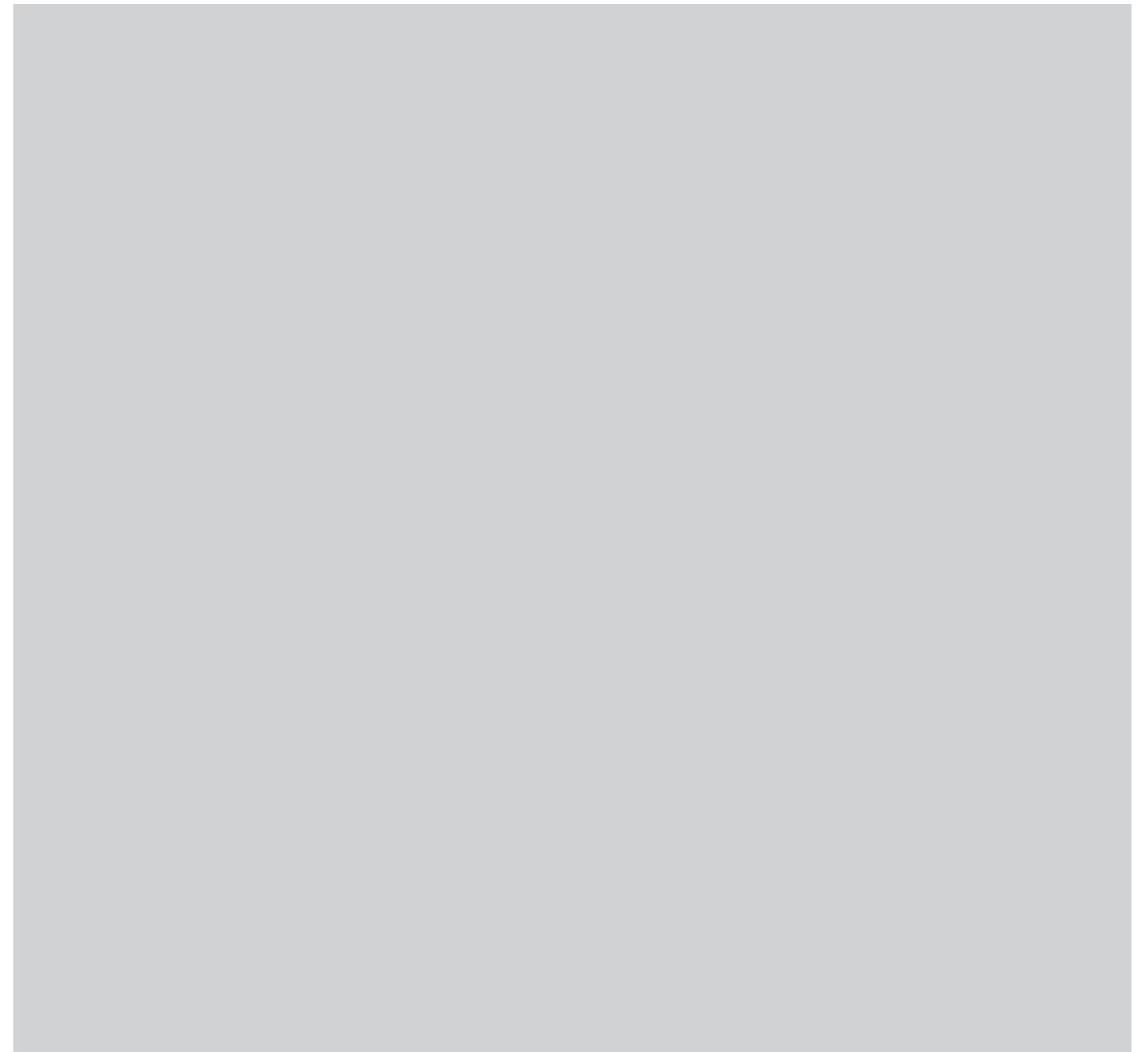


BENGT EIDERFORS, STEFAN OLSSON



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1350 anställda varav ungefär 950 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömningen av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Bengt Eiderfors, Stefan Olsson

Möjliga prestandaförbättringar med nya rökfria krut i korträckviddiga PV-robotar

Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Vapen och skydd 147 25 Tumba	Rapportnummer, ISRN FOI-R--2050--SE	Klassificering Teknisk rapport
	Forskningsområde 5. Bekämpning och skydd	
	Månad, år September 2006	Projektnummer E 2040
	Delområde 51 VVS med styrda vapen	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Bengt Eiderfors Stefan Olsson	Projektledare Bengt Eiderfors	
	Godkänd av Torgny Carlsson	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FM	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Möjliga prestandaförbättringar med nya rökfria krut i korträckviddiga PV-robotar		
Sammanfattning <p>På FOI pågår utveckling av ett rökfritt ADN-krut med hög impuls och hög brinnhastighet. En jämförelse mellan dagens rökfria krut och ADN-krut har genomförts, detta genom att studera kruten i en viss applikation. Valet föll på en BILL liknande korträckviddig PV-robot. Rapporten beskriver en inledande studie av de prestandaförbättringar som en korträckviddig pansarvärnsrobot kan förväntas få om det befintliga raketmotorkrutet ersätts med ett ADN/GAP-krut. Räckvidden kan ökas med ca (14 %), flygtiden (tid till mål) kan minskas med ca (9 %) och nyttolasten med samma flygprestanda kan ökas med ca (23 %) för de beräknade varianterna i ”standardmod”. Att utnyttja vinsterna av de beräknade prestandaförbättringarna och därmed försöka införa ett nytt krut i ett befintligt system är ett omfattande arbete. Föreliggande beräkningar ger också en uppskattning om vad användande av ett ADN/GAP-krut kan innebära för ett eventuellt nytt PV-robotsystem.</p>		
Nyckelord ADN, PV-robot, Rökfria krut, Rb 56 BILL, GAP		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 12 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Weapons and Protection SE-147 25 Tumba	Report number, ISRN FOI-R--2050--SE	Report type Technical report
	Programme Areas 5. Strike and protection	
	Month year September 2006	Project no. E 2040
	Subcategories 51 Weapons and Protection	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Bengt Eiderfors Stefan Olsson	Project manager Bengt Eiderfors	
	Approved by Torgny Carlsson	
	Sponsoring agency FM	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation)		
Abstract FOI does an on going development of a smokeless ADN-propellant with high impulse and combustion rate. A comparison between today's smokeless propellants and ADN have been conducted, by studying a special application. The choice fell on a BILL similar short range AT-robot. This report describes an initial study which concerns performance enhancements a short range anti-armour guided missile can expect to reach if the existing propellant gets replaced by an ADN/GAP propellant. The range can be increased with 14% and the flight time reduced with 9 % or the payload can be increased with 23% with the same flight performance as the existing missile. To utilize the gains from the calculated performance improvement by introducing a new propellant in an existing system could be very work intensive. The calculations in the present case can also give an estimate of what an ADN/GAP-propellant can mean for a new AT-missile system.		
Keywords		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 12 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehåll

Inledning	5
Robotkonfiguration	6
Prestandaberäkningar	7
Slutsatser	10
Bilaga	11

Inledning

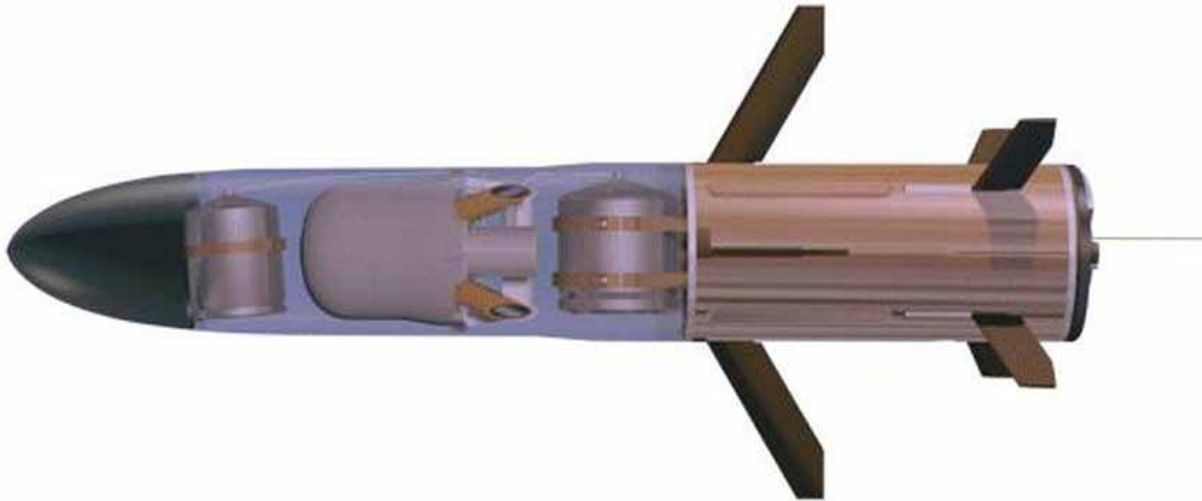
I denna rapport redovisas en enkel studie av de prestandaförbättringar som en korträckviddig pansarvärnsrobot (liknande Robot 56 [Rb 56 BILL]) kan förväntas få om det befintliga raketmotorkrutet ersätts med ett ADN/GAP-krut.

Det är många parametrar som styr en robots ballistik och även mycket små förändringar av någon parameter kan resultera i att roboten blir flygoduglig. Att ta fram ett fullständigt underlag med större modifieringar kan nästan bli lika omfattande som att designa en helt ny robot, och detta ligger långt utanför ramen för denna rapport. Istället presenteras resultat från ett fåtal beräkningar i avsikt att ge en uppfattning om tänkbara prestandaförbättringar.

De nyckeltal som valts för att indikera prestandaförbättringar är:

- 1) Ökad räckvidd.
- 2) Minskad flygtid (tid till mål).
- 3) Ökad nyttolast med samma flygprestanda.

Här har en aerodynamisk modell med en frihetsgrad använts, vilket innebär att effekter av attackvinkel, tyngdpunkt, tryckcentrum och roderutslag etc. försummas. fart vs väg.



Figur 1: Principritning av robot 56 BILL.

Robotkonfiguration

Baserat på öppna data för Robot 56 [1,2] används följande tekniska specifikationer:

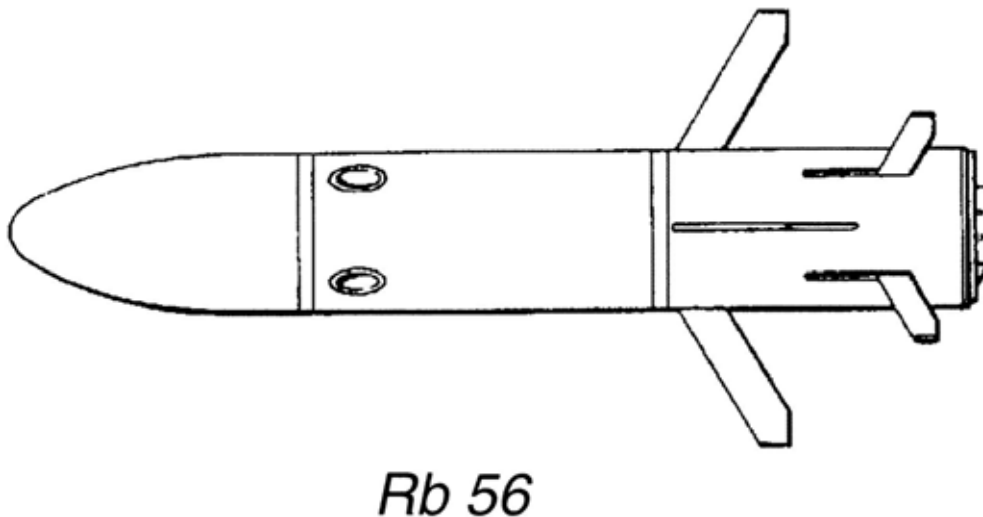
- Utgångshastighet (v_0): 72 m/s
- Maxhastighet (v_{\max}): 250 m/s
- Sluthastighet: ca 135 m/s
- Brinntid: 2,2 s
- Vikt (m_0): 10,9 kg
- Längd: 900 mm
- Diameter: 150 mm

Vidare finns följande flygtider angivna

Tabell 1: Flygtider.

Sträcka	500 m	1000 m	1500 m	2000 m	2200 m
Tid	3,0 s	5,2 s	8,0 s	11 s	13 s

och en robotskiss är given i Figur 2.



Figur 2: Robotskiss (Rb 56), efter [1].

För att skatta raketmotorprestanda hos Rb 56 görs följande antaganden baserat på standardkonfiguration för mindre raketmotorer:

- Ett rökfritt/röksvagt krut består oftast av ett dubbelbaskrut
- Motorn arbetar vid konstant tryck om ca 10 MPa, dvs även dragkraften är konstant under brinntiden
- Dysorna expanderar gaserna åtta gånger och dysvinkeln är 15 grader

Detta resulterar i ett (dubbelbas-)krut, recept från ref. [5], med specifik impuls på ca

2360 m/s. Specifik impuls eller I_{sp} är ett mått på hur energirikt ett drivämne är $I_{sp} = \frac{1}{m_k} \int F dt$.

För att öka hastigheten från 72 m/s till 250 m/s på 2,2 s med en vikt på 10,9 kg samt luftmotstånd krävs en dragkraft på ungefär 1000 N. Med hänsyn taget till förluster pga att fyra dysor används, dysdivergenser samt att dysorna inte pekar rakt bakåt fås en förlustfaktor på omkring 0,85. Sammantaget ger detta en krutvikt (m_k) på ca 1,1 kg.

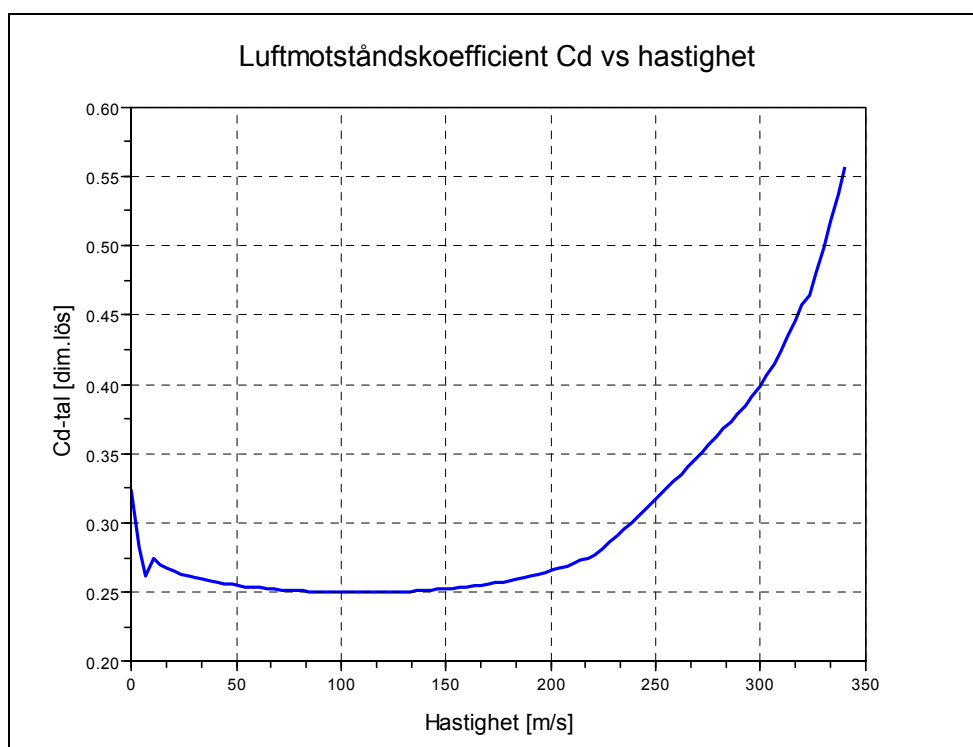
Prestandaberäkningar

Termokemiberäkning med programmet cpropep (version 1.0) [3] ger som typvärde 2570 m/s i specifik impuls för ett ADN/GAP-krut [4] vid den driftskondition, dvs 10 MPa och åtta gångers expansion, som beskrevs i föregående kapitel. Den specifika impulsen om detta krut används i stället för dubbelbaskrut är alltså ca 9 % högre och har dessutom ca 10 % högre densitet. Sammantaget får raketmotorn ca 19 % högre impuls med ADN/GAP-krut, om samma krutvolym används.

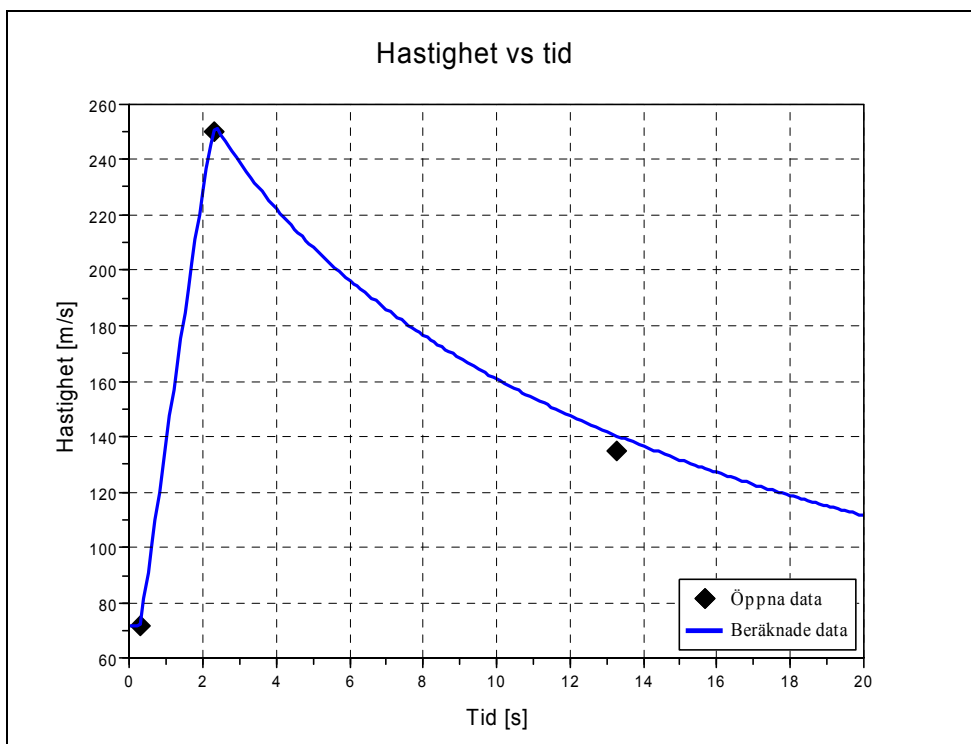
Tabell 2: Krutdata, för mera detaljer se bilaga 1.

Krut typ	Adiabatisk-flamtemperatur [K]	Beräknad Densitet [kg/m ³]	Specifik impuls I_{sp} [m/s]	Specifik impuls I_{sp} (USA) [s]
Dubbelbas	2940	1530	2360	240
ADN/GAP	3150	1680	2570	260

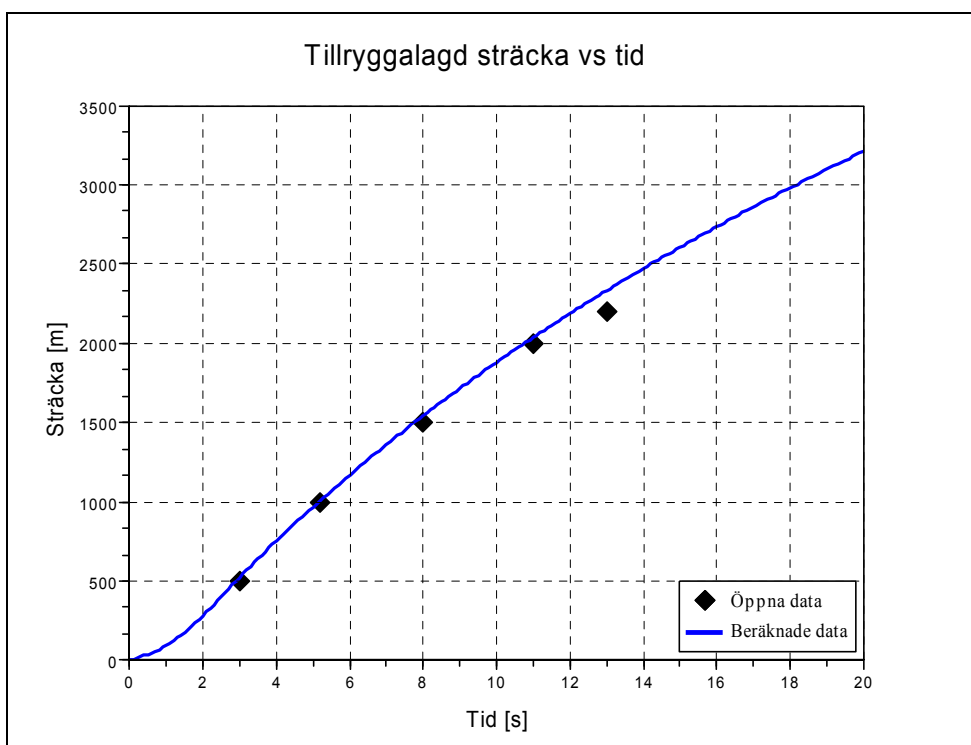
Utifrån uppskattningar av robotens geometri från skiss, se Figur 2, kan C_d , luftmotståndskoefficienten, som funktion av hastigheten beräknas, se Figur 3. Med ovanstående data för dubbelbaskrutet kan även hastigheten som funktion av tiden (Fig. 4) och tillryggalagd sträcka som funktion av tiden (Fig.5) beräknas. Detta ger en skattning av originalrobotens ytterballistik.



Figur 3: Uppskattad C_d -kurva för roboten.



Figur 4: Den beräknade "original" robotens hastighet som funktion av tiden, samt de öppna värdena.



Figur 5: Den beräknade "original" robotens sträcka som funktion av tiden, samt de öppna värdena.

Det finns många möjliga val av hur den extra impulsen kan/ska användas. I denna studie har fem olika varianter valts. Robotens geometri har fixerats och i fyra av fallen används den befintliga raketmotorn och i två har motorn modifierats för ”boost/sustain”-drift.

Tabell 3: Specifikationer för dessa varianter och för ”originalroboten” ges av tabellen:

Variant	Beskrivning	Krut	Krut vikt mk [kg]	Robot vikt m0 [kg]	Dragkraft F [N]	Brinntid tb [s]
1	”Original”	Dubbelbas	1,1	10,9	1000	2,2
2	19% mer dragkraft	ADN/GAP	1,2	11,0	1190	2,2
3	19% mer brinntid	ADN/GAP	1,2	11,0	1000	2,6
4	19% mer dragkraft och 2,5 kg mer nyttolast	ADN/GAP	1,2	13,5	1190	2,2
5	”boost/sustain”	ADN/GAP	1,2	11,0	1000 + 250	2,2 + 1,75
6	”boost/sustain” 1 kg mer krut och 1 kg mer nyttolast	ADN/GAP	2,2	13	1200 + 250	2,2 + 10,9

Med användande av Cd-kurvan, dragkraft som funktion av tid, massans förändring som funktion av tiden och kraftekvationen beräknas hastighet och tillryggalagd sträcka som funktion av tiden. Resultaten ges i tabeller 4 och 5, se vidare diagram i bilaga 2.

Det är värt att notera att de beräknade värdena för ”originalrobotens” flygtid över 2000 m skiljer sig betydligt från de öppna värdena. Detta beror troligen främst på att attackvinkeln försumrats. Vid minskande hastighet ökar attackvinkeln och därmed försämras även aerodynamiken.

Tabell 4: Beräknade flygtider och max sträcka absolut mått.

Variant	v_{max} [m/s]	500 m [s]	1000 m [s]	1500 m [s]	2000 m [s]	2200 m [s]	$v=135$ m/s [m]
Öppna data	250	3	5,2	8	11	13	2200
1	251	2,9	5,2	7,8	10,8	12,1	2510
2	281	2,7	4,7	7,1	9,8	11,0	2850
3	278	2,9	4,9	7,2	9,9	11,1	2870
4	246	2,9	5,2	7,7	10,5	11,8	2980
5	252	2,9	4,9	7,3	9,9	11,1	2910
6	262	2,9	4,8	6,7	8,7	9,4	5100

Tabell 5: Beräknade flygtider och max sträcka relativ mått.

Variant	v_{max} [m/s]	500 m [s]	1000 m [s]	1500 m [s]	2000 m [s]	2200 m [s]	$v=135$ m/s [m]
Öppna data	250	3	5.2	8	11	13	2200
1	251	2,9	5,2	7,8	10,8	12,1	2500
2	12%	-6%	-8%	-9%	-9%	-9%	13%
3	11%	-2%	-6%	-7%	-8%	-8%	14%
4	-2%	1%	1%	-1%	-2%	-3%	18%
5	1%	0%	-4%	-6%	-8%	-8%	16%
6	5%	-2%	-7%	-14%	-20%	-22%	103%

Slutsatser

Utgående från de nyckeltal som valdes för att indikera prestandaförbättringar (ökad räckvidd, minskad flygtid (tid till mål), ökad nyttolast med samma flygprestanda) kan förbättringar erhållas i samtliga avseenden om ett ADN/GAP-krut används. Mera specifikt kan

- Räckvidden ökas med ca 350 m (14%)
- Flygtiden (tid till mål) kan minskas med ca 1 s vid 2000 m (9%)
- Nyttolasten med samma flygprestanda kan ökas med ca 2,5 kg (23%)

för de beräknade varianterna i ”standardmod”.

Varianten med ”boost/sustain”-mod med samma impuls för acceleration som i ”originalroboten” och de extra 19 % för ”sustain”-delen ger inga påtagliga fördelar jämfört med drift med konstant dragkraft. Varianten med ett kilo extra av både krut och nyttolast ger ett maximalt skjutavstånd som är mer än dubbelt så stort jämfört med ”originalroboten”.

Att införa ett ADN/GAP-krut i ett redan befintligt system kan dock bli komplicerat. Bland annat pga förändringar i robotens: tyngdpunkt, tröghetsmoment, en ökad räckvidd kräver längre styrtråd vilket också medför tyngdpunktsförändring samt om hastigheten ändras kan aerodynamiken och styrningen försättas ur spel etc.

Föreliggande beräkningar ger en uppskattning om vad användande av ett ADN/GAP-krut kan innebära för ett eventuellt nytt PV-robotsystem.

Referenser

- 1 L. Tornérhielm, A. Bengtsson. Arméns robotsystem En översikt. FMV Oktober 1997
- 2 <http://www.soldf.com/rb56.html>
- 3 Antoine Lefebvre. Cpropep version 1.0 (GPL). 2000
- 4 ICT database of thermochemical values.
- 5 N. Kubota. Propellants and explosives. Wiley-vch 2002

Dubbelbaskrutet:

Shifting equilibrium performance evaluation

Propellant composition

Code	Name	mol	Mass (g)	Composition
632	NITROCELLULOSE (12.6PERCENT N)	0.0020	55.0000	755H 600C 245N 9900
642	NITROGLYCERIN	0.1783	40.5000	3C 5H 3N 90
307	DIETHYL PHTHALATE	0.0202	4.5000	14H 12C 4O

Density : 1.531 g/cm³

4 different elements H C N O

Enthalpy : -2255.81 kJ/kg

	CHAMBER	THROAT	EXIT
Pressure (atm) :	98.692	55.611	1.575
Temperature (K) :	2939.981	2679.917	1408.512
H (kJ/kg) :	-2255.806	-2773.807	-5043.954
U (kJ/kg) :	-3202.046	-3634.304	-5495.330
G (kJ/kg) :	-31151.923	-29113.841	-18887.759
S (kJ/(kg) (K)) :	9.829	9.829	9.829
M (g/mol) :	25.833	25.895	25.945
(dLnV/dLnP)t :	-1.00231	-1.00102	-1.00000
(dLnV/dLnT)p :	1.05003	1.02369	1.00004
Cp (kJ/(kg) (K)) :	2.16523	1.97434	1.73247
Cv (kJ/(kg) (K)) :	1.81118	1.63820	1.41199
Cp/Cv :	1.19548	1.20519	1.22697
Gamma :	1.19272	1.20396	1.22697
Vson (m/s) :	1062.35570	1017.84221	744.19393
Ae/At :		1.00000	8.00000
A/dotm (m/s/atm) :		15.20227	121.38043
C* (m/s) :		1500.34761	1500.34761
Cf :		0.67840	1.57391
Ivac (m/s) :		1863.25476	2552.56419
Isp (m/s) :		1017.84221	2361.41801
Isp/g (s) :		103.79102	240.79762

ADN/GAP-krutet:

Shifting equilibrium performance evaluation

Propellant composition

Code	Name	mol	Mass (g)	Composition
1030	ADN	0.6449	80.0000	4H 4N 4O
388	GAP (ARC CALC)	0.0100	20.0000	60C 102H 60N 21O

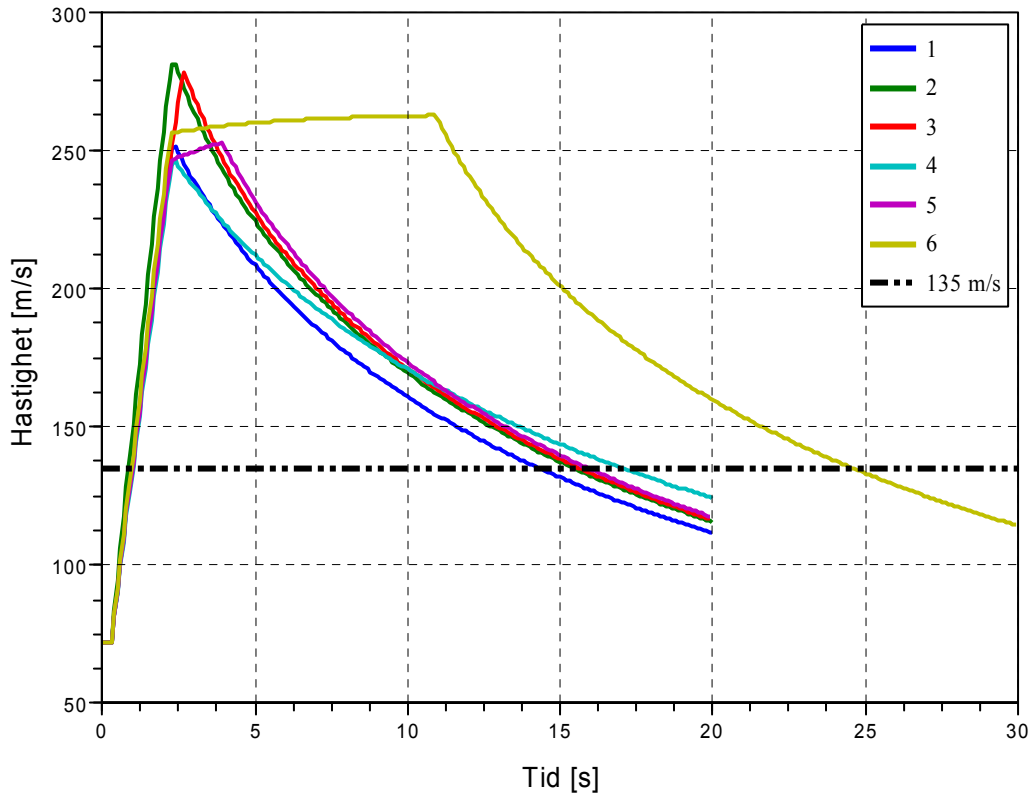
Density : 1.681 g/cm³

4 different elements H N O C

Enthalpy : -662.35 kJ/kg

	CHAMBER	THROAT	EXIT
Pressure (atm) :	98.692	56.672	1.724
Temperature (K) :	3148.111	2954.794	1723.292
H (kJ/kg) :	-662.352	-1236.525	-3959.699
U (kJ/kg) :	-1734.970	-2234.712	-4531.352
G (kJ/kg) :	-33520.204	-32076.664	-21946.251
S (kJ/(kg) (K)) :	10.437	10.437	10.437
M (g/mol) :	24.403	24.612	25.065
(dLnV/dLnP)t :	-1.01192	-1.00882	-1.00001
(dLnV/dLnT)p :	1.25118	1.19911	1.00040
Cp (kJ/(kg) (K)) :	3.78746	3.47989	1.78871
Cv (kJ/(kg) (K)) :	3.26036	2.99840	1.45672
Cp/Cv :	1.16167	1.16058	1.22790
Gamma :	1.14799	1.15044	1.22788
Vson (m/s) :	1109.66363	1071.61139	837.80896
Ae/At :		1.00000	8.00000
A/dotm (m/s/atm) :		16.43651	129.11854
C* (m/s) :		1622.15723	1622.15723
Cf :		0.66061	1.58309
Ivac (m/s) :		2003.09378	2790.61886
Isp (m/s) :		1071.61139	2568.01369
Isp/g (s) :		109.27395	261.86452

Hastighet vs tid



Tillryggalagd sträcka vs tid

