

Dobivanje sinteznog plina zasniva se na već navedenoj konverziji ugljikovodika parom (reformiranju) ili na parcijalnoj oksidaciji ugljikovodika (v. *Plinski generatori*). Postupci reformiranja prikladniji su za preradbu metana. Drugi su prikladni za dobivanje sinteznog plina, odnosno vodika od svih vrsta ugljikovodičnih sirovina.

Koncentracija i čišćenje proizvoda procesa primarne proizvodnje petrokemikalija zasniva se na destilaciji (v. *Destilacija*, TE 3, str. 232), adsorpciji (v. *Adsorpcija*, TE 1, str. 1), apsorpciji (v. *Apsorpcija plinova*, TE 1, str. 324), ekstrakciji (v. *Ekstrakcija*, TE 3, str. 537), kristalizaciji (v. *Kristalizacija*, TE 7, str. 355) ili na nekoj kombinaciji tih operacija. Izbor procesa za razdvajanje zavisi od sastava proizvoda i od zahtjeva s obzirom na čistoću osnovnih petrokemikalija koje treba izdvojiti.

PERSPEKTIVA POTROŠNJE I PROIZVODNJE PETROKEMIKALIJA

Potrošnja petrokemikalija sigurno će se povećavati u dobledoj budućnosti. Petrokemikalije, njihovi derivati i finalni proizvodi (kruti polimerni materijali, sintetski kaučuk, sintetska vlakna, umjetna gnojiva, kemikalije potrebne za motorizaciju, detergenti, premaži itd.) potrebnici su za osiguranje suvremenog načina življena.

Sa sigurnošću se može računati da će se takvi proizvodi još dugo proizvoditi od olefinâ, acetilena, aromatskih ugljikovodika i sinteznog plina koji se danas nazivaju petrokemikalijama. Pitanje je, međutim, dokle će se osnovne sirovine dobivati od nafte i prirodnog plina, pa i dokle će biti opravдан taj naziv. Rezerve su nafte i prirodnog plina, naime, ograničene, a njihova su nalazišta nejednoliko teritorijalno raspodijeljena. Zbog toga, a što je još potencirano velikim poskupljenjem nafte u drugoj polovici prošlog desetljeća, intenzivirana su istraživanja kojima je svrha mogućnost upotrebe drugih sirovina koje bi trebale zamijeniti naftu i prirojni plin u proizvodnji organskih kemikalija. Kao alternativni sirovinski izvori danas se razmatraju ugljen i biomasa.

Ugljen. Svjetske rezerve ugljena mnogo su veće od rezerva nafte i prirodnog plina, a osim toga one su teritorijalno rasprostranjenije. Za upotrebu ugljena kao osnovne sirovine dolaze u obzir tri skupine procesa: likvefakcija ugljena, rasplinjivanje ugljena i preradba ugljena u luku plazme.

Likvefakcija ugljena (v. *Hydrogenacija*, TE 6, str. 386) istražuje se još od 1913. godine, a do 1926. godine razvijena su dva osnovna procesa: ekstrakcija i hidrogenacija. *Ekstrakcija* je zapravo hidrogenacijska disocijacija pomoću otapala koje sadrži vodik, a daje smjesu ugljikovodika. *Hidrogenacija* (postupak Bergius) jest hidrokreiranje ugljena u prisutnosti nekih katalizatora. Tim se postupkom dobivaju smjesi ugljikovodika različita sastava, već prema radnim uvjetima. Za vrijeme drugoga svjetskog rata izgrađeno je u Njemačkoj 12 takvih postrojenja ukupna proizvodnog kapaciteta od $4 \cdot 10^6$ t motornih goriva godišnje. Proizvodnja je, međutim, nakon rata obustavljena jer su troškovi proizvodnje bili previški u usporedbi s troškovima proizvodnje motornih goriva preradbom nafte. Nakon poskupljenja nafte postupak se ponovo intenzivno proučava radi povećanja njegove ekonomičnosti. Već su 1981. godine podignuta dva veća eksperimentalna postrojenja. Međutim, očekivana izgradnja prvih većih komercijalnih postrojenja u posljednje je vrijeme ponovo odložena.

Smjese ugljikovodika koje se dobivaju likvefakcijom ugljena mogu se preradivati u osnovne kemikalije koje se danas upotrebljavaju u procesima za proizvodnju petrokemikalija.

Rasplinjivanje ugljena konverzija je ugljena u sintezni plin, koji je smjesa ugljik(II)-oksida i vodika (v. *Plinski generatori*). To je postupak koji se već dugo primjenjuje. U posljednje vrijeme poboljšana je tehnika rasplinjivanja primjenom postupka oksidacije pomoću kisika i vodene pare na temperaturama i višim od 700°C . To je tzv. druga generacija rasplinjivača (postupci British-Lurgi i U-Gas, visokotemperaturni Winklerov postupak, postupci Saarburg-Otto, Shell-Koppers, Texaco i dr.), od kojih se očekuje proizvodnja sinteznog plina bez metana i

dругih primjesa, da bi bio što prikladniji kao sirovina za dalju kemijsku preradbu.

Danas se sinteze od sinteznog plina do osnovnih kemikalija razvijaju u tri osnovna smjera: a) sinteza smjesa ugljikovodika sličnih nafti, odnosno prirodnog plina (Fischer-Tropschova sinteza), od kojih bi se procesima koji se danas nazivaju osnovnim petrokemikalijama dobivale osnovne kemikalije; b) neposredna sinteza olefina (etilena i propilena) primjenom posebnih zeolitnih katalizatora (npr. proces Mobil s katalizatorom ZSM-5); c) sinteza metanola i njegova konverzija u olefine pomoći mobildenskih katalizatora (npr. proces Dow Chemical).

Postupak s *plazmenim lukom* (postupak Avco Corporation) još je u začetku. Njime bi se dobivao acetilen neposredno od ugljena. U reaktoru snage 1 MW dobiva se 900 t acetilena godišnje. S razvojem tog postupka mogla bi ponovno oživjeti acetilenska kemija koju je bila potpisnula (od 1960. godine) proizvodnja petrokemikalija na osnovi etilena i propilena.

Biomasa kao potencijalna zamjena nafte obuhvaća biljne ugljikohidratne sirovine. Obnovljivost biomase njezina je velika prednost. Ona može, prema današnjim spoznajama, poslužiti kao sirovina za proizvodnju organskih kemikalija primjenom fermentacijskih postupaka. Od tih je postupaka najvažniji fermentacijsko dobivanje etanola. Etanol se može konvertirati u etilen dehidratacijom (v. *Dehidratacija*, TE 3, str. 196), a zatim dalje preradivati kako je već opisano. U toku su istraživanja kojima se nastoji poboljšati djelotvornost fermentacijskih procesa s obzirom na povećanje prinosa i s obzirom na potrošnju energije.

Izgledi za zamjenu nafte i prirodnog plina. Kad će i u kojem opsegu alternativne sirovine zamijeniti naftu i prirodn plin u proizvodnji organskih kemikalija i amonijaka teško je procijeniti. Neki predviđaju da će nafta i prirodn plin kao gorivo biti najprije zamijenjeni drugim sirovinama, te da će se tek poslije ta zamjena ostvariti na području proizvodnje kemikalija, jer ta proizvodnja predstavlja viši stupanj preradbe i veću vrijednost od proizvodnje goriva i jer se samo manji dio nafte i prirodnog plina troši za proizvodnju kemikalija. Drugi predviđaju da će se ta zamjena dogoditi istodobno. Ipak, radikalni preokret ne očekuje se prije kraja našeg stoljeća.

Prijelaz na drugu sirovinsku bazu značit će, međutim, prestanak proizvodnje petrokemikalija, iako će se i tada intermedijarni i finalni proizvodi koji se danas nazivaju petrokemikalijama dobivati istim ili sličnim procesima kao i sada. Promjena sirovina, međutim, tražiti će promjene procesa za dobivanje osnovnih kemikalija.

Proizvodnja petrokemikalija može se zbog toga smatrati prijelaznom etapom u razvoju procesne tehnike koja je započela u pedesetim godinama našeg stoljeća i koja još traje. U tom razdoblju ona dominira u organskoj kemijskoj industriji i ona je omogućila i još omogućuje golemu proizvodnju polimera i drugih organskih i anorganskih kemikalija, što je jedna od osnova suvremene civilizacije.

LIT.: Encyclopedia of Science and Technology, Vol. 10. McGraw-Hill, New York 1977. — Д. Н. Тменов, С. П. Гориславец, Интенсификация процессов пиролиза. Техника, Киев 1978. — В. З. Соколов, Г. Д. Хараламбович, Производство и использование ароматических углеводородов. Химия, Москва 1980. — D. Stevanović, Petrohemija. Tehnički fakultet, Institut za petrohemiju, gas, naftu i hemijsko inženjerstvo, Novi Sad 1980.

A. Kostial-Štambuk

PETROLOGIJA, znanost o stijenama. Stijene su dijelovi litosfere ili Zemljine kamene kore, geološki samostalna tijela, stalnog mineralnog sastava i sklopa ili građe. Stijene imaju svoju genezu i geološku evoluciju, dimenzije, oblik i položaj kao rezultat uvjeta postanka i geoloških procesa.

Petrologija je izvedena prema grč. πέτρα petra kamen i λόγος logos riječ, govor.

Poznavanje stijena seže u daleku prošlost, no početak razvoja petrologije kao znanosti povezan je s početkom većeg iskorištavanja mineralnih sirovina,

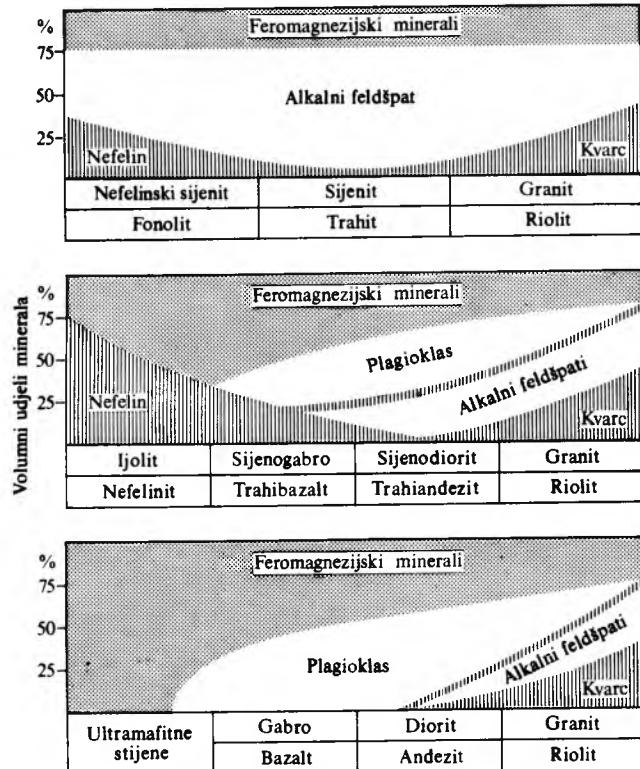
a to je druga polovica XIX st. Petrologija se naglo razvija nakon otkrića polarizacijskog mikroskopa, odnosno njegova uvođenja u rutinsku upotrebu za istraživanje stijena u toku druge polovice XIX st. Polarizacijski je mikroskop omogućio proučavanje i stijena s tako sitnim mineralnim sastojcima da se oni ne mogu odrediti okom ili lupom. Na dalji razvoj, osim razvoja kemijske, fizike i drugih znanosti, znatno su utjecali analitički uredaji za određivanje kemijskog sastava i stijena kao cjeline te minerala u njima, kao što su rendgenski analitički uredaji, elektronski mikroskop, analitički uredaji za određivanje kemijskog sastava stijena i minerala te sadržaja izotopa i elemenata u tragovima (rendgensko-fluorescentne aparaturre, uredaji za atomsku apsorpcijsku spektroskopiju i neutronsku aktivacijsku analizu, različiti maseni spektroskopi, elektronski mikroanalizatori, tzv. mikrosonde, uredaji za radiometrijsku detekciju elemenata i izotopa, itd.). Primjena takvih uredaja omogućila je da se sistematski analizira vrlo mnogo stijena i minerala, te razvoj eksperimentalne mineralogije i petrologije. Sve je to omogućilo egzaktno tumačenje veoma komplikiranih i kompleksnih procesa koje u prirodi nije moguće pratiti. Tako je petrologija, zajedno s drugim geološkim disciplinama, u posljednjih dva desetaka godina doživjela golem razvoj.

Osnovna klasifikacija stijena provodi se na genetskoj osnovi, tj. prema načinu postanka. Tako se razlikuju tri osnovne grupe: magmatske ili eruptivne, sedimentne ili taložne i metamorfne stijene. S obzirom na neke posebne karakteristike, a i uvjete postanka, u posebne grupe mogle bi se svrstati stijene svemirskih prostora (s drugih planeta i s Mjeseca, te meteoriti), te stijene dubljih dijelova litosfere.

Magmatske ili eruptivne stijene nastale su kristalizacijom ili očvršćivanjem zbog hlađenja prirodne taljevine, magme, koja se stvara u dubljim dijelovima litosfere pri temperaturama pretežno između 750 i 1150 °C, no i višima. **Sedimentne stijene** nastaju na Zemljinoj površini, na kopnu ili u vodi, taloženjem ili izlučivanjem iz materijala nastalog razaranjem ili otapanjem starijih stijena. **Metamorfne stijene** nastale su preobražajem drugih stijena, promjenom mineralnog sastava ili sklopa zbog promjene uvjeta stabilnosti postojećih minerala. Glavni su tu činioći promjena tlaka i temperature te utjecaji kemijski aktivnih fluida. Te se promjene odvijaju u Zemljinoj kori na različitim mjestima i na različitim dubinama.

Sastav stijena na Zemlji ponavljaju je posljedica primarnog sastava gornjih dijelova našeg planeta, a njihov današnji raspored i zastupljenost rezultat su dugotrajne geološke evolucije gornjih dijelova Zemlje kroz ~4 milijarde godina.

Magmatske stijene najčešće grade minerali glinenci (feldspati), i to približno podjednako plagioklasi i alkalni glinenci (ortoklas, sanidin, albit), zatim kremen, pa pirokseni, amfiboli, olivin i tinici (sl. 1). Udio tih minerala u magmatskim stijenama

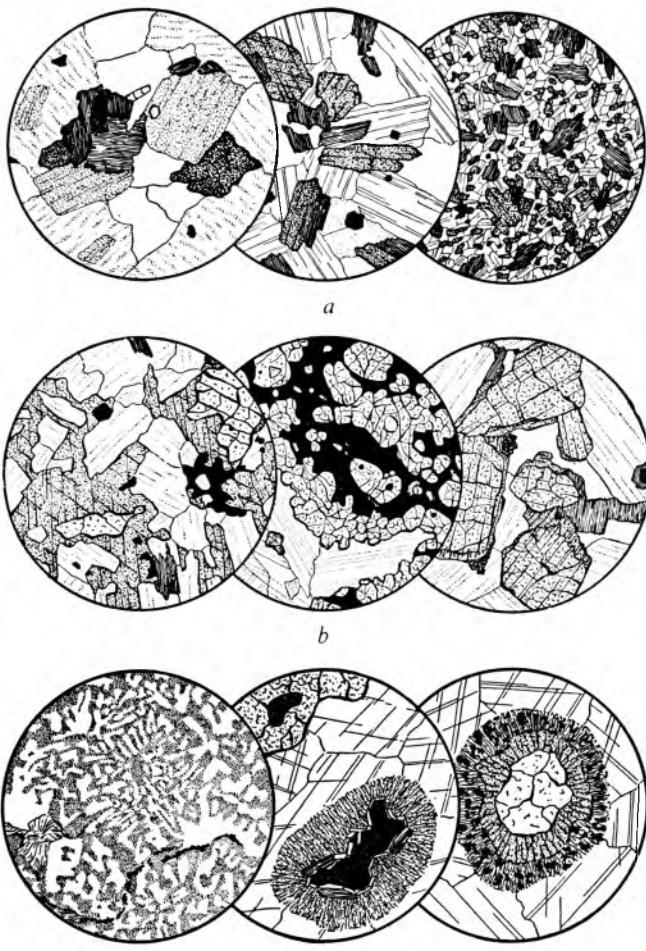


Sl. 1. Mineralni sastav magmatskih stijena

iznosi ~95%. U manjim ili malim količinama nalaze se još minerali slični glinencu (feldšpatoidi), zatim rudni (neprozirni) minerali, neki oksidi, minerali titana, cirkon ili apatit. Prema količini, minerali u stijenama svrstavaju se u glavne ili bitne (primarne), sporedne i akcesorne (sekundarne) minerale. **Primarni** su minerali nastali u vrijeme stvaranja, odnosno kristalizacije magme, a **sekundarni** kasnije, promjenom primarnih minerala ili naknadnim unošenjem u stijenu.

Magma iz koje nastaju magmatske stijene stvara se djelomičnim ili potpunim taljenjem stijenskog materijala u gornjem dijelu litosfere ili u njenim dubljim dijelovima. To je povremen, a nije stalni proces, i odvija se u različitim razdobljima i na različitim mjestima, a različita je opseg i volumena. Ne postoji neki kontinuirani rastaljeni sloj u Zemlji ispod njene kore, kako se to ranije zamisljalo, već se magma stvara lokalno, iako ponekad i na većem području, što se odražava i u lokalnim pojavama manjih ili većih masa magmatskih stijena na Zemljinoj površini ili unutar Zemljine kore. Nastala taljevina postepeno se akumulira, a zatim prodire putovima slabijeg otpora (pukotine, rasjedne zone, oceanski grebeni itd.) prema površini, gdje vladaju niži tlak i niža temperatura, pa se zbog toga hlađi, kristalizira i očvršćuje. Taj je razvoj obično polagan, postepen i uz kontinuirane promjene. Zavisno od svojstava magme, njena sastava, brzine hlađenja, dinamičkih uvjeta pri prodiranju kroz Zemljinu koru i niza drugih faktora nastaju stijene različita kemijskog i mineralnog sastava i sklopa.

Magmatske stijene nastale su očvršćivanjem unutar Zemljine kore nazivaju se *plutonskim*, *dubinskim*, *intruzivnim* ili *abisalnim*, a one koje nastaju očvršćivanjem blizu površine ili nakon izljevanja magme na površinu (lave) nazivaju se *efuzivnim*, *vulkanским* ili *površinskim* stijenama. Prijelazne stijene između tih dvaju

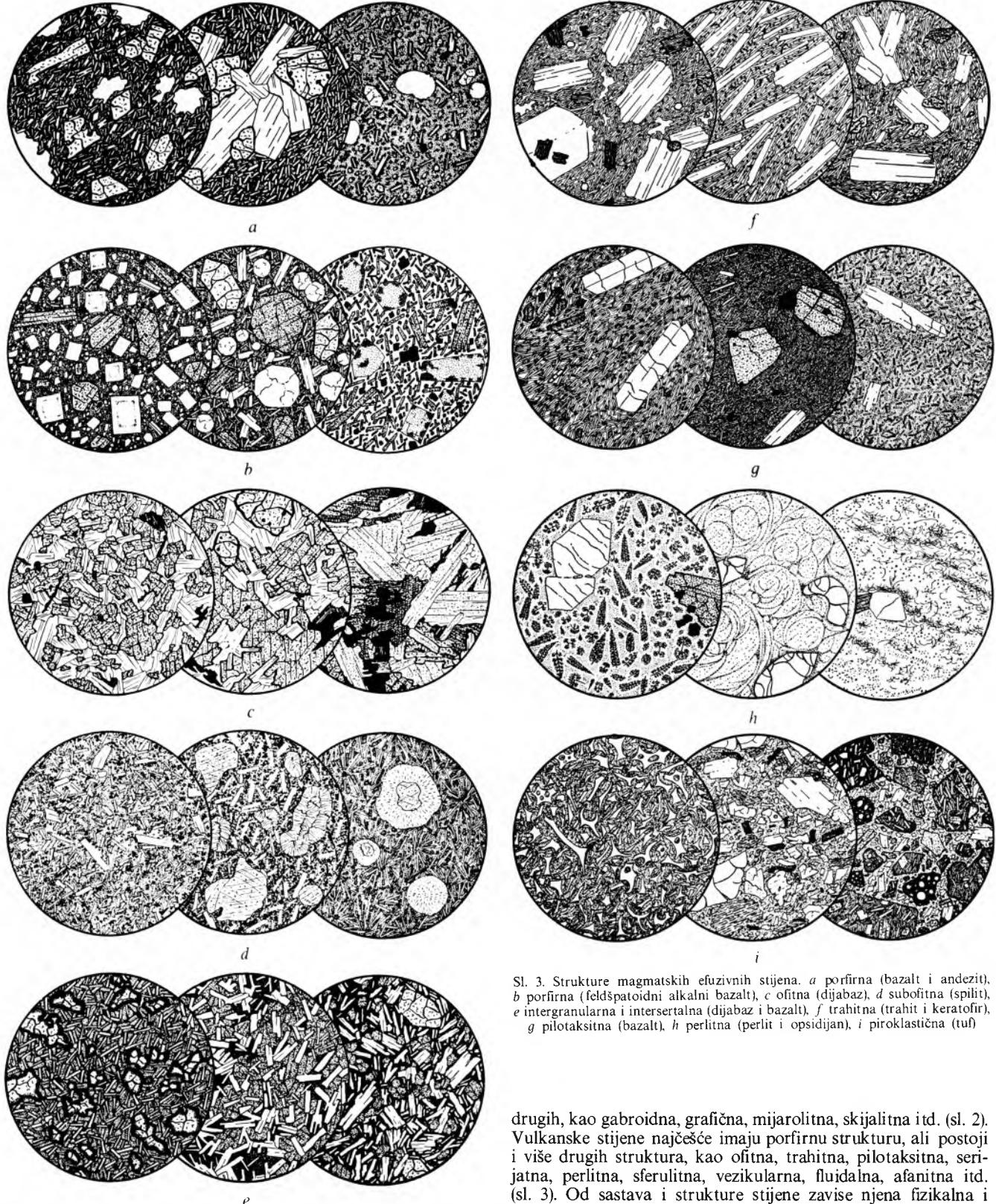


Sl. 2. Struktura magmatskih intruzivnih stijena. a) zrnata ili granularna (granit), b) zrnata-gabroide (gabroide stijene), c) grafična i kelefitska (granofir i gabro) struktura

tipova jesu *hipoabisalne* ili *subvulkanske*. Magmatske stijene u obliku žila zovu se *žilnim* stijenama. Većina petrologa u magmatske stijene ubraja i *piroklastične* stijene, tj. one koje su nastale eksplozivnim izbacivanjem dijelova lave iz vulkana.

Osim minerala od kojih su stijene izgrađene, bitnu njihovu odrednicu čini *sklop* koji je definiran strukturom i teksturom stijene. *Struktura* je stijene svojstvo određeno oblikom, dimenzijama i međusobnim odnosima ili vezama mineralnih sastojaka, a tekstura je svojstvo u prvom redu definirano prostornim

rasporedom ili orientacijom mineralnih sastojaka. Minerali u stijenama mogu biti veoma različitih dimenzija, od vrlo sitnih mikrolita do sastojaka od nekoliko centimetara, pa i više. Kadaždavog vrlo brzog hlađenja ne nastaju mineralna zrna ili kristali, već magma očvrse kao amorfno staklo. Prema obliku minerali mogu biti pravilni (*idiomorfni*), nepravilni (*alotriomorfni*) ili dijelom pravilni (*hipidiomorfni*), a način njihova srastanja ili odnosa, odnosno vezanja može biti veoma različit. Najčešće je struktura intruzivnih stijena zrnata ili granularna, no postoji i niz



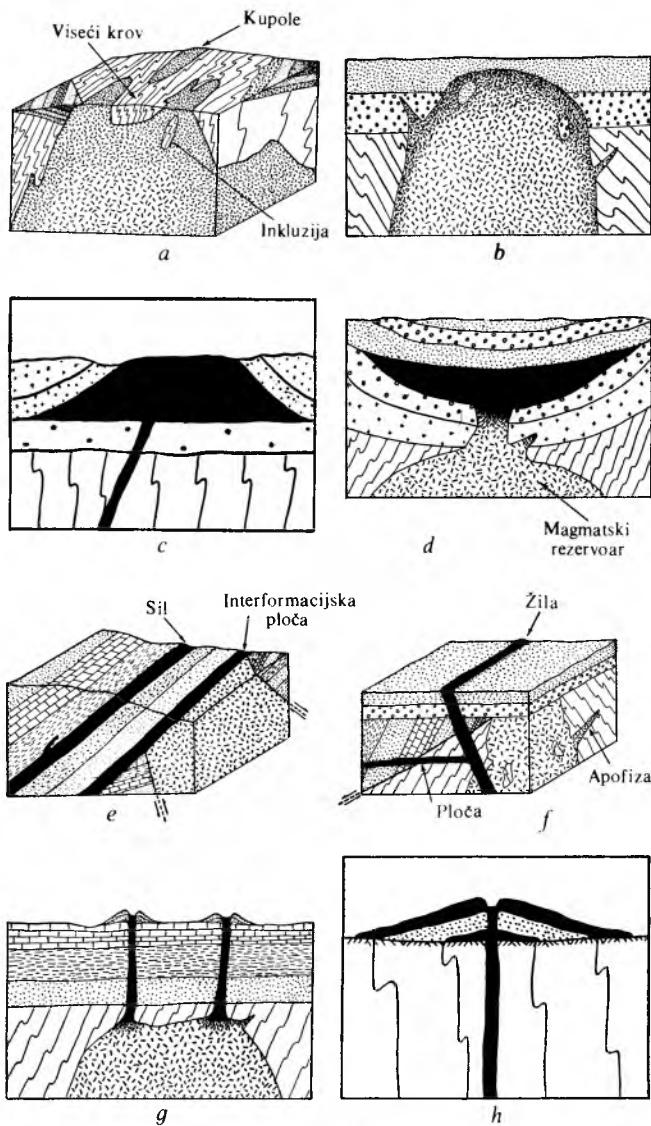
Sl. 3. Strukture magmatskih efuzivnih stijena. a) porfirna (bazalt i andezit), b) porfirna (feldšpatoidni alkalni bazalt), c) ositna (dijabaz), d) subofitna (spilit), e) intergranularna i intersertalna (dijabaz i bazalt), f) trahitna (trahit i keratofir), g) pilotaksitna (bazalt), h) perlitna (perlit i opsidijan), i) piroklastična (tuš)

drugih, kao gabroidna, grafična, mijarolitna, skijalitna itd. (sl. 2). Vulkaniske stijene najčešće imaju porfirnu strukturu, ali postoji i više drugih struktura, kao ositna, trahitna, pilotaksitna, serijatna, perlitna, sferulitna, vezikularna, fluidalna, afanitna itd. (sl. 3). Od sastava i strukture stijene zavise njena fizikalna i

tehnička svojstva, pa i njena morfologija na Zemljinoj površini, te mogućnosti njena iskorištanja i primjene.

Tekstura intruzivnih stijena većinom je masivna ili homogena, ali je često i trakasta ili slojevita, pa orbikularna itd. Tekstura efuzivnih stijena također je najčešće homogena, ali može biti linearana, sferulitna, fluidalna, vezikularna, amigdaloidna (mandulasta), jastučasta (pillow) itd.

Intruzivne magmatske stijene pojavljuju se u različitim oblicima. Najčešće su to *batoliti* i *stokovi*, a zatim *lakoliti*, *fakoliti*, *lopoliti*, *silovi*, *grede* i *žile*, sve manje ili više pravilni oblici. Neki primjeri vide se na sl. 4. Katkada su to tvorevine gole-mih dimenzija. Najveći je granitni batolit (ili *pluton*) na svijetu u Britanskoj Kolumbiji, dug ~ 2000 km i širok ~ 200 km, a najveći lopolit na Zemljinoj površini, bazični kompleks Bushveld u Južnoj Africi, pokriva područje od $\sim 100\,000$ km 2 .



Sl. 4. Oblici magmatskih intruzivnih i efuzivnih stijena. a) batolit, b) stok, c) lakolit, d) lopolit, e) sklad ili sil, f) žila, g) dimnjak ili nek, h) vulkanski čunj ili konus.

Efuzivne magmatske stijene pojavljuju se kao vulkanski sliovi (ploče) uz vulkane, gradeći manje ili više komplikirane vulkanske čunjeve, ali i žile, grede, silove, dimnjake (nekove) i površinske slivove. Neki primjeri prikazani su na sl. 4.

Zbog hlađenja u magmatskim stijenama nastaje *lučenje*, odvajanje u dijelove posebnih oblika. Najčešća su lučenja pločasta, bankovita, prizmatska ili stupasta, poligonalna i kuglasta. Oblici lučenja stijena veoma su značajni u tehničkoj eksploraciji kamena.

Klasifikacija i nomenklatura magmatskih stijena još uvijek nije potpuno ujednačena. Ona se temelji na njihovu sastavu, kemijsku i sklop, odnosno načinu i mjestu postanka. Najčešća je *mineraloška klasifikacija* (kvalitativna ili kvantitativna) na osnovi mineralnog sastava, ili se ona kombinira s kemijskom klasifikacijom na osnovi kemijskog sastava.

Kako su gotovo sve magmatske stijene sastavljene od minera-silikata i kremena, one se najčešće svrstavaju prema sadržaju silicij-oksida u četiri glavne grupe: *kisele magmatske stijene* s više od 63% silicij-oksida, *neutralne* sa 63...52%, *bazične* sa 52...45% i *ultrabazične* s manje od 45% silicij-oksida. Magmatske stijene s više silicij-oksida najčešće su svjetlijih boja i sadrže kao minerale pretežno glinence i kremen (K-Na-Ca alumosilikate i SiO₂), dok one s manje silicij-oksida, dakle bazičnije, sadrže više feromagnijejskih minerala, kao što su olivin, pirokseni, amfiboli i dr., i najčešće su tamnijih boja. Dalja klasifikacija u svakoj grupi zasniva se na mineralnom sastavu i strukturi. Najnovija klasifikacija osnovnih tipova magmatskih stijena prikazana je u *Streckeisenovu diagramu* (sl. 5), a kemijski sastav magmatskih stijena prikazan je u tabl. 1.

Tablica 1
PROSJEČNI KEMIJSKI SASTAV VAŽNIJIH MAGMATSKEH STIJENA U MASENIM UDJELIMA (%)

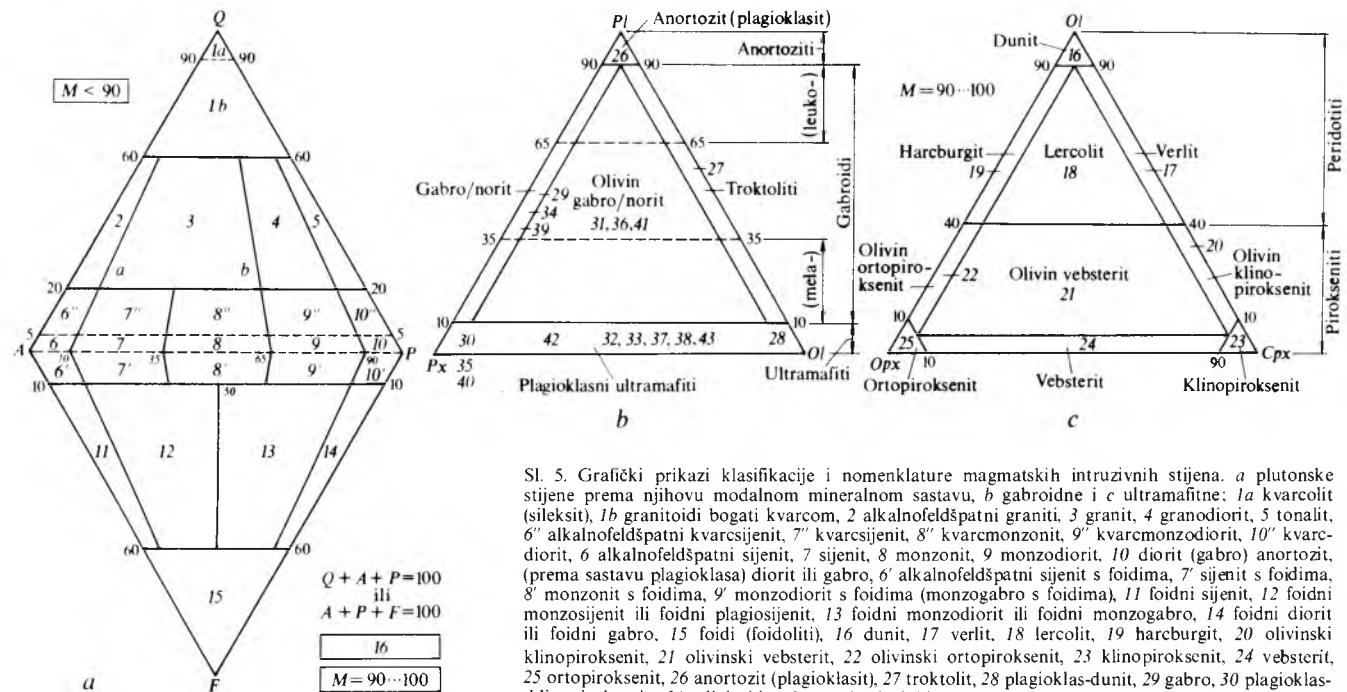
	Gra-nit	Töle-it	Alkalni bazalt	Trachit	Fono-lit	Rio-lit	Spi-lit	Ande-zit	Peri-tit
SiO ₂	67	50	46	63	55	73	51	60	43,5
Al ₂ O ₃	16	16	15	18	20	13	14	17	4
Fe ₂ O ₃	1	2	4	2,5	2,5	0,5	3	2	2,5
FeO	2,5	7	8	1,5	3,5	1,5	9	4	10
MgO	1,5	8	9	0,5	1,5	0,5	4,5	3,5	34
CaO	3,5	12	9	1	2,5	1,5	7	7	3,5
Na ₂ O	4	2,5	3,5	7	8	4	5	3,5	0,5
K ₂ O	3	0,5	1,5	5	5	4	1	1,5	0,3
TiO ₂	0,5	1,5	3,5	0,5	0,5	0,5	3,5	0,5	1
H ₂ O	1	0,5	0,5	1	1,5	1,5	2	1	0,7

Nomenklatura magmatskih stijena obuhvaća ~ 700 osnovnih i glavnih tipova stijena sa ~ 3000 varijeteta i subvarijeteta. No, manje od pedesetak magmatskih stijena česte su ili nešto češće, dok su ostale rjeđe ili rijetke i zanimljive samo za specijaliste.

U grupi *kiselih magmatskih stijena* najčešća je intruzivna stijena *granit* (lat. *granum* zrno), pa se zato ponekad ta grupa i naziva grupom granita. Sve kisele magmatske stijene imaju zajedničku karakteristiku da sadrže od 20...40% kremena. Ostali su glavni minerali glinenci, i to alkalni glinenci ili kisi plagioklasi. Sporedni su minerali tinjci, amfiboli i još neki drugi. U intruzivne kisele magmatske stijene spadaju još i adamelite ili kvarcmonzonit, granodiorit i kvarediorit, koji se međusobno razlikuju prema sadržaju i vrsti pojedinih glinenaca. Poseban je varijetet kvarediorita tonalit, koji se nalazi u velikim masama na Pohorju u Sloveniji, gdje se i nalaze veliki kamenolomi toga kamena. Pojave stijena grupe granita (*granitoidne stijene*) poznate su na mnogo mesta u Jugoslaviji, tako npr. u Hrvatskoj u Slavoniji na Papuku i Psunj, u Bosni na Prosari i Motajici, u Srbiji na Ceru, na Boranji, u istočnoj Srbiji (Brnjica, Tanda i dr.), zatim u Makedoniji kod Bujanovca, na Šar-planini, Osogovskoj planini, Belasici, na Selečkoj planini, Pelisteru itd. Eksplorativno se, osim tonalita na Pohorju, i granit na Moslavackoj gori u Psunj, zatim kod Tande, na Boranji, kod Prilepa i drugdje. Granitoidne mase u Jugoslaviji manjih su dimenzija koje više odgovaraju stokovima ili malim batolitima. Inače, najveći je granitni batolit na svijetu u prekambrijskom štitu Kanade, gdje pokriva oko 5 milijuna km 2 .

Danas većina petrologa misli da su samo manji dio granito-idihih stijena, posebno pravih granita, prave magmatske stijene. Naročito se za velike batolite smatra da su nastali polaganom i dugotrajnom *granitizacijom*, tj. promjenom drugih (sedimentnih i metamorfih) stijena, i to u prvom redu djelovanjem alkalijama bogatih aktivnih fluida.

Važnije efuzivne magmatske stijene iz grupe kiselih stijena jesu riolit, riocacit (delenit, kvarclatit), dacit i kvarckeratosir,



Sl. 5. Grafički prikazi klasifikacije i nomenklature magmatskih intruzivnih stijena. a plutonske stijene prema njihovu modalnom mineralnom sastavu, b gabroide i c ultramafite: 1a kvarcoit (sileksit), 1b granitoidi bogati kvarcom, 2 alkalnofeldšpatni graniti, 3 granit, 4 granodiorit, 5 tonalit, 6' alkalnofeldšpatni kvarcsijenit, 7' kvarcsijenit, 8' kvarcmonzodiorit, 9' kvarcmonzodiorit, 10' kvarc-diorit, 6 alkalnofeldšpatni sijenit, 7 sijenit, 8 monzonit, 9 monzodiorit, 10 diorit (gabro) anortozit, (prema sastavu plagioklasa) diorit ili gabro, 6' alkalnofeldšpatni sijenit s foidima, 7 sijenit s foidima, 8' monzonit s foidima, 9' monzodiorit s foidima (monzogabro s foidima), 11 foidni sijenit, 12 foidni monzosijenit ili foidni plagiocijenit, 13 foidni monzodiorit ili foidni monzogabro, 14 foidni diorit ili foidni gabro, 15 foidi (foidoliti), 16 dunit, 17 verlit, 18 lercolit, 19 harzburgit, 20 olivinski klinopiroksenit, 21 olivinski vebsterit, 22 olivinski ortopiroksenit, 23 klinopiroksenit, 24 vebsterit, 25 ortopiroksenit, 26 anortozit (plagioklasit), 27 troktolit, 28 plagioklas-dunit, 29 gabro, 30 plagioklas-klinopiroksenit, 31 olivinski gabro, 32 plagioklas-olivinski klinopiroksenit, 33 plagioklas-norit, 34 norit, 35 plagioklas-ortopiroksenit, 36 olivinski norit, 37 plagioklas-olivinski ortopiroksenit, 38 plagioklas-harzburgit, 39 gabronorit, 40 plagioklas-vebsterit, 41 olivinski gabronorit, 42 plagioklas-olivinski vebsterit, 43 plagioklas-lercolit. Pri klasifikaciji su upotrijebljeni ovi minerali i grupe minerala: Q kvarc, A alkalni feldšpat, Pl plagioklas, F feldšpatoidi ili foidi, M mafitni minerali, Ol olivin i od njega nastali serpentin, Opx ortopiroksenit i od njih nastali sekundarni minerali, Cpx klinopiroksenit, Px piroksenit (ortopiroksenit + klinopiroksenit), Hbl hornblenda + biotit + spinel

te kvarcporfir kao geološki stariji kiseli efuziv. U riolitu dominira kalijski alkalni glinenac (sanidin, ortoklas), dok je riodacit prijelazni tip prema dacitu koji sadrži pretežno kiseli do neutralni plagioklas. U kvarckeratosfiru glinenac je albit. U Jugoslaviji ima većih pojava kvarclatita, dacita i kvarckeratosfira.

Grupu *neutralnih magmatskih stijena* čine one sa smanjenom količinom silicij-dioksida: one su zasićene, ali ne i prezasićene silicijskim dioksidom. Zato je u njima količina slobodnog silicij-dioksida u obliku minerala kremana manja od 10%, tj. kremen više nije glavni mineral. Glavni su mineralni sastojci te grupe neutralni plagioklasi (andezin) i alkalni glinenci, ili samo alkalni glinenci s manje ili više drugih minerala (piroksena, amfibola, tinjaca i rjeđe minerala sličnih glinencu — feldšpatoida).

Najvažnije su intruzivne stijene u toj grupi diorit, monzonit, sijenit i alkalni sijenit. Diorit sadrži od glinenca neutralni plagioklas (andezin), a sijenit alkalni glinenac (ortoklas). U monzonitu su oba ta glinenca u podjednakoj količini. Alkalni sijenit kao bitni sastojak sadrži i jedan od feldšpatoida, najčešće nefelin ili analcim. Sve te stijene imaju zrnatu strukturu i umjerenou su tamnih boja. Obično se one pojavljaju kao manje mase uz rubove većih granitnih i gabroidnih plutona. Alkalni su sijeniti rijetki, ali su važni zbog visoke koncentracije rijetkih elemenata i bogatstva fosfora.

Glavne su neutralne efuzivne stijene: andezit, latit (trahian-dezit), trahit i fonolit. Kao i intruzivne stijene, andeziti, kao ekvivalenti diorita, sadrže neutralne plagioklase (andezin), a trahiti alkalni glinenac sanidin, dok je latit ili trahian-dezit prijelazni oblik između andezita i trahita. Fonolit sadrži još i feldšpatoid nefelin. Andeziti su, kao i daciti, u Jugoslaviji veoma rašireni, osobito u Srbiji i Makedoniji, u velikim andezitno-dacitnim masama (timočki eruptivni masiv u istočnoj Srbiji, masiv Leca, zletovska-vratovska vulkanska oblast u istočnoj Makedoniji, zatim vulkaniti Dudice i Kožufa, pa područja Ljubovija-Srebrenica i dr.). Osim toga što se, kao i daciti, andeziti, latiti i trahiti eksplotiraju kao tehnički kamen, važna su za njih vezana velika ležišta bakra (Bor, Majdanpek, Krivelj, Bučim), olova i cinka (Srebrenica, Rudnik, Trepča, Janjevo s Novim Brdom, Zletovo, Sase i drugde), a i drugih vrijednih elemenata kao antimona, arsena, talija, bizmuta, srebra, zlata itd. Posebna

je neutralna efuzivna stijena keratofir koja kao glavni mineral sadrži glinenac albit.

Treću glavnu grupu magmatskih stijena čine *bazične stijene*, koja se prema glavnim stijenama zove i grupa *gabra* ili grupa *bazalta*. To su prema sadržaju silicij-dioksida nezasićene stijene i zato u svom sastavu imaju bazične plagioklase (labrador, bitovnit, anortit) i relativno mnogo obojenih feromagniezijskih minerala (amfiboli, pirokseni, olivin), pa su obično tamnih boja.

Glavna je intruzivna bazična stijena gabro; uz njega postoji i niz rjeđih *gabroidnih* stijena kao norit, troktolit, anortozit, alkalni gabro (eseksit, teralit) i dr. Vrlo su česti na zrnatoj strukturi gabra mineralni sastojci naročito prisno srasli, pa to stijeni daje veliku crvastoću i žilavost. Pojave su gabra u Jugoslaviji mnogobrojne, ali je najpoznatiji gabro kod Jablanice u Hercegovini, koji se eksplorira kao veoma cijenjeni dekorativni i tehnički kamen (v. *Gradevni kamen*, TE 6, str. 223), te kao izuzetno vrijedan kiparski kamen (spomenik arheologu Buliću u Zagrebu, kariatide na grobu Neznanog junaka na Avali, spomenik pred zgradom Ujedinjenih naroda i dr.). Gabro i srodne bazične i ultrabazične stijene katkada se nalaze u velikim lopolitnim i lakolitnim tijelima ili stratiformnim kompleksima velike debljine. Takve velike bazične mase najčešće su geološki vrlo stare (prekambrij), i postoje u Južnoj Africi, SAD, Kanadi i drugdje. U takvim se stratiformnim kompleksima često nalaze i velika rudna ležišta kromita, nikla, platine i dr.

Glavne su efuzivne bazične stijene bazalți, dijabazi i spiliti. Bazalți su istodobno i najraširenije magmatske stijene. Naziv bazalt potječe od etiopske riječi koja označuje crni željezoviti kamen. Sve su te stijene uistinu tamne, tamnosive, tamnozelene, crnosive, katkada i posve crne. Obično su sitnozrnate. Bazalți imaju tipičnu porfirnu strukturu (pilotaksitnu, hijalopilitnu i sl.), a dijabazi i spiliti dijabaznu, ofitnu ili subofitnu strukturu. Bazalți i dijabazi sadrže bazične plagioklase i feromagnieziske mineralne (piroksene, olivin). Spiliti umjesto bazičnog plagioklaza sadrže natrijski glinenac albit. Bazalta ima više vrsta, najčešći su tzv. toleitni bazalți, a zatim alkalni i subalkalni (visoko-aluminjski) bazalți.

Bazalți se pojavljuju obično u obliku golemih ploča ili slivova, odnosno niskih štitastih vulkana. Danas se smatra da

se bazaltnye magme stvaraju u litosferi na dubinama izmedju 40 i 150 km. U Jugoslaviji su to rijetke stijene. U svijetu je najveća masa bazalta Dekanski ravnjak u Indiji s površinom od ~500 000 km² i prosječne debljine oko 1 km. Goleme su mase bazalta u Sibiru, zatim u Južnoj Americi (Parana-bazalti), u slivu rijeke Columbije u Sjevernoj Americi itd. Dijabazi i spiliti, inače stijene rjeđe od bazalta, u Jugoslaviji su mnogo češći, ali se pojavljuju u obliku manjih greda ili žila, no ipak u dovoljnim količinama za eksploraciju kao vrijedan kamen za ceste i asfaltne aggregate. Dijabaza ima npr. na sjevernoj strani Medvednice, a dijabaza, spilita i keratofira na više mesta u Sloveniji, Hrvatskom zagorju, Baniji, na Kozari, kod Jajca, Prozora, Teslića, Čajniča i drugdje u Bosni, pa velike mase kod Demir-kapije u Makedoniji itd. Siliti s keratofirima i kvarc-keratofirima čine u Jugoslaviji dobro razvijenu i važnu spilit-keratofirnu asocijaciju mezojske (trijaske) starosti.

Cetvrtu grupu magmatskih stijena čine *ultrabazične, ultramafitne ili ultrafenome stijene*. To su peridotiti (kao duniti, harzburgiti-saksonti, lercoliti), pirokseniti i hornblenditi. U njima nema tzv. salnih minerala (glinenci, kremen), već su jedini bitni sastojci olivin, piroxeni, amfiboli i rjeđe granati. Zbog toga su svi tamni, obično zagasito tamnozeleni. U tu grupu stijena spada i kimberlit, rijetka stijena koja sadrži i dijamante. Peridotiti se nalaze obično u većim ili manjim pločastim tijelima, a pirokseniti i hornblenditi kao grede, leće ili žile. Kimberliti se pak pojavljuju najčešće u obliku ovalnih dimnjaka (nekova), ali su gotovo uvijek veoma izmijenjeni.

Peridotiti su općenito rijetke stijene, ali su u Jugoslaviji relativno dobro zastupljene; pokrivaju površinu od ~4500 km², i to najviše u Bosni i Srbiji. Najveća je masa peridotita na Zlatiboru, s površinom od blizu 1000 km². Nedvojbeno je da peridotiti grade veći dio gornjeg dijela litosfere (do dubine od ~400 km) i po tome su sigurno najčešće stijenske mase gornjih dijelova našeg planeta. Osim toga, peridotiti su nosioci važnih sirovina, i to ruda kroma i platine, zatim azbesta i magnezita, kojih i u Jugoslaviji, s izuzetkom platine, ima na više mesta. Karakteristično je da se peridotiti najčešće pojavljuju kao tzv. *ofiolitni kompleksi* uzduž velikih orogenih lanaca, kao što su Alpe, Dinaridi, Helenidi, Tauridi, Iranidi, u Omanu, uzduž Himalaje, u Indoneziji, Novoj Gvineji, Novoj Kaledoniji, Novom Zelandu, na Kavkazu, Uralu, gorju Appalachia, orogenom lancu uzduž zapadne obale Amerike itd.

Pirokseniti i hornblenditi rijetke su stijene, najčešće monomineralne ili bimineralne, sastavljene samo od piroksena, odnosno amfibola, rjeđe i granata. Kimberliti su izgrađeni od tinjea flogopita, olivina, kromnog piroksena, piropskog granata i drugih minerala, a često imaju i uklopke drugih stijena ili su brečaste teksture.

Stijene bogate olivinom, kao što su peridotiti, često podliježu manje ili više serpentinizaciji, a pri tom se utjecajem vode olivin, a i piroxeni, pretvara u serpentin. Potpuno serpentinizirane stijene zovu se *serpentiniti*.

Posebnu grupu stijena čine apliti, pegmatiti i lamprofiri. *Apliti* su *leukokratne* stijene (bez obojenih feromagnezijskih minerala), gotovo bijele boje, sitnozrnate, saharoidne (šećeraste) strukture sa zrnima podjednakih dimenzija. Nastali su u sustavima bez volatilita. Nasuprot aplitima, *pegmatiti*, inače vrlo slična mineralog sastava, imaju vrlo krupnozrnatu strukturu jer su nastajali iz taljevina veoma bogatih volatilima. Ima pegmatita u kojima su dimenzije kristala veće i od metar, a nađeni su kristali kremena i litijskog minerala spodumena s dimenzijama i od nekoliko metara. Pegmatiti najčešće imaju oblik žila, i to vezanih za kisele magmatske stijene. Ponekad su bogati rijetkim elementima kao bizmutom, uranom, kositrom, volframom, litijem, berilijem, borom, fluorom, fosforom, cerom i drugim rijetkim elementima kao što su niobij, tantal, lantan itd., ili se u njima nalazi dragi kamenje kao smaragd, aleksandrit, topaz, poludrago kamenje kao turmalin-rubelit, pa ih to sve čini veoma zanimljivima za eksploraciju. *Lamprofiri* su žilne stijene bogate feromagnezijskim mineralima i zato su tamnih boja.

Piroklastiti i tufovi su produkti eksplozivne vulkanske aktivnosti, odnosno erupcija, i ponekad se gomilaju u velikim količinama oko vulkanskih središta. Klasificiraju se na temelju

veličine fragmenata. Okruglasti fragmenti veći od 32 mm zovu se vulkanske bombe, fragmenti od 4–32 mm lapili, a oni manji od 4 mm pjesak, odnosno pepeo. Od uglatih komada stijena, od bombi i lapila vezivanjem nastaju vulkanski aglomerati, a od pjeska i pepela vulkanski tufovi. Osobito su rašireni vulkanski tufovi vezani za erupcije kiselih efuzivnih ili neutralnih stijena (rioliti, daciti, andeziti). Mnogi tufovi sadrže pretežno staklasti materijal. To su vitrofirmi tufovi.

Vulkanska stakla su, kao opsidijan, vitrofir, perlit, plovućac, naglo ohlađeni produkti lave, očvrnuli u staklo bez iskristaliziranih minerala ili tek sa začecima kristala poput mikrolita. Neka vulkanska stakla, npr. perlit, sadrže abnormalno veliku količinu vode, sve do ~10%. Takva stakla naglim zagrijavanjem eksplandiraju u voluminozni materijal male gustoće, pa se upotrebljavaju kao izolacijski materijal. Od mnogih tufova preobražajem nastaje vrijedan glinoviti materijal bentonit.

Geneza ili postanak magmatskih stijena još uvek nije potpuno razjašnjen proces, iako je u bitnim crtama poznat. U osnovi su poznati svi faktori magmatske evolucije, stadiji i produkti koji se pri tom razvijaju, razlozi magmatske diferencijacije u toku koje se iz jednog magmatskog izvora razvija niz srodnih i prijelazima povezanih stijena. U tome je osobita zasluga eksperimentalne mineralogije i eksperimentalne petrologije koje proučavaju ponašanje minerala, stijena i njihovih taljevina u prirodi i u laboratoriju.

Sedimentne stijene nastaju na Zemljinoj površini kao rezultat kemijskog ili mehaničkog trošenja postojećeg stijenskog materijala. Od takva materijala nastaju sedimentacijom talozi i odatle naziv taložne ili sedimentne stijene.

Proces nastanka sedimentne stijene u principu teče u četiri faze. Prva je trošenje pri kojem se ili djelovanjem mehaničkih sila (dinamičko djelovanje vode ili erozija, djelovanje vjetra, djelovanje insolacije i s njome povezani efekti termičke dilatacije itd.) razara stijenski materijal u sitnije dijelove, ili se pak djelovanjem kemijskih sila potpuno ili djelomično otapa. Često ta dva faktora djeluju istodobno različitim intenzivnošću. U drugoj se fazi razoreni materijal, odnosno detritus ili otopljeni materijal, prenosi najčešće vodom, a katkada i vjetrom, na veću ili manju udaljenost do mjesta odlaganja. Treća je faza sedimentacija ili taloženje, kada se odlaže ili iz vode izlučuje otopljeni materijal najčešće kao nevezani, rjeđe vezani, talog u horizontalnim ili kosim slojevima. Posljednja je faza dijageneza ili očvršćivanje, tj. povezivanje taloga u čvrstu stijenu. Ta se faza odvija na površini ili, uz relativno nisku temperaturu i tlak, na manjim dubinama. U stvaranju sedimentnih stijena često veoma mnogo utječu organizmi ili biogeni faktori, čijim se djelovanjem ili iz njihovih ostaštaka grade mnoge organogene stijene, kao vapnenci, silicijski sedimenti (rožnaci), fosfatni sedimenti i dr. Sedimentne stijene mogu imati veoma različite dimenzije, a katkada zauzimaju goleme površine u slojevima debelem više kilometara, kao npr. karbonatne platforme, debele naslage glinovitih stijena, pješčenjaci, flišne serije itd.

Prema mineralnom sastavu sedimentne se stijene mnogo razlikuju od magmatskih ili metamorfnih stijena. To su često monomineralne tvorbe, tj. izgrađene su samo od jednog bitnog minerala. Najčešći su minerali u sastavu sedimentata gлина, kremen, karbonati (kalcit, aragonit, dolomit), haloidne i druge soli, fosfati, gips i anhidrit, oksidi aluminija i željeza, organski materijal, a u klastičnim sedimentima, nastalim od mineralnog detritusa, i drugi, kemijski i mehanički rezistentni minerali, pa su te stijene obično prema mineralnom sastavu veoma heterogene.

Sedimentne se stijene svrstavaju u dvije osnovne grupe: *klastični ili mehanički sedimenti* i *neklastični* (kemijski i biogeni) *sedimenti*. Podjela je, opet, genetska. Klastični sedimenti stvaraju se taloženjem detritusa nastalog mehaničkim razaranjem materijala s kopnenog dijela Zemljine površine. Neklastični sedimenti nastali su kemijskim ili biogenim izlučivanjem u vodi otopljenog materijala nastalog kemijskim trošenjem. Imaju stijena koje svojim sastavom i porijeklom čine prijelaz između tih dviju grupa.

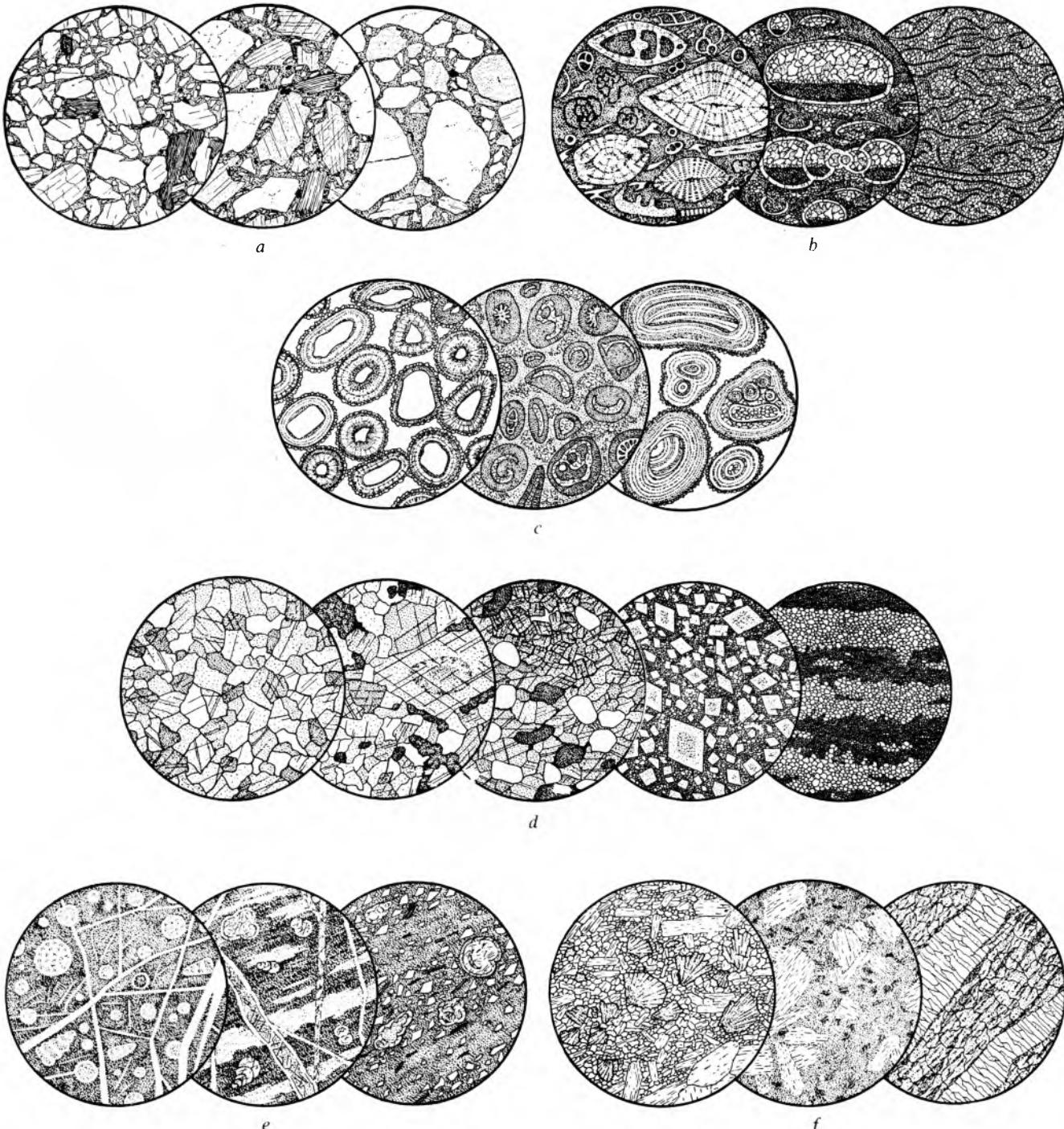
U grupu klastičnih sedimentata spadaju *breče*, *konglomerati*, *pješčenjaci*, *siltiti* i *peliti* (glinoviti sedimenti), *les* i *morenski*

talozi. Djelići minerala i stijena koji grade te stijene prenošeni su vodom, ledom ili vjetrom i taloženi djelovanjem gravitacije nakon prestanka djelovanja dinamičkih sila prijenosnog medija.

U grupu neklastičnih sedimenata ubraju se brojne vrste karbonatnih sedimenata (vapnenici, dolomiti), silicijski sedimenti, haloidne i druge soli, fosfati, željezoviti sedimenti, organski sedimenti.

Neku vrstu prijelaza čine *lapor* (mješavina karbonata i gline) i *boksit*. Talog neklastičnih sedimenata izlučuje se ili evapotacijom ili nekom kemijskom reakcijom, te taloženjem čvrstih ostataka organizama, npr. dijatomеja, školjaka, puževa, koralja, zatim djelovanjem algi i bakterija ili drugih organskih ili kemijskih procesa.

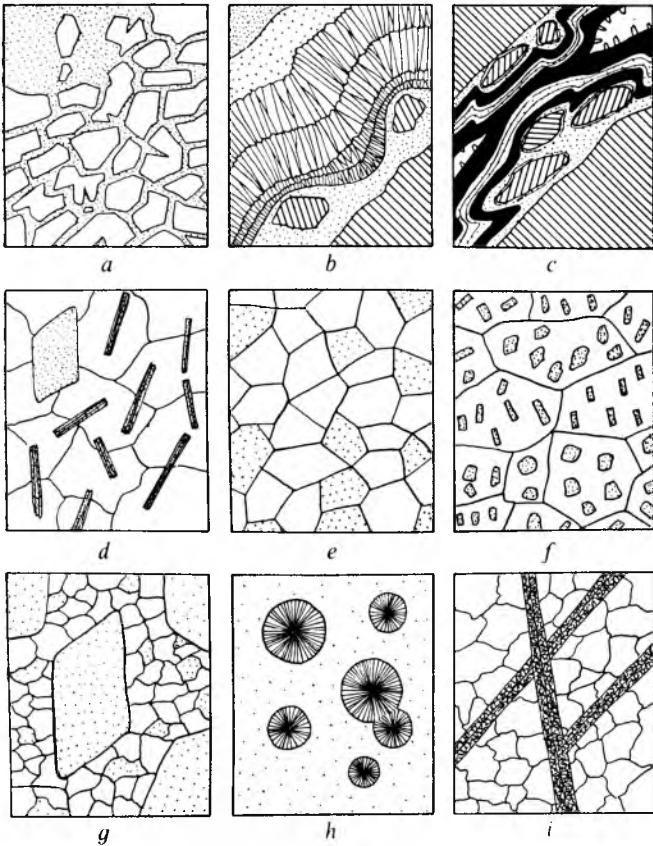
Strukture klastičnih stijena određene su dimenzijama i oblikom čestica te njihovim vezivom. Općenito, takva se struktura naziva klastičnom. Prema dimenzijama čestica razlikuje se pet grupa: *blokovi*, veći od 256 mm; *komadi* ili *valutice*, s dimenzijama od 256–2 mm; *pijesak*, s dimenzijama od 2–1/16 mm; *sitni pjesak* ili *silt*, s dimenzijama od 1/16–1/256 mm; *mulj* ili *glina*, koji imaju čestice manje od 1/256 mm. Nakupina valutica zove se *šljunak*. Klastične strukture posljednjih četiriju grupa zovu se psefitnom, psamitnom, silitnom i pelitnom strukturom. Točna determinacija strukture sadrži osim dimenzija čestica i njihov oblik i zaobljenost, odnosno sferičnost. Struktura i poroznost sedimenata veoma su značajni za vodonosnost slojeva, analizu naftonosnih polja, za geotehničke rade itd.



Sl. 6. Neke osnovne strukture klastičnih i neklastičnih sedimentnih stijena. a klastično-psamtitna (arkoza), b organogena (vapnenac), c oolitna (vapnenac), d kristalna (dolomit), e kristalna i organogena (rožnac), f kristalna (gips) struktura

Zbog različitih dimenzija, oblika i gustoće čestica klastični talozi nisu homogeni, već su najčešće smjesa čestica različitih dimenzija, odnosno karakteristika. Dimenzijska homogenost, odnosno heterogenost izražena je tzv. *sortiranostu*, koja se može i numerički izraziti. Na dimenzije, oblik i sferičnost zrna detritusa utječu duljina transporta, mehanička i kemijska rezistenca zrna i drugi faktori, a na sortiranost brzina vodenog toka, njegove karakteristike i dr. Iz toga se vidi da su strukturne karakteristike klastičnog taloga rezultat dosta kompleksnog procesa.

Strukture neklastičnih biogenih sedimenta mogu biti organske (npr. koraljna, numulitna, hipuritna, foraminiferna itd.), a kemijskih taloga kristalna (zrnata), amorfna, oolitna, pizolitna, sferulitna, saharoidna itd. (sl. 6 i 7).



Sl. 7. Neke posebne strukture neklastičnih sedimentnih stijena. a čeljasta, b kokardna ili inkrustacijska, c kolomorfnata, d lepidoblastično-granularna, e kristalno-mozaična, f poikilitna, g porfiroblastična, h sferulitna, i žilna struktura

Tekstura je sedimenata najčešće slojovita, a definirana je nastankom sloja ili *lamine*, dijelova taloga međusobno odijeljenih manje-više ravnim subparalelnim plohama ili slojnim površinama. Tekstura je rezultat gravitacijskog odlaganja materijala na dno taložnog bazena. Slojevi mogu biti prema gradi i sastavu jednaki i homogeni, ali ima i gradacijske, kose i deformirane te ukrštene slojvitosti. Na slojnim površinama često se vide mehanička utiskivanja ili tragovi (*mehanoglipti*), ili otisci organizma (*organoglipti*). Među specifične tekture u organskim sedimentima spadaju *bioherme* i *biorrome*, a poseban su oblik tekture *stiboliti*, izlomljeni tragovi kojima presjek liči na šavove kostiju glave.

Dimenzije sedimentnih stijena, odnosno tijela mogu biti male, nekoliko metara ili nekoliko desetaka metara, ali i golema dimenzija od više desetaka, pa i više od stotinu kilometara, koje nastaju u velikim prostorima geosinklinala ili na platformama šelfova (kontinentalnih pragova).

U klastične sedimente spadaju konglomerati, breče, pješčnjaci, siltiti, lapor, les i glina (pelit).

Konglomerat je stijena izgrađena od zaobljenih čestica od 256–2 mm koje su povezane nekim vezivom. Najčešće su vrlo heterogenog sastava i nastaju u različitim sedimentnim sredinama. Ipak u njima dominiraju valutice kremena i kremenih stijena, te različitih magmatskih i metamorfnih stijena. Ako su izgrađeni samo od jedne vrste valutica, zovu se *oligomiktni konglomerati*. Nastaju uz obale mora, uzduž brzih vodenih tokova i na prijelazu pojedinih formacija.

Breča je stijena s česticama istog reda veličine kao konglomerati, ali su te čestice uglate. Pretežni dio breča nastaje tektogenetski, za vrijeme rasjedanja i drugih tektonskih pokreta. Često ostaju na mjestu ranije stijene i sadrže fragmente istog materijala. Dobro cementirane breče mogu poslužiti kao lijep dekorativni arhitektonski kamen. *Liliti* su vrlo heterogeni krupni sedimenti koji mogu sadržati i zaobljene i uglate fragmente, vrlo su loše sortirani, a nastaju kao rezultat glacijacije, odnosno djelovanja ledenjaka i grade morenske nanose.

Pješčnjaci su klastični sedimenti s česticama od 2–1/16 mm. Nastali su vezanjem pijeska vezivom koje može biti fino smravljeni detritus ili matriks, ili pak kemijski izlučeni autogeni cement. Prema mineralnom sastavu, tj. udjelu kremena, glinenca, čestica stijena i glinovitog matriksa, pješčnjaci se svrstavaju u kremene i feldšpatne pješčnjake, u arkoze, grauvake i subgrauvake. Pješčnjaci zauzimaju često velika prostranstva i mogu biti u vrlo debelim slojevima. Oni su kontinentalnog ili marinског porijekla. Porozni su pješčnjaci često važni vodonosni ili naftosni slojevi.

Pješčnjacima slični sedimenti, ali s česticama od 1/16–1/256 mm, zovu se *siltiti*. Siltiti su obično znatno homogeniji sastava i bolje sortiranosti. U grupu silita spada i *les*, eolni ili anemogeni sediment, nastao prenošenjem čestica vjetrom. Osobito ga ima u nekim geološkim razdobljima i u nekim područjima. U Jugoslaviji je poznat les koji se proteže od Đakova preko istočne Slavonije i Srijema (osobito u Fruškoj gori) sve do južnog Banata. Toj grupi pripada i colni pijesak Podравine i poznate Deliblatske peščare u Banatu. Les daje osobito plodno tlo posebnih fizikalnih i pedoloških karakteristika i stvara karakteristične morfološke površinske fenomene.

Klastični sediment najfinijih dimenzija s česticama manjim od 1/256 mm najčešće se zove *glina*, ali je ispravniji općeniti naziv *pelit*. Te izvanredno finozrnate stijene strukturno su vrlo homogene, ali mogu biti različita mineralnog sastava. U posljednje vrijeme obično se ta grupa sedimenata naziva *šejl* (shale). Prema sastavu šejlovi mogu biti glinoviti (od minerala glina), silicijski, arkozni, tinjčasti, kloritni, crveni (bogati željeznim mineralima), crni (glinoviti, ali bogati organskim primjesama) itd. Šejlovi nastaju odlaganjem obično u prostranim mirnim bazenima (niskog hidrodinamičkog potencijala), a često i u dubokim morima. Mnogi su glinoviti sedimenti ili gline, već prema kvaliteti i čistoći, dragocjene keramičke i građevne sировине. Zbog veoma sitnih dimenzija za ispitivanje glinovitih sedimenata služe posebni uređaji (rendgenske aparature, derivatografi, sedimentacijske vase itd.). *Lapor* je stijena pelitnih frakcija, ali mješavina glina i karbonata. Lapor je važna sировина za proizvodnju cementa. Među te sedimente spada zemlja crvenica i boksit.

Neklastičnu grupu sedimenata čine karbonatni sedimenti (vapnenci i dolomiti), evaporiti, silicijski sedimenti, fosfatni, željezoviti i manganoviti sedimenti, te organski talozi. zajedno s pješčnjacima i šejlovima karbonatni su sedimenti najraširenije sedimentne stijene. Glavni je karbonatni sediment *vapnenac* (vapnenjak, krečnjak). Izgrađen je od minerala kalcita (CaCO_3), rjeđe i od drugih karbonata. Primjese mogu potjecati od karbonata dolomita, zatim zrna pijeska, kremena, minerala gline, organskih primjesa (bitumena), glaukonita, gipsa, pigmeta i dr. Prema primjesama i njihovim količinama boja vapnenaca varira od bijele do gotovo crne. Prema postanku i sastavu vapnenci mogu biti organski, bioklastični, litografski, afanitni (mikritni), oolitni, glinoviti, dolomitni. Ako su poznati organizmi, odnosno fosili od kojih su izgrađeni, vapnenci dobivaju pripadno ime: koraljni, foraminiferni, brahiopodni, ammonitni, rudistni, milidni, numulitni itd. Autohtonii vapnenci nastaju *in situ* rastom

organotvornih organizama, kao npr. koralja, i ponekad stvaraju velike i duge tvorevine, rastom grebenotvornih organizama (rudisti i dr.). Ipak, većina vapnenaca nastaje intrabazenskom akumulacijom fosilnih ostataka, odnosno ljuštura organizama ili njihovih fragmenata (*bioklastiti*). Manji dio karbonatnih taloga nastaje kemijskim izlučivanjem, izdvajanjem ugljičnog dioksida iz vode različitim procesima ili evaporacijom. Glavnina vapnenaca nastaje u morima, i to u relativno plitkim obalnim dijelovima, a tek manji dio na kopnu, u rijekama i jezerima. Karbonatni je sediment i dolomit, stijena sastavljena od minerala dolomita, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Često kao primjesu sadrži mineral kalcit. Dolomiti su nastali gotovo jedino procesima tzv. dolomitizacije od vapnenaca, odnosno taloga kalcijeva karbonata, i to zamjenom dijela kalcija magnezijem. Odlikuju se najčešće zrnatom kristalnom strukturom, a i posebnim fizičkim svojstvima.

Evaporiti su grupa sedimenta nastalih taloženjem različitih soli iz vodenih otopina isparivanjem vode. Proces se odvijao obično u prostranim i plitkim morima ili jezerima, u predjelima tople klime. Najčešći su evaporiti gips, anhidrit, halit (kuhinjska sol), različite jednostavne i kompleksne kaljiske i magnezijske soli, neki nitrati (čilska salitra), te borati. Iznimno evaporacijom nastaje i vapneni tuf travertin ili sinter. Većina evaporitnih sedimenta važne su mineralne sirovine.

Najčešći je silicijski sediment rožnac ili čert. Izgrađen je od silicij-dioksida kao mineral kremena, kalcedona ili opala, uz nešto primjesa. To su najčešće sitnozrnate stijene, ljušturnasta loma, i, već prema čistoći ili količini primjesa, bijele, sive, zelenkaste, crvenkaste, sve do gotovo crne boje. Za mnoge rožnace može se na temelju ostataka u njima zaključiti da su nastali od organizama radiolarija ili dijatomeja, pa se zovu i radiolariti, odnosno dijatomiti, ali je sigurno da dio rožnaca nastaje kemijskom precipitacijom. Posebne se vrste rožnaca nazivaju flint, novakulit i porcelanit, te mogu biti važne industrijske sirovine. Naslage se silicijskih sedimenta nalaze katkada u pravilnim slojevima, ali često i uložene među slojevima karbonatnih ili glinovitih sedimenta, ili kao manja ili veća gnijezda i leće.

Ostali se sedimenti prostiru na malom prostoru, pa su zato kao sedimentne stijene u petrološkom smislu manje važne, ali mogu biti veoma važne mineralne sirovine. Takvi su npr. željezoviti sedimenti, koji sadrže rudne minerale getit, hematit, siderit, ankerit, pirotnit, pirit i šamozit. Slično je i s mangano-vitim sedimentima, koji sadrže manganske minerale psilomelan, polijanit, vad i dr. Fosforiti su sedimenti koji sadrže minerale fosfora, uglavnom fosforit i kolofan, obično pomiješane s karbonatnim ili pjeskovitim materijalima, stvarajući tako npr. fosfatne vapnence, pješčenjake ili fosfatne šejlove. Fosforni minerali nastali su dijelom kemijskim reakcijama, ali se vjeruje da je glavni dio i organskog porijekla. Fosforiti su osobito rašireni u zemljama sjeverne Afrike, a važna su mineralna sirovina. Kemijski sastav nekih sedimentnih stijena vidi se u tabl. 2.

Prema nekim autorima u sedimente se ubrajuju i različiti ugljeni, organski ili bituminozni šejlovi (organski škriljavci), te neki crni šejlovi bogati sulfidnim mineralima, ali je to obično predmet znanosti o mineralnim ležištima.

Tablica 2

PRIBLJAN KEMIJSKI SASTAV VAŽNIJIH SEDIMENTNIH STIJENA U MASENIM UDJEVLIMA (%)

	Grauwak	Arkoza	Kvarcit	Silitna gлина	Gлина	Vapnenac
SiO_2	74,14	78,14	99,14	58,10	55,02	7,61
TiO_2	0,15	—	0,03	0,65	1,00	0,14
Al_2O_3	10,17	11,75	0,40	16,40	22,17	1,55
Fe_2O_3	0,56	1,23	0,12	4,02	8,00	0,70
FeO	4,15	—	—	2,45	—	1,20
MgO	1,43	0,19	—	2,44	1,45	2,70
CaO	1,49	0,15	0,29	3,11	0,15	45,44
Na_2O	3,56	2,50	0,01	1,30	0,17	0,15
K_2O	1,36	5,27	0,15	3,24	2,32	0,25
H_2O	2,66	0,64	0,17	5,00	9,86	0,68
CO_2	0,14	0,19	—	2,63	—	39,27
C	—	—	—	0,80	—	0,09

Sedimentacija, odnosno stvaranje sedimenata, kompleksan je proces, zavisao od niza fizičkih, kemijskih, fizičko-kemijskih i organskih faktora. Fizički su faktori npr. Zemljin reljef, klima, brzina i stabilnost vodenih tokova, hidrodinamički potencijal vode, dubina vode i neki drugi. Kemijski i fizičko-kemijski faktori jesu: oksidacijsko-reduksijski potencijal, koncentracija vodikova iona (aciditet, odnosno bazicitet vodene sredine, pH), salinitet, prisutnost različitih iona i koloida, temperaturna sredina. Ti faktori djeluju u različitim sredinama različito, pa se prema tome i definiraju tzv. sedimentacijske sredine, kao npr. kontinentalne sredine (kopnene, riječne, pustinjske, močvarne, jezerske), prijelazne sredine kao estuarske, delte, lagunarne, obalne, te tipične marinске sredine kao neritske, batijalne, abisalne (dubokomorske), šelfne, pelagičke. Na tok sedimentacije utječu i tektonski procesi i orogeneza, zatim epirogeniza, geomorfologija i drugi geološki faktori. Kako sedimenti čine veći dio Zemljine površine na kopnu i u morima, a na njima se uglavnom odvija i život, to su oni posebno značajni i predmet su veoma intenzivnih i detaljnih proučavanja i iskorištavanja.

Metamorfne stijene nastaju promjenom ili metamorfizmom od drugih stijena. Svaka stijena nastaje i može ostati nepromjenjena samo u uvjetima kad je osigurana stabilnost njenih mineralnih sastojaka. Promjenom položaja ili drugim nekim utjecajem stijene dolaze u druge, promijenjene uvjete u kojima sastojci više nisu stabilni. Rezultat je takve promjene pretvorba u nove minerale, pri čemu se najčešće mijenja i struktura i tekstura stijene. Novonastale stijene zovu se metamorfne.

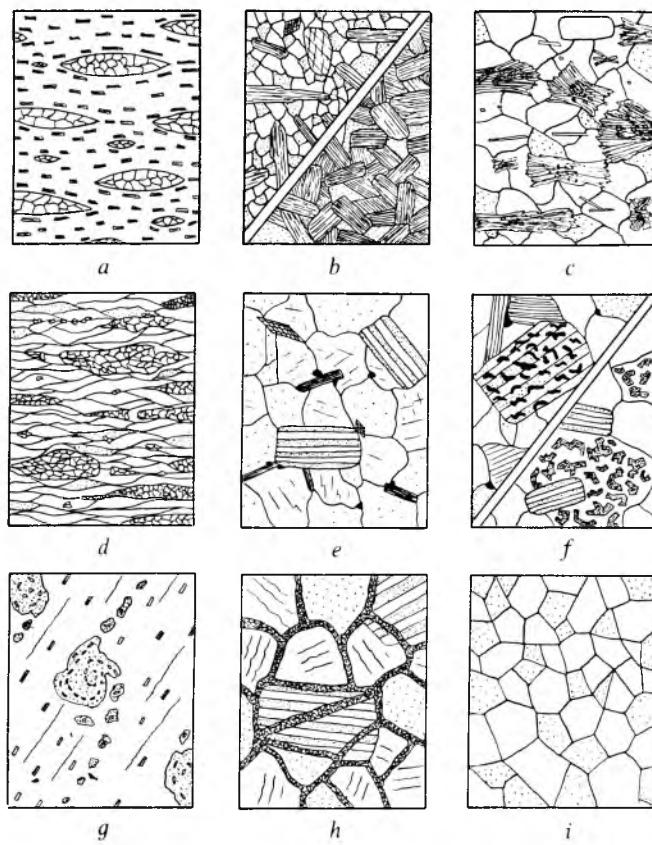
Glavni su uzročnici metamorfizma promjena temperature, tlak i kemijski aktivni fluidi. Temperatura u Zemlji raste s dubinom prema tzv. termičkom gradijentu koji u prosjeku iznosi oko 3°C na 100 m. Temperatura se mijenja intrudiranjem magme među okolne stijene, zatim trenjem ili frizacijom pri pokretanju stijena, radioaktivnim raspadanjem nekih elemenata, a rjeđe i drugim uzrocima. I tlak u Zemlji raste s dubinom zbog težine slojeva. Tlak kao faktor metamorfizma može biti statičan, npr. djelovanje mirnih slojeva. No, u Zemljinoj se kori mjestimice razvijaju veoma visoki tlakovi zbog dinamičkih ili tektonskih pokreta, iako su oni obično prostorno ograničeni. Jednosmjeran ili usmjereni tlak, tzv. stres, najčešće stvara veoma karakteristične škriljave teksture metamorfnih stijena. Takvi su minerali orientirani paralelno u jednoj ravnini okomitoj na smjer djelovanja tlaka. U većim dubinama i uz statičke uvjete pojavljuje se tzv. neusmjereni ili hidrostatski tlak koji djeluje podjednako u svim smjerovima. Djelovanjem takva tlaka nastaju homogene i masivne metamorfne stijene, s teksturama koje su slične intruzivnim magmatskim stijenama. Da bi se pretvorili premetamorfni minerali u nove, potrebni su i kemijski aktivni fluidi kojih, barem u malim količinama, ima gotovo u svim stijenama. Oni omogućuju i ubrzavaju prijenos i izmjenu iona, odnosno kemijskih elemenata i njihovo spajanje u nove, u metamorfismu uvjetima stabilne spojeve, odnosno minerale.

Prema dominantnim faktorima razlikuju se tri osnovna tipa metamorfizma: *termički* (ili *kontaktni*) *metamorfizam*, kad je glavni faktor promjena (povišenje) temperature privođenjem topline iz intrudirane magmatske mase; *kinetički* ili *dinamički metamorfizam*, kad je glavni faktor promjena tlaka uz dinamičke uvjete; treći i najrašireniji jest tzv. *dinamotermički metamorfizam*, kad istodobno djeluju i promjena tlaka i promjena temperature. Takvu su metamorfizmu izloženi golemi prostori Zemljine kore, pa se zato i zove *regionalni metamorfizam*.

Svaki metamorfizam karakteriziran je mineralnim i strukturnim značajkama, a klasificira se različito: prema metamorfiznim zonama (epizona, mezozona, katazona), zatim metamorfiznim stupnjevima (vrlo nizak, nizak, srednji i visok, uz dalje podstupnje), ili prema metamorfiznim facijesima, uz dalje detaljiranje pomoću subfacijesa. Jasno je da intenzivnost i ekstenzivnost metamorfizma zavisi od intenzivnosti i opsegata metamorfiznih faktora. Povećana intenzivnost tih faktora uzrokuje i povećan, progresivan metamorfizam, što se često može kontinuirano pratiti u metamorfiznim serijama.

Metamorfne stijene grade mnogobrojni minerali. Neki od njih, kao npr. kremen i glinenci, nisu tipični jer se javljaju

i u drugim stijenama, magmatskim ili sedimentnim. No, ima niz tipičnih metamorfnih minerala koji se javljaju samo u metamorfnim stijenama. To su npr. disten, silimanit, andaluzit, kordijerit, staurolit, volastonit, vezuvijan, kloritoid, više granata, više piroksena, kao omfacit i jadeit, antofilit te više drugih amfibola, kao npr. glaukofan i krosit, zatim antigorit, korund, više klorita itd. Svaki od tih minerala ili mineralnih kombinacija (parageneza) stabilan je u nekom području temperature i tlakova, pa se često pomoću kritičnih minerala određuju i uvjeti metamorfizma. Sklop, tekstura i struktura metamorfnih stijena (sl. 8 i 9) rezultat su uvjeta i karakteristika metamorfizma u kojima su nastajali. Rast minerala u metamorfnim stijenama, odnosno onima koje se nalaze u procesu metamorfizma, zove se *blasteza*, i taj se sufiks primjenjuje u terminologiji struktura. Najčešće su strukture granoblastična, s mineralnim zrnima podjednakih dimenzija i oblika, zatim lepidoblastična, nematoblastična, porfiroblastična, poikiloblastična itd. (sl. 10). Ostaci struktura ranijih stijena nazivaju se reliktnima.



Sl. 8. Skloovi i strukture metamorfnih stijena. a) finoškriljava (okcasti sklop), b) škriljava (tinjev škriljavac), c) lineacijski (amfibolni škriljavac), d) porfroblastična škriljava (tinjev škriljavac), e) škriljava s pukotinama (gnajs), f) okcasti (gnajs), g) helicitni sklop, h) mortar, i) mozaični sklop

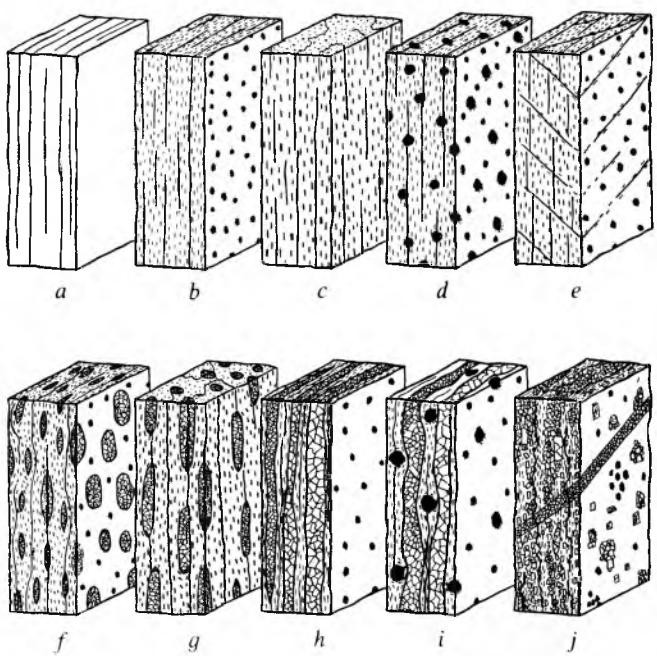
U metamorfnim stijenama izloženima dinamičkim tlakovima razvijaju se deformacijske ili kataklastične strukture i kataklastični skloovi. Najčešće metamorfne stijene imaju škriljavu teksturu. Tada su svi minerali ili dio minerala orijentirani u jednom smjeru (*lineacija*) ili u ravnini (*folijacija*). Ta je tekstura rezultat statičkog usmjerenog tlaka ili stresa. Osim toga, pojavljuje se trakasta, okcasta, flazer i druge teksture.

Metamorfne se stijene svrstavaju prema tipu metamorfizma u tri grupe: kataklastične, kontaktmetamorfne i regionalno-metamorfne.

Kataklastične stijene ili *kataklaziti* nastali su u takvim dinamičkim uvjetima koji su uzrokovali znatne mehaničke deformacije minerala. Sastojeći su izlomljeni, zdrobljeni, savijeni i razvučeni. Njihova deformacija ovisi o intenzivnosti, karakteristikama i trajanju dinamičkog tlaka. Te metamorfne stijene nemaju posebnih naziva, već se zovu npr. kataklastični gnajs ili gnajs-

-kataklazit, kvarcitmilonit, dunitmilonit i sl., a one s flazer-teksturom flazer-gnajs itd.

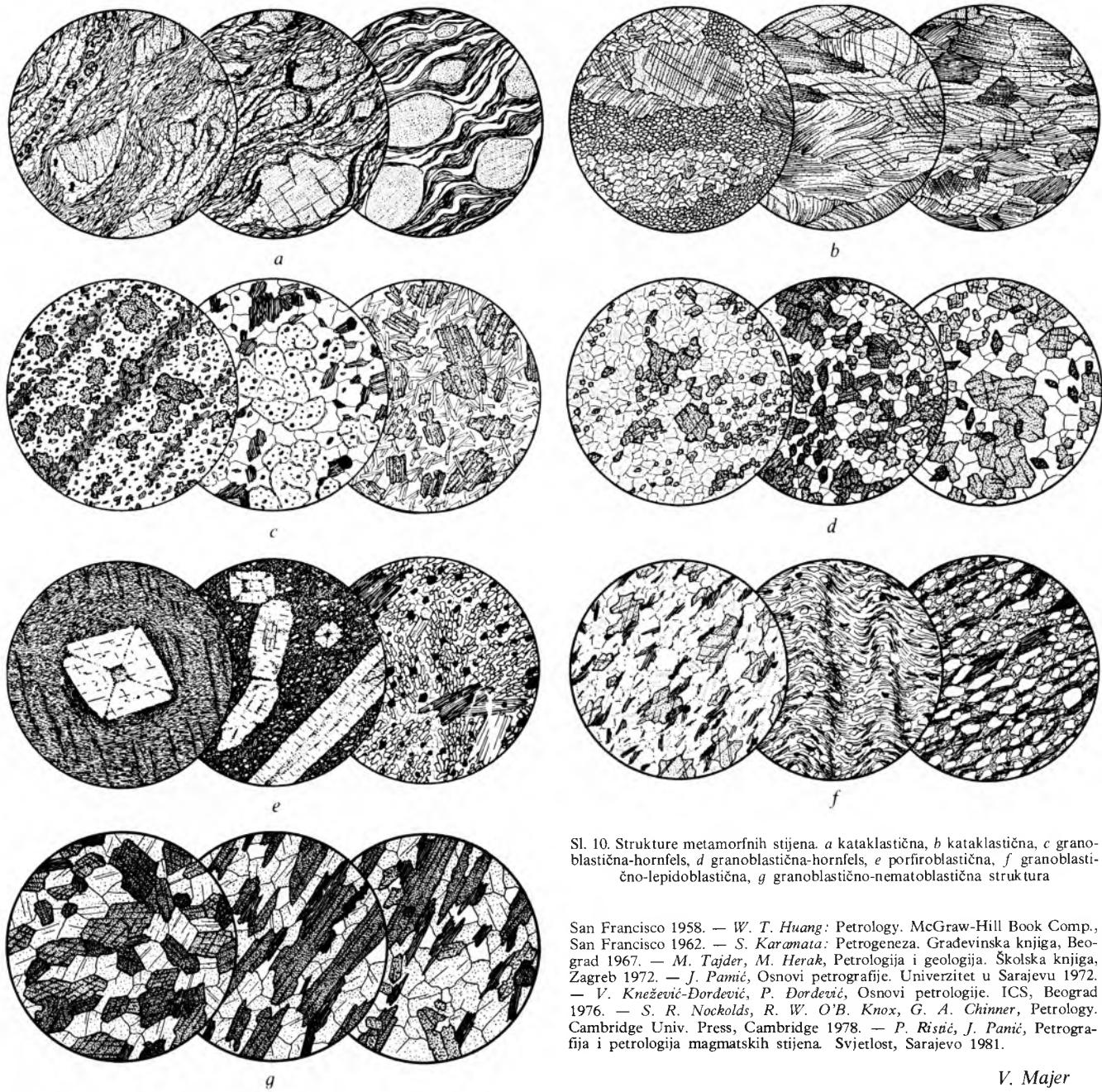
Kontaktmetamorfne stijene ili *kontaktoliti* nastaju termičkom metamorfozom uzrokovanim naglom i velikom promjenom temperature oko intruzija u magmatskim stijenama. One najčešće stvaraju pojas ili kontaktnu zonu unutar koje se intenzivnost kontaktne metamorfoze manje-više ravnomjerno smanjuje s udaljenošću od kontakta s magmatskim tijelom. Nastale stijene, koje se katkada zovu i *hornfelsi* ili *korniti*, imaju karakteristične teksture i strukture. Struktura je najčešće granoblastična ili porfiroblastična, a tekstura homogena. Kontaktoliti nastali od glinovitih sedimenata sadrže andaluzit, silimanit, kordijerit, tinjce, granate, spinel i dr. Kontaktmetamorfne stijene nastale od karbonatnih sedimenata sadrže volastonit, vezuvijan, granate, plagioklase, piroksene, amfibole i dr. Poseban je oblik kontaktolita skarnovi, koji se obično nalaze udruženi na mjestima gdje su se razvila kontaktmetamorfna i druga rudna ležišta. Kontaktom metamorfozom čisti vapnenci mogu biti pretvoreni u mramor, a silicijski sedimenti u kvarcit.



Sl. 9. Neke foliativne teksture i strukture metamorfnih stijena. a) finoškriljava (škriljava), b) škriljava (tinjev škriljavac), c) lineacijski (amfibolni škriljavac), d) porfroblastična škriljava (tinjev škriljavac), e) škriljava s pukotinama (gnajs), f) okcasta (gnajs), g) lečasto-pritkasta (gnajs), h, i, j) trakasta i laminarna tekstura (gnajs)

U regionalnometamorfne stijene niskog stupnja metamorfizma spadaju slejt, filit, te zeleni, kloritni, vapneni, antigoritni, talkni škriljavci i dr., a kao posebna vrsta i glaukofanski ili plavi škriljavac. Stijene tog stupnja metamorfizma imaju obično veoma izraženu škriljavost i lepidoblastične do nematoblastične strukture. U njihovu se sastavu nalaze minerali kremen, albit ili kiseli plagioklasi, tinjci, aktinolit, kloriti, talk, antigorit, pa zatim klinocosit, epidot, glaukofan, lavsonit, pumpeliit i još neki. To su sve minerali koji nastaju uz usmjereni tlak ili stres (umjereni do visoki i vrlo visoki) i uz razmjerne niske temperature. Stijene umjerenog stupnja metamorfizma jesu tinjev škriljavac, kremeni škriljavac, leptit, amfiboliti i dijelom gnajsovi. U tinjevem škriljavcu glavni su minerali kremen i tinjci, u gnaju kremen, glinenci i tinjci te ponekad i neki drugi minerali, a u amfibolitima amfiboli i plagioklasi. Strukture su manje škriljave i često veoma različite. Gnajsovi i amfiboliti, zajedno s filitima, tinjevim škriljavcima i zelenim škriljavcima, najraširenije su metamorfne stijene i gotovo se uvijek nalaze u svim metamorfnim stijenama.

Regionalnometamorfne stijene visokog stupnja metamorfizma jesu granuliti, eklogiti i čarnokiti. Osim u nekim prekambrijskim područjima, to su razmjerne rijetke stijene. Granuliti su



Sl. 10. Strukture metamorfnih stijena. a kataklastična, b kataklastična, c grano-
blastična-hornfels, d granoblastična-hornfels, e porfiroblastična, f granoblasti-
čno-lepidoblastična, g granoblastično-nematoblastična struktura

San Francisco 1958. — W. T. Huang: Petrology. McGraw-Hill Book Comp., San Francisco 1962. — S. Karanata: Petrogenza. Građevinska knjiga, Beograd 1967. — M. Tajder, M. Herak, Petrologija i geologija. Školska knjiga, Zagreb 1972. — J. Panić, Osnovi petrografije. Univerzitet u Sarajevu 1972. — V. Knežević-Dordević, P. Dordević, Osnovi petrologije. ICS, Beograd 1976. — S. R. Nockolds, R. W. O'B. Knox, G. A. Chinner, Petrology. Cambridge Univ. Press, Cambridge 1978. — P. Ristić, J. Panić, Petrografijska i petrologija magmatskih stijena. Svjetlost, Sarajevo 1981.

V. Majer

stijene granoblastične strukture i sastavljene od kremera, glinenca, nešto granata, piroksena te ponekad i drugih minerala, pa im je sastav dosta različit. Eklogiti su bazične, feromagnesijskim mineralima bogate stijene, najčešće zelene boje, izgrađene od zelenog piroksena omsaćita i crvenog granata, a nastali su pretvorbom bazičnih magmatskih stijena. U grupu metamorfnih stijena ubrajaju se i migmatiti. To su mješavine metamorfnih, najčešće gnajsnih stijena s ulošcima granitnih, odnosno aplitnih žila, grijezda, proslojaka ili leća, najčešće izuvijenih, utisnutih u njih. Nastaju u najdubljim zonama metamorfizma, gdje se parcijalno tali stijenski materijal i tvori taljevinu granitnog sastava koja se najčešće nepravilno utiskuje u okolne metamorfne stijene.

Primjenom stijena u tehničke svrhe bavi se posebna grana petrologije, tehnička petrografija (v. *Gradevni kamen*, TE 6, str. 223).

LIT.: L. Marić, Petrografija. Školska knjiga, Zagreb 1951. — L. Marić, Sistematska petrografija. Školska knjiga, Zagreb 1951. — F. J. Pettijohn: Sedimentary Rocks. Harper and Brothers, New York 1957. — H. Williams, J. Turner, Ch. M. Gilbert: Petrography. W. H. Freeman and Comp,

PIGMENTI, tvari u obliku vrlo sitnih, čvrstih čestica, koje se upotrebljavaju uglavnom u optičke, dekorativne ili zaštitne svrhe. Pigmenti su većinom obojeni i služe u prvom redu kao tvari koje daju boju sredstvima za prekrivanje površine, tj. bojama i lakovima (v. *Lakovi i boje*, TE 7, str. 443), odnosno tiskarskim bojama, ali se upotrebljavaju i za bojenje mase materijala. Za razliku od bojila (v. *Bojila*, TE 2, str. 84), pigmenti su netoplivi u vezivu ili otapalu u kojem se primjenjuju i ne stvaraju kemijske veze s materijalom koji treba obojiti, već ostaju suspendirani u vezivu u finom razdjeljenju. Osim kao tvari koje mijenjaju optička svojstva materijala, pigmenti služe i u mnoge specijalne svrhe, npr. kao sredstva protiv korozije. Riječ pigment potječe od latinskog *pigmentum boja*.

Pigmentima su vrlo slična i punila, tj. inertne tvari koje se dodaju tehničkim proizvodima (papiru, gumi, plastičnim massama) s namjerom da im se promijene svojstva ili smanji cijena. Mnogi pigmenti služe ujedno i kao punila.