

Hans Edvinsson, Marja-Liisa Pettersson,
Erik Holmgren, Bertil Sandberg,
Henric Östmark, Andreas Helte,
Jonas Lundgren, Martin Johansson,
Jonas Irving



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.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
Vapen och skydd
147 25 Tumba
Vapen och skydd
147 25 Tumba

Tel:
Fax:

www.foi.se

Utveckling av ADN/AI

Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Vapen och skydd 147 25 Tumba	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1704--SE	Klassificering Teknisk rapport
	Forskningsområde 5. Bekämpning och skydd	
	Månad, år September 2005	Projektnummer E2464
	Delområde 52 Undervattensvapen	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Hans Edvinsson Jonas Lundgren Marja-Liisa Pettersson Martin Johansson Erik Holmgren Jonas Irwing Bertil Sandberg Henric Östmark Andreas Helte	Projektledare Hans Edvinsson	
	Godkänd av	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FMV	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Henric Östmark	
Rapportens titel Utveckling av ADN/AI		
Sammanfattning (högst 200 ord) Studie på ADN/AI stabilitet och åldringsegenskaper, kompatibilitetstester, initieringstester samt utföra IM-provning som beskjutningsprov, fast cook off, slow-cook off i modellskala.		
Nyckelord ADN, aluminium, ammoniumdinitramid, undervattensladdningar.		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 39 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Vapen och skydd 147 25 Tumba	Report number, ISRN FOI-R--1704--SE	Report type Technical report
	Programme Areas 5. Strike and protection	
	Month year September 2005	Project no. E2464
	Subcategories 52 Underwater Weapons	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Hans Edvinsson Jonas Lundgren Marja-Liisa Pettersson Martin Johansson Erik Holmgren Jonas Irwing Bertil Sandberg Henric Östmark Andreas Helte	Project manager Hans Edvinsson	
	Approved by	
	Sponsoring agency FMV	
	Scientifically and technically responsible Henric Östmark	
Report title (In translation) Development of ADN/AI		
Abstract (not more than 200 words) Study on ADN / AI stability and ageing properties, compatibility, initiation and IM-testing such as bullet impact, fast cook off and slow cook off in small scale.		
Keywords ADN, aluminum, ammoniumdinitramide, underwater charges.		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 39 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
2	Undersökning av stabilitet- och åldringsegenskaper	7
2.1	Känslighetsmätning	7
2.2	Analys av nitrat i ADN.....	8
2.3	Kompatibilitetstester mot material i gjutprocedurer	10
2.4	Förenlighetsundersökning mellan ADN/Al och olika material.....	10
2.5	Studier av åldring på ADN/Al.....	19
3	Initieringstester.....	23
3.1	Kritisk diameter och detonationshastighet	23
3.2	Initiering över luftspalt ”Gap test”	26
4	IM proving	30
4.1	Brandprovning enligt FSD 0240 (Fast Cook Off).....	30
4.2	Beskjutningsprov enligt FSD 0242(Bullet Impact).....	33
4.3	Långsam uppvärmning av explosivämne för lågkänslig ammunition i modell skala FSD 0243(Slow Cook Off)	34
5	Diskussion	37
6	Referenser	39

1 Inledning

Huvudsyftet med denna rapport är att klargöra känsligheten av ADN (ammoniumdinitramid)/aluminium beträffande åldring, kompatibilitet samt IM-testning i modellskala.

Blandningen av ADN/Al har visat ge mycket goda egenskaper som undervattens-explosivämne. Sen flera år tillbaka har utveckling skett på denna blandning och olika kompositioner har testats i skala upp till 10 kg. Variationer på mängd och typ av aluminium har testats för att ge maximal prestanda. Gjutmetoden har ytterligare utvecklats och utrustning har anpassats för att kunna producera laddningar på ett enkelt och säkert sätt.

2 Undersökning av stabilitet- och åldringsegenskaper

Genom att höja temperaturen påskyndas kemiska reaktioner. Materialet snabbåldras och man kan följa olika förändringar i materialet med olika analys tekniker. Det är ett sätt att förutsäga framtida förändringar i förtid och fastställa om de är kritiska för funktion eller säkerhet

ADN/Al blandningar placerades i värmeskåp (60°C) under 1 år. Varje kvartal (3mån) togs prover ut för att genomföra ett antal olika tester på stabilitet, åldring och känslighetsegenskaper.

2.1 Känslighetsmätning

Känslighetstester som friktionsprov och fallhammarprov har utförts på nollprov och prov som legat i värme (60°C) i 3,6, 9 och 12 månader.

Tabell 1. Rivprov (Friction test BAM 2000)

Prov	Kraft	Kommentar
ADN/Al (nollprov)	>36 kp	Ingen beräkningsbar registrering på högsta belastning
ADN/Al 3 mån (60°C)	>36 kp	Ingen beräkningsbar registrering på högsta belastning
ADN/Al 6 mån (60°C)	>36 kp	Ingen beräkningsbar registrering på högsta belastning
ADN/Al 9 mån (60°C)	>36 kp	Ingen beräkningsbar registrering på högsta belastning
ADN/Al 12 mån (60°C)	>32-36 kp	Går ej att beräkna, men börjar närma sig ett beräkningsbar nivå

Resultaten visar att ADN/Al är ej är friktionskänsligt och skillnaderna i testerna är knappt mätbara.

Tabell 2. Fallhammare (Drop hammer ERL 12B)

Prov	Höjd	Kommentar
ADN/Al (nollprov)	20,2 cm	-
ADN/Al 3 mån (60°C)	22,9 cm	-
ADN/Al 6 mån (60°C)	19,2 cm	-
ADN/Al 9 mån (60°C)	17,6 cm	-
ADN/Al 12 mån (60°C)	18,6 cm	-

Resultaten visar ingen klar tendens till att ADN/Al blir känsligare när det har värmebehandlats, dock verkar det som kornstorleken påverkar känsligheten. Ett mycket finmalt pulver blir känsligare än ett mer grovkornigt pulver vid test i fallhammaren. Pulvret som har testats var inte siktat till samma kornstorlek och därför kan variationer i storlek förekomma mellan de olika testerna.

2.2 Analys av nitrat i ADN

HPLC-UV System

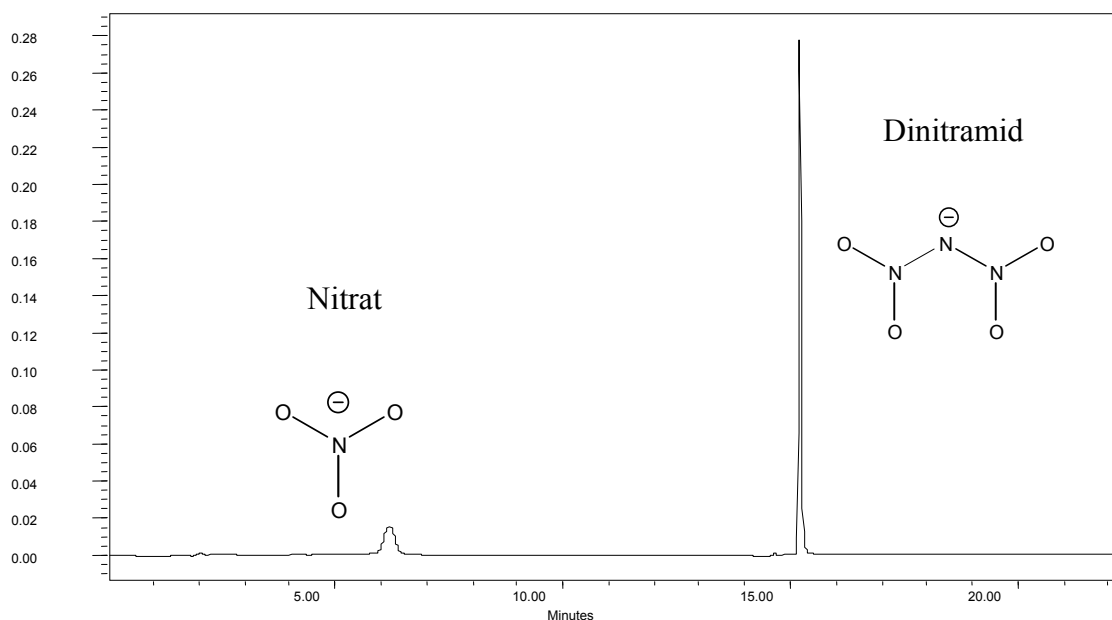
Ett Waters 2695 kvartenärt HPLC system användes för att pumpa de använda elueringsvätskorna. En Waters UV detektor model 996 photodiode array detektor användes för att ta upp UV kromatogrammet. Tabell 5. beskriver HPLC betingelserna. Denna metod är utvecklad för att separera och detektera analyterna listade i tabell 3. Alla analyter använda lagrades + 4 ° C lösta i vatten innehållande 0.03 % ammoniak

Tabell 3. Exempel på retentionstider

Elueringsordning i referenskromatogrammet	Retentionstid i minuter	Explosivämnen i referensmix
1	6.2	Nitrat
2	15.3	Dinitramid

Kromatogram

Tabell 4. Exempel på referensprov innehållande nitrat och ADN



Tabell 5. Beskrivning av HPLC metod

Lösningsmedel använt till referens mixen	Vatten med 0.03 % Ammoniak (HPLC Isocratic grade)
Lösning A	Vatten med 0.03 % Ammoniak (HPLC Isocratic grade)
Lösning B	95 % Acetonitril och 5 % Vatten. 0.025 M ammonium trifluoroacetate
Lösningsmedelssystem	
Steg 1	Isokratiskt
Lösningsmedelsblandning	A 100%
	B 0%
Analystid	Från 0 till 9 min
Lösningsmedelsflöde	Konstant på 0.8 ml/min
Steg 2	Gradient
Lösningsmedelsblandning	A 100% to 0%
	B 0% to 100%
Analystid	Från 9 till 15 min
Lösningsmedelsflöde	0.8 ml/min till 1.5 ml/min
Steg 3	Isokratiskt
Lösningsmedelsblandning	A 0 %
	B 100%
Analystid	Från 15 till 20 min
Lösningsmedelsflöde	1.5 ml/min till 2.0 ml/min
Steg 4	Isokratiskt
Lösningsmedelsblandning	A 100 %
	B 0%
	Från 20 till 25 min
	2.0 ml/min till 1.5 ml/min
Temperatur	55°C
Kolonn	
Produkt namn	Hypercarb (PGC)
Dimension	
Partikelstorlek	100x4.6 mm,
Tillverkare	3 µm
	Thermo-Hypersil
Detektor våglängd	UV, 230 och 300 nm

Resultat HPLC-Analys

Vid analys med ovanstående metod detekterades följande nitratinnehåll i 5 st prover innehållande ADN lagrade vid olika temperaturer.

Tabell 6. Resultat HPLC-Analys

Prov ID	Nitratkoncentration. Viktsprocent
ADN lagrat i 20 °C (Nollprov)	0,10
ADN lagrat i 60 °C (3 Mån)	0,44
ADN lagrat i 60 °C (6 Mån)	0,33
ADN lagrat i 60 °C (9 Mån)	0,39
ADN lagrat i 60 °C (12 Mån)	0,77

Resultaten visar att Nitrat bildas som en sönderfallsprodukt i ADN. Nitratinnehållet i provet härrör från nedbrytningen av ADN och analysresultatet är beräknat på ADN-delen i provet. Då Nitrathalten ökar, minskar halten av dinitramid motsvarande. Ökningen av nitrathalten är förhållandevis låg och bör ej påverka prestanda på ADN /Al.

2.3 Kompatibilitetstester mot material i gjutprocedurer

ADN är reaktivt med många material, antingen reagerar de med ADN eller katalyserar nedbrytningen av ADN. Material som har visat sig ha god kompatibilitet med ADN är rostfritt stål (SS2434), aluminium, zink oxid, magnesiumoxid och teflon.

Andra material som järn, nickel, koppar, silver är inte kompatibla med ADN. Vid tillverkning av maskiner eller andra delar som kan tänkas komma i kontakt med ADN, skall man undersöka vilken typ av legering av aluminium som skall användas. Vissa legeringar av aluminium innehåller andra metaller som ADN inte är kompatibla med. Man skall använda olegerat aluminium i så stor utsträckning som möjligt.

Konstruktioner som gjutgrytor bör tillverkas i rostfritt stål som är hållbart och lätt att hålla rent. Gjutformar kan tillverkas av aluminium men även stål som har belagts med teflon har visat sig fungera bra.

2.4 Förenlighetsundersökning mellan ADN/Al och olika material

Undersökta material:

Från Torped 62 SD:

- Skal ämne Precisionsgjutet Aluminium BSL 169
- Stång SS Aluminium 4212-06
- F1341-22980/Lock SS Aluminium 4010-40
- O-ring SI 3601-1 Skega 6370001 (NBR)
- F1341-240211/Utfyllnad Divinycell H130 (Divinycell är en cellplast baserad på polyurea och PVC)

Från Torped 45 SD:

- Skal Ämne SS Aluminium 4245-04

Ytterligare material:

- stål SS 1370
- vax

Utförande

Som mall för undersökningen har STANAG 4147 (Draft edition 2) använts, metoden har anpassats till sveriges FSD 0223.

Förenlighets undersökning är utförd med mikrokolorimeter TAM III från Thermometrics AB. Apparaturen mäter temperaturskillnaden mellan provet och en inert referens. Kort går mätningen till så att de olika proven mäts var för sig och därefter blandningen. Effekttutvecklingen från blandningen ska inte vara mycket högre, än de två sammanlagda då proverna mäts var för sig. Mätningen är kontinuerlig och utförd vid 65°C under 14 dygn. Provampullen är en 3ml glas ampull med aluminiumlock med tätslutande teflonbelagd gummipackning.

Resultat

Resultaten finns presenterade som värmeflödes kurvor där effekttutvecklingen kan avläsas mot tiden i dygn i bilaga 1. I mikrokolorimeterkurvorna finns en teoretisk kurva inlagd, den är framtagen genom att mätningen av ADN/Al ensamt och komponent två adderats ihop för jämförelse.

Provets viktminskning efter mätningen och den totalt avgivna energin efter 13 dygn 8 tim och 30 min är uppmätt och presenteras i tabell 8.

Kvoten mellan den verkliga blandningen och den teoretiska är uträknad på följande sätt:

$$K = C/(A+B)$$

där:

C=Den verkliga blandningen (ADN/Al + komponent B) (J/g ADN/Al)

A=Komponent A (ADN / Al) (J/g)

B=Komponent B

Komponent B är viktad så att den motsvarar mängden av komponent B i den verkliga blandningen.

Exempel: I den verkliga blandningen finns 0,5g ADN /Al och 0,1g divinylcell för att få resultaten jämförbara. Räknas de om till motsvarande mängd för 1g ADN/Al således utgörs den teoretiska kurvan av värmeflödet från 1g ADN / Al plus värmeflödet från 0,2 g divinylcell. Ovanstående är ett exempel för att klargöra hur beräkningen gått till.

Tabell 7. Redovisar utförda förenlighets mätningar och viktdifferensen som uppkommit.

Prov	Prov vikt (g) före	Prov vikt (g) efter	Vikt differens (g)	Vikt differens (%)
SS-AI 4212-06	0,44919	0,44923	-0,00004	0,009 ökning
SS-AI 4010-40	0,90079	0,90065	0,00014	0,015 minskning
SS-AI 4245-04	1,11032	1,11035	-0,00003	0,003 ökning
AI BSL 169	0,43247	0,43228	0,00019	0,044 minskning
Stålfilspån	1,25031	1,25043	-0,00012	0,010 ökning
ADN AI MgO	1,35235	1,34959	0,00276	0,204 minskning
ADN/Stålf.sp	1,07251	1,07166	0,00085	0,079 minskning
Vax	0,20673	0,20683	-0,0001	0,048 ökning
ADN/Vax	0,87418	0,87307	0,00111	0,127 minskning

Tabell 8. Visar viktdifferensen (g), avgiven energi (J/g) efter 13 dygn, 8 tim och 30 min. 1 Kvoten ger kvoten för den verkliga blandningen och avgiven energi för ADN, 2 kvoten visar kvoten mellan den verkliga blandningen och ADN+komp2.

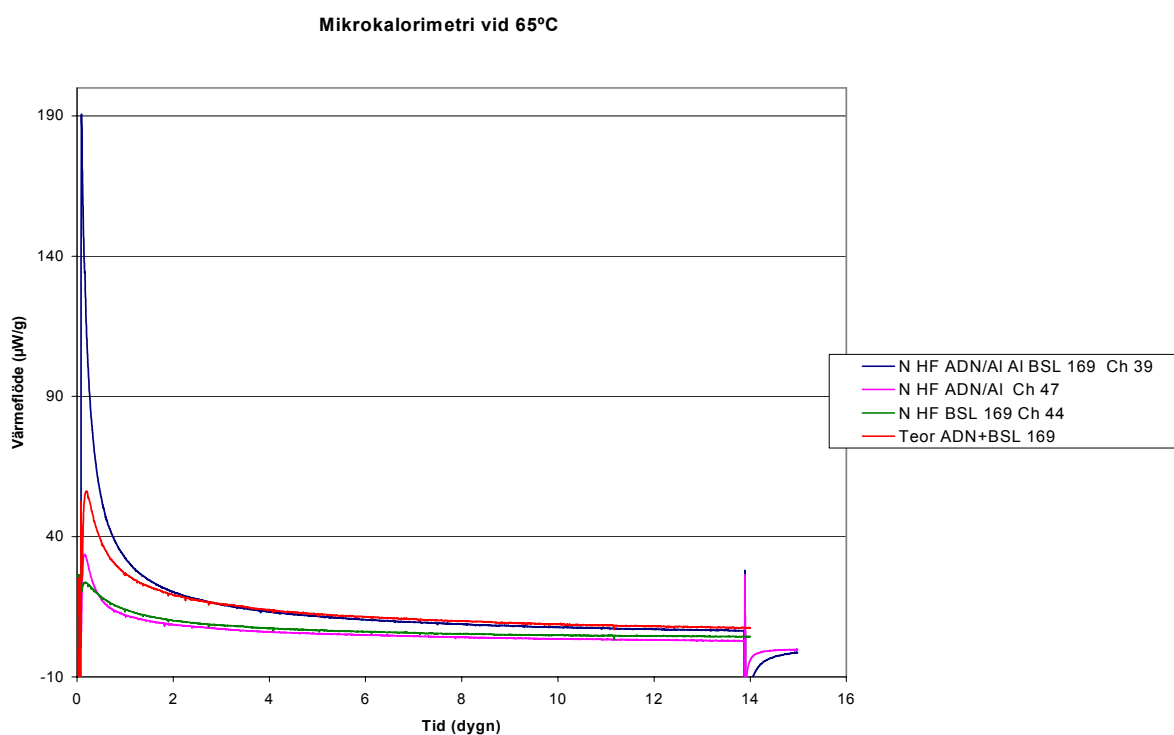
Prov	Vikt diff (g)	Avgiven energi (J/gADN)	1 Kvoten bland/ teor.kurvan	2 Kvoten bland/teor	Förenligt / oförenligt
ADN / AI +AI Bsl 169	1E-04	16,82	2,4	1,13	Förenligt
ADN / AI + AI:4212-06	0,0003	14,13	2,0	1,44	Förenligt
ADN / AI + AI 4010-40	0,0003	10,79	1,5	1,38	Förenligt
ADN / AI +O-ring	-0,0002	14,40	0,8		Förenligt
O-ring enbart	-0,0003	6,13			
ADN / AI + Divinylcell	-0,00215	8,86	1,2		Förenligt
Divinylcell enbart	0,0001	1,44			

Prov	Vikt diff (g)	Avgiven energi (J/gADN)	1 Kvoten bland/ teor.kurvan	2 Kvoten bland/teor	Förenligt / oförenligt
ADN / Al + Al:4245-04	1E-04	17,42	2,5	1,29	Förenligt
ADN / Al enbart	0,0002	6,90			

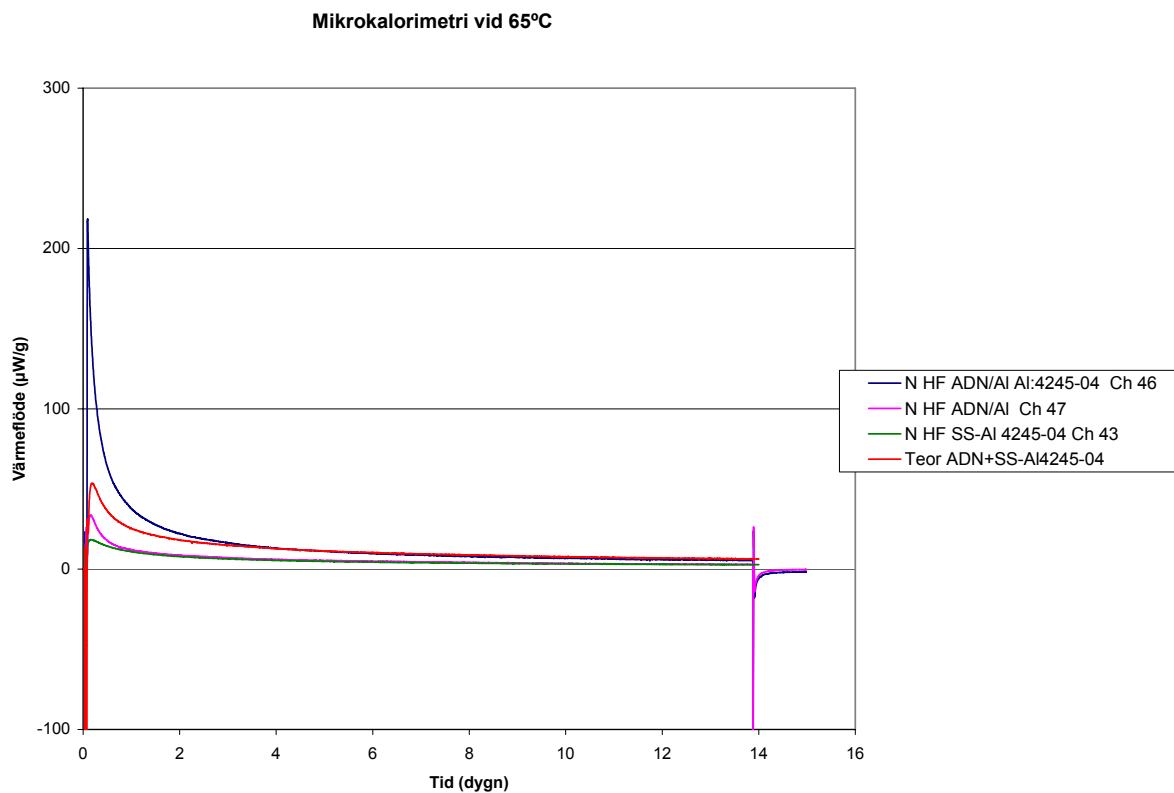
Kriterierna som använts är hämtade från STANAG 4147 (Draft edition 2):

- < 2 Förenliga
- 2-3 Analysera med ytterligare en metod
- >3 Ej förenliga

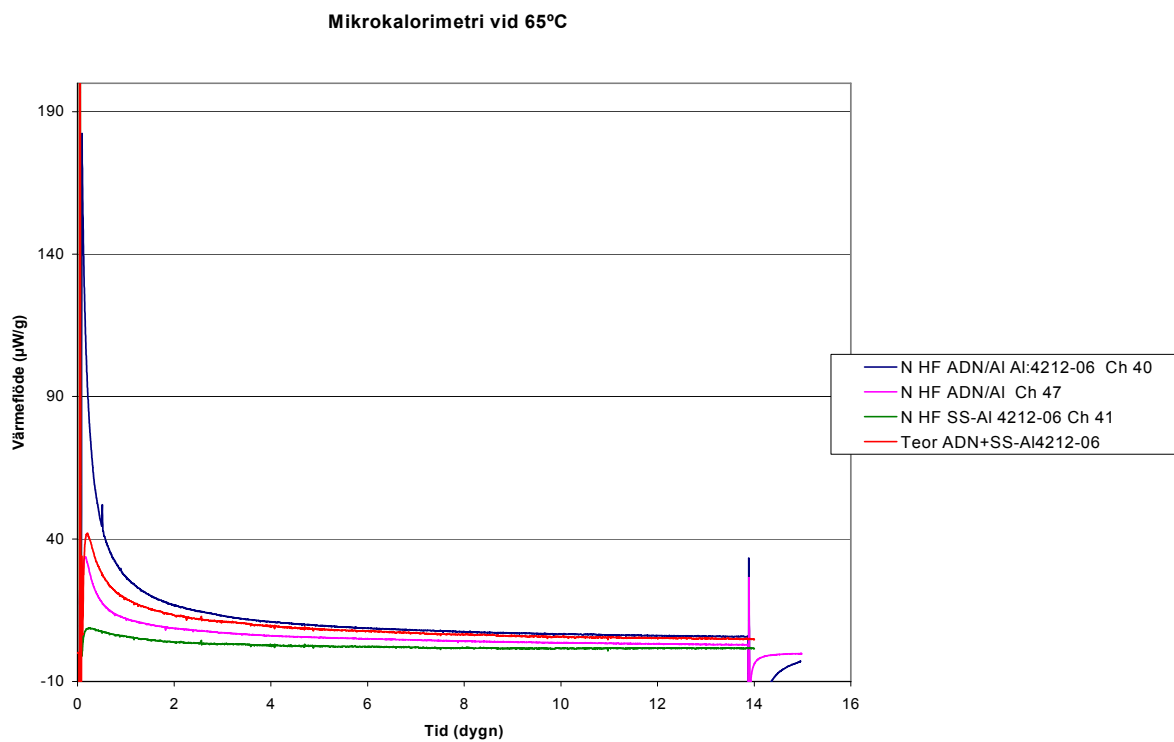
Metoden är skriven för röksvaga krut men funnits användbar vid detta arbete.



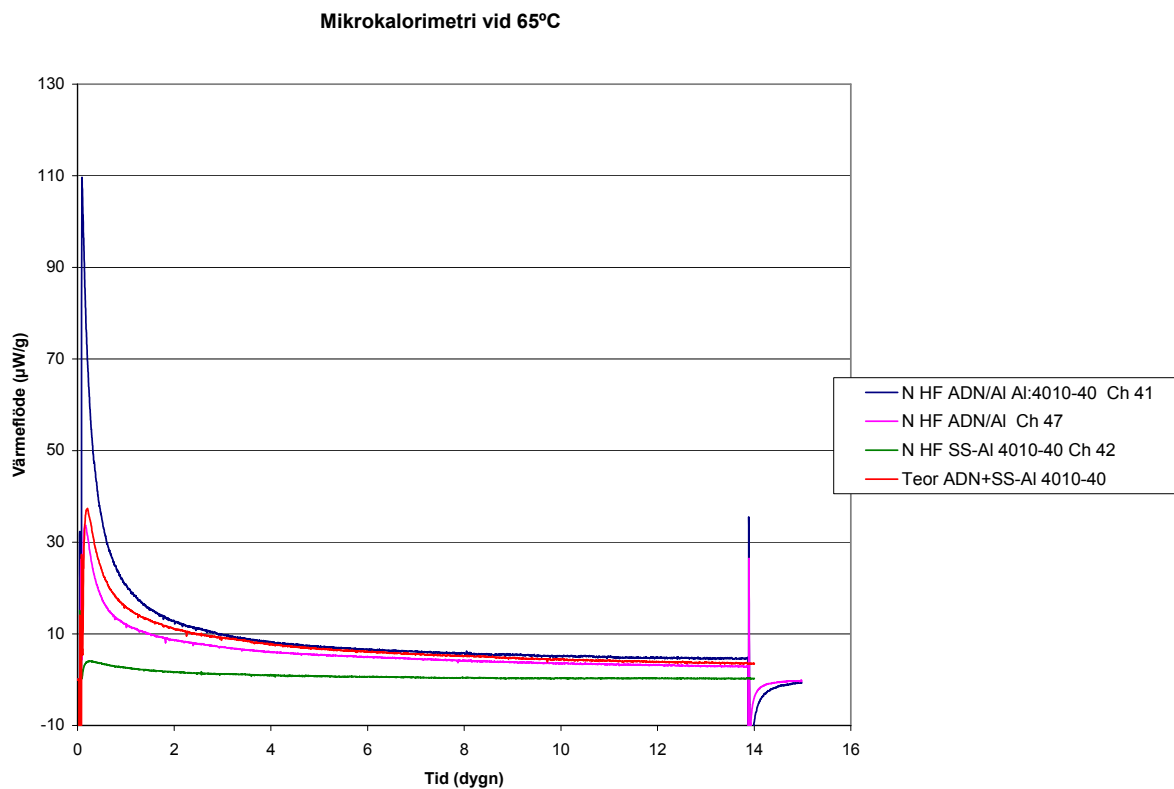
Figur 1. Förenlighetsmätning av ADN/AL/MgO mot aluminium BSL 169.



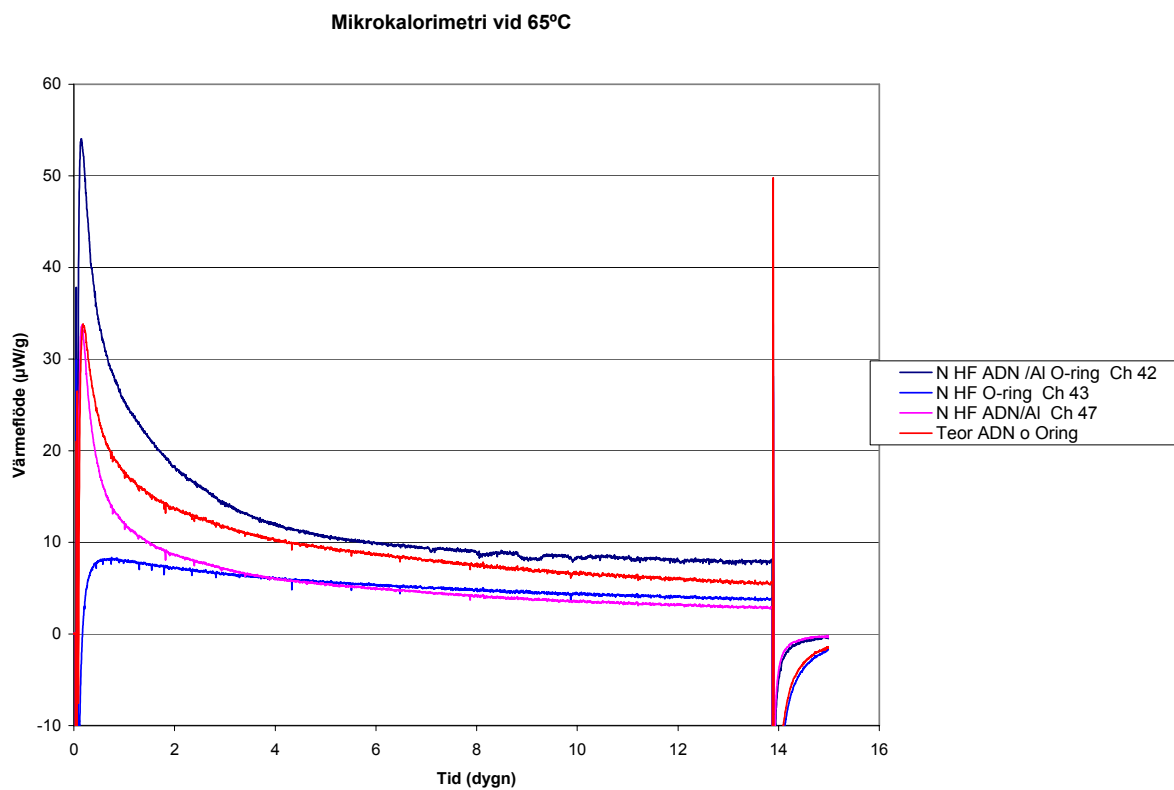
Figur 2. Förenlighetsmätning av ADN/AL/MgO mot SS Aluminium 4245-04.



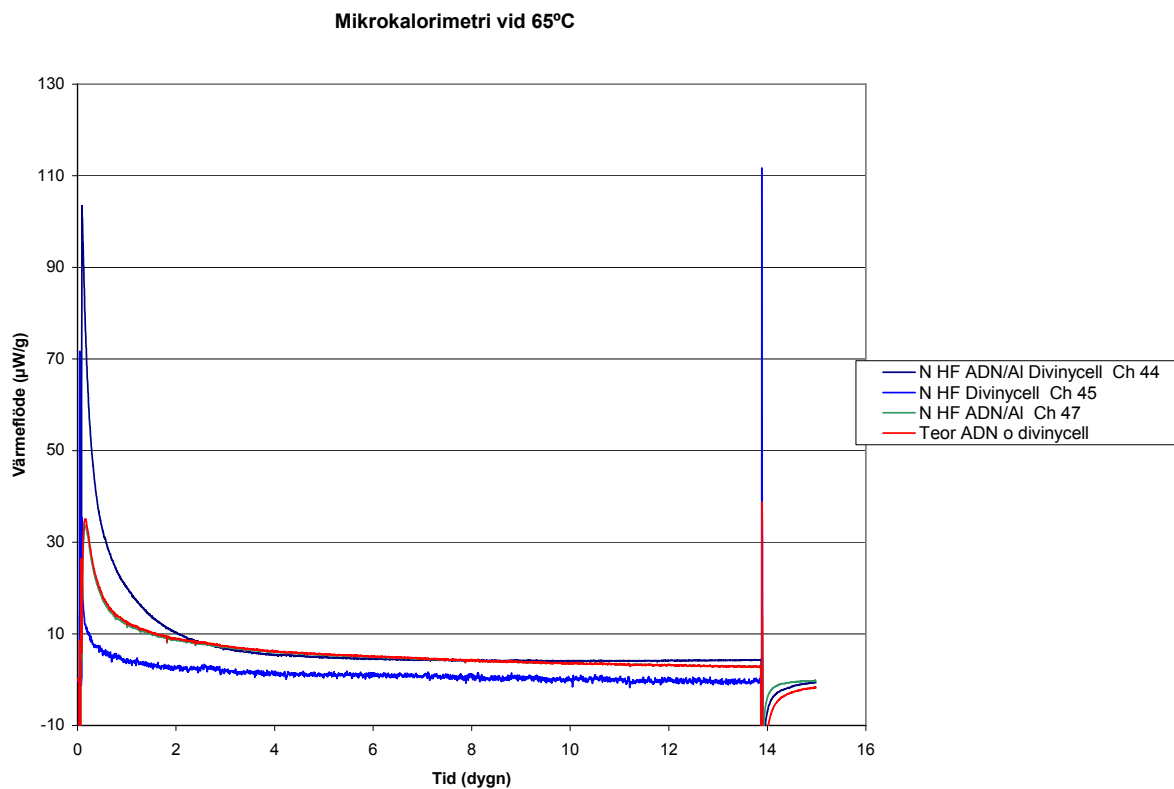
Figur 3. Förenlighetsmätning av ADN/AL/MgO mot SS Aluminium 4212-06.



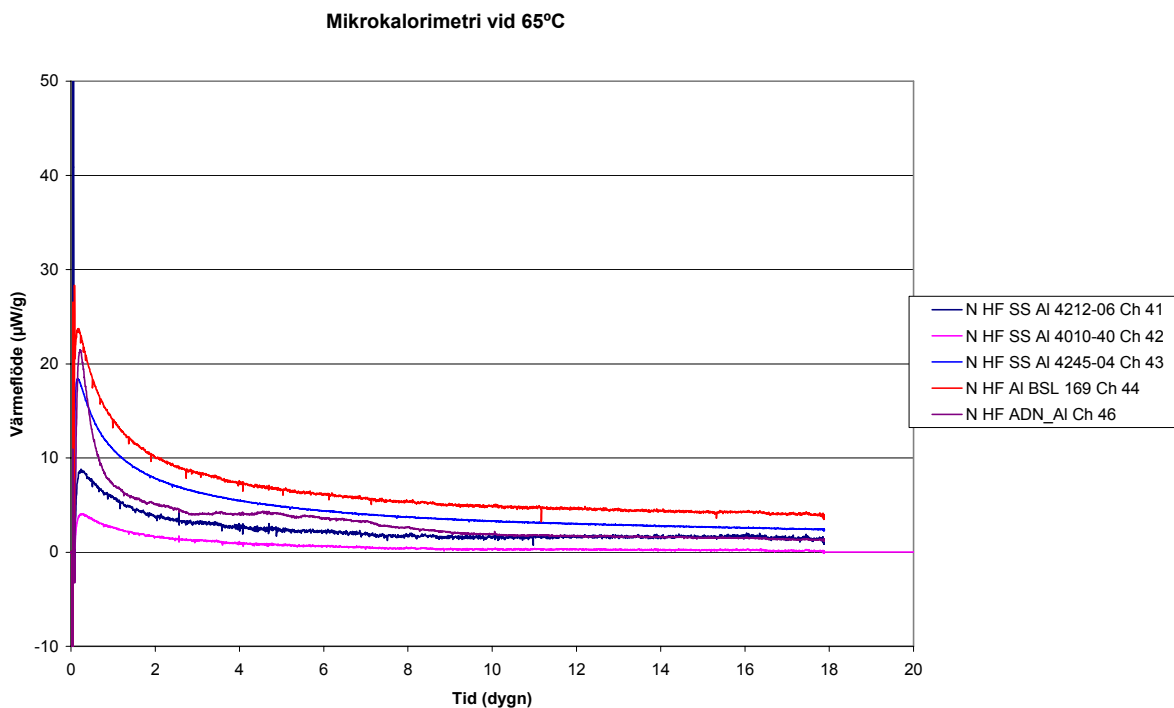
Figur 4. Förenlighetsmätning av ADN/AL/MgO mot SS Aluminium 4010-40.



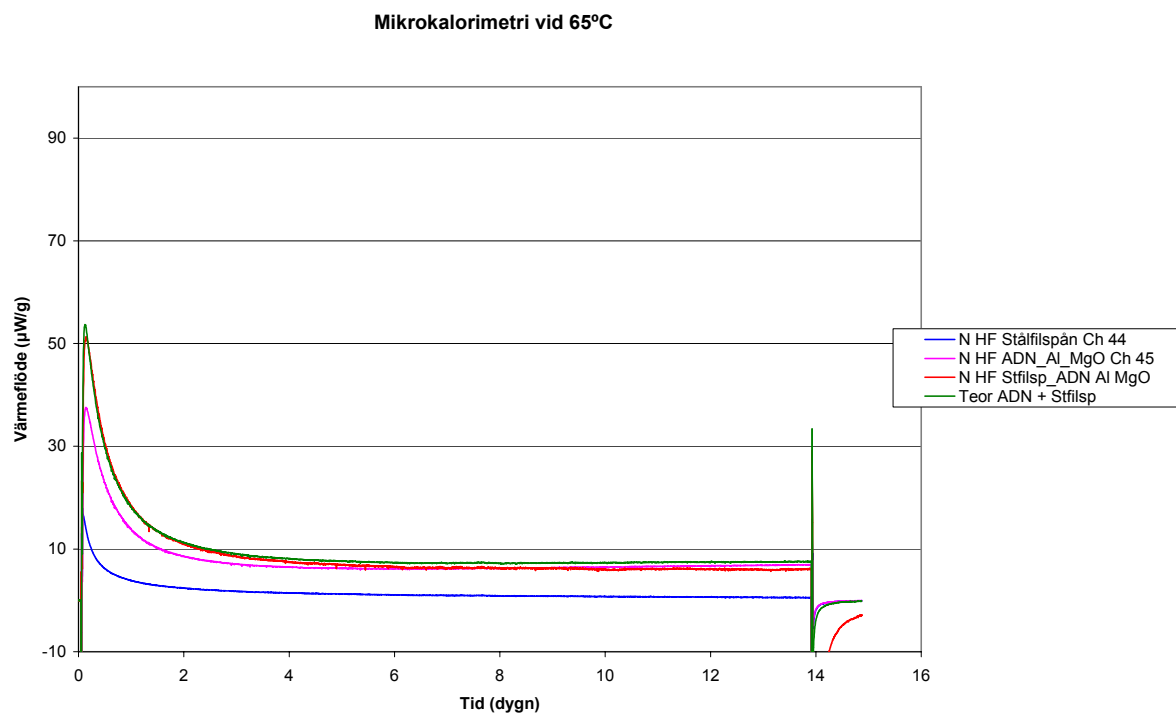
Figur 5. Förenlighetsmätning av ADN/AL/MgO mot O-ring Skega..



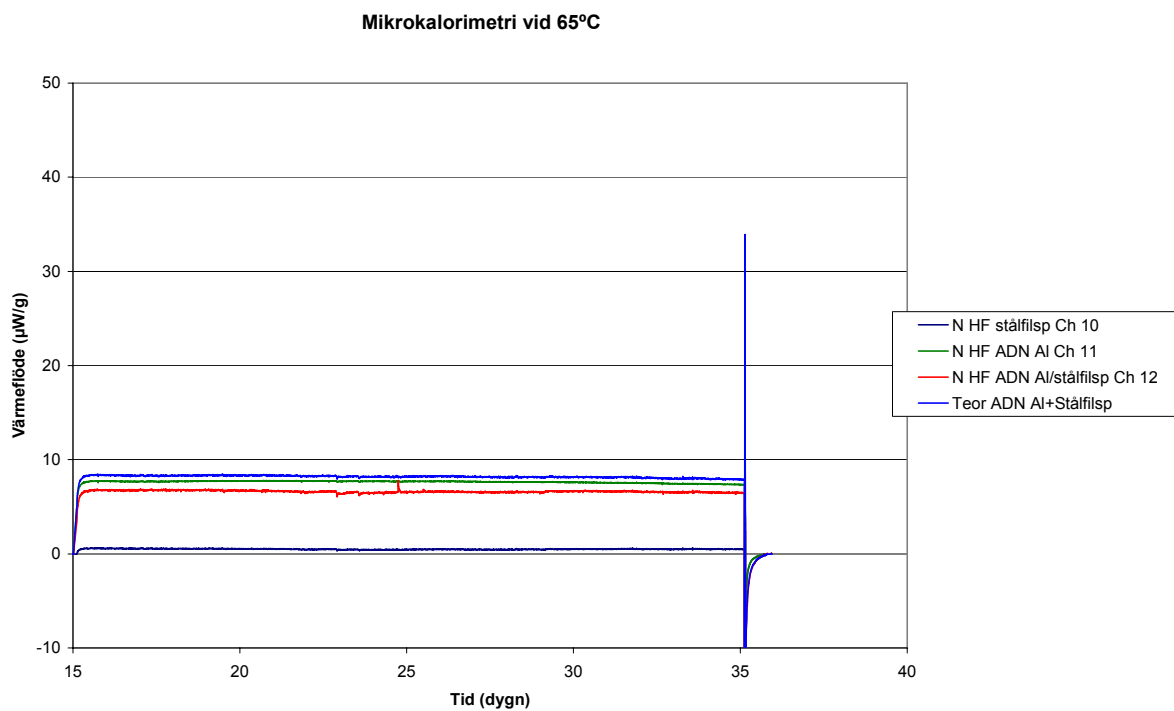
Figur 6. Förenlighetsmätning av ADN/AL/MgO mot utfyllnadsmaterial Divinycell.



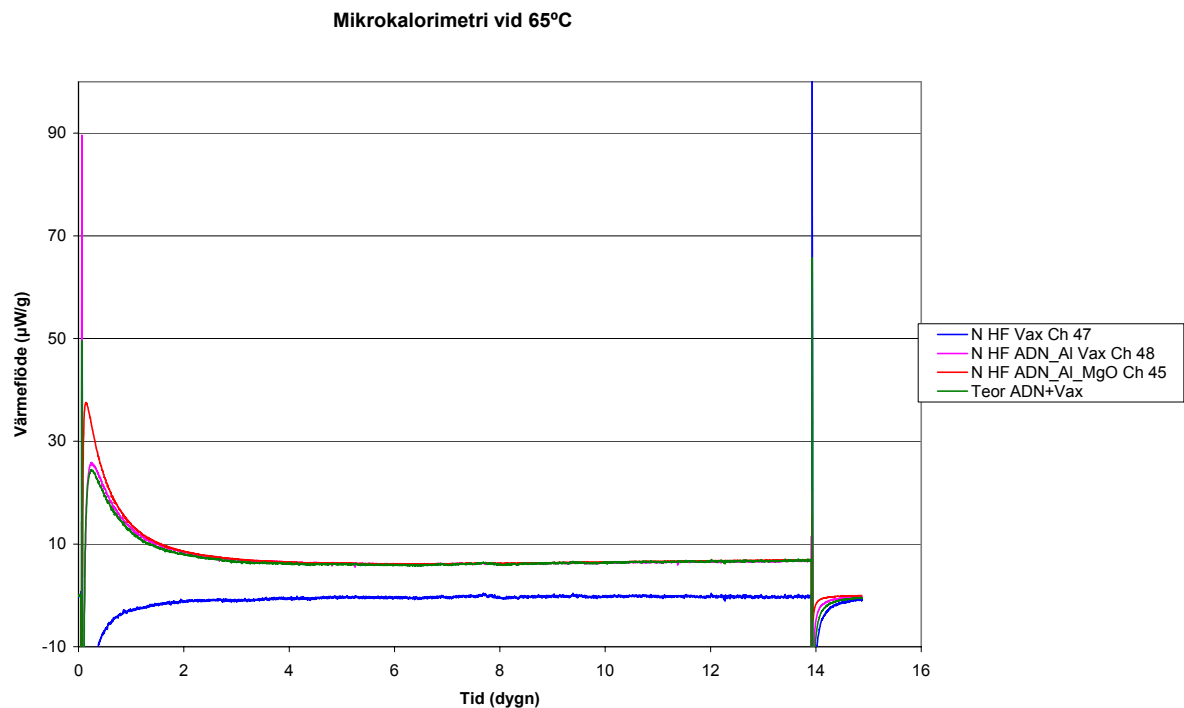
Figur 7. kompletterande MK mätningar av de olika aluminium legeringarna.



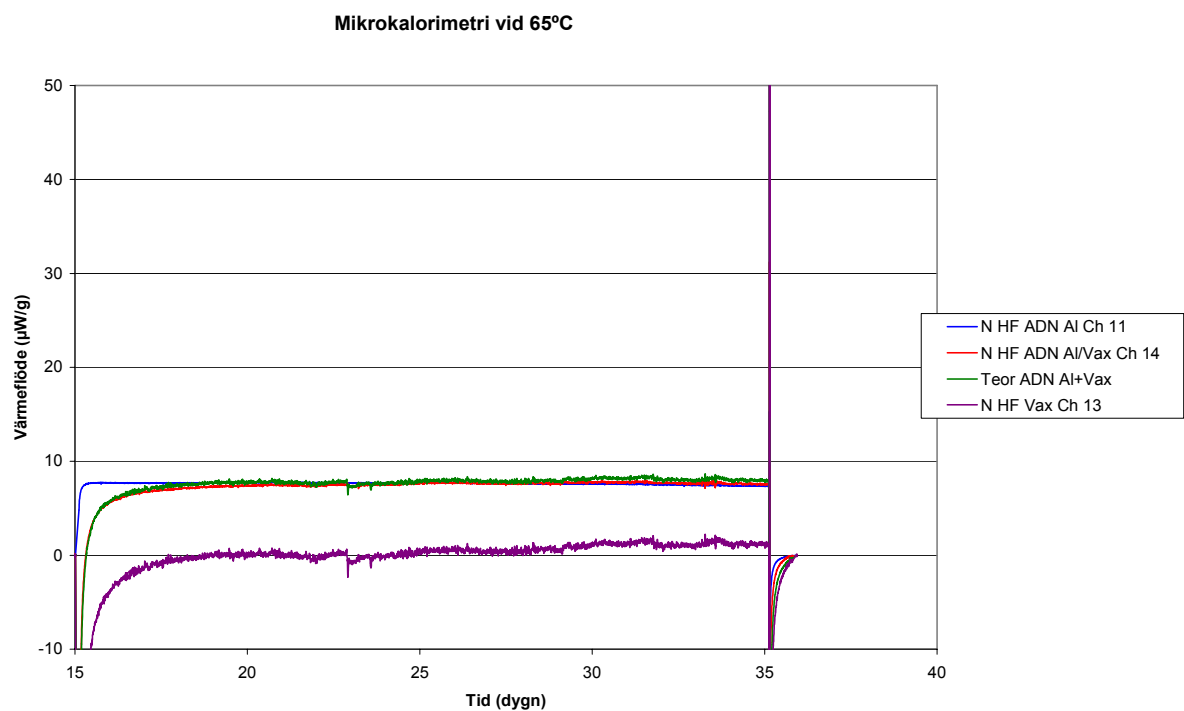
Figur 8. förenlighetsmätning av ADN/Al/MgO mot stålfilsån(SS 1370).



Figur 9. Förenlighetsmätning av ADN/Al/MgO mot stålfilsån(SS 1370) förlängd mätning.



Figur 10. Förenlighetmätning av ADN/AL/MgO mot vax



Figur 11. Förenlighetmätning av ADN/AL/MgO mot vax, förlängd mätning.

2.5 Studier av åldring på ADN/Al

Inledning

Aktiverings energin har uppmätts med mikrokolorimetri det föreligger inte linjäritet i temperatur området. Mikrokolorimeter mätningar av prover som åldrats i 3-, 6-, 9- och 12 mån är också utförda.

Analysmetod

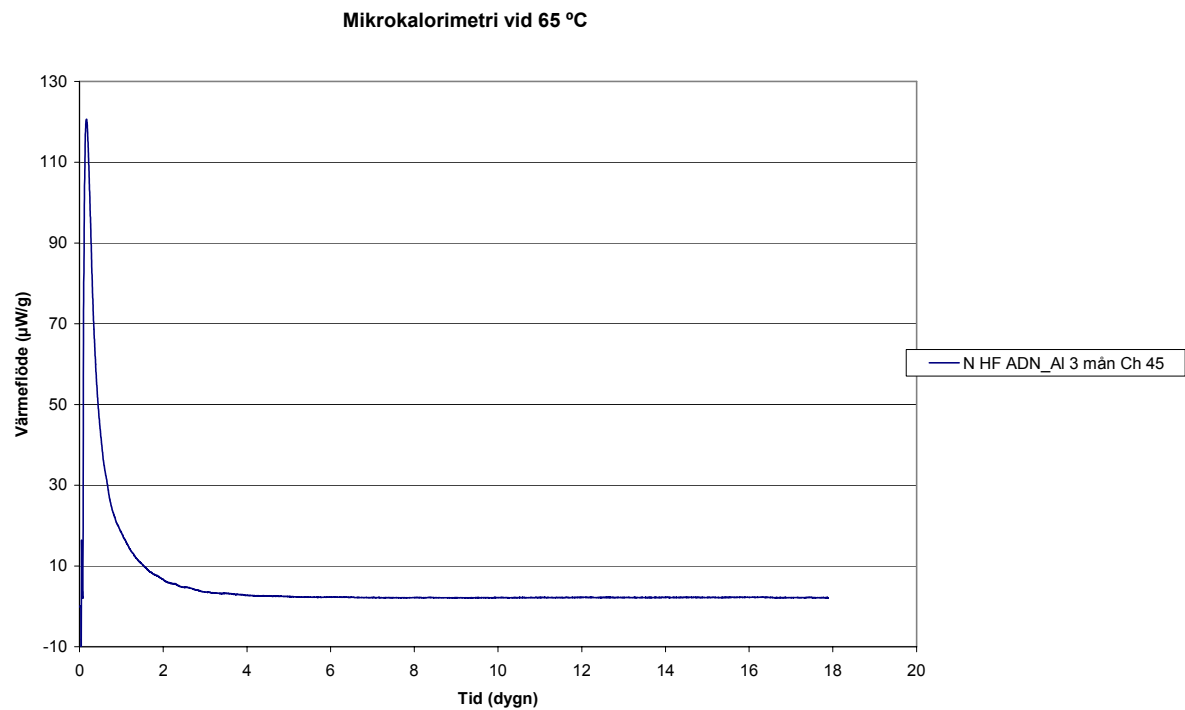
Effektutvecklingen är uppmätt med mikrokolorimeter TAM III från Thermometrics AB. Apparaturen mäter temperaturskillnaden mellan provet och en inert referens. Mätningen är kontinuerlig och utförd vid 45°, 55°, 65°, 75° och 80°C under olika långa tidsperioder. Provampullen är en 3 ml glas ampull med aluminiumlock med tätslutande teflonbelagd gummipackning.

Arrhenius diagram är upprättat genom att den tid det tar för 2,625 J att avges vid de olika temperaturerna. $\ln 1/tid$ (s) är avsatt mot $1000 / Temp$ (K). Om det ger ett linjärt förhållande kan man använda de högre temperaturerna för extrapolera till lägre. Den här undersökningen visar att förhållandet inte är linjärt och det går inte att använda data till livslängdsberäkningar.

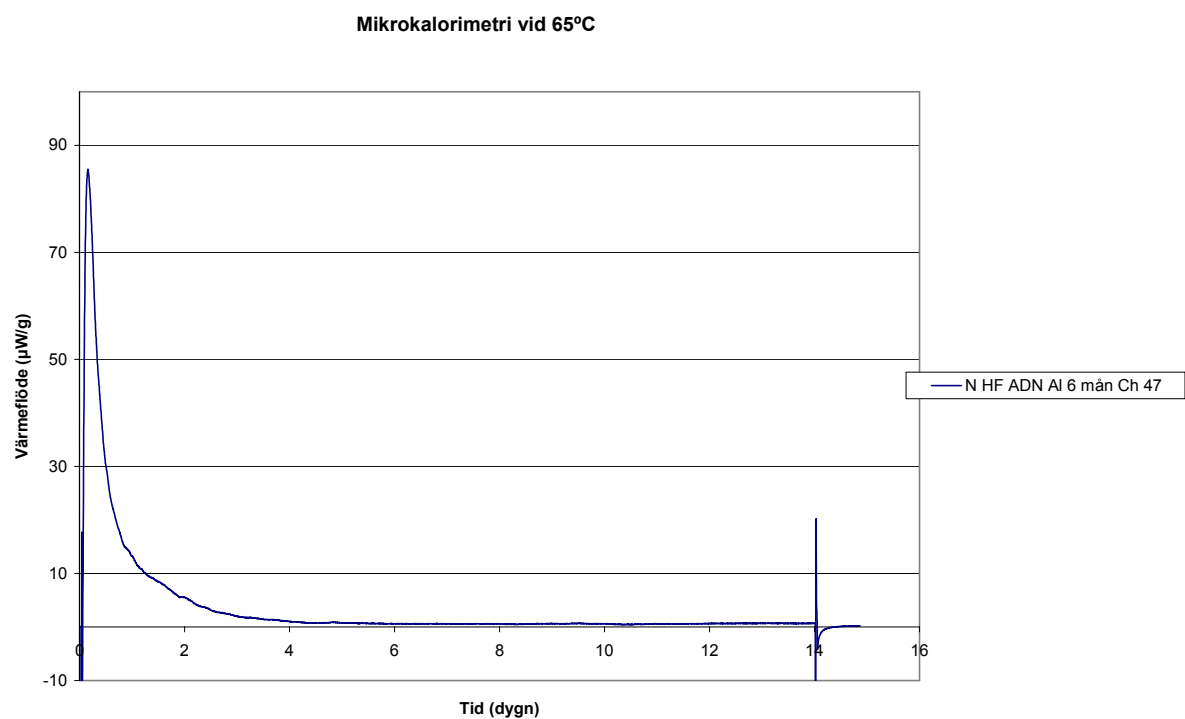
Resultat

Tabell 9. Redovisar försöken med åldring av prover vid 60°C upp till 12 månader. Prov uttag har gjorts vid 3-, 6-, 9- och 12 månader. Proven är därefter uppmätta i mikrokolorimetern vid 65°C. Mikrokolorimeter kurvorna redovisas i figur 1-4.

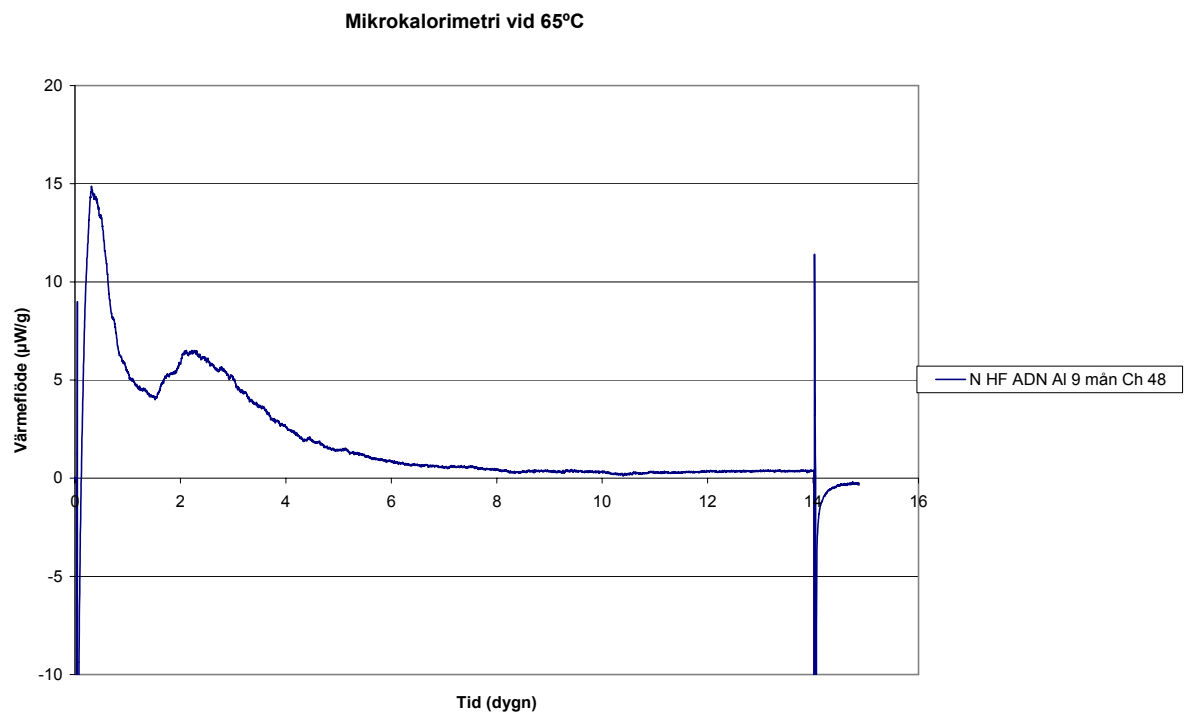
Prov	Prov vikt (g) före	Prov vikt (g) efter	Vikt diff (g)	Viktsförlust (%)
ADN_Al_MgO 3 mån	1,1266	1,12356	0,00304	0,27
ADN_Al_MgO 6 mån	1,07441	1,07144	0,00297	0,28
ADN_Al_MgO 9 mån	1,07822	1,0756	0,00262	0,24
ADN_Al_MgO 12 mån	1,25473	1,2517	0,00303	0,24



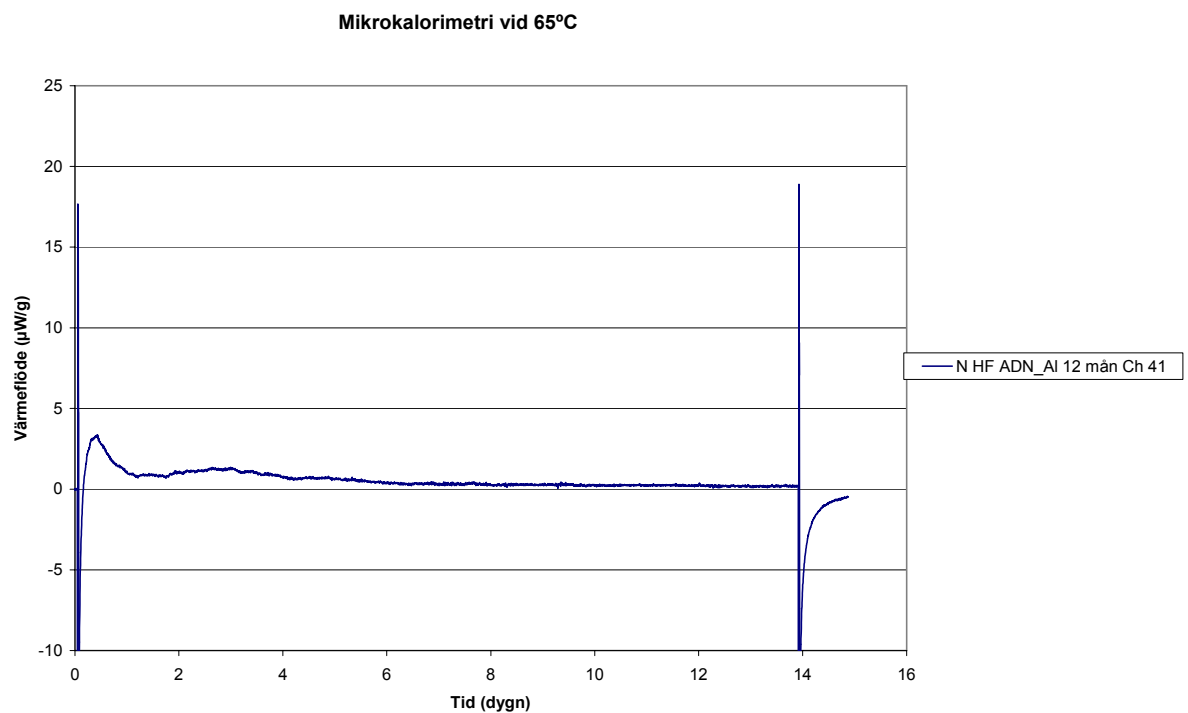
Figur 12. ADN/Al/ MgO åldrat 3mån vid 65°C.



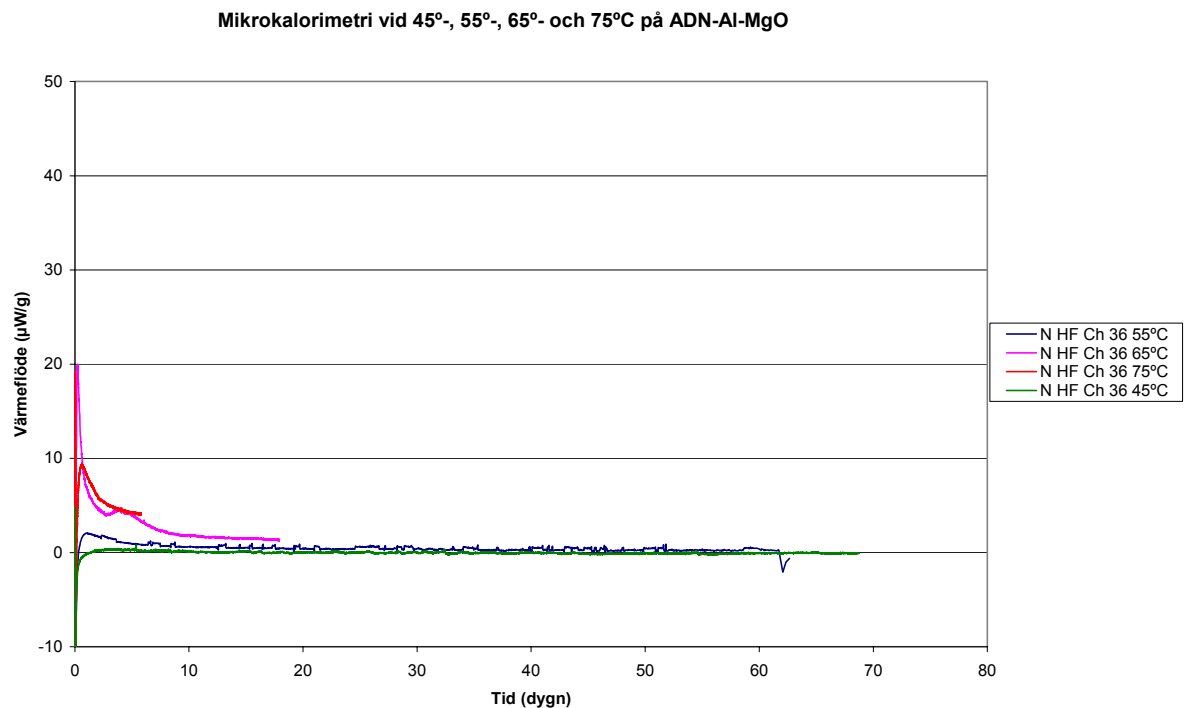
Figur 13. ADN/Al/ MgO åldrat 6mån vid 65°C.



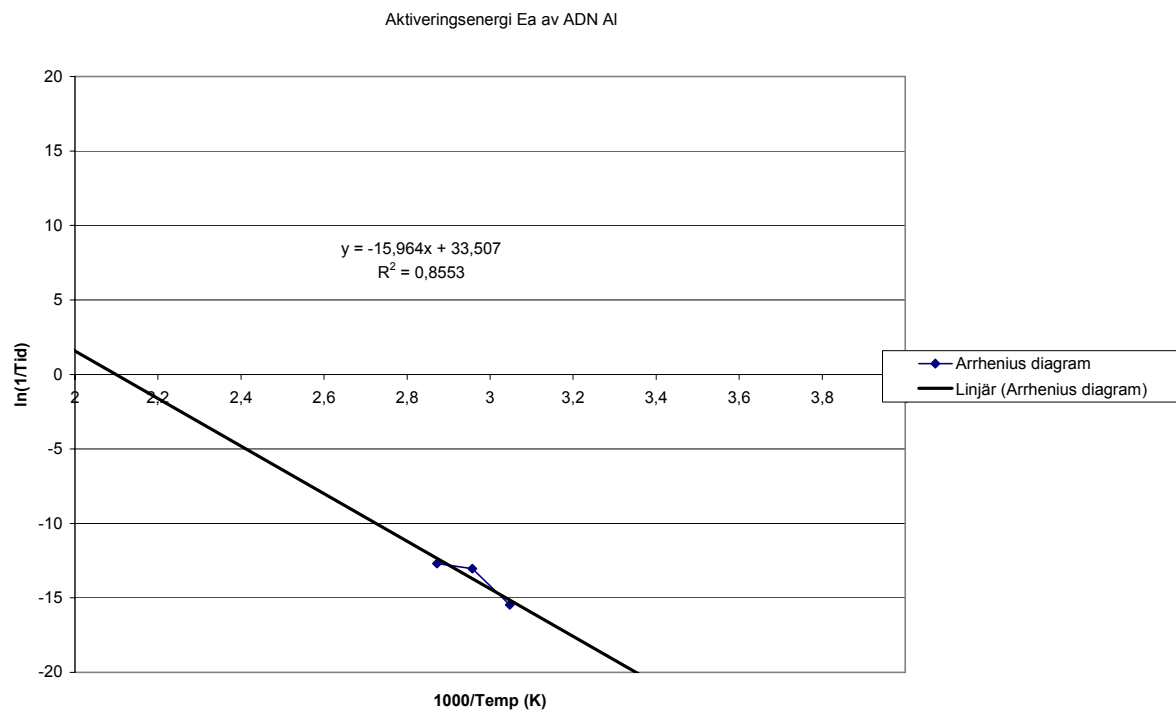
Figur 14. ADN/Al/ MgO åldrat 9mån vid 65°C.



Figur 15. ADN/Al/ MgO åldrat 12mån vid 65°C.



Figur 16. Mikrokalorimetri vid olika temperaturer 45-75



Figur 17. Arrhenius diagram

Åldrings försöken ger goda resultat, viktnedskningen i % är ungefär lika för alla prover och ökar inte med tiden de värmelagrats vid 60°C. Mikrokolorimeterkurvornas initialt höga topp minskar också med tiden de värmelagrats. De reaktioner som orsakar den höga initiala toppen kan bero på interaktion med syre eller fukt som efterhand förbrukas av provet. Det skulle vara intressant att titta på hur syretillgång och fukt påverkar åldringen.

Arrhenius kurvan som upprättats visar att det inte är ett linjärt förhållande mellan de olika temperaturer som 55-75°C. Det förekommer förmodligen olika slags nedbrytningsreaktioner vid de olika temperaturerna. Att förhållandet inte är linjärt kan också bero på att instrumentet som använts inte är känsligt nog och har en för hög brusnivå vilket ger fel värden vid den låga signalen som erhålls vid 55°C. Om ett linjärt förhållande erhålls kan man använda data för livslängdsberäkningar.

Förenlighetsmätning ADN/Al/MgO mot stålfilspån är förenliga.

Förenlighetsmätning ADN/Al/MgO mot vax är förenliga.

Det skulle även vara intressant att testa förenligheten och stabilitet med vakuumstabilitets test.

3 Initieringstester

Initieringstester på kompositionen ADN/Al har genomförts. För att ta reda på den kritiska diametern har metoden kilförsök använts. I denna metod kan den kritiska diametern samt detonationshastigheten kartläggas. För att ta reda på känsligheten för initiering över luftspalt har metoden gaptest använts.

3.1 Kritisk diameter och detonationshastighet

Bakgrund

Ett sprängämnes kritiska diameter är den minsta diameter vid vilken en detonationsvåg kan uppnå ett fortvarighetstillstånd utan att slockna ut. Den kritiska diametern är således en viktig parameter vid konstruktion av laddningar, speciellt för lågkänsliga sprängämnen. Det ska dock poängteras att den kritiska diametern beror av laddningens fördämning från eventuella höljen. En bättre fördämd laddning har en mindre kritisk diameter. När man ospecificerat talar om kritisk diameter åsyftas vanligen den för en naken (ej fördämd) laddning.

Ett vanligt sätt att mäta den kritiska diametern är att initiera en cylindrisk stav av det aktuella sprängämnet i dess ena ände och undersöka om en detonationsvåg med konstant utbredningshastighet utvecklas. Genom att upprepa detta försök med ett antal stavar med olika diametrar kan en övre och undre gräns för den kritiska diametern bestämmas. Detta förfarande kräver ett flertal försök och är därmed väldigt kostsamt.

Om man istället låter cylindern ha en variabel diameter längs dess axel (t.ex. en stympad kon) kommer detonationshastigheten att variera längs cylinderaxeln. Om cylindern görs tillräckligt

smal i motsatt ände mot initieringspunkten kommer detonationshastigheten att kraftigt reduceras när den lokala diametern understiger sprängämnets kritiska diameter för att slutligen dö ut. Genom att kontinuerligt mäta detonationshastigheten längs cylinderns mantelyta kan således den kritiska diametern uppskattas som den punkt då detonationshastigheten snabbt börjar avta. Hur väldefinierad denna punkt är beror naturligtvis på konens öppningsvinkel. En liten öppningsvinkel ger en mer väldefinierad övergång än en stor eftersom det tar en viss tid för detonationsvågen att anpassa sig till den nya diametern.

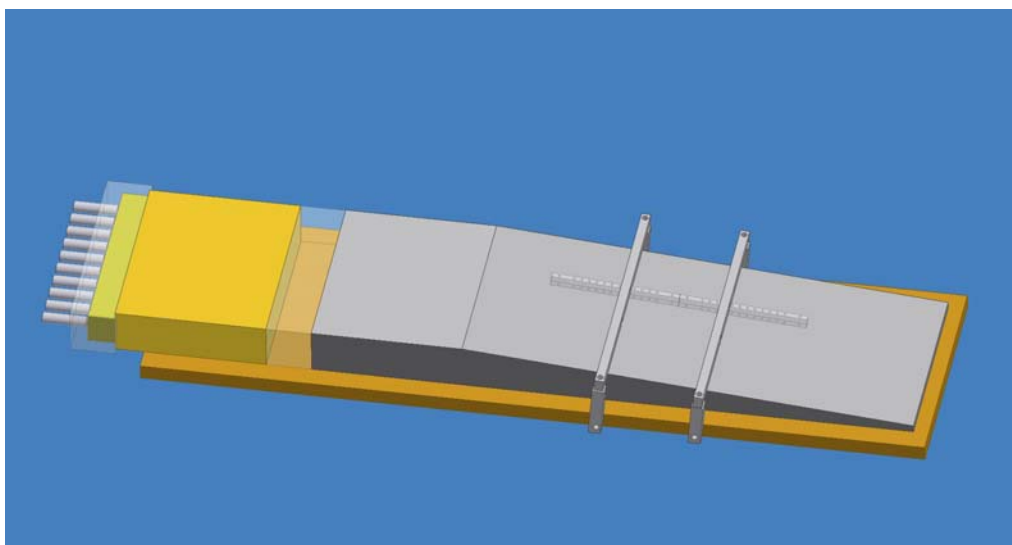
Ur tillverkningssynpunkt är det enklare att tillverka kilformade sprängämneskroppar än konformade. Det som då mäts är den kritiska tjockleken, som approximativt är halva kritiska diametern. Om kilen dessutom är kraftigt fördämd på ena sidan blir den kritiska tjockleken nästan halverad (exakt halverad för perfekt fördämning). Den kritiska diametern ges då approximativt av fyra gånger den kritiska tjockleken.

Denna ovan beskrivna metoden ger endast en uppskattning av den kritiska diametern men har fördelen att endast ett skjutförsök behöver utföras. Om en noggrann bestämning önskas bör försöket kompletteras med åtminstone två skjutförsök med raka cylindrar där diametrarna väljs så att de just understiger respektive överskrider den kritiska diametern.

Försöksuppställning

En kil av ADN /Al göts och bearbetades (se figur 13.) En boosterladdning av Hexotol samt en dämpskiva av lexan tillverkades och monterades på en vittnesplåt av mässing som även fungerade som uppbackning. Boosterladdningen försågs med 10 st sprängpatroner M/46 apterade på 0,5 m långa bitar av pentylstubin M/47 som samlades i ett samlingstycke.

Detta samlingsstycke utgjorde själva initieringsstället för hela försöket. Genom att använda denna typ av initiering skapar man en plan detonationsfront som fortplantar sig igenom boosterladdningen. Lexanskivan som är monterad mellan boostern och kilen och dämpar detonationstrycket till en nivå som beräknat skall motsvara detonationstrycket i ADN/Al. Allt detta för att inte få en driven detonation som kan resultera till ett felaktigt resultat. På ovansidan av den kilformade delen av laddningen fästes 14 st piezogivare som registrerade detonationsfrontens ankomsttid varav detonationshastigheten kunde beräknas. Försöksuppställningen framgår av figur 18. och figur 19.



Figur 18. Ritning av kilförsök.

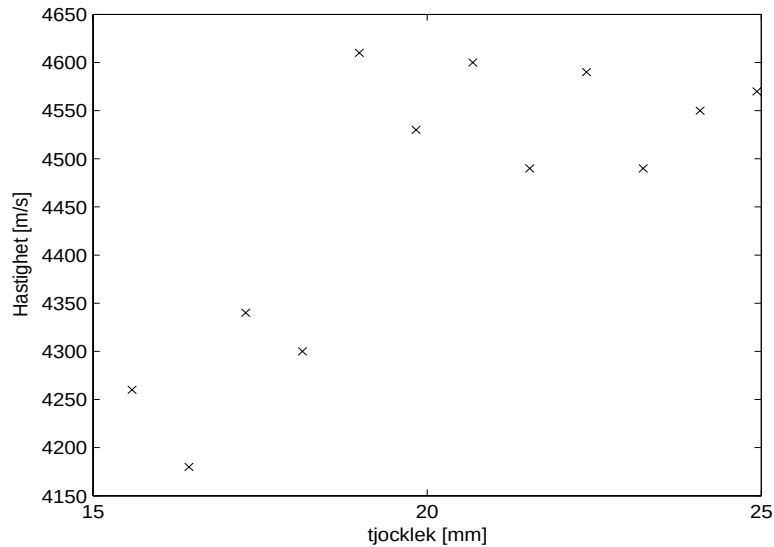


Figur 19. Försöksuppställningen för kilförsök på ADN/Al

Resultat

De piezopinnar som monterades på laddningen placerades något för långt upp i den kilformade delen av laddningen. Dessa givare kunde endast registrera en sänkning av detonationshastigheten. Den gräns där detonationsfronten stannade av fanns strax efter sista piezopinnen, vilket betyder att man inte kunde se den tydliga gräns där detonationshastigheten sjunker drastiskt (se Figur 20). Efter att mätt avtrycket på vittnesplåten (se figur 21.), kunde en gräns tas fram där detonationsfronten troligen avstannat. Detta avstånd motsvarade en tjocklek på kilen och som i sin tur skulle motsvara en kritisk diameter på 36 mm. Eftersom denna mätning inte är exakt måste resultatet anges som ett intervall där den kritiska diametern torde vara mellan 30-40 mm. Den uppmätta detonationshastigheten var 4550 m/s. Densiteten för kil-laddningen var 1,81 g/cm³.

Tidigare detonationstester [5] på det aktuella ämnet visade att cylinder Ø 25 mm med densitet 1,96 g/cm³ detonerade ej, cylinder Ø 40 mm med densitet 1,97 g/cm³ deflagrerade med låg hastighet, cylinder Ø 60 mm med densitet 1,99 g/cm³ detonerade med en hastighet på 4055 m/s.



Figur 20. Diagram hastighet mot tjocklek kil



Figur 21. Resultat av kilförsök

3.2 Initiering över luftspalt "Gap test"

Bakgrund

Provningsen syftade till att bestämma ADN/Al stötvågskänslighet vid gaptest. Som referens har gjuten Hexotonal (HBX3) valts eftersom det är ett vanligt förekommande sprängämne i undervattenssammanhang. Den valda provningsmetoden och motivet till detta val presenteras i avsnitt metod. Resultatet av provningen återfinns i avsnitt resultat.

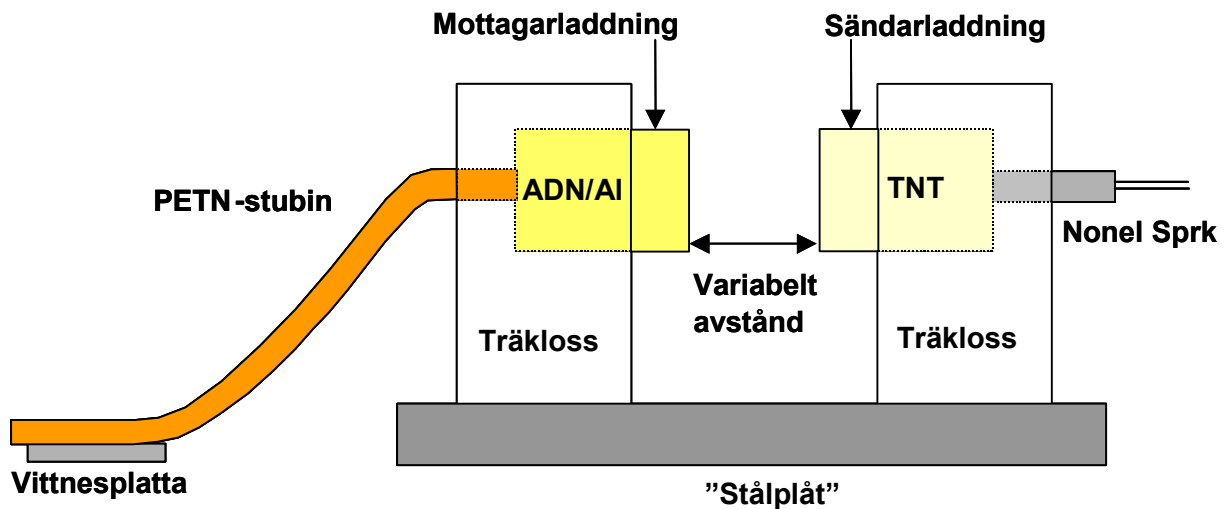
Metod

Det finns ett flertal olika metoder för gap-test (se text i [1]- [3]). Dessa metoder skiljer sig mer eller mindre åt. De väsentliga skillnaderna återfinns i dimensioner, fördämning, givarladdning, utförande och i de material som utgör distansen (gapet) mellan givarladdningen (sändarladdningen) och sprängämnet som testas. Även gap-tester i stora dimensioner måste uteslutas då behovet av sprängämne är mycket stort. Därför lämpar de sig ej att använda under ett utvecklingsarbete. Mest lämpad torde därför en metod där sprängämnesåtgången är rimlig (några kg). En dylik metod som passar och har använts i den genomförda provningen. Det är provningsmetod 116.2, Initiering över luftspalt, i bilaga 3 till FSD 0214 [3]. Försöksuppställningen framgår av figur 16 och figur 17. Data för de utnyttjade komponenterna framgår av tabell 10.

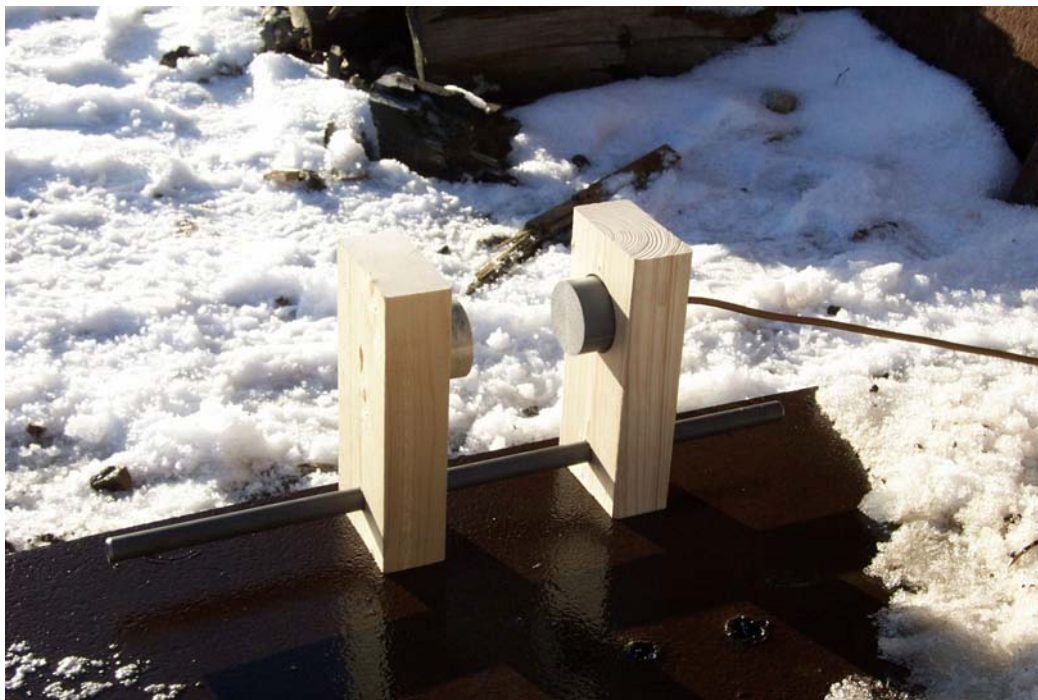
Tabell 10. Data på komponenter.

Sprängkapsel	Nonel UniDet 500
Sändarladdning	TNT , NST 11, Partinr 76027. Diameter 52,05 mm, höjd 51,28 mm. Massa 171,05g/kuts, densitet 1.57 g/cm ³ .
Mottagarladdning 1.	ADN/Al , (ADN partinr 20047037 / aluminiumpulver Carlfors A100). Diameter 51,00-51,15 mm, höjd 50,07-50,62 mm. Massa 203,5- 209,30 g/kuts, densitet 1,987-2,042 g/cm ³ .
Mottagarladdning 2.	Hexotonal (HBX 3) , (hexotol NSK 96 partinummer 20012083/ aluminiumpulver Carlfors A100. Diameter 51,00-51,15 mm, höjd 50,24-50-38 mm. Massa 190,35-192,92 g/kuts, densitet 1,844-1,868 g/cm ³ .
Pentylstubin	M/47, Parti nr B-52103. 1,0 m/skott.
Vittnesplatta	Aluminium, SIS 4338-6. 50·50·2 mm.
Träklossar	Bredd 95· Höjd 200· Djup 45 mm. Där hålen är storleksmässigt avpassade för laddningarna, stubin och sprängkapsel.
Stålplåt	Plan stålplåt tjocklek 30 mm där försöket gjordes på.

Jämfört med metodbeskrivningen i [3] finns några smärre avvikelser. Sprängkapseln är av säkerhetsskäl en Noneltändare i stället för en elektrisk VA-sprängkapsel. Styrkan är dock densamma varför denna avvikelse är försumbar. Laddningsdiametern är något större än den föreskrivna, vilket inte heller är ett problem så länge efterföljande provning som skall referera till den genomförda provningen görs med samma laddningsdiameter. Anledningen till den valda större diametern är på grund av den kritiska diametern på ADN/Al, som är större än den föreslagna diametern i metodbeskrivningen.



Figur 22. Skiss av försöksupställningen där alla delar namnges



Figur 23. Försöksupställningen för gap-test

Resultat

Som referens till ADN/Al har Hexotonal (HBX 3) provskjutits enligt samma metod. Provningsen utfördes enligt up-and-down metoden. Inledningsvis (de första 4 skotten) användes intervallhalvering för att snabbt lokalisera rätt avståndsområde. Därefter sköts 4-5 skott med avståndssteglängd 2-5 mm. På detta sätt erhöles k blandad nivå, d v s ett avstånd mellan laddningarna där både detonation och icke detonation förekommer. Då de statistiska metoderna som normalt används vid utvärdering av provningen (i.e. bestämning av avståndet för 50 % sannolikhet att detonationen överförs till mottagarladdningen) enligt up-and-down principen, t ex ML-14 koden [4], kräver minst två blandade nivåer kan dessa ej utnyttjas här. I stället måste resultatet anges som ett intervall inom vilket avståndet som motsvarar 50 % sannolikhet för detonation det testade ämnet befinner sig.

Tabell 11. Resultat av gaptest på ADN/Al och Hexotonal (HBX 3)

Ämne	Intervall avstånd för övertändning
ADN/Al	100-110 mm
Hexotonal	21-23 mm

Tabell 12. Resultat av gaptest på ADN/Al i Up-and-Down form.

Avstånd [mm]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Summa antal	
										+	-
200		-								0	1
150										0	0
140										0	0
130										0	0
120			-							0	1
110					-		-			0	2
105						+		-		1	1
100				+					+	2	0
90										0	0
80	+									1	0

Tabell 13. Resultat av gaptest på Hexotonal (HBX 3) i Up-and-Down form.

Avstånd [mm]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Summa antal	
											+	-
80	-										0	1
40		-									0	1
30				-							0	1
25					-						0	1
24							-				0	1
23								-			0	1
22						+			-		1	1
21										+	1	0
20			+								1	0

Den kritiska diametern för Hexotonal(HBX3) har ej gått att finna, däremot finns en uppgift i LLNL Explosive Handbook [6] om pressad Hexotonal (HBX1) som skall ha kritisk diameter 6,35 mm. Skillnaden på HBX1 och HBX3 är sammansättningen mellan TNT (trotyl) ,RDX (hexogen) och aluminium. Jämfört med Hexotonal har ADN/Al en betydligt större kritisk diameter. Däremot är ADN/Al betydligt känsligare mot initiering över luftspalt, detta fenomen har vi för närvarande ingen förklaring till. Ett sätt att minska känsligheten kan vara att blanda i ett par procent vax eller plast i blandningen.

4 IM provning

Avsikt

Studien avsåg att prova ADN/Al egenskaper som IM sprängämne med HBX 3 (hexotonal) som referens. Testerna Fast Cook Off-, Slow Cook Off-, och Bullet Impact Test har utförts.

Im provning enligt försvarsstandard:

- FSD 0240 Brandprovning av explosivämnen för lågkänslig ammunition i modellskala [7].
- FSD 0241 Beskjutningsprov mot explosivämnen för lågkänslig ammunition i modellskala, 12,7mm pansarprojektil [8].
- FSD 0243 Långsam uppvärmning av explosivämnen för lågkänslig ammunition i modellskala, 3,3 °C/h [9].
- FSD 0244 Modellprovning, hylsa för provsprängämne, avsedd för användning vid modellprovning av explosivämnen till lågkänslig ammunition (modellskala 3 liter) [10].

Kompositionerna som har genomgått testerna är ADN/al och HBX3(hexotonal). Laddningarna var gjutna och bearbetade för att passa i provbehållarna.

Testresultaten har klassificerats enligt nedanstående:

1. Mycket stor splitter- eller tryckverkan(Detonation typ I)
2. Stor splitter- eller tryckverkan.(Partiell detonation typ II)
3. Viss splitter- eller tryckverkan. (Explosion typ III)
4. Ringa splitter- eller tryckverkan. (Deflagration IV)
5. Ingen splitter- eller tryckverkan. (Brand V)

4.1 Brandprovning enligt FSD 0240 (Fast Cook Off)

Testet går ut på att ett explosivämne inneslutet i hylsa enligt FSD 0244, upphettas i standardbål tills explosion inträffar. Temperatur, tid och tryck mäts och registreras. Hylsans utseende efter explosion dokumenteras.



Figur 24. Provbehållare på bål

Kompositionerna som är testade är ADN/Al och HBX 3(hexotonal).

Tabell 14. Laddningsvikter på brandprov

Laddningsnr.	Explsivämne	Totalvikt	Explsivämnes vikt	Densitet explosivämne.
Nr 3.	HBX3(hexotonal)	15 363g	5217g	1,85 g/cm ³
Nr 4.	ADN/Al	15 819g	5658,8g	2,01 g/cm ³

Resultat

Proven utfördes på FOI Grindsjön, vid skjutplats S41 den 29 Juni 2005.

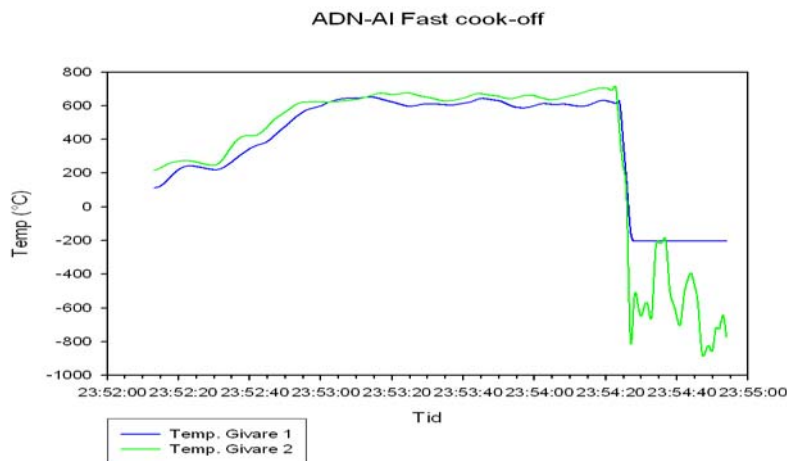
Tabell 15. Resultat brandprov

Laddnin gsnr.	Explsivämne	Reaktionstyp	Tryck- registrering	Tid till reaktion
Nr 3.	HBX3	4/5. Ringa/Ingen splitter-, eller tryckverkan.	Ingen registrering	3 min 5 sek
Nr 4.	ADN/Al	1. Mycket stor splitter- eller tryckverkan.*)	Givare1. 0,5095 Mpa Givare 2. 0,4519 Mpa	2 min 14 sek

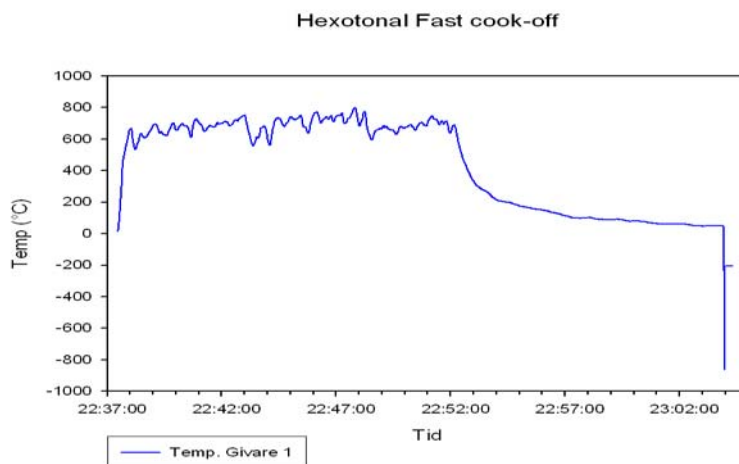
*)Endast ett fåtal splitter upphittade.



Figur 25. Rester av provbehållare samt explosivämne från skott nr.3 HBX 3



Figur 26. Temperatur/tidkurva brandprov ADN/Al.



Figur 27. Temperatur/tidkurva brandprov Hexotonal (Tidpunkten vid reaktionen går ej att se i diagrammet p.g.a. av att båda temperaturgivarna fungerade efter reaktionen, där kurvan faller tar bränslet slut).

4.2 Beskjutningsprov enligt FSD 0242(Bullet Impact)

Testet går ut på att ett explosivämne inneslutet i hylsa enligt FSD 0244, beskjuts med 12,7 mm pansarprojektil med 815 m/s. Projektilhastighet och tryck mäts och registreras. Hylsans utseende efter träff dokumenteras.



Figur 28. Uppställning Beskjutningsprov 12,7 mm pansarprojektil

Tabell 16. Laddningsvikter beskjutningsprov

Laddningsnr.	Explosivämne	Totalvikt	Explosivämnes vikt	Densitet explosivämne.
Nr 1.	HBX3(hexotonal)	15 315g	5274g	1,83 g/cm ³
Nr 2.	ADN/Al	15 819g	5693g	2,01 g/cm ³

Resultat

Proven utfördes på FOI Grindsjön, vid skjutplats S41 den 6 Juni 2005.

Tabell 17. Resultat beskjutningsprov

Laddnings nr.	Explosivämne	Reaktionstyp	Tryck-registrering	Projektil-hastighet
Nr 3.	HBX3	4-5. Viss/ringa splitter-, eller tryckverkan. (mindre än en fjärdedel av expl. konsumerat)	Ingen märbar registrering	888,5 m/s *)
Nr 4.	ADN/Al	1. Mycket stor splitter- eller tryckverkan.	0,494 Mpa	878,0 m/s *)

*) Hastigheterna är något högre än den specificerade projektilhastigheten för testet. Standardammunition har använts och längden på pipan var 45" mot 33" som var angivet för testet. Längden på pipan avgör vilken hastighet projektilen får.



Figur 29. Provbehållare med HBX 3 efter beskjutningsprov.



Figur 30. Provbehållare med ADN/Al efter Beskjutningsprov.

4.3 Långsam uppvärmning av explosivämne för lågkänslig ammunition i modellskala FSD 0243(Slow Cook Off)

Testet går ut på att ett explosivämne inneslutet i hylsa enligt FSD 0244, upphettas med en jämn hastighet av 3,3 °C tills explosion inträffar eller 300°C uppnåts (varvid provet avbryts). Temperatur och tryck skall mätas och registreras.

Vissa avsteg från standarden har gjorts i detta test. På grund av att testet tar lång tid att utföra(1-3 dygn) och riskområdet i lufrummet endast kunde spärras av dagtid fick försöket flyttas till ett tunnelsystem. Tunnelsystemet kunde hållas avspärrat i flera dygn och övervakning kunde ske med tv-övervakning. Dock fanns en maximalt tillåten explosivämnescikt på 300g explosivämne i detta utrymme. Därför har provbehållaren konstruerats om så explosivämnescikten ej översteg denna mängd.

Provbehållaren har tillverkats av rostfritt stålrör med rostfria ändflänsar(godstjocklek 15mm), rostfria pinnbultar och muttrar(se Figur 31).

Ingen tryckmätning har skett eftersom tunnelsystemet ger svårtolkade mätvärden och kostnaden för tryckgivare är stor eftersom de räknas som förbrukningsvara.

Temperaturmätningen sker med två oberoende temperaturgivare, varav den ena mäter temperaturen på provbehållaren och den andra mäter temperaturen 20 mm ner i explosivämnet. Temperaturen snabbstegrades upp 10-45 °C på 1 h och därefter höjdes temperaturen med 3,3 °C/h, detta för att korta ner försökstiden med ca 12 h.

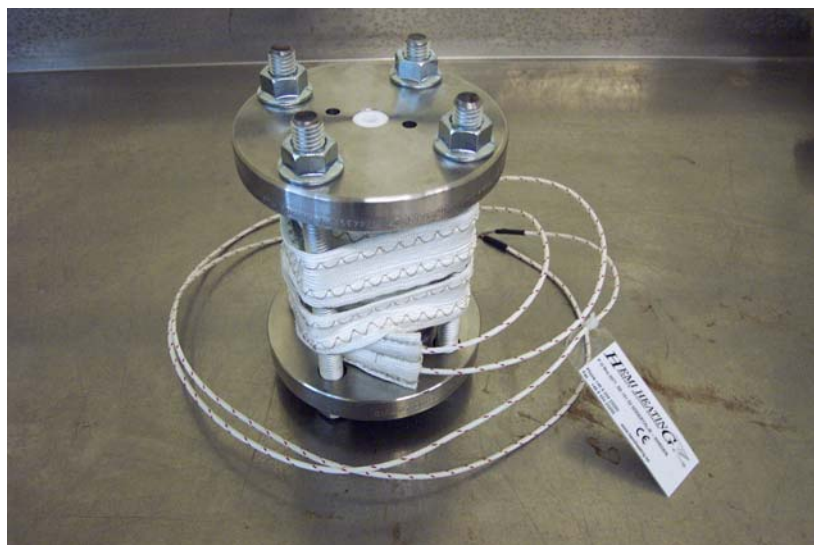


Bild 31. Rostfri provbehållare med värmemantel till test "slow cook off".

Tabell 18. Laddningsvikter långsam upphettning(slow cook off)

Laddningsnr.	Explosivämne	Explosivämnes vikt	Densitet explosivämne.
Nr 1.	HBX3(hexotonal)	217,22 g	1,88 g/cm ³
Nr 2.	ADN/Al	232,67 g	2,01 g/cm ³

Resultat

Proven utfördes på FOI Grindsjön, i tunnel T1 den 29 Augusti och 1 September 2005.

Tabell 19. Resultat på långsam upphettning(slow cook off)

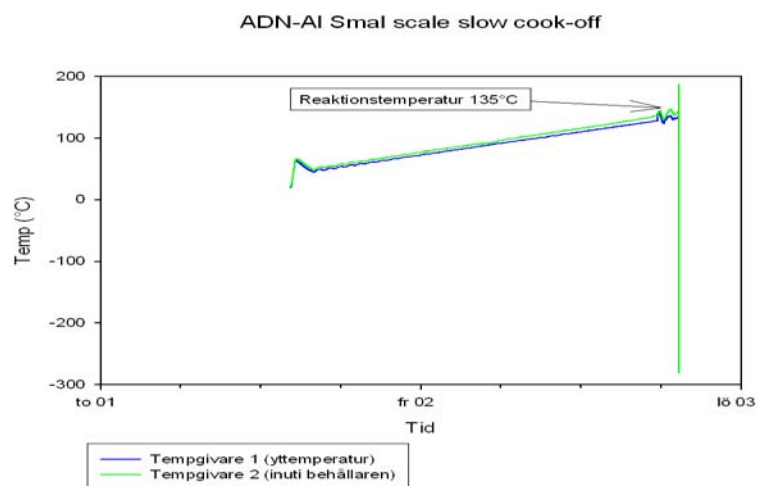
Laddnings nr.	Explosivämne	Reaktionstyp	Temperatur vid reaktion
Nr 3.	HBX3	4-5. Viss/Ingen splitter- eller tryckverkan	168 °C
Nr 4.	ADN/Al	3-4 Viss/ringa splitter- eller tryckverkan	135 °C



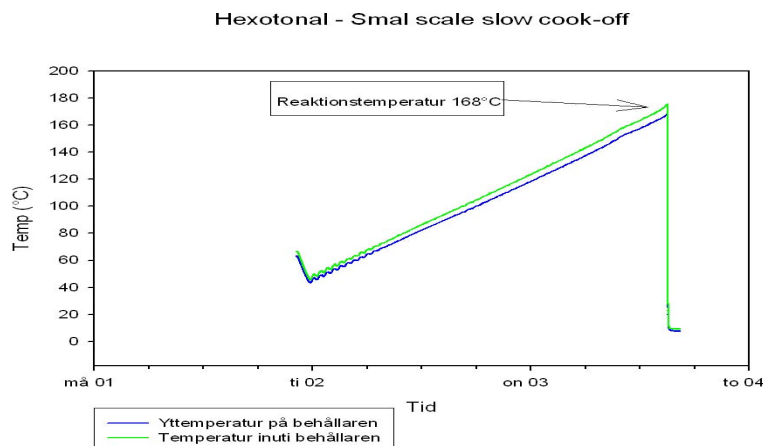
Figur 32. Resultat provbehållare ADN/Al



Figur 33. Resultat provbehållare Hexotonal.



Figur 34. Temperatur/tidkurva långsam uppvärmning ADN/Al.



Figur 35. Temperatur/tidkurva långsam uppvärmning Hexotonal.

5 Diskussion

Stabilitet- och åldringsegenskaper

ADN/Al som har värmebehandlats under 1 år visar en svag tendens till att bli känsligare. Fallhammarprovat visar en något ökad känslighet, men skillnaden är så liten så variationer i storleken på kristallerna kan ge större skillnader än vad de olika testerna gav. Friktionstestet visade också en viss ökning men känsligheten är knappt mätbar. ADN/Al är känsligt för stöt men inte för friktion.

Nitrat bildas som en sönderfallsprodukt när ADN sönderfaller. Vid test på värmebehandlad ADN/Al visar resultaten en svag ökning av nitrathalten i proven. Ökningen av nitrathalten är dock låg och bör ej påverka prestandan på ADN/Al.

Kompatibilitetstester av ADN/Al visar att rostfritt stål är den bästa metallen att använda i konstruktioner för gjutverksamhet och teflon fungerar bra till bussningar och packningar. Aluminium fungerar också bra för konstruktionsändamål, men då skall så ren aluminium som möjligt användas. De flesta aluminiumsorter är legeringar och dessa kan innehålla små mängder av andra metaller som ADN ej är kompatibla med.

Inga mätningar av ADN/Al och interaktion med fukt och syre är genomförda. Dessa mätningar skulle visa hur känsligt blandningen är för sådana miljöbetingelser.

Initieringstester

Resultaten av kilförsöket visar att ADN/Al($\rho=1,81\text{g/cm}^3$) har en kritisk diameter på 30-40 mm och detonationshastigheten var 4550 m/s. Dessa resultat stämmer överens med tidigare tester gjorda på motsvarande kompositioner.

Gaptest på ADN/Al har utförts och som referens har även en serie med HBX3(hexotonal) provskjutits. ADN/Al är betydligt känsligare mot initiering över luftspalt än HBX3.

IM tester

Brandprovning(Fast cook off) visade att reaktionen på ADN/Al blev detonation(Typ 1) och på HBX3 deflagration/brand (Typ IV/V)

Beskjutningsprov(Bullet impact) visade att reaktionen på ADN/Al blev detonation(Typ 1) och på HBX3 deflagration/brand (Typ IV/V)

Långsam upphettning(Slow cook off) visade att reaktionen på ADN/Al blev explosion/deflagration (typ III/ IV) och på HBX3 brand (typ V)

Sammanfattning

Denna studie visar att känsligheten på ADN/Al är det området som måste vidareutvecklas. Förslag på områden där fortsatt arbete bör ske på:

- Inblandning av t.ex. Polymerer, vax eller annat flegmatiseringsämne kan vara ett sätt att sänka känsligheten på ADN/Al. Referenssprängämnet HBX3 är t.ex. flegmatiserat med vax för att sänka känsligheten. Småskaliga tester på ADN/Al med vaxinblandning har visat en viss sänkning av känsligheten men skillnaderna är små. Ytterligare forskning inom detta område bör ske.
- Ett sätt att minska risken med stridsdelar innehållande ADN/Al, kan vara att konstruera någon sorts tryckavlastning på den färdiga stridsdelen. Denna tryckavlastning kan konstrueras så skalet på laddningen går sönder vid yttre påverkan som tex. beskjutning eller brand, vilket förhoppningsvis resulterar till att stridsdelen endast deflagrerar eller sakta brinner upp.

6 Referenser

- [1] Transportation of Dangerous Goods: Manual of Tests and Criteria, United Nations Publications, New York 1995.
- [2] Suceska, M., "Test Methods for Explosives", Springer Verlag New York, Inc., 1995.
- [3] Bilaga 3 till Försvarsstandard, FSD 0214, FMV 1992.
- [4] Johansson, H., "ML14-program för skattning av parametrar i en normalfördelning samt bestämning av konfidensnivåer", FOA Rapport C 20748-2.3, 1989.
- [5] Edvinsson, H. Hahma, A. "Kritiska parametrar för ADN", FOA Rapport 00-2472/S, 2000.
- [6] B.M. Dobratz., P. C. Crawford. , "LLNL Explosives Handbook, Properties of chemical explosives and explosive simulants", UCRL--52997-chg.2, 1985.
- [7] FSD 0240, Brandprovning av explosivämnen för lågkänslig ammunition i modellskala, FMV 1993.
- [8] FSD 0241, Beskjutningsprov mot explosivämnen för lågkänslig ammunition i modellskala 12,7 mm pansarprojektil, FMV 1993.
- [9] FSD 0243, Långsam uppvärmning av explosivämnen för lågkänslig ammunition i modellskala 3,3 °C/h.
- [10] FSD 0244, Modellprovning, Hylsa för provsprängämne för lågkänslig ammunition, FMV 1993.