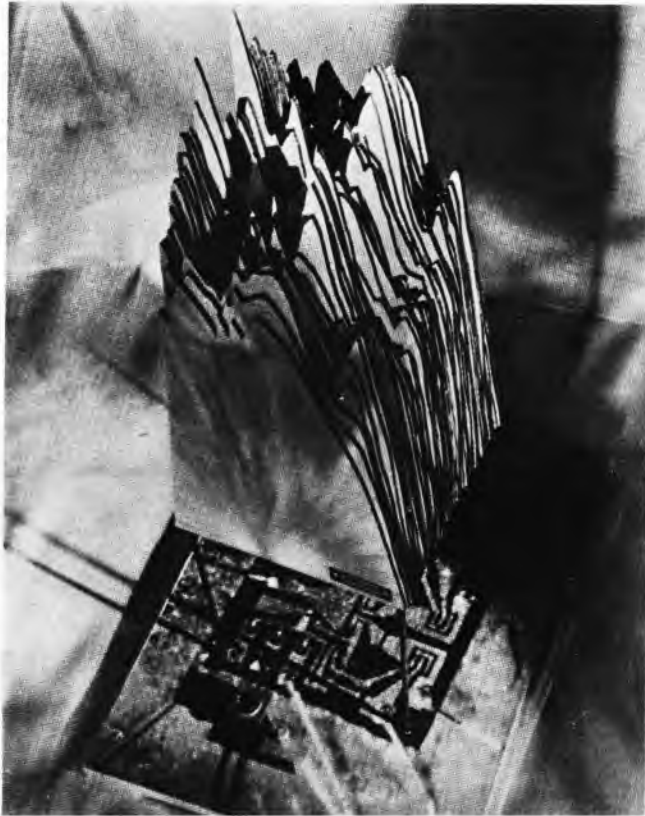
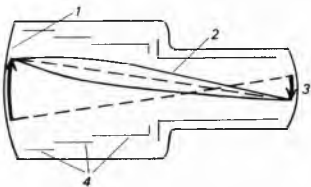


opada, te se mora produžavati trajanje eksponiranja. Infracrvena fotografija prema fotografiji sa svjetlom ima prednost zbog veće prozirnosti atmosfere za infracrveno nego za vidljivo zračenje, i što se može snimiti uz maglu, a posebno noću. Omogućuje i naknadno snimanje infracrvenog traga predmeta na okolici (v. *Fotografija*, TE5, str. 581).



Sl. 12. Trodimenzionalni model infracrvene slike integriranog elektroničkog sklopa načinjen sa 50 linija skaniranja

**Infracrveni konvertori.** *Infracrvena konvertorska cijev* ili infračrveni teleskop omogućuje direktnu pretvorbu infracrvene slike u vidljivu; pojednostavljen presjek kroz konvertorsku cijev prikazan je na sl. 13. Infracrveno zračenje nekog predmeta projicira se optičkim sustavom na ulazni ekran. S unutrašnje je strane sloj osjetljiv na infracrveno zračenje, u kojemu ono, proporcionalno intenzitetu, fotoefektom izbija elektrone. Taj sloj je fotokatoda cijevi. U cijevi se nalazi niz prikladno raspoređenih elektroda, pozitivnih prema fotokaturi. Električna polja su leće za mlaz elektrona koji izlazi iz fotokature (v. *Elektronska optika*, TE5, str. 1; v. *Elektronski mikroskop*, TE5, str. 6), te ga projicira na ekran na drugoj strani cijevi, koji fluorescira. Na taj se način posredovanjem elektronskog mlaza i elektronskih leća infracrvena slika projicira i pretvara u vidljivu.



Sl. 13. Infracrvena konvertorska cijev

Infracrveni konvertori osjetljivi su u bliskom području infracrvenog zračenja, do  $\lambda \sim 1,2\mu\text{m}$ , pa se njima mogu promatrati predmeti na višim temperaturama (npr. motori u radu, ugrijane cijevi oružja), ili predmeti obasjani takvim zračenjem.

*Uređaj za promatranje (ili promatralo) termičke slike* (engl. thermal imager) omogućuje direktno promatranje velikog vidnog polja s prilično velikim razlučivanjem. Uređaj sadrži ne-



Sl. 14. Izgled uređaja za promatranje termičke slike (Thermal imager tvrtke Hawker-Siddeley Dynamics)

koliko desetaka detektora, npr. 50. Kao detektor upotrebljava se npr. sustav kadmij-živa-telur. Detektori su postavljeni u nizu, te se odjednom skanira svih 50 linija. Detektorski niz u više redova, npr. 11, prelazi čitavo polje, te je tako slika sastavljena od 550 linija. Brzina skaniranja je velika, pa se kod nekih uređaja stvara 25 slika u sekundi. Zbog toga slika sadrži mnogo detalja (v. prilog u bakrotisku).

LIT.: J. A. Jamieson, R. H. McFee, G. N. Plass, R. H. Grube, R. G. Richards, *Infrared physics and engineering*. McGraw-Hill, New York 1963. — B. B. Кожекин, П. Ф. Усовцев, *Основы инфракрасной техники*. Машиностроение. Москва 1967. — M. A. Bramson, *Infrared radiation*. Plenum Press, New York 1968. — D. Hudson, *Infrared system engineering*. John Wiley and Sons, New York 1969. — R. Vanzetti, *Practical applications of infrared techniques*. John Wiley and Sons, New York 1972. — J. M. Lloyd, *Thermal imaging systems*. Prentice-Hall, New York 1975.

A. Peršin M. Žaja

**INJEKTIRANJE**, postupak za ispunjivanje, brtvljenje, konsolidaciju, očvršćivanje i učvršćivanje prirodnih stijena, tla i građevina. U stijene ili tlo ubrizgavaju se pod tlakom različita stabilizacijska sredstva (veziva, punila i aditivi) radi konsolidacije i da se smanji vodopropusnost, poveća čvrstoća, smanji deformabilnost, ispune kontaktne reške između temelja građevine i tla te fiksiraju sidra.

Injektiranje se primjenjuje također za spajanje diskontinuiranih dijelova građevina izgrađenih od pojedinačnih betonskih elemenata, fiksiranje armatura i zatega za prednapinjanje građevnih konstrukcija, asanaciju temelja i objekata u građevinarstvu i rudarstvu, i pri izradbi prepekt-betona.

Injektiranje je relativno nov postupak. U građevinarskoj ga je prvi primijenio Francuz Ch. Berigny godine 1802. za sanaciju splavnice u Dieppeu. Splavnica je bila plitko temeljena na šljunkovitom tlu, pa je zbog jakih procjeđivanja temeljno tlo erodiralo i prijetila je opasnost od rušenja. Kroz izbušene rupe na zagatnom zidu na razmacima od po 1 metar utiskivana je plastična glina jednostavnom udarnom crpkom. Ista je metoda primijenjena i ispod temeljne ploče splavnice, ali se umjesto gline u bušotine utiskivao pucolanski mort. To je prvo injektiranje uspjelo i splavnica je nakon sanacije ponovno bila u pogonu.

Godine 1838. ispunjavale su se prvi puta pukotine injektiranjem u kamenom zidu brane Grosbois. Poboľšanom udarnom crpkom utiskivala se u pukotine suspenzija veziva pod konstantnim tlakom.

Pri gradnji tunela pomoću štita godine 1864. P. W. Barlow je predvidio ispunu prostora između obloge i iskopanog tla injektiranim cementnim mortom. Taj se postupak kasnije često primjenjivao pri gradnji tunela pod vodom za londonsku i parišku podzemnu željeznicu, a injektiralo se pomoću rezervoara s komprimiranim zrakom.

W. R. Kinipole je primijenio utiskivanje suspenzija gline i cementnog morta u bušotine i tim postupkom godine 1896. riješio problem procjeđivanja vode ispod temelja brane Damietta i Rosetta na ušću Nila u Sredozemno more. U to doba pri gradnji brana i splavnica na Nilu prvi put se pod vodom injektirao šljunak s cementnim mortom (prepekt-postupak).

Injektiranje se mnogo primjenjuje u rudarstvu za sprečavanje prolaza vode kroz slojeve u blizini rudarskih okana. Od godine 1904. mjeri se vodopropusnost, a od 1910. upotrebljavaju se manometri za mjerenje tlaka. U isto vrijeme prilikom gradnje brana mjeri se propusnost ispod temelja i procjenjuje se raspadlost stijene mjerenjem dotoka vode u bušotine.

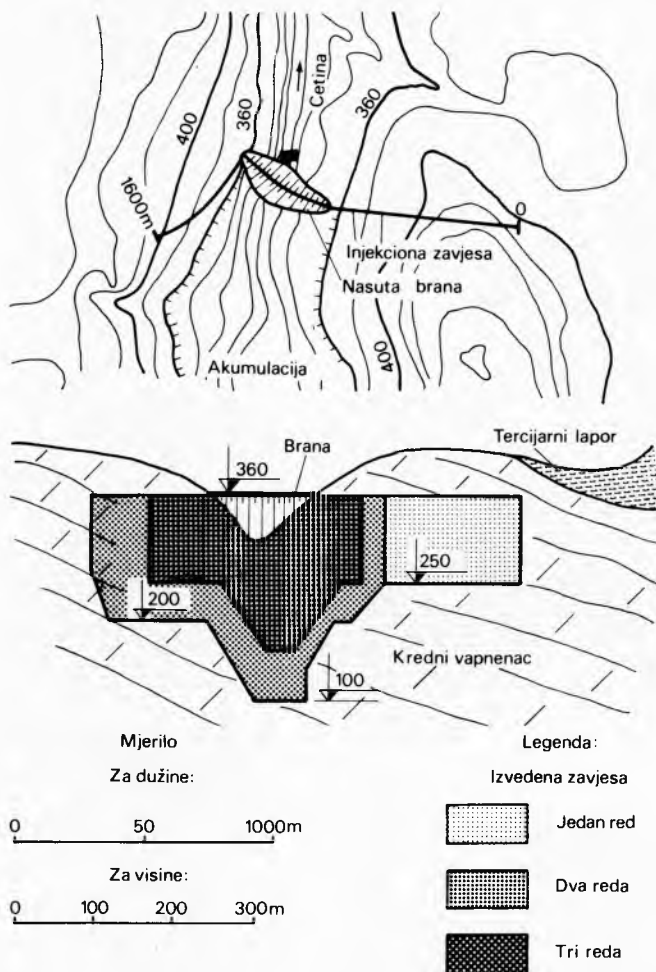
Više od 100 godina injektiranje se primjenjivalo samo za sanaciju već postojećih objekata. Injektiranje u projektu temelja ispod brane prvi se put predviđa 1911, ali do 1930, rijetko se primjenjuje. To je bilo razdoblje kad su veliki građevinski objekti, posebno brane, prvenstveno građeni na mjestima s besprijekornim temeljnim tlom, na vodonepropusnim i čvrstim stijenama. Danas, kada su iskorištena ne samo najbolja nego i sva dobra mjesta, injektiranje je postalo neophodno.

Razvojem injektiranja postupno se rješavao problem propusnosti tla i uzgona, te učvršćenja rastresitih dijelova tla kopanjem temelja u raspucalim stijenama. Poteškoće su ostale pri injektiranju nevezanog tla, šljunka i pijeska, jer se nije postiglo sigurno i jednolično ispunjavanje sve dok u Francuskoj nije pronađen novi način injektiranja kroz cijevi s ovojnicama. Tim se postupkom mali odsječci bušotina injektiraju u više navrata, različitim suspenzijama i otopinama do potrebnog zasićenja. Upotrebom odgovarajućih suspenzija i otopina, te primjenom najprikladnije tehnike može se injektirati svaki nehomogeni materijal i postići učvršćenje nehomogenog, rastresenog i poroznog tla i stijena, te smanjenje vodopropusnosti i uzgona.

Godine 1926. H. Joosten je patentirao postupke pri injektiranju upotrijebevši otopinu silikata i otopinu soli ili kiseline. Kroz zabijene injekcije cijevi utiskuje se najprije otopina vodenog stakla, a zatim se u otopinu dodaju kao stabilizator metalne soli. Radi koagulacije dodaje se kalcij-klorid. Kemijskom reakcijom nastaje silikatni gel koji ispunjuje pore u tlu. Kasnije je pronađen postupak da se razrijeđenom vodenom staklu prije injektiranja dodaju otopine soli niske koncentracije ili organski spojevi, pa se kemijska reakcija odvija tek u tlu. Takav se postupak primjenjuje danas.

Prvo se injektiranje u nas izvodilo na betonskoj gravitacijskoj brani Grošnica kod Kragujevca (građeno u razdoblju od 1932-1937. god.), ali ne postoje sigurni podaci o primijenjenoj metodi.

Široka je primjena injektiranja nastala kod nas odmah nakon rata kada je započela gradnja velikih energetskih objekata koji su služili kao osnovna industrijalizacije i ekonomskog razvitka zemlje.



Sl. 1. Tlocrt i presjek injekcione zavjese Peruća

Tehnika se injektiranja primjenjivala već 1946. god. na gradnji temelja brane Bajer kod Fužina na relativno propusnim pješčenjacima i za poboljšanje spoja betonske obloge tlačnog tunela i raspucale, djelomično okršene (karstificirane) vapnenačke stijene. Nekoliko godina kasnije rađene su injekcije zavjese ispod brana Mariborski otok, Moste i Vlasina. Gradnja prve akumulacijske brane Peruća (sl. 1) na rijeci Cetini u kršu potakla je razvijanje novih metoda, a posebno ispitivanje smjese i postupaka glinovito-cementnih suspenzija, s bentonitom i bez njega, koje su se pokazale vrlo uspješne. Time je omogućeno iskorištenje vodnih snaga krša u našoj zemlji nakon čega je izgrađen veći broj akumulacija, brana i hidroelektrana.

**Istraživanja za injektiranje i projekt.** Da bi se mogao odrediti opseg i postupak pri injektiranju, treba upoznati mehaničke, fizikalne i kemijske karakteristike tla ili stijena. Kako se najčešće radi u stjenovitom masivu, izrađuje se geološka studija područja s podacima o stratigrafskoj pripadnosti, litološkom sastavu i o tektonici formacija. Time se dobivaju podaci za dalja inženjersko-geološka i hidrogeološka istraživanja kojima treba utvrditi karakteristike i veličine pora u tlu, oblik i veličinu podzemnih pukotina, ispućalost tla, tokove i kemijska svojstva podzemnih tokova te vodopropusnost. Sondažnim se bušenjem dobivaju neporemećeni uzorci tla, a geotehničkim ispitivanjem »in situ« i u laboratoriju, mjerenjem vodopropusnosti i deformabilnosti stijene osiguravaju se podaci o ponašanju stijena i tla ispod budućih temelja. Geofizička istraživanja upotpunjuju spoznaju o fizikalnim svojstvima tla.

Često se, kad su predviđeni veći i složeniji radovi, obavljaju i probna injektiranja. Takva istraživanja daju provjerene podatke za definiranje svih elemenata injektiranja, a posebno o postupku i o trošku injekcijske smjese.

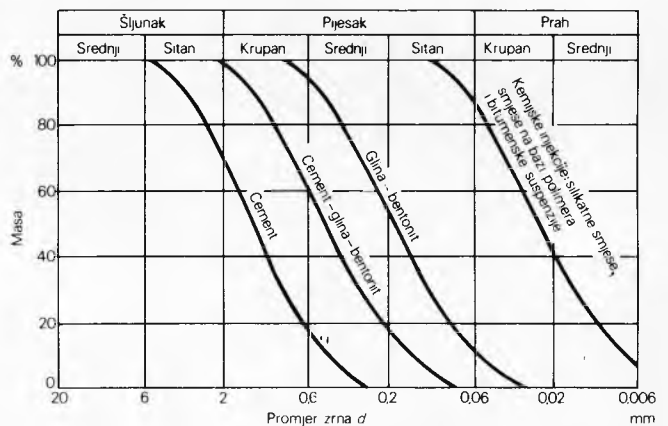
Na temelju svih tih podataka izrađuje se projekt injektiranja s tehničkim rješenjem za izvođenje injekcijskih radova i s ucrtanom zonama koje će se injektirati.

**Materijali i smjese za injektiranje.** Osnovni materijali za pripremu smjese za injektiranje jesu: voda, cement, pijesak, kameno brašno, glina, bentonit, različita punila i aktivni dodaci kojima se poboljšavaju prirodna svojstva osnovnih materijala. Kao punila i aktivni dodaci upotrebljavaju se pucolan i zgure radi smanjenja agresivnosti prirodnih voda.

Da bi se postigla željena svojstva cementa i injekcijskih suspenzija, oplemenila glina i bentonit, upotrebljavaju se ubrzivači, stabilizatori i plastifikatori kao aktivni dodaci. To su najčešće soda, kalcij-klorid, vodenno staklo i sulfatna podlužnica.

Sastav se injekcijske smjese definira masenim omjerom sastojaka u ukupnoj masi smjese, i to posebno krutih sastojaka u jedinici mase suhe smjese, a posebno mase suhe smjese u jedinici mase pripremljene suspenzije. Tako se cementom injektira homogeno porozno tlo propusnosti veće od  $10^{-3} \text{ ms}^{-1}$ , suspenzijama tlo propusnosti veće od  $10^{-5} \text{ ms}^{-1}$ , a tlo još manje propusnosti samo otopinama kemikalija i smolama koje stvaraju gelove u porama. Tla male propusnosti injektiraju se i pomoću elektroosmoze kombinirane s otopinama kemijskih spojeva.

Potrebna masa suspenzije ovisi o granulometrijskom sastavu tla koje se injektira (sl. 2).



Sl. 2. Upotreba sredstava za injektiranje prema granulometrijskom sastavu tla

Propusnost se stjenovitih masiva kroz pukotine prikazuje za velika područja Darcyjevom koeficijentom  $k$ . Pri tome se računa sa strujanjem tekućine samo kroz koncentrirane pukotine, koje uz jednaku propusnost  $k$  imaju znatno veću širinu od promjera odgovarajućih kapilara homogeno propusnog masiva. Volumen je pora  $n$  u zrnatom materijalu  $0,15 < n < 0,45$ , a za raspucale stjenovite masive on iznosi  $0,05 < n < 0,10$ . Uz jednaki je koeficijent propusnosti  $k$  efektivna širina pukotina u raspucalom stjenovitom masivu 5 do 30 puta veća od one u zrnatom materijalu. Zato se u stjenovitim masivima s pukoti-

nama može injektirati suspenzijama i kod manje propusnosti  $k$  od one u zrnatim materijalima. Zbog toga se mora za svaku vrstu tla prema volumenu pora ili pukotina i prema njegovoj propusnosti upotrijebiti najprikladnija smjesa za injektiranje.

Smjese za injektiranje podijeljene su prema sastavu, krupnoći zrna i viskoznosti na cementne, cementno-pjeskovite, cementno-glinene, cementno-bentonitne, cementno-pjeskovito-glinene, cementno-pjeskovito-bentonitne, cementno-glineno-bentonitne, glinene i bentonitne, kemijske injekcije (silikatne smjese i smjese na bazi polimera) i na posebne postupke kao npr. prepakt-beton, vrući bitumen i elektroinjektiranje.

**Svojstva i izbor injekcionih smjesa.** Injekciona smjesa prolazi pod tlakom kroz pore i pukotine u tlu različitim brzinama u različitim točkama, ovisno o gradijentu tlaka, gustoći i viskoznosti smjese te o gustoći i veličini pora i pukotina. Injekciona smjesa prestaje prodirati pri nedovoljnom gradijentu tlaka, koji treba da svlada otpor tečenja.

Samo injekcione smjese točno određenih svojstava odgovaraju namjeni. Zbog toga se ispituju smjese različitih omjera osnovnih sirovina i tako se uspoređuju njihova svojstva, što omogućuje izbor najpovoljnije smjese. Za vrijeme izvedbe radova stalno se kontroliraju potrebna svojstva sirovina i injekcionih smjesa jer se mogu pojaviti odstupanja zbog nejednolikosti sirovina ili grešaka u pripremi.

Kontroliraju se svojstva: *reološka* (stabilnost suspenzije, protočna i strukturna viskoznost, porast čvrstoće gela injekcione smjese s vremenom, relativna gustoća i pokusi tečenja) i *fizikalno-mehanička* (čvrstoća i propusnost injektirane ispune, stalnost volumena, otpornost injektirane ispune na ispiranje i na kemijsko djelovanje). Reološka svojstva smjese za injektiranje treba prilagoditi svrsi injektiranja i svojstvima tla koje se tom smjesom ispunjava. Injektiranjem se smanjuje propusnost stijena ili tla, ali utjecaj što ga takva ispuna ima na ostala svojstva (deformabilnost i otpornost na smicanje) ovisi u velikoj mjeri o kvaliteti injektirane smjese, njenoj čvrstoći i o rasporedu te smjese u tlu i stijeni. Za izbor smjese mjerodavna su dva svojstva: a) otpornost protiv deformacije i čvrstoća injektirane smjese i b) vodopropusnost stijene, tla ili injektiranog medija. Ako se traže od injektirane mase oba ova svojstva, rijetko kad je vodopropusnost odlučna za izbor smjese.

Karakteristike tla ili stijene koja se injektira osobito su važne za izbor smjese. Injektiranje *stino poroznog materijala* ili *uskih pukotina* zahtijeva suspenziju vrlo sitnih čestica male viskoznosti i koje nemaju tiksotropnih svojstava (tiksotropne suspenzije imaju svojstvo da im nakon miješanja i određenog vremena mirovanja, odnosno stabilizacije, postepeno raste viskoznost i nastaje gel male čvrstoće, tj. postaju krute) ili otopinu male viskoznosti. Krupnije čestice talože se na sitnijim otvorima pora ili pukotina, pa se tu skuplja slabo propusna masa (kolač) koja blokira prodiranje smjese. Kad se injektiraju *široke pukotine*, smjesa se može širiti bez otpora oko bušotine, što zahtijeva njen veliki utrošak, a da se ipak ne zatvore putovi procjeđivanja. Pri tome se upotrebljavaju gušće smjese koje u suženjima pukotina stvaraju otpor daljem tečenju i tako sprečavaju novo širenje. Često je pri tome korisna tiksotropna suspenzija kod koje čvrstoća gela raste s vremenom i sa smanjivanjem brzine tečenja, pa raste i otpor prodiranju mase. Ponekad se injektiranje takvih vrlo propusnih zona završava sa smanjenim tlakom, pa smjese moraju postići određenu čvrstoću pod tlakom (bez većeg ocjeđivanja vode). Tada je jedino rješenje kombinirati tiksotropne suspenzije za ograničeni doseg i dopunsko injektiranje gustog morta od cementa, pijeska i plastifikatora.

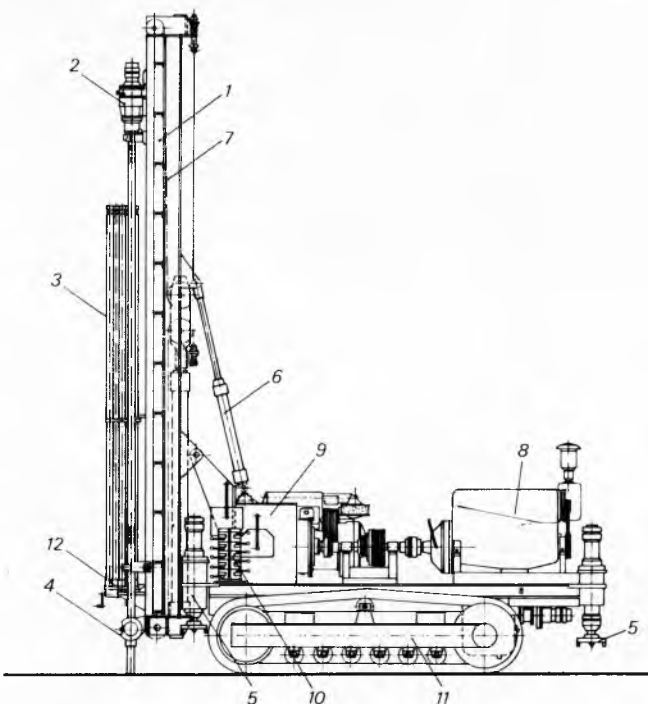
Posebno je složeno injektiranje *većih praznih prostora, kaverna i širokih pukotina*. Pri tome je najpovoljnije upotrijebiti gusti mort ili beton s plastifikatorima koji se utiskuju crpkama za mort ili beton kroz šire bušotine. Ako podzemna voda teče u takvim pukotinama, zatvaranje je otežano, jer voda odnosi injekcionu smjesu. U takvim je uvjetima prikladna gusta tiksotropna smjesa u kombinaciji s gustim mortom ili betonom, a u kršu prikladno je injektiranje cementnim suspenzijama jednoliko zrnatog šljunka (prepakt-beton). Najbolje, ujedno i najskuplje rješenje jest da se zatvaraju veće pukotine u kojima teče voda ubrizgavanjem vrućeg bitumena koji se hladi i skrućuje u vodi,

pa može odoljeti i porastu hidrostatskog tlaka i brzine koji se pojavljuju postepenim zatvaranjem putova kojima protječe voda. Kad je tlo nekoherentno, često se uspješno injektira rascepom (klakažom) uz visoke tlakove, čime se zbija tlo.

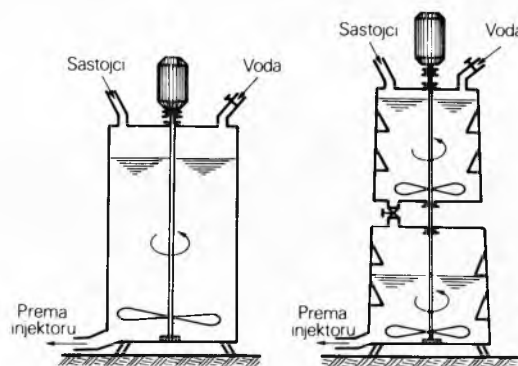
Za injektiranje radi smanjenja propusnosti dovoljne su smjese male čvrstoće, ali ipak dovoljne da trajne građevine budu sigurne od moguće erozije i otporne na djelovanje agresivnih voda.

**Strojevi i naprave za injektiranje.** Izbor strojeva i naprava za injektiranje ovisi o vrstama injekcionih radova, postavljenim uvjetima i predviđenim postupcima, uvjetima na mjestu gdje se radi, količini radova, te redosljedu i potrebnom vremenu za obavljanje radova.

**Strojevi za bušenje.** Izbor strojeva za bušenje rupa za injektiranje ovisi o vrsti materijala, dubini bušotine i načinu bušenja. Najčešće se upotrebljavaju rotacijske i udarnorotacijske bušilice s radnim karakteristikama i opremom, već prema svrsi bušenja (sl. 3). Iz istražnih, probnih i kontrolnih bušotina dobiva se kvalitetna jezgra i pri tome se mjeri propusnost tla. Važni su pri tome režim bušenja, potreba postavljanja cijevi, vrsta i tlak isplake, vrsta kruna i jezgrenih cijevi.



Sl. 3. Bušilica Hausherr HBM-12 K/Hy. 1 toranj, 2 motor za bušenje, 3 spremište bušaćih šipki, 4 hidraulički zadržaci, 5 hidrauličke stope (stabilizatori), 6 hidraulički podizač tornja, 7 potezni lanac, 8 pogonski motor, 9 hidraulička stanica, 10 komandni uređaj, 11 vozne gusjenice, 12 stol i odvijać šipki



Sl. 4. Shema jednostruke i dvostruke miješalice s propelerom

Promjer bušotine bitno ne utječe na učinak injektiranja. Obično se buši bušilicama promjera 36-66 mm. Početni promjer ovisi o predviđenoj dubini i načinu zaštite bušotine, i

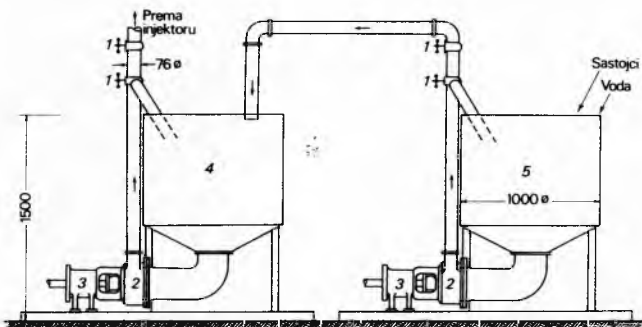
obično nije veći od 146mm. Manji se promjeri od 36mm ne primjenjuju za injektiranje brtvilima, jer za manji promjer brtvila nisu pouzdana. Bušotine su vertikalne ili kose. Nakon završenog bušenja uklanja se iz bušotine sav zaostali materijal. Bušotina se čisti vodom ili komprimiranim zrakom.

**Priprema smjese za injektiranje.** Sastojci smjese za injektiranje (voda, glina, aditivi) doziraju se u injekcionim stanicama volumenskim uređajima za doziranje. Način miješanja i izbor miješalice ovisi o vrsti injektione smjese. Za razdvajanje aglomeracije sitnih čestica tiksotropne smjese potrebne su znatne sile koje se postižu velikim brzinama tekućine i turbulencijom. Razdvajati se može i elektrolitom. Kombiniranim mehaničkim i elektrokemijskim djelovanjem injektione se suspenzije dispergiraju i stabiliziraju. Za pripremu suspenzija potrebne su miješalice visoke turbulencije (sl. 4).

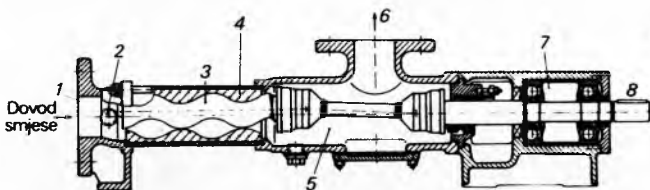
Grude gline usitnjavaju se u mlinovima ili jakim muljnim crpkama. Kad se dodaje bentonit, osnovna suspenzija ostaje duže vremena u rezervoaru za uzbuđivanje kako bi bentonit apsorbirao vodu i maksimalno nabujao. Trajanje miješanja osnovne suspenzije ovisi o omjeru sastojaka i o veličini miješalice, a traje 3-10min (sl. 5).

**Crpke za injektiranje.** Najčešće se upotrebljavaju stapne crpke s mehaničkim ili hidrauličkim pogonom. Prednost je hidrauličkog pogona da, i uz ograničenu količinu smjese, tlak suspenzije ne može postati veći od maksimalnog radnog tlaka crpke koji ovisi o tlaku pogonske tekućine. Tim se crpkama injektiraju obične i tiksotropne suspenzije s dodatkom pijeska do 1mm promjera zrna.

Pužnim crpkama injektira se gusti mort s krupnijim pijeskom. Cilindrično pužno vreteno (sl. 6) okreće se u kućištu (oko 1400 okretaja u min) i potiskuje injekcionu smjesu. Kapacitet ovisi o broju okretaja vretena, a tlak o duljini puža. Komprimirani zrak se rjeđe upotrebljava za injektiranje. Iako osim kompresora nisu potrebni drugi strojevi, njegov je nedostatak u tome što se s njime radi u prekidima zbog potrebe naizmjeničnog punjenja i pražnjenja tlačnog rezervoara. Stapne crpke za injektiranje rade s promjenljivim tlakom. Te su promjene štetne za jednolično injektiranje, pa se za smanjivanje promjena postavljaju tlačni rezervoari ili se tlačna cijev izvodi kao elastična cijev.



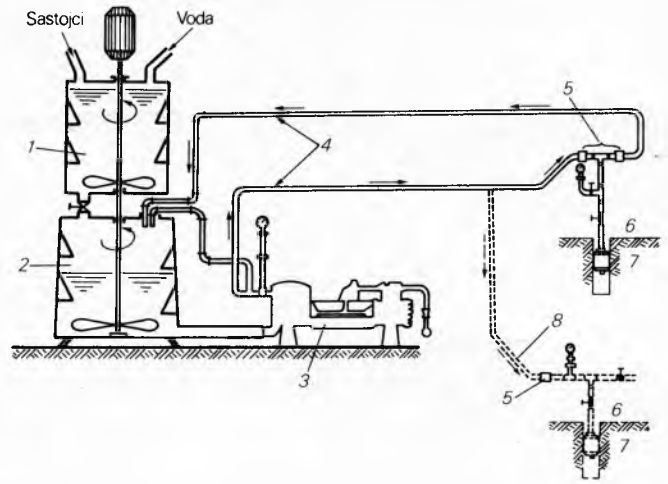
Sl. 5. Miješalice za pripremu smjese. 1 zasuni, 2 muljna pumpa, 3 motor, 4 rezervoar za uzbuđivanje (800l), 5 miješalice za pripremu smjese



Sl. 6. Injekciona crpka s vretenom. 1 usisni vod, 2 usisni ventil, 3 pužni rotor, 4 pužni gumeni stator, 5 tlačna komora, 6 tlačni vod, 7 brtveni dio injektora, 8 rotor

**Cijevi i pribor za injektiranje.** Injekciona smjesa tlači se od injektora do bušotine kroz cijevi, koji obično imaju promjer 3/4"-1". Cijevi ne smiju imati prevelik promjer, jer bi brzina kretanja smjese bila mala, pa bi se kruti sastojci mogli taložiti i začepiti vodove. Ako su vodovi dugi, hidrodinamički

otpori rastu, pa se može dogoditi da otpor ubrizgavanju postane prevelik. Cijevi malog promjera mogu se začepiti, pogotovo kad se radi s nestabilnim suspenzijama koje se ubrizgavaju kod smanjenih brzina pri kraju injektiranja. Tada se smjesa pušta i kroz kružni vod (sl. 7), kroz koji se višak smjese, koju bušotina ne prima, vraća u miješalicu. Tako je brzina u vodovima neovisna o količini smjese koju prima bušotina.



Sl. 7. Kružni i izravni injekcioni vod. 1 miješalice za pripremu smjese, 2 miješalice-rezervoar, 3 injektor, 4 kružni vod, 5 mjerčač protoka, 6 injekciona glava, 7 brtvilo, 8 izravni vod

**Brtve.** Injekciona smjesa dovedena cjevovodom do bušotine utiskava se u tlo pod tlakom. Različitim vrstama brtvi (pakera, opturatora) sprečava se istjecanje injektione suspenzije pod tlakom iz injektione cijevi u dio koji se ne želi injektirati. Najraširenije brtve sastoje se od tanje unutrašnje cijevi kroz koju prolazi injekciona suspenzija sa zdjelicom na donjem kraju i šire vanjske cijevi sa zdjelicom na gornjem kraju (sl. 8). Razmak je među zdjelicama 15-20cm, a ispunjen je mekom gumom. Pritezanjem matice s navojem izvan bušotine na unutrašnjoj cijevi smanjuje se razmak između zdjelica, tlači se na gumenu ispunu kojoj se promjer povećava sve dok se potpuno ne priljubi uz stijenkbu bušotine. Promjer brtve ovisi o promjeru bušotine i iznosi 36-86mm. Takve su brtve pouzdane u bušotinama kroz čvrstu stijenu s jednoličnim promjerom i pravilnim stijenjkama.



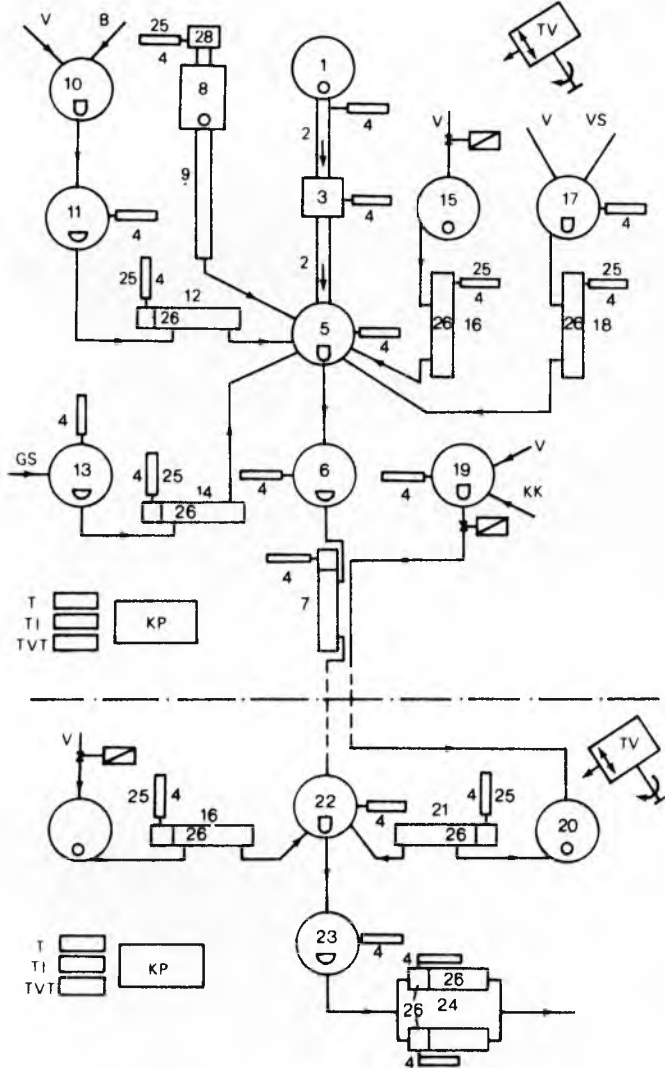
Sl. 8. Brtvilo s gumenom ovojnicom

Za bušilice u mekšoj stijeni, koja se mjestimično urušava, upotrebljavaju se pneumatičke brtve.

Pri izmjeničnom injektiranju u različitim odsjecima dubljih bušotina upotrebljavaju se dvostruke brtve. One izoliraju jednu dionicu na bilo kojem mjestu bušotine koja se potom može odvojeno injektirati. Postavljanje je brtve veoma osjetljiva operacija i mora se obavljati vrlo pažljivo. Kad propuštaju brtve, dobivaju se pogrešni rezultati mjerenja propusnosti, a smjesa može blokirati injektione cijevi u bušotini.

**Injekciona glava.** Na injekcionoj cijevi izvan bušotine nalazi se injekciona glava preko koje se cijevi priključuju na injekcioni vod. Na njoj je kontrolni manometar (sl. 8) i ventili pomoću kojih se može bušotina izdvojiti od injekcionog voda, povremeno isprati vod, ili ispuštati suvišna i neprikladna injekciona suspenzija.

**Injekcione stanice.** Da bi potrebna količina injekcione smjese određenog sastava od pripreme smjese preko crpki i vodova stigla do brtvama izoliranih etaža bušotine pod određenim tlakom koji se stalno kontrolira, postavljaju se automatizirane injekcione stanice. Automatska se injekciona stanica (sl. 9) upravlja pomoću pogonskog programa. Kad je stanica stavljena u pogon, kontrolni davač programa ispituje da li su svi motori u pogonu i da li je tlak zraka dovoljan za pogon zatvarača uređaja za doziranje (dozatora). Zatim se preko naloga davača programa regulira slijed rada vaga, punjenja i rada miješalice. Kad je injektor preradio predviđenu količinu, prekida

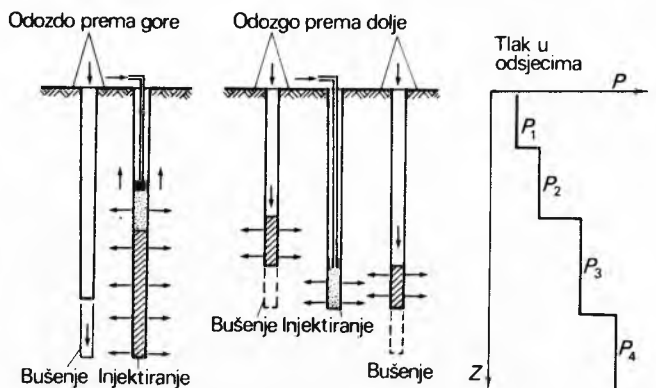


Sl. 9. Shematski prikaz automatizirane injekcione stanice. 1 silos za cement, 2 pužni transporter, 3 vaga za cement, 4 elektromagnetski svitak daljinskog upravljanja, 5 miješalica za pripremu osnovne smjese, 6 uzbuđivač-agitator osnovne smjese, 7 pumpa za otpremu osnovne smjese u injekcionu stanicu, 8 deponija pijeska, 9 transporter-dozator za pijesak, 10 miješalica za pripremu bentonitne suspenzije, 11 uzbuđivač bentonitne suspenzije, 12 dozirna pumpa za bentonitnu suspenziju, 13 uzbuđivač-agitator za glinenu suspenziju, 14 dozirna pumpa za glinenu suspenziju, 15 rezervoar za vodu, 16 dozirna pumpa za vodu, 17 miješalica za pripremu otopine vodenog stakla, 18 dozirna pumpa za otopinu vodenog stakla, 19 miješalica za pripremu otopine kalcij-klorida, 20 rezervoar za otopinu kalcij-klorida, 21 dozirna pumpa za otopinu kalcij-klorida, 22 miješalica za pripremu injekcione smjese, 23 uzbuđivač-agitator injekcione smjese, 24 injektorne pumpe za visoki tlak ili veliku količinu injekcione smjese prilikom injektiranja, 25 vremenski relej, 26 elektromotor; V voda, B bentonit, KK kalcij-klorid, VS vodeno staklo, GS glinena suspenzija, KP upravljački pult, T telefon uključen u telefonsku centralu gradilišta, TI industrijski telefon, TV televizijska kamera, TVT telefon vezan s televizijskim ekranom

se doziranje. Injektor se tada priključuje na drugu bušotinu s istom smjesom ili se po potrebi mijenja program smjesa i tlakova. Cijelim se pogonom upravlja iz komandne prostorije u kojoj se nalaze svi kontrolni sklopovi.

**Postupak i proces pri injektiranju.** Tlo se injektira na različite načine, već prema svojstvima materijala koji se injektira i svrsi injektiranja. Postupak, sastav i gustoću smjese te tlak pri injektiranju treba na najprikladniji način prilagoditi stanju tla (raspucalost, propusnost). Zato se u bušotinama injektiraju odsjeci (etaže) ograničene duljine, koje su dulje u homogenom, a kraće u heterogenom materijalu.

U manje raspuknutom materijalu bušotina se izbuši do konačno predviđene dubine u koju se injektira *odozdo prema gore* (sl. 10). U materijalu u kojem bi se duboka bušotina zarušila mora se postupiti obrnutim redom. Najprije se izbuši i injektira jedan odsjek, potom se buši i injektira slijedeći i tako dalje sve do konačne dubine. Taj je postupak skuplji od prethodnog jer treba premještati bušilicu, ponovno bušiti i utrošiti više vremena.



Sl. 10. Postupci pri injektiranju

Duljina jednog odsjeka injektiranja određuje se prema propusnosti i najčešće iznosi u stijeni 3-10m, a u aluvijalnom materijalu oko 0,3m. Ako je stijena vrlo heterogena, može se bušenje prekinuti kad se isplaka prestane vraćati na površinu, to mjesto injektirati, nastaviti bušenje do dna odsjeka i ponovno injektirati cijeli odsjek. Pri takvom postupku odsjek može biti dulji nego kad se radi po odsjecima određene duljine. Kad se injektira *odozdo prema dolje* u odsjecima različite duljine, injektira se uvijek s priključkom na gornjem kraju bušotine, pa je cijela duljina donjih dubljih odsjeka uvijek ponovno podvrgnuta povećanom tlaku injektiranja i može na slabijim mjestima ponovno primati smjesu. Prednost je takvog postupka u tome što se stijena veće propusnosti u manjoj dubini ponovnim injektiranjem pod većim tlakom postupno bolje ispunjava smjesom i jer ne treba, zbog velike duljine dubljih odsjeka, toliko premještati strojeve.

Budući da prije početka injektiranja nisu poznate stvarne karakteristike stijene u novoj etaži, injektiranje počinje rjeđom suspenzijom, a upotreba postupno gušćih suspenzija i promjena sastava smjese ovisi o primanju smjese u etaži tokom injektiranja. U prvoj se fazi praznine u tlu pune suspenzijom do traženog minimalnog dosega, pri čemu otpor injektiranju samo neznatno raste. Druga faza injektiranja počinje gušćom suspenzijom, a zbog sve većeg blokiranja putova protjecanja smjese u području ispunjenom suspenzijom doseže se propisani tlak. U trećoj fazi injektiranja održava se propisani tlak reguliranjem protoka suspenzije, dok se ne zadovolji M. Lugeonov kriterij za dovršenje injektiranja. Obično je to količina 2-25l suspenzije za 1-5min ( $51 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ), što odgovara propusnosti  $k = 1,3 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$ , a pod pretpostavkom tlaka kojim se injekciona suspenzija utiskuje u tlo u fazi zasićenja. Uz prenikak tlak doseg injektiranja neće biti dovoljan, a iz smjese će se izlučiti manje vode, pa će injektirana smjesa biti propusnija i manje otporna. Previsoki tlak može polomiti strukturu stijene oko bušotine, pa će utrošak smjese biti prevelik, a povećani volumen može izdići tlo ili objekt.

Većina autora preporuča tlak pri injektiranju u stanovitoj ovisnosti o masi nadsloja. Potrebni tlak za injektiranje ovisi o otpornosti i raspucanosti stijene i dubini injektiranog odsjeka bušotine, i treba ga prilagoditi karakteristikama stijene i vrsti injektiranja. Preporuča se tlak od 0,3...0,5 MPa (3...5 atm) za vezno, 0,5...0,7 MPa (5...7 atm) za konsolidacijsko injektiranje, a 0,5...3 MPa (5...30 atm), pa i više, za brtvljenje.

Zbog heterogenosti tla ne može se postupak injektiranja uvijek točno propisati projektom. U toku radova moraju se uskladiti reološka svojstva i sastav suspenzije s razvojem tlaka, odnosno otporom bušotine da se uz prihvatljiv potrošak smjese i kroz razumno vrijeme postigne zadovoljavajuće ispunjavanje praznina u potrebnom dosegu oko bušotine. Radi reguliranja radova na injektiranju pripremaju se opći tehnički propisi kao jugoslavenski standard za injektiranje.

LIT.: C. F. Kollbrunner, Fundation und Konsolidation, Zürich 1948. — A. H. Adamovici и Д. В. Колмунов, Цементация оснований и гидросооружении, Москва 1953. — Grupa autora, Injektiranje hidrotehničkih tunela i okana pod pritiskom, Institut «J. Černi», Knjiga 17, Beograd 1961. — H. Cambefort, Injections des Sols, Vol. I, II, Paris 1964. — E. Nonveiller, Injektiranje tla, Zagreb 1970. — Grupa autora, Injekcione zavjese. Upute za projektiranje, organizaciju i izvođenje radova, Institut «J. Černi», Knjiga 20, Beograd 1974. — B. Kujundžić, Injektiranje, Građevinski priručnik, Beograd 1974.

### I. Kleiner

**INSOLACIJA** (osunčavanje) je ozračivanje Sunčevim zrakama na površini Zemlje (ako drugačije nije naznačeno). Insolacija se definira gustoćom toka, tj. snage, na jedinicu ploštine na horizontalnoj površini Zemlje (v. Fotometrija, TE 5, str. 608). Jedinica insolacije jest vat po kvadratnom metru ( $Wm^{-2}$ ), a za veće jedinice vremena (dan, mjesec i godinu) džul po danu i kvadratnom metru,  $J/(danm^2)$ .

Zračenje Sunca sastoji se od širokog spektra elektromagnetskog zračenja i od korpuskularnog zračenja. Mjerljivo zračenje je ustanovljeno u području valnih duljina od 30 m do 1 nm, dakle, od kratkih radio-valova, pa sve do rendgenskog zračenja. Većinu energije (~95%) prenose vrlo kratki valovi, valnih duljina 0,29...2,5  $\mu m$ . Zračenje duljina kraćih od 0,29  $\mu m$  apsorbira se u gornjim slojevima atmosfere, najviše u dušiku, kisiku i ozonu.

Solarna konstanta definirana je kao ukupna energija koja zračenjem upada na jedinicu ploštine Zemljine atmosfere, okomite na smjer zračenja, u jedinici vremena (dakle kao gustoća toka zračenja) kada je Zemlja na srednjoj udaljenosti od Sunca. Tu je veličinu vrlo teško odrediti mjerenjem na dnu atmosfere, i ona je tokom mjerenja od jednog stoljeća ostala nesigurna za 4%. Solarna konstanta iznosi  $1,374 \cdot 10^3 Wm^{-2}$ , tj. 118,7 MJ/( $m^2$  dan). Solarnu je konstantu teško mjeriti radi apsorpcije i raspršenja u atmosferi Zemlje, koji su jako ovisni o položaju Zemlje i valnoj duljini.

Korpuskularno zračenje Sunca skrenuto je magnetskim poljem Zemlje i apsorbirano u gornjim slojevima atmosfere. Zato su ti dijelovi gotovo uvijek ionizirani, pa se nazivaju ionosfera. Međudjelovanje atmosfere i tog zračenja posebno je izrazito iznad magnetskih polova, a posljedica je intenzivna ioniziranost tih slojeva, pojava tzv. aurore popraćene i svjetlosnim pojavama tzv. polarne svjetlosti.

**Raspored insolacije.** Zračenje Sunca koje je dospjelo na površinu Zemlje selektivno je apsorbirano (filtrirano) u atmosferi, što znači da mu je smanjen intenzitet i promijenjena spektralna raspodjela energije po valnim duljinama. U spektralnom području od 290...2500 nm, koje uglavnom dopiye na površinu Zemlje, mogu se prema učinku uočiti tri posebna područja, koja postupno prelaze jedno u drugo. To su: ultraljubičasto zračenje (~290...~400 nm), vidljivo zračenje, tj. svjetlo (~400...~700 nm) i infracrveno zračenje (~700...~2500 nm).

Intenzitet insolacije, a donekle i spektralna raspodjela, ovisi o kutu nekog dijela Zemljine površine prema smjeru upadnog zračenja, a to znači o geografskoj širini i o doba dana i godine. Orijentacijske vrijednosti dnevne insolacije za područja oko polova i ekvatora dane su u tabl. 1.

Zagrijavanje uzrokuje uglavnom infracrveno zračenje. Predavanje toplinske energije odvija se uglavnom apsorpcijom u tlu, a tek zagrijano tlo predaje toplinu zraku. Radi različitih temperatura i tlaka premješta se zrak u atmosferi, pa je insolacija glavni izvor energije premještanja zraka.

Stupanj predavanja energije tlu ovisi o zraku iznad tla, oblacima, svojstvima tla i vodi u tlu ili na tlu.

Tablica 1  
DNEVNA INSOLACIJA IZVAN ATMOSFERE

Područje	Doba	Insolacija MJ m <sup>2</sup> dan
Ekvatorsko	zima	~ 37,6
	ljetno	~ 33,4
Polarno	zima	0
	ljetno	41,8

Tablica 2  
ALBEDO VODENE  
POVRŠINE ZA  
DIREKTAN SUNČEV  
SNOP

Kut prema okomici	Albedo
0°	0,02
70°	0,13
80°	0,35
90°	1

Zračenje koje je dospjelo na površinu Zemlje djelomično se apsorbira a djelomično reflektira. Svojstvo reflektivnosti naziva se albedo. Odnos tih dviju komponenti ovisi o tlu i o pokrovu tla (raslinje, snijeg). I refleksija i apsorpcija obično su selektivne. Svjež snijeg reflektira gotovo sve svjetlo, ali apsorbira infracrveno zračenje. Šuma apsorbira podjednako, gotovo sve upadno zračenje, a polja i travnjaci podjednako apsorbiraju i reflektiraju.

No, ukupna apsorpcija u tlu ovisi o zraku iznad tla. Dio komponente reflektirane od površine Zemlje ponovno se vraća refleksijom na oblacima. Albedo oblaka jest, već prema vrsti oblaka, 0,1...0,9, veći za svjetlo a manji za infracrveno zračenje. Debeli oblaci, zasićeni parom, izrazito dobro apsorbiraju. Zbog višestruke refleksije između tla i oblaka ukupna apsorbirana energija je znatno veća od apsorbirane energije pri prvoj apsorpciji. Ovisna je o albedu obaju dijelova, tla i oblaka. Tako je npr. stupanj ukupne apsorpcije u tlu, uz naoblaku, za tlo prekriveno šumom ~0,4, a za tlo prekriveno snijegom ~0,7, i to zbog višestruke refleksije, iako šuma apsorbira više nego snijeg.

Glatka i mirna vodena površina ima posebno velik albedo, ovisan o kutu upada Sunčevih zraka prema okomici na vodenu površinu. Albedo za različite upadne kutove direktnog Sunčevog snopa prema okomici, uz uvjet da Sunce prolazi kroz zenit, dan je u tabl. 2. Na albedo utječe i vjetar koji uznemiruje vodenu površinu. Pri brzini vjetra od ~30 km/h albedo se smanjuje otprilike na polovicu.

Ukupno ozračenje površine Zemlje ovisi, dakle, o primarnoj insolaciji (ova o geografskoj širini i o doba dana i godine), o vrsti tla, odnosno pokrova tla te o atmosferi, u prvom redu oblačnosti. Za neki se predjel insolacija navodi za cijelu godinu, za neki dio godine, ili kao srednja godišnja insolacija na dan. U tabl. 3 dani su primjeri izmjerenih srednjih godišnjih insolacija za dan, s obzirom na geografsku širinu.

Insolacija veoma utječe na pojave na Zemlji i životne uvjete čovjeka (v. Klimatologija, Meteorologija).

Z. Jakobović

### INSOLACIJA U ARHITEKTURI

Insolacija je osnovni element arhitektonskog i urbanističkog projektiranja. Svojim fiziološkim djelovanjem na ljudski organizam insolacija poboljšava ili pogoršava uvjete rada i stanovanja. Pozitivno djeluje na rasvjetu, zagrijavanje prostorija, uništava i sprečava razvitak bakterija, povećava i stimulira radnu sposobnost, životne funkcije i sl. Negativno djeluje blještanjem, prejakim zagrijavanjem prostorija, prouzrokuje eriteme, glavobolje, nesvjestice i slično od čega se čovjek zaštićuje.

**Intenzitet, trajanje i spektralna raspodjela insolacije** ovise o doba dana i godine, o geografskoj širini i stanju atmosfere. Trajanje je insolacije npr. u našoj zemlji (~45° sjev. geografske širine) ljeti 15...15,5 sati na dan, a zimi samo oko 8,5...9 sati. Ono se mjesečno mijenja otprilike za sat i po. Stvarno trajanje