

INŽENJERSKOGEOLOŠKO ISTRAŽIVANJE

Istraživanje je često sinonim za prikupljanje podataka raznim istraživačkim radovima. Međutim, istraživanje u punom smislu riječi obuhvaća sljedeće elemente: (1) formuliranje istraživanja; (2) prikupljanje podataka; i (3) interpretaciju podataka. Istraživanje se formulira u smislu postavljanja pitanja na koja je potrebno tijekom istraživanja odgovoriti i utvrđivanjem metoda prikupljanja podataka. Formuliranje istraživanja je početni korak u istraživanju, a provodi se u skladu sa svrhom istraživanja i mogućnostima, koje su uvjetovane vremenskim i financijskim okvirima inženjerskog projekta. Prikupljanje podataka i njihova interpretacija najčešće su paralelan proces. Tijekom interpretacije se prikupljeni podaci transformiraju u informaciju korisnu za projekt.

Formuliranje istraživanja (slika 78a) je neophodno radi postizanja potrebne kvalitete informacija u predvidivom vremenu i u okviru predviđenih financijskih sredstva. Na osnovi postavljene svrhe projekta, formuliraju se ciljevi istraživanja. Na primjer, ukoliko je svrha istraživanja odabir najpovoljnije trase prometnice, neki od ciljeva istraživanja bit će utvrditi: gdje su stijene boljih svojstava, gdje je podzemna voda, gdje su zone trošnosti itd. Tijekom formuliranja istraživanja također se mora definirati: veličina istraživanog područja; i detaljnost i količina potrebnih podataka. Veličina istraživanog područja ovisi o vrsti istraživanja, a detaljnost i količina podataka o vrsti istraživanja i razini projekta. Regionalnim inženjerskogeološkim istraživanjima najčešće se obuhvaćaju područja od nekoliko destaka do nekoliko stotina kilometara kvadratnih, za razliku od inženjerskogeoloških istraživanja pojedinačnih građevinskih lokacija tijekom kojih je veličina područja obuhvata samo nekoliko puta veća od same lokacije građenja (tablica 51). Detaljnost i količina podataka se značajno povećavaju idući od regionalnih prema lokalnim istraživanjima (tablica 51). Također, najveća količina podataka i najveća preciznost se zahtijevaju u fazi izrade glavnog projekta pojedinog objekta, za razliku od prelimiranih ili implementacijskih istraživanja (tablica 52).

Tablica 1 Osnovne vrste inženjerskogeoloških istraživanja.

VRSTE ISTRAŽIVANJA	REGIONALNA ISTRAŽIVANJA (STUDIJE)	ISTRAŽIVANJA POJEDINAČNIH LOKACIJA
NAMJENA	<ul style="list-style-type: none"> • istraživanje geoloških resursa (vodnih, mineralne sirovine i sl.) • istraživanje geoloških ograničenja (npr. geodinamički procesi kao geološki hazard) • odabir najpovoljnijih lokacija za određenu namjenu (npr. urbanizam) 	<ul style="list-style-type: none"> • istraživanje utjecaja građevina na geološki okoliš i obrnuto • podloga za projektiranje i građenje objekata • podloga za projektiranje ležišta mineralnih sirovina
PRIMJENA	<ul style="list-style-type: none"> • urbanističko planiranje • vodoopskrba • rudarstvo • zaštita okoliša 	<ul style="list-style-type: none"> • geotehnika/gr građevinarstvo • rudarstvo
veličina istraživnog područja	nekoliko kvadratnih kilometara do nekoliko tisuća kvadratnih kilometara	nekoliko stotina metara kvadratnih (nekoliko hektara) do nekoliko kilometara kvadratnih
količina podataka i detaljnost podataka	mala količina podataka (ako se promatra po jedinici površine); podaci male preciznosti	brojni podaci velike preciznosti za određenu lokaciju

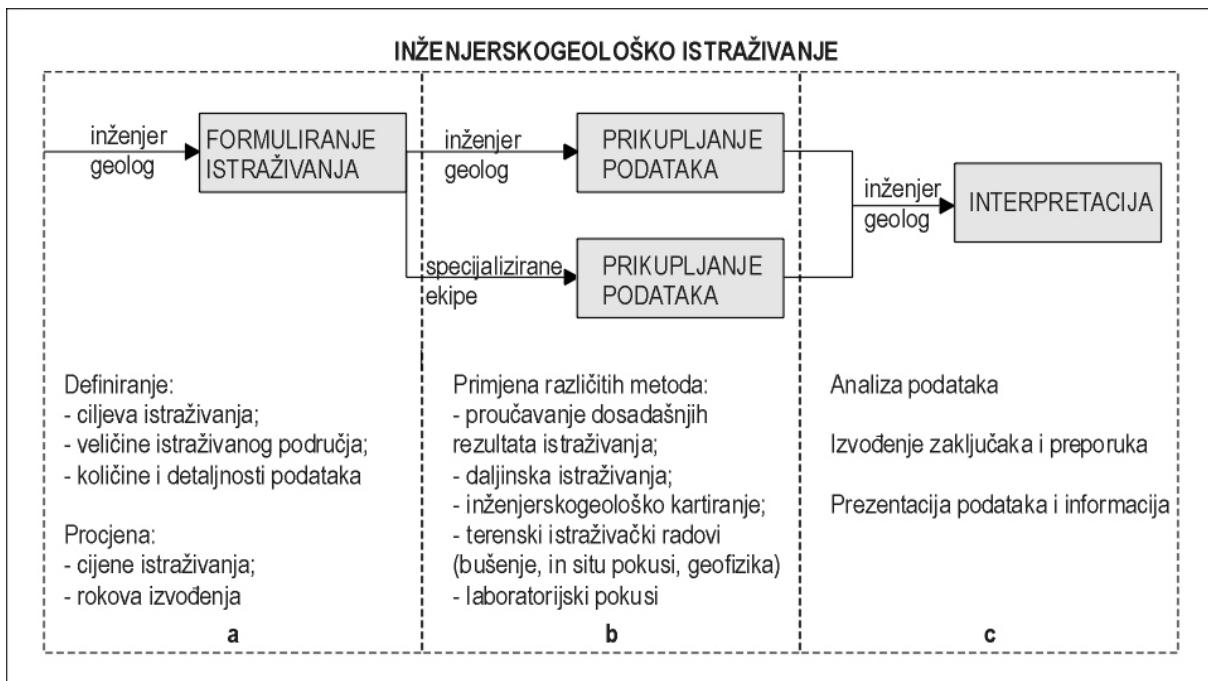
Tablica 2 Faze inženjerskogeoloških istraživanja pojedinačnih lokacija.

FAZE ISTRAŽIVANJA	PRELIMINARNA ISTRAŽIVANJA	DETALJNA ISTRAŽIVANJA	IMPLEMENTACIJSKA ISTRAŽIVANJA
SVRHA	<ul style="list-style-type: none"> • istraživanje relativne pogodnosti alternativnih lokacija za određenu građevinu ili projekt • određivanje opsega detaljnih istraživanja za potrebe projektiranja i građenja • procjena troškova izvedbe objekata 	<ul style="list-style-type: none"> • determinacija i interpretacija geoloških uvjeta koji imaju utjecaj na projektiranje i građenje (tzv. inženjerskogeološki uvjeti) • određivanje fizičko-mehaničkih značajki geoloških materijala, u kojima se radi ili s kojima se radi, i procjena njihova ponašanja 	<ul style="list-style-type: none"> • provjera rezultata istraživanja iz prethodne faze • promjene projekta u slučaju nepredviđenih okolnosti, tzv. nepredviđenih inženjerskogeoloških uvjeta • sanacija posljedica vezanih za geološke procese tijekom građenja
RAZINA PROJEKTA	• projektiranje na razini idejnog projekta	• projektiranje na razini glavnog projekta	• građenje
količina podataka i detaljnost podataka	mala količina podataka manje preciznosti	brojni podaci velike preciznosti	mala količina podataka velike preciznosti

Prikupljanje podataka (slika 78b) za inženjerskogeološko istraživanje obavlja se u kabinetu i na terenu. U kabinetu se podaci prikupljaju iz već postojeće dokumentacije ili se koriste kabinetski istraživački postupci. Postojeća dokumentacija najčešće su izvještaji i karte nastali tijekom ranijih istraživanja predmetnog područje ili su to objavljeni znanstveni radovi (npr. članci). Svrha konzultiranja postojeće dokumentacije je stvaranje predodžbe o istraživanom terenu, uglavnom radi kvalitetnijeg i racionalnijeg planiranja ostalih istraživačkih radova/postupaka. Kabinetski istraživački radovi obuhvaćaju: interpretaciju avionskih i satelitskih snimaka (detaljnije obrađena u poglavlju 9.2); i proučavanje topografskih karata. Terensko prikupljanje podataka obuhvaća: inženjerskogeološko kartiranje; interpretaciju rezultata istraživačkog bušenja, in situ pokusa, laboratorijskih analiza stijena i tala i geofizičkih istraživanja. Inženjerskogeološko kartiranje je zadatak inženjer geologa, a sastoji se od obilaska terena i bilježenja svih podataka na kartu i u terenski dnevnik (detaljnije obrađeno u poglavlju 9.1). Istraživačko bušenje, in situ pokuse, laboratorijske analize i geofizička istraživanja provode ekipe stručnjaka specijalizirane za te poslove, a inženjer geolog prati istraživačke radove, pri čemu sam bilježi neke rezultate (npr. determinacija jezgre bušotine) ili koristi njihove zapise o rezultatima istraživanja (obrađeno u poglavlju 9.3). Navedenim postupcima prikupljaju se podaci o geološkoj građi (inženjerskogeološkim uvjetima) i značajkama materijala.

Interpretacija (slika 78c) je postupak kojim se prikupljeni podaci transformiraju u informaciju korisnu za projekt. Izvorni podaci se smatraju činjenicama, koje su izmjerene ili opažene na terenu, ili u kabinetu (tzv. 'sirovi' podaci). Analizom izvornih podataka dobivaju se interpretirani podaci, na osnovi kojih se donose zaključci i preporuke. Analiza podataka može se sastojati od više postupaka, što će biti ilustrirano na primjeru proširenja dionice trase ceste koja prolazi kroz usjek, a za koju je potrebno odrediti stabilnost kosina. Izvorni podaci u ovom primjeru su orijentacije pukotina u stijenskoj masi, koje je na terenu mjerilo nekoliko geologa i zapisivalo u terenske dnevnike. Analiza podataka započinje izradom stereografskih projekcija na odgovarajućim dijagramima, s ciljem identificiranja orijentacije glavnih setova pukotina. Nakon toga slijedi kinematička analiza stijenske mase radi definiranja tipa sloma kosine (planarnog, klinastog ili prevrtanja), za koju je važna relativna orijentacija setova pukotina u odnosu na orijentaciju zasjeka ceste. Priprema izvornih podataka za analizu sastoji se od izrade različitih vrsta prikaza podataka (u obliku tablica, grafova, presjeka). U inženjerskoj geologiji od osobite su važnosti prostorne varijacije podataka, tako da je većinu podataka potrebno

predočiti na kartama, kako bi se uočile određene prostorne pravilnosti. U tu se svrhu mogu koristiti statističke analize kojima se određuje stupanj korelacije između pojedinih faktora. U posljednjoj fazi interpretacije se rezultati analiza transformiraju u zaključke i preporuke za daljnje istraživanje. Prilikom izrade zaključaka i preporuka koje proizlaze iz inženjerskogeoloških istraživanja potrebno je zadovoljiti sljedeće elemente. Zaključci i preporuke moraju biti formulirani u skladu sa svrhom projekta, i prezentirani na način prilagođen budućim korisnicima, koji najčešće nisu geološke struke (npr. inženjeri rudarstva ili geotehnike; urbanistima i sl.). Nadalje, trebaju biti potkrijepljeni podacima i analizama, pri čemu je potrebno jasno odvojiti izvorne podatke od interpretacije. Radi postizanja veće uvjerljivosti zaključaka, korisniku se mora omogućiti uvid u to kako podaci podupiru zaključke.



Slika 1 Osnovni elementi inženjerskogeološkog istraživanja: (a) formuliranje istraživanja; (b) prikupljanje podataka; (c) interpretacija.

1.

Metode inženjerskogeološkog istraživanja

Inženjer geolog definira, procjenjuje i dokumentira geološke uvjete odabranog područja radi projektiranja, građenja, održavanja i sanacije inženjerskih građevina. U okviru inženjerskog (geotehničkog) projekta, zadatak inženjer geologa je: (1) odrediti ključne geološke uvjete koji mogu utjecati na građevinu; (2) integrirati sve podatke dobivene istraživačkim radovima u racionalni, interpretativni trodimenzionalni konceptualni model istraživnog područja; (3) prezentacija tog modela ostalim suradnicima na inženjerskom projektu.

U skladu sa zadacima inženjerske geologije, metode inženjerske geologije obuhvaćaju geološke metode istraživanja, ali i geotehničke i geofizičke metode istraživanja. Geološkim metodama inženjerskogeološkog istraživanja smatraju se inženjerskogeološko kartiranje i daljinska istraživanja, jer ih obavlja inženjer geolog, od faze formuliranja istraživanja, preko prikupljanja podataka do interpretacije rezultata. Geotehničke istraživačke radove (istraživački iskopi i bušotine, in situ i laboratorijski pokusi) i geofizičke istraživačke radove (seizmika i geoelektrika) izvode druge struke, ali inženjer geolog sudjeluje u formuliranju istraživanja i interpretaciji rezultata. Budući da izbor metoda istraživanja ovisi velikim dijelom o geološkoj građi istraživnog područja, za projektiranje istraživanja (formuliranje geotehničkog istraživanja) kompetentan je inženjer geolog. U fazi interpretacije rezultata inženjer geolog integrira rezultate geoloških istraživanja s rezultatima geotehničkih i geofizičkih istraživanja, radi dobivanja jedinstvene slike istraživanja.

1.1. Inženjerskogeološko kartiranje

Osnovni dio svakog inženjerskogeološkog istraživanja je inženjerskogeološko kartiranje. Ono se zasniva na principima geološkog kartiranja, a kao rezultat nastaju inženjerskogeološke karte – specijalni tipovi geoloških karata (detaljnije opisano u poglavlju 10.2.1).

Geološko kartiranje je postupak koji se sastoji od: (i) istraživanja izdanaka stijena ili tla; (ii) sustavnog bilježenja podataka registriranih na izdanku; i (iii) analize i interpretacije tih podataka.

1.1.1. Priprema za istraživanje

Određivanje veličine područja obuhvata. Veličina područja koje će biti obuhvaćeno kartiranjem prvenstveno zavisi o vrsti projekta, odnosno radi li se o regionalnim istraživanjima ili istraživanjima pojedinačnih lokacija.

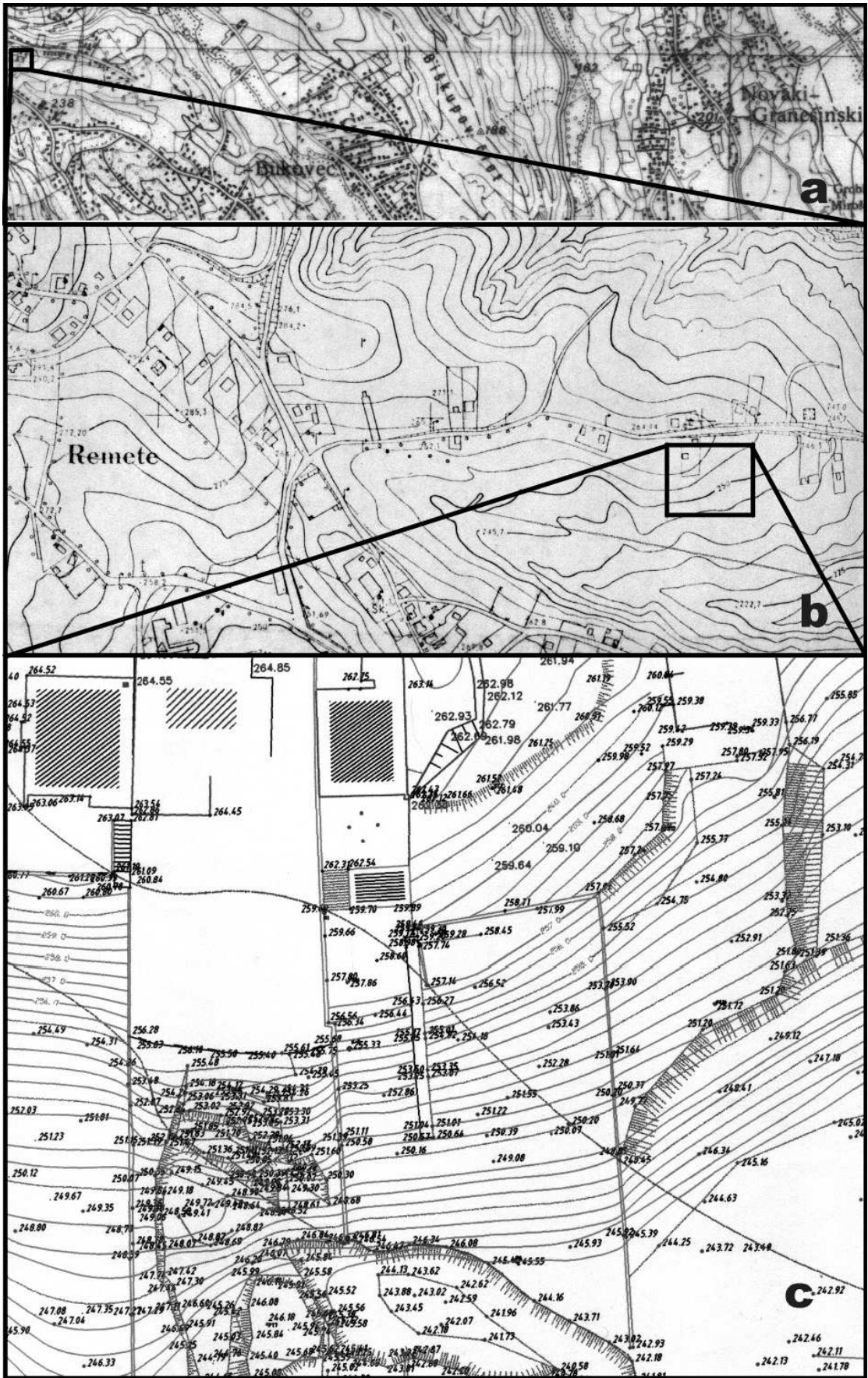
U sklopu regionalnih istraživanja granice obuhvata inženjerskogeološkog kartiranja odgovarat će granicama regije za koju se provodi istraživanje. Veličina područja za koje se radi regionalno inženjerskogeološko kartiranje može varirati u rasponu od nekoliko kilometara kvadratnih (npr. kartiranje sliva manje rijeke) do nekoliko stotina ili kilometara kvadratnih (npr. kartiranje određene županije).

Budući da se većina inženjerskogeoloških istraživanja provodi u svrhu projektiranja/građenja pojedinačnih objekata, najčešća su inženjerskogeološka kartiranja određenih građevinskih lokacija. Inženjerskogeološko kartiranje građevinske lokacije sastoji se od dva dijela: (1) preliminarno kartiranje šire okolice građevine – za velike inženjerske projekte preporučuje se obuhvatiti područje koje se nalazi unutar radijusa od 8 km oko objekta; (2) detaljno kartiranje same lokacije budućeg objekta i njegove neposredne okolice – red veličine nekoliko stotina metara do kilometar. Veličina područja ovisi, s jedne strane, o tipu građevine i njezinoj veličini (specifičnim projektantskim zahtjevima), a s druge strane, o složenosti geološke građe i njezinom utjecaju na objekt. Informacije o složenosti geološke građe istraživanog područja mogu se dobiti iz postojećih geoloških karata. U tu se svrhu

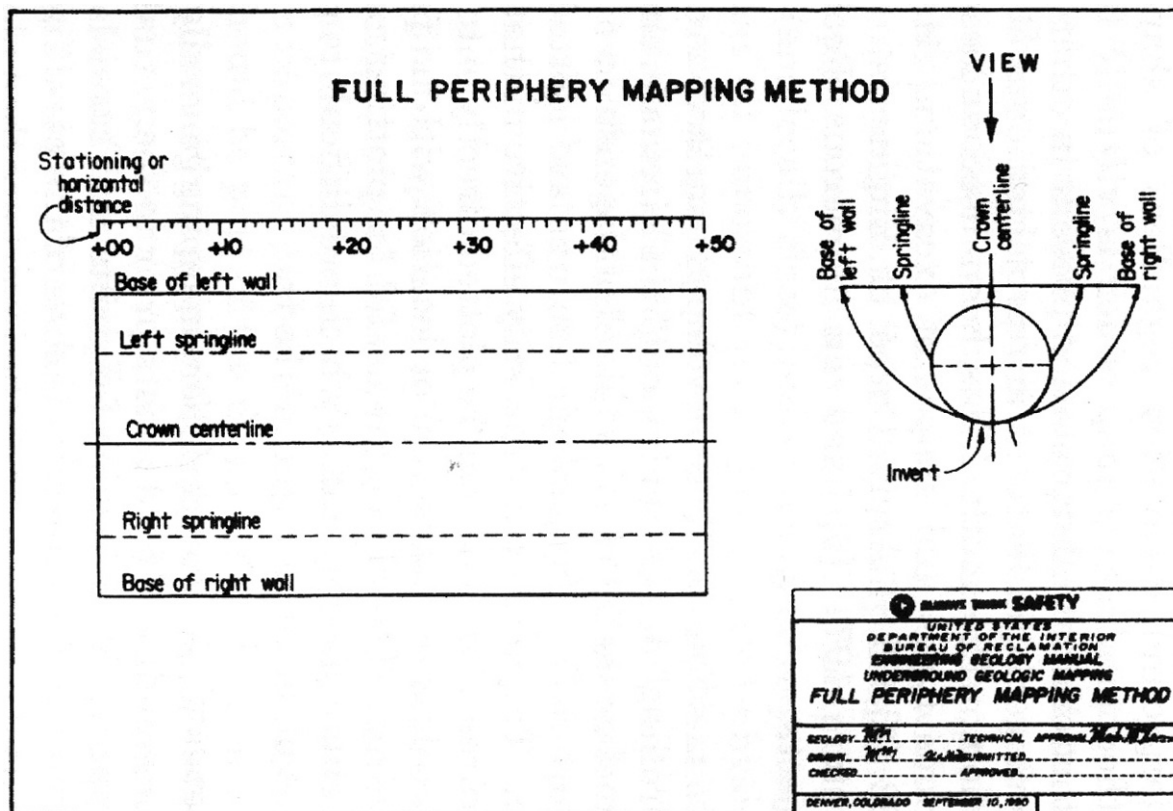
najčešće koriste listovi Osnovne geološke karte Republike Hrvatske M 1:100.000 (detaljnije opisano u poglavlju 9.1.3). Preliminarno kartiranje najčešće se provodi tijekom projektiranja na razini idejnog projekta, a detaljno kartiranje same lokacije tijekom izrade glavnog projekta. Specifična je izgradnja podzemnih prostorija (tuneli i okna) kod kojih se detaljno kartiranje provodi tijekom samog građenja. U tom slučaju kartiranjem se obuhvaćaju samo površine otkrivene građenjem, plašt tunela ili okna.

Podloge za kartiranje. Prije početka kartiranja potrebno je pripremiti podloge na koje će se bilježiti podaci. Podloge za inženjerskogeološko kartiranje su topografske karte, jer je za svaki podataka s terena potrebno odrediti njegov položaj u prostoru. Mjerila topografskih podloga ovisit će o detaljnosti i količini podataka koji će se prikupljati kartiranjem: (i) regionalno inženjerskogeološko kartiranje na podlogama M 1:500.000-1:25.000; (ii) preliminarno inženjerskogeološkog kartiranje pojedinačnih lokacija na podlogama M 1:10.000-1:2.000; (iii) detaljno inženjerskogeološko kartiranje pojedinačnih lokacija na podlogama M 1:1000-1:200. U tu se svrhu koriste postojeće topografske podloge ili se za potrebe projekta snimaju geodetske situacije (slika 79). Postojeće topografske podloge su: topografske karte mjerila 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000, 1:200.000, 1:300.000 i 1:500.000; osnovne državne karte mjerila 1:5.000 (1:10.000); i planovi krupnijeg mjerila (1:500, 1:1.000, 1:2.000, 1:2.500, 1:2.880).

Izuzetak predstavlja inženjerskogeološko kartiranje podzemnih prostorija (tuneli i okna) kod kojih se podaci bilježe na specijalne podloge. Budući da se kod podzemnih prostorija kartiraju njihovi zidovi, podloga za kartiranje je razvijeni plašt prostorije. Na slici 80 je prikazana podloga za kartiranje plašta tunela.



Slika 2 Podloge za inženjerskogeološko kartiranje: (a) topografska karta mjerila 1:25.000; (b) osnovna državna karta mjerila 1:5.000; (c) snimljena geodetska situacija na planu 1:500.



Slika 3 Podloga za inženjerskogeološko kartiranje tunela

1.1.2. Prikupljanje podataka

Vrste podataka. Tijekom inženjerskogeološkog kartiranja prikupljaju se podaci o: značajkama stijena/tala (detaljno opisano u dijelu II); hidrogeološkim uvjetima (detaljno opisano u dijelu III); geomorfološkim uvjetima (detaljno opisano u dijelu IV); i geodinamičkim pojavama/procesima (detaljno opisano u dijelu V). Osnovna skupina podataka u svim tipovima inženjerskogeoloških kartiranja su značajke stijena/tala. One se mogu proučavati na prirodnim izdancima stijena/tala ili u specijalno za tu svrhu načinjenim istraživačkim objektima, kao što su različite vrste iskopa.

Istraživanje značajki stijena/tala za potrebe inženjerskogeološkog kartiranja podrazumijeva proučavanje njihovih značajki, koje je moguće svrstati u sljedeće skupine:

- (1) litološki podaci obuhvaćaju vrstu stijene/tla, dodatna petrografska svojstva stijene/tla, genetski tip tla, teksturu materijala stijene/tla (veličina zrna, relativna veličina zrna, morfometrijske značajke zrna i građa);




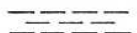
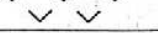
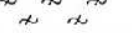
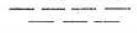

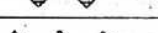
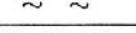


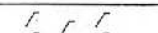

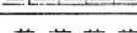

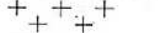
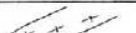


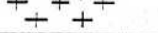

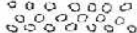
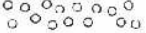
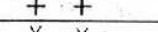
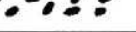
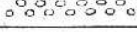
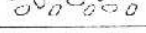
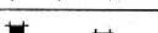


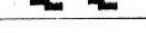

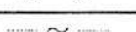
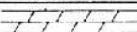


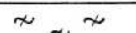
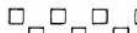




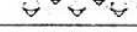
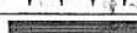
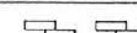

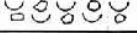
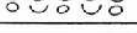



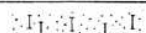


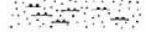
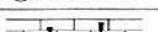
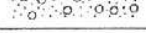
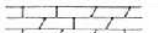



- (2) podaci o strukturi stijene/tla uključuju strukturu materijala, strukturu mase i diskontinuitete mase stijene/tla;
- (3) podaci o trošnosti stijene/tla obuhvaćaju trošnost materijala i trošnost mase stijene/tla;
- (4) podaci o fizičko-mehaničkim svojstvima stijene/tla uključuju boju stijene/tla; indeksne pokazatelje fizičkih svojstava materijala tla (porozitet, vlažnost, relativna gustoća, konzistencija); čvrstoću materijala stijene/tla.

Podaci o hidrogeološkim uvjetima, geomorfološkim uvjetima i geodinamičkim pojavama/procesima obuhvaćaju prostorni položaj određene (hidrogeološke, geomorfološke ili geodinamičke) pojave i njezine značajke (geometrija, veličina, svojstva itd.).

Oprema za inženjerskogeološko kartiranje obuhvaća (a) standardnu opremu za geološko kartiranje (terensko povećalo s povećanjem do 10x, geološki čekić i geološki kompas s klinometrom); (b) priručnu identifikacijsku opremu za određivanje fizičko-mehaničkih svojstava (Schmidtov čekić, džepna krilna sonda i sl.). Izmjereni ili opaženi podaci unose se na topografsku podlogu, a opisuju se u terenskim dnevnicima. Pribor za crtanje u mjerilu i fotografiranje koristi se za skiciranje/fotografiranje cijelih izdanaka ili samo njihovih pojedinih dijelova.

Postupak kartiranja sastoji se od prikupljanja podataka i ucrtavanja podataka na kartu. Najveći broj podataka dobiva se obilaskom terena i snimanjem izdanaka. Za sustavno bilježenje svih relevantnih podataka koristi se tzv. radna karta. Podaci se na karti prikazuju pomoću simbola. Simbole za inženjerskogeološko kartiranje razvila je IAEG Komisija za inženjerskogeološke karte. Ovisno o vrsti podataka, postoje simboli za: stijene i tla (slika 81); hidrogeološke pojave (slika 82); geomorfološka obilježja (slika 83); geodinamičke pojave/procese (slika 84). Ovisno o mjerilima karata (tj. njihovoj detaljnosti) koriste se različiti simboli, što je predočeno na slikama 82, 83 i 84.

Osim prikazivanja određene značajke na karti, opširnije zabilješke (opisi, mjerenja i sl.) zapisuju se u terenskom dnevniku. U slučaju postojanja prirodnih izdanaka, na kojima su vidljive mnoge značajke mase stijene/tla, korisno je načiniti skicu izdanka popraćenu mjerenim podacima. Na primjer, u slučaju izdanka mase stijene s nekoliko setova diskontinuiteta kojima smo izmjerili orijentaciju.

OSNOVNI LITOLOŠKI TIPOVI	MAGMATSKJE STIJENE	METAMORFNE STIJENE	SEDIMENTNE STIJENE
Fill 	Rhyolite 	Migmatite 	Mudstone 
TLA	Andesite 	Gneiss 	Claystone 
Clay 	Basalt 	Schist 	Shale 
Colluvium, Talus, Detritus 	Volcanic glass 	Phyllite 	Marlstone 
Silt 	Pegmatite 	Slate 	Siltstone 
Loess 	Granite 	Mylonite 	Sandstone 
Sand 	Diorite 	Tectonic breccia 	Breccia 
Gravel 	Gabbro 	Hornfels 	Conglomerate 
Boulders, Cobbles 	Dolerite 	Marble 	Chalk 
Peat 	Pyroxenite 	Granulite 	Limestone 
	Peridotite 	Quartzite 	Dolomite 
		Amphibolite 	Halite 
			Anhydrite 
			Gypsum 
			Chert 
			Coal 
			Lignite 
			Tuff 
			Volcanic breccia 
			Agglomerate 
MJEŠOVITI TIPOVI			
<u>Soils:</u>	<u>Sedimentary rocks:</u>	<u>Magmatic rocks:</u>	
Argillaceous Silt 	Sandstone moderately weathered (III grade) 	Basalt, slightly weathered, medium columnar blocks 	
Calcareous Sand 	Sandstone with large tabular blocks 		
Silty Sand 	Cherty Limestone 		
Sandy Gravel 	Dolomitic Limestone 		
Sandy Peat 			

Slika 4 Simboli za inženjerskogeološko KARTIRANJE STIJENA I TALA.

HIDROGEOLOŠKI SIMBOLI*

OPIS SIMBOLA	KRUPNO MJERILO	SREDNJE MJERILO	SITNO MJERILO**	OPIS SIMBOLA	KRUPNO MJERILO	SREDNJE MJERILO	SITNO MJERILO**
Spring (50 l/min) yield				Area of confined groundwater			
Spring, artesian				Artesian basin			
Spring, intermittent				Swallow hole (disappearance of stream)			
Group of springs				Reappearance of stream			
Line of springs, seepage line				High water shoreline			
Mineral spring				Low water of medium tides			
Thermal spring				High water of medium tides			
Well				Swamps, marshes, waterlogged area			
Well, artesian				Boundary of floods (e.g. 100 yr flood)			
Well, mineral				Intermittently inundated area			
Well, thermal				Water corrosiveness, areal***			
Groundwater level a) elevation above sea level b) depth from surface	a) — +160 — b) — -5 —	a) — +160 — b) — -5 —	a) — +200 — b) — -5 -10 >20	Water corrosiveness in springs, wells	Symbols for springs, wells as above with pH, Cl, SO ₄ , CO ₂		
Area with perched water				Water protection zone (P-potable, M-medicinal, etc.)			
General direction of flow of groundwater, stated & inferred				Highly polluted (additional symbols in grey added for rivers, springs, wells)			
Groundwater divide				Maximum credible tsunami level			
Elevation of piezometric surface				* Ovi simboli koriste se za označavanje HIDROGEOLOŠKIH UVJETA na kartama, a crtaju se u PLAVOJ BOJI			
				** Simboli za označavanje područja			
				*** Bojom ispunjen isječak kružnice označava tip prisutnog agensa			

Slika 5 Simboli za inženjerskogeološko KARTIRANJE HIDROGEOLOŠKIH UVJETA.

SIMBOLI GEODINAMIČKIH ZNAČAJKI*

OPIS SIMBOLA	KRUPNO MJERILO** oznake za pojedinačne pojave	SREDNJE MJERILO*** oznaka za područje unutar kojega je pojava	SITNO MJERILO točkasta oznaka za šire područje unutar kojega je pojava	OPIS SIMBOLA	KRUPNO MJERILO** oznake za pojedinačne pojave	SREDNJE MJERILO*** oznaka za područje unutar kojega je pojava	SITNO MJERILO točkasta oznaka za šire područje unutar kojega je pojava
Landslides, general			∩	Area of active subsidence			∩
Rockfall			∩	Area of presumed subsidence			∩
Rotational landslide			∩	Moving aeolian sand (e.g. moving dunes)			∩
Translational landslide			∩	Shrink-swell features			∩
Creep, rock flow			∩	Salting of soils			∩
Solifluction			∩	Intense active weathering			∩
Earthflow, mudflow			∩	Permafrost features			∩
Avalanche			∩	Isoseismic lines			∩
Area of potential landslides			∩	Active faults			∩
Area of potential rock fall			∩				
Abrasion, lateral erosion, active			∩				
Slope erosion			∩				
Alluvial (a), Coluvial (b), fan (cone) forming			∩				
Area with karst phenomena (active)			∩				
Sink hole, area of sink holes and collapses (e.g. in sulfo karst)			∩				
Suffesion phenomena, sandbells			∩				
Hydrocompaction in loess			∩				

* The following symbols were selected to be used for geodynamical features, these symbols to be printed on the maps in red.

** At large and some medium scales, the internal morphological features may be mapped

*** Large individual features may be delineated on some medium scale maps, using the symbols for large scale mapping

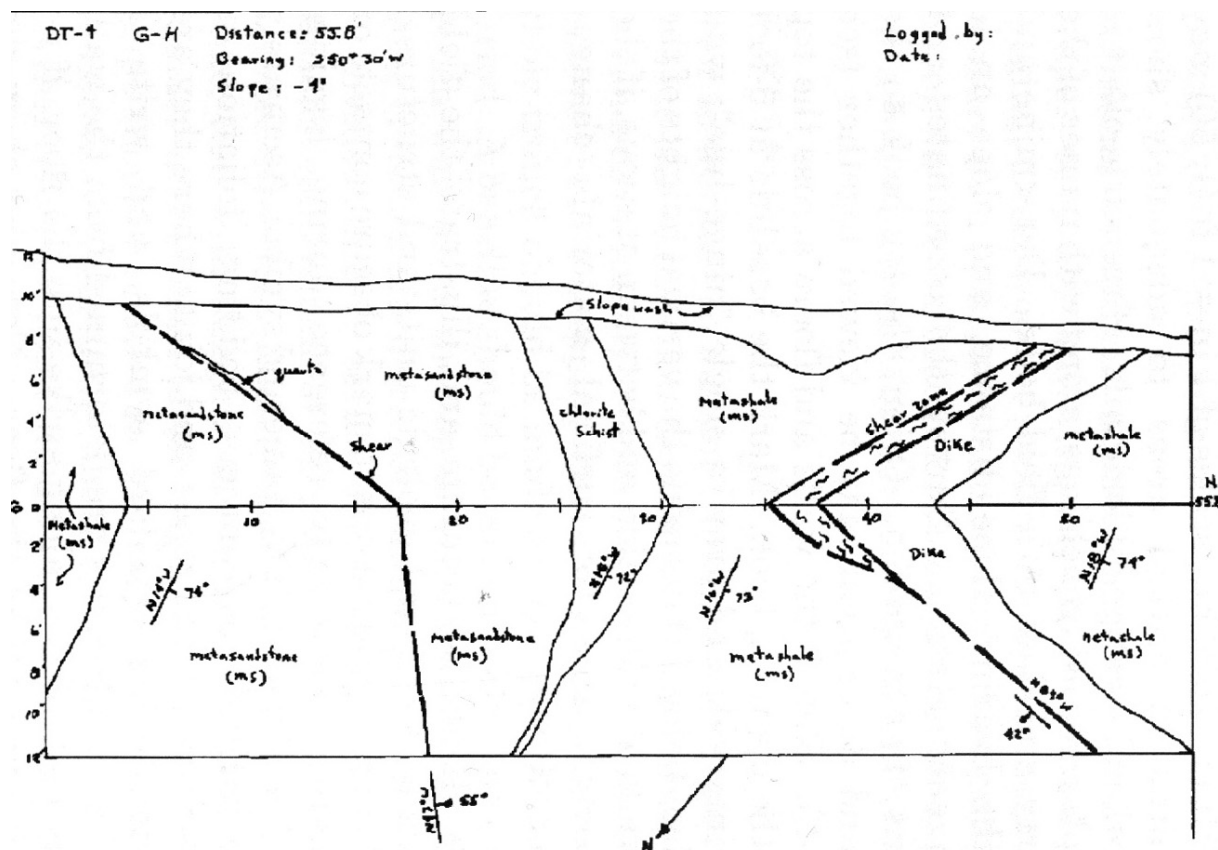
Slika 6 Simboli za inženjerskogeološko KARTIRANJE GEODINAMIČKIH POJAVA/PROCESA.

SIMBOLI GEOMORFOLOŠKIH OBILJEŽJA*			
OPIS OZNAKA	KRUPNO MJERILO	SREDNJE MJERILO	SITNO MJERILO
Surface Slope in degrees	10 →		
Slope undulating	~ →		
Slope convex) →		
Slope concave	(←		
Slope steep	▽▽▽▽		
Break of slope, convex, concave	△ ▽ △ ▽/▽ ▽ ▽ ▽	△ ▽ △ ▽/▽ ▽ ▽ ▽	
Scarp sharp	WWWWW	TTTTTTT	
Scarp rounded	V V V V	TTTTTTT	
Cliff		~~~~~	
River terrace		TTTTT	
Alluvial cone (fan)		▲	
Glacial Striae	—○—	—○—	
Glacial striae with direction of movement	—○→	—○→	
End moraine		~	
Solifluction terraces	S S	S	
Raised features [e.g. moraines] (eskers, drumlins)	○ ○ ○	○ ○ ○	
Sunken features [e.g. kettle holes]	○ ○ ○	○ ○ ○	
Sink hole	○	○	
Dune, Area of sand dunes	D D	D D	
Buried valley	—T—T—T—		
Abandoned river channel, ice marginal channel	—T—T—T—		
Tension crack	—T—T—T—		

* The following symbols selected (as examples) for geomorphological features are to be printed on the maps in grey or brown

Slika 7 Simboli za inženjerskogeološko KARTIRANJE GEOMORFOLOŠKIH OBILJEŽJA.

U nedostatku prirodnih izdanaka, ili zbog potrebe za dodatnim informacijama, u sklopu inženjerskogeološkog istraživanja određene lokacije, uobičajena je izrada zasjeka ili iskopa (po mogućnosti vertikalnih stijenki). Inženjerskogeološko snimanje iskopa koristi se za prikupljanje podataka o značajkama stijena/tala po dubini. Skice iskopa važan su dio terenskog zapisa inženjer geologa, ali su i obavezan dio inženjerskogeološke/geotehničke istraživačke dokumentacije, u sklopu konačnog izvještaja. Način prikaza skice raskopa ovisit će o njegovom obliku. Neovisno o tome je li iskop tipa jame (četvrtastog presjeka) ili rova (izduženog oblika), na skici treba prikazati sve njegove stijenske, uključivo i dno. Na slici 85 predočena je skica rova sa snimljenim geološkim obilježjima u jednom boku i na dnu.



Slika 8 Jednostavna skica rova.

1.1.3. Interpretacija

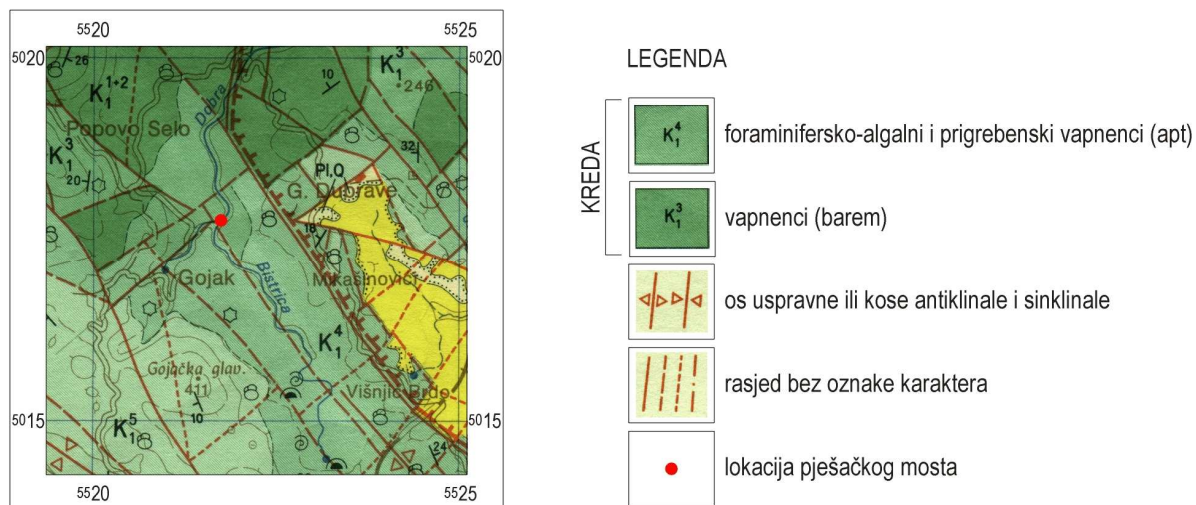
Interpretacija je dugotrajni proces koji započinje u preliminarnim stupnjevima prikupljanja podataka i kontinuirano se nastavlja tijekom cijelog procesa kartiranja. Unutar procesa interpretacije moguće je izdvojiti dvije faze:

1. prvo se izvorni podaci (izmjereni ili opaženi) tumače u geološkom kontekstu s ciljem kreiranja modela geološke građe (izdvajanje geoloških formacija s definiranim geološkim granicama)
2. zatim se geološku građu reinterpreterira u inženjerskom kontekstu s ciljem definiranja inženjerskogeološkog modela (izdvajanje inženjerskogeoloških jedinica s granicama).

Interpretacija prikupljenih podataka u geološkom kontekstu. Značajke stijena/tala koje se mogu zapaziti na pojedinačnim izdancima ili u raskopima predstavljaju samo rijetke vidljive fragmente cjelokupne geološke slike istraživanog područja. Za interpretaciju geološke građe kartiranog područja potrebno je usporediti lokalno registrirane pojave (na izdancima/raskopima) s regionalnom geološkom građom. Predodžba o regionalnoj geološkoj građi dobiva se s postojećih geoloških karata sitnijeg mjerila. Kod nas je u upotrebi Osnovna geološka karta mjerila 1:100.000 (u daljnjem tekstu OGK). **OPREZ! Zbog sitnog mjerila, OGK nije dovoljno detaljna da bi se mogla izravno primijeniti za inženjerskogeološku interpretaciju, pa se stoga ne može koristiti kao jedini izvor geoloških podataka u inženjerskim projektima.**

Proučavanje OGK početni je korak svakog inženjerskogeološkog kartiranja (vidi poglavlje 9.1.1), u smislu dobivanja preliminarnih informacija o vrsti stijena/tala i geološkim strukturama koje na terenu možemo očekivati. Lokalno snimljeni podaci kontinuirano se uspoređuju s regionalnom geološkom građom kako bi ih se moglo interpretirati u širem geološkom kontekstu i kreirati model geološke građe. Na slici 83 prikazan je isječak osnovne geološke karte šire okolice buduće lokacije pješačkog mosta. U okviru tog projekta na terenu su izravno mjereni diskontinuiteti (plohe slojevitosti, pukotine) stijenske mase. Uspoređivanje OGK i lokalnih mjerenja potrebno je radi određivanja genetske pripadnosti pojedinih diskontinuiteta glavnim strukturama (rasjedima ili bori).

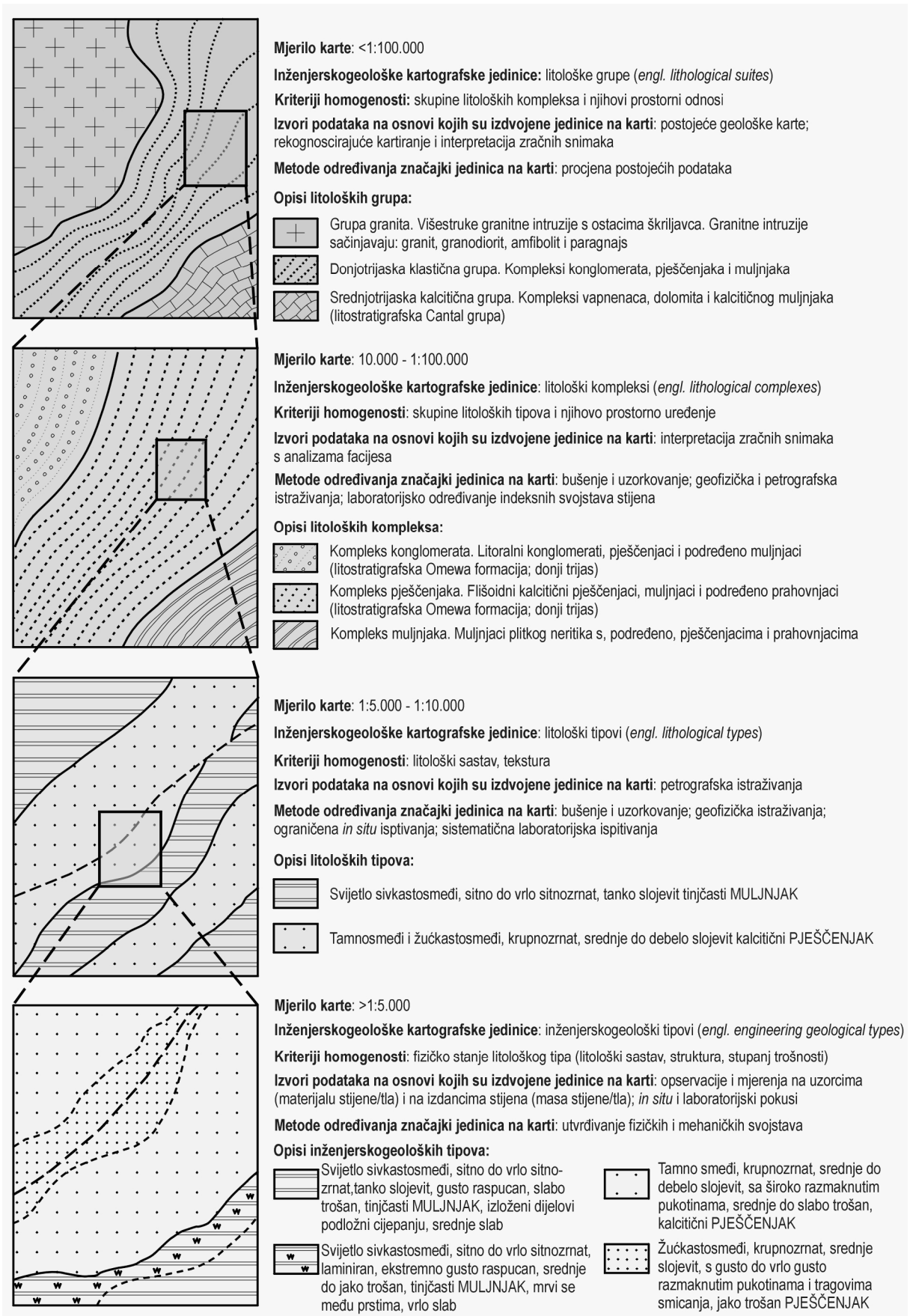
Inženjerskogeološke karte su dvodimenzionalni prikaz površine terena, a model geološke građe je trodimenzionalni prikaz, kojim se rješava i prostorna distribucija geoloških jedinica po dubini. Tijekom interpretacije podataka inženjerskogeološkog kartiranja stoga se analize provode na geološkim presjecima i kulisnim dijagramima (detaljno opisano u poglavlju 10.2.2).



Slika 9 Isječak iz Osnovne geološke karte M 1:100.000 - list Ogulin.

Interpretacija geološke građe u inženjerskom kontekstu sastoji se od transformacije geološkog modela u inženjerskogeološki model. Na inženjerskogeološkom modelu izdvajaju se zone homogenih inženjerskogeoloških uvjeta - inženjerskogeološke jedinice. Isti geološki model može se reinterpretirati na nekoliko načina u inženjerskom smislu, ovisno o tome koja razina detaljnosti je potrebna. Na slici 87 predočene su četiri razine detaljnosti inženjerskogeoloških karata, o čemu ovisi izbor inženjerskogeoloških jedinica. Osnovne inženjerskogeološke kartografske jedinice, za sve tipove inženjerskogeoloških karata, su litološka grupa, litološki kompleks, litološki tip i inženjerskogeološki tip.

Inženjerskogeološki tip je jedinica koja mora zadovoljiti najviši stupanj homogenosti, pa se stoga koristi u inženjerskogeološkom kartiranju pojedinačnih lokacija, a nastaje kao rezultat detaljnih istraživanja. On mora biti ujednačen s obzirom na litološke značajke i fizičko stanje stijene/tla. Na inženjerskogeološkom modelu važno je razlučiti inženjerskogeološke tipove koji pripadaju osnovnoj stijeni od inženjerskogeoloških tipova pokrivača. Osnovna stijena obično se nalazi na većoj dubini ispod površine, boljih je fizičko-mehaničkih svojstava, svježija ili eventualno vrlo niskog stupnja trošnosti (stupnjevi I-III na profilu trošnosti, slika 40). Pokrivač uključuje naslage na površini ili plitko ispod površine, lošijih fizičko-mehaničkih svojstava, nastalih transportom materijala ili trošenjem na licu mjesta (stupnjevi trošnosti IV-VI na profilu trošnosti, slika 40).

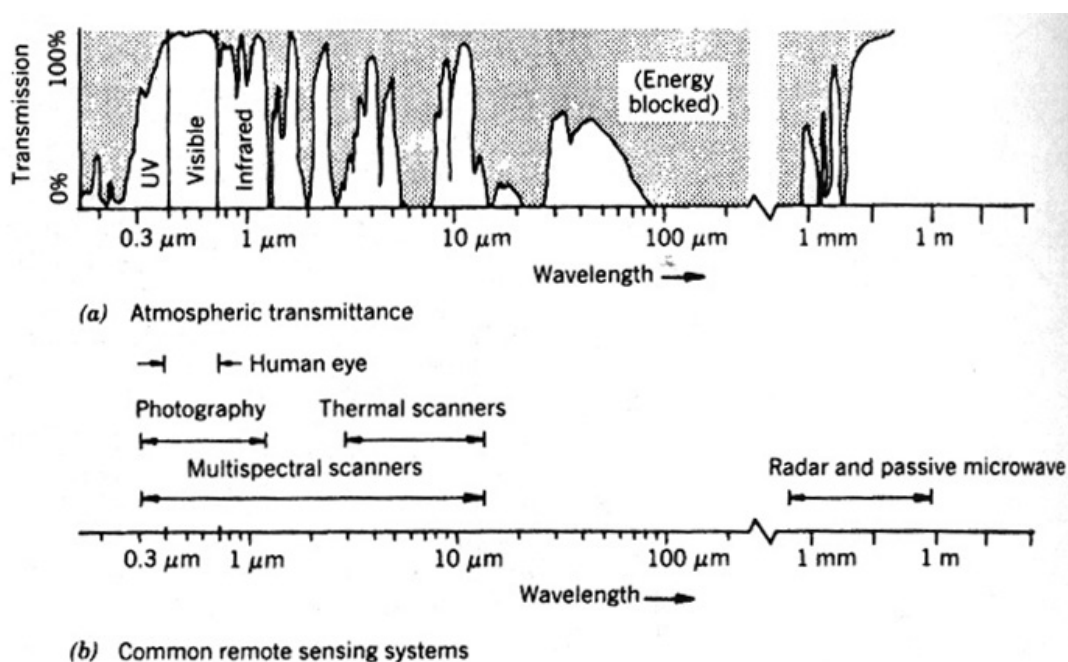


Slika 10 Utjecaj mjerila karte na izbor osnovnih inženjerskogeoloških jedinica.

1.2. Daljinska istraživanja

U širem smislu daljinska istraživanja obuhvaćaju prikupljanje podataka o objektu, površini ili materijalu bez fizičkog kontakta, neovisno o udaljenosti istraživača od predmeta istraživanja. Ovdje se pod daljinskim istraživanjima podrazumijevaju snimanja zemljine površine pomoću instrumenata iz zraka (smještenih u avionu ili satelitu) ili sa zemlje (terestička fotografija).

U daljinskim istraživanjima koristi se elektromagnetska energija unutar spektra ilustriranog na slici 88. Senzori detektiraju i bilježe sunčevu energiju koja se reflektira ili emitira s površine Zemlje. Elektromagnetska energija se djelomično apsorbira u atmosferi (slika 88a). Ljudsko oko ima vrlo ograničeni raspon spektra u usporedbi s elektromagnetskim spektrom koji se koristi u daljinskim istraživanjima (slika 88b), tako da ono ne može registrirati mnoge frekvencije koje mogu biti korisne za interpretaciju površinskih obilježja ili materijala. Razni sustavi za daljinska istraživanja omogućavaju odabir jednog ili više sustava. Npr. infracrvena fotografija i multispektralno skeniranje koriste različite raspone valnih duljina tako da se njihove refleksije razlikuju.

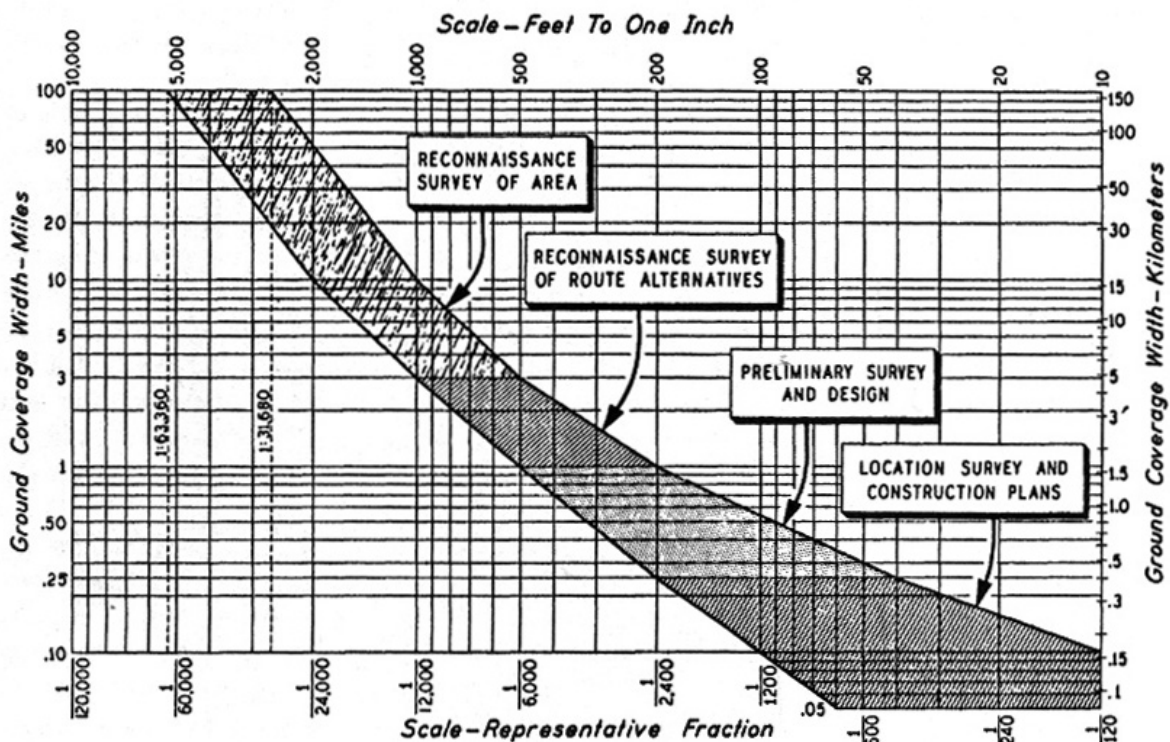


Slika 11 Elektromagnetski spektar: (a) atmosferska transmisija; (b) rasponi valnih duljina koji se koriste u daljinskim istraživanjima.

U inženjerskogeološkim istraživanjima mogu se koristiti: crno-bijele, kolor i kolor infracrvene fotografije; multispektralni snimci ili trake (MSS) – simultano digitalno bilježenje nekoliko raspona spektra; digitalni zapis ograničenog termalnog raspona; i mikrovalni raspon. Najčešće su u upotrebi standardne fotografije načinjene iz aviona, zbog relativno niske cijene snimanja i jednostavnosti interpretacije. U skuplje metode daljinskih istraživanja ubrajaju se satelitski multispektralni snimci i digitalni zapisi načinjeni skaniranjem iz aviona (tijekom naručenih letova). Osim toga, također je skupa i kompjutorska interpretacija snimaka.

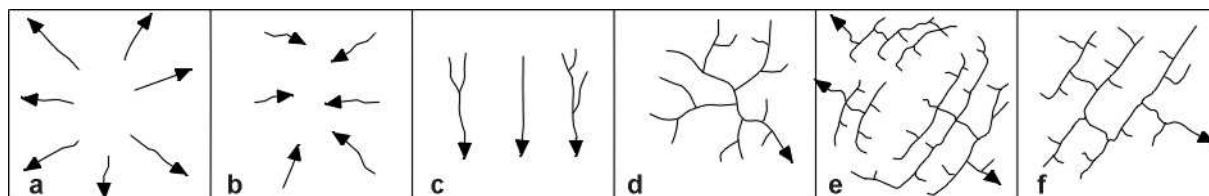
1.2.1. Avionski snimci

Avionski snimci su najekonomičnija i najkorisnija metoda daljinskih istraživanja koja se koristi u inženjerskogeološkim istraživanjima. Uz standardne crno-bijele fotografije, s razvojem novih sustava omogućeno je snimanje kolor i kolor-infracrvenih fotografija iz aviona. Mjerila avionskih snimaka variraju u širokom rasponu, a na slici 89 predloženi su rasponi potrebnih mjerila za različite faze inženjerskogeoloških istraživanja projektiranja/gradnje prometnice.



Slika 12 Rasponi mjerila avionskih snimaka za potrebe projektiranja i građenja prometnica.

Proučavanje fotografskih snimaka u svrhu identificiranja objekata naziva se fotointerpretacija. Prilikom fotointerpretacije koriste se stereoparovi avionskih snimaka, jer omogućavaju trodimenzionalno gledanje. Mogućnost stereoskopskog (3D) promatranje zemljine površine je značajka svih avionskih snimaka, neovisno o mjerilu ili tipu filma. Na avionskim snimcima mogu se uočiti sljedeći elementi: topografija, drenažne mreže, erozija, vegetacija i korištenje zemljišta. Topografija uključuje veličinu, oblik i relativnu visinu površinskih (topografskih) obilježja. Drenažne mreže izravno ukazuju na eroziju i geološke strukture, neizravno na značajke stijena/tala. Osnovni oblici drenažnih mreža predloženi su na slici 90. Gustoća drenažne mreže ukazuje na lokalne inženjerskogeološke uvjete. Općenito se može reći da se u nepropusnim tlima razvijaju gušće drenažne mreže s malo razmaknutim drenažnim kanalima, a u propusnim tlima manje guste drenažne mreže s većim razmacima između kanala. Istraživanje erozije pomoću avionskih snimaka uglavnom se svodi na proučavanje vododerina. Vegetacija se kao fotoelement povezuje s klimatskim uvjetima i s tipom i debljinom tla. Također postoji određena povezanost između tipa tla i vrste vegetacije. Praćenje načina korištenja zemljišta na avionskim snimcima iz različitih perioda od osobite je važnosti prilikom istraživanja utjecaja antropogene djelatnosti na određene geodinamičke pojave/procese. Kolor fotografije kvalitetnije su od crno-bijelih u smislu jasnijeg razlikovanja sitnijih obilježja. Najjasnije isticanje vlažnih područja moguće je na infracrvenim snimcima, bilo da se radi o vrsti vegetacijskog pokrivača ili o tipu tla. Osim toga, infracrveni snimci bolje odražavaju razlike između tlo pokrivenih područja od onih na kojima nema pokrivača. Za primjenu u inženjerskoj geologiji najkvalitetnije informacije mogu se dobiti ukoliko se koristi kombinacija prirodnih kolor i kolor infracrvenih fotografija, a pojedinačno su najisplativije prirodne kolor fotografije.



Slika 13 Osnovni oblici drenažnih mreža: (a) centrifugalni na domi; (b) centripetalni u bazenu; (c) paralelan kao posljedica paralelnog rasporeda pukotina/rasjeda; (d) dendritičan na homogenim stijenama; (e) prstenast na uzdignutoj strukturi; (f) rešetkast kao posljedica, npr. paralelno orijentiranih blokova razdijeljenih rasjedima.

1.2.2. Ostali snimci

Ostale vrste snimaka razvile su se zbog nedostataka avionskih snimaka, od kojih je najvažniji ograničena pokrivenost spektra karakteristična za avionske snimke. Osim toga, veliki nedostatak avionskih snimaka je što im smetaju oblaci prilikom snimanja.

Multispektralno skaniranje

Multispektralni snimci (MSS) obuhvaćaju raspone valnih duljina koji odgovaraju fotografiji i termalnim skanerima. Za vrijeme procedure snimanja simultano se bilježi više raspona spektra (kao što samo ime kaže). Većina MSS je načinjena iz satelita Landsat 1 i 2 (od 1972.), koji imaju četiri trake spektra za različite valne duljine. Osnovni nedostatak Landsatovih snimaka je njihova mala rezolucija (80 m). Tijekom 1982. ovi snimci snimaju se iz Landsata-D, koji koristi sustav od sedam traka, a naziva se tematski maper (šest traka ima rezoluciju 30 m, a sedmi, termalni kanal 120 m). Multispektralni snimci snimljeni iz aviona po narudžbi mogu imati i više od 24 trake.

Landsatove MSS trake mogu se dobiti u nekoliko oblika i to kao: (a) crno-bijeli ispis svakog pojedinog kanala; (b) kolor kompozitni snimci koji su analogni infracrvenoj fotografiji; (c) digitalni zapisi četiri Landsatova kanala. Prednosti Landsatovih snimaka su sljedeće: bolje raspoznavanje glavnih tektonskih obilježja, imaju značajke ortofotosnimaka (bez deformacije su); omogućavaju kvalitetno proučavanje drenažnih mreža, glavnih morfoloških oblika, vegetacije i korištenja zemljišta i u sitnijem mjerilu.

Termalni infracrveni snimci

Iako je raspon valnih duljina termalnog infracrvenog dijela spektra uključen i u MSS snimke, njega je moguće i zasebno snimiti, čime se dobivaju tzv. termalni ili termalni infracrveni snimci. Termalni snimci nemaju rezoluciju kao fotografski snimci, pa se stoga koriste u slučaju potrebe dobivanja snimka za područja gdje fotografija ne daje dobre rezultate (za materijale koji imaju slične značajke refleksije, ali različita termalna svojstva). Glavna primjena termalnih infracrvenih snimaka je za kartiranje promjena u litologiji, sastavu tla i anomalijama toka podzemne vode, ali u kombinaciji s avionskim snimcima. Inženjerskogeološka primjena termalnih snimaka uključuje: označavanje rasjeda, granica stijena/tala,

zona procjeđivanja, plitkih drenažnih mreža, varijacije u dubini trošenja stijene i identificiranje lokacija potencijalnih kolapsa ponora.

Mikrovalni (radarski) snimci

Snimanje zemljine površine moguće je i u mikrovalnom rasponu elektromagnetskog spektra. Ovi snimci korisni su za mjerenje vlažnosti tla i kartiranje krških fenomena i podzemnih rudničkih prostorija. Mikrovalni snimci nastali aktivnim sustavom nazivaju se još i radarski snimci. Preklapanjem radarskih snimaka također je omogućeno stereoskopsko promatranje. Radarski snimci koriste se u kombinaciji s avionskim snimcima zbog njihove niske rezolucije i stinog mjerila ($<1.25.000$). Najveća prednost radarskih snimaka je što prodiru kroz oblake i mogu se snimati noću.

Terestička fotogrametrija

Terestička fotogrametrija je metoda daljinskih istraživanja kod koje se izrađuju i koriste fotografije načinjene instrumentima smještenim za zemljinoj površini. Tipična primjena terestičke fotogrametrije u inženjerskoj geologiji je snimanje velikih izdanaka stijena kod površinskih kopova, bokova brana i ostalih velikih projekata u svrhu analize diskontinuiteta. Opetovana terestička snimanja također se primjenjuju kod praćenja kretanja klizišta. Uloga terestičke fotogrametrije u inženjerskoj geologiji je dobivanje kvantitativnih podataka za područja koja inače nisu pristupačna, kao što je npr. mjerenje značajki diskontinuiteta (razmaka, hrapavosti površine i sl.) na nepristupačnim otvorenim stijenskim masama. Korištenjem specijalne opreme, kao što je fototeodolit, moguće je snimiti stereoskopske snimke u svhu trodimenzionalnog promatranja snimljene površine.

1.3. Istraživanje podzemlja

U okviru geotehničkih istraživanja provode se terenski istraživački radovi podzemlja (bušenja, in situ pokusi, geofizičke metode i sl.). Istraživanje podzemlja komplementarno je istraživanjima površine (inženjerskogeološkom kartiranju). Svrha istraživanja podzemlja je utvrditi inženjerskogeološke uvjete u podzemlju i njihove značajke na lokacijama istraživačkih radova i to: (i) izravnim uvidom u stijene/tla, kopanjem iskopa ili izradom bušotina, iz kojih se uzimaju uzorci za laboratorijske pokuse; i (ii) neizravnim uvidom u distribuciju značajki stijena/tala, pomoću in situ pokusa i geofizičkim metodama.

1.3.1. Istraživački iskopi i bušotine

Istraživački iskopi. Dvije su osnovne namjene istraživačkih iskopa: uzimanje uzoraka materijala iz podzemlja i kartiranje podzemnih značajki i uvjeta. U tablici 53 dani su osnovni tipovi istraživačkih iskopa, njihova osnovna namjena, prednosti i ograničenja.

Tablica 3 Osnovni tipovi istraživačkih iskopa, njihova upotreba i značajke.

METODA ISKAPANJA	NAMJENA	PREDNOSTI	OGRANIČENJA
manulano kopane jame i šahtovi	uzorkovanje stijena/tala, in situ pokusi, vizualni pregled	dobivanje podataka iz nedostupnih područja, minimalni mehanički poremećaj stijenci	skupo, dugotrajno, ograničeno na male dubine, iznad razine podzemne vode
strojno kopani rovovi (eng. backhoe trenches)	uzorkovanje stijena/tala, in situ pokusi, vizualni pregled, određivanje dubine osnovne stijene i razine podzemne vode	brzo, ekonomično, najčešće dubine do 5 m, a moguće dubina do 10 m (najčešća širina 1 m)	doprema strojne opreme, ograničeno na dubine iznad razine podzemne vode, ograničeno dobivanje neporemećenih uzoraka
bušeni šahtovi	prethodi iskopu pilota i šahtova, istraživanje klizišta, drenažne bušotine	brzo, puno ekonomičnije od manualnih iskopa, minimalnog promjera 75 cm, a maksimalno 180 cm	doprema strojne opreme, teško dobivanje neporemećenih uzoraka, ograničen vizualni pregled
usjeci (eng. dozer cuts)	značajke osnovne stijene, dubine do osnovne stijene i podzemne vode, određivanje uvjeta iskapanja, postizanje veće dubine izrade rovova, osiguravanje nulte razine istraživačke opreme	relativno jeftino, stvaranje umjetnih izdanaka za geološko kartiranje	istraživanje ograničeno na dubine iznad razine podzemne vode

Istraživačka bušotina je zajednički naziv za cijelu skupinu istraživački objekata načinjenih raznim metodama bušenja, a sa svrhom dobivanja uvida u stijene/tla (vađenjem jezgre) i uzimanja uzoraka materijala. U tablici 54 nabrojane su metode bušenja istraživačkih bušotina i područja njihove primjene.

Tablica 4 Metode bušenja istraživačkih bušotina i njihova primjena.

TEHNIKA BUŠENJA	PRIMJENA
ručna bušilica	plitka istraživanja iznad razine podzemne vode u pacijalno saturiranim pijescima i prahovima i mekim do krutim koherentnim tlima; može se koristiti za čišćenje bušotine između manevara u slučaju zarušavanja u mekom tlu ili ispod razine podzemne vode
bušenje s isplakom	koristi se u pijescima, prahovima i šljuncima bez gromada i u mekim do tvrdim koherentnim tlima; obično se primjenjuje na nedostupnim lokacijama; teško dobivanje neporemećenih uzoraka
rotacijsko bušenje	primjenjivo u svim tlima osim u onima koja sadrže krupne šljunke i gromade; nije praktično za primjenu na nedostupnim lokacijama zbog teške strojne opreme; jezgra stijena i tala ograničena na promjer manji od 15 cm
udarno bušenje	ne preporučuje se za upotrebu u slučaju potrebe dobivanja neporemećenih uzoraka, zbog poremećaja prouzročenih tehnikom bušenja i otežanog dobivanja jezgre; obično skuplje; obično se koristi u kombinaciji s bušenjem svrdlom ili isplakom za penetraciju u krupnije šljunke, gromade i stijene; promjene u brzini bušenja ukazuju na šupljine ili oslabljene zone u stijeni.

Svrha istraživanja i vrsta potrebnih informacija uvjetovat će tehniku bušenja, ali i raspored i dubinu bušenja. Broj i razmak bušotina treba omogućiti praćenje bočnih i vertikalnih promjena inženjerskogeoloških uvjeta (rasjeda, bora, pukotina i sl.). Općenite preporuke za raspoređivanje istraživačkih bušotina ovisno o vrsti inženjerske građevine dane su u tablici 55.

Kao što se vidi iz tablice 55 tehnika bušenja, raspored bušotina i njihova dubina moraju osigurati podatke na osnovi kojih će biti moguće interpretirati geološki presjek. Iako samo bušenje provode specijalizirane ekipe, koje istovremeno prate i zapisuju promjene u vrsti stijena, zadatak inženjer geologa je determinacija jezgre bušotine. U okviru inženjerskogeološke determinacije jezgre bušotine potrebno je detaljno opisati značajke stijena i tala (opisane u poglavlju II): vrstu stijena/tla, značajke materijala i značajke mase stijene/tla.

Tablica 5 Preporuke za raspoređivanje bušotina ovisno o tipu građevine.

SVRHA ISTRAŽIVANJA	RASPORED BUŠOTINA
novе lokacije velikog područja obuhvata	razmak preliminarnih bušotina 60 – 150 m tako da je razmak između četiri bilo koje bušotine približno jednak 10% ukupne površine; kod detaljnijih istraživanja dodaju se bušotine na lokacijama gdje su najpotrebniji geološki presjeci
razvoj naselja na mekim stišljivim naslagama	razmak bušotina 30-60 m na potencijalnim lokacijama budućih građevina, a dodatne bušotine se dodaju nakon što se odredi lokacija građenja
velike građevine s odvojenim blisko razmaknutim temeljima	razmak bušotina približno 15 m u oba smjera, uključivo bušotine na mjestima mogućih vanjskih zidova temelja i na lokacijama gdje će se raditi geološki presjeci
veliki objekti malog opterećenja (skladišta)	minimalno četiri bušotine na uglovima i bušotine u međuprostoru na mjestu temelja, u dovoljnom broju da se može definirati profil tla
pojedinačni kruti temelji površine 200-1000 m ²	minimalno tri bušotine po opsegu; dodatne bušotine unutar temelja ovisno o inicijalnim rezultatima
pojedinačni kruti temelji površine <200 m ²	minimalno dvije bušotine na suprotnim uglovima; dodatne bušotine u izrazito nepredvidim uvjetima
velike građevine koje su u kontaktu s vodom (npr. dokovi)	ukoliko je poznata konačna lokacija, razmak između bušotina ne bi trebao biti veći od 15 m, uz dodavanje međubušotina na mjestima objekata
dugačke nepropusne pregrade ili zidovi obale	preliminarne bušotine po liniji zida na razmaku od 60 m; dodavanje međubušotina da bi se smanjio razmak na 15 m; neke bušotine smjestiti unutar ili izvan linije zida kako bi se odredili materijali u podnožju i u aktivnom klinu iza zida
stabilnost kosina, duboki usjeci, visoki nasipi	tri do pet bušotina na liniji u kritičnom smjeru kako bi se osigurao geološki presjek za analizu; broj geoloških presjeka ovisi o širini problema stabilnosti; u slučaju aktivnog klizanja smjestiti najmanje jednu bušotinu na padini iznad klizišta
brane i pregrade retencija	razmak preliminarnih bušotina približno 60 m po zoni temelja; smanjiti razmak na središnjoj liniji na 30 m pomoću međubušotina; uključivo bušotine na lokacijama pokosa, kritičnih mjesta u stupovima, preljevima i na izlazu

1.3.2. In situ i laboratorijski pokusi

Sastavni dio geotehničkog istraživanja su in situ i laboratorijski pokusi kojima se određuju fizičko-mehaničke značajke stijena/tala. Za provođenje ovih pokusa i bilježenje rezultata zadužene su specijalizirane ekipe. U okviru inženjerskogeološkog istraživanja zadaća je inženjer geologa proučiti zapise rezultata svih provedenih pokusa, jer oni predstavljaju dodatni izvor podataka za interpretaciju inženjerskogeološkog modela. U kombinaciji s bušenjem najčešće se koristi standardni penetracijski pokus (SPP ili SPT) čiji rezultati se mogu korelirati s relativnom gustoćom nekoherentnih tala i nedreniranom posmičnom čvrstoćom.

1.3.3. Geofizičke metode

Geofizičke metode predstavljaju indirektni izvor informacija o građi podzemlja i značajkama stijena/tala. Osnovna namjena geofizičkih metoda u okviru inženjerskogeoloških istraživanja je upotpunjavanje podacima koji nisu mogli biti dobiveni inženjerskogeološkim kartiranjem površine i relativno plitkim bušenjem. Glavna primjena geofizičkih metoda je u fazi interpolacije podataka iz bušotina. Naime, geofizički presjeci predstavljaju 'most' između bušotina, pomoću kojega se koreliraju podaci determinacije bušotina i rezultati laboratorijskih i in situ pokusa. Za primjenu u inženjerskogeološkim istraživanjima najvažnije su seizmičke i električne metode i to mjerenja s površine i u bušotinama.

Seizmičke metode zasnivaju se na činjenici da elastična svojstva stijena/tala uvjetuju brzine širenja valova kroz njih (što je viši elastični modul, veća je brzina). Dominantne značajke stijena koje utječu na brzine valova su kristalinitet i porozitet. Brzine valova veće su u stijenama koje imaju kristalastu teksturu i niski porozitet, jer one imaju viši modul elastičnosti i više tlačne čvrstoće. Porozitet tla ovisi o granulometrijskom sastavu i obliku zrna. Na brzine valova također utječe i mineralni sastav: npr. prisustvo gline u vapnencima smanjuje brzine u odnosu na čiste vapnence. Glavni faktor koji u stijenama smanjuje brzine valova su diskontinuiteti (slojevitost, pukotine, folijacija) i trošnost stijenske mase. Utjecaj vode na brzinu širenja valova je različit za različite vrste valova. U inženjerskogeološkoj praksi koriste se seizmičke metode refleksije i refrakcije.

Električne metode koje se najčešće koriste u inženjerskoj geologiji sastoje se od mjerenja (s površine) otpornosti materijala. Njihova upotreba zasniva se na činjenici da je električna otpornost materijala posljedica mineralnog sastava, teksture i saturiranosti. Ukupna otpornost određenog materijala funkcija je složenog utjecaja svih ovih faktora. Metoda električne otpornosti najčešće se koristi za određivanje dubine do osnovne stijene, a uspješno se primjenjuje za određivanje granica klizišta.

2.

Rezultati inženjerskogeološkog istraživanja

Rezultati inženjerskogeološkog istraživanja objedinjuju se u **inženjerskogeološki izvještaj (elaborat)**, koji može biti zaseban ili sastavni dio geotehničkog izvještaja. Inženjerskogeološki i geotehnički izvještaj zajedno su dio građevinske dokumentacije. Ovdje će se inženjerskogeološki izvještaj tretirati kao sastavni dio geotehničkog izvještaja.

Prilikom izrade izvještaja treba imati na umu da je izvještaj jedini zapis o dugotrajnim i skupim istraživanjima, već ubrzo nakon njihova završetka (jer se radna dokumentacija uglavnom ne arhivira). Stoga u izvještaju treba odvojiti dokumentacijski dio istraživačkih radova od interpretacije. Sukladno tome, osnovni dijelovi geotehničkog izvještaja su: (1) **deskriptivni izvještaj**; i (2) **inženjerska interpretacija**.

Sastavni dio deskriptivnog geotehničkog izvještaja je:

- (a) **uvod** u kojemu se daju podaci o istraživaču, vrsti istraživanja i području obuhvata istraživanja, namjeni istraživanja i razdoblju u kojemu je istraživanje provedeno;
- (b) **opis lokacije istraživanja** u smislu preciznog definiranja geografskog položaja, opisa reljefa, relativnog i apsolutnog, komentara vezanih za postojeće objekte, prošle i postojeće korištenje zemljišta;
- (c) **opis geoloških značajki područja** uključuje opis regionalne geološke karte (s OGK), odnosno - osnovnih geoloških formacija i geoloških struktura, s daljnom podjelom na inženjerskogeološke jedinice s obzirom na tipove stijena/tala;
- (d) **opis terenskih istraživačkih radova** - opis metoda istraživanja i vrste istraživačkih radova, popis korištene opreme, opis problema vezanih za istraživanje, kao što je npr. vađenje uzoraka iz bušotina, datumi istraživačkih radova i vremenske prilike;

- (e) **grafički prikaz položaja svih istraživačkih radova** na karti odgovarajućeg mjerila;
- (f) **grafički prikaz logova bušotina**, tj. svake pojedine bušotine s rezultatima istraživanja (opisano detaljno u poglavlju 10.2.1);
- (g) **grafički prikaz istraživačkih iskopa**, tj. svakog pojedinog iskopa s inženjerskogeološkim opisom (opisano detaljno u poglavlju 10.2.1);
- (h) **grafički prikaz rezultata laboratorijskih pokusa i vizualnog opisa uzoraka**;

Inženjerska interpretacija sadrži:

- (a) **sumarni prikaz inženjerskogeoloških uvjeta**;
- (b) **inženjerskogeološki/geotehnički model s reprezentativnim geotehničkim parametrima**;
- (c) **preporuke i zaključci**.

Rezultati inženjerskogeološkog istraživanja prezentiraju se na grafičkim priložima, ali potrebno ih je i popratiti odgovarajućim tekstom. Tekstualni dio inženjerskogeoloških istraživanja daje se u sumarnom prikazu inženjerskogeoloških uvjeta (u okviru inženjerske interpretacije geotehničkog izvještaja), što je detaljnije opisano u poglavlju 10.1. Grafički prikaz inženjerskogeoloških istraživanja dijelom se daje u deskriptivnom izvještaju (logovi bušotina i skice iskopa), a dijelom u inženjerskoj interpretaciji (inženjerskogeološka karta i inženjerskogeološki model); detaljnije opisano u poglavlju 10.2.

2.1. Inženjerskogeološki izvještaj

Sumarni prikaz inženjerskogeoloških uvjeta je interpretacija podataka prikupljenih istraživačkim radovima na površini (inženjerskogeološko kartiranje i daljinska istraživanja) i ispod površine (geofizičke metode, istraživačke bušotine, raskopi, in situ i laboratorijski pokusi). Inženjerskogeološki uvjeti definiraju se s obzirom na značajke stijena/tala (poglavlje 10.1.1), hidrogeološke uvjete, geomorfološke uvjete i geodinamičke pojave/procese (poglavlje 10.1.2).

2.1.1. Osnovne inženjerskogeološke jedinice

Osnovne inženjerskogeološke jedinice izdvajaju se na temelju inženjerskogeoloških uvjeta ovisno o značajkama stijena/tala. Kao rezultat istraživanja pojedinačnih istraživanja građevinskih lokacija, potrebno je izdvojiti inženjerskogeološke tipove - jedinice najvišeg stupnja homogenosti. Inženjerskogeološki tipovi homogeni su s obzirom na: vrstu stijene/tla, geološku strukturu (diskontinuitete) i trošnost mase stijene/tla. Unutar pojedinog inženjerskogeološkog tipa postoje relativno male varijacije s obzirom na fizičko-mehanička svojstva materijala stijene/tla. Iako je podjela na inženjerskogeološke tipove krajnji cilj inženjerskogeoloških istraživanja i kao takva se koristi za definiranje inženjerskogeološkog modela, potrebno je za svaki inženjerskogeološki tip naznačiti njegovu pripadnost regionalnim geološkim jedinicama (litološkim tipovima, litološkim kompleksima i litološkim grupama). Za inženjerskogeološke tipove moguće je definiranje ograničenog raspona fizičko-mehaničkih svojstava, koja će se koristiti kao proračunski parametri u geotehničkim analizama.

2.1.2. Hidrogeološki uvjeti, geomorfološki uvjeti i geodinamičke pojave/procesi

Opseg opisa hidrogeoloških i geomorfoloških uvjeta i geodinamičkih pojava/procesa prvenstveno ovisi o namjeni istraživanja. Međutim, u svakom inženjerskogeološkom izvještaju trebaju biti sadržani opisi tih uvjeta, s osvrtom na njihov utjecaj na inženjerski projekt.

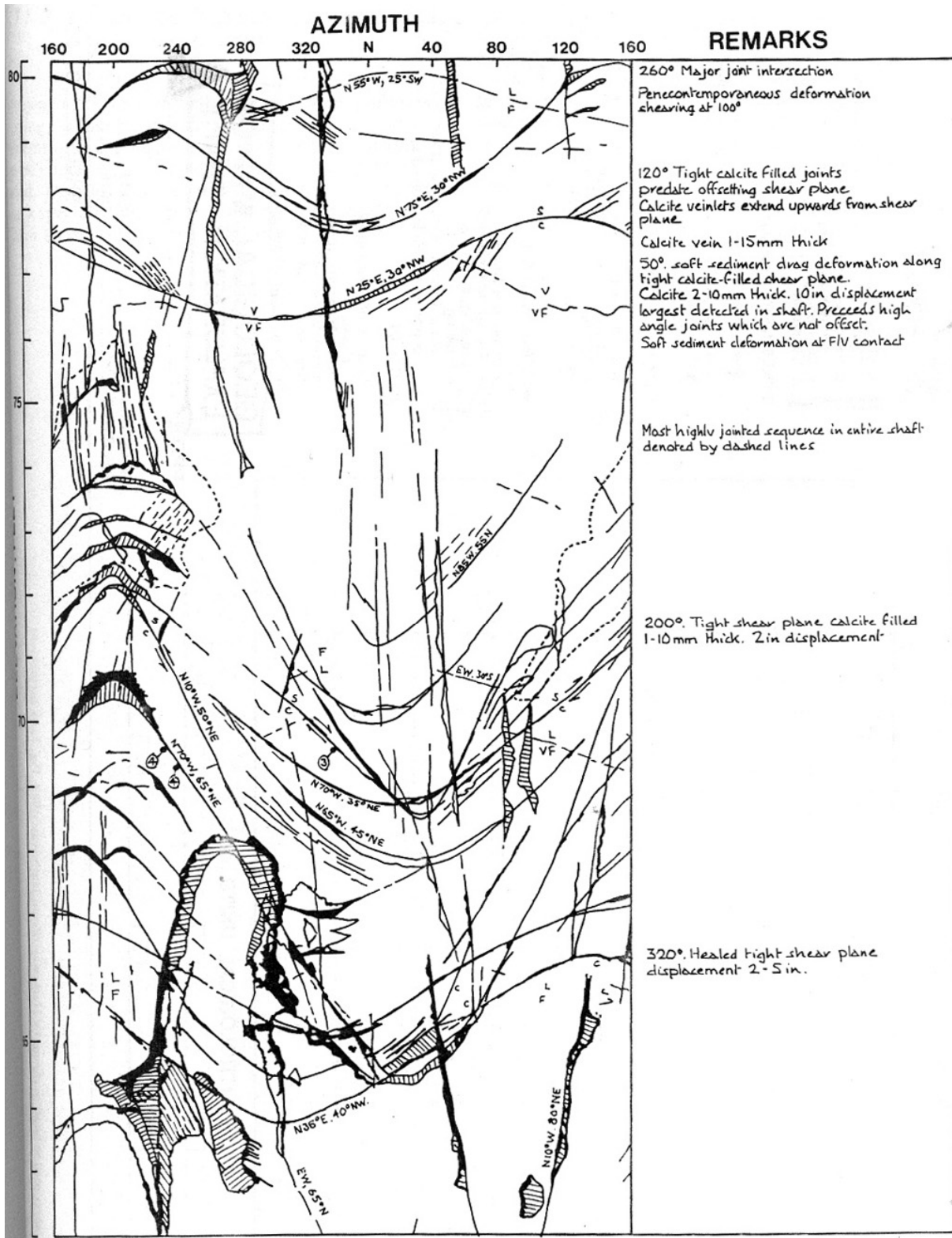
2.2. Grafički prikaz

Grafički prikazi obuhvaćaju **dokumentaciju istraživačkih iskopa i bušenja** i različite prikaze trodimenzionalnog konceptualnog modela istraživane područja - **inženjerskogeološki model**.

2.2.1. Dokumentacija istraživačkih iskopa i bušenja

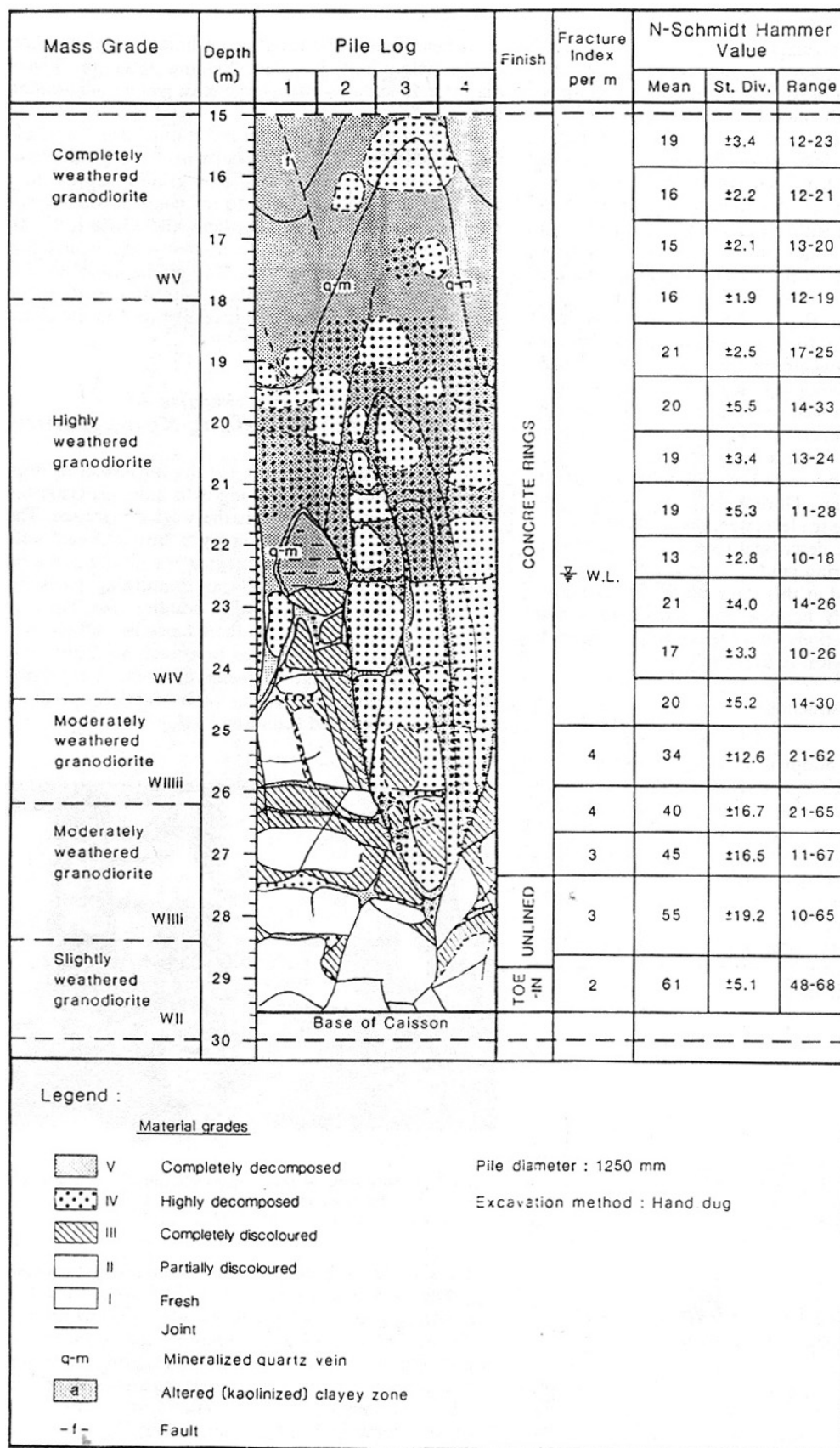
Skice iskopa. Zasnivaju se na podacima vizualnog pregleda stijenski iskopa, a mogu biti upotpunjeni rezultatima ispitivanja priručnom identifikacijskom opremom. Na skicama iskopa moraju biti prikazani svi geološki podaci vezani za vrstu stijena i geološke strukture (diskontinuiteti). Na slici 91 je prikaz jedne takve skice istraživačkog iskopa. Ukoliko postoje ispitivanja u iskopu, korisno je i njih prikazati. Na slici 92 je prikaz loga iskopa s klasifikacijom stijenske mase prema trošnosti i rezultatima ispitivanja Schmidtovim čekićem.

Log bušotine. Konačni log bušotine zasniva se na podacima vizualnog pregleda i opisa uzoraka, rezultatima laboratorijskih pokusa, tehničkim podacima o bušenju iz dnevnika bušača i geološkim podacima. Log bušotine je slika presjeka probušenog tla s pripadajućim opisima. Način opisivanja i detaljnost opisa ovise o namjeni istraživanja. Većina istraživačkih tvrtki ima standardne formate za izradu logova bušotina. Zajedničko svim logovima bušotina je da se sastoje od zaglavlja u kojemu se nalaze opći podaci o bušenju i dijela u kojemu su podaci o probušenim stijenama/tlima. Na slici 93 prikazan je log bušotine. U zaglavlju moraju biti sadržani sljedeći podaci: naziv istraživanja, broj izvještaja, naručitelj i investitor istraživanja, koordinate bušotine, datum bušenja, broj bušotine i broj priloga u izvještaju, tehnika bušenja, promjer bušotine, promjer jezgre, dubina bušotine i mjerilo vertikalnog prikaza. Obavezni dio podataka o probušenim stijenama/tlima jesu: tehnički presjek bušotine, dubine/visine intervala promjene značajki stijena/tala, inženjerskogeološki opis stijene/tla, prikaz stijene/tla šrafurom, geomehanička klasifikacija tala, geološka klasifikacija stijena/tala, dubina do podzemne vode, intervali uzimanja uzoraka. Proizvoljan sadržaj loga bušotine je prikaz in situ ili laboratorijskih rezultata. Praktično je rezultate prikazati u logu bušotine, ali problem je vrlo ograničeni prostor loga.



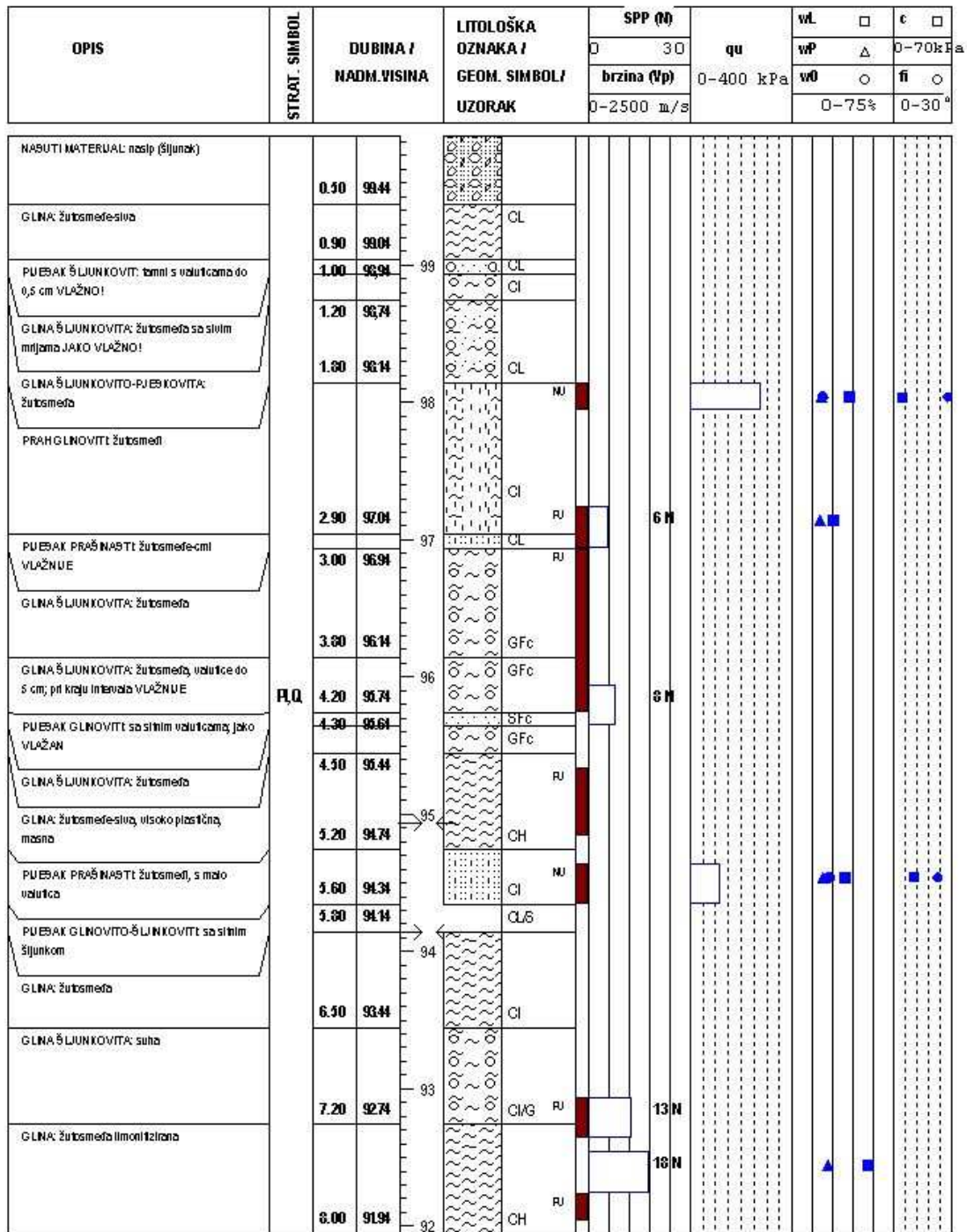
Slika 14 Skica stijenki istraživačkog iskopa oblika jame promjera 0.9 m

(kartirano u mjerilu 1:12).



Slika 15 Log istraživačkog iskopa popraćen podacima o trošnosti mase i vrijednostima ispitivanja Schmidtovog čekića.

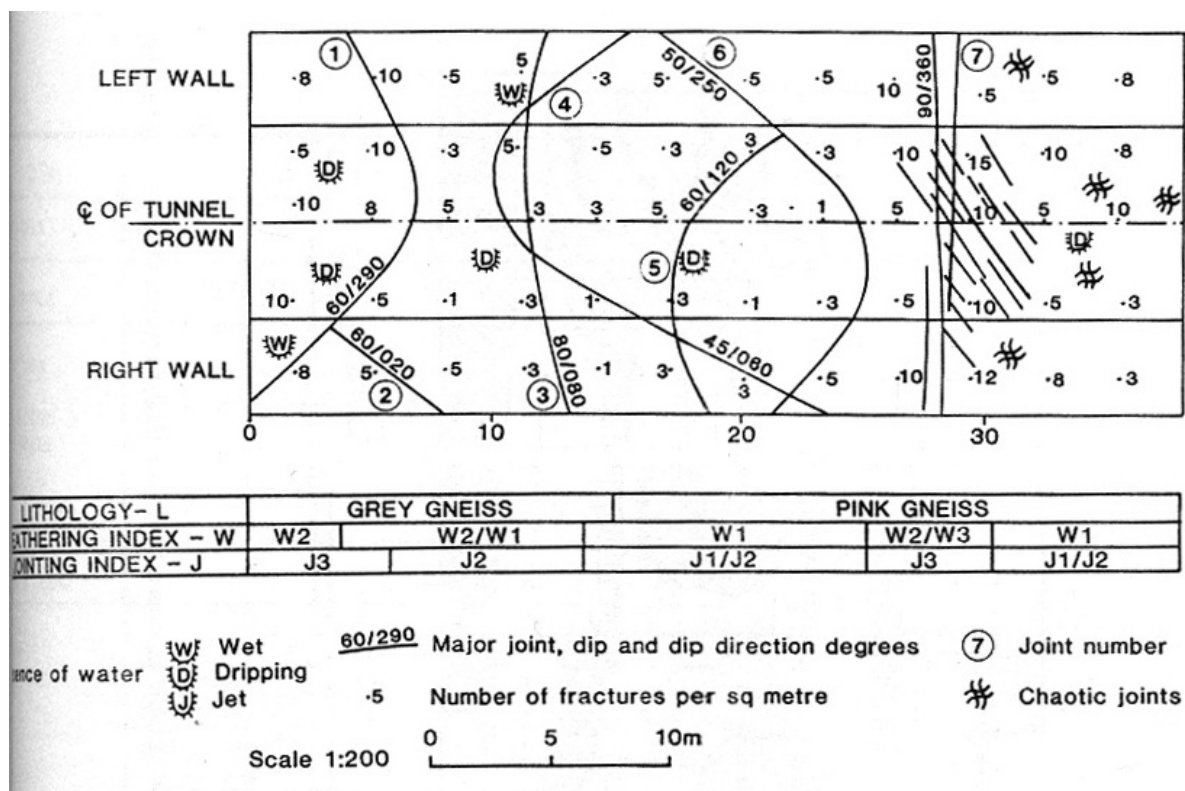
 RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo	BUŠOTINA B-1	PRILOG
	TEHNIKA BUŠENJA: ručno IZVOBAČ: GEO-SD d.o.o.	
NARUČITELJ: Geoexpert GTB	DATUM: 22.02.2001.	



Slika 16 Log bušotine.

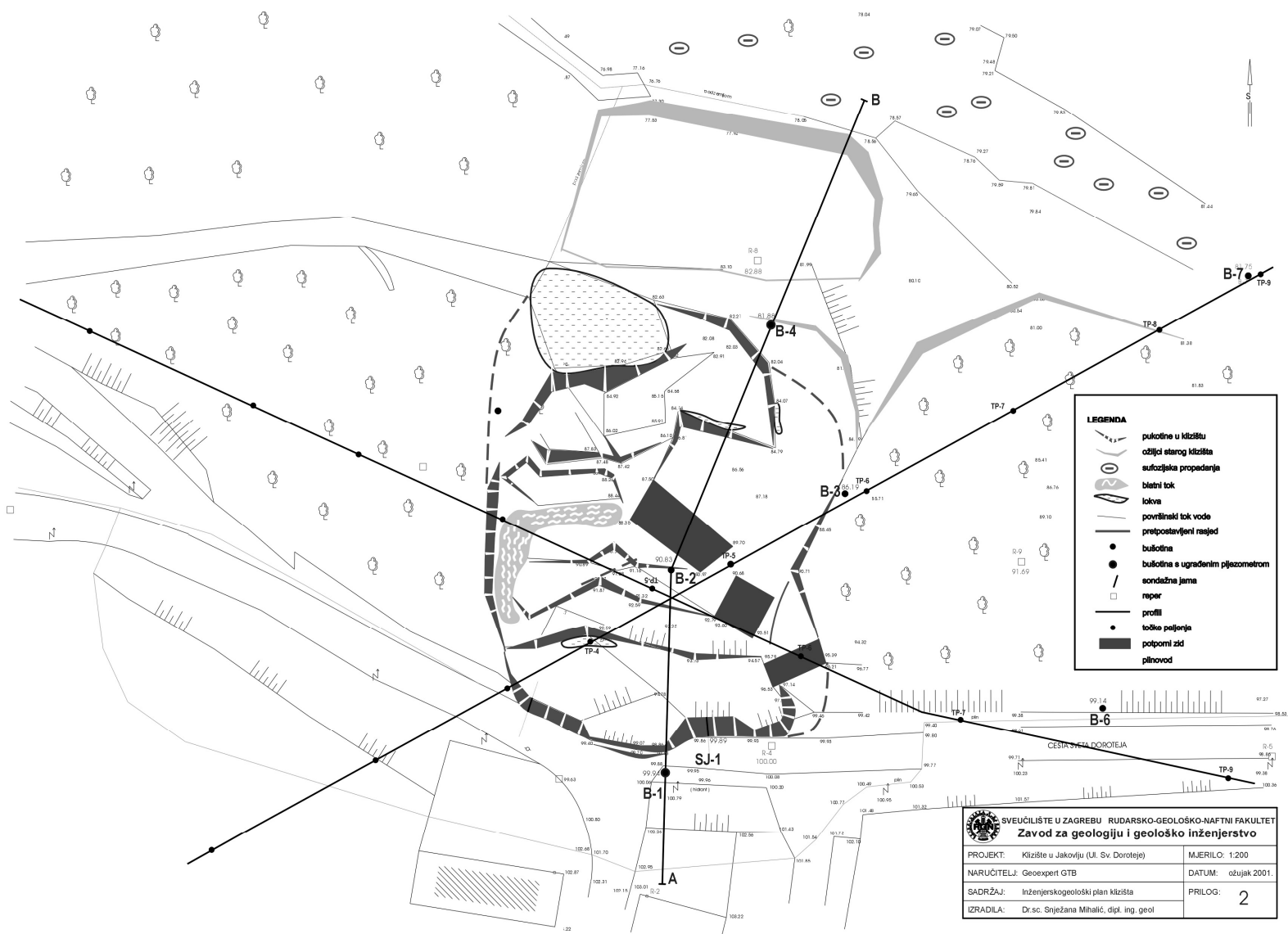
2.2.2. Inženjerskogeološki model

Inženjerskogeološki model je trodimenzionalna predodžba o inženjerskogeološkim uvjetima geološkog okoliša. Inženjerskogeološke modele moguće je prikazati dvodimenzionalno i trodimenzionalno. Dvodimenzionalni prikazi inženjerskogeološkog modela su **inženjerskogeološke karte** (slika 95) i **inženjerskogeološki presjeci** (slika 96). Trodimenzionalni prikaz inženjerskogeološkog modela su **kulisni dijagrami** i **blok dijagrami**. Iznimku predstavljaju **inženjerskogeološki presjeci tunela**, jer su to dvodimenzionalni prikazi razvijenog plašta tunela (slika 94).



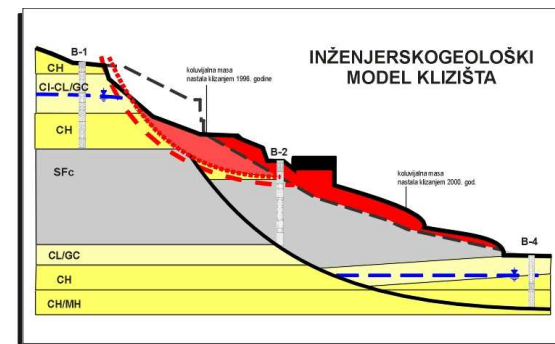
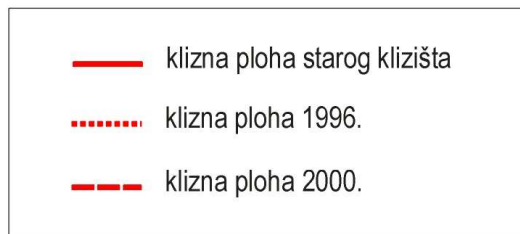
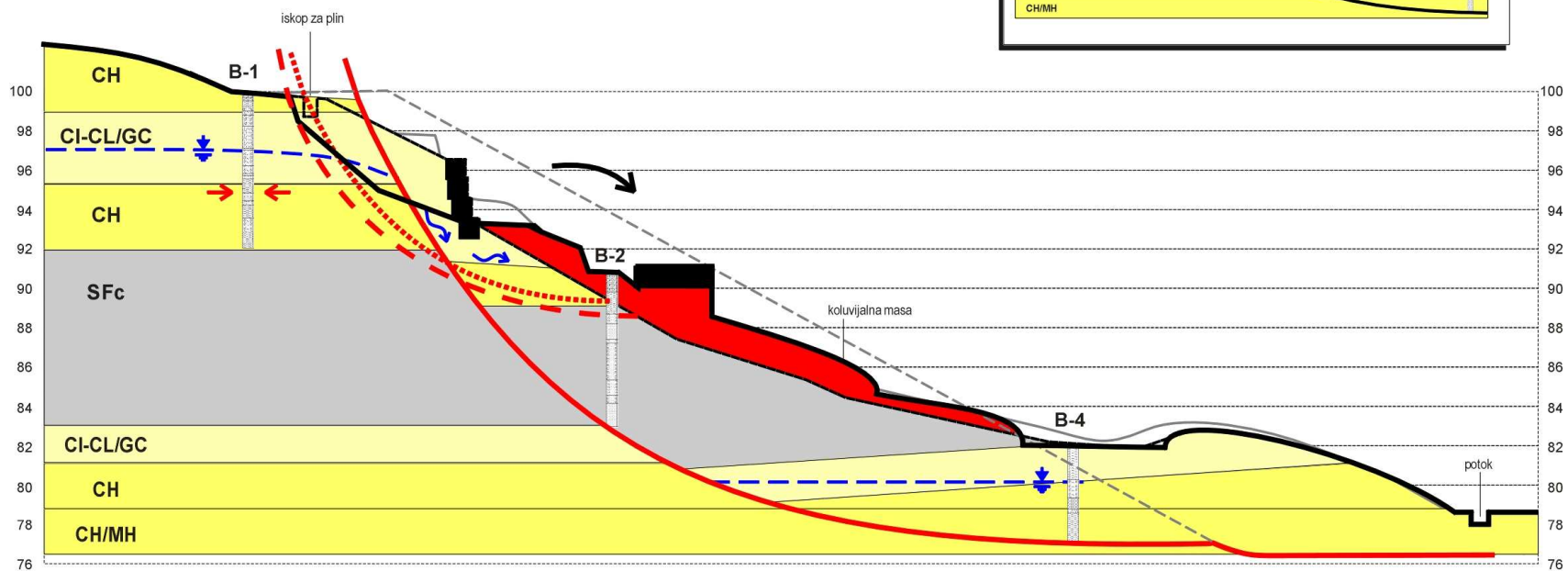
Slika 17 Inženjerskogeološki presjek tunela.

10. Rezultati inženjerskogeološkog istraživanja




Slika 18 Inženjerskogeološka karta (plan) klizišta, originalno mjerilo 1:200.

INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFIL A-B



Slika 19 Inženjerskogeološki presjek klizišta predloženog na slici 95.

 SVEUČILIŠTE U ZAGREBU RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo	
PROJEKT: Klizište u Jakovlju (Ul. Sv. Doroteje)	MJERILO: 1:200
NARUČITELJ: Geoexpert GTB	DATUM: ožujak 2001.
SADRŽAJ: Inženjerskogeološki profil	PRILOG: 5
IZRADILA: Dr.sc. Snježana Mihalić, dipl. ing. geol	