

**AZBEST**, skupno ime za vlaknaste vrste nekih silikatnih minerala, koje se upotrebljavaju u tehnici kao anorganska vlakna. Azbest sjedinjuje u sebi na jedinstven način niz dragocjenih svojstava: otpornost prema višoj temperaturi, savitljivost, predljevost, nesagorljivost, otpornost prema nekim kemijskim djelovanjima i malu vodljivost za zvuk, toplinu i elektricitet; za neke je primjene u tehnici stoga nezamjenljiv.

Azbest je bio poznat već u starom vijeku i smatrao se velikom dragocjenošću. Ime mu dolazi od grčke riječi *ἀσβεστος* asbestos *koji se ne gasi*; ona se iz početka odnosila na svjetiljke u nekim hramovima, a kasnije se prenijela na nesagorljivi materijal od kojeg je bio napravljen stijenj tih svjetiljaka. Marco Polo (XIII st.) u svom putopisu spominje azbest i opisuje kako se od njega u Aziji prave tkanine. Za vladanja Petra Velikog počelo je kopanje azbesta u Rusiji, ali kako u ono vrijeme nije bilo potražnje za produktom kratkog vlakna, koji se dobiva u pretežnim količinama, ta se grana rudarstva nije mogla razviti. Moderna industrija azbesta razvila se u drugoj polovini prošlog stoljeća, kad su otkrivena velika nalazišta u Kanadi i kad su postignuti veliki uspjesi s primjenom azbesta na proizvodnju brtvila. Potkraj prošlog stoljeća izumljen je azbestni beton (azbest-cement) i patentiran postupak proizvodnje azbestno-cementnih ploča, a 1924 postupak proizvodnje azbestno-cementnih cijevi za visok pritisak. Danas se ta skupa i razmjerno rijetka sirovina nastoji zamijeniti jeftinijom i pristupačnijom, ali su ta nastojanja dosad imala razmjerno malo uspjeha.

**Vrste azbesta.** Azbesti koji se upotrebljavaju u tehnici mogu se prema svom mineraloškom sastavu podijeliti u dvije grupe: u *serpentinski azbest* i *amfibolski azbest*. Prvi se sastoji od minerala *hrizotila*, hidrosilikata magnezija formule  $Mg_3(OH)_4(Si_2O_6)$  ili  $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ; azbeste druge grupe tvore različiti amfiboli: *tremolit*  $Ca_2Mg_5(OH)_2(Si_8O_{22})$  ili  $2CaO \cdot 5MgO \cdot 8SiO_2 \cdot H_2O$ , u kojemu može jedan dio magnezija biti zamijenjen željezom ili željezom i aluminijem (*aktinolit*), a jedan dio hidroksidne grupe fluorom; *antofilit*  $(Mg, Fe^{II})(OH)_2(Si_8O_{22})$  ili  $7(MgO, FeO) \cdot 8SiO_2 \cdot H_2O$  (srodna ruda sa pretežnim sadržajem željeza dolazi pod imenom *amosit*); *krokidolit*  $NaFe^{III}(SiO_3)_2 \cdot (Fe^{II}, Mg)SiO_3 \cdot H_2O$  ili  $Na_2O \cdot 2(Fe^{II}O, MgO) \cdot Fe_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$ . Ekonomski je kudikamo najvažniji serpentinski azbest: on čini 93...95% ukupne svjetske proizvodnje azbesta. Od amfibolskih azbesta najviše se proizvodi krokidolitni i amositni, manje antofilitni, a najmanje tremolitni i aktinolitni.

Prispadnost azbesta pojedinoj vrsti može se utvrditi kemijskom, spektrografskom, diferencijalnom termičkom i rentgenografskom analizom, također određivanjem optičkih, magnetskih i mehaničkih svojstava (v. tabl. 1).

**Rudna ležišta azbesta.** Serpentinski azbest dolazi u tzv. ultrabazičnim stijenama (serpentiniziranim peridotitima ili serpentinitima), rjeđe u dolomitskim vapnencima. Nastao je od serpentina ili primarnih minerala, olivina i piroksena, hidrotermalnim djelovanjem, tj. utjecajem toplih vodenih otopina. Vlaknasti azbest obično se izdvaja u zonama koje su tektonski poremećene pa se odlaže u pukotinama u nepravilnom spletu ili s paralelnim vlakancima, pri čemu se vlakanca postavljaju bilo paralelno sa stranama pukotina bilo okomito na njih. Najbolji su azbesti s vlaknima okomitim na strane pukotina. Sadržaj azbesta u rudištu varira, najčešće je manji od 10%, iznimno doseže i 50%. Obično se eksploatiraju rudišta sa sadržajem većim od 3%. Donja je granica eksploatabilnosti, **uz uvjet** da su zalihe velike, sadržaj od ~1%. Ležišta amfibolskog azbesta nisu vezana

za određenu vrstu stijena. Nalaze se u izmijenjenim ili metamorfoziranim ultrabazičnim i bazičnim stijenama (peridotitima i gabrima), u metamorfoziranim pješčarima, kvarcinitima, silikatnim mramorima, gnajsovima i drugim metamorfnim stijenama. Obično se eksploatiraju ležišta sa sadržajem većim od 4%.



Blok kanadskog hrizotilnog azbesta (crude). Duljina vlakna ~ 12 cm

Glavna su ležišta serpentinskog azbesta u Kanadi (u provinciji Quebec i na drugim mjestima), zatim u SSSR (na Uralu, na Kavkazu i u Sibiru), u Južnoj Rodeziji i na Cipru. U Jugoslaviji ima mnogo nalazišta i pojava, a u eksploataciji su rudišta kod Bosanskog Petrovog Sela u Bosni, kod Korlača, Stragara i Rujišta u Srbiji, kod Bogoslovca blizu Štipa u Makedoniji. Glavna su ležišta amfibolskog azbesta u Južnoafričkoj republici (Transval, provincija Kap) i u Svazilendu, zatim u Australiji, USA, Finskoj, Japanu, Boliviji, Italiji, Bugarskoj, Siriji. Pojava amfibolskog azbesta u Jugoslaviji ima kod Halilovaca u Bosni.

**Svojstva azbesta.** Razne se vrste azbesta mnogo razlikuju u pogledu svojstava koja su za tehničku primjenu najvažnija: u pogledu strukture njihovih vlaknaca, predljevosti, savitljivosti, otpornosti prema kemikalijama i visokoj temperaturi. Serpentinski azbest se lako može mehanički rastaviti u vlakna debljine 0,8  $\mu m$  a s pomoću elektronskog mikroskopa je utvrđeno da najfiniji elementi vlaknaca imaju debljinu svega 100...300 Å; amfibolski azbesti više su skloni stvaranju svežnjeva i blokova, a elektronski mikroskop pokazuje da im se vlakna sastoje od kratkih i debelih kompaktnih kristala. Duljina vlakna serpentinskog azbesta obično je manja od 10 mm, rijetko veća od 50 mm; amfibolski azbesti imaju vlakna duljine redovito do 50 mm, ali češće i dulja, osim antofilitnog azbesta, koji ima redovito kratko vlakno. Vlakno serpentinskog azbesta je mekano na opip i neelastično savitljivo, amfibolski azbest (osim krokidolitnog) ima vlakno više ili manje oštro i krto. Stoga se amfibolski azbest može u tarioniku lako smrviti u prah, serpentinski teško ili nikako. Paralelno s tim svojstvima ide i predljevost raznih vrsta azbesta: najbolje se prede serpentinski azbest, manje dobro krokidolitni, slabo ili nikako ostali amfibolski azbesti.

Serpentinski azbest vrlo je osjetljiv prema djelovanju kiselina ali je otporan prema alkalijama, amfibolski azbest odlikuje se otpornošću prema kiselinama i prema morskoj vodi.

Serpentinski azbest sadržava znatno više hidroksidnih grupa (vezane vode) nego amfibolski (gubitak žarenjem je 12...15% prema 1...6%), ali pri grijanju serpentinski azbest otpušta vodu na višoj temperaturi (450...500°C) nego amfibolski (300...350°C).

Tablica 1  
SASTAV I SVOJSTVA AZBESTA

Sastav i svojstva	Hrizotil	Antofilit	Amosit	Tremolit, Aktinolit	Krokidolit
Sastav, %					
SiO <sub>2</sub>	37...44	56...58	49...53	51...62	49...53
MgO	39...44	28...34	1...7	0...30	0...3
FeO	0,0...6,0	3...12	34...44	1,5...5,0	13...20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1...5,0	—	—	—	17...20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2...1,5	0,5...1,5	2...9	1...4	—
H <sub>2</sub> O	12...15	1...6	2...5	0...5	2,5...4,5
CaO	0,0...5,0	—	—	0...18	—
Na <sub>2</sub> O	—	—	—	0...9	4,0...8,5
CaO + Na <sub>2</sub> O	—	—	0,5...2,5	—	—
Relativna gustoća	2,5	3,0	3,2	2,9...3,2	3,2
Tvrdoća po Mohsu	2,5...4	6	6	1...6	4
Čvrstoća na vlak, kp/mm <sup>2</sup>	56...70	0,3	10...65	1...6	70...200
Savitljivost, opip	savitljiv, mekan, svilast	polusavitljiv do krt	prilično savitljiv do krt i oštar	polusavitljiv do krt i oštar	prilično savitljiv do dosta krt i oštar
Predljevost	dobra	vrlo slaba	prilična do slaba	slaba	prilična do slaba
Otpornost prema toplini	zadovoljava ispod 450°	vrlo dobra	dobra	prilično dobra	prilična do slaba
Tačka taljenja	~1520°	1470°	1390°	1390°	1190°
Indeks loma svjetla	1,51...1,55	1,61	1,64	1,61...1,63	1,7
Boja	zelenka, siva, žućkastobijela	žućkastosmeda, zelenkastosiva	žućkastosmeda, siva	sivobijela, zelenkasta, žućkasta, modrikasta	modra

Raspad kristalne rešetke koji prati gubitak vode uzrokuje smanjenje čvrstoće azbestne prede. Pređa od serpentinskog azbesta do 400°C zadržava početnu čvrstoću (ona s temperaturom čak malo poraste), a iznad te temperature je naglo gubi; pređa od kroki-dolitnog azbesta već počevši od 100°C gubi čvrstoću, ali kako je na običnoj temperaturi znatno čvršća od serpentinske, ona je (ako se grije u odsutnosti vodene pare) do 400°C čvršća od ove, a iznad 400°C jednako čvrsta. U prisutnosti vodene pare kroidolitni azbest i na razmjerno niskim temperaturama naglo gubi čvrstoću, dok se pređa od serpentinskog azbesta u tom slučaju ponaša kao u odsutnosti vode.

**Dobivanje i klasifikacija azbesta.** Ležišta azbesta se obično eksploatiraju u površinskim kopovima pa su i metode otkopavanja prilagodene uvjetima površinskog otkopavanja. Rjeđe se upotrebljava jamski rad. U rudištima gdje se dobiva azbest dugih vlakana još se na mjestu eksploatacije ručnim probiranjem odvoje komadi s dugim vlaknima, čekićem se odijele od jalovine i odmah separiraju u dvije sorte, s kraćim i s duljim vlaknima. Takav azbest dugih vlakana separiran u rudištu naziva se u Kanadi »crude«. Rude s azbestom kraćeg vlakna podvrgavaju se procesima mehaničkog oplemenjivanja u separacijama, uglavnom sitnjenju ili dezintegraciji i sijanju, pa klasiranju i sortiranju u zračnoj struji.

U trgovini azbestom upotrebljavaju se različite klasifikacije prema zemljama proizvodnje. U SSSR se azbest razlikuje prema duljini vlakna i teksturi (tvrdi, polutvrdi i meki), po kanadskoj klasifikaciji (QAPA — Quebec Asbest Producers' Association) azbest se dijeli u 9 grupa prema duljini vlakna, a od grupe 3 dalje grupe se dijele u podgrupe prema granulometrijskom sastavu. Azbest najduljeg vlakna, grupe 1 (»crude 1« > 18 mm), 2 (»crude 2« 9...18 mm) i 3 (6...9 mm) upotrebljava se poglavito kao tekstilna sirovina, azbest grupe 4 (4...6 mm) pogodan je za azbestni papir i ploče, a upotrebljava se, kao azbest grupe 5 (2...5 mm), i za kvalitetnije azbestno-cementne proizvode (npr. cijevi), azbestno-asfaltne krovne mase, brtvila, obloge za kočnice i kvačila, izolaciju cijevnih vodova i kao punilo za plastične mase. (Serpentinski) azbest grupe 6 (1...2 mm) služi najviše za azbestno-cementne proizvode i također za iste svrhe kao i azbest grupe 5. Azbest grupe 7 (~ 1 mm) služi u azbestno-cementnim masama za izolaciju parnih kotlova, za azbestno-asfaltne mase i kitove, kao dodatak bojama, oklopima elektroda za zavarivanje, plastičnim masama i dr. Grupe 8 (»pijesak«) i 9 (»šljunak«), ostaci prostorne težine veće odn. manje od 35 lb/ft<sup>3</sup>, upotrebljavaju se kao punila kad je potrebna velika specifična gustoća, osim toga pijesak za ojačanje sadrenog morta, a šljunak za šljunčanje ravnih krovova. Azbest koji se može presti (grupe 1...3) čini samo mali dio ukupno proizvedenog azbesta, u Kanadi ~8%.

**Azbestni proizvodi.** Samo najdulja vlakna azbesta mogu se presti sama, ostalima se mora primiješati do 20% pamuka. Uobičajenim tekstilnim strojevima pređa se preraduje u konac, užad, tkanine i pletivo. Od tkanine se prave odjevni predmeti otporni prema vatri i kiselinama, zastori u kazalištima, poštanske vreće, toplinski i električni izolacioni materijal otporan prema visokim temperaturama, filterska platna otporna prema kiselinama i bazama (danas zamijenjena uglavnom platnom od sintetskih vlakana). Za tkanine otporne prema kiselinama upotrebljava se kroidolitni azbest (tzv. modri Kap-azbest).

Vrpce, užeta i pletenice upotrebljavaju se na različite načine za brtvljenje i izolaciju; pojačane žicom ili gumom, također impregnirane lojem ili grafitom, nezamjenjive su u brtvenicama pumpi i drugih aparata za rukovanje tekućinama.

Papir i ljepenka proizvode se od azbesta na sličan način kao od celuloze. Azbestna ljepenka sadržava obično 75...80% azbesta i 3% veziva (napravljenog od krumpirova škroba), ostatak je punilo, obično kaolin. Proizvode se i azbestne ploče bez punila, sa 97...98% azbesta. Azbestne ljepenke i papiri upotrebljavaju se uglavnom za toplinsku izolaciju i za brtvljenje.

Azbest je nezamjenjiv i u proizvodnji obloga za kočnice i kvačila. Prave se tako da se azbest, bilo raščihan i izmiješan s punilima i metalnim strugotinama bilo u obliku tkanine ojačane mješanim žicama, veže kaučukom ili smolama (redovito fenolno-formaldehidnim) i formira pod pritiskom.

Skupnim nazivom »it-ploče« (jer im zaštićena imena redovito završavaju na -it, npr. Klingerit) označuju se proizvodi koji

se sastoje od azbesta pomiješanog s punilima i vezanog kaučukom ili smolom, a služe za brtvljenje. Za brtvila otporna prema kiselinama upotrebljava se amfibolski azbest. Brtvila koja treba da budu otporna prema visokim temperaturama ne mogu se proizvoditi s organskim vezivima, nego se azbestni prsteni oklope bakrom ili impregniraju grafitom.

Najviše azbesta troši se na proizvode od azbestnog betona (v. *Azbestno-cementni proizvodi*).

Od brojnih drugih primjena za koje se upotrebljava azbest (nomenklatura azbestnih proizvoda sadržava više nego hiljadu artikala) neka budu spomenute još ove: kao punilo za toplinsku izolaciju (upotrebljava se rado amositni azbest jer u raščihanom stanju, zbog manje savitljivosti vlakna, bolje održava oblik nego serpentinski), kao punilo u proizvodima od umjetnih smola, za ojačavanje stakturne sadre i podova od Sorel-cementa, za lake građevne ploče, za filtraciju (npr. vina, voćnih sokova, krvne plazme) u naplavnim filtrima, kao podloga za katalizatore (npr. platin-azbest), za dijafragme pri elektrolizi, kao sastojina porozne mase u bocama za acetilen.

**Svjetska i domaća proizvodnja azbesta.** U tabl. 2 iznijeti su podaci za svjetsku proizvodnju azbesta u 1959, bez SSSR. O proizvodnji u SSSR nema pouzdanih podataka; prema jednoj neslužbenoj i neproverjenoj informaciji iznosila je 1957 proizvodnja 790 kt, od čega 273 kt negarantiranog kvaliteta. Smatra se da je to možda maksimalni kapacitet proizvodnje. U Jugoslaviji je 1961 iskopano azbestne rude 270 000 t i iz nje dobiveno azbestnog vlakna 6086 t. Računa se da se oko dvije trećine u svijetu proizvedenog azbesta troši na proizvodnju azbestno-cementnih proizvoda, oko jedne šestine na materijal za toplinsku izolaciju, preostala šestina na ostale gore spomenute primjene.

Tablica 2

SVJETSKA PROIZVODNJA AZBESTNOG VLAKNA 1959, bez SSSR (u kt)

Kanada	959,2	Brazil	3,4
Južnoafrička republika	165,6	Bečuanja	1,3
Južna Rodezija	108,6	Indija	1,4
Italija	47,4	Bugarska	1,0
Sjedinjene države			
Amerike	41,2	UAR — Egipat	0,5
Svazi	22,5	Turska	0,4
Francuska (Korzika)	20,9	Nova Zelandija	0,4
Australija	16,2	Argentina	0,3
Cipar	13,1	Mozambik	0,2
Japan	12,4	Bolivija	0,2
Finska	8,7	Koreja	0,1
Venezuela	4,6	Tajvan	0,1
Jugoslavija	4,3	Portugal	0,1

*Cijena azbesta*, koji je dijelom i strateški materijal, varijabilna je i zavisi kako od vrste i kvaliteta tako i od konjunktura. Za kanadski azbest kretala se 1959, u Can.-\$/sh. t., od 41 za najgori grupe 7 do 1400 i više za crude 1. Cijene za amfibolne azbeste su se iste godine kretale od 112 do 820 Can.-\$/sh. t.

Proizvodnjom azbestne konfekcije, pletenica, ploča, vlakna, obloga za kočnice i kvačila itd. bave se u Jugoslaviji tvornice: »Azbest« u Pločama, »Jugoazbest« u Mladenovcu i »Nikodije Stojanović Tatko« u Prokuplju.

LIT.: H. Frank, *Asbest*, Hamburg 1952. — W. E. Sinclair, *Asbestos, its origin, production and utilization*, London 1955. — C. Z. Carrol-Porczynski, *Asbestos*, Manchester 1956. — G. F. Jenkins, *Asbestos*, u: J. L. Gilson (ed.), *Industrial minerals and rocks*, New York 1960. VI. Ma.

**AZBESTNO-CEMENTNI PROIZVODI (azbestobeton-ski proizvodi)**, proizvodi od azbestnog betona, tj. cementa ojačanog dodatkom azbesta. Prisutnost i razmjerno malih količina azbestnih vlaknaca u otvrdnutom cementu znatno mu povećava čvrstoću na zatezanje i na savijanje i udarnu žilavost; u dobiveni veštački kamen mogu se zabijati ekseri a da on ne puca, on se može testeriti, bušiti i inače obrađivati alatom za obradu drveta. Mehaničke osobine azbestnog betona (azbest-cementa) razlikuju se unutar širokih granica prema sadržaju azbesta, njegova mineraloško sastava, duljine i debljine njegova vlakna, finoće mlevenja upotrebljenog cementa, rasporeda azbestnih vlaknaca u betonu, mere do koje je ovaj pritiskom zgusnut i načina na koji je cement otvrdnuo.

Potkraj prošlog veka (Hatschek, patent 1900) učinjeno je značajno otkriće koje je omogućilo proizvodnju ploča i drugih predmeta od azbestnog betona (pronađenog već 1876): pomeša