

po Owensu, koji kombiniranim načinom mjerenja određuje količinu i dimenzije čestica. U aparat se usisava određeni volumen zraka, pa prašina sedimentira na stakalce ili na vlažni filter-papir za odvagu. Tindaloskopom utvrđuje se broj čestica prašine na bazi disperzije svjetlosti. Zeissovim konimetrom utvrđuje se broj čestica na kubni centimetar pomoću posebne tehnike prebrojavanja pod mikroskopom. Aparat Aera vrlo je pogodan za utvrđivanje količine prašine u jamskom zraku. Sastoji se uglavnom od reduktora, ejektora sa Venturijevom cijevi, boce za komprimirani zrak, manometra, sekundometra, cjevčice za uzimanje uzorka i gumene cijevi kroz koju se usisava zrak u aparat. Pruža mogućnost utvrđivanja količine težinski, ali ne pruža mogućnost utvrđivanja dimenzija čestica.

Navedeno je već da je u pogledu mogućnosti nastanka eksplozije u jami opasna usjeda ugljena prašina. Zato je potrebno utvrditi koliko se ugljene prašine usjeda po jamskim prostorijama pri određenom načinu rada na radilištu i pri određenoj brzini vjetrove struje. To se utvrđuje na jednostavan način tako da se na strani izlazne vjetrove struje iza radilišta položi čist papir određene površine. Kroz jednu ili dvije produktivne smjene ugljena će se prašina usjedati, pa se količina odvagne. Da se dobije pravilan prosjek, potrebno je postavljati više ovakvih papira. Kako se ugljena prašina ne usjeda samo na tu već i na svim neravnim ploham, količina se prašine na papiru pomnoži najmanje sa 1,5.

LIT.: A. Zambelli, Tehnika sigurnosti u rudarstvu, I, Beograd 1950. — J. J. Forbes, G. W. Grove, Protection against mine gases, Washington, D. C. 1954. — F. Plasche, Wetterlehre und Brandbekämpfung im Bergbau, Leipzig 1955. — A. M. Терпугов, Горное дело, Энциклопедический справочник, т. 6, Москва 1959. — G. H. Fritzsche, Bergbaukunde, I, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1959. — G. Šebor, I. Hofbauer, Chemické způsoby předcházení a zdočlávání důlních požarů, Praha 1960. — B. Kozłowski, J. Sobola, Walka z pyłem węglowym w kopalniach węgla kamiennego, Katowice 1966.

A. Zambelli

EKSPLOZIVI, tehnički proizvodi sastavljeni isključivo ili pretežno od *eksplozivnih tvari*, tj. spojeva ili smjesa koje mogu kemijskom reakcijom vrlo brzo razviti velike količine energije u obliku topline i mehaničkog rada. U eksplozivnim tvarima se kemijska reakcija, započeta (potaknuta, *inicirana*) na jednom mjestu, vrlo brzo rasprostire po cijeloj masi, pri čemu nastaju plinovi pod visokim pritiskom u tako kratko vrijeme da nastaje eksplozija. (Za definiciju eksplozije v. str. 520.) Reakcija koja dovodi do eksplozije može se inicirati zagrijavanjem, udarom, trenjem ili drugim lokalnim utjecajima na eksplozivnu tvar. Eksplozivne tvari mogu biti jedinstveni kemijski spojevi (individuumi), npr. trinitrotoluen, glicerilnitrat, olovo-azid, ili smjese, kao crni barut, praskavi plin. (O eksploziji plinskih smjesa i disperzija v. i članak *Eksplozije u rudnicima*.) Reakcija koja dovodi do eksplozije jedinstvenog eksplozivnog spoja jest raspad njegove molekule na termodinamički stabilnije tvari, po pravilu plinovite (molekule organske eksplozivne tvari raspadaju se, u idealnom slučaju, na CO₂, H₂O i N₂); pri eksploziji eksplozivnih smjesa posrijedi je reakcija među sastojcima smjese, po pravilu oksidacija jednih sastojaka smjese drugima. Eksplozivi, kao tehnički produkti, mogu sadržati, pored eksplozivne tvari ili sastojaka eksplozivne smjese, također sastojke koji im poboljšavaju djelovanje, olakšavaju preradu i/ili smanjuju osjetljivost (lakoću iniciranja) te time omogućavaju sigurno rukovanje njima. Prema brzini kojom se reakcija, nakon inicijacije, rasprostire po eksplozivnoj tvari u eksplozivu, razlikuju se *progresivni eksplozivi*, u kojima se reakcija širi sporije, i *brizantni eksplozivi*, koji se raspadaju odn. reagiraju u cijeloj masi praktički trenutno. Radi sigurnog rukovanja, eksplozivi po pravilu moraju biti slabo ili umjereno eksplozivni, tj. razmjerno neosjetljivi prema inicijaciji, ali proizvode se i eksplozivi koji su ne samo vrlo brizantni nego i vrlo eksplozivni, tj. osjetljivi na udar, trenje i povišenje temperature; to su tzv. inicijalni eksplozivi. Oni se bez velike opasnosti mogu preradivati samo u malim količinama.

Progresivni eksplozivi upotrebljavaju se danas najviše kao pogonsko gorivo kojim se stavljaju u kretanje projektili u cijevima vatrenog oružja (propulzivi, baruti) i za upalna sredstva za sve vrste eksploziva. Brizantni eksplozivi upotrebljavaju se poglavito za miniranje u rudarstvu, građevinarstvu, kamenolomima itd. i kao razorno punjenje projektila, mina, bombi, torpeda itd. Inicijalni eksplozivi, kao što im ime kaže, upotrebljavaju se u ma-

lim količinama da se izazove inicijalni udar kojim se daje poticaj za raspad odn. reakciju unutar slabije eksplozivne tvari.

Ne zna se tačno kada je izraden i prvi put upotrijebljen eksploziv. Poznato je da su Bizantinci 673 pomoću tzv. grčke vatre uništili arapsku flotu koja je opsjedala Carigrad i da je grčka vatra stoljećima bila snažno oružje Bizantinaca. Tačan sastav te smjese nije poznat. Bizantinski pisci spominju upaljive strijele i grčku vatra za koju kažu da se sastoji od smole, voska, nafte i sumpora, ali salitru ne spominju, iako nema sumnje da je bila jedan od glavnih sastojaka grčke vatre. Pretpostavlja se da su salitru još ranije upotrebljavali Kinezi za izradu vatrometnih smjesa u kojima je bilo i sumpora i ugljena, tj. svih sastojaka crnog baruta. Te smjese Kinezi ne upotrebljavaju u ratne svrhe prije X st., kada su one poznate već i na zapadu. U arapskim vrelima ima podataka o eksplozivnim smjesama sličnim crnom barutu (npr. smjesi sumpora, salitre i ugljena od lipovine u odnosu 2 : 3 : 6). Koncem XIII st. već su poznate lakoupaljive eksplozivne smjese na osnovi salitre kojima su se zapaljivi predmeti mogli upaliti i poput raketa izbacivati na stanovitu udaljenost. Daljnja je primjena eksplozivnih smjesa u to vrijeme izbacivanje kugli i klipova iz željeznih cilindara pomoću plinova nastalih eksplozijom salitrene smjese. Prema starim rukopisima ovo oružje su prvi upotrebljavali Arapi. Francuzi u obrani Cambra 1339 već imaju 10 topova s metalnim cijevima iz kojih izbacuju ljevene metalne kugle.

Izum baruta neopravdano se pripisava kaluđeru Bertholdu Schwarzu (~1380 — ~1450), njemačkom alkemikaču koji je slučajno sastavio smjesu crnog baruta. Međutim, crni barut je u njegovo vrijeme već bio poznat u mnogim evropskim zemljama, proizvodio se u velikim količinama i upotrebljavao se za vatrena oružja. Od XIII do XIX st. crni barut je jedini poznati eksploziv. Metode proizvodnje se usavršavaju a razvika oružja i tehnike proširuje njegovu primjenu. Crni barut se ne troši samo za razorna punjenja bombi i mina, pogonska i razorna punjenja artiljerijske municije, pogonska punjenja pušane municije, već i u rudnicima, u izgradnji putova, tunela i kanala. Tek u drugoj polovini XIX st. crni barut se zamjenjuje nitrocelulozom i nitroglicerinskim barutom i novim brizantnim eksplozivima.

Već 1846 pronašao je F. Schönbein iz Basela eksplozivnu supstanciju koja je nastala djelovanjem dušične kiseline na pamuk. U isto vrijeme do istih rezultata došao je Otto Böttcher; potonji je ovu supstanciju nazvao praskavim pamukom. Kasnije je ustanovljeno da se praskavim pamukom, zbog njegove kemijske nestabilnosti i brzog izgaranja, ne može sasvim zamijeniti crni barut. Vieille je 1886 uspio praskavi pamuk otopiti u smjesi etera i alkohola i tako dobiti želatinoznu masu; time je smanjena brzina izgaranja praskavog pamuka, što je omogućilo njegovu primjenu u balističke svrhe; osim toga, usavršavanjem postupka za stabilizaciju otklonjena je opasnost od samozapaljenja. Srobrero je 1846 u Torinu prvi dobio glicerilnitrat (nitroglicerini) nitriranjem glicerina i upoznao njegove eksplozivne osobine, ali se glicerilnitrat u ono vrijeme nije mogao tehnički upotrijebiti zbog njegove velike osjetljivosti. Alfred Nobel prvi je uspio 1863 glicerilnitrat učiniti manje osjetljivim time što je njime natopio neaktivni anorganski materijal (diatomit, infuzorijsku zemlju). Nobel je tako dobio plastičnu i na udar manje osjetljivu eksplozivnu supstanciju koju je nazvao dinamitom. Ova je eksploziv mnogo trošio za rudarske i građevinske radove, ali je imao ozbiljnih nedostataka: na vlažnim mjestima izlučivao se iz dinamita glicerilnitrat a na temperaturi nižoj od 13 °C pretvarao se u čvrstu kristalnu masu koju je trebalo prije upotrebe zagrijavati. To je iziskivalo mnogo vremena, a događale su se i nesreće zbog detonacije izlučenog glicerilnitrata. Da bi uklonio te nedostatke, Nobel je glicerilnitrat vezao za celulozni nitrat (nitrocelulozu) s niskim postotkom dušika (kolodijev pamuk) i tako dobio tzv. praskavu želatinu, osnovu za izradu želatinskih dinamita koji su potpuno zamijenili diatomit. Od aromatičnih nitrospojeva otkriven je 1788 trinitrofenol (pikrinska kiselina) a 1863 trinitrotoluen (trinitrotoluel), ali tek 1886 Eugène Turpin u Parizu uspijeva pikrinsku kiselinu dovesti do detonacije pomoću inicijalnog eksploziva, praskave žive, koju je 1799 pripravio Howard. Praskava živa se već 1815 upotrebljava kao punjenje upaljivih kapšala. Pikrinskom kiselinom u lijevanom ili presovanom stanju pune se različite vrste municije; kasnije je djelomično zamijenjena trinitrotoluenom (tritolom), koji je od početka 1904 najvažniji vojni eksploziv. Pikrinska kiselina se, zbog izvanredne brizantnosti, zadržava, uz trinitrotoluen, za izradu razornih punjenja municije.

Eksplozivna istraživanja pod konac XIX i početkom XX st. omogućuju brzi razvika tehnike eksploziva i baruta. Na tom području najviše zasluga imaju Berthelot, Vieille, Dixon, Dautriche, Kost i Sopošnikov, jer su kvantitativno proučili karakter eksplozivnih pojava dajući definicije veličina bitnih za te pojave. Ovamo spadaju pokusi da se umjesto ili osim pikrinske kiseline i trinitrotoluen upotrijebe različiti drugi organski aromatski nitrospojevi (nitrirani benzen, ksilen, anilin, krezol, naftalin) kao osnovne tvari za izradu eksploziva. Međutim, u tome nisu postignuti naročiti uspjesi; tako dobiveni eksplozivi imaju raznolik primjenu za specijalne svrhe, osobito za sekundarna punjenja rasprsnih kapšala, i detonatora, zatim za prijenosna punjenja, te za izradu različitih eksplozivnih smjesa.

Vatrena oružja su se sve do pred kraj XIX st. punila crnim barutom, koji se od tada postepeno zamjenjuje različitim tipovima malodimnih nitrocelulozom i nitroglicerinskih baruta. Poslije prvoga i drugog svjetskog rata tehnika vatrenog oružja dostiže visoki stupanj razvika i savršenosti a uporedno se razvija i tehnika eksploziva i baruta. Velika brzina gadanja, velike početne brzine i daleki dometi — osobito brodskih i obalnih topova — tražili su, pored odličnog konstrukcijskog materijala, najsavršeniji barut kao pogonski materijal. Malodimni nitrocelulozni i osobito nitroglicerinski barut, te diglikolski i nitroguanidinski baruti različitih oblika, modela i masa odgovaraju danas svim zahtjevima moderne ratne tehnike.

SVOJSTVA I DJELOVANJE EKSPLOZIVA

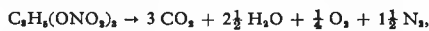
Prema naprijed rečenom, reakcija koja dovodi do eksplozije eksplozivne tvari (*eksplozivna reakcija*) mora se sama, bez daljeg djelovanja izvana, nastavljati kad je inicijacijom započela na jednom mjestu i mora davati (isključivo ili pretežno) plinovite produkte pod visokim pritiskom. Dakle, ona mora, pored toga što daje plinovite produkte, razvijati i toplinu, tj. ona mora biti egzotermna. Rad koji se može vršiti eksplozijom određene količine eksploziva zavisi od volumena plinova koji nastaju eksplozivnom reakcijom i od temperature na koju se oni razvitom toplinom zagrijavaju, prema jednadžbi: $W = p \Delta V = f(T)$, gdje je W rad, p pritisak, ΔV povećanje volumena pri reakciji (za tekuće i čvrste eksplozive praktički jednako volumenu razvitih plinova), T apsolutna temperatura. Temperatura T je to viša (a prema tome i rad W to veći) što je veća toplina razvita pri reakciji odre-

dene količine eksploziva i što je manja masa (i toplinski kapacitet) produkata te reakcije. Na toj se spoznaji osniva ocjenjivanje radne sposobnosti eksploziva s pomoću toplinskog učinka eksplozione reakcije (njezine reakcijske topline zvane i toplinom eksplozije) i bilanca kisika.

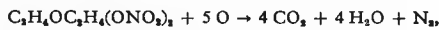
Toplina eksplozije nekog eksploziva je toplina koja se razvija ako jedinica težine tog eksploziva potpuno reagira prema jednadžbi eksplozione reakcije, uz pretpostavku da se eksploziv prije reakcije i produkti poslije reakcije nalaze pod standardnim okolnostima; mjeri se obično u kilokalorijama po kilogramu (kcal/kg). Toplina eksplozije može se metodama termokemije (na osnovu Hessova zakona) izračunati iz toplina stvaranja eksplozivne tvari (ili sastojaka eksplozivne smjese) i produkata reakcije, a eksperimentalno se određuje kalorimetrijski. Toplina eksplozije, kao mjera ukupne energije koja postaje raspoloživa za eksploziju, najvažnija je fizičko-kemijska karakteristika baruta (v. *Balistika*, TE 1, str. 679) i mjerodavna je za tzv. *fugasno djelovanje* brizantnih eksploziva, tj. za njihovo djelovanje na izvjesnoj udaljenosti od mjesta eksplozije (v. dalje).

Bilanca kisika je odnos količine kisika u određenoj količini eksploziva i količine kisika potrebne da se sav ugljik, vodik i drugi lakosagorljivi elementi u toj količini eksploziva oksidiraju na CO_2 , H_2O itd. Ako je taj odnos ispod 100%, kaže se da je bilanca kisika dotičnog eksploziva *negativna*, ako je iznad 100% da je *pozitivna*, ako je upravo 100%, da je *izjednačena*. Drugi način da se izrazi bilanca kisika jest da se navede koliku bi količinu kisika bilo potrebno dodati ili oduzeti određenoj količini eksplozivne tvari da bi joj se bilanca kisika izjednačila; to se izražava u gramima kisika po gramu eksploziva (g/g) ili u procentima.

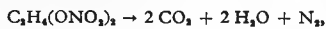
Npr. glicerilnitrat (nitroglicerol) ima, prema jednadžbi



pozitivnu bilancu kisika: 105,9% ili +0,035 g/g (odn. 3,5%). Dietilenglikol-dinitrat, prema jednadžbi



ima negativnu bilancu kisika 58,3% ili -0,408 g/g (odn. -40,8%). Glikol-dinitrat, koji se raspada prema jednadžbi



ima izjednačenu bilancu kisika 100% ili $\pm 0,000$ g/g (odn. 0,0%).

Eksploziv s negativnom bilancom kisika razvija pri raspadu odn. reakciji manje topline nego što bi je razvijao da mu je bilanca kisika izjednačena; kisik koji se nalazi u produktima reakcije eksploziva s pozitivnom bilancom kisika povećava masu produkata a da nije pridonio razvijanju topline.

Eksplozivne tvari koje ne sadrže ugljika, vodika ili drugih elemenata koji se prilikom eksplozije oksidiraju, kao npr. olovni azid $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$, nemaju bilance kisika.

Poželjno je da eksplozivi koji služe za miniranje, radi najboljeg iskorištenja i sigurnosti u primjeni, imaju što izjednačeniju bilancu kisika. Ako se osnivaju na eksplozivnoj tvari s negativnom bilancom kisika, one će stoga često sadržati i neki oksidans ili eksplozivnu tvar s pozitivnom bilancom kisika; ako im je glavni sastojak eksplozivna tvar s pozitivnom bilancom kisika, oni će sadržati tvari koje se mogu oksidirati uz potanak plinova (po pravilu organsku tvar koja oksidacijom daje CO_2 i H_2O). Rudarski eksplozivi moraju imati pozitivnu bilancu kisika da bi se sa sigurnošću isključila pojava otrovnog ugljik-monoksida u produktima reakcije. Drugi eksplozivi (i baruti) imaju obično negativnu bilancu kisika.

Deflagracija i detonacija. Razlika između progresivnih i brizantnih eksploziva uslovljena je načelnom razlikom među mehanizmima po kojima se eksplozivna reakcija rasprostire u eksplozivima jedne i druge vrste. Sporo rasprostiranje reakcije u progresivnim eksplozivima zbiva se mehanizmom deflagracije, gotovo trenutno rasprostiranje brizantnih eksploziva mehanizmom detonacije. *Deflagracija* je ubrzano gorenje plamenom; kad se eksploziv na jednom mjestu inicijacijom zapali, stvara se plameni front koji napreduje time što se susjedni slojevi plamenom zagriju i što u njih difundiraju aktivirane molekule i potaknu reakciju. Brzina rasprostiranja reakcije (napredovanja plamenog fronta) jednaka je po redu veličine brzini prenosa topline provođenjem i prenosa mase difuzijom i poput ovih uvelike zavisi od vanjskih okolnosti (pritiska, temperature itd.). Detonacija, pak, nastaje time što sa mjesta inicijacije polazi i kroz masu eksplozivne tvari prolazi udarni val pritiska; front tog vala tvori valni brijeg

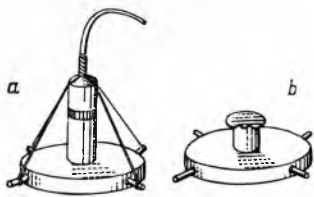
koji putujući nadzvučnom brzinom poput jakog udara djeluje na sloj ispred vala i time u njemu povisuje temperaturu na više hiljada stupnjeva. Uslijed toga nastane kemijska reakcija, čijim se produktima i razvitom reakcijskom toplinom pritisak povisi na ekstremne vrijednosti (reda veličine 10^5 at), te se time stvara novi brijeg udarnog vala. Za razliku od deflagracije, gdje se plinoviti produkti izgaranja kreću u smjeru protivnom smjeru napredovanja plamenog fronta, kod detonacije plinoviti produkti reakcije kreću se u istom smjeru kao i detonacioni val i tako mogu biti njegovi nosioci.

Razlika između rasprostiranja reakcije kroz eksplozivnu tvar deflagracijom i detonacijom mogla bi se uporediti s razlikom između širenja nekog mirisa i širenja zvuka kroz mirni zrak. U oba slučaja širenje koje predstavlja difuziju ili zavisi od nje neuporedivo je sporije od širenja koje predstavlja val pritiska ili od njega zavisi. Brzina širenja plamenog fronta deflagracije reda je veličine 10^{-4} – 10^1 m/s a širina zone reakcije se mjeri u milimetrima, brzina širenja detonacije reda je veličine 10^3 m/s a širina zone reakcije po pravilu ne prelazi 10^{-4} mm. Brzina širenja deflagracije jako je zavisna od temperature i pritiska; brzina detonacijskog vala (*detonaciona brzina*), za datu eksplozivnu tvar, praktički ne zavisi od vanjskih okolnosti, a zavisna je od gustoće punjenja, jakosti inicijalnog paljenja eksplozivne tvari i — do određene vrijednosti — od promjera eksplozivnog punjenja. Ako je promjer punjenja veći od te vrijednosti, brzina je detonacije od njega nezavisna (idealna detonaciona brzina). Razlika između deflagracije i detonacije nije uslovljena kemizmom reakcije ili njezinim mehanizmom; ista eksplozivna reakcija može se odvijati bilo kao deflagracija bilo kao detonacija, a pod pogodnim uvjetima deflagracija može preći naglo u detonaciju.

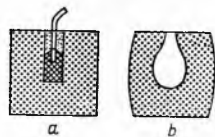
Toplinski učinci eksplozivnih reakcija (topline eksplozije) znatno su manji nego npr. topline sagorijevanja industrijskih goriva (trotil 950 kcal/kg — antracit 8000 kcal/kg), ali se eksplozivnom reakcijom energija razvija u tako kratkom razmaku vremena (detonacija unutar 10^{-7} – 10^{-8} s) da je postignuta snaga golema, to veća što je veća brzina reakcije. Razmak vremena unutar kojeg se zbiva detonacija nije identičan s razmakom vremena unutar kojeg eksplozija izazvana detonacijom izvrši razoran rad, pa brzina detonacije ne može služiti kao osnov za izračunavanje učina eksplozije kao cjeline, ali je intenzitet deformacije i drobljenja postignutih eksplozijom u neposrednoj blizini eksploziva (*brizantno djelovanje eksploziva*) zavisano uglavnom od koncentracije energije na frontu detonacionog vala; ta koncentracija energije povezana je, opet, sa pritiskom na frontu detonacionog vala, a taj pritisak razmjernan je gustoći punjenja eksploziva i kvadratu brzine detonacije: $p_d = k \rho v_d^2$, gdje je p_d detonacioni pritisak, ρ gustoća punjenja eksploziva, v_d brzina detonacije, a k koeficijent razmjernosti, većinom jednak približno $\frac{1}{4}$. Brzina detonacije je već stoga važna karakteristika eksploziva. Ona se može približno izračunati iz termičkih podataka o eksplozivu na osnovu termo-hidrodinamičke teorije detonacije, ali se obično određuje eksperimentalno, i to danas još uvijek najviše metodom Dautriche. Po toj metodi eksploziv, natiskan u metalnu cijev do gustoće punjenja upotrebljavane u praksi, na jednom se kraju cijevi inicijalno zapali; nastala detonacija prenese se dvjema rasprsnim kapislama, smještenim u cijevi na određenoj udaljenosti, na obje strane detonirajućeg štapina koji te kapisle spaja, a čija je sredina čvrsto položena na olovnu ploču. (Detonirajući štapin je uska gibljiva cijev napunjena brizantnim eksplozivom.) Na mjestu gdje se u štapinu sastaju detonacioni valovi koji dolaze sa suprotnih strana, u olovu nastaje udubljenje. Iz položaja tog udubljenja i poznate brzine detonacije u štapinu može se izračunati koliko je detonacioni val kasnije krenuo s jedne nego s druge strane štapina, a iz toga, i udaljenosti među kapislama, može se izračunati nepoznata brzina detonacije ispitnog eksploziva. Za finija mjerenja detonacione brzine upotrebljavaju se električne i optičke sprave, snimanje rendgenskim bljeskom i interferencija mikrovalova reflektiranih na detonacionom frontu s nerefektiranim valovima.

Direktno pokusno određivanje brizantnog i fugasnog djelovanja eksploziva. Brizantno djelovanje (brizancija) eksploziva obično se praktično ocjenjuje direktnim probama, od kojih je najčešća proba s olovnim cilindrom standardnih dimenzija, na čijem se vrhu pod standardnim uvjetima izaziva detonacija

određene količine eksploziva (sl. 1). Smanjenje visine cilindra služi kao relativna mjera brzancije. Fugasno djelovanje eksploziva (snaga nagle ekspanzije plinova) ispituje se praktički Trauzlovim olovnim blokom (valjkom) ili balističkim mužarom (merzerom).



Sl. 1. Određivanje brzancije eksploziva po Hessu. a) Prije detonacije, b) olovni valjak poslije detonacije eksploziva



Sl. 2. Određivanje fugasnog djelovanja eksploziva Trauzlovim blokom. a) Trauzlov olovni blok s eksplozivnim punjenjem, kapislom i štapićem (ostatak uvrta napunjen je pijeskom), b) olovni blok nakon eksplozije

Trauzlov blok je olovni valjak standardnih dimenzija (200 × 200 mm) s centralnim uvrtnom u kojemu se izaziva detonacija određene količine eksploziva (sl. 2). Uslijed eksplozije nastaje u valjku šupljina u obliku boce; njezin volumen (po odbitku volumena prvobitnog uvrta), izmjeren s pomoću vode, služi kao mjera za fugasno djelovanje eksploziva. Balistički mužar je malo artiljerijsko oruđe obješeno kao njihalo (klatno), iz kojeg se paljenjem određene količine brzantnog eksploziva (obično 10 g) izbacuje projektil određene mase. Iz kuta α za koji se njihalo-oruđe ukloni od vertikale uslijed njegovog reakcionog trzaja, a nakon baždarenja ispaljivanjem sa standardnom praskavom želatinom (uklon α_0), izračunava se eksplozivna snaga eksploziva, u postocima eksplozivne snage praskave želatine, prema formuli

$$P = \frac{\sin^2 \alpha / 2}{\sin^2 \alpha_0 / 2} \cdot 100\%$$

Osjetljivost i stabilnost eksploziva. Da bi se inicirala eksplozivna reakcija, ograničenom volumenu eksplozivne tvari treba dovesti određenu količinu energije kao inicijalni impuls. Energija inicijalnog impulsa može se dovesti u obliku energije udara, trenja, topline, brzantnog djelovanja drugog eksploziva i dr. Minimalna količina koja je potrebna da bi se izazvala eksplozivna reakcija neke eksplozivne tvari karakterizira njezinu osjetljivost. Osjetljivost tehničkih eksploziva upotrebljivanih za miniranje i sl. radove ne smije biti premala, da za izazivanje eksplozije ne bi bila potrebna prevelika energija, ali ona ne smije biti ni prevelika, da bi se eksplozivom moglo sigurno rukovati. Kolika je osjetljivost potrebna i dopuštena zavisi od vrste eksploziva i njegove namjene; inicijalni eksplozivi, čijim se brzantnim djelovanjem izaziva eksplozija manje osjetljivih ili neosjetljivih eksploziva a koji se preraduju u malim dozama, moraju i mogu biti krajnje osjetljivi, eksplozivi, pak, koji se npr. prevoze željeznicom moraju biti neosjetljivi i prema vrlo grubom rukovanju. Pri inicijaciji ne postoji ekvivalencija energija: neki eksploziv koji je neosjetljiv prema udaru može biti osjetljiv prema trenju ili toplini, i obrnuto.

Osjetljivost eksploziva prema toplinskom inicijalnom impulsu karakterizira se obično temperaturom na koju treba zagrijati eksploziv da bi eksplodirao (*temperaturom paljenja*); ta temperatura zavisi ne samo od svojstava eksploziva nego i od pokusnih uvjeta, koji su radi dobivanja uporedljivih rezultata standardizirani. Termička osjetljivost ispituje se i različitim kvalitativnim probama: određuje se zapaljivost iskrom upaljača za plin, plamenom štapina s crnim barutom, plamenom Bunsenovog plamenika, usijanim čeličnim štapićem; promatra se ponašanje malih količina eksploziva bačenih u užarenu čeličnu zdjelicu, ili grijanih u zatvorenoj limenoj kutiji, i dr.

Osjetljivost prema mehaničkim djelovanjima obično se procjenjuje time što se pusti da na malu količinu eksploziva (0,02...0,05 g), smještenu među čeličnim pločicama, padne s poznate visine malj poznate mase (1, 2, 5 ili 10 kg za manje osjetljive, 25 ili 100 g za vrlo osjetljive eksplozive). Kao relativna mjera osjetljivosti prema udaru uzima se najmanja masa i najmanja visina padanja malja pri kojoj u šest uzastopnih pokusa bar jedanput nastane eksplozija, odn. izračunata količina energije koja je za to bila potrebna, ili procenat od ukupnog broja pokusa koji je doveo do

eksplozije pri padu malja određene mase sa određene visine. Postoje i metode za određivanje relativne osjetljivosti eksploziva prema drugim vrstama mehaničkog djelovanja (trenja, kliznog udara i dr.). Rezultati svih tih pokusa, kao i rezultati pokusa s padajućim maljem, zavise u velikoj mjeri ne samo od kemijske prirode eksplozivne tvari nego i od njezinih fizičko-kemijskih svojstava i od vanjskih okolnosti koje uvjetuju naprezanja i deformacije koje pri tim pokusima nastaju u eksplozivnoj tvari.

Osjetljivost eksploziva zavisi uvelike od njegove fizičke strukture. Rahla, porozna struktura s velikom unutrašnjom površinom i razdjeljenje na male čestice olakšavaju eksplozivnu reakciju, naročito detonaciju; povećanje homogenosti, obično uz stvaranje staklaste ili rožnate mase, otežava detonaciju a može je i onemogućiti. Npr. čvrsta raketna goriva su tvari koje u obliku praha, zapaljene rasprsnom kapislom, lako detoniraju; u raketi se upotrebljavaju homogenizirane do te mjere da se ni najjačim inicijalnim impulsima ne mogu dovesti do detonacije, nego izgaraju bez detonacije po paralelnim ploham s površine prema unutrašnjosti punjenja (v. *Astronautika* TE 1, str. 432). Malodimni baruti zbog rogu slične strukture također sagorijevaju razmjerno sporo na površini čestica. U dosta širokim bušotinama mogu se vrlo jakim inicijalnim impulsima dovesti do detonacije, u čeličnoj cijevi \varnothing 30 mm ne može se postići njihova detonacija ni najjačim inicijalnim punjenjima. Mnogi se eksplozivi upotrebljavaju u presovanom stanju; pri presovanju se često dodaju voskove tvari koje ispunjavaju unutrašnje šupljine i time pridonose smanjenju osjetljivosti, npr. biljna ulja, glicerina, parafin, vazelin, kaučuk, karnauba, montanvosak (*flegmatizacija*). Lako taljivi eksplozivi se lijevaju, pri čemu se načinom lijevanja i dodatkom netaljivih tvari mogu varirati detonaciona svojstva.

Svi su eksplozivi termodinamički nestabilni te se i na temperaturi ispod temperature paljenja raspadaju. Raspadanje eksploziva na skladištu može biti izvanredno opasno jer se, nagomilavanjem razvite topline, temperatura može nakon nekog vremena lokalno povisiti do temperature paljenja, što može uzrokovati detonaciju cijele uskladištene količine. Stoga su vrlo važna ispitivanja *kemijske stabilnosti* eksploziva. Kao mjera kemijske stabilnosti često služi gubitak težine osušene probe zagrijane na 75 °C kroz 24 i 48 sati. Eksplozivna tvar smatra se kemijski stabilnom pri normalnom skladištenju ako pri tom pokusu gubi težinu sporo i jednolično. Pri raspadu celuloznih nitrata produkti raspada djeluju katalitički te se raspad što dalje to više ubrzava, pa može brzo doći do samozapaljenja. Stoga za malodimne barute postoje stroge probe za određivanje stabilnosti. Za kontrolu kemijske stabilnosti u toku proizvodnje upotrebljavaju se metode pri kojima se mjeri količina ili brzina razvijanja plinovitih produkata koji nastaju pri grijanju eksploziva na temperaturu ispod temperature paljenja. Najstarija takva proba je *Abelov test*: mjeri se vrijeme koje je potrebno da dušični oksidi koji se razvijaju iz eksploziva zagrijanog na 80 °C oboje jod-skrbni papir jasno modro.

Prenos detonacije i razorno djelovanje udarnog vala. Detonacijom velikih količina brzantnih eksploziva nastaje trenutno poremećenje ravnoteže medija (zraka, vode) koji okružuje jezgru detonacije. Uslijed visokog pritiska i temperature, čestice plinova oslobođenih pri eksploziji kreću se velikom brzinom na sve strane, ali samo na ograničenoj udaljenosti. Tako se eksplozijom 1500 kg crnog baruta stvara sloj tih plinova u obliku lopte radijusa 9,5 m. Čestice ovih plinova udaraju na okružujući medijum, zrak, koji se uslijed svoje inercije silno komprimira, te se udarni val pritiska širi, i to u početku brzinom detonacije eksploziva. Ova brzina postepeno opada i konačno postigne brzinu zvuka. Kada čestice pojedinih slojeva zraka izgube svoju brzinu, počinju se vraćati ka jezgri detonacije u stanje ravnoteže, budući da se oko ove tačke nalazi sloj razrijeđenog područja potpritisaka. Prema tome, od jezgre detonacije djeluje val zgušnjavanja, a u obratnom pravcu val razrjeđivanja. Oba vala šire se istom brzinom.

Djelovanje obaju tih valova na različitim udaljenostima od jezgre detonacije jednako je razorno, ali u jednom pogledu različito. Djelovanje vala zgušnjavanja poznaje se po tome što su ruševine uništenih predmeta razbacane u smjeru od jezgre detonacije; u blizini jezgre detonacije ovo je djelovanje najjače. Na većim udaljenostima pojavljuje se djelovanje vala razrjeđivanja, koje se poznaje po tome što su ruševine razbacane u smjeru ka jezgri detonacije. Ustanovljeno je da se između područja direktnog i indirektnog djelovanja vala detonacije nalazi neutralna zona u kojoj ne dolazi do razaranja. Ova pojava može se tumačiti polaganim prelazom vala zgušnjavanja u val razrjeđivanja, kao i refleksijom tih valova u slojevima razrijeđenog zraka.

Intenzitet i učinak vala detonacije na različitim udaljenostima od centra detonacije zavisi prvenstveno od količine eksploziva.

PRIKAZ NAJVAŽNIJIH EKSPLOZIVA

Eksplozivi se mogu podijeliti sa različitih stanovišta: prema agregatnom stanju eksplozivi su tekući ili čvrsti, prema brzini kojom se u njima širi eksplozivna reakcija dijele se u deflagrantne (progresivne) i detonantne (brzantne), prema sastavu se obično

dijele u jedinstvene eksplozive i eksplozivne smjese, prema primjeni u streliva i lomiva, u eksplozive za vojne svrhe i eksplozive za civilne (privredne) svrhe. Eksplozivi za vojne svrhe jesu baruti i eksplozivi za razorna punjenja, među eksplozivima za civilne svrhe specijalnim se sastavom odlikuju rudarski eksplozivi. Posebnu grupu brizantnih eksploziva tvore inicijalni eksplozivi.

U nastavku su prikazani najvažniji eksplozivi ovim redom: a) inicijalni eksplozivi (vrlo osjetljivi, čvrsti, detonantni, mahom jedinstveni eksplozivi za inicijalno paljenje manje osjetljivih detonantnih eksploziva za vojne i civilne svrhe), b) jedinstveni detonantni eksplozivi (čvrsti i tekući, koji služe kao razorna punjenja u vojne svrhe ili kao sirovine za eksplozivne mješavine i malo-dimne barute), c) detonantne eksplozivne mješavine (čvrste i želatinozne) uglavnom za civilne svrhe, i d) malodimni baruti.

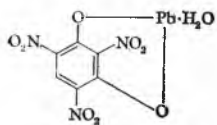
Inicijalni eksplozivi

Kao inicijalni eksplozivi, kojima se pune različna upalna sredstva — uglavnom kapisle — namijenjena paljenju, odn. iniciranju eksplozionih procesa, upotrebljavaju se najviše azidi i fulminati teških metala (žive, olova, srebra), također olovne soli nekih organskih kiselina (nitrozorcinati, dinitrozorcinat). Sadržaj teškog metala daje ovim tvarima veliku gustoću punjenja. U USA upotrebljava se mnogo (samo ili kao sastojak inicijalnih eksplozivnih smjesa) inicijalno sredstvo bez teških metala: diazodinitrofenol. Organski spoj tetracen nije sam inicijalni eksploziv, ali dodat u maloj količini drugim inicijalnim eksplozivima jako im povećava osjetljivost.

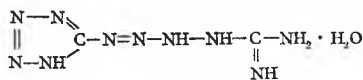
Azid olova, $Pb(N_3)_2$, olovna sol dušikovodične kiseline HN_3 , danas je najvažnija inicijalna eksplozivna tvar; azid olova gotovo je sasvim istisnuo iz upotrebe praskavu živu, koja se nekad najviše upotrebljavala. Mada ima manju toplinu raspada i gustoću nego praskava živa, on ima veću brizanciju (i flegmatiziran ima 5–10 puta veću sposobnost iniciranja), od nje je manje osjetljiv prema udaru i ima znatno veću stabilnost na povišenoj temperaturi i manju osjetljivost prema vlažnosti (ni pri sadržaju 30% H_2O ne gubi sposobnost detonacije), pri dovoljno jakom vanjskom impulsu uvijek detonira. Za razliku od živinog fulminata, može se bez opasnosti upotrijebiti u kapislama od aluminijuma, mnogo jeftinijim od bakrenih.

Azid olova dobiva se reakcijom dvostruke zamjene (taloženjem) vodenih otopina topljivih olovnih soli s topljivim azidima. Upotrebom različitih olovnih soli, variranjem temperature i pritiska, zatim različnim dodacima (dekstrina, polivinilalkohola) mogu se dobiti proizvodi od koloidne strukture do pravilnih krupnih kristala različnog habitusa. Predstavlja vrlo malo higroskopan bijeli prah rel. gustoće 4,8. Radi veće sigurnosti proizvodi se redovito »razrijeđen« teško topljivim olovnim spojevima; npr. najviše upotrijebljeni tehnički azid olova sadrži 76% $Pb(N_3)_2$, ~ 5% dekstrina i ~ 8% hidroksida olova. Upotrebljava se za punjenje upalnih kapisla municije za ručna vatrena oružja i artiljerijske municije, rasprsnih kapisla za rudarske svrhe, detonatorskih kapisla za artiljerijsku municiju, električnih detonatorskih kapisla i detonirajućih štapina. U punjenju upalnih kapisla azidu se dodaju male količine senzibilizatora, najčešće tricinata i/ili tetracena.

Tricinat [olovo-stifnat, olovna sol trinitrozorcin(ol)a] dobiva se kao tamnonarandžasta kristalna tvar d 3,1 taloženjem otopine trinitrozorcin(ol)a (stifninske kiseline) otopinom topljive olovne soli. Upotrebljava se kao senzibilizator i kao jedan od glavnih sastojaka sinoksid- (nerdajućih) kapisli streljačke municije.



Tricinat

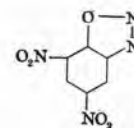


Tetracen

Tetracen, svijetložuti ili bezbojni kristalni prah, dobiva se diazotiranjem aminogvanidin-hidrogenkarbonata. Upotrebljava se kao tricinat i zajedno s njime.

Fulminat žive, praskava živa, $Hg(ONC)_2$, živina sol praskave kiseline (fulminske kiseline, karbiloksima, v. *Ugljik*), bezbojni

ili svijetlosivi oktaedarski kristali, d 4,42, dobiva se reakcijom između žive, dušične kiseline i alkohola, čisti se prekrizacijom iz dušične kiseline. Upotrebljava se sam ili u mješavini s kalijum-kloratom i antiion-sulfidom (za paljenje barutnog punjenja i detonatorske kapisle) ili s brizantnim eksplozivima (za rasprne i detonatorske kapisle) za iste svrhe kao i azid olova. Zbog njezine razmjerno velike nestabilnosti, gubitka osjetljivosti s porastom vlažnosti, reagiranja s aluminijumom uz postanak vrlo eksplozivnih tvari, praskavu je živu danas u skoro svim zemljama kao inicijalni eksploziv zamijenio azid olova ili diazodinitrofenol.



Diazodinitrofenol

Diazodinitrofenol, 4,6-dinitrobenzen-2-diazo-1-oksid, nastaje kao smeđecrveni kristalni prah pri diazotiranju pikraminske kiseline (4,6-dinitro-2-aminofenola). Prekrizacijom iz acetona dobiju se svijetložuti kristali. Diazodinitrofenol se naročito u USA upotrebljava kao inicijalni eksploziv ili kao sastojak inicijalnih punjenja umjesto tricinata.

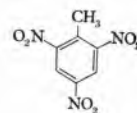
Jednokomponentni detonantni eksplozivi

Najvažniji takvi eksplozivi su neki aromatski nitrospojevi i esteri dušične kiseline. Od prvih najviše se upotrebljava trinitrotoluen (trinitrotoluol), 2,4,6-trinitrofenol (pikrinska kiselina), tetranitrometilamin (tetril), heksanitrodifenilamin i heksahidro-1,3,5-trinitro-s-triazin (heksogen), a od drugih, nitrati celuloze, glicerola (glicerina), pentaeritrit(ol)a, glikola i diglikola. Ti će eksplozivi, odn. eksplozivne tvari, biti u nastavku prikazani. Za specijalne svrhe (uglavnom vojne) upotrebljavaju se (i kao sastojci eksplozivnih smjesa) od organskih nitrospojeva npr. dinitrotoluen, nitrobenzeni (nitrobenzoli), amonijum-pikrat, tetranitrokarbazol, nitrogvanidin, N,N' -dinitroetilendiamin, a od estera dušične kiseline nitrati skroba, diglicerola, dietilenglikola, trietilenglikola, dipentaeritritola, manitola i dr. Ti spojevi neka budu samo spomenuti. Anorganski eksplozivni spojevi koji idu u ovu grupu jesu amonijum-nitrat i amonijum perklorat; oni se upotrebljavaju samo kao sastojci nekih eksplozivnih mješavina (v. dalje u ovom članku i Amonijumske soli u članku *Dužik*).

Za nomenklaturu navedenih spojeva, napose upotrebu imena kao toluen — toluol, benzen — benzol, glicerol — glicerol, pentaeritrit — pentaeritritol, manit — manitol v. *Alkohol* I, TE 1, str. 212 i *Aromatski ugljikovodici*, TE 1, str. 418. Nitrati celuloze, glicerola, skroba, pentaeritritola, manitola i dr. poznatiji su pod imenima nitroceluloza, nitroglicerol, nitroskrob, nitropentaeritrit, nitromanit, itd., koja su sa stanovišta kemijske nomenklature nepravilna, jer te tvari nisu nitro-spojevi.

Gotovo svi spomenuti detonantni eksplozivi proizvode se iz osnovnih sirovina (toluena, celuloze, glicerola itd.) procesom nitriranja (nitracije) većinom s pomoću »miješane kiseline«, smjese dušične i sumporne kiseline. Klasični su postupci nitriranja diskontinuirani, ali se za proizvodnju nekih eksploziva sve više uvode kontinuirani procesi, od kojih su najpoznatiji Schmidt-Meissnerov i Biazizijev. U novijim izvedbama ovog posljednjeg potpuno su automatizirani i tehnološki proces i sve mjere sigurnosti (v. *Nitriranje*).

Trinitrotoluen (trinitrotoluol, trotil, TNT), tačnije 2,4,6-trinitrotoluen, simetrički ili α -trinitrotoluen, zbog lakoće i sigurnosti kojom se može tehnički u velikom mjerilu proizvoditi, zbog njegove velike kemijske stabilnosti i male osjetljivosti, zbog mnogostruke mogućnosti prerade u čvrstom i tekućem stanju danas je najvažniji eksplozivni nitrospoj i najvažniji detonantni eksploziv uopće; upotrebljava se sam kao jednokomponentni eksploziv i kao sastojak mnogih eksplozivnih mješavina za privrednu i vojnu upotrebu. Njegovo je eksplozivno djelovanje postalo mjerilom djelovanja nuklearnih bombi, te se ovo izražava brojem tona trinitrotoluena koji ima isto djelovanje.



Trinitrotoluen

α -Trinitrotoluen tvori bezbojne ili svijetložute monoklinske kristale u obliku stupa ili iglica, koje u čistom stanju imaju t.t. $80,75 \pm 0,059$ °C (određivanje tačke očvršćavanja ili skrućivanja upotrebljava se za određivanje čistoće produkta) i rel. gustoću kristala 1,654 (TNT ljeven 1,56, presovan, do 1,62). Praktično je netopljiv u vodi, topljiv je u organskim otapalima. Termički je vrlo stabilan, tek iznad 160 °C stvaraju se plinoviti produkti

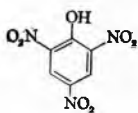
raspada, na 240 °C zapali se nakon 30 min. Teško se pali direktnim plamenom, u rastaljenom je stanju osjetljiviji prema udaru nego u čvrstom, u obliku presovanih kristala osjetljiviji je nego u obliku očvrslje taljevine. Bilanca kisika mu je negativna (-0,740 g/g), te mu je brzina detonacije stoga jako ovisna o gustoći punjenja. Trinitrotoluen samo sporo reagira s vodenom otopinom natrijum-hidrogensulfita (bisulfita), za razliku od njegovih izomera (2,3,4- ili β -, 2,4,5- ili γ - ili 2,3,6- ili η - trinitrotoluena), te se to iskorištava za čišćenje α -spoja od njegovih izomera.

Trinitrotoluen proizvodi se nitriranjem toluena po pravilu u tri stepena: u prvom stepenu proizvodi se mononitrotoluen, u drugom dinitrotoluen (uljevita smjesa izomera koja sadrži 75% izomera 2,4-), a u trećem trinitrotoluen, oko 95%ni α -izomer; onečišćenja, uglavnom izomerni trinitrotolueni, nalaze se na površini kristala, te se mogu ukloniti ispiranjem dušičnom kiselinom ili natrijum-hidrogensulfitom. Čišćenje trinitrotoluena prekristalizacijom iz alkohola s nekoliko procenata benzena sve se više napušta zbog skupocje.

TNT se upotrebljava za detonatorska i razorna punjenja artiljerijske municije, avionskih bombi, mina, torpeda itd. i, sam ili kao sastojak eksplozivne mješavine, u eksplozivnim i razornim punjenjima za civilne i vojničke svrhe. Detonatorska punjenja prave se presovanjem, ostala punjenja najčešće lijevanjem u rastaljenom stanju.

Proizvod dobiven u drugom stepenu nitriranja dinitracijom toluena upotrebljava se, bilo u obliku uljevite smjese izomernih dinitrotoluena ili iz nje izoliranog čistog α - ili 2,4-dinitrotoluena (DNT) kao sastojak višekomponentnih eksploziva. On je dobro sredstvo za želatniranje celuloznog nitrata, vrlo je malo osjetljiv, a brzancija mu iznosi 77% brzancije trinitrotoluena.

Pikrinska kiselina (2,4,6-trinitrofenol, melinit, lidit, ekrazit), $C_6H(NO_2)_3OH$, tvori žute listiće koji se tope ponešto u vodi, lakše u benzenu. Intenzivno bojadiše kožu i životinjsko tkivo (prije nego su otkrila njena eksplozivna svojstva upotrebljavala se u bojadarstvu kao bojilo za vunu i svilu), vanredno je gorak okusa (grč. $\pi\kappa\rho\rho\varsigma$ pikros *gorak*), t.t. 122 °C, d 1,767 (ljevena 1,61...1,67, presovana do 4000 kp/cm², do 1,74). Proizvodi se nitriranjem fenola ili dinitrofenola, koji se dobiva iz tehnički naveliko proizvođenog dinitroklorbenzena.



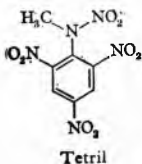
Pikrinska kiselina

Pikrinsku kiselinu počeli su oko 1885 Francuzi pod imenom melinit upotrebljavati za razorna punjenja artiljerijske municije; to je, prema tome, prvi moderni brzantni eksploziv upotrebljavan za te svrhe. Ona je ostala najvažniji vojni eksploziv od prvog svjetskog rata, kad je počinje potiskivati TNT. Danas je gotovo sasvim istisnuta trinitrotoluenom, koji nema njezine nedostatke (lakše se lijeva, nije otrovan, ne boji kožu, ne tvori eksplozivne soli itd.); njena se upotreba u vojne svrhe danas svodi, zbog lakšeg iniciranja, na izradu prenosnih punjenja.

Na 300...310 °C se zapali i gori čadavim plamenom (zbog negativne bilance kisika). Zapalje se rasprsnom kapislom detonira; brzina detonacije iznosi 7200...7800 m/s.

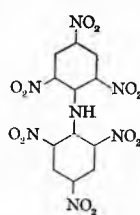
Mnoge soli pikrinske kiseline, pikrati, mnogo su osjetljivije na udar, trenje i toplinu nego slobodna kiselina. Takvi pikrati mogu nastati djelovanjem kiseline na metale; stoga su se košuljice zrna i detonatora morale prije punjenja pikrinskom kiselinom oblagati lakovima, nemetalnim bojama ili dobro kalajisati. Amonijum-pikrat, naprotiv, koji se lako i bezopasno proizvodi iz pikrinske kiseline i amonijaka, izvanredno je neosjetljiv prema udaru i trenju, pa se upotrebljava za punjenje artiljerijskih zrna koja eksplodiraju tek po probijanju oklopa. Inače amonijum-pikrat ima gotovo sve nedostatke pikrinske kiseline.

Tetritl, tetranitrometilaminil, 2,4,6-trinitrofenilmetilnitramin, kristalna tvar slabo žućkaste boje, t.t. (uz raspad) 130 °C, d 1,73, proizvodi se nitriranjem dinitrometilamina, koji je lako pristupačan kondenzacijom metilamina i dinitroklorbenzena. Tetritl se čisti prekristalizacijom iz acetona. Zbog razmjerno velike osjetljivosti prema detonaciji, velike brzancije i velikog sadržaja energije (toplina sagorijevanja 2925 cal/g, toplina eksplozije ~1100 cal/g) tetritl se od svih detonantnih eksploziva



Tetritl

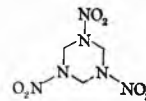
danas najradije upotrebljava za detonatorski štapin i različna detonatorska i prenosna punjenja. Lako se bez dodatka presuje u tijela stalnog oblika.



Heksamin

Heksanitrodifenilamin, dipikrilamin, *heksamamin*, intenzivno žut prah vrlo osjetljiv na udar, otrovan, t.t. (uz raspad) 240 °C, dobiva se nitriranjem nesimetričnog dinitrodifenilamina, koji nastaje reakcijom dinitroklorbenzola s anilinom. Upotrijebljen je kao sastojak eksplozivnih punjenja za morske mine i torpeda, koja osim njega sadrže TNT i aluminijum u prahu. Punjenja istih svojstava mogu se, međutim, dobiti i uz upotrebu manje neugodnih eksploziva, npr. heksogena.

Heksogen, (ciklotrimetilnitramin, heksahidro-1,3,5-trinitro-*s*-triazin, *ciklonit*, heksit, tvori bijele kristale, t.t. (uz raspad) 204 °C, d 1,82, netopljive u vodi, alkoholu, eteru i ugljikovodicima, razmjerno dobro topljive u ketonima i nitriranim ugljikovodicima. Proizvodi se danas dvama postupcima nitracije heksametilentetramina: u jednom stepenu, vrlo koncentriranom dušičnom kiselinom, i u dva stepena, najprije na trimetilendinitramin, koji se dalje nitrira smjesom amonijum-nitrata, otenog anhidrida i dušične kiseline. Čisti se prekristalizacijom iz acetona ili cikloheksanona. Heksogen se u posljednjoj analizi proizvodi iz zraka, vode i ugljena, iz kojih se sintezom dobivaju potrebne sirovine, te je njegova proizvodnja nezavisna od nafte kao sirovinske baze; to je očita prednost za mnoge zemlje u slučaju modernog rata.



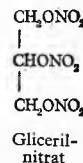
Heksogen

Heksogen zapaljen rasprsnom kapislom detonira brzinom detonacije i do 8400 m/s (uz gustoću punjenja 1,73), osjetljiv je prema udaru i toplini otprilike kao tetritl, osjetljivost prema trenju nešto je veća, a prema iniciranju azidom olova znatno veća. Brzancija mu je otprilike jednaka brzanciji pentaeritrolnitrata i veća od brzancije tetritla, kemijska stabilnost mu je gotovo jednaka stabilnosti trinitrotoluena. Zbog svega toga heksogen se može smatrati danas najvažnijim visokobrzantnim eksplozivom.

Heksogen se, obično flegmatiziran sa 3...5% voska i presovan pod visokim pritiskom, ponekad i pomiješan s aluminijumom (*heksal*) upotrebljava za eksplozivna punjenja, za razorna punjenja granata i za prenosna punjenja. Ljevene mješavine heksogena s trinitrotoluenom imaju veliko značenje kao moderna punjenja za miniranje. Heksogen je upotrebljavan i kao sastojak plastičnih eksploziva.

Celulozni nitrat, *nitrocelulozas*, praskavi pamuk. Kemijska svojstva i način proizvodnje celuloznog nitrata opisani su u članku *Celulozni derivati*, TE 2, str. 581. Osjetljivost na udar i trenje suhog celuloznog nitrata povećava se porastom sadržaja dušika (npr. celulozni nitrat sa 13,3% detonira brzinom od 6900 m/s pri padu malja od 2 kg s visine 20 cm). Vrlo lako se zapaljuje iskom ili plamenom i vrlo brzo izgara. Sa 30% vlage gubi tu osobinu. Ima jako negativnu bilancu kisika i pri sagorijevanju razvija otrovni ugljik-monoksid. Celulozni nitrat upotrebljava se za proizvodnju jednobaznog nitroceluloznog baruta, za proizvodnju višebaznih malodimnih baruta i kao sastojak želatinoznih eksploziva za civilne svrhe (v. dalje).

Glicerilnitrat, glicerol-trinitrat, *nitroglicerol*, na običnoj je temperaturi u čistom stanju bezbojna, kao tehnički proizvod slabo smedasta tekućina sladunjavog okusa, d_{15}^{20} 1,596, koja na 2,8 °C mrzne dajući kristale labilnog triklinskog oblika; stabilni rompski oblik ima t.t. 13,5 °C. Na običnoj je temperaturi praktički nehlapljiv i bez mirisa, iznad 40...50 °C osjetljivo se isparava i ima karakterističan miris. Na običnoj temperaturi je kemijski potpuno stabilan, na 50 °C se drži bez osjetljivog raspada nekoliko godina, iznad 70 °C počinju se iz njega razvijati nitrozni plinovi nakon nekoliko dana. Glicerilnitrat je u većini organskih otapala u svakom omjeru topljiv; u sistemu glicerilnitrat-etilalkohol postoji ispod 50 °C područje ograničene topljivosti. Na 20 °C otapa se 0,173 g glicerilnitrata u 100 g vode i ~0,4 g vode u 100 grama glicerilnitrata. S alkoholnom kalijumskom lužinom glicerilnitrat se osapunjava uz jako razvijanje topline, ali pri tom se ne oslo-



bada glicerol nego nastaju uglavnom kalijum-formijat, -acetat i -oksalat. I vodena otopina natrijum-sulfida rastvara glicerilnitrat uz razvijanje topline; s pomoću nje se mogu razoriti ostaci glicerilnitrata u aparaturi i na nepristupačnim mjestima.

Glicerilnitrat se proizvodi iz glicerola (v. *Alkoholi*, TE 1, str. 219) nitracijom, danas uglavnom kontinuiranim postupcima po Biazziyu i Schmidt-Meissneru, također injektorskim postupkom švedske firme Nitroglicerol (v. *Nitracija*).

Glicerilnitrat se zagrijavanjem i plamenom zapali i u manjim količinama sagorijeva razmjerno mirno, a u većim lako detonira. Jako je osjetljiv na udar: eksplozira pod udarcem malja od 2 kg koji padne s visine od 6 cm. Maksimalna brzina detonacije mu je 8000 m/s. Zbog velike osjetljivosti glicerilnitrat se sam više ne upotrebljava kao eksploziv, nego samo kao sastojak eksplozivnih smjesa: malodimnih baruta i brizantnih privrednih eksploziva.

Etilenglikol-dinitrat, »nitroglikol«, bezbojna je tekućina slaba karakteristična mirisa, hlapljiva već na običnoj temperaturi, d_{20}^{20} 1,4918, t.t. -22°C , t.k. $197,5^{\circ}\text{C}$, poput glicerilnitrata topljiva u većini organskih otapala, slabo topljiva u vodi (na 20°C 0,68 g/100 g). Stabilniji je i manje osjetljiv od glicerilnitrata, prema alkalnim lužinama i sulfidima ponaša se kao i on. Proizvodi se iz etilenglikola (v. TE 1, str. 219) u istoj aparaturi na isti način kao glicerilnitrat (mogu se nitrirati i zajedno, pomiješani u željenom omjeru). Važan je sastojak svih rudarskih eksploziva koji sadrže glicerilnitrat, jer ovome snižuje tačku taljenja toliko da se ne može smrznuti; budući da je danas mnogo jeftiniji od glicerola, njegov se nitrat upotrebljava u takvim eksplozivima i sam, bez glicerilnitrata. Zbog svoje hlapljivosti nije upotrebljiv za malodimne barute.

Diglikoldinitrat, »dinitro(di)glikol«, u čistom je stanju bezbojna, kao tehnički proizvod žućkasta uljevita tekućina, d_{20}^{20} 1,385, t.t. (labilni oblik) $-10,4^{\circ}\text{C}$, (stabilni oblik) 3°C , nešto hlapljivija od glicerilnitrata, lako topljiva u mnogim organskim otapalima, malo u alkoholu, u vodi znatno više od glicerilnitrata, ali mnogo manje od glikoldinitrata. Teško se osapunjuje lužinama. Teško je zapaljiv, do detonacije se dovodi teže nego etilenglikol-dinitrat, neosjetljiv je prema udaru, kemijski je stabilan. Proizvodi se iz dietilenglikola (v. TE 1, str. 219) istim postupkom kao i glicerilnitrat iz glicerola, ali koncentriranijom kiselinom. Upotrebljava se kao sastojak »hladnih« malodimnih baruta.

Pentaeritrit(ol)-tetranitrat, pentrit, (nitro)penta, niperit, PETN, bijel kristalan prah netopljiv u vodi, vrlo malo topljiv u alkoholu i eteru, dobro u acetonu, d 1,77 (punjenja do 1,74).

Proizvodi se nitriranjem pentaeritritola (v. TE 1, str. 219) vrlo velikim viškom koncentrirane dušične kiseline, bez sumporne kiseline. Čisti se više puta ponovljenim taloženjem vodom iz acetona. Zbog velike brzine detonacije (8300 m/s) i znatnog sadržaja energije, PETN se upotrebljava u presovanom stanju za proizvodnju kapisla detonatora i izradu detonirajućih štapina. Slabije flegmatiziran ili čak i neflegmatiziran presovan PETN služi za punjenje nagaznih mina, a flegmatiziran za prenosna punjenja i za punjenje artiljerijskih zrna. Za razorna punjenja upotrebljava se i u mješavini s malo osjetljivim eksplozivima (naročito TNT). Jedna je od komponenta plastičnih eksploziva pentritnita.

PETN se može zapaliti plamenom, ali ne štapinom s crnim barutom. Vrlo je osjetljiv na udar, ali manje nego glicerilnitrat. Izvanredno je osjetljiv prema inicijalnom paljenju s pomoću azida olova i drugih inicijalnih eksploziva. Osjetljivost mu se može smanjiti flegmatizacijom pomoću voska, parafina i sl. Brizancija mu je veća od brizancije glicerilnitrata.

Svojstva najvažnijih eksplozivnih tvari data su u tablici 1.

Detonantne eksplozivne mješavine

Pored eksplozivnih mješavina upotrebljivanih samo za vojne svrhe: mješavina trinitrotoluena s drugim eksplozivima i/ili aluminijumskim prahom, u ovu grupu idu eksplozivi upotrebljavani

prvenstveno za civilne svrhe (privredni eksplozivi), osobito za miniranje u rudarstvu i građevinarstvu, također za seizmička istraživanja, napucavanje naftnih bušotina, eksplozivno oblikovanje i modifikiranje metala i dr.

Vojne detonantne eksplozivne mješavine. Za vrijeme drugog svjetskog rata razvile su različite smjese (mahom binarne sa TNT) eksploziva za miniranje zgrada, za prenosna punjenja i eksplozivna punjenja mina, granata i bombi. Već za vrijeme prvog svjetskog rata upotrebljavane su smjese TNT i amonijum-nitrata pod imenom *amatoli* radi štednje deficitarnim toluenom. Za vrijeme drugog svjetskog rata TNT upotrijebljen je kao nosač brizantnijih eksploziva; *tetril* je, npr., približno eutektična smjesa TNT i tetrila (30 : 70) koja je prema udaru i inicijaciji manje osjetljiva nego tetril, a ima znatno veću eksplozivnu snagu nego TNT. *Pentoliti* su smjese TNT i PETN. Mješavina TNT i heksogena s dodatkom 1% voska (radi sprečavanja segregacije pri lijevanju) postala je u drugom svjetskom ratu najvažniji eksploziv za razorna punjenja bombi. Kao eksplozivi koji imaju više gurajuće nego rasprskavajuće djelovanje (za avionske bombe, torpeda, morske mine) upotrebljavaju se eksplozivne mješavine koje sadrže aluminijum u prahu: najjače djelovanje imao je *torpeks*: TNT-heksogen-Al (41 : 41 : 18). Plastični eksplozivi, od kojih se neki mogu oblikovati rukama te služe za rušenje zgrada, sastoje se od heksogena i neeksplozivnih uljevitih plastifikatora.

Tablica 1
SVOJSTVA NAJVAŽNIJIH EKSPLOZIVNIH TVARI

Eksplozivna tvar	Toplina eksplozije kcal/kg*	Volumen produkata dm ³ /kg**	Gustoća punjenja kg/dm ³	Brzina detonacije m/s	Trauzlova proba cm ² /10 g
Azid olova	370	308	4,0	5100	110
Praskava živa	370	316	4,17	5400	130
Trinitrotoluen	950	690	1,60	6900	305
Pikrinska kiselina	1000	675	1,69	7300	315
Tetril	1100	710	1,63	7200	375
Heksogen	1320	908	1,70	8400	475
Praskavi pamuk (13,47% N)	1050	765	≤ 1,30	6800	420
Glicerilnitrat	1500	715	1,60	7600	550
Pentaeritritoltetra-nitrat	1400	780	1,70	> 8000	510
Nitrogvanidin	760	1077	1,70	8400	475
Amonijum-nitrat	370	316	0,8...1,1	2500	200
Amonijum-perklorat	265	810	1,17	2500	195

* pri konstantnom volumenu **na 0 °C i pod 1 at

Privredni eksplozivi. Ti eksplozivi, koji služe poglavito za minerske radove, mogu se podijeliti na želatinozne i praškaste; prema sastavu mogu se podijeliti na privredne eksplozive koji sadrže glicerilnitrat i/ili etilenglikolnitrat (praskava želatina, dinamiti, amon-geliti) i privredne eksplozive bez glicerilnitrata ili etilenglikolnitrata (amonijumnitrati eksplozivi). Upotreba crnog baruta (v. dalje) i tekućeg zraka v. *Dobivanje (rudarsko) bez upotrebe eksploziva*, str. 379) za te svrhe danas je sasvim neznatna.

Tehnologija proizvodnje privrednih eksploziva iz njihovih sastojaka sastoji se u tome da se ti sastojci dobro pomiješaju. Za to se upotrebljavaju, već prema agregatnom stanju i konsistenciji mješavine, miješalice i gnjetelice različitih tipova (v. *Miješanje*). Pri tom se poduzimaju sve mjere opreza da ne bi došlo do opasnog trenja ili udaranja među dijelovima aparata.

Praskava želatina dobiva se miješanjem i gnjetenjem 92...93% glicerilnitrata sa 7...8% kolodijskog celuloznog nitrata (11,8...12,4% N) na 40°C. Predstavlja žutu želatinoznu plastično-elastičnu masu gustoće 1,6, koja se ručno pogonjenim presama ili automatskim strojevima puni u papirnate patrone. Upotrijebi li se umjesto čistog glicerilnitrata smjesa glicerilnitrata i etilenglikol-dinitrata, želatiniranje se može obaviti na običnoj temperaturi i dobivena praskava želatina se ne može smrznuti. Praskava je želatina manje osjetljiva od glicerilnitrata (detonira pri udaru maljem od 2 kg koji pada s visine od 15 cm), jedan je od najbrizantnijih eksploziva (brzina detonacije 7600...7800 m/s), ali joj brizantnost opada dugim stajanjem. Praskava želatina upotrebljavala se nekada za miniranje u tvrdim i žilavim stijenkama, u kojima je bilo teško praviti velike vrtime potrebne za manje brizantne eksplozive. Danas, kad pravljenje velikih vrtina nije više problem, mjesto praskave želatine radije se upotrebljavaju manje osjetljivi i jefti-

niji amon-geliti. Praskava želatina odlično je otporna prema vodi pa se upotrebljava za podvodna rušenja.

Dinamiti. Prvi Nobelov dinamit, kojim je omogućio praktičnu primjenu glicerilnitrata kao eksploziva, bio je praškasta smjesa glicerilnitrata i infuzorijske zemlje. Taj se dinamit danas zbog razmjerno manje brizantnosti više ne upotrebljava. Kasnije je Nobel zamijenio inertnu infuzorijsku zemlju smjesom fino mljevenog natrijum-nitrata i sagorljivog materijala kao što je pilovina, celuloza i sl. Tome je kasnije dodato malo sumpora i neke bazične tvari radi vezanja kiseline (krečnjak ili cink-oksidi). Količine sastojaka tih *praškastih natrijumnitrata* udese se tako da je bilanca kisika eksploziva (uzimajući u obzir i parafinirani papirni omot patrone) izjednačena. *Želatinozni (natrijumnitrati) dinamiti* predstavljaju uglavnom u različitom stepenu oslabljenu praskavu želatinu, u njima sadržaj želatiniranog gliceril-nitrata odn. njegove smjese s etilenglikoldinitratom može biti smanjen i do 20% dodatkom natrijum-nitrata, drvene pilovine i ev. sumpora. (Klasični dinamit 1 sadrži 65% želatiniranog glicerilnitrata, 27% natrijum-nitrata i 8% pilovine.) Želatinozni (natrijumnitrati) dinamiti su danas velikim dijelom, a praškasti gotovo sasvim istisnuti od amonijumnitrata i amonijumnitrata eksploziva bez glicerilnitrata, koji su jeftiniji i po jedinici težine i po jedinici eksplozione snage. *Praškasti amonijumnitrati* sadrže, kako im ime kaže, znatne količine amonijum-nitrata, koji obično zamjenjuje dio glicerilnitrata (ili smjese glicerilnitrata i glikola) klasičnih praškastih dinamita i također dio natrijum-nitrata, čime se povećava volumen plinova razvitih pri detonaciji. Oni imaju približno istu eksplozivnu snagu kao želatinozni dinamiti, ali su od njih manje brizantni i imaju manju brzinu detonacije. Također su manje otporni prema vodi nego ranije spomenuti dinamiti, ali im je ta otpornost dovoljna za većinu tehničkih primjena, te oni idu danas među najviše upotrebljavane privredne eksplozive. *Želatinozni amonijumnitrati dinamiti* predstavljaju amonijumnitrata dinamite želatinirane celuloznim nitratom. Oni u pogledu otpornosti prema vodi, volumena razvitih plinova, brzine detonacije i brizantnosti zauzimaju srednji položaj između (praškastih) amonijumnitrata i običnih (natrijumnitrata) želatinoznih dinamita. Ako se u želatinoznim dinamitima glicerilnitrat potpuno zamijeni etilenglikolnitratom, a natrijum-nitrat amonijumnitratom, dobiju se želatinozni *amon-geliti*, amonijumnitrati eksplozivi koji su po svom djelovanju jednaki dinamitima, ali su od njih manje osjetljivi prema udarcima i grijanju.

Oni sadrže ponekad za povećanje osjetljivosti i nitrirane aromatske spojeve.

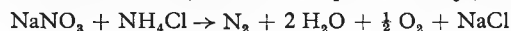
Amonijumnitrati eksplozivi bez glicerilnitrata (nitroglicerina). Sam amonijum-nitrat je doduše eksplozivna tvar, ali ga je vrlo teško dovesti do detonacije. Ako se senzibilizira dodatkom sagorljivih tvari (metala i legura u prahu, kolofonija, heksametilentetramina, mineralnih ulja, voskova) i te tvari dodaju u količinama dovoljnim da se postigne izjednačena bilanca kisika, dobivaju se eksplozivi koji su jeftini, sigurni pri rukovanju i uz to vrlo brizantni (npr. brizancija smjese 94,5% NH_4NO_3 i 5,5% loživog ulja, mjerena balističkim njihalom, iznosi 120% brizancije trinitrotoluena). Ti su eksplozivi uvelike istisnuli dinamite u minerskim radovima kamenoloma, rudnicima metalnih ruda, nemetalnih ruda i soli. Oni se vrlo lako proizvode, štaviše, oni se ponekad pripremaju na samom mjestu upotrebe tako da se (široke i duboke) vrtine površinskih kopova istovremeno pune amonijum-nitratom (kvaliteta koji se upotrebljava i kao gnojivo) i mineralnim uljem. Druga vrsta eksploziva na bazi amonijumnitrata predstavlja amonijum-nitrat senzibiliziran detonantnim senzibilizatorima, npr. dodatkom 5...12% trinitrotoluena ili većih postotaka dinitrotoluena (*amoniti*) ili 4...6% glicerilnitrata (*donariti*) uz dodatak sagorljive tvari (npr. ugljenog praha) do izjednačenja bilance kisika. Odnedavna se mnogo upotrebljavaju umjesto dinamita i *kašasti eksplozivi*, koji predstavljaju kašaste suspenzije neotopljenog nitrata, organskog goriva (ili zgušnjivača) i netopljivog senzibilizatora u zasićenoj otopini amonijum-nitrata i natrijum-nitrata. Takve se eksplozivne kaše mogu dovesti do detonacije prenosnim inicijalnim punjenjima. Voda u njima (11...20%) smanjuje doduše toplinu eksplozije, ali je to dobrim dijelom kompenzirano većim volumenom razvitih plinova i velikom gustoćom punjenja. Razviti su kašasti eksplozivi koji sadrže TNT, celulozni nitrat ili nitrat skroba kao senzibilizatore, a skrob, celulozu i praškasti aluminijum kao gorivo.

Rudarski (sigurnosni) eksplozivi. U širem smislu mogu se sigurnosnim eksplozivima nazvati svi eksplozivi koji su neosjetljivi i stoga sigurni pri rukovanju. U užem smislu, međutim, sigurnosnim (metanskim) eksplozivima nazivaju se eksplozivi upotrebljivi u rudnicima ugljena bez opasnosti da će se njima inicirati eksplozija praskavog plina i/ili ugljene prašine (v. *Eksplozije u rudnicima*). To znači, u prvom redu, da temperatura produkata eksplozione reakcije ne smije prelaziti određenu vrijednost (1800 °C) i da smiju biti samo kratko vrijeme na toj maksimalnoj temperaturi; kaže

Tablica 2
SASTAV I SVOJSTVA TIPIČNIH PRIVREDNIH EKSPLOZIVA

Eksploziv	Sastav, %							Gustoća, g/cm ³	Bilanca kisika, %	Toplina eksplozije, kcal/kg	Volumen produkata, dm ³ /kg	Brzina detonacije, m/s	Trajalova proba, cm ² /10 g	
	Glicerilnitrat	Kolodijasti pamuk	Glikolnitrat	Natrijum-nitrat	Amonijum-nitrat	Drveno brašno	Natrijum-klorid							Drugo
Praskava želatina	93	7	—	—	—	—	—	1,55	+0,6	1546	712	7700	600	
Dinamit 1	62 ¹ / ₂	2 ¹ / ₂	—	27	—	8	—	1,53	+3,0	1281	600	6500	400	
Vitezit 100	Plastični eksploziv na bazi želat. nitroglicerina-dinitroglikola (93%)							1,52	+0,2	1550	713	7300	592	
Vitezit 60	Plastični amonijumnitrati eksploziv sa 60% želat. nitroglicerina-dinitroglikola							1,48	+0,8	1300	789	6500	516	
Vitezit 5	Amonijumnitrati praškasti eksploziv sa 5% nitroglicerina-dinitroglikola							1,13	+1,01	—	—	4800	380	
Amon-gelit	—	23	10	55	1	—	Aromatski nitrospojevi 11	1,55	+3,7	872	800	5500	375	
Amonal	Amonijumnitrati praškasti eksploziv bez nitroglicerina, s trinitrotoluenom							1,03	+0,2	961	920	4300	390	
Kamnilit I	Isto s manje trinitrotoluena i ev. s uljem							1,00	+1,3	910	930	3800	370	
Donarit 1	4	—	—	—	89	2	—	Trinitrotoluen 14	1,00	+3,2	960	900	4500	370
Nitrol 1	Amonijumnitrat + tekuće gorivo							1,00	+0,5	920	945	3300	350	
Kameks	Metalizirani vodeni kašasti nitrati eksplozivi							1,50	+3,0	830	770	5500	—	
Wetter-Nobelit B	30	—	—	26 ¹ / ₂	1 ¹ / ₂	40	50%tna otop. Ca(NO ₂) ₂ 3	1,69	+5,2	570	500	5600	185	
Metankamnilit I	—	—	—	61 ¹ / ₂	—	29 ¹ / ₂	Trinitrotoluen 6 ¹ / ₂ Ugljeni prah — ksilit 2 ¹ / ₂	1,10	+4,2	560	650	3200	210	
Metanvitezit-5	2 ¹ / ₂	—	2 ¹ / ₂	—	59	4 ¹ / ₂	29 ¹ / ₂ Nitrirani toluen 2	1,15	+3,3	600	650	3200	190	

se da su takvi sigurnosni eksplozivni »hladni«. To se postiže time što se izbjegavaju previše egzotermne eksplozivne reakcije i eksplozivnoj mješavini dodaju tvari koje troše toplinu time što se zagriju, isparuju, raspadaju i/ili među sobom reagiraju. Kao inertni materijal koji djeluje svojim toplinskim kapacitetom upotrebljavaju se finorazdijeljeni materijali kao diatomejska zemlja, glina, pijesak; kao materijal koji se raspada i/ili isparava služe alkalijski kloridi (obično NaCl), soli s vezanom odn. kristalnom vodom (natrijum-hidrogenkarbonat, magnezijum-sulfat, alaun, sadrovac). Primjer za trošenje topline reakcijom jest dodatak amonijum-klorida praškastom dinamitu. Reakcija između NH_4Cl i NaNO_3 (ili KNO_3):



endotermna je i njome nastaje alkalijski klorid fino razdijeljen i lako isparljiv. Kao osnovni eksplozivi kojima se dodaju upravo spomenuti dodaci radi postizanja »hladnog« plamena služe kako praškasti i želatinozni dinamiti tako i eksplozivi na bazi amonijum-nitrata.

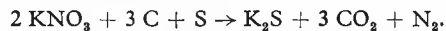
Rudarski sigurnosni eksplozivi moraju imati pozitivnu bilancu kisika, proširenje u Trauzlovom bloku mora biti ispod $240 \text{ cm}^3/10 \text{ g}$, a u pokusnom rovu naboj od 450 g ne smije upaliti zrak sa 9% metana, niti naboj od 600 g odgovarajuću količinu ugljene prašine. Pokusni rov je cilindar elipsastog presjeka površine 2 m^2 , u kojem se zatvaranjem pergament-papirom obrazuje »eksplozivna komora« volumena 10 m^3 . Ta je komora napunjena zrakom sa 9% metana i ev. određenom količinom finosamljevene ugljene prašine. Na dnu hodnika pali se u mužaru najprije 400 g eksploziva, a onda po 50 g više dok se metan ne zapali. Smatra se da je ono punjenje sigurno koje u pet uzastopnih paljenja ne prouzrokuje eksploziju praskavog plina odn. smjese praskavog plina i ugljene prašine.

Sastav i svojstva tipičnih privrednih eksploziva navedeni su u tablici 2.

Deflagrantni eksplozivi (baruti)

Do šezdesetih godina prošlog stoljeća jedini poznati eksploziv bio je crni barut, on se upotrebljavao kako za izbacivanje zrna iz vatrenog oružja tako i za miniranje u rudarstvu i drugdje. Pronalaskom celuloznog nitrata i praskave želatine počeo je razvoj kojim je crni barut gotovo sasvim zamijenjen modernim eksplozivima: detonantnim eksplozivima u minerskim radovima, a tzv. bezdimnim (bolje: malodimnim) barutima u balističke svrhe. Danas se crni barut upotrebljava u maloj mjeri za miniranje, a najviše za sporogoreće štapine, tempirne kolute artiljerijske municije, za lovačku i manevarsku municiju. Malodimni baruti se tako zovu jer njihovo sagorijevanje (za razliku od sagorijevanja crnog baruta) ne daje (ili daje malo) čvrstih produkata, te stoga pri njihovoj upotrebi nastaje malo dima. Oni se dijele na nitrocelulozne i nitroglicerinske malodimne barute, prema osnovnoj sirovini iz koje se prave.

Crni barut sastoji se od drvenog ugljena, kao glavnog sagorljivog sastojka, salitre (kalijum-nitrata) kao nosioca kisika, i sumpora, koji treba da ubrza paljenje i da zajamči sigurno izgaranje manje reaktivnog ugljena. Sastav se crnog baruta od vremena kad je prvi put primijenjen kao propulzivno sredstvo pa do danas malo izmijenio. Obično je: 64–80% salitre, 5–25% drvenog ugljena i 5–30% sumpora (klasični je sastav 75 : 15 : 10). Odnosu $2 \text{ KNO}_3 : 3 \text{ C} : \text{S}$ odgovarao bi sastav 71,5% KNO_3 , 15,0% C, 13,5% S, te bi jednadžba potpunog sagorijevanja takve smjese glasila:



Međutim, praktički nije moguće izgraditi sastav baruta na osnovu izjednačene bilance kisika.

Za izradu pirotehničkih artificija i sporogorećih štapina izrađuje se barutno brašno tako da se prethodno fino samljevene sirovine u određenom omjeru miješaju u kožnim bubnjevima s drvenim kuglama dok smjesa postane sasvim homogena. Za druge svrhe crni barut pripravlja se tako da se salitra, s jedne strane, i drveni ugljen sa sumporom, s druge strane, odvojeno samelju i onda kotrljama (»kolergangom«) miješaju i rastrljavaju uz dodatak male količine vode. Tako dobiveno homogeno tijesto zgušnjava se hidrauličkim presama i onda u obrtnim poligonalnim bubnjestim sitima kuglama od plastične mase razmrvi, prosijava i polira. Sitni prosvjev vraća se u presu. Mijenjanjem sastava unutar gore

navedenih granica, stepena zgušnjenja presovanjem (gustoće punjenja), porijekla i stepena pougljenja drva mogu se mijenjati svojstva crnog baruta. Tako se brzina gorenja baruta za štapin regulira omjerom udjela sumpora i ugljena; manje zgnusnuta zrna lakše se pale, više zgnusnuta se manje drobe i bolje poliraju, itd.

Crni barut je tamnosive do sivocrne boje s jačim ili slabijim metalnim sjajem. Relativna mu je gustoća, prema stepenu zgušnjenja, 1,5–1,7. Lako se zapali iskrom, plamenom, udarom i trenjem, pa spada među najopasnije eksplozive u pogledu rukovanja. (Stoga se proizvodnja baruta obavlja u velikom broju malih kućica s laganim krovom, ograđenima zemljanim nasipima; ako u jednoj od njih nastane eksplozija, ona se ne može prenijeti na druga postrojenja.) Tek sa 15% vode postaje neosjetljiv, ali i neupotrebljiv.

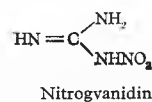
Crni barut upotrebljava se za miniranje u rudnicima i kamenolomima kad treba odvaliti komade stijene bez pukotina (npr. za izradu kamena za kaldrmu), za pogon malih raketa (npr. raketa protiv tuče), za paljenje čvrstog raketnog goriva i za druge vojne i civilne svrhe o kojima je naprijed bilo govora. Za miniranje upotrebljava se, umjesto crnog baruta s kalijum-nitratom, i barut s natrijum-nitratom (*praskava salitra*), koji je jeftiniji i sporije gori. Budući da je praskava salitra higroskopnija od običnog baruta, zrna joj se prevlače slojem grafit. Praskava salitra dolazi u trgovinu i u obliku peleta, cilindričnih tijela 25–37 mm \varnothing , s rupom u sredini za provlačenje štapina; više takvih peleta može se spojiti u patronu željene snage.

Malodimni baruti. Osnovni je sastojak svih malodimnih baruta celulozni nitrat (nitroceluloza), i to bilo kolodijski, topljivi u eter-alkoholu, sa 12,6% N, bilo smjesa kolodijskog nitrata sa praskavim pamukom, sa 13,3% N. U vlaknastom stanju u kojem se celulozni nitrat dobiva nitracijom celuloze on nije upotrebljiv kao propulzivni eksploziv, već se mora pri proizvodnji malodimnih baruta prevesti želatinacijom u koloidni gel iz kojeg se mogu oblikovati gusta, kompaktna tijela. Malodimni baruti kojima je jedina eksplozivna sastojina celulozni nitrat, a želatiniraju se smjesom etera i alkohola, nazivaju se *nitroceluloznim barutima*. Malodimni baruti koji pored celuloznog nitrata sadrže, radi pojačanja djelovanja, znatne količine glicerilnitrata nazivaju se *nitroglicerinskim barutima*. Nitroglicerinske barute u kojima glicerilnitrat služi i kao sredstvo za želatiniranje (otapalo) zovu *balistitima*, a one u kojima kao sredstvo za želatiniranje služi acetone zovu *korditima*. Treća vrsta nitroglicerinskih baruta proizvodi se bez upotrebe otapala, već se želatiniranje postiže intenzivnom mehaničkom obradom u prisutnosti *plastifikatora*, npr. dibutilftalata, difeniluretana ili centralita, koji služi i kao stabilizator.

I male količine dušične kiseline zaostale u celuloznom nitratu pogoduju polaganom njegovom raspadanju, pri čemu nastaju oksidi dušika, koji ubrzavaju raspad celuloznog nitrata, te može na kraju doći i do njegove detonacije. Stoga se nekad celulozni nitrat namijenjen balističkim svrhama podvrgavao, prije dalje prerade, dugotrajnom temeljitom procesu pranja uz razvlaknivanje, sličnom procesu pranja celuloze u proizvodnji papira. Danas je problem stabilizacije celuloznog nitrata riješen dodatkom malih količina (0,5–1%) *stabilizatora*, slabih organskih baza koje vežu dušične okside (npr. difenilamina $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH}$ ili tzv. centralita, N,N' -dietilkarbanilida $\text{OC}[\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{C}_6\text{H}_5]_2$).

Osim navedenih sastojaka — eksplozivnih tvari, plastifikatora, stabilizatora — malodimni baruti mogu sadržati i *flegmatizatore* za smanjenje brzine sagorijevanja, npr. dinitrotoluen. Flegmatizator se često dodaje na kraju procesa proizvodnje, da tvori prevlaku na zrnima baruta. Ponekad malodimni baruti sadrže i anorganske nitrare i perklorate kao nosioce kisika. Malodimni baruti na bazi samog celuloznog nitrata nazivaju se i *jednobaznim*, a oni na bazi celuloznog nitrata i gliceril-nitrata ili diglikoldinitrata, *dvobaznim*. *Trobazni* malodimni baruti su nitroguanidinski, koji, osim celuloznog nitrata i glicerilnitrata ili diglikoldinitrata, sadrže 20–40% kristalnog nitroguanidina. Oni su energetski jači od nitroceluloznih baruta i imaju niže temperature sagorijevanja.

Ako se glicerilnitrat u nitroglicerinskom barutu zamijeni diglikoldinitratom, dobije se *diglikolski barut*, koji se naziva i hladni malodimni barut jer ima nižu temperaturu sagorijevanja



nego nitrocelulozni i nitroglicerinski baruti, te stoga u manjoj mjeri ispoljava najveću manu malodimnih baruta: da uslijed visokih temperatura sagorijevanja oštećuju topovske cijevi i stvaraju bljesak pred ustima topa.

U proizvodnji malodimnih baruta primjenjuju se dvije načelno različite tehnike: rad u bezvodnoj i rad u vodenoj fazi. Pri prvoj od tih tehnika celulozni nitrat, ako dolazi u proces nakvašen vodom a ne alkoholom, što potpunije se oslobodi vode istiskivanjem vode alkoholom (svaki postotak vlažnosti u barutu smanjuje mu »silu« za ~1%), po starijem postupku u centrifugama, po novijem u posudama s klipom koji alkohol protiskuje kroz vlaknasti nitrat. Onda se u miješalicama i gnječilicama obrađuje sredstvima za želatiniranje (otapalima i/ili glicerilnitratom), uz dodatak drugih sastojaka; dobiveno se homogeno tijesto istiskivanjem pod pritiskom formira u rezance, vrpce, cjevčice i sl., koje se u sušnicama pod vakuumom oslobadaju glavnine otapala, rasjeckaju u zrna različitih oblika i ponovo suše u vakuumskim sušnicama (svaki procenat otapala koji zaostane u barutu smanjuje mu »silu« za ~2,5%). Barutna zrna se u okretnim bakarnim bubnjevima s drvenim kuglicama prevlače grafitom (da se spriječi nabijanje baruta statičkim elektricitetom) i otopinom flegmatizatora, potapanjem u toplu vodu oslobode organskog otapala i na kraju, sušenjem, površinski adsorbirane vode.

Na ovaj način proizvodi se nitrocelulozni barut iz smjese slabije i jače nitrirane celuloze, sa 13,05...13,3% N, uz upotrebu eter-alkohola za želatiniranje (pri tom se želatinira samo kolodijski pamuk). Taj barut je stabilniji od nitroglicerinskog i manje oštećuje cijevi topova, ali je energetski slabiji. Balistit se na opisani način proizvodi iz celuloznog nitrata sa 12,4% N i glicerilnitrata, uz dodatak stabilizatora. Da bi se celulozni nitrat želatinirao samim glicerilnitratom, ovoga mora biti u smjesi 40...50%. Balistit je energetski najjači barut, ali ima vrlo visoku temperaturu sagorijevanja, pa najjače oštećuje topovske cijevi. Brzo sagorijeva pa za kratko vrijeme postigne maksimalni pritisak; stoga se najviše upotrebljava za municiju bacača, haubica i brdskih topova. Korditi se proizvode na opisani način iz celuloznog nitrata sa 12,9...13,2% N i glicerilnitrata (~30% u gotovom barutu) uz upotrebu acetona kao sredstva za želatiniranje. Oni su se upotrebljavali najviše za mornaričku artiljeriju, ali ih danas istiskuju baruti s boljim osobinama.

Za proizvodnju nitroceluloznog baruta po postupku u vodenoj fazi, vlaknasti se celulozni nitrat u vodenoj suspenziji intenzivno miješa na 50 °C uz dodatak otapala koji se s vodom ne miješa (npr. etilacetat) i stabilizatora. Dobije se gusta emulzija koja se sastoji od vode dispergirane u tjestovitoj otopini celuloznog nitrata. Nakon dodatka zaštitnog koloida kao emulgatora, duljim snažnim miješanjem dispergira se otopina celuloznog nitrata u vodi u obliku sitnih kuglica tjestovite konsistencije. Iz tih kuglica uklanja se voda osmozom time što se u vodenoj fazi disperzije otapa neka anorganska sol (npr. natrijum-sulfat), a otapalo se uklanja isparivanjem. Nakon toga u disperziji se nalazi celulozni nitrat u obliku tvrdih kuglica promjera ~0,3...0,7 mm. Dodatkom emulzije pogodnog flegmatizatora koji se selektivno adsorbira na kuglicama celuloznog nitrata, ovima se može regulirati brzina izgaranja, a može im se i na isti način dodati glicerilnitrata radi povećanja »sile«. Na kraju se kuglice baruta ofiltriraju, suše i prevuku grafitom da se spriječi stvaranje elektrostatičkog naboja. Na opisani način može se proizvoditi malodimni barut za municiju vojničkih i lovačkih pušaka.

Za proizvodnju nitroglicerinskih baruta bez organskog otapala, celulozni nitrat se u vodenoj suspenziji uz dodatak svih sastojaka bezdimnog baruta miješa i cirkulira kroz pumpe na 60 °C kroz 30 minuta. Iz dobivene vlaknaste paste, koja sadrži na vlaknima adsorbirane i okludirane tekuće i čvrste sastojke eksploziva, suvišna se voda ukloni centrifugiranjem, onda se pasta suši na ≤ 60 °C do vlažnosti 10% i takva se obrađuje između dva topla valjka koji se okreću različitim brzinama. Podvrgnut na taj način intenzivnom trljanju i pod djelovanjem prisutnog plastifikatora, celulozni se nitrat želatinira i istovremeno suši; na kraju se dobiva u obliku listova (»barutnog platna«) vlažnosti ispod 0,5%. Iz takvih listova (male debljine) može se sječenjem neposredno praviti barut male »sile« za minobacače. Za proizvodnju jačeg baruta veće sile, rasječeni se listovi istiskuju pod visokim pritiskom iz

presa, istisnuta vrpca se rasječe na tijela potrebne veličine, ova se, ako treba, prevlače flegmatizatorom i doraduju na različite druge načine. Prednost je ovog načina proizvodnje bezdimnog baruta što pri njemu otpadaju sve operacije za uklanjanje otapala. To je jedini način kojim se može dobiti bezdimni barut u obliku tako velikih tijela (npr. za rakete) da bi iz njih bilo tehnički gotovo nemoguće ukloniti otapalo. Tako proizveden barut za artiljerijsku municiju balistički je vrlo stabilan i ima mnogo nižu temperaturu sagorijevanja nego balistit i kordit. Zbog ostvarivanja velike početne brzine upotrebljava se naročito za municiju topova velike moći, protivavionskih, protivtenkovskih, mornaričkih i obalskih topova. Za iste svrhe proizvode se na sličan način i nitrogvandinski baruti, koji su »hladniji« i od nitroglikolnih.

NEKE SPECIJALNE PRIMJENE EKSPLOZIVA

O glavnim područjima primjene eksploziva, primjeni za vojne svrhe i za miniranje u rudarstvu i građevinarstvu, bilo je već govora. O spomenutim primjenama privrednih eksploziva vidi više u članku *Miniranje*. Ovdje će se spomenuti nekoliko primjena izvan tih područja: u seizmici, strojarstvu i bušenju na naftu.

Seizmičkim mjerjenjima s pomoću eksplozija izazvanih eksplozivima mogu se riješiti tektonička pitanja, lokalizirati strukture i rasjedi, dobiti informacije o položaju slojeva u velikim dubinama unutrašnjosti Zemlje itd. Pri tom se oscilografski registriraju elastični valovi, narinuti stijenama s pomoću eksplozija, i prate njihove refleksije i refrakcije na diskontinuitetima. Te se eksplozije izazivaju često pod vodom ili u dubokim, vodom ispunjenim vrtinama; stoga upotrijebljeni eksplozivi treba da podnose pritiske od 100 m vodenog stuba i više, a da ne gube sposobnost detoniranja. Obični eksplozivi gube u znatnoj mjeri sposobnost detonacije već pod znatno manjim pritiscima (za želatinozne eksplozive kritičan je već pritisak od 3,5 at); stoga treba seizmičke eksplozive upotrebljavati u patronama od čeličnog lima otpornima prema pritisku (do ~80 m dubine) ili upotrebljavati eksplozive kojima je osjetljivost prema detonaciji inicijalnim eksplozivima povećana s pomoću inertnih dodataka. Tvrde tvari oštih bridova, kao mljeveni ploučac ili kremen, dobro djeluju u tom smislu, ali povećavaju i osjetljivost prema trenju; kristali pogodnog oblika i veličine nekih tvari [npr. željezo(III)-oksida, barijum-sulfata] povećavaju osjetljivost prema detonaciji ne povećavajući u znatnoj mjeri osjetljivost prema trenju. Kao seizmički eksplozivi upotrebljavani su različiti specijalni dinamiti i amonijum-nitratni eksplozivi bez glicerilnitrata. Oko seizmičkih eksploziva ima dosta konspiracije, pa njihov tačan sastav nije uvijek publiciran.

O jednoj primjeni eksploziva u strojarstvu, tzv. termozakovicama, riječ je na drugom mjestu u ovoj enciklopediji (TE 1, str. 238). Druge primjene jesu: eksploziono oblikovanje metala, eksploziono zavarivanje, eksploziono metalokeramika, eksploziono rezanje i cijepanje, eksploziono ekstruzija, eksploziono štancanje i eksploziono otvrdnjavanje. U većini tih primjena iskorištava se pritisak što nastaje pri eksploziji; on je kratkotrajan, ali znatno veći nego pritisci koji se mogu postići i najsnažnijim hidrauličkim presama. Pri *eksplozionom oblikovanju* taj se pritisak upotrebljava za to da se i razmjerno debele metalne ploče utisnu u matricu; dobivaju se šuplji oblici (i vrlo zamršeni) tačnih dimenzija, jednolične debljine stijenke, bez pukotina. Čak i varni šavovi na obrađenoj ploči deformiraju se u toj operaciji bez prskanja. To isto vrijedi također za *ekstruziju* i *štancanje pod pritiskom eksplozije*. *Eksplozionim zavarivanjem* mogu se hladno spajati i metali vrlo različite strukture i tačke taljenja; oni se eksplozionim pritiskom na graničnoj površini naprosto utisnu jedan u drugi. Tako se naročito bakar plitira čelikom. Na isti način može se tumačiti i hladno sljepljivanje čestica praša u kompaktne predmete pod pritiskom eksplozije (*eksploziono metalokeramika*). Pri *eksplozionom rezanju* iskorištava se povratni val negativnog pritiska (tenzije) koji prolazi kroz materijal kad se val pozitivnog pritiska (kompresije) reflektira na slobodnoj površini predmeta; po površini na kojoj tenzija postaje veća od čvrstoće materijala, predmet se slomi, razdvoji ili pocijepa. Na taj način mogu se razdvojiti veliki blokovi metala i rascijepati tanki limovi na po dva lima polovične debljine. *Otvrdnjavanjem pod pritiskom eksplozije* postižu se rezultati jednaki rezultatima postizanim pri hladnoj obradi, ili čak bolji.

Za napucavanje (perforiranje) bušotina dobivenih dubinskim bušenjem na naftu i plin (v. *Bušenje na veliku dubinu*, TE 2, str. 562), glicerilnitrat (nitroglicerina), i pored njegove osjetljivosti koja je uzrokovala brojne nesreće, dugo je bio tradicionalni eksploziv. Danas se upotrebljavaju manje opasni eksplozivi velike energije i brzine detonacije, npr. želatinozni dinamit sa 75% glicerilnitrata ili (u USA) 70% nitriranog skroba. U nekim slučajevima upotrebljava se i amonijumnitrati eksploziv sa 87% NH_4NO_3 i svega 2,5% glicerilnitrata.

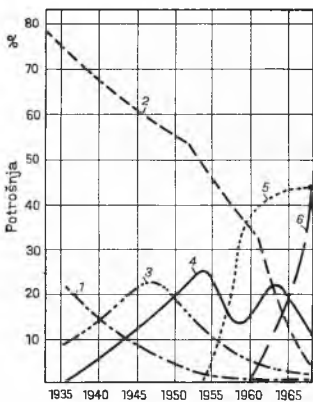
PROIZVODNJA I POTROŠNJA EKSPLOZIVA U SVIJETU I U NAS

O svjetskoj proizvodnji eksplozivnih tvari ne postoje pristupačni statistički podaci, jamačno zbog toga što u mnogim zemljama nema oštrog razgraničenja između proizvodnje vojnih i privrednih eksploziva. O redu veličine proizvodnje privrednih eksploziva dobiva se pojam iz podataka o »prividnoj potrošnji« tih eksploziva u USA, skupljenih u tabl. 3. (Prividna potrošnja je ukupna proizvodnja plus uvoz minus izvoz.) Iz tih podataka

Tablica 3
PRIVIDNA POTROŠNJA PRIVREDNIH EKSPLOZIVA U USA (lb)

Eksploziv	1948	1961	1962
Crni barut	33 239 700	1 520 800	1 222 000
Metanski eksplozivi	126 282 153	73 438 888	72 883 973
Dinamiti i sl.	550 085 616	460 224 123	436 990 610
Granulirani amonijum-nitrat	podaci nisu sabirani	484 652 380	554 774 628
Konfencionirani amonijumnitrati eksplozivi		181 550 069	244 291 227
Eksplozivi s tekućim kisikom	16 619 704	2 234 657	2 243 384
UKUPNO	725 227 173	1 203 620 917	1 312 406 032

i sl. 3 razabira se naglo opadanje primjene crnog baruta i tekućeg kisika kao eksploziva i porast amonijumnitrata eksploziva na račun dinamita i srodnih proizvoda. Potrošnja privrednih eksploziva bila je 1962 u USA raspodijeljena ovako: ugljenikopi 33%, kamenolomi i rudnici nemetala 22%, željeznice i građevinarstvo 21%, rudnici metala 19%, seizmičke primjene 4%, ostalo 1%.



Sl. 3. Potrošnja različitih vrsta eksploziva u USA 1938—1966. 1 Crni barut, 2 dinamiti, 3 metanski eksplozivi, 4 amonijum-nitrat, 5 konfencionirani amonijumnitrati eksplozivi, 6 kašasti vodni eksplozivi. (Opadanje udjela metanskih eksploziva odražava uglavnom zaostajanje ugljena za naftom kao gorivo)

najnovijeg vremena eksplozive od amonijum-nitrata i tekućeg goriva (nitrol) i kašaste vodene amonijumnitrata eksplozive (kameks). Ukupna proizvodnja 1965 iznosila je 8000 t. »Preduzeće Miloje Zakić« u Kruševcu pušteno je u pogon 1891 kao Državne barutane Obilicevo. Od 1902 proizvodi i nitrocelulozni malodimni barut, poslije prvog svjetskog rata (nakon obnove) — među ostalim — i trinitrotoluen. Danas proizvodi također privredne amonijumnitrata eksplozive bez nitroglicerina. »Preduzeće Slobodan Princip-Seljo« u Vitezu proizvodi želatinozne dinamite,

plastične amonijumnitrata eksplozive i praškaste amonijumnitrata eksplozive sa nitroglicerinom (sve pod imenom vitezit). Tvornice eksploziva po pravilu proizvode također štapine i eventualno druga sredstva za paljenje eksploziva, što proizvode i neka poduzeća koja se ne bave proizvodnjom samih eksploziva.

LIT.: P. Naoüm, Schieß- und Sprengstoffe, Dresden 1927. — C. Beyling, K. Drehsopf, Sprengstoffe und Zündmittel, Berlin 1936. — T. L. Davis, The chemistry of powder and explosives, New York 1943. — C. S. Robinson, Explosives, their anatomy and destructiveness, New York 1944. — H. Maraaur, Poudres et explosifs, Paris 1947. — A. Stettbacher, Die Schieß- und Sprengstoffe, Zürich 1948. — T. L. Davis, The science of high explosives, New York 1950. — F. B. Bowden, A. D. Yoffe, Initiation and growth of explosions in liquids and solids, Cambridge 1952. — I. H. Хитрын, Физика горения и взрыва, Москва 1957. — К. К. Андреев, Термическое разложение и горение взрывчатых веществ, Москва 1957. — J. Pantoflíček, Teorie výbušnin, Praha 1957. — A. Stettbacher, Explosivstoffe, Mannheim 1956/58. — M. A. Cook, The science of high explosives, New York 1958. — R. McAdam, R. Westwater, Mining explosives, London 1958. — E. I. du Pont de Nemours & Co, Inc., Blasters' handbook, Wilmington, Del., 1958. — R. Steinberger, Preparation and properties of double-base propellants. Chemistry of propellants, London 1960. — S. S. Penner, J. Ducarme (editors), The chemistry of propellants, New York 1960. — F. Weichelt, Handbuch der Sprengtechnik, Leipzig 1961. — B. T. Federoff (ed.), Encyclopedia of explosives and related items, vol. I, Picatinny Arsenal, USA 1960. — T. Urbanski, Chemie a technologie výbušnin, 3 sv., Praha 1958/59 (prijevod s poljskog). Ima i njemački prijevod: Chemie und Technologie der Explosivstoffe, Bd. 1—3, Leipzig 1961/64, i engleski prijevod: Chemistry and technology of explosives, 3 vol., Oxford 1961/66. — L. Giorgio, Tecnica degli esplosivi, Udine 1964. — J. Colarić, Eksplozivne materije, Beograd 1965. — S. Fordham, High explosives and propellants, Oxford 1966.

V. Eržen P. Sabioncello

EKSTRAKCIJA, izdvajanje neke supstance iz čvrste ili tečne smeše na osnovu njene rastvorljivosti u rastvaraču u kome ostali sastojci smeše nisu rastvorljivi ili su mnogo manje rastvorljivi. Kad je posredi izdvajanje supstance iz čvrste smeše, operacija se obično naziva ekstrakcijom samo kad je rastvarač lakoisparljiva organska tečnost (*ekstrakcija čvrsto-tečnost*), a inače se naziva luženjem. U ovoj enciklopediji ekstrakcija iz čvrste faze obrađena je u članku *Luženje*, a ovde je obrađena samo ekstrakcija iz tečne faze (*ekstrakcija tečnost-tečnost*), koja će se nazivati naprosto ekstrakcija (u užem smislu).

Smeša koja se podvrgava takvoj ekstrakciji predstavlja rastvor supstance koja se ekstrahuje (*primarni rastvor*); pri ekstrakciji se ta supstanca prevodi u drugi rastvarač (*ekstrahent*) koji se s rastvaračem primarnog rastvora ne meša ili se samo ograničeno meša; tako nastaje *sekundarni rastvor*. Prema tome u operaciji ekstrakcije učestvuju dva uzajamno nerastvorljiva (ili ograničeno rastvorljiva) rastvarača i rastvorljiva supstanca koja se prevodi iz jednog rastvarača u drugi.

Izdvajanje supstance iz tečne smeše ekstrakcijom izvodi se time što se smeša najpre dovodi u prislan kontakt s ekstrahentom tako da je što veća razdelna površina kroz koju prolazi ekstrahovana supstanca iz jedne tečne faze u drugu; onda se više ili manje uravnotežene tečne faze mehanički razdvoje jedna od druge i konačno se iz rastvora obogaćenog ekstrahovanim supstancom (*ekstrakcija*) — a ako su rastvarači delimično rastvorljivi jedan u drugom, i iz rastvora iz kojeg je supstanca ekstrahovana (*rafinata*) — regeneriše (po pravilu destilacijom) ekstrahent i — ako treba — pri tom se iz ekstrakta dobija ekstrahovana supstanca.

Ekstrakcija nije — kao rektifikacija, kristalizacija, fazno topljenje — operacija kojom se neka smeša neposredno rastavlja na komponente, nego se njome npr. iz dvokomponentne smeše — uz pomoć treće komponente koja se unosi (ekstrahenta) — dobijaju, načelno, dve nove smeše (rafinat i ekstrakt), ali koje se mogu lakše razdvojiti na komponente nego ishodna smeša. Tako se npr. iz primarne smeše supstanca s bliskim tačkama ključanja (npr. butadiena i butilena), ili s malom relativnom isparljivošću (npr. voda i sirćetna kiselina), ili s vrlo velikom razlikom tačaka ključanja (npr. više masne kiseline ili vitamini u prirodnim uljima), ili supstanca koje grade azeotropnu smešu (npr. metiletilketon i voda), ili grupa supstanca kojima se oblasti temperatura ključanja presjecaju (npr. aromatski i alifatski ugljovodnici), tj. iz primarne smeše supstanca koje je rektifikacijom teško ili nemoguće razdvojiti, mogu pogodnim ekstrahentima dobiti ekstrakti koji se rektifikacijom razdvajaju lako. Iz razrednog rastvora neke supstance u rastvaraču velike toplote isparavanja (npr. benzojeve kiseline u vodi), čija rektifikacija zahteva mnogo toplote te je stoga skupa, može se dobiti ekstrakcijom koncentrovani rastvor u rastvaraču male toplote isparavanja (npr. benzojeve kiseline u benzenu) čija je rektifikacija mnogo jeftinija. Iz smeše koje se na drugi način mogu razdvojiti samo skupim postupcima (npr. smeše soli cirkonijuma i hafnijuma, v. TE 2, str. 669, 670) mogu se dobiti ekstrakti koji se srazmerno lako razdvajaju. I u slučajevima kad se želi dobiti koncentrovani ekstrakt ili čistiji rafinat supstanca koje se na povišenim temperaturama razgrađuju (npr. antibiotika) ekstrakcija dolazi do izražaja.

Ekstrakcija je kao operacija hemijske tehnike postala vrlo važna u organskohemijskoj i naftnoj industriji, ali se u novije vreme primenjuje i na anorganske sisteme. Tako se u organskohemijskoj industriji primenjuje ekstrakcija pri dobijanju toluena, butadiena i olefinâ u vrlo čistom stanju; za odvajanje parafinâ i naftenâ od aromata i nezasićenih ugljovodnika u nafti, za do-