m ³	0,02	0,36	0,05	0,15
Bly (Pb), mg/m ³	0,03	0,28	0,05	0,15
Sink (Zn), mg/m ³	< 0,05	< 0,05	4*	8*

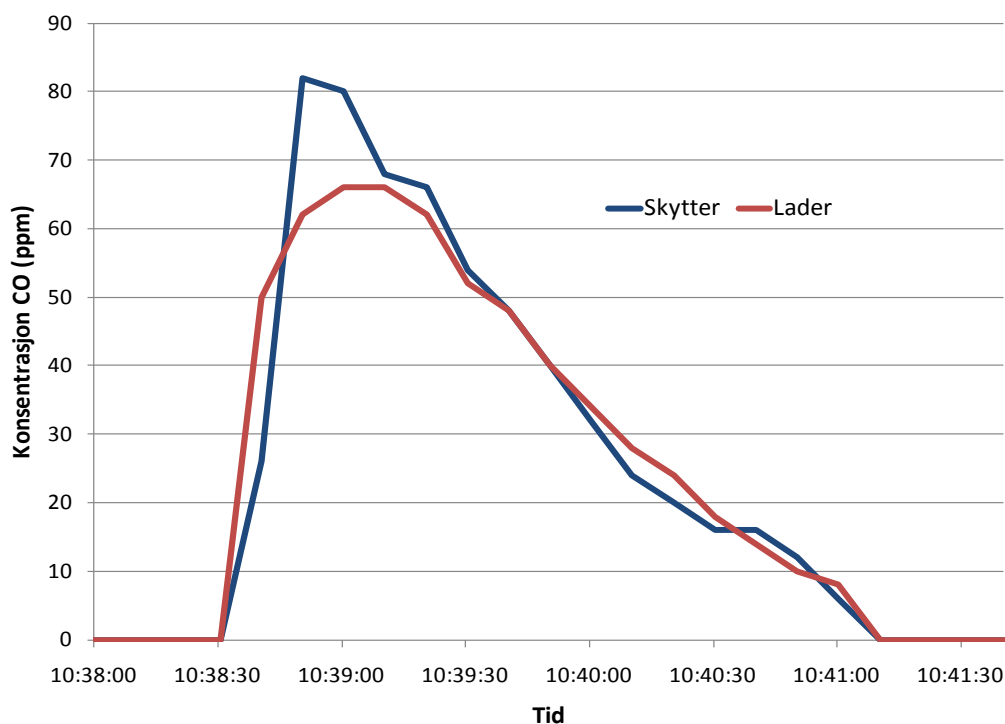
Tabell 3.1 Målte konsentrasjoner av utvalgte metaller når eksponeringstid settes til 2 minutter samt partikkelkonsentrasjon. Grenseverdier for arbeidsatmosfære [5] er også tatt med.* Beregnet fra grenseverdi for ZnO (sinkoksid). Nivåene av bly og sink for lader betegnes som høye og kan medføre helserisiko.

3.2 Avfiring fra bygning

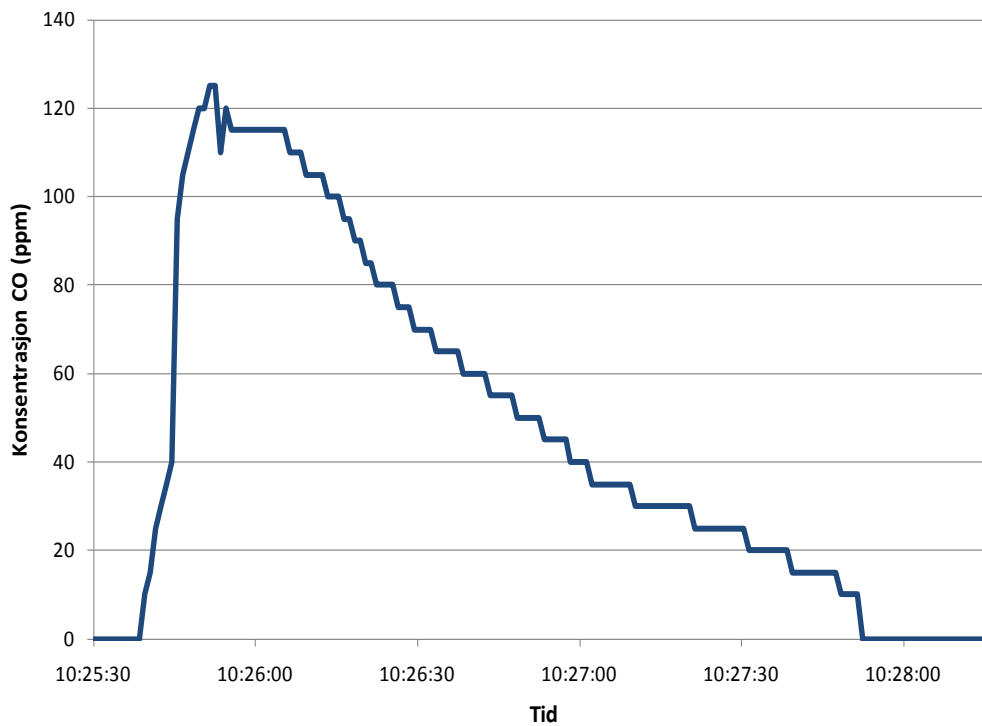
Ved avfiring av missilet fra bygning vil avgasser fra startmotoren i stor grad fanges i det rommet som missilet skytes fra. Operatørene av våpensystemet vil derfor i mye større grad eksponeres for avgasser fra missilet, enn det som er tilfellet ved avfiring fra friluft. Resultatene fra de personbårne CO detektorene viser at dette er tilfellet. Det ble målt vesentlig høyere konsentrasjon av CO i pusteluft til operatørene enn det som var tilfellet ved skyting i friluft. Det er ingen vesentlig forskjell i målingene gjort i pustesonen til skytter og lader (Figur 3.2). Den maksimale konsentrasjonen av CO ble registrert til 82 ppm, mens den gjennomsnittlige konsentrasjonen i

perioden med forhøyet nivå av CO (2,3 minutter) var 39 ppm. Målingene av CO med de to instrumentene som var plassert omkring en meter bak lader (Figur 3.3 og Figur 3.4) var i overensstemmelse med de personbårne detektorene. Gjennomsnittskonsentrasjonen av CO målt med Gasmeter DX4015 var på 32 ppm (3 minutter), mens gjennomsnittet målt med Multiwarn II var på 58 ppm (2,1 minutter).

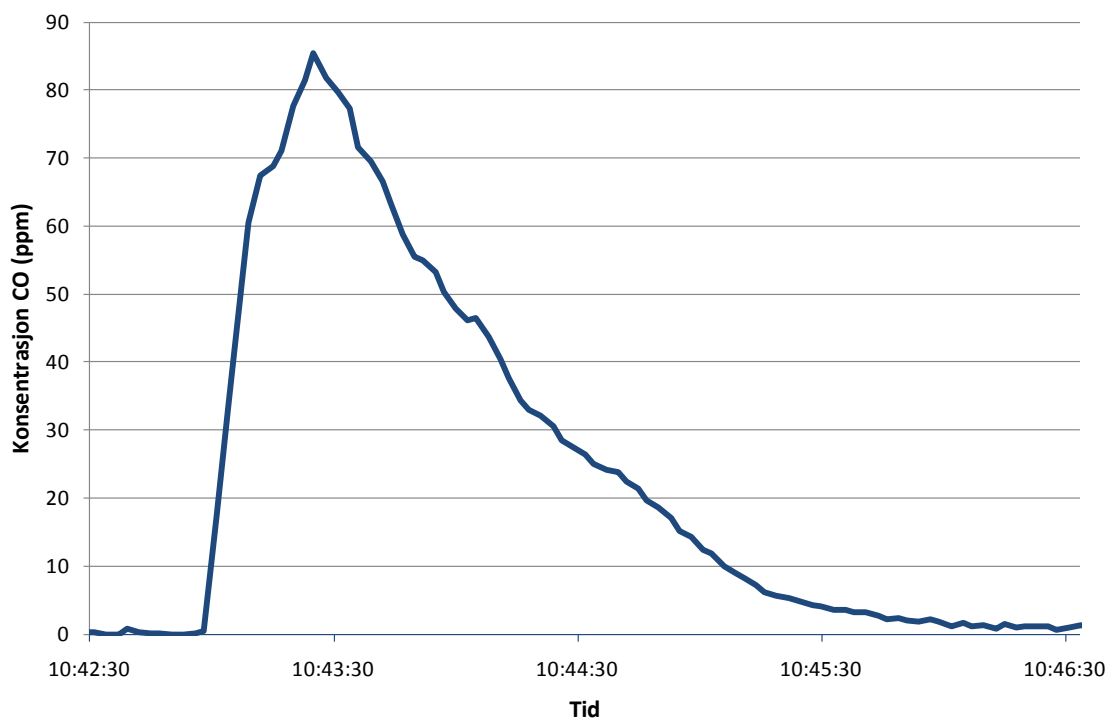
Overraskende ble det ikke registrert innhold av NH₃ i avgassene etter avfiringen av Javelin fra bygning. Det ble heller ikke registrert utslipp av HCN. Våre erfaringer fra andre våpensystemer der dobbelbasekrutt benyttes (håndvåpen og artilleri), er at det dannes noe NH₃ og mindre mengder med HCN. Det er mulig at de lave konsentrasjonene av NH₃ som ble registrert ved firing i friluft kommer fra rakettmotoren og ikke fra startmotoren, ettersom det ikke ble påvist spor av NH₃ ved avfiring fra bygning. På grunn av at det ikke ble registrert utslipp av NH₃, ble det foretatt en beregning av forbrenningsprodukter ved bruk av programvaren Chemical Equilibrium Program CEA2 fra NASA Glenn. Beregningene viser at det blir dannet svært lite eller ikke noe NH₃ eller HCN, avhengig av trykk og tilgang på oksygen under forbrenningen. Resultatet fra beregningene er vist i Vedlegg A. Måleresultatene av NH₃ og HCN er derfor i overensstemmelse med beregningene i aktuell programvare. Av de andre gassene som ble målt (CH₄, N₂O, NO, NO₂, SO₂, ClO₂, HCl og PH₃), var det bare NO som viste en målbar økning når Javelin ble avfyrt (Figur 3.5). Dette viser at operatørene i liten grad eksponeres for gasser som kan gi helseeffekter når Javelin avfyres fra bygning. Ingen av de målte gassene oversteg grenseverdi for korttidseksponering, og en vil derfor anta at gassene ikke utgjør noen helserisiko for operatørene.



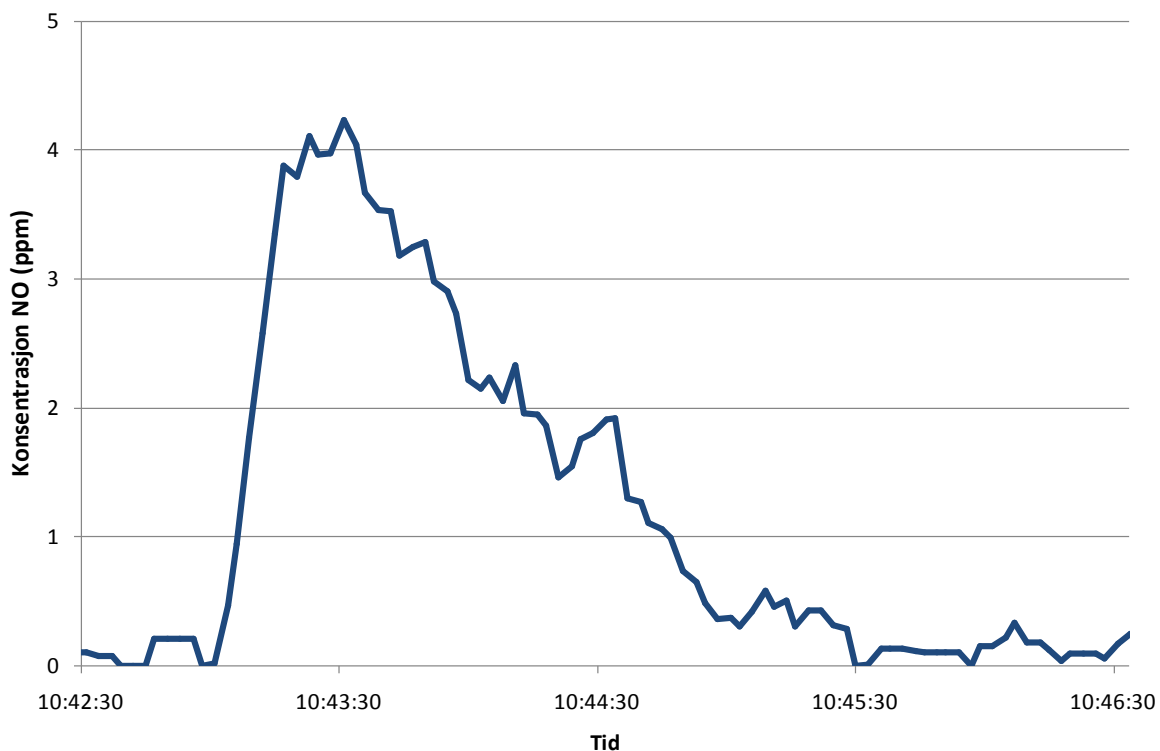
Figur 3.2 Målt konsentrasjon av CO i pustesonen til henholdsvis skytter og lader ved skyting med Javelin fra bygning.



Figur 3.3 Målt konsentrasjon av CO med Multiwarn II plassert omkring en meter bak lader ved skyting av Javelin fra bygning.



Figur 3.4 Målt konsentrasjon av CO med Gasmeter 4014DX plassert omkring en meter bak lader ved skyting av Javelin fra bygning.



Figur 3.5 Målt konsentrasjon av NO med Gasmeter DX4015 plassert omkring en meter bak lader ved skyting av Javelin fra bygning.

Konsentrasjonen av støv i luften ble målt til 21 og 36 mg/m³ i innåndingssonen til henholdsvis skytter og lader, noe som er over grenseverdi for korttidseksposering (Tabell 3.2). Prøvevolumet er imidlertid for lite til å få en sikker bestemmelse av støvkonsentrasjonen i luften. Mengden av de målte metallene utgjør en mindre andel (< 30 %) av den totale partikkelmengden i luften. Mesteparten av partikkelmengden i luften er sannsynligvis eksisterende støv fra rommet som ble virvlet opp av bakblåsten ved avfyring.

De målte konsentrasjonene av metaller i luft (eksponeringstid satt til 3,5 minutter) fra innåndingssonen til skytter og lader er vist i Tabell 3.2. I samme tabell er også grenseverdi for arbeidsatmosfære vist. Det ble målt høyest nivå av bly og kobber, henholdsvis 4,8 mg/m³ og 1,1 mg/m³ hos skytter. Dette var forventet ettersom startmotoren inneholder disse to metallene. Det ble ikke registrert vesentlig forskjell i hvilke konsentrasjoner som skytter og lader utsettes for. Konsentrasjonen av bly og kobber målt i innåndingssonen til skytter var godt over det nivået (henholdsvis 32 og 3,7 ganger høyere enn grenseverdi) som er satt som grense for korttidseksposering i arbeidsatmosfære (Tabell 3.2). Nivået av disse to metallene er betydelig høyere enn det som ble registrert ved skyting i friluft (Kapittel 3.1). Av de andre målte metallene er det lave konsentrasjoner. Ved skyting fra bygning ble det ikke målt spesielt høy konsentrasjon av nikkel, i motsetning til det som ble registrert ved skyting i friluft. Det er derfor mest sannsynlig at det er utslipp av nikkel fra rakettmotoren, eller så kan det være en feil som har ført til at filtret hos lader er blitt forurenset av nikkelpartikler. Bortsett fra for bly, gav resultatene med høyvolumprøvetaker sammenlignbare konsentrasjoner med det som ble målt i pustesonen til skytter og lader. Da det ble målt betydelig lavere konsentrasjon av bly med høyvolumprøvetaker i

forhold til det som ble målt i pustesonene til operatørene, er det grunn til å tro at mesteparten av blypartiklene er så små (< 1 µm) at de ikke ble fanget med høyvolumprøvetaker. Dette betyr at blystøvet i stor grad inhaleres ned i lungene.

Partikler/Metaller	Skytter	Lader	Høyvolumprøvetaker bak lader	Grenseverdi 8 timer	Grenseverdi 15 minutter
Partikler, mg/m ³	21	36	Ikke målt	5	10
Arsen (As), mg/m ³	0,02	0,01	0,0006	0,01	0,03
Kadmium (Cd), mg/m ³	0,0005	0,0008	0,0003	0,05	0,15
Krom (Cr), mg/m ³	0,04	0,04	0,014	0,5	1,5
Kobber (Cu), mg/m ³	1,1	1,0	0,52	0,1	0,3
Kvikksølv (Hg), mg/m ³	< 0,0003	< 0,0003	< 0,000011	0,02	0,06
Nikkel (Ni), mg/m ³	0,02	0,03	0,012	0,05	0,15
Bly (Pb), mg/m ³	4,8	4,5	0,16	0,05	0,15
Sink (Zn), mg/m ³	0,06	0,04	0,03	4*	8*

Tabell 3.2 Konsentrasjonen av metaller og partikler i luft fra pustesonene til skytter og lader ved skyting med Javelin fra bygning samt konsentrasjon målt med høyvolumprøvetaker. Beregningene er basert på en eksponeringstid på 3,5 minutter. Grenseverdier for arbeidsatmosfære [5] er også tatt med.

4 Risikovurdering

4.1 Avfyring i friluft

Videofilm fra skytingen av Javelin fra friluft og målinger av CO i umiddelbar nærhet av operatørene viser at de kun eksponeres for kruttgasser i en svært kort periode (< 30 sekunder). Dette vil imidlertid kunne variere med vindforholdene på standplass. Det ble registrert lave konsentrasjoner av CO i pustesonene til operatørene og det var kun i noen sekunder at det ble registrert verdier over bakgrunnsnivå. Et par meter bak operatørene ble det registrert en høyere konsentrasjon av CO (maksimalt 160 ppm, gjennomsnittlig 69 ppm) som følge av bakblåsten, men også her var nivået raskt tilbake til bakgrunnsnivå etter avfyring (30 sekunder). Grenseverdi for CO i arbeidsatmosfære er 25 ppm ved 8-timers arbeidsdag, mens grenseverdi for korttidseksponering er 100 ppm [5]. Dette betyr at eksponering for CO ligger godt under gjeldene grenseverdier for arbeidsatmosfære. Det ble målt lave konsentrasjoner av NH₃, med et gjennomsnitt på 3 ppm over 30 sekunder. Grenseverdi for NH₃ i arbeidsatmosfære er 15 ppm ved 8-timers arbeidsdag. Det ble ikke registrert HCN i avgassene fra Javelin-missilet. Ved avfyring av Javelin i friluft vil derfor de gassene (CO og NH₃) som frigjøres ikke utgjøre noen helserisiko for operatørene av våpensystemet.

Det ble påvist noe bly og nikkel i pusteluft etter avfyring av missilet hos lader. Konsentrasjonen ble registrert til å være 0,28 mg/m³ og 0,36 mg/m³ for henholdsvis bly og nikkel. Dette er over

grenseverdien som er satt til arbeidsatmosfære ved 8-timers arbeidsdag (Tabell 3.1). Konsentrasjonen er også over det som beregnes som grenseverdi for korttidseksponering ($0,15 \text{ mg/m}^3$ over 15 minutter). Konsentrasjonen av kobber var på $0,1 \text{ mg/m}^3$ hos lader og $0,09 \text{ mg/m}^3$ hos skytter. Dette er på nivå med grenseverdien for kobber i arbeidsatmosfære ved 8-timers arbeidsdag [5]. På grunn av at det registreres en relativt høy konsentrasjon av enkelte metaller, kan en ikke utelukke at dette kan gi helseeffekter, selv om eksponeringen sannsynligvis er kortvarig. I denne undersøkelsen blåste det en del under avfiringen av missilet. Ved vindstille, eller i omgivelser der en i større grad kan forvente en opphopning av avgasser fra missilet, vil eksponeringen bli mer langvarig og konsentrasjonen sannsynligvis noe høyere enn det som ble målt i denne undersøkelsen. Det anbefales derfor at operatørene av Javelin benytter filtermaske (filterklasse P3) ved avfiring av missilet i friluft.

4.2 Avfiring fra bygning

I pustesonen til operatørene av Javelin ble det registrert en gjennomsnittskonsentrasjon av CO over 2,3 minutter på 39 ppm etter avfiring av Javelin fra bygning. Denne verdien er under grenseverdien som er satt for korttidseksponering (100 ppm over 15 minutter) [5]. Av andre gasser var det kun NO (nitrogenmonoksid) det ble registrert en økning av etter avfiring av missilet. Gjennomsnittskonsentrasjonen over to minutter ble beregnet til 2,2 ppm for NO. Grenseverdien for arbeidsatmosfære er satt til 25 ppm for en 8-timersdag. Ved avfiring av Javelin fra bygning, vil det med bakgrunn i de målinger som er gjort, ikke frigjøres gasser i konsentrasjoner som kan utgjøre noen helserisiko for operatørene av våpensystemet.

Det ble registrert betydelige konsentrasjoner av både bly og kobber i pusteluft til operatørene av Javelin. Nivået var langt over de grenseverdier som gjelder for disse to metallene selv ved korttidseksponering (15 minutter). På grunn av at det registreres en høy konsentrasjon av bly og kobber, kan en ikke utelukke at dette vil gi helseeffekter, selv om eksponeringen sannsynligvis er kortvarig. Det anbefales derfor at operatørene av Javelin benytter filtermaske (filterklasse P3) ved avfiring av missilet fra bygning. Filtermasken anbefales benyttet til operatørene er ute av den bygningen som missilet ble avfyrt fra.

Undersøkelser gjort av U.S. Army Medical Research Detachment finner også at operatørene utsettes for høye konsentrasjoner av spesielt bly når Javelin avfyres fra bygning [1]. Her anbefales det å benytte filtermasker ved øvings skyting. De har også gitt noen praktiske råd som operatørene kan forholde seg til om filtermaske ikke benyttes. FFI mener at bruk av filtermaske vil forhindre eksponering for metaller og vil dermed i seg selv være et tilstrekkelig tiltak. For å sikre tilgjengelighet av slike masker for operatørene vil det være en fordel om våpensystemet leveres med maske for skytter og lader.

5 Konklusjon

Det er utført avgassmålinger ved avfyring av Javelin fra friluft og fra bygning. Målingene viser at operatørene i liten grad eksponeres for helsefarlige gasser. Imidlertid vil operatørene eksponeres for enkelte metaller i konsentrasjoner som kan innebære en helserisiko. Det anbefales derfor at operatørene av Javelin, og eventuelt andre som befinner seg i umiddelbar nærhet når Javelin avfyres, benytter filtermaske i filterklasse P3 under avfyring av missilet. Ved avfyring inne fra en bygning eller et lukket område, bør filtermasken ikke fjernes før en er ute av bygningen. For å sikre tilgjengelighet av slike masker for operatørene vil det være en fordel om våpensystemet leveres med maske for skytter og lader.

Referanser

- [1] Lundy D.O. and Langford R.E., "Exposure Assessment of JAVELIN Missile Combustion Products. Report number TR-94-0002.," U.S. Army Medical Research Detachment/WP: 1994.
- [2] Voie Ø., Johnsen A., Ljønes M., and Longva K., "Undersøkelse av avgasser i førerhuset etter skyting med Archer. FFI-rapport 2011/01559," 2011.
- [3] Johnsen I.V., Johnsen A., and Voie Ø., "Avgasser i og utenfor førerhus etter skyting med Archer - undersøkelser foretatt 13.12.12. FFI-rapport 2013/00327," 2013.
- [4] Dycor Technologies Ltd., "XMX-CV Technical Data Sheet," 2014.
- [5] Arbeidsdepartementet, "Forskrift om tiltaksverdier og grenseverdier for fysiske og kjemiske faktorer i arbeidsmiljøet samt smitterisikogrupper for biologiske faktorer (forskrift om tiltaks- og grenseverdier).," 2013.

Vedlegg A Beregninger av forbrenningsprodukter fra M-36 krutt

Beregninger gjort uten lufttilgang og ved de tre trykkene 1, 100 og 1000 bar.

NASA-GLENN CHEMICAL EQUILIBRIUM PROGRAM CEA2, MAY 21, 2004
BY BONNIE MCBRIDE AND SANFORD GORDON
REFS: NASA RP-1311, PART I, 1994 AND NASA RP-1311, PART II, 1996

```

problem
  hp  p,bar=1000,100,1,  t,k=3800
react
  oxid=NG  wt=40.6  t,k=298.15
    h,kj/mol=-380.2  C 3.0 H 5.0 N 3.0 O 9.0
  oxid=NC  wt=49.0  t,k=298.15
    h,kj/mol=-703.3  C 6.0 H 7.55 N 2.45 O 9.90
  fuel=toNDPA  wt=2.0  t,k=298.15
    h,kj/mol=121.0  C 12.0 H 10.0 N 2.0 O 2.0
  fuel=dpadi  wt=3.3  t,k=298.15
    h,kj/mol=-700.  C 12.0 H 22.0 O 4.0
  fuel=Pbres  wt=2.5  t,k=298.15
    h,kj/mol=0.0  C 7.0 H 21.0 O 7.0 PB 1.0
  fuel=MCusal  wt=2.5  t,k=298.15
    h,kj/mol=0.0  C 7.0 H 6.0 O 4.0 CU 1.0
  fuel=cwax  wt=0.1  t,k=298.15
    h,kj/mol=-53.1  C 2.0 H 4.0
output  massf short
end

```

THERMODYNAMIC EQUILIBRIUM COMBUSTION PROPERTIES AT ASSIGNED

PRESSURES

CASE =

	REACTANT	WT FRACTION (SEE NOTE)	ENERGY KJ/KG-MOL	TEMP K
OXIDANT	NG	0.4531250	-380200.000	298.150
OXIDANT	NC	0.5468750	-703300.000	298.150
FUEL	toNDPA	0.1923077	121000.000	298.150
FUEL	dpadi	0.3173077	-700000.000	298.150
FUEL	Pbres	0.2403846	0.000	298.150
FUEL	MCusal	0.2403846	0.000	298.150
FUEL	cwax	0.0096154	-53100.000	298.150

O/F= 8.61538 %FUEL= 10.400000 R,EQ.RATIO= 1.550186 PHI,EQ.RATIO=-1.020626

THERMODYNAMIC PROPERTIES

P, BAR	1000.00	100.00	1.0000
T, K	2842.29	2811.87	2667.18
RHO, KG/CU M	1.0651 2	1.0727 1	1.1165-1

H, KJ/KG	-2035.83	-2035.83	-2035.83
U, KJ/KG	-2974.73	-2968.05	-2931.51
G, KJ/KG	-27912.8	-29779.0	-32444.3
S, KJ/(KG) (K)	9.1042	9.8665	11.4010

M, (1/n)	25.170	25.079	24.759
MW, MOL WT	25.127	25.079	24.759
(dLV/dLP)t	-1.00175	-1.00137	-1.00834
(dLV/dLT)p	1.0241	1.0289	1.1919
Cp, KJ/(KG) (K)	1.9431	2.0200	3.3047
GAMMAS	1.2144	1.2083	1.1574
SON VEL,M/SEC	1067.8	1061.3	1018.2

MASS FRACTIONS

*CO	0.42433	0.42434	0.42413
*CO2	0.22572	0.22595	0.22631
COOH	0.00003	0.00001	0.00000
*Cu	0.00254	0.00697	0.00727
CuO	0.00001	0.00003	0.00002
CuOH	0.00028	0.00024	0.00002
Cu2	0.00014	0.00012	0.00000
*H	0.00004	0.00011	0.00066
HCN	0.00004	0.00000	0.00000
HCO	0.00004	0.00001	0.00000
HNC	0.00001	0.00000	0.00000
HNCO	0.00004	0.00000	0.00000
*H2	0.00850	0.00852	0.00855
HCHO,formaldehy	0.00002	0.00000	0.00000
HCOOH	0.00007	0.00001	0.00000
H2O	0.18153	0.18038	0.17233
NH3	0.00006	0.00001	0.00000
*NO	0.00008	0.00021	0.00090
*N2	0.13935	0.13937	0.13905
*O	0.00000	0.00002	0.00058
*OH	0.00050	0.00138	0.00684
*O2	0.00000	0.00004	0.00106
*Pb	0.01108	0.01114	0.01141
PbO	0.00121	0.00114	0.00085
Cu(L)	0.00438	0.00000	0.00000

* THERMODYNAMIC PROPERTIES FITTED TO 20000.K

NOTE. WEIGHT FRACTION OF FUEL IN TOTAL FUELS AND OF OXIDANT IN TOTAL OXIDANTS

Beregninger gjort ved forbrenning i luft ved 1 bar i vektforholdene 1/1 (vekt krutt/vekt luft).

NASA-GLENN CHEMICAL EQUILIBRIUM PROGRAM CEA2, MAY 21, 2004
 BY BONNIE MCBRIDE AND SANFORD GORDON
 REFS: NASA RP-1311, PART I, 1994 AND NASA RP-1311, PART II, 1996

```

problem
  hp  p,bar=1.,  t,k=3800
react
  oxid=Air wt=100.0  t,k=298.15
  oxid=NG  wt=40.6  t,k=298.15
    h,kj/mol=-380.2  C 3.0 H 5.0 N 3.0 O 9.0
  oxid=NC  wt=49.0  t,k=298.15
    h,kj/mol=-703.3  C 6.0 H 7.55 N 2.45 O 9.90
  fuel=toNDPA wt=2.0  t,k=298.15
    h,kj/mol=121.0  C 12.0 H 10.0 N 2.0 O 2.0
  fuel=DPA  wt=3.3  t,k=298.15
    h,kj/mol=-700.0  C 12.0 H 22.0 O 4.0
  fuel=Pbres wt=2.5  t,k=298.15
    h,kj/mol=0.0  C 7.0 H 21.0 O 7.0 PB 1.0
  fuel=MCusal wt=2.5  t,k=298.15
    h,kj/mol=0.0  C 7.0 H 6.0 O 4.0 CU 1.0
  fuel=wax  wt=0.1  t,k=298.15
    h,kj/mol=-53.1  C 2.0 H 4.0
output
  siunits massf short
end
  
```

THERMODYNAMIC EQUILIBRIUM COMBUSTION PROPERTIES AT ASSIGNED

PRESSURES

CASE =

	REACTANT	WT FRACTION (SEE NOTE)	ENERGY KJ/KG-MOL	TEMP K
OXIDANT	Air	0.5274262	-125.530	298.150
OXIDANT	NG	0.2141350	-380200.000	298.150
OXIDANT	NC	0.2584388	-703300.000	298.150
FUEL	toNDPA	0.1923077	121000.000	298.150
FUEL	DPA	0.3173077	-700000.000	298.150
FUEL	Pbres	0.2403846	0.000	298.150
FUEL	MCusal	0.2403846	0.000	298.150
FUEL	wax	0.0096154	-53100.000	298.150

O/F= 18.23077 %FUEL= 5.200000 R,EQ.RATIO= 1.101665 PHI,EQ.RATIO= 2.061764

THERMODYNAMIC PROPERTIES

P, BAR	1.0000
T, K	2651.02
RHO, KG/CU M	1.3028-1
H, KJ/KG	-1020.08
U, KJ/KG	-1787.66
G, KJ/KG	-27699.4
S, KJ/(KG) (K)	10.0638

M, (1/n)	28.716
(dLV/dLP) t	-1.01694
(dLV/dLT) p	1.4188
Cp, KJ/(KG) (K)	4.5976
GAMMA s	1.1234
SON VEL, M/SEC	928.6

MASS FRACTIONS

*Ar	0.00646
*CO	0.10471
*CO2	0.28207
*Cu	0.00360
CuO	0.00004
CuOH	0.00002
*H	0.00021
HO2	0.00001
*H2	0.00111
H2O	0.11180
*NO	0.00686
*N2	0.44413
*O	0.00218
*OH	0.01059
*O2	0.02000
*Pb	0.00456
PbO	0.00166

* THERMODYNAMIC PROPERTIES FITTED TO 20000.K

NOTE. WEIGHT FRACTION OF FUEL IN TOTAL FUELS AND OF OXIDANT IN TOTAL OXIDANTS

Beregninger gjort ved forbrenning i luft ved 1 bar i vektforholdene 1/1000 (vekt krutt/vekt luft)

NASA-GLENN CHEMICAL EQUILIBRIUM PROGRAM CEA2, MAY 21, 2004
 BY BONNIE MCBRIDE AND SANFORD GORDON
 REFS: NASA RP-1311, PART I, 1994 AND NASA RP-1311, PART II, 1996

```

problem
  hp  p,bar=1.,  t,k=3800
react
  oxid=Air wt=100000.0  t,k=298.15
  oxid=NG  wt=40.6  t,k=298.15
    h,kj/mol=-380.2  C 3.0 H 5.0 N 3.0 O 9.0
  oxid=NC  wt=49.0  t,k=298.15
    h,kj/mol=-703.3  C 6.0 H 7.55 N 2.45 O 9.90
  fuel=toNDPA wt=2.0  t,k=298.15
    h,kj/mol=121.0  C 12.0 H 10.0 N 2.0 O 2.0
  fuel=DPA  wt=3.3  t,k=298.15
    h,kj/mol=-700.0  C 12.0 H 22.0 O 4.0
  fuel=Pbres wt=2.5  t,k=298.15
    h,kj/mol=0.0  C 7.0 H 21.0 O 7.0 PB 1.0
  fuel=MCusal wt=2.5  t,k=298.15
    h,kj/mol=0.0  C 7.0 H 6.0 O 4.0 CU 1.0
  fuel=wax  wt=0.1  t,k=298.15
    h,kj/mol=-53.1  C 2.0 H 4.0
output
  siunits massf short
end
    
```

THERMODYNAMIC EQUILIBRIUM COMBUSTION PROPERTIES AT ASSIGNED

PRESSURES

CASE =

	REACTANT	WT FRACTION (SEE NOTE)	ENERGY KJ/KG-MOL	TEMP K
OXIDANT	Air	0.9991048	-125.530	298.150
OXIDANT	NG	0.0004056	-380200.000	298.150
OXIDANT	NC	0.0004896	-703300.000	298.150
FUEL	toNDPA	0.1923077	121000.000	298.150
FUEL	DPA	0.3173077	-700000.000	298.150
FUEL	Pbres	0.2403846	0.000	298.150
FUEL	MCusal	0.2403846	0.000	298.150
FUEL	wax	0.0096154	-53100.000	298.150

O/F= 9624.00000 %FUEL= 0.010390 R,EQ.RATIO= 0.005310 PHI,EQ.RATIO= 0.000683

THERMODYNAMIC PROPERTIES

P, BAR	1.0000
T, K	307.54
RHO, KG/CU M	1.1329 0
H, KJ/KG	-6.3633
U, KJ/KG	-94.632
G, KJ/KG	-2127.38
S, KJ/ (KG) (K)	6.8967

M, (1/n)	28.969
MW, MOL WT	28.969
(dLV/dLP)t	-1.00000
(dLV/dLT)p	1.0000
Cp, KJ/ (KG) (K)	1.0053
GAMMAS	1.3996
SON VEL,M/SEC	351.5

MASS FRACTIONS

*Ar	0.01290
*CO2	0.00138
H2O	0.00026
*N2	0.75457
*O2	0.23087
CuO(cr)	0.00001
PbO2(cr)	0.00001

* THERMODYNAMIC PROPERTIES FITTED TO 20000.K

NOTE. WEIGHT FRACTION OF FUEL IN TOTAL FUELS AND OF OXIDANT IN TOTAL OXIDANTS