

Svensk militär explosivämnesutveckling i modern tid – från Nobel till kvävekluster

Del I: intill ca 1980

Inträdesanförande i Kungl Krigsvetenskapsakademiens avd IV den 4 maj 1999 av forskningschef Bo Janzon (uppdaterat till nuläget)

Explosivämnen eller – med modernare terminologi – energetiska material utgör energikällan i så gott som alla militära vapensystem, såväl för att möjliggöra stridsdelars funktion som i de flesta fall för framdrivning och utskjutning.

Explosivämnena kan indelas i klasser på flera olika sätt, t ex

- *Sprängämnen*
 - tändämnen
 - sekundärsprängämnen

Sprängämnen fungerar genom detonation, som åstadkommer extremt kraftiga tryckvågor med mycket hög hastighet och extremt höga temperaturer. Reaktionsförloppen kan oftast mätas i nano- till mikrosekunder och trycken kan uppgå till 10-50 GPa.

- *Krut*
 - eldrörskrut
 - raketkrut

Eldrörskrut är normalt uppdelade i mindre delar som blad, rör, sfärer eller mer komplicerade former i syfte att kunna

åstadkomma en hög och konstant förbränningshastighet. Raketkrut, oftast kompositkrut, gjuts normalt till rätt form, ibland på plats i en raketmotor, och ger ett homogent material. I eldrör är tiden för krutets energiutveckling av storleksordningen en millisekunder och trycken typiskt 100-500 MPa, i raketor blir brinntiden upp till flera minuter och trycken kan kanske vara upp till 1 MPa. Förbränningshastigheten för krut är starkt beroende av trycket som laddningen exponeras för.

Utöver dessa finns också pyrotekniska satsar som kan ha liknande egenskaper som krut, men som är avsedda att åstadkomma speciella effekter som fördröjning, knall, ljus eller rök.

Inom det internationella militär- och vapentekniska området har det länge funnits en tendens att betrakta både sprängämnen och krut som mogna tekniker, som något som man kan köpa över disk och något som ofta kommer i sista hand när man utvecklar t ex ett robotsystem. Efter hundratals års forskning och utveckling och upprepade utsagor från betydelsefulla personer om att förbättringspotentialen är starkt begränsad,

Explosivämne, ämne eller blandning av ämnen som vid tillförsel av viss mängd energi (aktiveringsenergi) exploderar, dvs ger en snabb kemisk reaktion med stark värmeutveckling, tryckökning och ljudeffekt. Källa: Nationalencyklopedin.

Energetiskt material, innefattar utöver explosivämnena också material som i blandning med annat ämne, även luft, ger upphov till effekter motsvarande explosivämnenas. Def: FOI

Sprängämne: Med sprängämne menas idag i tekniskt fackspråk ett explosivämne som kräver relativt hög energi och effekt för initiering till detonation, vilket är dess avsedda arbetssätt. Källa: Nationalencyklopedin. Begreppet **sekundärsprängämne** är ungefär synonymt med denna definition.

Tändämne, tidigare även initialsprängämne och primärsprängämne, explosivämne till tändmedel. Tändämnen kan bestå av organiska föreningar. Källa: Nationalencyklopedin. Tändämnen kan initieras till detonation direkt med värme eller stöt.

Detonation, detona'tio, av lat. de'tono 'dundra'), snabb kemisk omsättning i explosivämne, t ex ett sprängämne, kännetecknad av en reaktionszon som utbreder sig med en högre hastighet än ljudhastigheten i ämnet. Källa: Nationalencyklopedin.

av storleksordning kanske 10 procent relativt de bästa nu förekommande ämnena, kan en sådan inställning kanske ha visst fog. Här kommer jag att försöka påvisa att de sista 20 årens utveckling har medfört

att detta inte längre är sant, att stor eller mycket stor utvecklingspotential finns, och att mycket stora prestandahöjningar hos vapen kan ske om teknikens möjligheter kan användas rätt.

Framställningen här kommer främst att beröra sprängämnena, med några utblickar mot krut. I princip kommer endast nya ämnen och grundläggande kompositioner att nämnas.

När i det följande ordet ”verkan” används avses explosivämnets arbetsförmåga till en expansion av 2,2 gånger ursprungsvolymen. Denna är representativ för förmågan att accelerera metall i t ex RSV-stridsdelar¹ eller att verka genom påläggspladdning, genom stötvåg i fasta material eller under vatten. Prestandasiffrorna har beräknats vid FOI med det termokemiska programmet Cheetah 2.0,² utvecklat av Lawrence Livermore National Lab i USA.

Äldre historia

Brand- och explosivämnena har använts för militärt bruk i tusen år och mer. Svartkrutet, bestående av olika andelar av kol, svavel och salpeter, var troligen känt i Kina omkring vår tideräknings början men användes mest för fyrverkerier m m innan sannolikt K'ung Ming³ på 400-talet e Kr utnyttjade möjligheten att använda det i bomber, raketvapen och för att skapa brand i större skala.

1 RSV = Riktad Sprängverkan, används i pansarvärnsstridsdelar (pansarspränggranat)

2 Fried, L E, m fl: “Cheetah 2.0 Users Manual”, UCRL-MA-117541 Rev. 5, Lawrence Livermore National Laboratory, Ca, USA 1998.

3 Partington J R: *A history of greek fire and gunpowder*. W Heffer & Sons Ltd., Cambridge 1960.

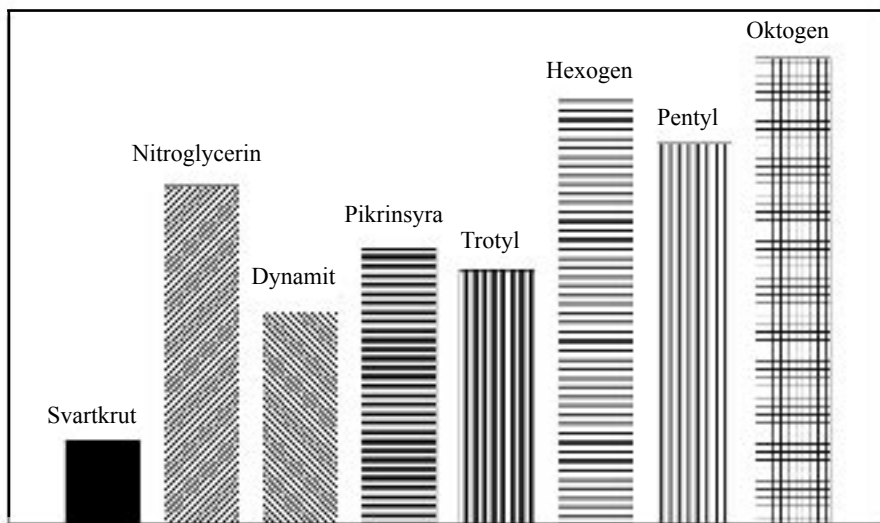


Fig 1. Relativ "verkan" för vanliga explosivämnen

Ett mycket tidigt energetiskt material var den "grekiska elden",⁴ även benämnd "nafta",⁵ som var en av de bäst bevarade hemligheterna bakom det bysantinska (östromerska) imperiets överlevnad i över 1100 år, ända tills Konstantinopel föll år 1453. Hemligheten gick sannolikt i arv från kejsare till kejsare och är fortfarande välbevarad, men man tror att beståndsdelarna kan ha varit svavel, osläckt kalk och petroleum eller beck som värmdes i ett kärl och sprutades mot fienden, och som troligen också självantände vid kontakt med vatten. Den första dokumenterade användningen var mot den arabiska beläg-

ringen av Konstantinopel 674-77.

I Europa omnämns svartkrut första gången på 1200-talet av filosofen, fysikern och franciskanmunken Roger Bacon⁶ och av den tyske franciskanmunken Berthold Schwarz, som dock levde nära 100 år senare än Bacon. Möjligen var det eldrösvapnet/kanonen som Berthold uppfann! Den första dokumenterade användningen av artilleri var i slaget vid Crécy 1346.

Från 1400-talets början och i nära 500 år framåt kom svartkrutet att dominera vapentechnologin. Krutet användes också för att ladda explosiva projektiler, som sköts ut ur kanoner och haubitser med en brin-

4 <http://www.nationmaster.com/encyclopedia/Greek-fire>

5 Guttman O: *Die Industrie der Explosivstoffe*. Friedrich Bieweg u. Sohn, Braunschweig 1895.

6 <http://www.newadvent.org/cathen/>

nande lunta, och sedan på grund den starka fördämningen av kulans gjutjärnshölje gav en våldsamt explosion med tryckverkan och viss verkan av de ganska stora splitter som skapades av höljet. Under Napoleonkrigen lärde man sig också att göra tidtändror, till en början bestående av en krutsträng i en kon av bokträ.⁷ Strängen sågades av till rätt längd och därmed fördröjning, hamrades fast i granaten och tändes sedan av de förbiläckande krutgaserna vid utskjutningen.

Krut kunde också användas vid fältarbeten och för annan sprängning om det inneslöts väl. Energin i svartkrut är ungefär hälften av moderna sprängämnen.

Explosivämnen i Sverige före 1900

Explosivämnenas historia i Sverige under 1800-talet är framför allt förknippad med familjen Nobel. Nitroglycerin (NG) uppfanns redan 1846 (se nedan), och Immanuel Nobel (Alfreds fader) uppfann efter fler års arbete år 1862 en enkel och effektiv metod för industriell tillverkning av detta ämne.

1863 flyttade också Alfred Nobel till Sverige och började arbeta i faderns laboratorium på Stora Heleneborg på Södermalm i Stockholm. Redan 1864 fick han patent på en sprängkapsel, och 1867 (efter det att han flyttat till Tyskland) på dynamit, som bestod av nitroglycerin uppsuget i det porösa mineralet kiselgur. Härigenom

lades grunden för en ny epok inom bergsprängning, väg- och vattenbyggnad och gruvdrift, där man nu på ett mycket säkrare sätt kunde använda sprängämne, med mycket högre prestanda än det tidigare bergkrutet. 1875 kom Nobel med en annan uppfinning av stor betydelse för berg- och byggnadsindustrin, nämligen spränggelatin (gummidynamit), bestående av en gel av nitroglycerin och nitrocellulosa. Detta kom i olika blandningar att bilda basen för den moderna dynamiten.

Nobel uppfann också tändhattar och sprängkapslar baserade på knallkviksilver. Dessa, kombinerade med den industriella tillverkningsprocessen för NG och metoderna att tillverka dynamit och spränggelatin, gjorde att det nu fanns ett mycket säkrare sätt att genomföra sprängningar.

Samtidigt som Nobel arbetade svenskarerna Ohlsson och Norrbin med att framställa sprängämnen baserade på ammoniumnitrat. Deras arbete kom att bilda grunden till de så kallade säkerhetssprängämnen, dvs sprängämnen som var än mer hanterings-säkra än dynamit. Ett exempel är nitrolit⁸ (som består av pulverformigt ammoniumnitrat blandat med bl a trotyl och nitroglycerin).

1887 fick Nobel patent på ballistit (NCGL-krut, röksvagt krut, baserat på nitrocellulosa och nitroglycerin), som fortfarande under beteckningen dubbelbaskrut

7 <http://riv.co.nz/rnza/hist/gun/fuzes.htm>

8 Arméns Brevskola; *Spräng och minjänst, brev 1 – 9*. Arméns Brevskola, Stockholm 1944.

är mycket använt i drivladdningar för de flesta mellan- och grovkalibriga eldrörsvapen. Ballistiten kunde också användas i raketer. Eftersom det nya krutet var mycket energirikare än svartkrutet kunde mynningshastigheterna höjas. Den optiska vapensignaturen i form av mynningsflamma och rök minskade också kraftigt.

1893 köpte Alfred Nobel AB Bofors-Gullspång, inredde en bostad åt sig på Björkborns herrgård och tog initiativet till grundandet av AB Bofors Nobelkrut, med huvuduppgift att tillverka ballistit, och som blev ett bolag 1898. Tyvärr hade dock Alfred Nobel avlidit redan i december 1896.

Utvecklingen internationellt fram till VK 1 Nitrocellulosa (NC, cellulosanitrat(-ester), bomullskrut)⁹ upptäcktes omkring 1840. Utöver dess användbarhet som krut (singelbaskrut) är den också ett kraftfullt sprängämne. Den blev snabbt mycket populär, bl a i pressad form som laddning i torpeder och minor, men ett stort antal svåra olyckor i olika fabriker som tillverkade materialet utgjorde ett anmärkningsvärt problem. Olyckorna visade sig främst bero på att nitriersyror inte tvättades bort i tillräcklig hög grad, vilket ledde till instabilitet, sönderdelning och självantändning. Än i dag måste alla NC-krut förses med en stabilisator för att vara lagringssäkra. Stabilisatorn konsumeras med tiden, och

när den är slut finns det risk för självantändning av krutet.

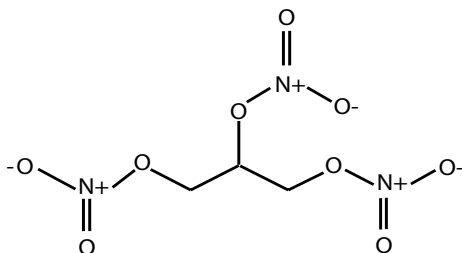


Fig 2. Nitroglycerin (på platser i strukturen där beteckning saknas finns kolatomer!

Nitroglycerin (NG, 1,2,3-Tris-nitro-oxopropan) uppfanns/upptäcktes 1846 av den italienske kemisten Sobrero. Nitroglycerin är ett mycket kraftigt, flytande sprängämne, men det lider av att vara mycket stötkänsligt. Det kom till betydande användning för bergsprängning m m, bl a vid de stora järnvägsbyggena i USA, men riskerna var stora och olyckorna många. Tillverkningsen skedde oftast lokalt i mindre mängder och kvaliteten på materialet och riskerna varierade starkt.

Nobels tändhattar och sprängkapslar fick omedelbart stor betydelse också för militära ändamål. Dynamiten och dess efterföljare fick givetvis också bred användning, eftersom man nu hade helt nya möjligheter att bygga fortifikatoriska

9 Ek, S: *Kemi. Explosivämneskemi*, Krigshögskolan, FOA, Stockholm 1953.

anläggningar i berg och att utföra snabba fältarbeten. Dessa sprängämnen är dock alltför känsliga för yttre påverkan för att kunna användas i ammunition till vapen med dess krav på hanteringssäkerhet och tålighet för miljöpåverkningar. Dessutom är deras detonationshastigheter och -tryck (brisans¹⁰) relativt låga, vilket är en fördel vid bergsprängning eftersom bergmaterialet blir mindre krossat.

Pikrinsyra¹¹ (2,4,6-trinitrofenol, i Storbri-

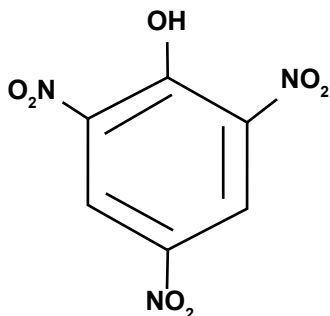


Fig 3. Pikrinsyra

tannien ”Lyddite”, i Frankrike ”Melinite”). Pikrinsyran omnämndes första gången redan i Glaubers alkemiska publikationer år 1742, och kunde framställas från färgämnet indigo. 1830 kunde man bestämma dess sammansättning och syntesen kunde ske utgående från fenol. Inte förrän långt senare tänkte någon på att pikrinsyra

skulle kunna användas som explosivämne, och man trodde då att enbart dess salter, pikraterna, var explosiva. 1873 påvisades att pikrinsyra kunde detonera och till 1894 hade den ryska krigsmakten tagit fram en metod att fylla granater med pikrinsyra. Pikrinsyran vann mycket snabbt ankläng som det främsta militära sprängämnet, och vid sekelskiftet användes det i spränggranater av de flesta militära makter.

Man fann dock snart att pikrinsyra i närvaro av fukt mycket lätt bildade salter med olika metaller, bl a järn och koppar. Dessa pikrater är mycket känsliga – många är lika känsliga som tändämnen – och bidrog till att göra ammunitionen oanvändbar och farlig att hantera efter lagring ute i fält eller i andra olämpliga miljöer. Redan i början av 1900-talet började man därför avveckla pikrinsyran som militärt sprängämne, men ännu in på 1950-talet förekom den. Under första världskriget hände ändå många stora olyckor med pikrinsyrebelastad ammunition.

Den största explosionsolyckan skedde i hamnen i Halifax, Nova Scotia år 1917, då ett fartyg, ”Mont Blanc”, lastat med ammunition innehållande 2700 ton pikrinsyra, trotyl och nitrocellulosa tog eld efter en kollision med ett annat fartyg och exploderade efter mindre än 20 minuter med resultat att 1635 personer dödades, många

10 brisans: (kraftig) sönderslående verkan hos sprängämne etc. Källa: Nationalencyklopedin. Kommer från franska ”briser” – spräcka. Begreppet brisans är knutet till brisanstest som infördes tidigt. Det enklaste är att detonera en sprängämnescylinder, initierad i övre änden, ställd på en stålplatta, och sedan mäta djupet på intrycket.

11 <http://www.nationmaster.com/encyclopedia/Lyddite>

fler skadades, och staden Halifax jämnades med marken intill ett avstånd av upp till 2,5 km från fartyget. Detta var den största explosion som människan åstadkommit före kärnvapnets tid.

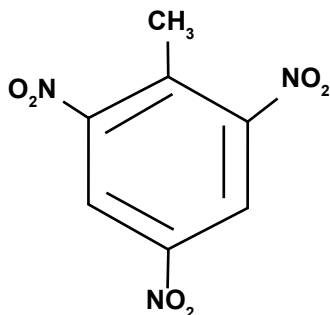


Fig 4. Trotyl

Trotyl (trinitrotoluen, TNT) framställdes första gången 1863 av en tysk kemist, Willbrand. Trotylen var mycket svår att detonera och innehöll mindre energi än nitroglycerinet och ämnet fann därför initialt obetydlig användning. Bland trotylens fördelar är dess stora kemiska stabilitet och dess okänslighet för yttre påverkan som slag eller rivning. Den har en relativt låg smältpunkt, 81 C, och kan lätt smältas under kontrollerade former med hjälp av vatten eller ånga och sedan gjutas i granater.

Den tyska krigsmakten införde trotyl 1902, och i Storbritannien började den införas 1907. Vid tiden för första världskriget hade den tyska marinens pansarbrytande projektiler trotylfyllning, vilket gjorde att

de kunde ges fördröjd brisad och detonera inuti fartyget, medan britternas, som var fyllda med pikrinsyra oftast chockinitierades och detonerade vid anslaget.

Under första världskriget kunde behovet av trotyl långt ifrån tillgodoses och det blandades därför ofta med ammoniumnitrat (AN) till sprängämnet amatol, som hade nära samma energi som trotyl, men var fukt känsligt genom AN:s hygroskopicitet.

Vid denna tid kom också sprängämnena tetryl (tetranitrometylanilin) och hexyl (hexanitrodifenylamin) till användning, bl a i tändrör och detonatorer.

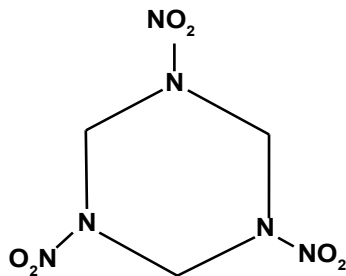


Fig 5. Hexogen

Hexogen (RDX, 1,3,5-trinitro-1,3,5-triazin, även benämnt Cyclonite. RDX torde betyda "Research Department Explosive", och namnet tillkom i Waltham Abbey, Storbritannien) hade upptäckts redan på 1890-talet av tysken Henning, men man ansåg det initialt primärt bara vara ett möjligt läkemedel och insåg inte att det

var ett sprängämne förrän på 1920-talet. Det kom inte till större användning förrän strax före det andra världskriget.

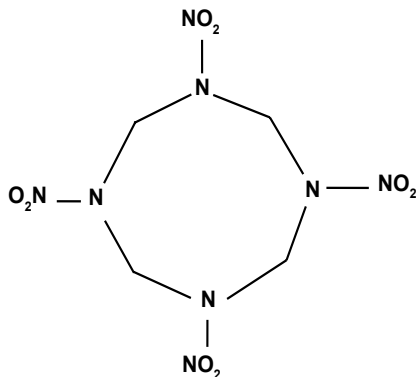


Fig 6. Oktogen

Oktogen (HMX, 1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocin. HMX torde betyda "High Molecular Weight Explosive" eller möjligen "High Melting Explosive") upptäcktes omkring 1930 och uppstår bl a som en förorening vid tillverkning av hexogen, där den sk Bachmanprocessen ger 8-10 % oktogen.

1889 uppfann britterna Abel och Dewar trippelbaskrutet, (Cordite, baserat på nitrocellulosa, nitroglycerin och nitroguanidin), som förbättrade möjligheterna att anpassa krutet till behoven. Trippelbaskrut har fördelar främst i grovkalibriga vapen, bl a för att de ger möjlighet till lägre förbränningstemperaturer och därigenom kan ge lägre eldrörsförslitning än dubbelbaskrut.

Krav på militära explosivämnen

Följande krav kan uppställas på ett militärt explosivämne:¹²

- låg känslighet mot mekanisk påverkan, hanterbarhet, säkerhet vid eldrörsutskjutning och anslag mot målet
- hög kemisk och termisk stabilitet
 - förenlighet med i vapen förekommande material
 - lång lagringsbarhet, ofta 30 år eller mer
- tillverkningsbarhet
 - möjlighet att gjuta, pressa, isostatpressa eller extrudera ämnena
 - möjlighet att formulera explosivämnen i en blandning/matrix av inert (t ex plast) eller energetiskt ämne, alternativt att kunna använda ett ämne som energetisk matrix.
- hög arbetsförmåga, bl a
 - högt energiinnehåll
 - hög densitet
 - för krut:
 - * hög force (dvs förmåga att accelerera projektilen)
 - * ej för hög tryckexponent
 - * begränsad förbränningstemperatur
 - * låg densitet hos krutgaserna
 - för sprängämnen:
 - * hög brisans (d v s förmåga att slå sönder ett intilliggande material).

12 Bl a Lamnevik S, 1987: Militär sprängämnesutveckling. i: Sprängämnens verkansegenskaper. Nordisk konferens, 21-22 maj 1987, Björkborn. Sektionen för detonik och förbränning/SveDeFo

Brisansen ökar med ökad densitet och detonationshastighet.

* hög densitet

* hög detonationshastighet

- särskilt för fältarbetsprängämnen gäller:
 - formbarhet
 - vidhäftning
 - tillräckligt hög brisans för att kunna användas som friliggande laddning
 - tålighet och lagringsbarhet som ovan.

Tidig utveckling i Sverige

En stor del av den militära explosiv-ämnesforskningen och -utvecklingen i Sverige fram till andra världskriget ägde rum inom explosivämnesindustrin, och främst inom AB Bofors Nobelkrut, även om andra företag som Nitroglycerinaktiebolaget och Åkers Krutbruk (Åkb) också har lämnat viktiga bidrag. Mycket av utvecklingsarbetet har gällt tillverknings- och bearbetningsprocesser, i syfte att nå högre säkerhet, jämnare kvalitet och bättre ekonomi.

Kring sekelskiftet 1900 var mycket av Nobelkruts verksamhet¹³ inriktat på att förbättra dubbelbaskruten, bl a för att minska eldrörsförslitningen. Man gjorde också försök med dubbelbaskrut i 6,5 mm mausegeväret m/96, men lyckades inte sälja konceptet till försvaret. Patronerna förblev laddade med singelbaskrut (nitrocellulosakrut) tillverkat av det statsägda

Åkers Krutbruk, som redan 1901 inlett denna tillverkning, som baserades på kontakter med ett danskt krutbruk.

Efterhand som efterfrågan på brisansgranater (sprängämnesfyllda granater) ökade i början på seklet intresserade sig Nobelkrut för sprängämnen. Försök med pikrinsyra inleddes 1903, men var inte framgångsrika, bl a råkade man ut för en eldrörsbrisad vid skjutning med en 15 cm-pjäs på Marma, och från Europa kom snart information om olika problem och risker, främst förorsakade av bildningen av högkänsliga pikrater, som gjorde att man sökte nya lösningar. Nobelkrut tecknade därför 1908 ett avtal med det tyska företaget Carbonit AG om inköp av trotyl från Tyskland, samtidigt som man fick rätt att använda företagets processer för att gjuta och pressa laddningar i spränggranater.

En viktig förutsättning för god säkerhet och funktion hos granater är tillgång på bra tändrör. Baserat på Nobels uppfinningar hade Nobelkrut arbetat mycket med att ta fram tändrör, och 1909 kunde man för första gången leverera komplett ammunition, innefattande drivladdning och granater med tändrör.

När det första världskriget närmade sig kunde trotyl inte längre köpas utifrån, och i samarbete med det tyska företaget byggdes en trotylfabrik upp i Björkborn. Fabriken för dubbelbaskrut byggdes också ut, och båda var uppe i hög kapacitet 1915 (700-800 kg trotyl och 1000-1500 kg krut per dygn) men förslog inte för att täcka

13 Fransson, S A: *Det började med Nobelkrut*, Probus, Stockholm 1998.

det svenska försvarets behov. Först efter diskussion med myndigheterna lyckades man dock undvika att en statlig ammunitionsfabrik byggdes upp nära Skillingaryd, och ett avtal om utbyggnad av kapaciteten i Björkborn träffades med regeringen 1917.

Efter kriget ägnade sig många utländska explosivämnesindustrier åt att ta fram progressiva NC-krut, bl a baserade på idéer som redan Alfred Nobel hade haft. Nobelkrut träffade 1921 ett avtal med Köln-Rottweil AG om teknologiöverföring. Det progressiva krutet blev snart en stor internationell vara.

I mitten av 1930-talet påbörjade Nobelkrut tillverkning av hexogen, till en början för användning i detonatorer. Under trettioåret arbetade man också mycket med att utveckla tillverkningsprocesserna för trotyl, där man ville gå från batchtillverkning till kontinuerliga processer. För nitroglycerin, som tidigare levererats från Nitroglycerinaktiebolaget i Gyttopp, inledde man 1937 uppförandet av en fabrik för kontinuerlig tillverkning i Björkborn, baserad på en process från Österrike.

Ca 1935 - 1970

Internationellt

Under det andra världskriget fick hexogen stor betydelse och användes i många sammanhang och i blandningar med

andra sprängämnen, bl a i Cyclotol, som är hexotol (hexogen/trotyl) 50/50,¹⁴ som komponent i sprängdeg (Composition C-4) och tillsammans med trotyl och finfördelat aluminium i sprängämnen för verkan under vatten eller efter inträngning, särskilt i stora laddningar av tex hexotonal (HBX, ”High Blast Explosive”, TORPEX). Hexogenet kom också till användning i högenergetiska och snabb-brinnande krut.

Också oktogen, som var ett kraftigare sprängämne än de tidigare existerande började utnyttjas under andra världskriget. Efter detta har det kommit till stor användning både i högpresterande stridsdelar som RSV och som komponent i högenergetiska krut.

Kompositkrut, som huvudsakligen bestod av finmalt ammoniumperklorat (AP) med en harts eller elastomer som bindämne och bränsle, togs fram första gången 1940 för användning i sk JATO-flaskor, dvs raketer som anbringades på flygplan för att förkorta startsträckan.¹⁵ Kompositkruten har sedan kommit att dominera de flesta raketillämpningar, och de blev en viktig förutsättning för utvecklingen av robottekniken.

Tetryl och hexyl hade använts i viss omfattning redan under första världskriget. Pentyl (pentaerytrittrinitrat, PETN) är ett mycket kraftigt men känsligt sprängämne, och under andra världskriget kom det att

14 Normal komposition för hexotol är annars 60/40.

15 Fedoroff B T (senare Kaye S M) m fl (ed.), 1978-1983: *Encyclopedia of Explosives*, PATR 2700, vol 1-10, Picatinny Arsenal, Dover, N J, USA, s H 155

användas bl a i blandning med trotyl i det gjutna sprängämnet ”Pentolite”, i RSV och förstöringsladdningar.

Försvarsväsendets Kemiska Anstalt, 1937-45

Försvarsväsendets Kemiska Anstalt (FKA) grundades 1937 och laboratorier byggdes upp på försvarets område vid Stora Ursvik. Utöver C-stridsmedel som var en huvuduppgift för FKA började man också arbeta med explosivämnen i mindre skala. När andra världskriget utbröt kom detta arbete att utökas kraftigt, och 1941 påbörjades uppbyggnaden av ett särskilt explosivämnslaboratorium i Ursvik. Man kände då till att man utomlands arbetade mycket med högprensterande sprängämnen, för användning i ammunition som sjunkbomber, torpeder, flygbomber och i stridsdelar för riktad sprängverkan, som blivit kända i Sverige omkring 1940-41.¹⁶ De tyska vapnen ”Panzerfaust” och ”Panzerschreck” kom till fältmässig användning under 1943.

Eftersom man bedömde att pentyl skulle vara lättare att framställa inom Sverige än hexogen, bl a eftersom Nobelkrut redan 1928 startat produktion av detta ämne, valde man detta för tillämpning både för

gjutbara, högbrisanta sprängämnen¹⁷ och plastiska sprängämnen.¹⁸ Omfattande studier av pentylbaserade sprängämnen kom att ske vid FKA och senare också vid FOA. Mindre mängder syntetiserades vid FKA, medan Åkers Krutbruk (Åkb) stod för tillverkning av större erforderliga satsar.

Gjutbara sprängämnen

En blandning av hexogen och trotyl (hexotol, eller ”bonit”, med upp till RDX/TNT 55/45 %) hade redan före kriget provats i Sverige, och detta sprängämne (blandning 50/50) användes också bl a i den tyska ”Panzerfaust”. Motsvarande blandning av pentyl och trotyl (pentolit, med pentyl/TNT 60/40) användes i England och USA, och ansågs vara ett av krigets kraftigaste sprängämnen.

Eftersom tillgången på trotyl var begränsad under kriget sökte man efter ersättningsprängämnen, där ofta ammoniumnitrat var en väsentlig komponent. Blandningar där pentyl också ingick studerades också.

FKA studerade också sprängämnen med aluminiumblandning, bl a ett som i Tyskland benämndes ”Trialén”, och man bedömde att detta ingick bl a i stridsdelen till ”robotbomberna” av typ V 1. Man föreslog att detta sprängämne i Sverige

16 (Detta ledde också till att det Militärfysiska Institutet (MFI) grundades år 1941 vid Grindsjön på Södertörn för att arbeta med tillämpningarna av explosivämnen, både i RSV och raketer. Också MFI kom att ingå när FOA bildades 1945)

17 Ek S, 1945: *Preliminär rapport över gjutbara, högbrisanta sprängämnen*. Försvarsväsendets Kemiska Anstalt. Dnr H 820/8370, 16 april 1945 (hemlig, avhemligad 1996)

18 Ek S, 1946: *Preliminär rapport rörande plastiska sprängämnen*. Försvarsväsendets Kemiska Anstalt. Dnr H 1223/8370, 30 juni 1945 (hemlig, avhemligad 1996)

skulle benämnas ”Pentral”. Den blandning som studerades var främst PETN/TNT/Al 40/45/15. Ett kärnproblem var att aluminiumpulvret reagerade med vatten. FKA tog senare fram en metod att ytbehandla aluminiumet som löste detta.

Några av de slutsatser man drog beträffande både pentolit och hexotol var:

- sprängämnenas är lätt gjutbara vid 80–90° C
- detonationshastigheten är omkring 8000 m/s
- densiteter på 1700–1800 kg/m³ erhålls och man trodde sig kunna nå ännu högre
- sprängämnenas kan initieras direkt med en sprängkapsel nr 8
- de är fullt vattenbeständiga
- lagringsbeständigheten är fullt tillfredsställande
- ingen fara för korrosion av metalldelar föreligger

Med andra ord gjordes alltså bedömningen att båda blandningarna var lämpliga för användning i stridsdelar. Pressad, flegmatiserad pentyl kom till användning bl a i konladdningar m/46 – 1,5 och 3 kg – samt i pansarladdning m/44. Pentylen kom dock snart att ersättas av hexotol i konladdningar m/46B.

Plastiska sprängämnen

För vanliga sprängarbeten användes inom försvaret oftast nitrolit (se ovan), som var säkert och kunde framställas inom landet. FKA tog fram en metod för att spränga broar med sådant sprängämne, genom att

utnyttja fördämning i vatten eller mark under bron och låta de uppkastade massorna förstöra den. Dock behövdes det ofta kraftigare sprängämnen för förstöringsarbeten där man behövde använda yttre laddningar, påläggsaddningar.

För dessa undersöktes främst vidhäftande blandningar av pentyl och olika vätskor, innehållande mellan 10–50 % av bl a

- 1 vatten
- 2 etylenglykol
- 3 skifferolja
- 4 mättad ammoniumnitratlösning
- 5 lösning av ammoniumnitrat i vatten och etylenglykol med cellulfix
- 6 nitroglycerin
- 7 triolja (d v s en flytande blandning av TNT och DNT, dinitrotoluen)

De tre första vätskorna är inerta, nr 4 och 5 är oxidatorer, och de två sista är sprängämnen i sig själva.

Man valde av dessa blandningar den oljebaserade, och några av slutsatserna för blandningen blev att:

- sprängämnet är vattensäkert
- konsistensen är god, även vid -20° C
- vidhäftningsförmågan är god
- sprängämnet är behagligt att handskas med, är inte giftigt, luktar eller smakar inte illa och färgar inte av sig
- detonationshastigheten är hög, ca 8000 m/s
- det kan initieras direkt med en sprängkapsel nr 8
- plasticeringsmedlet olja verkar samtidigt flegmatiserande

- sprängämnet är lagringståligt
- sprängämnet är inte korroderande.

Detta plastiska sprängämne blev prototypen till sprängdeg m/46, som fortfarande finns i utbrett bruk inom försvarsmakten, och som har visat sig mycket säkert, stabilt och användbart.

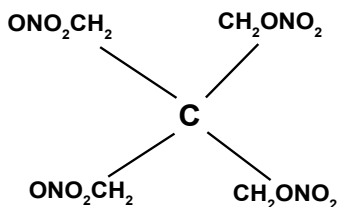


Fig 7. Pentyl

Utöver detta kom pentylen också till användning i detonerande stubin, pentylstubin m/47, som innehåller 10 g pulverformig pentyl per meter, och som fått bred användning för samtidig initiering av laddningar, för mineringar m m.

FOA

Efter andra världskriget bildades FOA¹⁹ där FKA kom att ingå.

Sprängämnen

FOA kom att fortsätta studierna av aluminiserade sprängämnen. Sprängämnens stabilitet och sätt att mäta denna arbetade

man också mycket med under 40- och 50-talet. Utredningar av tillbud och olyckor krävde ofta medverkan.

Blyazid (även blydiazid, $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$), som ofta förekom i tändanordningar, visade sig bli a med koppar, som fanns i mässing, kunna bilda kopparazid, som var synnerligen lättinitierad och förorsakade många olyckor, t ex när tändrör skruvades ur, och utgjorde också en risk för loppbrisader. Mässingen var viktig för tändrörskonstruktionerna eftersom den var lätt att bearbeta till de komplicerade former som krävdes. Ett stort arbete genomfördes med att studera kopparazid och dess egenskaper. Till slut skapade FOA ett skydd mot bildningen av denna, men arbetet fortsatte ändå många år framåt.

De stridsdelar och sprängämnen som var aktuella för sjömålsrobotar hade inte tillräckliga prestanda, ens med aluminiumtillsatser. FOA tog då fram en ny typ av sjömålsstridsdel som kom att lösa problemet, och som har utnyttjats i flera robotsystem.

I anslutning till det svenska kärnvapenprogrammet gjordes mycket omfattande experimentella studier inom detonik vid FOA Grindsjön, bl a gällande initiering och precisionsladdningar. Verksamheten där hade sin grund i det där 1941 bildade Militär fysiska Institutet (MFI), som också hade gått upp i FOA. Också riktad spräng-

¹⁹ Ek S, 1995, i Littke A-K, Sundström, O (red): *Försvarets Forskningsanstalt 1945-1995*, s 49-54, FOA, Stockholm 1995.

verkan och raketer var viktiga delar av forskningen vid MFI.

Den mer kemiskt inriktade forskningen med rötter i FKA och den mer fysikaliska från MFI kom tyvärr att fortsätta att drivas som organisatoriskt och geografiskt separerade verksamheter ända till 1994 då författaren hade förmånen att få bilda FOA:s nya avdelning för Vapen och skydd, då forskningen sammanfördes och samlades till Grindsjön.

Eldrörskrut

I början av 1950-talet inledde FOA ett betydande arbete för att bestämma stabilitetsegenskaperna hos olika typer av krut. Detta arbete ledde bl a till förbättring av de stabiliseringsmedier som tillsattes till krutet, och metoder för att mäta stabilitetstillståndet togs också fram. Man upptäckte också vid utskjutningsförsök att förslitningen i eldröret minskade kraftigt om man till krutet hade tillsatt ett flamdämpande ämne, kaliumkryolit, vilket innehöll aluminium. Detta ledde till vidare studier där man provade olika ämnen, och också anbringade dessa på en duk som omslöt laddningen. Det visade sig att man med rätt sammansättning kunde eliminera eldrörsslitningen i artilleripjäser nästan helt. Denna tillsats som bl a innehöll titandioxid gavs internationellt namnet ”Swedish Additive” och blev en betydande internationell succé.

Raketkrut

Krut av samma typ som eldrörskrut kan också användas i raketer. Raketkrut av denna typ hade studerats både vid FKA

och MFI. Dock var dessa krut inte lätta att gjuta till de former man behövde och hade också för låg energi. Ett samarbete mellan FOA och Åkers Krutbruk inleddes 1948 (se nedan) och ledde till att man 1952 gemensamt började utveckla nya typer av gjutbara raketkrut – kompositkrut - baserade på ammoniumperklorat och gjutbar härdplast, som då just började komma ut på marknaden.

Den nya tekniken gav möjlighet att med relativt enkel utrustning tillverka raketladdningar av mycket varierande form och storlek och anpassade prestanda. Denna forskning fortsatte sedan på Grindsjön under flera decennier, och har kommit till tillämpning i många av de svenska robot-systemen. Främst har krut baserade på ammoniumperklorat studerats, men också på kaliumperklorat och ammoniumnitrat. Förbränningshastigheten kan ökas om oxidatorn mals till ökad finhet. Tillsatser av t ex järnoxid kan användas för att kontrollera förbränningen, och aluminiumpulver kan öka energiinnehållet. Aluminium, bor och borföreningar (bl a boraner), som tillhör de mest energirika grundämnena vid förbränning, och endast överträffas av beryllium och väte, kan också användas för att öka energinnehållet. Bor studerades redan på 1950-talet efter signaler från USA, kom inte till praktisk användning, men används t ex i nitratform i bl a tändare och pyroteknik.

Man strävade efter höga halter av perklorat i kruten, helst ända upp till 85 %. Redan vid 65 % inblandning fann man i början att krutmassan blev alltför trög för att kunna

gjutas. Efter en stor forskningsinsats inom reologi²⁰ kunde FOA lösa detta genom att en del av perkloratet maldes till extrem finhet, och att en blandning av ett flertal olika storleksfraktioner användes, med tillsats av vätskeämnen för att öka krutets flytbarhet.

I mitten av 1950-talet påbörjades en övergång till hylsbundna krutladdningar, som ställde helt nya krav på elasticitets- och hållfasthetsegenskaper. Krutet måste också kunna binda till den hylsa i vilken de gjutits.

Efter hand kom nya polymerer på marknaden, bl a viskoelastiska material, och t ex hydroxylterminerad polybutadien (ett syntetiskt gummi) visade sig vara synnerligen lämpligt i kruttillämpningarna.

FOA:s kompetens inom kompositkrut var i världsklass redan mot 1970-talets slut.

Resultaten beträffande raketkrut har tillämpats i bl a rb 04, rb 27 och 28 (Falcon), i Strix-systemet och i flygvapnets katapultstolar. Tyvärr har sedan dess inga raketmotorer med kompositkrut utvecklats eller tillverkats i Sverige.

En intressant tillämpning visade sig vara i basflödesaggregat ("base-bleed"), som inte är en egentlig raket utan en gasgenerator som anbringas vid basen på en rotationsstabiliserad artillerigranat, och som släpper ut lagom mycket gas för att nästan

eliminera undertrycket bakom granaten. Härigenom kommer endast spetsmotståndet att bli kvar och granatens skottvidd kan ökas med upp till 40 %, med bibehållen eller förbättrad absolut precision. Granater av denna typ togs fram för Marinens nya 12-cm-artilleri ("ERSTA, KARIN"). Basflöde har med tiden blivit en stor, världsomspännande succé, och slagit ut de flesta andra lösningar för att öka skottvidden, t ex reatilen (en raketillsatsförsedd projektil). Det tog emellertid mer än 20 år innan tillämpningen slagit igenom.

Redan på 1970-talet studerades användning av speciella fasta krut som bränslen i sk duct- eller rammraketer (även benämnda "SOFRAM" eller Solid Fuel Ramjet). Sådant krut har överskott på bränsle, som förbränns med luftens syre i motorn. Med en SOFRAM-lösning är det möjligt att fördubbla eller t o m tredubbla skottvidden hos konventionellt artilleri,²¹ med bibehållna goda spridningsvärden. Detta möjliggör användning av en relativt enkel slutfasstyrning för att träffa målet, och innebär också korta bantider jämfört med den sk "fly out"-lösning för långräckviddigt artilleri som valts av bl a USA.

Ytterligare en intressant tillämpning av FOI:s krutkompetens är höghastighetsraketer, som är avsedda att ha mycket kort brinntid – en eller några tiondels sekunder

20 Reologi: vetenskapen om vätskors och fasta materials tidsberoende deformationsegenskaper. Källa: Nationalencyklopedin

21 Andersson K, 1998: *Different means to reach long range, ≥ 65 km, for future 155 mm artillery systems. Possibilities and limitations*. Proceedings, 17th Int. Symp on Ballistics, Midrand, Sydafrika, mars 1998. ISBN 0-620-22077-5

– och att ha dragkraft stor nog att accelerera upp en projektil/robot från låg hastighet till 2000 m/s eller mer. I denna tillämpning blir, på grund av de höga accelerationer som motorn utsätts för, krutets hållfasthet och brännkammarens utformning synnerligen kritiska. Vidare är stabiliteten i förbränning och dragkraftsvektor också väsentliga. Vid FOI Grindsjön finns bl a en dynamisk mättrigg med två frihetsgrader avsedd för försök med denna typ av raketer.

Åkers Krutbruk

1945 påbörjades vid Åkb ett viktigt pionjärarbete inom raketkrut. De enda krut som då fanns att tillgå i Sverige var då dubbelbaskrut av NCGL-typ. Man utgick från uppgifter om ett tyskt raketkrut –”Perpulver”– som bestod av oxidationsmedlet ammoniumperklorat och hade en termoplast som bränsle, t ex polyvinylacetat. Detta krut hade bättre prestanda och egenskaperna kunde varieras lättare än för de tidigare typerna, men materialen kunde enbart strängpressas och blev spröda vid minusgrader. De blev också ojämna i kvaliteten och avgav kraftig rök. Gemensamt med FOA togs dock fungerande laddningar fram, avsedda att kunna lyfta stridsvagnsbroar över raviner, men ett samarbetsprojekt mellan FOA, Åkb och Kungl Flygförvaltningen avseende en 70 mm jaktraket misslyckades på grund av krutets dåliga hållfasthetsegenskaper.

Åkb hade större framgång med en annan blandning, med rötter i USA, som innehöll kaliumperklorat och asfalt/olja. Denna blandning kunde gjutas, och kom

bl a till användning i sjömålsroboten rb 04 i en drivladdning med en brinntid på över en minut.

Nobelkrut / AB Bofors

Den stora olyckan i hos Nobelkrut i Björkborn den 17 december 1940 medförde ett hektiskt arbete, bl a med att förbättra processernas säkerhet och effektivitet och att konstruera en ny fabrik med ökad utspridning på området för att förhindra att spridning av brand eller explosion skulle kunna ske mellan byggnaderna. Återuppbyggnaden, i dessa starkt ändrade former, inleddes redan i januari, genomfördes på extremt kort tid och trots den enormt stränga vintern 1940-41, och redan i september 1941 var man åter uppe i full tillverkningsstakt, både på krut, sprängämnen och komplett ammunition.

Efter andra världskriget låg den europeiska kemiindustrin till stor del i ruiner, och Boforskoncernen beslöt att genomföra en omfattande satsning på civilkemi, baserat på de goda kunskaper man hade om framför allt nitrerings- och oxidationsprocesser. Ett betydande antal produkter inom läkemedel, mellanprodukter för sådana, färgämnen och finkemikalier skapades. Efter några år minskades de ursprungliga ambitionerna på civilsidan, men bl a plaster tillkom som ett produktområde.

En ny fabrik för hexogen hade byggts i slutet av 1940-talet, och produktion av hexotol och hexotonal påbörjades i större skala. Vid provskjutning med 40-mm hexotonalladdade granater råkade man ut för loppbrisader, som föranledde en betydande forskningsinsats vid Nobelkrut, som

kom att fortgå i tjugo år. Man fann snart att orsaken var att en bottenspalt (en spalt mellan granat och laddning vid dess bas) hade uppstått vid tillverkningen.

Vid den s k Grytanolyckan 1969²² inträffade en explosion i eldröret för en trotyll-laddad 15 cm sgr m/39-40. Olyckan gav två dödsoffer och visade sig ha orsakats av en bottenspalt. FMV införde omgående skjutförbud för sprängladdad grovkalibrig ammunition, som kom att vara i tolv år. Man tillsatte en särskild utredningsgrupp, den s k Spaltgruppen,²² som kom att verka 1970-77, och i vilken FMV, FOA, Bofors Nobelkrut och LIAB ingick. För dess räkning utfördes ett stort antal undersökningar och försök vid Bofors, FFV och FOA. Några åtgärder gruppen kom att föreslå var bl a ytbehandling (lackering) av innerytorna i granaten, kontrollerad avsvälning av laddningen efter gjutning och 100-procentig kvalitetskontroll med avseende på avsaknad av bottenspalt och andra kaviteter.

Nobelkrut utarbetade också en metod för att komma tillrätta med bottenspaltproblemet i både trotyll- och hexotolladdade granater, nämligen att blanda in hexanitrostilben (HNS, även benämnt 1,2-Bis-(2,4,6-Trinitrofenyl)-etylen). HNS är ett sprängämne med mycket hög smältpunkt. Inblandningen av HNS i smältan medförde att man kunde styra sprickbildningen i laddningen så att bara små, ofarliga sprickor uppstår i stället för ett fåtal större. Metoden kom att tillämpas både på den svenska anskaffningen av am-

muniton till 15,5 cm haub 77, där FMV av säkerhetsskäl valde trotyllladdning, och för den stora Indienordern, där man hade valt en laddning av hexotol.

Hexotol var också mycket intressant som sprängämne i högpresterande pansarvärnsstridsdelar av RSV-typ. Till en början nådde man bara upp till 50 % hexogenhalt, men genom att man tog fram en ny process för tillverkning, rening, omkristallisation och granulering av hexogen kunde man bättre styra form och storleksfördelning. I spär ljuspansarspränggranaten till 9 cm pvpjäs 1110 kunde man i början av 1960-talet för första gången använda den nya hexotolen 60/40. Vid arbetet med stridsdelen til pvr 53 (Bantam) utvecklades en ny sedimentationsgjutteknik, som gav 70 % hexogen i laddningen. En ny hexogenfabrik byggdes upp efter det att den förra förstörts genom en explosion 1977, och man utnyttjade nu en ny teknik för kristallisation som gjorde att hexotol med upp till 75 % hexogen kunde gjutas, samtidigt som laddningarna blev mer homogena.

Också oktogen tilldrog sig mycket intresse p g a dess höga prestanda, och redan i början av 1970-talet var Bofors och Nobelkrut redo att använda oktolen 70/30 i 9 cm slpsgr till ikv 91. Från 1984 inledde man också egen tillverkning av oktogen och sedan dess har oktolen och oktonal (HMX/TNT/Al) varit standard i all Bofors 40 och 57 mm ammunition ända tills nu. Oktolen har också använts i bl a rb 70/90 och rb 56 (Bill).

Nobelkruts forskningsavdelning har ge-

22 Almroth, Philip S: *Spaltgruppen. Slutrapport*, FMV A:A 761:3/82 1982.

nom åren också arbetat mycket med raketkrut av både dubbelbas- och komposittyp (se ovan under FKA). De har tillämpats i de flesta av Bofors framtagna eller tillverkade robotsystem.

Vidareutveckling av eldrörskrutens progressivitet och minskning av deras temperaturkänslighet har varit andra

viktiga uppgifter. I samband med att Nobelkruts nitroglycerinfabrik vid flera tillfällen förstörts genom explosioner har man successivt förbättrat processerna, även för tillverkningen av Ngl-krut, som lett till bättre arbetsmiljö, högre säkerhet och jämnare kvalitet. Del II kommer att publiceras i 6. häftet 2005

Summary

Swedish Modern Explosives Developments – from Nobel to Nitrogen Clusters

Inaugural Lecture Presented to the Military Technical Section of the Royal Swedish Academy of War Sciences on May 4th 1999 by Dr Bo Janzon, Research Manager, Swedish Defence Research Agency

At the end of the 19th century explosives technology was in strong development, not least because of the efforts of the great Swedish inventor and industrialist Alfred Nobel. Most high explosives in use to-day were discovered in that period and successively came into use, especially during the two World Wars.

The 20th century saw some strong technological developments, but at basic research level very little happened. Towards the end of that century FOA (as it was then called – later FOI), Sweden, and others, started questioning the established “truths” and found that they were no longer valid.

Since then, substances like CL-20 and NTO have been synthesized in the US, and ADN, FOX-7 and FOX-12 created at FOA/FOI (now the Swedish Defence

Research Agency), the latter having also performed extensive, theoretical and experimental, studies of exotic candidates for high ex-plosives and propellants, such as nitrogen clusters.

Today the situation might be compared to that prevail-ing over a century ago, and in the short and long perspectives there exist opportunities to develop explosives – HE and propellants – improving performance up to 2-10 times that of the best current materials.

It is no longer possible to purchase military explosives over the counter. Nations not prepared to invest in exploiting these possibilities of technology will risk falling behind, and their weapons and munitions may turn out to be of very inferior quality.