

U kontinentalnom dijelu Hrvatske i u Sloveniji u doba gotike, renesanse i baroka upotrebljavao se litotamnijski vapnenac i vapneni pješčenjak, vrlo porozni vapneni pješčenjak vinicit, hotaveljski mramor i trbiška breča. Tu se u XVIII st. eksploatacija i obradba kamena toliko razvila da je u Varaždinu osnovan čeh kamenoklesara (1728. god. dobio je svoja cehovska prava od kralja Karla III).

B. Crnković

LIT.: R. Kregar, Naravni in umetni kamen za tehniko in okras, Ljubljana 1947. — L. Marić, Petrografija za studente arh. grad. lik. i prim. umjetnosti, Zagreb 1951. — C. C. Hadisyde, Building materials, London 1961. — H. E. Davis, G. E. Troxell and C. T. Wishocil, The testing and inspection of engineering materials, New York 1964. — E. B. Караулов, Каменные конструкции, Москва 1966. — F. de Quervain, Technische Gesteinskunde, Basel-Stuttgart 1967. — И. Б. Шнаус, Разработка. Месторожденных город, Москва 1968. — R. Macaulay, Симфоние у каму, Београд 1968. — R. L. Bates, Geology of the industrial rocks and minerals, New York 1969. — L. Marić, Minerali, stijene i rudna ležišta u našoj zemlji od prehistorije do danas, Zagreb 1974.

B. Crnković D. Gojković Đ. Lazarević

GRAĐEVNI MATERIJALI, svi materijali koji se upotrebljavaju u građevinarstvu.

Isprijava je čovjek upotrebljavao samo prirodne materijale koje je nalazio u svojoj neposrednoj okolini. Poslije se, s razvojem ljudskog stvaralaštva, razvijala ne samo preradba i obradba prirodnih građevnih materijala već i industrija novih umjetnih građevnih materijala. Danas postoji mnogo različitih vrsta građevnih materijala, a njihovo je poznavanje jedan od najvažnijih uvjeta za ispravnu primjenu pri projektiranju i gradnji građevinskih objekata.

Poznavanje građevnog materijala znači poznavanje tehnoloških postupaka za njegovo dobivanje i preradbu, njegovog kemijskog sastava i tehničkih svojstava prije upotrebe i za vrijeme obradbe, ponašanja nakon ugradnje, te svih bitnih promjena koje s vremenom mogu nastati.

Poznavanje građevnih materijala omogućuje odabiranje najpovoljnijeg materijala za određeni građevinski objekt, kako u pogledu postavljenih zahtjeva za taj objekt tako i u pogledu svih ostalih specifičnih uvjeta da bi objekt potpuno odgovarao svojoj namjeni: da bude stabilan, dugotrajan, jeftin za održavanje i lijep.

Građevni materijali mogu se klasificirati prema načinu proizvodnje i prema njihovoj upotrebi.

Podjela prema načinu proizvodnje

Prema načinu proizvodnje razlikuju se prirodni i umjetni građevni materijali.

Prirodni građevni materijali (tabl. 1) jesu oni koji se nalaze u prirodi i koji se mogu ugrađivati uz manju ili veću prethodnu obradbu i preradbu. Najvažniji prirodni materijali jesu drvo i kamen, te pijesak i šljunak kao prirodno usitnjen kamen.

Iako je drvo (v. Drvo, TE3, str. 419) najosjetljiviji građevni materijal, ipak zauzima veoma važno mjesto među građevnim materijalima, jer uz lijep izgled ima i povoljna prirodna svojstva, zbog čega se upotrebljava u građevinarstvu za različite svrhe.

Kamen (v. Grad. kamen) je od davnine dominantan materijal u građevinarstvu zbog svoje trajnosti, dobrih mehaničkih svojstava i lijepog izgleda. Međutim, pojavom betona i umjetnog kamena prirodni kamen sve se manje upotrebljava u konstrukcijske, a sve više u ukrasne svrhe za izvedbu različitih obloga.

Od ostalih materijala i danas primitivni narodi upotrebljavaju za gradnju svojih nastambi različite prirodne (priručne) materijale, npr.: glinu, granje, veliko lišće tropskih biljaka, slamu, životinjske kože, pa čak i kocke snijega i leda, već prema klimatskom području.

Umjetni građevni materijali (tabl. 2) proizvode se iz prirodnih sirovina (materijala), mineralnog ili organskog podrijetla, i to kemijskom ili mehaničkom preradbom. To su danas glavni građevni materijali.

Dugo su vremena graditelji imali relativno malo građevnog materijala. Oni su pored prirodnih materijala upotrebljavali i

umjetne materijale, istina, proizvedene na primitivan način, i to: keramiku, vapno, sadru, mortove, staklo, bakar, olovo, te prvi beton (poznat već u rimsko doba).

Vapno (v. Vapno) i vapneni mort upotrebljavali su Egipćani prije gotovo 5000 godina pri gradnji piramida, a također i u Izraelu u vrijeme kralja Salomona. U nas je upotreba vapnenog morta poznata od pamtivijeka, ali se također gradilo i bez morta u suho.

Sadra (gips) je kao građevni materijal poznata od davninē. Već su Egipćani, a poslije i Rimljani, dodavali sadru u mort.

Cement (v. Cementi, TE2, str. 585) je danas, a s njime i beton, najvažniji građevni materijal. Već su stari Rimljani poznavali prva hidraulička veziva, npr. prirodni cement vulkanskog podrijetla, koji se kopao na padinama Vezuva i pomoću kojeg su pripremali prve betone. Poslije, u srednjem vijeku, napušteno je građenje betonom. Tek početkom XIX vijeka pronalaskom portland-cementa (J. Aspdin 1824. godine prvi put je žario smjesu vapnenca i gline) započela je nova era gradnje betonom. Prva tvornica cementa u nas proradila je 1865. godine kod Splita.

Izradba predmeta od gline jedan je od najstarijih zanata. Prvobitna upotreba gline u građevne svrhe, obljepljivanje pletera, sačuvala se sve do danas. **Pečenu opeku** (v. Opeka) upotrebljavali su Egipćani već prije 6000 godina. Asirci i Perzijanci izrađivali su šarene pločice za oblaganje zidova i podova.

Staklo (v. Staklo) je poznato također više tisuća godina. Egipćani su ga poznavali prije 5000 godina. Oni su ga obrađivali ručno, bojaditali i od njega izrađivali i nakit. Rimljani su staklo obrađivali puhanjem. Od XV do XVII vijeka u Veneciji se razvila umjetnička obradba venecijanskog stakla od kojeg su se proizvodile čaše, pehari i ukrasni predmeti. Prozirno brušeno kristalno staklo proizvedeno je najprije u Češkoj. Krajem XVII vijeka u Francuskoj se počinju lijevati i brusiti velike staklene ploče za ogledala. Prvo ravno staklo, koje se od davnina upotrebljava u zgradarstvu za ostakljivanje prozora, izrađivalo se puhanjem u valjak. Staklenom cilindru odrezuju se krajevi, presijeca ga se i razvija u ravnu ploču.

Iako se željezo (v. Gvožđe) u povijesti čovječanstva pojavilo poslije brončanog doba, oko ← 2500, njegova prava primjena u građevinarstvu nastaje tek s razvojem industrijske proizvodnje željeza i čelika (Bessemervov postupak 1855. godine). Sve do tada željezo se veoma malo upotrebljavalo kao građevni materijal, i to uglavnom za izradbu spojeva i ukrasa, a sve zbog teškog postupka dobivanja, nedovoljne proizvodnje, teškoća u obradbi i visoke cijene. Danas je čelik (v. Čelik, TE3, str. 43) potreban

Tablica 1
PRIRODNI GRAĐEVNI MATERIJALI

Vrsta materijala	Naziv materijala	
Kamen	eruptivni	granit sijenit, diorit, gabro, porfir, dijabaz, bazalt, vulkanski tufovi
	sedimentni	pješčari, konglomerati i breče, vapneni, dolomit, pijesak i šljunak
	metamorfni	gnajsi, filit, serpentin i mramor
Drvo	bjelogorica	hrast, bukva, jasen, brijest, grab, javor, bagrem, topola, hrast plutnjak (pluto) i dr.
	crnogorica	ariš, bor, jela, smreka (omorika) i tisa
	tropsko drvo	tik, mahagoni, palisander, ebanovina
Zemlja	glina i ilovača	
Prirodni bitumen	bituminozni vapneni, bituminozni škrljavci i prirodni asfalt	
Prirodni asfalt	trinidadski asfalt	
Različiti prirodni (priručni) materijali	koža, trska, slama, lišće tropskih biljaka, led, snijeg i voda kao pomoćni materijal za izradbu različitih umjetnih građevnih materijala	

građevni materijal ne samo zbog velikih mogućnosti za njegovu samostalnu upotrebu već i zbog primjene u kombinaciji s drugim materijalima, naročito za izradbu armiranog betona (v. *Armirani beton*, TE1, str. 387), izradbu spojnih sredstava za drvene konstrukcije itd.

Bakar (v. *Bakar*, TE1, str. 651) je metal poznat čovjeku još iz prehistorijskih vremena. Najstariji predmeti od čistog bakra potječu iz Prednje Azije i Egipta, a stari su više od 5000 godina. U Grčkoj je bakar bio poznat ← 1500. godine, a dobivao se s otoka Cipra (aes cyprium, od čega je nastalo cuprum). Stara plemena Inka u Južnoj Americi također su poznavala bakar. Bakreno doba zamijenilo je kasnije brončano doba kad je otkriven kalaj. Bronca se upotrebljavala gotovo do početka n. e., a onda je i nju zamijenilo željezo. Zbog lake obradivosti i otpornosti prema koroziji, bakar se od davnina upotrebljava za izradbu kućnih instalacija tople vode, te za izradbu krovnih pokrova reprezentativnih zgrada, ali zbog visoke cijene u ograničenim količinama.

Olovo (v. *Olovo*) je jedan od najranije poznatih metala. Poznavali su ga Egipćani i Grci. Za vrijeme punskih ratova postojali su olovni rudnici u Španjolskoj. Odatle su ga Grci,

Tablica 2

UMJETNI GRAĐEVNI MATERIJALI I NJHOVI PROIZVODI

Vrsta materijala	Naziv materijala i proizvoda	
Vapno	gašeno vapno	
	hidratizirano vapno u prahu i vapnena kaša	
Cementi	portland-cement, portland-cement s dodatkom zgre ili pucolana, miješani, metalurški, pucolanski i aluminatni cementi	
Sadra (gips)	štukturna sadra, alabaster-sadra, modelarska, sadra za mortove i estrih-sadra	
Mortovi	mortovi od zračnih veziva	
	mortovi od hidrauličkih veziva	
	mortovi od vatro-stalnih veziva	
	plastomerni mortovi	
Betoni	teški betoni	
	normalni betoni	
	lagani betoni	betoni volumne težine manje od 1900 kgm^{-3} ; lakoagregatni betoni: beton od ekspanzirane gline (keramzit), beton od drobljene opeke, beton s ispunom od organskih materijala (Durisol, Heraklit, Tanisol i dr.)
		čelijasti beton: plinobeton (Siporex) i pjenobeton
		jednozrnasti betoni (betoni bez sitne frakcije agregata)
	plastomerni betoni	plastomerni i plastomerno-cementni betoni
azbestno-cementni proizvodi	krovnne ploče (ravne ili valovite), različite cijevi i građevni elementi (Salonit)	
Metali	čelik	konstrukcijski čelici
	željezo	bijelo i sivo lijevano željezo
	obojeni metali	cink, bakar, olovo, kalaj i aluminij, te legure: duraluminij, bronca i mjed

Građevna keramika	opeka	puna i šuplja opeka normalnog formata, fasadna opeka, običan zidni blok, fasadni zidni blok, zidni blok s uzdužnim šupljinama, blokovi za stropne konstrukcije, radijalna opeka i klinker-opeka
	crijep	utoreni vučeni crijep, vučeni biber-crijep i prešani od gline, vučeni žljeb-njak, kanalice i dr.
	keramičke cijevi	drenažne, kanalizacijske i dimnjačke cijevi
	keramički elementi	zidne i podne keramičke pločice
Staklo	normalno staklo	prozorsko i mutno staklo, staklo za ogledala
	sigurnosno staklo	armirano staklo, kaljeno i lijepljeno (triplex) staklo
	elementi od stakla	stakleni crijep, ploče i pločice, puni i šuplji zidni elementi (luksfer)
Vatrostalni materijali	vatrostalne sirovine	glina i kaolin
	vatrostalni proizvodi	šamotno brašno te šamotne, kremene (Dinas) magnezitne, dolomitne i boksitne opeke
Plastomeri	termoplastične mase	poliamidi, polikarbonati, polietilen, polipropilen, polizobutilen, polivinil-klorid, polivinilacetat, polimetilmetakrilat i dr.
	termostabilne mase	epoksidne, poliesterne, poliuretanske i fenolne smole
Guma	guma od prirodnog kaučuka	prirodni kaučuk
	guma od umjetnih kaučuka	silikonski kaučuk, polibutadienski kaučuk, poliuretanski kaučuk, butilni kaučuk i dr.
Katran	katran od kame-nog ugljena	katranska smola i katranska emulzija
	katran od drveta	katranska smola i katranska emulzija
Bitumen	umjetni bitumen	cestograđevni i umjetni bitumen, razrijeđeni bitumen i bitumenska emulzija
Asfalt	umjetni asfalt	pješčani asfalt, valjani asfalt, asfaltni beton i bitumenizirani šljunak
Zgura	ložišna zgura	granulirana zgura visokih peći
	talionička zgura	talionički kamen

Feničani i Rimljani dobivali i upotrebljavali za vodovodne cijevi, a Herodot tumači da se željezni i bronžani predmeti u kamen učvršćuju olovom, što je ostalo do danas. Kupola Aja Sofije u Carigradu pokrivena je početkom VI vijeka olovnom pločama, koje su se i do danas sačuvala.

Aluminij (v. *Aluminijum*, TE1, str. 223) je noviji građevni materijal. Tek što je razvijena proizvodnja aluminija pomoću elektrolize, aluminij je postao sve traženiji građevni materijal zbog svoje otpornosti prema atmosferskim utjecajima, različitih mogućnosti obradbe površina, lakog transporta i ugradnje. Najviše se upotrebljava u zgradarstvu za izradbu građevne stolarije, pokrivanje krovova, oblaganje fasada, zidova i stropova, za izradbu različitih profila i arhitektonskih ukrasa itd.

Krajem XIX stoljeća, naglim razvojem industrijske proizvodnje građevnih materijala, naročito čelika, cementa i stakla, te otkrićem novih umjetnih građevnih materijala, nastaje obrat u građevinarstvu. Za razliku od dotadašnjeg načina građenja (masivne zidane i svodene konstrukcije od kamena i opeke), počinju se graditi lagane čelične i armirano betonske konstrukcije, npr. mostovi velikih raspona, visoke višekatne zgrade (neboderi), različiti tornjevi (vodotornjevi i sl.), visoki tvornički dimnjaci, različite luskaste stropne konstrukcije, kupole i dr. Novi građevni materijali: čelik, armirani beton, staklo, aluminij i djelomično najnoviji staklenim vlaknima ojačani plastomerni

materijali omogućili su stvaranje moderne arhitekture, jer racionalna industrijska proizvodnja materijala pruža, za razliku od dotadašnje, dovoljne količine materijala uz prihvatljive cijene.

Beton je u suvremenom građevinarstvu najvažniji građevni materijal. Građenje betonom (v. *Beton*, TE2, str. 1) relativno je lako, brzo i jeftinije od građenja bilo kojim drugim materijalom. Beton je vrlo otporan (visoke tlačne čvrstoće), dugo traje, dovoljno je vatrostalan i higijeničan, pa je pogodan za objekte visokogradnje, niskogradnje i hidrotehničke objekte. Velike su prednosti armiranog betona u suvremenoj stambenoj gradnji i zgradarstvu uopće, jer omogućuje izvedbu elemenata velikih dimenzija, koji se oblažu izolacijskim materijalima.

Danas se proizvode najrazličitije vrste umjetnih građevnih materijala od kojih u najnovije vrijeme sve veći udio imaju *plastomerni materijali*, proizvedeni u obliku ploča, folija, cijevi, traka, različitih profila, premaza, masa za brtvljenje i dr. Oni nalaze postepeno sve veću primjenu u građevinarstvu. Popis svih vrsta plastomera sa skraćenim oznakama za njihove pune nazive nalazi se u standardu JUS G.C0.011.

Podjela prema upotrebi

Građevni se materijali mogu svrstati prema upotrebi u četiri skupine: konstrukcijski (nosivi) materijali, veziva, izolacijski materijali i materijali za oblaganje.

Konstrukcijski materijali su primarni materijali u građevinarstvu, a upotrebljavaju se za izvedbu nosivih konstrukcijskih elemenata ili monolitnih konstrukcija niskogradnje i visokogradnje. Opća je karakteristika konstrukcijskih materijala da njihova dobra mehanička svojstva omogućuju da građevni elementi i konstrukcije od tih materijala mogu preuzeti statička i dinamička opterećenja.

Konstrukcijski su materijali: beton i armirani beton, čelik, kamen, opeka, drvo i, u najnovije vrijeme, plastomeri ojačani staklenim, odnosno plastičnim vlaknima ili bez toga ojačanja.

Veziva su materijali koji pomiješani s vodom (osim bitumenskih i plastičnih veziva) daju kašaste ili plastične mase koje nakon vezivanja otvrdnu na zraku ili u vodi i time daju, već prema sastavu, kvalitetne konstrukcijske ili izolacijske građevne materijale.

Vezivima se spajaju proizvodi od pečene gline, mortovi, umjetni kamen, te sve vrste betona.

Prema stvrđnjavanju razlikuju se zračna, hidraulička, vatrostalna, bitumenska i plastična veziva (tabl. 3).

Zračna veziva su veziva koja vezuju i stvrđnjavaju na zraku. To su vapno (kreč), različite vrste sadre i glina.

Vapno (v. *Vapno*) je pored cementa najvažnije vezivo u građevinarstvu. Pečenjem kamena vapnenca (vapneni kamen) dobiva se negašeno (živo) vapno. Živo se vapno gasi u komadima i upotrebljava kao kašasto gašeno vapno ili vapno u prahu (hidratizirano vapno). Vapno se upotrebljava od davnina za izradbu vapnenih i produžnih (vapneno-cementnih) mortova za zidanje i žbukanje, te bojenje zidova (krečenje).

Sadra (gips) se proizvodi od kamena sadrovca pečenjem na pogodnoj temperaturi i mljevenjem. Upotrebljavala se kao građevni materijal još od davnine, a u suvremenom se građevinarstvu upotrebljava kao materijal za unutrašnje završne radove (žbukanje) ili kao materijal za izradbu različitih građevnih elemenata (pregradne i obložne ploče, blokovi i sl.), namijenjenih također unutrašnjoj ugradnji jer nije otporna na atmosferske utjecaje.

Glina i ilovača upotrebljavale su se odavno kao osnovni građevni i vezivni materijal. Prvi su se mortovi dobivali miješanjem gline s vodom. Poslije se toj smjesi dodavala pljeva ili slama da bi se umanjilo njeno pucanje za vrijeme sušenja. Nakon što voda ishlapi, glina postaje ponovno kruta i otporna. Upotrebljava se ili sama ili u kombinaciji s cementom, odnosno vapnom, kao mort za zidanje, obljepljivanje pletera, zidove od naboja i nepečene opeke, te žbukanje zidova od naboja, čerpića, opeke ili drveta. Glina i ilovača upotrebljavaju se za izradbu podova ili tavanjskih podloga jednostavnih kuća, poljoprivrednih zgrada i sl.

Hidraulička veziva se vezuju i stvrđnjavaju na zraku i u vodi. Najvažnija hidraulička veziva jesu: cementi različitih vrsta, hidrauličko vapno i neke posebne vrste zemlje, koje se nalaze u prirodi. One su danas bez posebne važnosti (santorinska i pucolanska zemlja).

Cement je najvažnije hidrauličko vezivo. Upotrebljava se za proizvodnju svih vrsta betona, cementnih mortova i dr. (v. *Cement*, TE2, str. 585).

Hidrauličko vapno dobiva se pečenjem vapnenca s većim postotkom (do 20%) sadržaja gline (vapnenački lapor ili glinoviti vapnenci). Rijetko se upotrebljava jer ga redovito zamjenjuje cement.

Vatrostalna veziva su materijali koji podnose visoke temperature (do 1580°C), a da se pri tome ne raspadnu, ne rastale ili ne promijene prvobitni oblik.

Najpoznatije vatrostalno vezivo je *plastična vatrostalna glina* (teškotaljiva glina), koja je to stalnija pri visokim temperaturama što sadrži više aluminij-oksida.

Bitumenska veziva ubraja se umjetni bitumen (v. *Bitumen*, TE2, str. 40), koji se dobiva kao ostatak pri preradbi sirove nafte. Upotrebljava se uglavnom za proizvodnju umjetnog asfalta (bitumen s mineralnom ispunom), u cestogradnji za izradbu kolovoznih zastora, te za hidroizolacije.

U najnovije vrijeme započela je pokusna primjena *plastomernih veziva* za izradbu tzv. *plastičnih* betona i mortova. Kao veziva za tu vrstu betona upotrebljavaju se tekuće epoksidne smole, smole od nezasićenih poliesteri i poliuretanske smole. Premda plastomerni betoni i mortovi imaju izvanredna mehanička i fizičko-kemijska svojstva, njihova je primjena ograničena zbog visoke cijene, i to zbog velikog udjela plastomernih veziva u smjesi betona ili morta.

Osim čisto plastomernih, postoje i *plastomerno-cementna veziva*. Ta se veziva pripremaju tako da se umjesto vode cementu dodaje vodena disperzija termoplastične mase ili komponenta reakcijske smole. Za vezivo se najčešće upotrebljavaju disperzije akrilata i polivinil-acetata (PVA). Plastomerno-cementna veziva upotrebljavaju se prvenstveno za izradbu vodonepropusnih betona i mortova. Cijena tih betona je nešto veća od cijene običnog betona.

Izolacijski materijali su svi zaštitni materijali koji zaštićuju ili odvajaju neki građevni element, odnosno konstrukciju od utjecaja vlage, temperaturnih razlika, buke, vibracija ili od utjecaja različitih kemijskih tvari.

Tablica 3
GRAĐEVNA VEZIVA

Vrsta veziva	Naziv veziva	
Zračna veziva	gašeno vapno	hidratizirano vapno u prahu i vapnena kaša
	sadra (gips)	štukturna, alabaster-sadra, modelarska, sadra za mortove i estrih-sadra
	glina	obična glina i ilovača
Hidraulička veziva	cementi	portland-cement, potland-cement s dodatkom zgure ili pucolana, miješani, metalurški, pucolanski i aluminatni cementi
	hidrauličko vapno	hidrauličko vapno
	prirodna hidraulička veziva	santorinska i pucolanska zemlja i alpska breča
Vatrostalna veziva	glina	vatrostalna čista glina
Bitumenska veziva	prirodni bitumen	razrijeđeni bitumen i bitumenska emulzija
	umjetni bitumen	razrijeđeni bitumen i bitumenska emulzija
Plastomerna veziva	termostabilne reaktivne smole	epoksidna, poliesterska i poliuretanska smola

S obzirom na suvremeni način građenja izolacijski materijali zauzimaju danas važno mjesto u građevinarstvu, a njihova je proizvodnja u sve većem porastu.

Kao izolacijski materijali sve se više upotrebljavaju i različiti plastomerni materijali, odnosno njihovi proizvodi.

U građevinarstvu se primjenjuju tri vrste izolacije: izolacije od vode (hidroizolacije), toplinske izolacije (termoizolacije) i zvučne izolacije (akustičke izolacije).

Izolacije od vode (tabl. 4) zaštićuju čitav objekt ili samo neke njegove dijelove od štetnog utjecaja oborinske i podzemne vode, koja je najčešći uzročnik ubrzanog propadanja građevnih materijala i konstrukcija. Voda uzrokuje propadanje drveta, rđanje čelika, a pri niskim temperaturama (led) razara kamen, beton, opeku i žbuku.

Osim zaštite građevnih materijala, odnosno konstrukcija i čitavih objekata, hidroizolacije su važne s obzirom na udobnost i higijenu stanovanja, jer sprečavaju prodor vlage i pojavu plijesni na zidovima i podovima stambenih prostorija.

Za izvedbu hidroizolacija upotrebljavaju se vodonepropusni materijali, koji u trajnom dodiru s vodom ostaju nepromijenjeni, tj. ne propadaju i ne bubre.

Najstarije su se hidroizolacije izrađivale od prirodnog asfalta, a poslije od bitumena, koji je još uvijek glavni hidroizolacijski materijal.

U novije su se vrijeme počeli postepeno primjenjivati za temeljne i krovne hidroizolacije i različiti plastomerni materijali, kao: poliizobutilenske (PIB) i meke polivinilkloridne (PVC) folije, poliesterski laminat, polimerni betoni i mortovi, različiti premazi, kitne mase i dr.

Limovi se upotrebljavaju, zbog visokih cijena, uglavnom za izvedbu krovnih pokrivača kosih i zakrivljenih krovova. Najvažniji su bakreni, cinčani i pocinčani čelični limovi, a rjeđe se upotrebljava i olovni lim.

Tablica 4
HIDROIZOLACIJSKI MATERIJALI I PROIZVODI

Vrsta materijala i proizvoda	Oblik i dimenzije proizvoda
Bitumen i katran	bitumen, katran emulzije i razrijeđeni materijali
	krovnja ljepenka, bitumenizirana juta izolacijske trake (papirnati, juteni i metalni ulošci, obostrano natopljeni bitumenom)
Plastomeri	poliizobutilenske folije, polivinilkloridne folije, polietilenske folije folije u trakama širine 1,0...1,2 m i debljine 0,8...2,0 mm
	poliesterski laminat dvoslojni laminat debeo oko 2 mm izrađen na samome mjestu
	masa za kitanje jedno- ili dvokomponentne mase za brtvljenje rešaka
Metali	bakreni lim, cinčani lim, pocinčani čelični lim, aluminijski lim, olovni lim ploče 2...3 m ² , debljine 0,1...5 mm ploče 2 m ² , debljine 0,2...4 mm ploče 2 m ² , debljine 0,45...4 mm ploče 1...2 m ² , debljine 0,2...5 mm trake širine 0,5...4 m, debljine 0,5...15 mm
	betoni i mortovi s različitim dodacima koji odbijaju vodu (hidrofobija) ili stvaraju u porama nepropusnu ispunu normalni betoni i mortovi sa silikonskim i drugim dodacima te plastomerno-cementni betoni i mortovi
Premazi i boje	premazi koji stvaraju film na podlozi uljane boje, plastomerni premazi i cementni premazi
	premazi za natapanje i impregnaciju različiti silikonski premazi

Toplinske izolacije upotrebljavaju se u građevinarstvu u novije vrijeme za sprečavanje, odnosno smanjivanje provođenja topline iz jedne prostorije u drugu, odnosno iz grijanih unutrašnjih prostorija kroz zidove zgrada u okolicu.

Za toplinske izolacije upotrebljavaju se lagani i porozni građevni materijali s malim koeficijentom toplinske vodljivosti. Zrak je jedan od najboljih toplinskih izolatora. Zbog toga se termička izolacija prije ostvarivala pomoću sloja zraka između dvostrukih zidova, a danas se to postiže zidovima od različitih šupljih blokova od opeke ili betona.

Termoizolacijski se materijali (tabl. 5) ugrađuju prema vrsti i sastavu višeslojnih zidova i stropova, te vrsti materijala.

Kao toplinski izolatori upotrebljavaju se materijali od umjetnih mineralnih vlakana, plastomerni šupljikavi materijali (tvrde plastične pjene), pluto, pjenasto staklo, lagane ploče na bazi drveta, drvocementni proizvodi, materijali organskog podrijetla i različiti lagani betoni.

Termoizolacijski materijali moraju se tako ugrađivati da ostanu trajno suhi, jer u protivnom slabi njihovo izolacijsko djelovanje. Ako su ti materijali organskog podrijetla, postoji opasnost da trajnijim utjecajem vlage ubrzo istrunu.

Tablica 5
TERMOIZOLACIJSKI MATERIJALI I PROIZVODI

Vrsta materijala i proizvoda	Oblik i dimenzije proizvoda
Lagani betoni	keramzit-beton, beton od troske, beton od drobljene opeke ploče 5...20 cm i različiti šuplji blokovi
	plinobeton (Siporex), pjenobeton ploče 5...20 cm i različiti blokovi za zidanje
	drvilit (Heraklit), Tarolit, Durisol ploče 3...10 cm i različiti šuplji blokovi za zidanje
Drvo	meki lesanit, iverica, meki fazer ploče 1...3 cm
Anorganski materijali	kamena vuna (tervol), staklena vuna ploče (jastuci) 3...10 cm ili materijal u rinfuzi
Organski materijali	pozder (lamit-ploče), pluto, slama (stramit-ploče), trstika (prošivena) ploče 1...5 cm
Plastomeri	tvrda polistirenska pjena (Okipor), tvrda fenolformaldehidna pjena (Porofen) ploče 1...10 cm
Staklo	pjenasto staklo (foam glass), profilirano staklo, termoizolacijsko staklo (Izopan) ploče 1...10 cm, različiti stakleni profili i dvostruka prozorska stakla izrađena po mjeri

Zvučna izolacija, u najnovije vrijeme, primjenjuje se u zgradarstvu radi smanjenja nepoželjne buke u radnim i stambenim prostorijama koja potječe od vlastitog ili od vanjskog izvora buke.

Za smanjenje razine buke u prostorijama s vlastitim izvorom buke upotrebljavaju se različiti materijali i elementi koji apsorbiraju zvuk, tj. smanjuju refleksiju zvuka od površina u prostoriji (zidovi, stropovi i podovi) (tabl. 6). U te se svrhe upotrebljavaju uz pogodni način ugradbe različiti materijali, elementi i obloge, najčešće u obliku ploča s odgovarajućom obradbom vanjskih površina (reljefi i perforacije), različiti meki materijali šupljikave ili vlaknaste strukture, kao npr. sintetske meke pjene sa šupljinama koje su međusobno povezane (poliuretanske meke pjene), mineralna vuna, različite grube tkanine i dr.

Za prigušivanje udarnog zvuka (topota) i vibracija upotrebljavaju se meki materijali, koji djeluju kao amortizacijski slojevi (elastični amortizeri) (tabl. 7). Oni se ugrađuju uvijek na strani izvora topota i vibracija, da bi se smanjila buka u vlastitoj prostoriji i djelomično spriječio prolaz zvuka kroz zi-

Tablica 6
MATERIJALI I PROIZVODI ZA APSORPCIJU ZVUKA

Vrste materijala i proizvoda		Oblik i dimenzije proizvoda
Metali	aluminijски perforirani lim	akustični profili (Dampa), akustičke ploče (Dekaterm) s okruglim otvorima i s podlogom od mineralne vune koja je zaštićena aluminijском folijom
Sadra (gips)	sadra za modeliranje	akustičke ploče (Dephon-MM, Lexaphon i dr.) sa četvrtastim otvorima i podlogom od mineralne vune te aluminijском folijom zalijepljenom na poleđini. Dimenzije ploča su ~60cm x 60cm x 3cm
Anorganski materijali	kamena vuna (tervol) staklena vuna	ploče (jastuci) 3...10cm
Plastomeri	meka i tvrda poliuretanska pjena (Iskrapen)	trake i ploče 1...10cm
Drvo	lesonit iverica	akustičke ploče (Dephon-L) sa četvrtastim otvorima i s podlogom od mineralne vune, koja je zaštićena aluminijском folijom. Dimenzije ploča su ~60cm x 60cm x 3cm

Tablica 7
AKUSTIČKI IZOLACIJSKI MATERIJALI I PROIZVODI ZA PRIGUŠIVANJE TOPOTA I VIBRACIJA

Vrste materijala i proizvoda		Oblik i dimenzije proizvoda
Organski materijali	meki lesonit pluto impregnirani pozder	ploče 1...3cm i granule pluta
	kokosova vlakna	ploče (jastuci) 3...10cm
Anorganski materijali	kamena vuna (tervol) staklena vuna	ploče (jastuci) 3...10cm
	pijesak perlit	granule 0,15...5cm
Plastomeri	tvrda polistirenska pjena (Okipor) tvrda poliuretanska pjena (Iskrapen)	ploče 1...10cm
Guma	meka pjenasta guma meka elastična guma	trake 0,2...2cm
Tekstil	tepisi tapisoni	bosanski tepih, perzijski tepih i dr. tufting-tepih i dr.

dove i stropove u druge prostorije, i konačno, da bi se smanjio prijenos vibracija na konstrukciju objekta.

Materijali za oblaganje upotrebljavaju se u niskogradnji i visokogradnji, i to prvenstveno za zaštitu ugrađenih izolacijskih i konstrukcijskih materijala, odnosno čitavih objekata.

Već prema primjeni, razlikuju se tri vrste građevnih obloga: habajuće, izolacijske i ukrasne obloge. Pri izboru vrste materijala za oblaganje najčešće se traži da materijal treba da istodobno zadovolji više zahtjeva. Tako podne obloge u zgradarstvu moraju biti otporne prema habanju, ali moraju ispuniti i estetske zahtjeve. Obloge se najviše upotrebljavaju u zgradarstvu, i to u fazi završnih radova.

Habajuće obloge su neposredno izložene djelovanju mehaničkih opterećenja i treba da zaštite nosivu podlogu od intenzivnog trošenja. U niskogradnji to su asfaltni (v. *Asfalt*, TE1, str. 425) i betonski kolovozni zastori, betonske ili kamene obloge kanala ili riječnih korita, a u visokogradnji to su najrazličitije vrste podnih obloga.

Za izvedbu habajućih obloga upotrebljavaju se materijali otporni na habanje: kamen, beton, asfalt i drvo, keramičke pločice, čelični limovi i, u najnovije vrijeme, plastomerni proizvodi (trake, ploče, tapisoni i sl.).

Izolacijske obloge upotrebljavaju se za zaštitu izolacijskih materijala, za zaštitu građevnih materijala, naročito kad su izloženi atmosferskim utjecajima, i za izvedbu građevinskih izolacija čija je vidljiva površina istodobno i ukrasna obloga.

Za izolacijske obloge upotrebljavaju se profili, trake i ploče od kamena, drva, bakra, aluminija, stakla, građevne keramike i plastomera, a osim toga i materijali koji se pripremaju neposredno prije upotrebe: različiti mortovi (žbuke), zaštitni premazi i boje.

Ukrasne obloge koje služe jedino kao ukras rijetko se izvode, jer u tu svrhu najčešće se mogu upotrijebiti izolacijske obloge. Za izvedbu ukrasnih obloga građevni materijali moraju biti

Tablica 8
NEKA FIZIKALNA SVOJSTVA GRAĐEVNIH MATERIJALA

Vrsta materijala		Gustoća kg m ⁻³	Koeficijent toplinske vodljivosti WK ⁻¹ m ⁻¹			
Kamen	prirodni kamen, granit, gnajs, mramor	2400...3300 2500...2900	3,5 2,3...3,5			
	žbuka	vapnena žbuka produžna žbuka cementna žbuka	1700 1800 2100	0,87 0,99 1,28		
Beton	beton od kamenog agregata	2400 2200 2000 1800	1,7 1,4 1,2 0,9			
		beton od lakih agregata	1400 1200 1000 800 600 400	0,62 0,49 0,38 0,29 0,22 0,17		
			Sadra (gips)	1200 1000	0,58 0,52	
			Materijal za ispunu	pijesak šljunak drobljena opeka drobljeno pluto	1700 1800 800 50	0,58 0,81 0,41 0,041
				ploče od drvene vune	500 400	0,099 0,087
ploče od drvenih vlakana, tvrde meke	1000 400 300 200				0,12 0,058 0,052 0,047	
	iverice, prešane	600		0,14		
		Izolacijski materijali	ploče od prešane slame	350	0,099	
	ploče od ekspaniranog pluta			200 150 100	0,047 0,043 0,038	
prskani azbest				600 400	0,17 0,12	
		Drvo	mineralna i staklena vuna	80...200	0,047	
tvrde i plastomerne pjene	15...50			0,038		
	bukva hrast smreka i jela bor panel-ploče			800 800 500 650 600	0,17 0,21 0,14 — 0,14	
Staklo				ravno (prozorsko)	2700	0,81
				pijenasto (foam glass)	135 125	0,052 0,050
Različite obloge		azbestcementne ploče keramičke pločice linoleum guma	1800 2000 1200 950...1000	0,47 1,05 0,19 0,14...0,29		

lijepog izgleda i dovoljno trajni. Od svih materijala za ukrasne obloge prednost se daje kamenu, a upotrebljavaju se drvo, aluminij, bakar, beton, staklo, građevna keramika, a u novije vrijeme i proizvodi od tvrdog polivinilklorida (PVC), armiranog poliestera (UP), pleksiglasi (PMMA), ukrasne žbuke i dr.

Kontrola svojstava i kvalitete. Ispitivanje i kontrola svojstava i kvalitete građevnih materijala provodi se različitim postupcima (v. *Ispitivanje građevnih materijala*). Ispituju se kemijska (otpornost prema kemijskom djelovanju, atmosferski utjecaji i sl.), fizička (gustoća, utjecaj promjene temperature, provodljivost topline i zvuka, zapaljivost, upijanje vode i sl.) (tabl. 8), mehanička (čvrstoća, modul elastičnosti, pojave deformacije, zamor materijala i sl.) (tabl. 9) i tehnološka svojstva (obradljivost i sl.). Na temelju tih ispitivanja zaključuje se o kvaliteti i upotrebljivosti građevnih materijala. Svojstva svih građevnih materijala moraju odgovarati standardima (v. *Standardizacija*).

Tablica 9
NEKA MEHANIČKA SVOJSTVA GRAĐEVNIH MATERIJALA

Vrsta materijala	Plaćna čvrstoća MPa (10 ⁶ kpc ^m ⁻²)	Modul elastičnosti 10 ⁵ MPa (10 ⁶ kpc ^m ⁻²)	
Beton	normalni, MB 100...300 visoke otpornosti, MB 300...600	10...30 30...60	0,1...0,4
Čelik		340...420	2,1
Kamen	granit bazalt diorit	120...250 200...500 150...300	—
	vapnenac mramor dolomit	60...300	—
Opeka	puna opeka, MO 100...200 šuplja i blok-opeka, MO 50...200	10...20 5...20	—
	Drvo	bukva hrast smreka bor	50...70 50...70 30...45 35...50
Staklo	obično	200...450	0,5...0,8

Osim toga, potrebna svojstva građevnih materijala utvrđena su tehničkim propisima koji obuhvaćaju i uvjete za kvalitetno obavljanje određenih vrsta građevinskih radova (v. *Građevinska regulativa*).

LIT.: V. N. Njegovan, Osnovi kemije. Naučna knjiga, Beograd 1962. — F. Eichler, Bauphysikalische Entwurfslehre, Band 3. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1970. — W. Scholz, Baustoffkenntnis. Werner-Verlag, Düsseldorf 1972. — V. Šihard, Suvremeno građenje. Zagreb 1975. — V. Tufegdžić, Građevinski materijali I i II. Naučna knjiga, Beograd 1975.

M. Zagorec

GRAFIT, jedna od triju alotropskih modifikacija ugljika. U prirodi se pojavljuje u obliku minerala, koji pored ugljika često sadrži različite primjese kao što su glina, oksidi nekih metala i sl. Iz amorfno se ugljika određenim tehnološkim postupkom, grafitiranjem, proizvodi čitav niz različitih vrsta sintetskog grafita. Zbog svojih izvanrednih svojstava, velike toplinske i električne vodljivosti, otpornosti prema kemikalijama i velikim temperaturnim promjenama, niskog koeficijenta trenja itd., grafit je važan i često nezamjenljiv tehnički materijal u elektrotehnici, kemijskoj tehnologiji, strojarstvu, metalurgiji te nuklearnoj i raketnoj tehnici.

Prva su veća nalazišta grafitne rude otkrivena 1540. u Borrowdaleu u Engleskoj. Literatura tog doba govori o grafitu kao sredstvu za pisanje koje se pokazalo boljim od olova. Isprva je grafit smatran talku srodnim mineralom. Kasnije je svrstavan u grupu željeznih minerala, smatran vrstom škrljavca

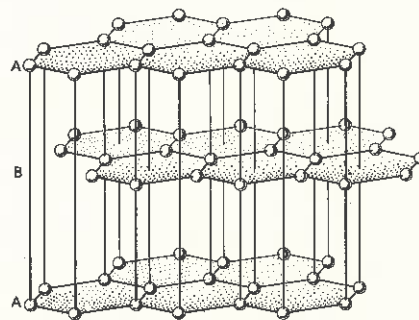
i sjajnikom, dok konačno nije uvršten u metaloide. E. G. Acheson (1900) započeo je industrijsku proizvodnju sintetskog grafita. Iz Amerike se taj proces prenio u Englesku, Francusku i Njemačku, a odatle i u ostale industrijske zemlje, uz veće ili manje tehničke izmjene ili dotjerivanja.

U našoj je zemlji prva Achesonova peć proradila 1950. u Tvornici elektroda u Šibeniku za proizvodnju sintetskog grafita ljuskastog habitusa od antracita, 1957. godine za proizvodnju grafitnih elektroda u istoj tvornici, a 1958. za proizvodnju elektrografitnih blokova za četkice električnih strojeva u Tvornici elektrografitnih proizvoda u Dubrovniku. One rade i danas.

Naziv grafit potječe od grčke riječi γράφειν grafcin pisati, jer je njegova prva primjena bila pri proizvodnji neke vrste olovaka.

Struktura grafita. Grafit je stabilna, kristalna forma ugljika. Atomi ugljika raspoređeni su u kristalnoj rešetki grafita tako da se nalaze na uglovima pravilnih šesterokuta. Njihova međusobna udaljenost iznosi 0,142 nm. Mreža takvih kondenziranih šesterokuta tvori ravne, paralelne slojeve, koji su u idealiziranoj strukturi grafita međusobno udaljeni 0,335 nm. Kako svi vezni elektroni ugljika sudjeluju u stvaranju kovalentnih veza između ugljikovih atoma u slojevima, ti se slojevi drže zajedno jedino zahvaljujući slabim van der Waalsovim silama. Energija veze između slojeva iznosi svega nekoliko postotaka energije kojom su vezani ugljikovi atomi u slojevima. Pored toga, način vezivanja ugljikovih atoma u grafitu i karakter takve kemijske veze vrlo je sličan povezivanju atoma u molekulama aromatskih spojeva (v. *Aromatski ugljikovodici*, TE1, str. 418). Takve strukturne značajke objašnjavaju mnoga karakteristična svojstva grafita.

Grafit kristalizira u heksagonskom kristalnom sustavu, ali uz određene uvjete može prijeći u nestabilnu, romboedrijsku modifikaciju. Prostorni je raspored slojeva ugljikovih atoma takav da se polovica od ukupnog broja atoma nekog sloja A nalazi iznad atoma nižeg sloja B, a druga je polovica atoma iznad središta šesterokuta koje čine atomi u nižem sloju. U heksagonskoj modifikaciji slojevi se ponavljaju u nizu ABAB... itd. (sl. 1). U romboedrijskom kristalnom sustavu ne mijenja se ni raspored ugljikovih atoma u sloju ni međusobni razmak slojeva, pa se ne mijenja ni njegova gustoća. Razlika, međutim, postoji samo u međusobnom položaju paralelnih slojeva. Tek se svaki treći sloj nalazi u istom položaju, tj. prvi sloj A zauzima isti položaj prema drugom B, kao što ga drugi zauzima prema trećem C. Četvrti je sloj ugljikovih atoma ponovno u istom položaju kao prvi, te se tako ponavlja niz slojeva u slijedu ABCABC... itd. Romboedrijska je modifikacija nestabilna i zagrijavanjem prelazi u stabilniju heksagonsku modifikaciju, pa se kod sintetskih grafita, koji se proizvode pri visokim temperaturama, nikada ne susreće romboedrijska forma.



Sl. 1. Kristalna struktura grafita (heksagonska modifikacija)

Grafit je polikristalni materijal. Veličina kristalita u sintetskih grafita može iznositi 50...100 nm, a prirodni grafiti mogu imati i veće kristalite.

Opisana kristalna struktura sa svojim strogo određenim razmakom i rasporedom paralelnih i pravilnih slojeva ugljikovih atoma karakteristična je samo za idealan, čist grafit. Realni grafiti, međutim, pokazuju manje ili veće pogreške, defekte u svojoj kristalnoj strukturi. Ti defekti mogu biti dvovrtni. Jednom su to pogreške u međusobnom rasporedu paralelnih slojeva ugljikovih atoma. Zbog vrlo slabih sila između slojeva oni mogu promijeniti svoj položaj te mogu biti u ravnini pomaknuti s obzirom na susjedne slojeve. Tako nastaje nesređena, turbostratska struktura. Druga vrsta nepravilnosti očituje se u savijenosti i valovitosti slojeva. Uzrok toj pojavi je raznolik. Umjesto