

arsenski spojevi, arsenski pigmenti i štamparske boje s arsenom; kožari i krznari; bronzeri i radnici u proizvodnji sačme; radnici u fabrikama stakla koje upotrebljavaju arsenik za obojavanje staklene mase; poljoprivredni radnici pri opravljanju kultura itd. Danas se trovanje arsenom uspješno liječi 2,3-dimerkapto-propanolom (BAL — British Anti-Lewisite), koji s arsenom daje stabilne i inaktivne komplekse.

LIT.: Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, System-Nr. 17: Arsen, Weinheim 1952. D. Kh.

ASFALT, prema definiciji usvojenoj u Evropi, prirodna ili umjetna mješavina određenih bitumena (asfaltnih bitumena) i mineralnih tvari. U USA asfaltom se nazivaju i sami asfaltni bitumeni bez mineralnih tvari (v. *Bitumen*).

Već u dalekoj prošlosti asfalt je bio ne samo poznat nego i veoma široko upotrebljavani materijal. Arheološki nalazi ukazuju na to da je on već tada bio upotrebljavane za sve svrhe za koje se upotrebljava i danas, a pored toga i za svrhe za koje se danas više ne upotrebljava (skulpture, grnčarstvo i sl.). Stanovnici Ura upotrebljavali su prirodni asfalt kao vezivo u građevinama već pred šest do sedam hiljada godina. Ostaci i iskopine mnogih građevina iz drevne prošlosti Mezopotamije i s područja rijeke Inda pokazuju da je asfaltni mort ondje bio upotrebljivan već pred više od pet hiljada godina za razne građevne svrhe (izolacije zidova, podova, kupališta i sl., zatim za građenje odvodnih kanala, temelja, zidova, svodova, stupova, mostova itd.). Asirci su već prije više od tri hiljade godina iskorištavali taj materijal čak i za obalutvrde (obalni zid u Assuru), u koje se svrhe asfalt u moderno doba počeo upotrebljavati tek u posljednjim decenijama ovog stoljeća. Pri izgradnji odvodne kloake Babilona primjenjeni su u doba Nebukadnezara čak i prefabricirani asfaltni blokovi. Pod u palači Nabopolazara imao je, na podlozi od deset slojeva opeka u asfaltnom mortu, sloj od opeke penetriran bitumenom, što u stvari već predstavlja prvi penetrirani asfaltni makadam. U Khafaiji su već pred više od četiri hiljade godina (a kasnije i u Babilonu i drugdje) izradivani podovi i pločnici asfaltnim mastiksom po sastavu sličnim današnjem. Pronađeni reljefi, kipovi, vazе, muzički instrumenti s intarzijama i drugi ukrasni i umjetnički predmeti iz drevne prošlosti ukazuju na to da je asfalt bio upotrebljivan u umjetnosti već prije ~ 5500 godina. Laboratorijske analize asfaltnih mješavina upotrebljivanih u Mezopotamiji i u dolini rijeke Inda prije četiri do pet hiljada godina pokazuju da se granulometrijski sastavi pojedinih od tih starih asfalta gotovo posve podudaraju s granulometrijskim sastavima sadašnjih pješčanih asfalta i sheet-asfalta (uporedi linije 2, 4 u sl. 1 sa linijama 1, 2 u sl. 4). U znatno manjoj mjeri prenesena je kasnije upotreba asfalta u Evropu, i to u Grčku. Još manje značenje imala je upotreba asfalta u Rimljanima, koji su za svoje građevine upotrebljavali odličan mort od pucolana, dok su u brodogradnji umjesto bitumena primjenjivali drveni katran. Od vremena klasične epohe asfalt se u Evropi sve manje upotrebljava, a kasnije (već u Srednjem vijeku) praktično posve nestaje iz upotrebe u građevinarstvu.

Ponovno poznavanje i praktično iskorištavanje asfalta u Evropi i Americi došlo je do izražaja tek u posljednjih nekoliko stoljeća, iako se prvi znakovi poznavanja tog materijala, pa čak i njegove upotrebe, javljaju mnogo ranije. Prema nekim autorima peruanski su Inke gradili ceste slične današnjim asfalt-makadama već u vrijeme između X i XIV st. God. 1535 otkriven je prirodni asfalt na Kubi; trinidadski asfaltna jezera poznata su već od 1595.

Pravi početak ponovne ere šire primjene prirodnih asfalta u građevinarstvu pada tek u početak devetnaestog stoljeća. Prvih godina tog stoljeća počinju se iskorištavati nalazišta prirodnog asfalta kod Pyrimonta u Francuskoj. Taj materijal, pod imenom «Sayssel» (Syssel), bio je upotrebljivan za izradu mastiksa i primjenjivan za izradu pješčanih staza i mostovskih kolovoza. Desetak godina kasnije upotrebljivan je isti materijal već za pokrivanje krovova, za zalijevanje spojnica u taracima itd. G. 1838 izradivani su u Filadelfiji prvi pločnici od uvezenog prirodnog asfalta, a 1849 upotrijebio je Merian u Francuskoj taj materijal za prvi pokus nabijenog asfalta (asphalte comprimé, Stampfasphalt), na cesti između Traversa i Pontaliera. Prvi pločnici od asfalta u Londonu i New Yorku izvedeni su tek 1869, do tada je u Parizu bilo već više od 280 000 m² takvih asfaltnih pločnika.

Belgijanac Smedt pokušava da sastavi mješavinu Seyssel asfalta, prirodnog asfalta iz Virginije i pijeska, pa 1871 i 1872 izvodi prve pokusne površine s takvim asfaltima. Time je stvorena osnova prvih valjanih asfalta, a ujedno i prva osnova umjetnih asfalta u Evropi. Već 1873 uvode se u St. Louisu asfaltni blokovi, a 1883 pješčani asfalt. God. 1876 izvodi se u Washingtonu prvi sheet-asfalt uz upotrebu Trinidad-asfalta, itd.

Uslovi i mogućnosti naglijeg razvika asfaltnih kolovoza, kao i uslovi ostale primjene asfalta u građevinarstvu stvoreni su tek razvojem industrijske prerade sirove nafte, tj. upotrebom umjetno proizvedenih bitumena (v. *Bitumen*). Prirodni asfalt iskorištava se danas, uglavnom, samo još kao dodatni sastavni materijal mješavinama umjetnih asfalta.

Prirodni asfalti su prirodne mješavine samorodnog bitumena i mineralnih čestica. O njihovu postanku postoji više teorija. Prema jednoj, pod uticajem velikih geoloških pritisaka i visokih

temperatura došlo je u dubljim slojevima zemljine kore do isparivanja lakših frakcija nafte, te je oksidacijom i polimerizacijom ostataka stvoren prirodni bitumen. Onečišćenjem tog bitumena zemljanim i drugim mineralnim česticama (većinom glinenim i vapnenačkim, rjeđe kvarcnim), ili njegovim penetriranjem u vapnence (rock asphalt), stvoren je prirodni asfalt. Prema drugoj teoriji nastao je prirodni asfalt taloženjem sapropela (gnjilježnog mulja uginulih planktona) zajedno sa glinenim ili vapnenim mljem. O odnosu količine jednih i drugih taložina zavisila je vrsta stvorenog prirodnog asfalta (asfaltna mješavina ili asfaltni kamen).

Prirodni asfalt nađen je u jezerima, u kopnenim nalazištima nastalim preplavlivanjem iz jezera, u vrelima (koja daju mekani bitumen), u pukotinama tla i stijena (asfalti s tvrdim bitumenom, grahamiti, gilsoniti itd.) i u stijenama penetriranim bitumenom. Procenat bitumena u prirodnim asfaltnim mješavinama kreće se od nekoliko procenata pa do gotovo 100%, dok se u prirodnom asfaltnom kamenu taj procenat zadržava u granicama poroznosti kamena i rijetko prelazi 10-12%.

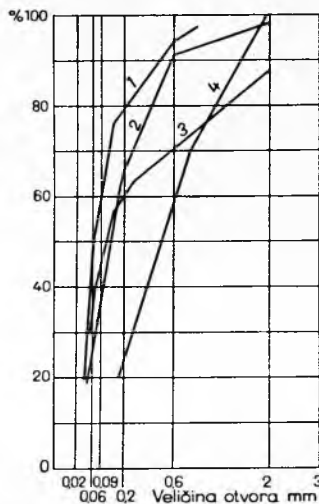
Najveće nalazište prirodnog asfalta je Asfaltno jezero (Pitch lake) na otoku Trinidadu u Karipskom moru. Ono ima 600 m u promjeru (40 ha površine) i duboko je u sredini 40 m. Tamo izvire bitumen u polutekućem stanju; na površini je dovoljno čvrst i tvrd te se kopa primitivnim načinom. Sirov sadržava 39% topljivog u CS₂, 27% mineralnih tvari, 29% hlapljivog na 100°C. Čisti se pretaljanjem (pri čemu se ispare lako hlapljive tvari) i onda (kao Trinidad épuré) sadržava 56% bitumena sastava: 80-82% C, 10-11% H, 6-8% S, 1% N; t. t. 90°C. Godišnje se tamo proizvodi oko 200 kt asfalta.

Od drugih poznatijih nalazišta prirodnog asfalta neka budu spomenuti samo neki: u Americi (Venezuela), prednoj Aziji (Mrtvo more i dr.), Albaniji (Selenica), Italiji (Sicilija, Abruzzi), Francuskoj (Seysssel), Njemačkoj (Vorwohle). Veoma mnogo nalazišta prirodnog asfalta ima i Jugoslavija, npr. kod Vrgorca, Trogira, Dolca, Dračeva, Vranja, Valjeva, Buštrenja, na Braču i Hvaru, a i drugdje, osobito u Dalmaciji i na otocima.

Umjetni asfalt proizvodi se miješanjem asfaltnog bitumena sa mineralnim agregatom i sitnim mineralnim materijalom kao punilom.

Asfalt u građenju cesta. Svojstva i karakteristike asfalta stvorile su široke mogućnosti njegove praktične primjene, naročito u građevinarstvu. Najšire se asfalt primjenjuje u građenju cesta. Asfaltni kolovozi su veoma trajni, prouzrokuju veoma malo saobraćajne buke, dobro prigušuju vibracije i udarce saobraćaja, ne propuštaju vodu, bez oštećenja se prilagodeju manjim slijeganjima i deformacijama cestovne podloge, otporni su prema gotovo svim kiselinama itd. Velika prednost tih kolovoza je i u tome što se mogu izvoditi i u obliku sasvim tankih i jeftinih konstrukcija, pa se asfalt danas u velikom procentu upotrebljava u izradi kolovoza za sve vrste i težine saobraćajnih opterećenja, kako u gradovima tako i na otvorenim cestama. Mana mu je što benzin i ostali derivati nafte otapaju bitumen pa stoga nisu pogodni za saobraćajne površine uz benzinske stanice i sl. Osim toga, u poređenju s cementbetonskim kolozovima, asfaltni kolovozi iziskuju znatno jaču cestovnu podlogu, jer sami po sebi imaju neuporedivo manju čvrstoću.

Konstitucija asfaltnih mješavina i gotovog asfaltnog kolovoza slična je, u jednu ruku, konstituciji koherentnog tla (naročito što se tiče odnosa njegove otpornosti za smicanje i njegovih elasto-plastičnih svojstava), a u drugu ruku slična je konstituciji betona (naročito u pogledu karakteristika njegovog granulometrijskog sastava). Sa stanovišta građevinarstva naročito su važna svojstva elasto-plastičnosti i kohezivnosti asfalta. Zbog toga je obračena velika pažnja na problem upoznavanja jasno određenih granica tih karakteristika materijala, kao i problemu postizavanja optimalnih njihovih vrijednosti. Potonji problem nije još ni do danas u potpunosti riješen, naročito za asfalte koji se polažu na betonske podloge. Kao optimalna vrijednost treba da se smatra ono stanje plastičnosti u kojem je asfalt još dovoljno plastičan da bez štete slijedi manje deformacije podloge (slijeganje fleksibilnog podloga, širenje i stezanje dilatacionih reški i pukotina u betonskoj podlozi i sl.), ali da pri tom pruža i dovoljan otpor stvaranju trajnih plastičnih deformacija uslijed utjecaja saobraćajnih opterećenja.



Sl. 1. Analize 4000-5000 godina starih asfalta iz Tell Asmara. 1 asfaltni pločnik kupaonice hrama (←2900-3000) debljine 6-10 mm, 2 mastiks-namaz na pragu jedne palače (←2200) debljine 25-30 mm, 3 zidni asfaltni mort (←3000-3200) debljine 30 mm, 4 asfaltni pod u kupaonici jedne privatne kuće (←2500-3000) debljine 10-12 mm

S obzirom na pomenutu sličnost s konstitucijom konkretnih tala (naročito u slučaju gusto gradiranih asfalta), mogu se osnovni zakoni elastoplastičnih osobina asfalta deducirati iz zakona mehanike tla, te proširiti i dalje razvijati u odnosu na modificirana svojstva koja asfaltu daje njegovo bitumensko vezivo. Pri tom se ne smije zaboraviti da na ta svojstva asfalta dosta bitno utječu još i mnoge druge komponente, kao npr. način izrade konstrukcije, karakter cestovnog saobraćaja, temperaturne oscilacije, starenje bitumena itd.

Osnovne komponente koherentnog tla jesu: zrna krute materije, tekuća vezivna faza (voda) u porama i šuplinama i plinovita faza (uzduh i vodena para) u preostalim, vodom neispunjenim šuplinama krute sastojine. Posve sličnu konstituciju pokazuju i asfalti, pri čemu vodu kao tekuću fazu zamjenjuje bitumen. (Ne treba zaboraviti da se bitumen, sve do donje granice svoje plastičnosti, ponaša kao tekućina.) O procentnom sadržaju pojedinih faza u tlu, naročito tekuće faze (vode), zavise i njegova momentana plastična svojstva i moć nošenja. Dok se u tlu sadržina vode neprestano mijenja (a zbog toga i stepen njegove plastičnosti i moći nošenja), za asfalt je u svakom pojedinom slučaju sadržina tekuće faze (bitumena) konstantna. Ali moć nošenja i plastičnost mu se ipak mijenjaju — iako samo u razmjerno uskim granicama — zbog oscilacije viskoznosti bitumena, koja se, kao i ljepljivost, vidno mijenja (i to u obrnutom razmjeru) s padanjem i porastom temperature u normalnom dnevnom rasponu; pored toga (no u mnogo manjoj mjeri), ta se svojstva mijenjaju i zbog toga što starenjem bitumena njegova viskoznost polako raste, uslijed čega mu se temperaturne granice plastičnosti polako spuštaju.

Stabilitet asfalta. Da bi se ustanovilo da li se plastičnost asfalta nalazi u granicama optimalnih vrijednosti, prvenstveno treba odrediti veličinu njegove otpornosti protiv plastičnih deformacija — njegov stabilitet. Teorijsku formulu za tu otpornost asfalta izveo je Nijboer na bazi Coulombova pravila za otpornost tla prema smicanju:

$$S = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi$$

i ona glasi:

$$K \eta \frac{d\epsilon_1}{dt} = \frac{2 \cos \varphi}{3 - \sin \varphi} \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2 \cos \varphi} - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \operatorname{tg} \varphi - c \right),$$

pri čemu je K koeficijent zavisan o karakteru i odnosima mineralnog sastava asfalta, η viskozitet bitumena, $K\eta = \eta_m$ viskozitet asfaltne mase, ϵ_1 veličina deformacije u smjeru djelovanja vertikalne sile, φ kut otpornosti asfalta prema smicanju (ranije nazivan kutom unutarnjeg trenja), σ_1, σ_3 najveći vertikalni, odnosno najmanji horizontalni napon prema poznatoj formuli (iz nauke o čvrstoći) o glavnim unutarnjim naponima, c početni otpor prema smicanju (prividna kohezija).

U praksi se danas laboratorijska ispitivanja stabiliteta asfalta uglavnom vrše na četiri načina: triaksijalnim aparatom (na bazi istih principa kao i pri ispitivanju tla u geometriji) mjere se konstante asfalta za smicanje, a Marshalovim, Hubbard-Fieldovim ili Hweemovim aparatom mjeri se otpornost asfalta protiv deformacija.

Svojstva plastičnosti i moći nošenja asfalta zavisna su uglavnom: o uticaju plastičnih i adhezivnih svojstava bitumena, o uticaju punila i o uticaju vrste, granulometrijskog sastava i zbijenosti ostalog u asfaltu sadržanog mineralnog agregata.

Adhezivnost bitumena. Pored plastičnih svojstava bitumena, bitnu ulogu imaju i njegova adhezivna svojstva (koja čine jednu od komponenta ljepljivosti bitumena i o kojima zavise kohezivna svojstva asfalta). Adhezivnost bitumena u odnosu na kamen nije jednaka za sve vrste kamena. Huntington je već 1906 upozorio na to da se kontaktni kut pri ovlaženju kamena bitumenom, čak i na istom kamenom materijalu, osjetno razlikuje na lomovima različitog smjera, što se pripisuje razlikama u površinskoj energiji različitih kristalnih ploha minerala i razlikama u hrapavosti ovlaženih površina. U odnosu na vrstu kamena, bitumen adherira jače uz kamen za koji je adhezivnost vode manja (hidrofobni kamen), a manja uz kamen velike moći adsorbiranja vode (hidrofilni kamen). Iz ove činjenice proizlazi uticaj vode na adhezivnost bitumena i trajnost kohezivnih svojstava asfalta. Uticaj vode mnogo je veći pod dinamičkim djelovanjem (mlaz vode,

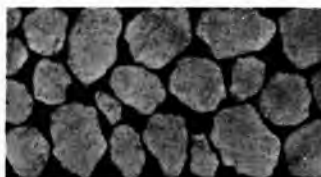
jake kiše, učinak sisanja pneumatika i sl.). Uslijed svoje velike moći ovlaživanja kamena (adhezivnosti), voda u mnogo slučajeva postepeno potiskuje bitumen s površine kamena, što dovodi do postepenog mijenjanja stanja i osobina asfalta, pa i do njegova propadanja. Taj proces dolazi naročito do izražaja i mnogo je brži ako mineralna zrna već u momentu izrade asfalta nisu bila potpuno obavijena bitumenom. Knight je našao da je pri tom naročito opasna voda koja sadrži mnogo suspendirane gline (što je redovan slučaj ako kolovoz ispod podloge nema zaštitnog filterskog sloja).

Što se tiče strukture kamena, povoljniji su u pogledu adhezivnosti bitumena oni kojima je površina loma hrapava od onih s glatkom i staklastom površinom. Prionljivost bitumena uz porozni kamen je doduše vrlo velika u momentu obavijanja suhog kamena, a takav kamen povoljno utiče i na stabilizaciju asfalta, no asfalt s njime manje je otporan prema agresiji vode, jer kroz oštećena mjesta (koja nastaju uticajem cestovnog saobraćaja, a često već i pod valjkom pri ugradnji) voda ulazi u šupljine kamena, pa je ljuštenje bitumena uvećano zbog učinka ekspanzije pri isparivanju vode. Što se tiče mineraloškog sastava kamena, bitumen pokazuje najveću adhezivnost za vapnence i dolomite, a najslabiju za kvarc.

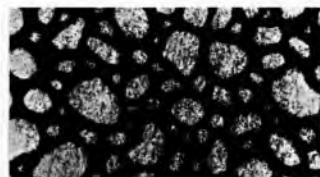
Jasno je da je uticaj vode na ljuštenje bitumena u asfaltu upravno proporcionalan procentu šupljina u kolovozu, o čemu treba voditi računa pri izboru granulometrijskog sastava agregata, ali i pri izboru vrste kamena, kao i količine i vrste bitumena u asfaltu. U odnosu na vrstu asfalta treba napomenuti i to da su u pogledu uticaja vode na ljuštenje bitumena osjetljiviji kolovozi koji se miješaju i ugrađuju u hladnom stanju od kolovoza s vrućom ugradnjom, zbog čega za hladne asfalte treba upotrebljavati bitumene s umjetno uvećanom ljepljivošću (»dopirane« bitumene), a po mogućnosti i kamen s povoljnijim osobinama u odnosu na adhezivnost bitumena.

Utjecaj punila. Kao drugi faktor koji bitno utječe na stabilitet i plastičnost asfalta spomenuto je punilo (*filler*), tj. najfinija zrnasta mineralna sastojina asfalta, koja prema propisima mora da sadržava najmanje 60% zrna veličine ispod 0,06 mm, a najmanje 80% zrna manjih od 0,09 mm. Isprva se punilo pridavala važnost samo zbog potrebe postizavanja manjeg procenta šupljina u asfaltu, jer su ispitivanja pokazala da sa povećanjem količine punila stabilitet asfalta raste samo do granice ispod koje daljnji dodatak počinje da nepovoljno djeluje na smanjenje procenta šupljina u asfaltu. Kasnija ispitivanja pokazala su da dodatak punila mijenja i reološka svojstva bitumena u asfaltu (što se uglavnom pripisuje fizičkim fenomenima uticaja adhezivnih sila), a time i svojstva samog asfalta.

Mineralni agregat. Na stabilitet asfalta djeluje svojim osobinama, kao treći od spomenutih glavnih uticajnih faktora, ostali dio mineralne sastojine asfalta. Pri tome dolaze do izražaja strukturne i kvalitetne karakteristike kamena svake pojedine frakcije (karakteristike oblika, veličine i površine zrnja, čvrstoća i habanje kamenog materijala, njegove karakteristike u odnosu na prionljivost bitumena itd.), kao i kompleksne karakteristike cjelokupne mineralne strukture asfalta (granulometrijski raspored mineralnog zrnja, stepen zbijenosti mineralne strukture asfalta itd.).



Sl. 2. Makadamska struktura



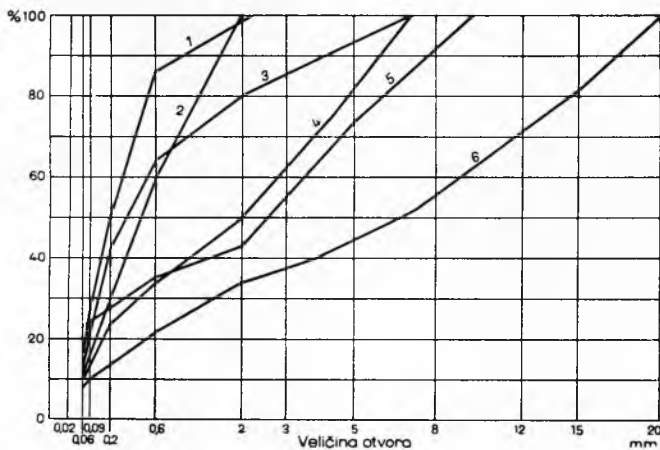
Sl. 3. Betonska struktura

Prema kompleksnim karakteristikama mineralne strukture treba razlikovati dva osnovna strukturna sistema asfalta i nekoliko njihovih podvrsta. Svaka od tih mineralnih struktura nosi već sama po sebi osnov moći nošenja i stabilnosti mineralnog skeleta asfaltne sloja, kao i osnov ostalih karakteristika kompleksne čvrstoće asfalta, iako svaka na svoj način i u svojstvenim granicama dotičnog sistema. Svaki od tih strukturnih sistema ima

svoje specifične odlike, koje za sobom povlače i razlike u izboru materijala, u granulometrijskom sastavu, količini veziva, načinu rada itd. Ta dva osnovna strukturna sistema su *makadamska struktura* (sl. 2) i *struktura najgušćeg mineralnog sastava, betonska struktura* (sl. 3).

Glavne su karakteristike *makadamske strukture* da je osnov čvrstoće i stabilitet mineralnog skeleta međusobno sapinjanje i trenje mineralnih zrna u čvrsto zbijenom skeletnom sistemu. Teorijski, vezivo ima samo pomoćnu ulogu, tj. da putem svoje moći vezanja, zajedno s naknadno dodanim i utisnutim sitnijim mineralnim zrnima, pomaže da osnovna strukturna zrna zadrže svoj položaj u konstrukciji. Noseći skelet makadama čine, dakle, tijesno zbijena krupnija mineralna zrna jednolične veličine, naknadno ukliještena sitnijim kamenim zrnima. Svako dodavanje sitnijih zrna prije potpunog postizavanja konačne sapetosti i ukliještenja osnovnog skeletnog zrnja onemogućivalo bi formiranje te strukture jer bi sprečavalo direktan i dovoljno čvrsti kontakt konstruktivnih zrna i smanjivalo veličinu otpora trenja među njima. Taj sistem postavlja, dakle, velike zahtjeve u pogledu čvrstoće kamena, pa je trajnost kvaliteta takvih kolovoza vezana u većoj mjeri za kvalitet kamena nego trajnost ostalih strukturnih sistema. Daljnja je karakteristika tog strukturnog sistema asfalta da se, zbog unutarnjeg habanja kamena, prouzročeno saobraćajnim opterećenjem i fleksibilnim karakterom asfalta, struktura postepeno mijenja u pravcu približavanja betonskoj strukturi. Takva naknadna pregranulacija najveća je i najbrža u ovom strukturnom sistemu. U grupu asfalta s takvom strukturom idu asfaltni makadami (penetracije, polupenetracije, zasuti makadami, vezni sloj »binder« itd.).

Pod *betonskom strukturom* razumijeva se mineralni skelet sastavljen od zrna svih veličina tako da u sve šupljine između većih bitumenom obavijenih zrna ulazi obavijeno zrno slijedećeg manjeg veličinskog reda, te se time dobije mješavina s najmanjim mogućim procentom šupljina. Strukturna čvrstoća i stabilitet takvih mješavina zasniva se na gustoći mješavine i na otporu gibanja zrnja zbog međusobne ukliještenosti, uzubljenosti i trenja. Ali trenje i ukliještenost ovdje su mnogo manje nego u slučaju makadamske strukture jer su sile međusobne sapetosti mnogo manje. Zbog toga, u asfaltu s takvom strukturom vezivo je mnogo značajnije za postizavanje i zadržavanje stabilneta i strukturne čvrstoće asfalta, ali je i proces unutarnje pregranulacije znatno manji i sporiji. Stoga su ti sistemi osjetljiviji prema izboru granulometrijskog sastava i prema izboru tvrdoće i količine bitumena. U te sisteme ulaze razne vrste finih i grubih asfaltnih betona (vidi sl. 4), kao i razne vrste asfaltnih tepiha, tvrdo liveni asfalt itd. Karakteristike pojedinih sistema predstavljaju grafikoni granulometrijskog sastava nekih od tih asfalta (sl. 4).



Sl. 4. Primjeri granulometrijskih sastava raznih asfaltnih betona. 1 pješčani asfalt, 2 sheet-asfalt, 3 topeka, 4 fini asfaltni beton, 5 tvrdo liveni asfalt, 6 grubo asfaltni beton

Vrijedi spomenuti još dva strukturna sistema asfalta, bliža betonskom nego makadamskom sistemu, i to sistem posve *sitnozrnih asfaltnih* i sistem *finog asfaltnog betona s plivajućim krupnijim zrnima*, tj. sistem u kojem je udio sitnijeg zrnja osjetno veći od onoga koji bi bio potreban da ispuni šupljine između većih zrna.

U tim je sistemima međusobna ukliještenost zrnja još manja nego u betonskom strukturnom sistemu, pa je tu i uloga bitumena u stabilitetu asfalta još veća. To, međutim, ne znači da je ovdje proces naknadne pregranulacije manji, jer se taj proces obično kreće u pravcu postizavanja veće gustoće granulometrijskog sastava, koja je u ovim sistemima manja nego u sistemu betonske strukture. U prvi od ova dva sistema spadaju asfalte comprimé, pješčani asfalti i sl.; jedini predstavnik drugog sistema je tzv. *topeka*.

U cestogradnji se mnogo primjenjuje i tzv. *površinska obrada*. I to je jedna vrst asfaltnih kolovoza, no ona ne ulazi ni u jednu od navedenih skupina. To je kolovoz koji je u momentu izrade sastavljen od jednoličnog zrnja srednje veličine (nema dakle karakteristike ni betonske ni makadamske strukture), no koji razmjerno vrlo brzo, pod utjecajem saobraćaja, prelazi u strukturni sistem obrnut sistema topeke, a potom polagano u sistem betonske strukture, pri čemu namjerni suvišak bitumena irna zadaću da naknadno obavlja nove površine zrna nastale uslijed drobljenja i mrvljenja krupnijih zrnaca.

Količina bitumena u asfaltu. Nakon izložene analize strukturnih sistema asfalta možemo jasno formulirati da je uloga bitumena: a) da svojom ljepljivošću zadrži mineralnu strukturu asfalta u stanju strukturne moći nošenja; b) da, u većoj ili manjoj mjeri, poveća svojstva nosivosti i stabilneta asfalta; c) da asfaltu osigura i poboljša karakter fleksibilnosti i optimalne plastičnosti; d) da do optimalne mjere sudjeluje u zadatku ispunjavanja šupljina u mineralnoj strukturi asfalta. (Svaki asfalt pod cestovnim saobraćajem doživljava dopunsko komprimiranje; kada bi sve strukturne šupljine bile već pri izradi ispunjene bitumenom, pojavio bi se nakon kratkog vremena štetni suvišak bitumena.)

Da bi bitumen mogao izvršiti sve navedene zadatke u asfaltu, treba ispravno izabrati vrstu, tvrdoću i količinu bitumena. Izbor tvrdoće bitumena u asfaltu zavisna je kako o sistemu asfaltnih strukture tako i o stepenu hidrofilnosti upotrijebljenog kamenog materijala, o njegovoj čvrstoći, o klimatskim i meteorološkim prilikama područja u kom se asfalt izrađuje, o stanju vlažnosti terena i kolovozne podloge itd.

Izbor količine bitumena u asfaltu zavisna je u prvom redu o veličini specifične površine mineralnog agregata u konačnom stanju, zbog potrebe potpunog obavijanja svakog zrna, te o procentu šupljina u konačno komprimiranom asfaltu. Pored toga, ta je količina zavisna i o svim faktorima navedenim za izbor tvrdoće bitumena. Tako npr. vlažna klima i vlažni tereni iziskuju masnije asfalte od suhih klima i terena. Ponekad se tom zahtjevu može udovoljiti umjerenim povećanjem sadržine bitumena, no u većini slučajeva mora se pod takvim okolnostima birati asfalt s mineralnim sastavom koji već sam po sebi iziskuje veći procenat bitumena. Na potrebnu količinu bitumena bitno utječe i ranije opisani proces interne pregranulacije, koji je zavisna ne samo o strukturnom sistemu asfaltnog nego i o čvrstoći i ostalim karakteristikama upotrijebljenog kamena. Količina bitumena mora se, dakle, odabirati i u odnosu na predviđeni opseg naknadne pregranulacije. Ispravan izbor količine bitumena naročito je važan, jer pogreške u oba pravca dovode do propadanja asfalta. Za određivanje potrebne količine bitumena u asfaltu postoji mnogo sistema i metoda. Jednu od takvih metoda razradio je u novije vrijeme i Institut građevinarstva Hrvatske u Zagrebu. Prema toj metodi odabiru se količine bitumena za većinu novijih izradevina od asfaltnog u NR Hrvatskoj.

Način i područje primjene asfaltnog betona. Asfaltni radeni s bitumenima kojima tačka taljenja leži iznad 35°C miješaju se i ugrađuju u vrućem stanju (100-200°C, zavisno o vrsti asfaltnog i tvrdoći bitumena). Asfaltni radeni s razrijeđenim bitumenom (*cut-back*) priređuju se i ugrađuju u hladnom ili slabo zagrijanom stanju (do najviše 70°C), a asfaltni s bitumenskim emulzijama izrađuju se isključivo u hladnom stanju, pri čemu se može upotrijebiti čak i vlažan mineralni agregat.

Savremeno izvedena površina asfaltnog betona na autocestama je hrpava (sl. 5). To su iznutra posve gusti sastavi, dok je površina u određenoj mjeri »otvorena«. Na ovakvim površinama postizava se znatno veća sigurnost saobraćaja, a uvećani koeficijent trenja omogućuje sigurniji prijenos pogonskih sila i sila kočenja. To je naročito važno za ceste namijenjene brzom

saobraćaju, kao i za ceste na kojima se zbog mogućnosti pristupa pješaka traže što veće mogućnosti naglog kočenja. Zbog toga su u nekim državama propisane potrebne hrapavosti, odn. propisana je donja dopustiva vrijednost veličine koeficijentata trenja.



Sl. 5. Hrapava površina asfaltnog betona na autocesti Zagreb—Ljubljana

Radi poboljšanja plastičnih i kohezivnih osobina asfalta vršeni su pokusi izrade asfalta s dodatkom kaučukova lateksa ili pulveriziranog kaučuka. Prvi takvi pokušaji vršeni su već 1902, no zbog većih troškova izrade ti kolovozi nisu dosad primijenjeni u većoj mjeri.

Osim u cestogradnji, asfalti se mnogo primjenjuju za razne vrste izolacija (podova, stropova, krovova, kanala itd.), u hidrogradnji za izradu bazena i obaloutvrda (veliki nasipi za isušenje Zuiderkog mora obloženi su specijalnim vrstama asfalta), zatim za izradu sportskih terena, podova u stambenim i privrednim objektima, za izradu masa za zalivanje spojnica, za izradu mastiksploča itd. U novije vrijeme došla je do primjene i izrada asfalta i asfaltnih premaza hladnim asfaltnim mortovima (suspenzijama fino dispergirano bitumena, vapna i finog mineralnog praha u vodi). Stabilizacija tla bitumenom, koja se u novije vrijeme sve više primjenjuje za stvaranje cestovne podloge, a ponekad i kao sam kolovoz (manje opterećenih cesta), predstavlja također izradu jedne vrste asfalta.

LIT.: The Asphalt Institute, Asphalt handbook, New York, 1947. — L. W. Nijboer, Plasticity as a factor in the design of dense bituminous road carpets, Amsterdam 1947. — J. H. Bateman, Introduction to highway engineering, New York 1948. — Knight, Road aggregates, their uses and testing, 1948. — J. Oberbach, Teer- und Asphaltstraßenbau, Köln 1950. — L. Marić, Petrografija za studente, Zagreb 1951. — National research council, Highway research board, Bituminous paving mixtures: fundamentals for design, Washington D. C., 1955.

ASTRONAUTIKA, kozmonautika, u širem smislu, sinteza mnogobrojnih naučnih i tehničkih disciplina koje se bave proučavanjem mogućnosti leta i navigacije u svemiru. A. u užem smislu proučava probleme i zadatke što ih postavlja istraživanje visokih slojeva Zemljine atmosfere u svrhu raketnih letova u prostor izvan Zemljinog uzdušnog omotača, odnosno i dalje u međuplanetski prostor. Naziv «astronautika» (doslovce «zvijezdoplovstvo», kao što je «aeronautika» zrakoplovstvo) ne odgovara pravom stanju stvari, jer je najbliža zvijezda nekretnica [Alpha Centauri C (Proxima)] udaljena od Zemlje više od četiri svjetlosne godine (1 svjetlosna godina je udaljenost koju prevali za godinu dana zraka svjetlosti gibajući se brzinom od $\sim 300\,000$ km/sek). Za sadanje generacije ne dolazi u obzir svladavanje takvih udaljenosti, za njih bi mogao doći u obzir samo let do Mjeseca i najbližih planeta Sunčeva sistema.

Razlika između astronautike i aeronautike. A. se danas nalazi otprilike u istoj fazi razvoja u kojoj je bila aeronautika u prvom deceniju ovog stoljeća. Između astronautike i aeronautike, koja se bavi problemima leta i navigacije unutar najnižih slojeva Zemljinog uzdušnog omotača, nema oštre granice i one se djelimično uzajamno dopunjuju. Glavna je razlika između tih disciplina, prije svega, u tome što je utjecaj Zemljine atmosfere na aeronautička i astronautička letala veoma različit, a to dolazi do izražaja u razlici brzina i visina leta njihovih letećih sprava. Dok zrakoplovna ili aeronautička letala zavise u prvom redu od

aerodinamičkih sila (uzgona i otpora uzduha) kojima se takva letala opiru djelovanju Zemljine gravitacije, i stoga mogu letjeti samo unutar troposfere i donjih slojeva stratosfere, dotle se svemirska ili astronautička leteća tijela gibaju, uglavnom, kroz svemirski prostor, u kojem djeluju samo gravitacijske sile nebeskih tijela. S tih razloga gornja granica brzine zrakoplovnih letala seže do oko 10 000 kilometara na sat, a njihova najveća visina leta iznosi oko 60 kilometara. Iznad te visinske granice leži relativno usko područje balističkih i polubalističkih raketa (v. *Balistički projektili*), a zatim počinje beskrajno područje astronautičkih letala.

Postoje i druge bitne razlike, kao npr. u pogledu propulzije, upravljanja, uzlijetanja, slijetanja itd. Avioni u većini slučajeva dobivaju pogon pomoću motorâ koji iz okolne atmosfere uzimaju kisik potreban za izgaranje pogonskog goriva. Takvi motori proizvode pogonsku silu na osnovu zakona o održanju linearnog impulsa okolnog uzduha (v. *Mehanika*). Za pogon svemirskih letala dolazi u obzir samo raketa, koja nosi sobom kako gorivo (oksidant) tako i sredstvo za izgaranje (oksidator), kao npr. alkohol ili hidrazin plus tekući kisik ili dušična kiselina (HNO_3) u slučaju rakete s tekućim gorivom. U tim komponentama goriva akumulirana je energija koja pri njegovu izgaranju — uslijed održanja linearnog impulsa njegove mase — proizvodi potisak (v. *Raketni motor*).

Svemirskim brodom ne može se upravljati na isti način kao avionom. Za promjenu brzine svemirskog broda po veličini ili pravcu potrebne su vanjske sile, a ne samo pomak organa za upravljanje (krilaca i repnih kormila aviona, koja proizvode aerodinamičke sile). U svemiru ne postoje nikakve vanjske sile osim Zemljine gravitacije i gravitacijskih sila ostalih nebeskih tijela. Ne preostaje, dakle, ništa drugo nego da se putanja rakete prepusti djelovanju gravitacijskih sila i da se s pomoću malih pomoćnih raketa izvrše potrebne korekture. Takve dolaze praktički u obzir samo u pogledu apsolutne vrijednosti brzine, a manje u pogledu njezina pravca. To zahtijeva veoma složenu i osjetljivu radioelektronsku, telemetrijsku i drugu naučnu aparaturu, kao i odgovarajuće mehaničke uređaje (servomehanizme) za upravljanje i stabiliziranje rakete.

Avionom upravlja u normalnim prilikama živi pilot, dok svemirskim letalom upravlja, u načelu, automatski pilot, koji u većini slučajeva funkcionira na principu *inercijalne navigacije*, ili se upravljanje vrši sa Zemlje (*daljinsko upravljanje*). Zbog velikih zahtjeva što ih u pogledu preciznosti postavlja svemirska navigacija, upravljanje svemirskim letalom povjerava se prvenstveno automatskom pilotu, a živi će pilot astronaut imati u tom procesu sekundaran značaj.

Razvikat ideje o letu u svemir. Svladavanje Zemljine gravitacije — prodor u svemir, istraživanja drugih svjetova izvan našeg matičnog planeta — prastari je san čovječanstva. Prva etapa u ostvarenju te ideje trajala je veoma dugo. Od poznate legende o Dedalu i Ikaru do prvog motornog leta braće Wright u prosincu 1903 proteklo je više od četrdeset stoljeća. Napredak nauke i tehnike u prvoj polovini XX st. omogućio je čovječanstvu da suvereno ovlada donjim slojevima uzdušnog oceana i da ga iskoristi za saobraćajne svrhe. Čini se da će u drugoj polovini ovog stoljeća biti u znatnoj mjeri omogućena i druga etapa ostvarenja pradašnje čovjekove želje, da će čovjeku postati pristupačan i prostor izvan Zemljine atmosfere.

Maštajući o letu u svemir odavali su se mnogi veliki umovi od najstarijih vremena. Međutim, ideja o putu u svemir nije «tako stara kao čovječanstvo». Ona je mogla nastati tek kada su bile ispunjene potrebne intelektualne pretpostavke, tj. svijest da u svemiru postoje izvjesni objekti, slično kao otoci u moru, i da će jednog dana i nebo postati čovjeku pristupačno. Čini se da su povodom pada velikog meteora — 465 prvi put ljudi došli na pomisao da zvijezde, koje su oni dotada, vjerojatno, smatrali samo nebeskim svjetlima, uspoređuju sa Zemljom. Budući da iz neba pada kamenje, mogli su zaključiti da na nebeskom svodu mora postojati nešto što je slično Zemlji. Tako je Anaksagora zaključio da Mjesec može biti veći nego cijeli Peloponez. Plutarh u svojoj knjizi *De Facie in Orbe Lunae* prvi put govori o brdima i dolinama na Mjesecu. Stoga nije čudo da je u prvoj fantaziji o letu u svemir opisan put na Mjesec. Autor te fantazije (Ἀληθοῦς ἱστορίας λόγος, Alethos historias logos *Istinita priča*), Lukijan iz Samosate (II st.), opisuju putovanje jednog broda što ga je silan vijeh nedaleko Herkulovih stupova (Gibraltara) digao iz mora i zajedno sa 50 članova posade ponio u visine i nakon 7 dana putovanja iskrao na Mjesecu. U fantastičnim pričama takve vrste pomiješane su utopija, naučne spoznaje i satira onog vremena. Međutim, kroz cio Srednji vijek ne pojavljuje se nigdje misao o letu u svemir. Prema učenju Aristotela postojala je bitna razlika između Zemlje i neba. To su učenje usvojile crkvene vlasti i stoga se u toj slici svijeta, koju je dao Aristotel, let u svemir nije mogao ni zamisliti. Tek nakon 1600 javlja se ta tema opet u literaturi. Francuski pisac Cyrano de Bergerac (1619—1655) u svojoj satiri *Histoire comique des états et empires de la lune*, koja je bila uzor za mnoge kasnije, opisuju svoj let na Mjesec.

Kad je 1877 Schiaparelli otkrio «kanale» na Marsu, došao je u modu taj crveni planet. Nakon poznatih djela Julesa Vernea, H. G. Wellsa i dr. završava se period čiste fantazije i počinje stvarna povijest astronautike pojavom prvih naučnih publikacija.

Raketa i ideja o letu u svemir. Još davno prije otkrića tajne motornog leta došlo se do spoznaje da bi se let u svemir mogao ostvariti samo s pomoću raketnog pogona. Već je I. Newton (1643—1727) razmatrao mogućnost izgradnje svemirskog broda na raketni pogon. Nagli razvitak avijacije i novih pogonskih