

Elementi hidrogeološke karte i njihova priprema za prikaz u GIS-u

Loborec, Lana

Undergraduate thesis / Završni rad

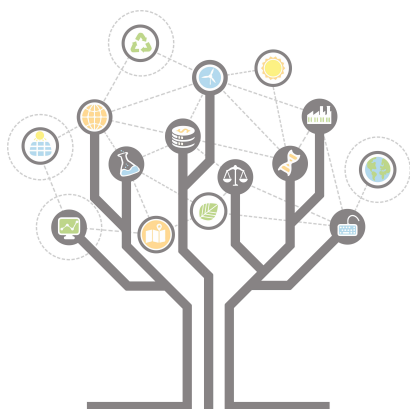
2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:716924>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

LANA LOBOREC

**ELEMENTI HIDROGEOLOŠKE KARTE I NJIHOVA PRIPREMA
ZA PRIKAZ U GIS-U**

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2022.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva
za 19.09.2022. u 9 sa
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred
ispitnim povjerenstvom u Vorozdolu
Varaždin, 01.09.2022.

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:
izr. prof. dr. sc. Saša Korčić

Članovi povjerenstva

- 1) prof. dr. sc. Ranko Brundić
- 2) izr. prof. dr. sc. Hrvoje Meaški
- 3) doc. dr. sc. Jelena Laborec

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

**ELEMENTI HIDROGEOLOŠKE KARTE I NJIHOVA PRIPREMA
ZA PRIKAZ U GIS-U**

KANDIDAT:

Lana Loborec



MENTOR:

Prof.dr.sc. Ranko Biondić

Varaždin, 2022.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

Elementi hidrogeološke karte i njihova priprema za prikaz u GIS-u

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **prof.dr.sc. Ranka Biondića.**

Izjavljujem da ni jedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 29.08.2022.

LANA LOBOREC

Vlastoručni potpis

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

Elementi hidrogeološke karte i njihova priprema za prikaz u GIS-u

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog završnog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti završnog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 29.08.2022.



Mentor: prof.dr.sc. Ranko Biondić

Sažetak

Ime i prezime studenta: Lana Loborec

Naslov rada: Elementi hidrogeološke karte i njihova priprema za prikaz u GIS-u.

Hidrogeologija kao interdisciplinarna znanost proučava podzemnu vodu te kroz različita hidrogeološka istraživanja pomaže u provođenju zaštite voda propisane zakonskom regulativom sa svrhom očuvanja kvalitete vode za ljudsku potrošnju. U ovom radu obrađuju se hidrogeološke karte različitih mjerila te se prikazuje njihova primjena. Poseban naglasak stavljen je na pripremu pojedinih elemenata karte za prikaz u GIS-u koji omogućuje jednostavnu i brzu izradu oznaka koje su standardizirane kako bi bez obzira na autora bile svima razumljive.

Ključne riječi: hidrogeološka karta, GIS, mjerilo

Abstract

Name and surname of student: Lana Loborec

Title: The elements of hydrogeological map and their preparation for the presentation in GIS

Hydrogeology, as an interdisciplinary science, studies groundwater and through various hydrogeological research helps in the implementation of water protection, which is determined by legislation with the purpose of preserving the quality of water for human consumption. In this paper, hydrogeological maps of different scales are shown, and examples of their applications are presented. Special emphasis is placed on the preparation of individual elements of map for the display in GIS, which enables a simple and quick creation of symbols that are standardized so that they are understandable to everyone, regardless of an author.

Keywords: hydrogeological map, GIS, scale.

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Elementi hidrogeološke karte	2
2.1. Hidrogeologija i povijest hidrogeoloških istraživanja	2
2.2. Kartografija i hidrogeološke karte	6
2.3. Osnovna hidrogeološka karta u mjerilu 1:100.000	9
2.4. Detaljna hidrogeološka karta 1:5.000	11
3. Elementi karte u GIS-u	13
3.1. Elementi OHGK 1:100.000 pripremljeni u GIS-u	15
3.2. Priprema elemenata hidrogeološke karte u ArcGIS-u	23
4. Zaključak	34
5. Popis literature:	35
6. Popis slika:	37
7. Popis tablica:	39

1. Uvod

Hidrogeologija je znanstvena disciplina koja se bavi proučavanjem porijekla podzemne vode, režima podzemnih voda, kretanja i zadržavanja vode u podzemlju, procjenom količine i određivanjem karakteristika podzemnih voda, biološko-kemijskog djelovanja podzemnih voda i slično (Biondić, B., 2006). Hidrogeologija dolazi od grčkih riječi: *hidros-* što označava vodu, *geos-* što označava zemlju te *logos-* znanost. Hidrogeologija je povezana s mnogim drugim znanstvenim disciplinama, kao što su geologija, hidrologija, geokemija, pedologija i mnoge druge znanstvene discipline koje se bave proučavanjem određenog vida podzemnih voda.

Podzemna voda je vrlo značajan resurs jer se njome zadovoljava glavina ljudskih potreba za vodom, kako za vodoopskrbu sela i gradova, za napajanje životinja, navodnjavanje i za industriju i ostale djelatnosti. Zbog povećane potrošnje raste i opterećenje na vodu u okolišu, što može dovesti do narušavanja njezine kvalitete ili do prekomjernog iskorištavanja pa je jako važno čuvati taj prirodni resurs. Osnova za zaštitu vodnih resursa je zakonska regulativa koja propisuje zone i mjere zaštite, a da bi se zaštitna područja mogla dobro definirati potrebno je provoditi čitav niz istraživanja.

Hidrogeološka istraživanja općenito se dijele na površinska i podzemna te obuhvaćaju interdisciplinarni tim stručnjaka koji se sastoji od geologa, geofizičara, stručnjaka za istražno bušenje, hidrogeokemičara i slično. Hidrogeološka istraživanja povezana su i s mnogim specijaliziranim strukama poput daljinskih istraživanja bespilotnim letjelicama, speleološka istraživanja, geofizička istraživanja i istraživanja na nedostupnim padinama. Temelj svih hidrogeoloških istraživanja je izrada hidrogeološke karte. Hidrogeološka karta koristi se kao osnovni prikaz hidrogeoloških svojstva naslaga na nekom prostoru, a služi za prikazivanje propusnosti stijena, za prikazivanje slivova, vodnih tijela te utvrđenih podzemno-vodnih veza. Hidrogeološke karte imaju unaprijed određene elemente koji, ovisno o mjerilu i namjeni karte, moraju na karti biti prikazani.

U ovom radu obradit će se hidrogeološke karte različitih mjerila te prikazati njihova primjena. Poseban naglasak stavit će se na pripremu pojedinih elemenata karte za prikaz u GIS-u.

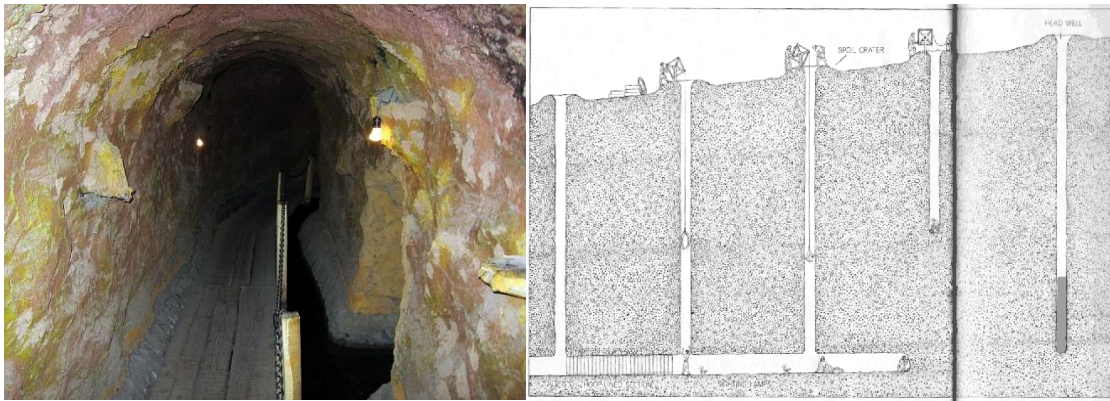
2. Elementi hidrogeološke karte

2.1. Hidrogeologija i povijest hidrogeoloških istraživanja

Podzemna voda je općenito ime za sve vode koje se nalaze u šupljinama unutar geoloških formacija. Ona je dio hidrološkog ciklusa koji obuhvaća vodu u svim agregatnim stanjima, gledajući sve dijelove Zemlje, na površini, ispod same površine (u podzemlju) i u atmosferi (<https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=25405>). Geološka formacija koja može sadržavati i propuštati vodu naziva se vodonosnik ili aquifer, a stijene ograničene ili vrlo slabe propusnosti obično se nazivaju aquitard ili aquiklud te se smatraju hidrogeološkim barijerama (Biondić, R., 2022).

U promatranju podzemne vode važno je razlikovati saturiranu od nesaturirane zone vodonosnika. U saturiranoj zoni vodonosnika voda ispunjava sve porne ili pukotinske prostore i taj je dio posebno važan za razvoj vodoopskrbe pa su i inženjerski radovi ili hidrogeološke studije u tim zonama posebno istaknuti. Nesaturirana zona se nalazi iznad saturirane zone pa sve do površine terena. Ako su naslage nesaturirane zone dobro propusne i omogućena je izravna infiltracija s površine vertikalnim tokom do vodnog lica radi se o otvorenom vodonosniku, a ako su naslage slabopropusne ili nepropusne, voda u vodonosniku se najčešće nalazi pod tlakom i tada se radi o zatvorenom vodonosniku. Nesaturirana zona vodonosnika važna je jer može zadržati ili propustiti potencijalno onečišćenje s površine terena do vodnog lica.

Mnoge znanstvene discipline se bave proučavanjem vode na Zemlji, no hidrogeologija je specijalizirana znanost u kojoj se pojavljuju elementi iz geologije (izučava prostorni raspored vodonosnika i mogućnost distribucije vode), hidrologije (prihranjivanje podzemlja) i mehanike fluida (kretanje podzemne vode). Zapisi o podzemnoj vodi sežu još iz osamsto godina prije nove ere gdje se govori o kanatima (podzemnim tunelima) objektima koji su omogućavali zahvaćanje podzemne vode u Egiptu i Perziji (Biondić, R., 2022) kao što je prikazano na slici 1.



Slika 1. Današnji izgled kanata (lijevo) i nekadašnji način njihove izrade (desno)
 (<https://www.curioctopus.it/read/10318/ecco-l-efficiente-sistema-di-canali-sotterranei-con-cui-i-persiani-riuscivano-ad-irrigare-il-deserto>)

Kroz povijest hidrogeologije veliku ulogu u shvaćanju ponašanja podzemne vode je imao rimski arhitekt Vitruvius koji je objasnio teoriju infiltracije koja je danas prihvaćena, a po kojoj velike količine padalina primaju planine te zatim prodiru kroz stijenu sve do baze u kojoj se formiraju tokovi (Biondić, B., 2006).

Krajem sedamnaestog stoljeća postignuto je jasno razumijevanje hidrološkog ciklusa. Zaslužan za to otkriće bio je Pierre Perrault koji je mjerio količinu padalina u vremenskom razdoblju od tri godine i dobivenim mjerenjima procijenio je otjecanje drenažnog bazena gornje Seine, a mjerenjem je ustanovljeno da su padaline u bazenu šest puta veće od riječnog otjecanja (Biondić, B., 2006). Kroz osamnaesto stoljeće došlo je do razvoja geologije, a to je omogućilo razumijevanje kretanja podzemne vode. Veliku zainteresiranost za podzemnu vodu izazvali su brojni arteški bunari u Francuskoj na početku devetnaestog stoljeća.

Danas je temelj poznavanja kretanja vode u podzemlju upravo Darcyev zakon koji je dobio ime po francuskom inženjeru hidraulike. Henry Darcy je proučavao tok vode kroz cijev ispunjenu pijeskom i utvrdio da je količina vode koja protječe jediničnom površinom poprečnog presjeka cijevi linearno proporcionalna hidrauličkom gradijentu te ovisi o karakteristikama materijala kojom je napunjena cijev i koje je opisao kao Darcyev koeficijent infiltracije ili hidraulička vodljivost materijala (Biondić, B., 2006). Darcyev zakon vrijedi za podzemna tečenja aluvijalnih nanosa i sedimentnih formacija. Nadalje kroz stoljeće se razvija hidraulika podzemnih voda te raste zainteresiranost znanstvenika

za sve kompliciranije slučajeve. U to svakako spada proučavanje ponašanja vode u pukotinskim i okršenim sustavima. Novija istraživanja znanstvenika upućuju na postojanje više tipova krša, koja se razlikuju po građi i postanku. Po tom pitanju najbolji primjer kompleksne geološke građe je upravo Republika Hrvatska koja se dijeli na dvije potpuno različite prirodne cjeline, a to su: područje Panonske nizine gdje se ističu doline rijeka Save i Drave te područje južno od Karlovca koje se ističe po krškim oblicima reljefa (Biondić, B., 2006), što je prikazano na slici 2. S tim u skladu razvijaju se i dva zasebna načina proučavanja podzemne vode. Danas se hidrologija dijeli na:

1. hidrogeologiju nizinskog područja - u kojima prevladavaju primarna i međuzrnska poroznost stijena,
2. hidrogeologiju krških područja u kojima prevladavaju sekundarna ili pukotinska (ili disolucijska) poroznost stijena



Slika 2. Podjela RH na dvije različite prirodne cjeline (Biondić, R., 2022)

Stručnjaci i znanstvenici koji se bave istraživanjem podzemnih voda zovu se hidrogeolozi. Hidrogeolozi proučavaju karakteristike stijena i kretanja podzemne vode te izrađuju hidrogeološke karte, ali također:

- provode trasiranja podzemnih tokova (prikazano na slici 3.)
- izrađuju elaborate zona sanitarne zaštite
- izrađuju dijelove studija utjecaja na okoliš
- rade hidrogeološka mikrozoniranja

- rade na odvodnji linearnih infrastrukturnih objekata (prometnica, željeznica i sl.)
- izvode hidrogeološke radove kod projektiranja hidroelektrana
- pronalaze nove i istražuju postojeće zalihe podzemne vode za piće
- istražuju duboka i plitka hidrotermalna bogatstva
- provode istraživanja za sustave navodnjavanja ili neke druge namjene
- provode istraživanja kakvoće vode
- provode istraživanja onečišćivala u podzemnim vodama i geohazarda
- izrađuju GIS projekte za različite namjene te druge kartografske podloge



Slika 3. Trasiranje podzemnih tokova (<https://www.hgi-cgs.hr/hidrogeoloska-istrazivanja/>)

Hidrogeološka istraživanja počinju s radovima na površini terena, time se dobivaju podaci o mjestu pojave te kretanju i kvaliteti podzemne vode. Cijene radova na površini uvelike su manja od istraživanja koja imaju direktan ulaz u podzemlje, no rezultati s direktnim ulazom u podzemlje su puno precizniji i točniji. Prvo se određuje geološki sastav i strukturna građa snimanjem površine terena, a to je jedini način kako bi se definirao položaj i procijenila dimenzija vodonosnika prije daljnjeg istraživanja. Mogućnosti vodonosnika i njegove dimenzije procjenjuju se prema tipu stijene. Ako se dobro poznaju geološki odnosi na površini terena mogu se točnije odrediti odnosi u podzemlju te se dalje usmjeriti na ostatak istraživanja.

Zaštita vode je najvažnije aktivnost u svijetu koja osigurava vodu zadovoljavajuće kvalitete za korištenje, ali i za buduće naraštaje. Svaka država mora provoditi zaštitu voda

u skladu sa svojim zakonodavstvom, u Europskoj uniji je zakonodavstvo u odnosu na vode regulirano Okvirnom direktivom o vodama (ODV 2000/60/EC) i sve države članice moraju se s njome uskladiti. Međutim, zaštita vode u Hrvatskoj traje puno dulje, više od trideset godina, a budući da je 90 % javne vodoopskrbe vezano uz podzemne vode vrlo je važno na odgovarajući način zaštititi podzemne vodne resurse (Biondić, R., 2022). Temeljni dokument zaštite voda u Republici Hrvatskoj jest „Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta“ (NN 66/11). Po tom pravilniku proglašavaju se određene zaštitne zone i donose se odgovarajuće mjere za podzemne vodonosnike i površinska izvorišta koja se koriste u vodoopskrbi stanovništva. Neizostavni dio u tim postupcima su i kartografski prikazi različitih mjerila.

2.2. Kartografija i hidrogeološke karte

Karta je kodirana slika geografske stvarnosti, koja prikazuje odabrane objekte ili svojstva, rezultat je kreativnosti i određenih odluka koje donosi sam autor, a oblikovana je za neku konkretnu upotrebu kad su prostorni odnosi od najveće važnosti. Potrebno je istaknuti da karte moraju prikazati što istinitiji odnos objekata i oznaka, mora prikazivati samo oznake koje su za tu svrhu generalizirane ili pojednostavljene, pregledne i jasno definirane. Za sve to najvažnije je na samom početku postaviti određeno mjerilo u kojem će karta biti izrađena. Ako se govori o krajnjem kartografskom prikazu, svaka izrađena karta mora sadržavati određene elemente: naslov, legendu, područje prikaza prostornih podataka tj. sam sadržaj karte, zatim oznaku sjevera, grafičku i tekstualnu oznaku mjerila te sastavnicu (Biondić, R. 2013).

Hidrogeološka karta je specifična vrsta namjenskih karata koja prikazuje količinu, kakvoću, kemijska svojstva podzemnih voda, položaj, dimenzije, geološke karakteristike, hidraulička svojstva vodonosnika (krovine ili padine), građevine te podzemno-vodne pojave. One se dijele prema: sadržaju, mjerilu, geografskom prostiranju i sastavnim dijelovima (Šarin, 1984). Hidrogeološka karta zbog vizualizacije može olakšati način predstavljanja rezultata hidrogeoloških istraživanja, stoga je neprocjenjiv alat za komunikaciju između investitora, istraživača, stručnjaka za vodu, jedinica lokalne samouprave i šire javnosti (Chaminé et al. 2015). Na razini hidrogeološke struke izrađene su upute za izradu hidrogeoloških karata (Šarin, 1988), ali i upute međunarodne

asocijacije hidrogeologa (Struckmeier & Margat, 1995) te su prema tim uputama standardizirani simboli na hidrogeološkim kartama koji su kasnije prilagođeni prikazu u GIS-u.

Hidrogeološke karte prema sadržaju dijele se na opće i specijalne hidrogeološke karte. Opće karte prikazuju hidrogeološka svojstva terena, a vrsta i količina podataka ovisi o namjeni karte, poznavanju hidrogeologije terena te o veličini mjerila i kartografskoj tehnici. Na kartama je najčešće prikazana hidrografija, topografija, propusnost formacija, litologija, visina i dubina podzemne vode, podzemno-vodne pojave i građevine, mineralizacija ili sadržaj klorida. Specijalne karte prikazuju samo jednu ili nekoliko podataka, a obično su to podaci o kvaliteti ili podzemno-vodnim pojavama. Prema strukturi hidrogeološke karte dijelimo na samostalne koje prikazuju podatke nekog područja na jednoj karti i na složene koje najčešće sadrže jednu glavnu kartu s većim brojem hidrogeoloških podataka i više specijaliziranih karata sitnijeg mjerila koje su smještene na istom papiru (Šarin, 1984).

Hidrogeološke karte prema geografskom prostiranju dijelimo na: internacionalne, nacionalne, regionalne, lokalne. Ali većinom u nazivu ne sadrže te termine, već se iz naslova karte procjenjuje kojoj vrsti pripada.

Svaka hidrogeološka karta obično prikazuje slijedeće (Loborec, 2022):

1. granice stijena različitih hidrogeoloških karakteristika
2. tektoniku (rasjede, bore..)
3. hidrogeološke pojave: izvori, jezera, zdenci, rijeke, bušotine, kaptažni zahvati
4. morfološke pojave: špilje, ponori, jame
5. hidrotehnički objekti: kanali, tuneli, akumulacije
6. hidrogeološke profile
7. rezultate provedenih trasiranja podzemnih tokova
8. granice slivova

Mnogobrojna istraživanja vezana uz hidrogeologiju pa tako i izradu hidrogeoloških karata u Republici Hrvatskoj odrađuje upravo Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju (ZHIGIG) Hrvatskog geološkog instituta (HGI). Temeljna djelatnost HGI-a jest upravo izrada osnovnih karata, no sudjeluju u brojnim projektima znanstvenih ili stručnih preko različitih institucija i fondova. Budući da je Republika Hrvatska podijeljena na panonski dio i krški dio Dinaride, što znači dvije potpuno različite prirodne cjeline u

hidrogeološkom smislu, istraživači se stručno specijaliziraju za jednu od te dvije cjeline. Izrađuju se karte različitih mjerila, od regionalnih studijskih projekata pa sve do detaljnih istraživanja koja su u krupnom mjerilu (HGI: <https://www.hgi-cgs.hr/hidrogeoloska-istrazivanja/>).

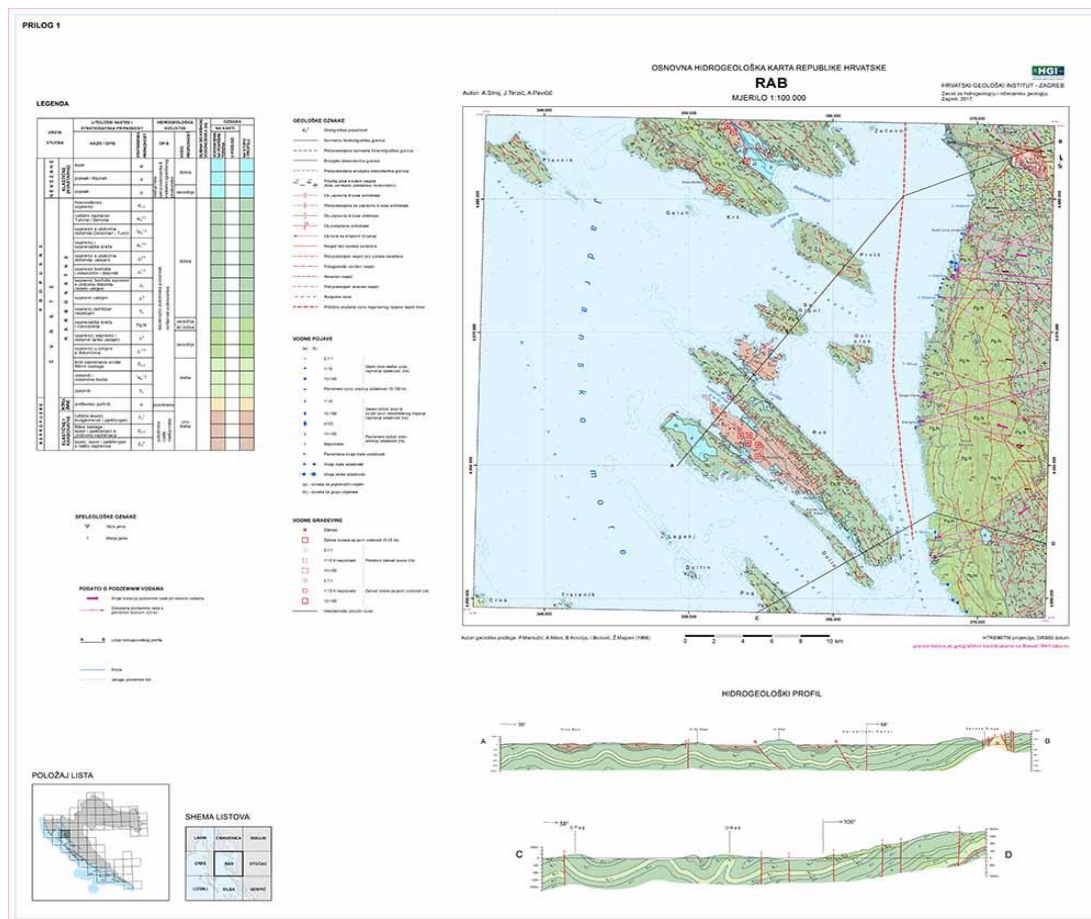
Nekada kad su se izrađivale samo analogne (papirnat) karte glavna je bila podjela hidrogeoloških karata ovisno o mjerilu u kojem su izrađene na tri osnovne skupine (Šarin, 1984):

1. Karte krupnog mjerila - 1:25.000 i krupnije, 1:50.000, 1:100.000
2. Karte srednjeg mjerila – 1:200.000, 1:500.000
3. Karte sitnog mjerila – 1: 1.000.000 ili 1:2.000.000 i sitnije.

Danas se hidrogeološke karte izrađuju za razne namjene, tako da se na topografsku podlogu određenog mjerila nanose hidrogeološki podaci pa nastaje široki spektar prikaza podijeljeni na (Biondić, B., 2006):

1. pregledne hidrogeološke karte mjerila 1: 100.000 i sitnije – npr. pregledna hidrogeološka karta Republike Hrvatske u sklopu karte bivše Jugoslavije je mjerila 1:300.000. Riječ je o preglednoj karti sitnog mjerila koja prikazuje samo najznačajnije informacije hidrogeoloških značajki stijenskih masa i tla, prikaze značajnih sljevova i najvažnije vodne objekte: izvore i zdence (NIPP, 2022). Osnovna hidrogeološka karta Republike Hrvatske mjerila 1: 100.000 je u izradi, za sada je gotovo tek nekoliko listova (Slika 4), ali kad bude kompletna ona će biti osnovna podloga kako bi se mogla ocijeniti vrijednost i zaštita podzemnih vodnih resursa (HGI, 2022).
2. Hidrogeološke karte srednjeg mjerila 1:25.000 / 1: 50.000 – općeniti prikazi slivova i vodnih tijela.
3. Detaljne hidrogeološke karte 1: 10.000 / 1:5.000 / 1:1.000 i veće - detaljne ili namjenske hidrogeološke karte napravljene su s određenim ciljem npr. zaštita podzemnih voda, izgradanja hidroelektrana, istraživanje zahvata podzemnih voda, obrana od poplava i drugo.

Vrlo često je za određenu vrstu posla točno propisano koje se mjerilo kartografskog prikaza mora pripremiti. Tako na primjer, za izradu elaborata zona sanitarne zaštite pitke vode temeljni grafički prikazi sa svim potrebnim podacima za IV. i III. zonu sanitarne zaštite moraju biti u mjerilu 1:25.000, za II. zonu sanitarne zaštite u mjerilu 1:5.000 te za I. zonu sanitarne zaštite u mjerilu 1:1.000 (Pravilnik NN 66/11).



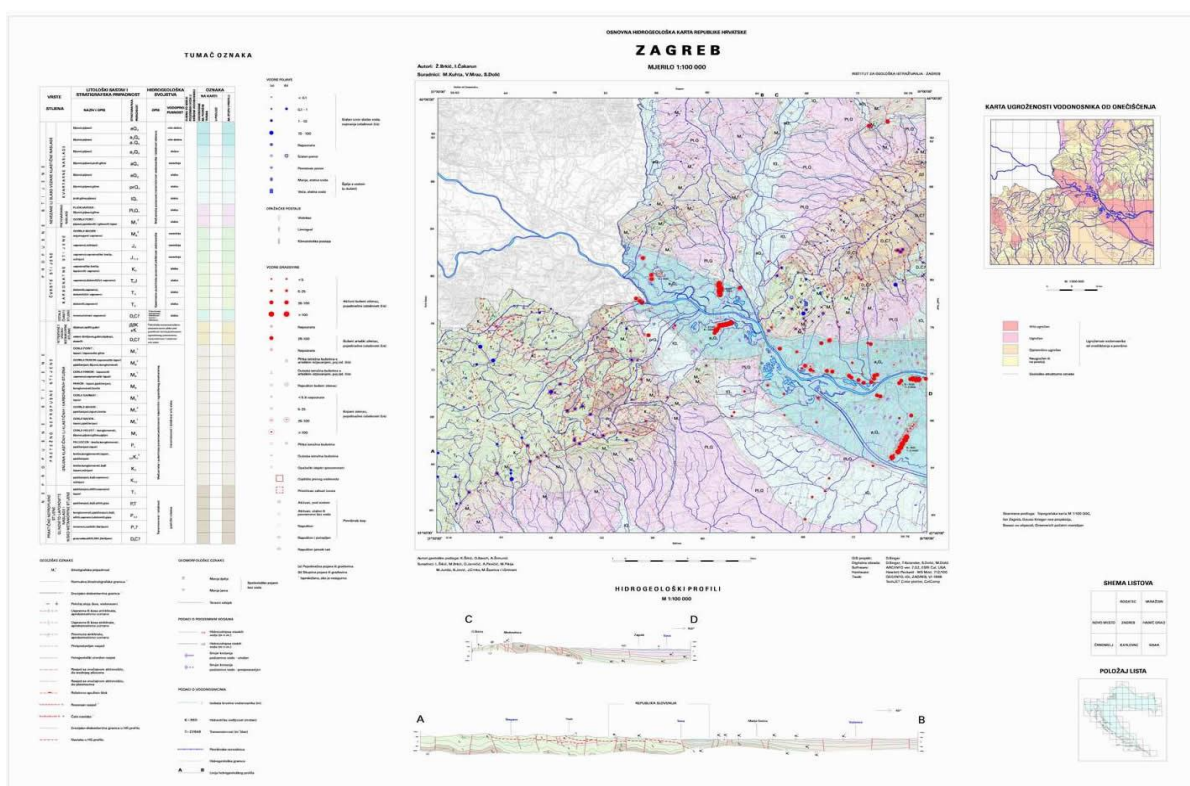
Slika 4. Osnovna hidrogeološka karta- List Rab (<https://www.hgi-cgs.hr/osnovna-hidrogeoloska-karta-republike-hrvatske-1100-000/>)

2.3. Osnovna hidrogeološka karta u mjerilu 1:100.000

Osnovna hidrogeološka karta 1: 100.000 izrađuje se za područje nekog sliva ili samo za dio sliva u kojem se prvo ocjenjuju hidrogeološka svojstva stijena, odnosno formacija koje su izdvojene geološkim kartiranjem. Zatim se snime sve vodne i karakteristične morfološke pojave i radi se baza hidrogeoloških podataka. Nakon toga se ocjenjuje vrijednost vodonosnika, smjer i dubina kretanja podzemne vode na temelju

pretpostavljenog i prostornog dubinskog rasporeda naslaga koje imaju različitu vodopropusnost, morfološke i vodne podatke te mjerenje količine i kvalitete vode koja teče kroz vodonosnik (Biondić, B., 2006).

Osnovna hidrogeološka karta Republike Hrvatske (OHGK), koja je prikazana na slici 5., je projekt koji je usmjeren na izučavanje podzemnih voda, što izravno utječe na korištenje i zaštitu podzemnih voda, njihovo pojavljivanje i obnavljanje. OHGK omogućuje vrlo bitne podatke prilikom planiranja i izvođenja vodoopskrbnih zahvata, za potrebe hidroenergetskih radova, prostornog planiranja, za potrebe zaštite i pregleda problema kod zagađivanja podzemnih voda.



Slika 5. Osnovna hidrogeološka karta Republike Hrvatske 1:100 000 - list Zagreb

(<https://omagi.hgi-cgs.hr/images/zgb-ohgk1.jpg>)

Izrada hidrogeološke karte nije samo crtanje objekata na topografskoj podlozi. Da bi karta bila točna i vjerodostojna najvažnije je provesti čitav niz istraživanja koja se sastoje od kabinetskih, terenskih i laboratorijskih istraživanja. Potrebno je prikupiti različite podatke i kvalitetno ih obraditi. To podrazumijeva na primjer podatke o mjerenjima količine istjecanja na izvorima ili kemijski sastav vode, zatim podatke o razinama podzemnih voda, ili, ako se radi istraživanje utjecaja na kakvoću podzemne vode potrebno je dobiti

podatke o dinamici podzemne vode, zatim analizirati odnos slane i slatke vode i na kraju utjecaj različitih ljudskih aktivnosti u slivnom području. Na početku 1990.-ih godina primjena računalne tehnologije postala je važan dio hidrogeološke kartografije. Do tada su se karte izrađivale klasično, iscrtavanjem na papiru, a nakon toga izrada karata postaje nezamisliva bez geografskog informacijskog sustava (GIS). Hidrogeološki katastar je zamijenjen bazom hidrogeoloških podataka koja sadrži vodne pojave i objekte, vodonosnike, speleološke objekte. Baza je sadržavala podatke o razini podzemne vode, fizikalno-kemijska svojstva podzemne vode, pokusna crpljenja. Baza hidrogeoloških podataka redovito se ažurira te je povezana s grafičkim podlogama u GIS okruženju. Istraživanja su raspoređena po cijelom teritoriju Republike Hrvatske, ali najveća pažnja je trenutno posvećena područjima slivova rijeka Like i Gacke (područje Like), južne Dalmacije, području rijeke Drave (Varaždinsko područje) te Save (područje istočne Slavonije). (HGI: <https://omagi.hgi-cgs.hr/Osnovna-hidrogeoloska-karta-Republike-Hrvatske.htm>)

OHGK se do sada prvenstveno izrađivala u formatu listova starih Osnovnih geoloških karata 1:100.000, no u zadnje vrijeme postoji tendencija izrade karata prema prirodnim cjelinama: slivovima ili geografskim područjima (NIPP, 2022). Na jednom listu Osnovne hidrogeološke karte (slika 5) vidljivo je mnoštvo zasebnih elemenata (puno više od onoga što je spomenuto da obavezno treba biti) i o tome će detaljno biti govora u poglavlju Elementi hidrogeološke karte.

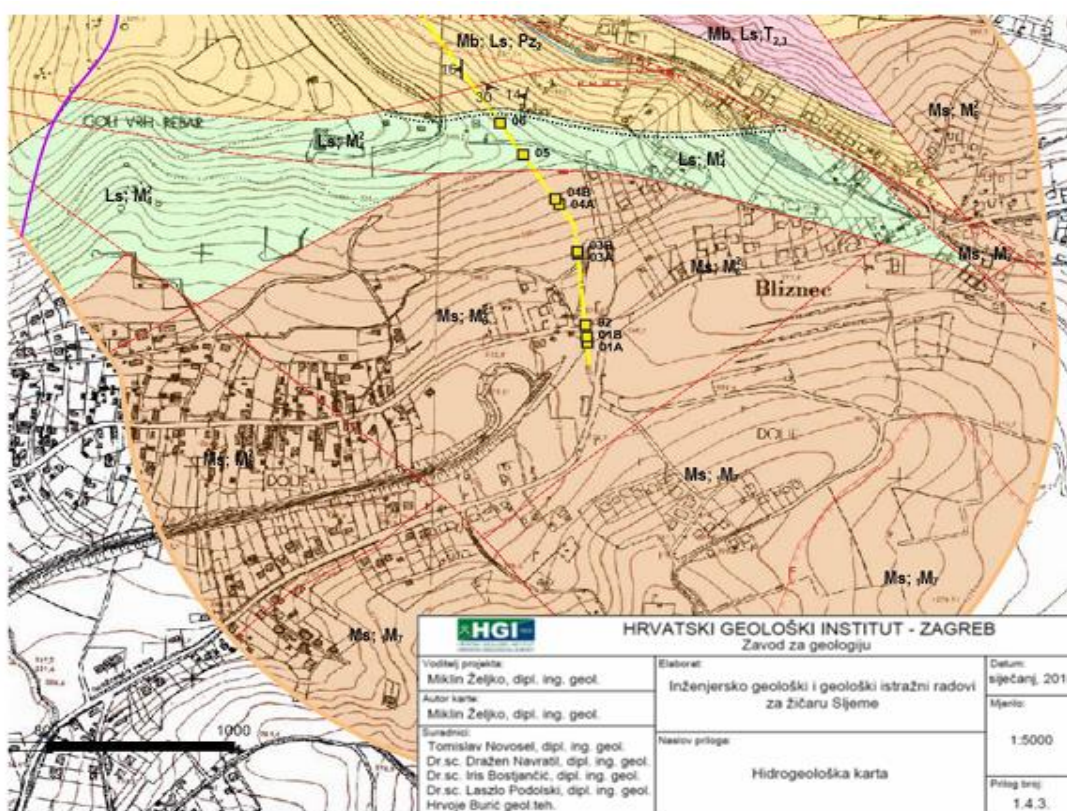
2.4. Detaljna hidrogeološka karta 1:5.000

Mjerilo 1:5.000 pripada kartama krupnog mjerila, a na njima su prikazani mali dijelovi Zemljine površine koji su detaljno istraženi te je prikaz izrađen s puno detalja neposredno nakon snimanja terena (slika 6). Detaljne hidrogeološke karte mikrolokacije mjerila M 1:5.000 predstavljaju koristan prikaz relativno malog područja i najčešće se izrađuju iz tri osnovna razloga (Hrvatske vode, 2022):

1. Detaljna hidrogeološka istraživanja vodonosnika s pukotinskom i pukotinsko-kavernoznom poroznosti – najčešće se prikazuje mikrolokacija ubacivanja trasera ili prikaz II. Zone zaštite izvorišta pitke vode.
2. Mikrozoniranje u svrhu određivanja mogućnosti izrade novog vodozahvata.

3. Izrade elaborata mikrozoniranja za potrebe gospodarskih subjekata koji se nalaze unutar zona sanitarne zaštite izvorišta pitke vode – unutar zona sanitarne zaštite mjere zaštite podrazumijevaju zabrane određenih djelatnosti ili aktivnosti. Zato se rade hidrogeološka mikrozoniranja takvih lokacija kada gospodarski subjekt želi dokazati da njegov objekt nema negativan utjecaj na podzemne vode i ne treba prekinuti djelatnost.

Na hidrogeološkoj karti krupnog mjerila (1:5.000) prikazuju se isti podaci kao i na Osnovnoj hidrogeološkoj karti, ali mnogo preciznije i s puno više detalja.



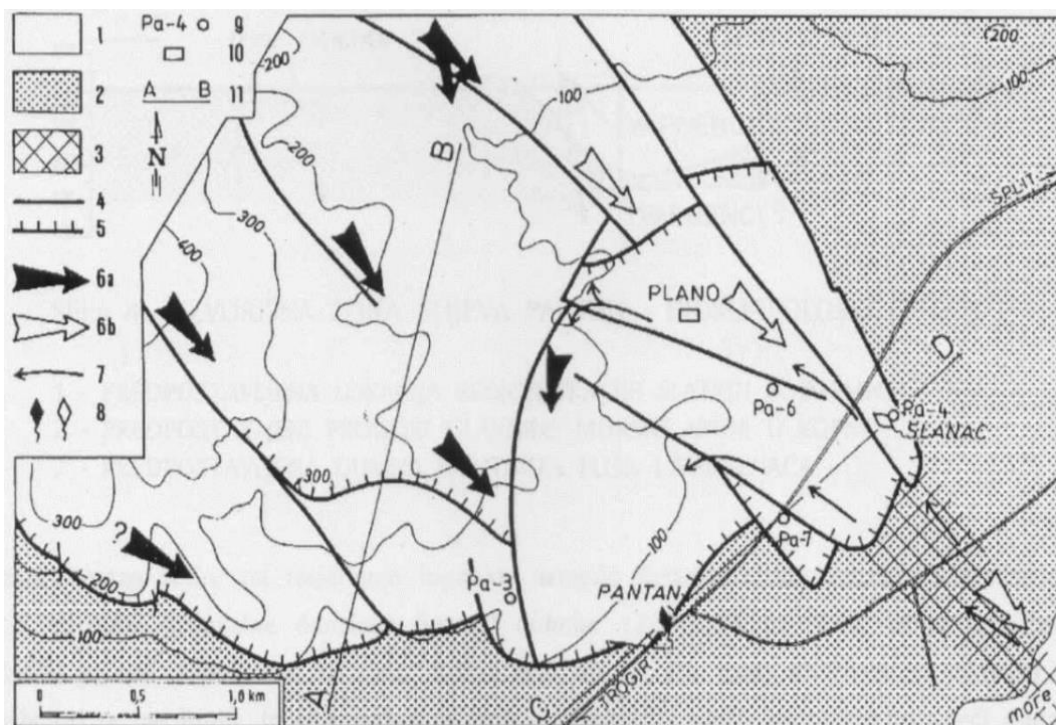
Slika 6: Hidrogeološka karta krupnog mjerila (1:5000) (Ortolan, 2019)

3. Elementi karte u GIS-u

Geografski informacijski sustav (GIS) je prema definiciji Nacionalnog centra za geografske informacije i analize (USA) sustav hardware-a, software-a i procedura koje nam omogućuju upravljanje, obradu, analizu, modeliranje, predstavljanje i prikaz georeferenciranih podataka sa svrhom rješavanja kompleksnih problema planiranja i gospodarenja prostorom (Biondić, R. 2013). Rad u GIS-u kombinira tri osnovna područja djelovanja: računalne vještine (mogućnosti korištenja računala i softvera), geografiju (razumijevanje prostornih podataka) te stručno područje na kojem se želi primijeniti GIS. Neka od stručni područja primjene su: geologija, građevinarstvo, javna administracija, šumarstvo, inženjerstvo okoliša, iako je danas teško zamisliti djelatnost koja ne koristi GIS barem u nekog segmentu svog rada. Preduvjet za korištenje GIS-a je poznavanje kartografije, prostornih statistika i analiza, a najvažnije je poznavanje geodezije radi definiranja ispravnog koordinatnog sustava. Osnovna svrha GIS-a je pružiti dovoljno informacija za podršku raznim odlukama, a u ovom slučaju najviše će biti govora o primjeni GIS-a kod upravljanja prirodnim resursima te kod zaštite okoliša.

Za upravljanje i istraživanje vodnih resursa GIS je vrlo bitan zbog modeliranja slivova, izrade podloga za urbanističke planove, izrade podloga za vodoopskrbne planove, izrade podloga za razvojne planove, kod određivanja najpovoljnijih trasa za promet opasnim teretima ovisno o položaju prometnica u slivu i zaštitnim zonama, definiranja lokacija i stupnja pročišćavanja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i kod mnogo drugih primjena (Biondić, R. 2013).

GIS nije samo alat za crtanje karata. Informacije su njegova glavna snaga, budući da sadrži bazu podataka o svakom objektu kojeg prikazuje, a time omogućuje jednostavnu i brzu izradu karata za različite namjene, ali GIS omogućuje i pristup informacijama koje nisu bile dostupne na tiskanim kartama i to je najveća prednost tog računalnog sustava. Prednost digitalnih podataka je lagano dodavanje i ispravljanje podataka, brz i lagan transfer putem Interneta ili mreža, prostor za pohranu je relativno malen, lagan je za korištenje. Dok kod analognih podataka cijela karta mora biti ponovno napravljena, treba veliki prostor za pohranu podataka, teže je za korištenje.



Slika 7. Analogni prikaz hidrogeološke karte izvorišne zone slijeva Pantan (Fritz & Kapelj, 1998)

GIS funkcionira na način da koristi slojeve („teme“) koji prekrivaju različite vrste prostornih podataka te tvore kartografski prikaz. Svaka tema prikazuje određen skup informacija kao što su prometnice, vodotoci, različiti tipovi šuma, hidrogeološke karakteristike terena i tako dalje. One se mogu međusobno uključivati i isključivati ovisno o tome koju temu želimo prikazati. GIS je skup alata gdje imamo vektorske i rasterske podatke s pripadajućim bazama podataka. Rasterski podaci koriste pravilan grid ćelija, a svaka ćelija je element slike (pixel). Kod vektorskih podataka slika se prikazuje pomoću točaka, linije i poligona koji su sastavljeni od koordinata, točka i linija, dok se podaci nalaze u atributnim tablicama. Vektorski podaci koji se mogu prikazati na karti su: vodotoci, izvori, ceste, hidrogeološke jedinice, vodene površine i slično. Podaci se skupljaju skeniranjem, digitaliziranjem, GPS-om, daljinskim istraživanjima i drugo. Način na koji se prikazuje neki objekt iz stvarnog svijeta ovisi o mjerilu i vrsti karte (što na njoj treba prikazati) i koji problem se želi riješiti GIS projektom (Biondić, R. 2013).

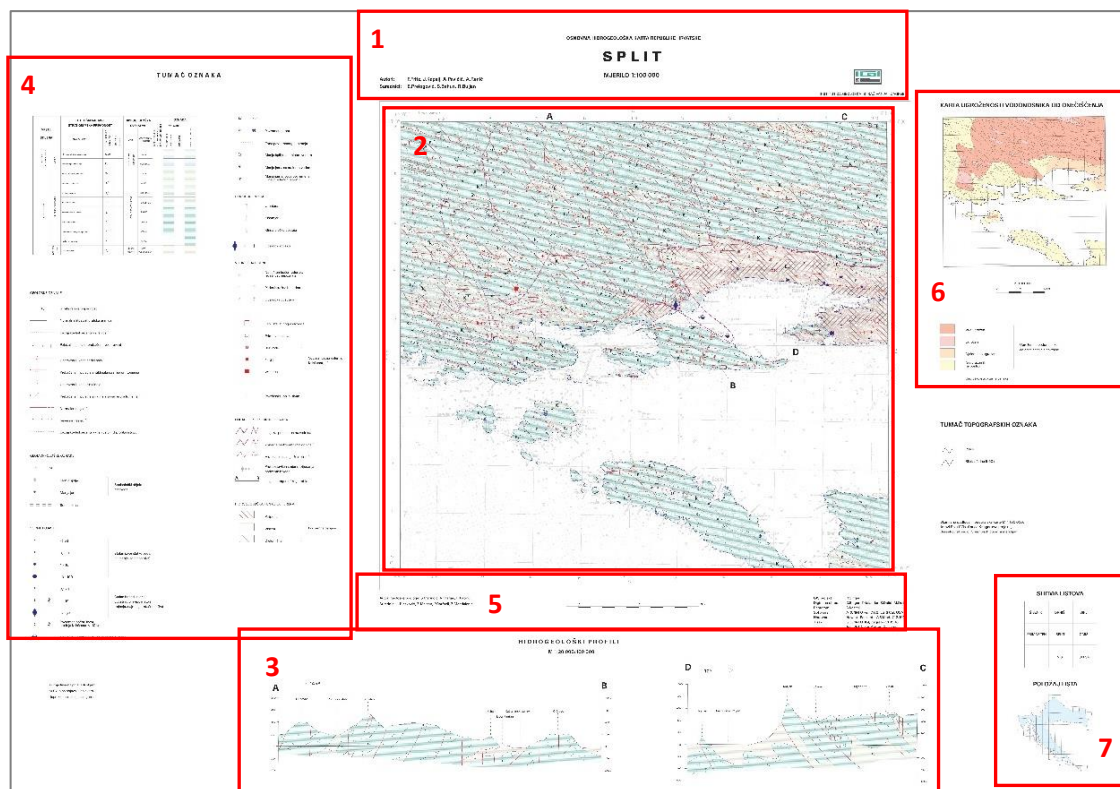
3.1. Elementi OHGK 1:100.000 pripremljeni u GIS-u

Na slici 8 prikazana je shema listova Osnovne hidrogeološke karte Republike Hrvatske mjerila 1:100.000. Sivi kvadratići su izrađene hidrogeološke karte dostupne za skidanje s mrežnih stranica Hrvatskog geološkog instituta na zahtjev.



Slika 8. Shema listova OHGK 1:100.000 (HGI: <https://www.hgi-cgs.hr/osnovna-hidrogeoloska-karta-republike-hrvatske-1100-000-shema-listova/>)

Jedan takav list gotove Osnovne hidrogeološke karte 1:100.000 koji je na zahtjev preuzet besplatno s mrežnih stranica Hrvatskog geološkog instituta je list Split (Fritz & Kapelj, 1998) koji je prikazan na slici 9. Preuzeta karta je vrlo dobre kvalitete prikaza, no zbog malih dimenzija prikaza u ovome radu nije baš pregledna, stoga će pomoću tog primjera biti će zasebno analizirani elementi hidrogeološke karte.



Slika 9. OHGK 1:100.000, list Split (HGI)

Na listu OHGK je vidljivo više zasebnih dijelova:

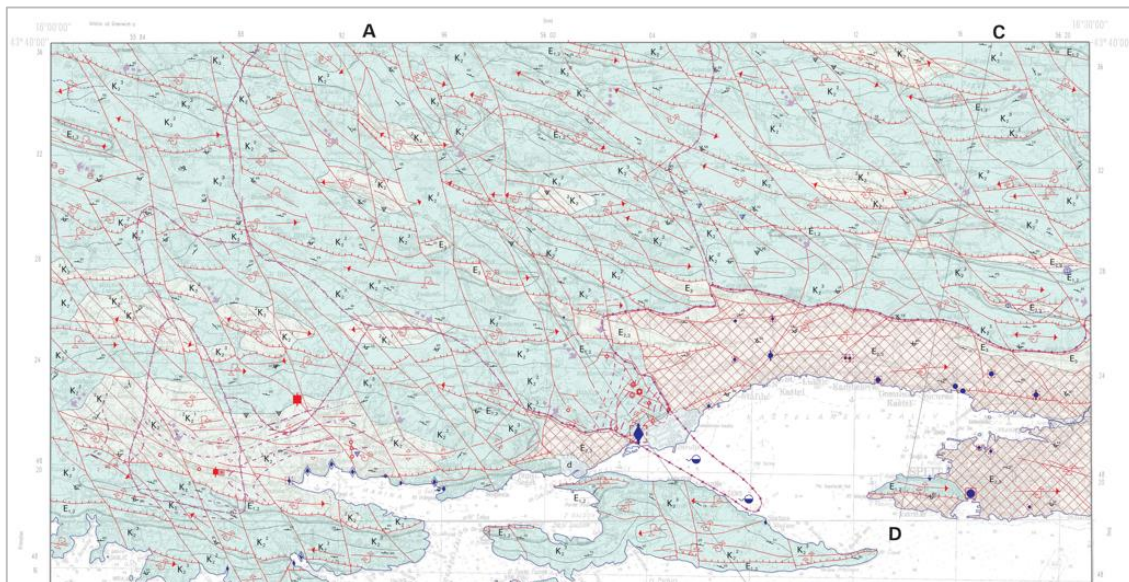
1. Naslov karte (Slika 10)
2. Područje prikaza karte (slika 11)
3. Hidrogeološki profili (slika 12)
4. Tumač oznaka razvrstan u više kategorija (slike 13 – 17)
5. Grafičko mjerilo i sastavnica (slika 18)
6. Karta ugroženosti vodonosnika (slika 19)
7. Prostorni smještaj lista na karti RH (slika 20)



Slika 10. Naslov lista OHGK 1: 100.000

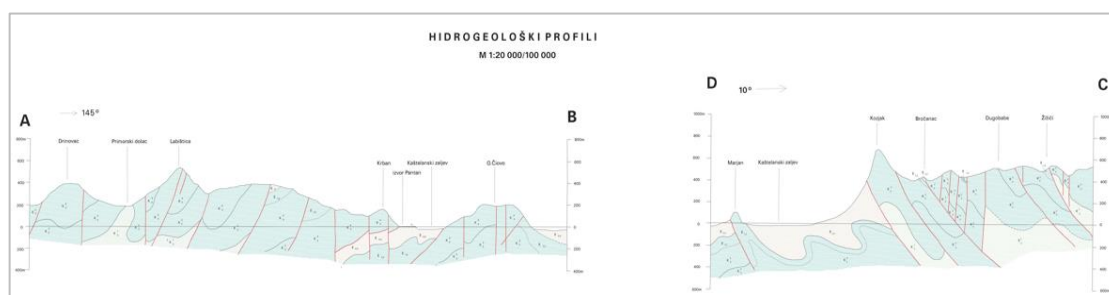
Naslov karte i lista smješten je na vrhu karte u centralnom dijelu, odmah ispod naslova piše i tekstualno mjerilo, jer je ustvari mjerilo sastavni dio naslova. Odmah ispod naziva

karte, a iznad područja prikaza pišu autori i suradnici s lijeve strane te institucija s desne strane.



Slika 11. Dio samog prikaza (sadržaja) OHGK 1: 100.000

Najveći dio područja karte zauzima sam prikaz podataka. On je smješten u središnjem dijelu karte, omeđen je koordinatnom mrežom s oznakama geografskog (u četiri ugla karte) i projiciranog (na osima karte) koordinatnog sustava.



Slika 12. Hidrogeološki profili na OHGK 1: 100.000

U centralnom donjem dijelu lista, ispod područja prikaza podataka nalaze se hidrogeološki profili, u ovom slučaju prikazana su dva profila. Hidrogeološki profili prikazuju dubinski raspored naslaga duž označene trase (na karti označeno slovima A-B i C-D).

Tumač oznaka hidrogeološke karte je vrlo detaljan i sveobuhvatan, ali najvažnije je reći da se oznake na hidrogeološkim kartama rade standardizirano, tako da bez obzira na list i autora i bez da se gleda pridruženi tumač na svakom listu, oznake bi trebale biti jednake i razumljive. Važno je napomenuti da tumač oznaka hidrogeološke karte i Tumač hidrogeološke karte nisu jedno te isto. Dok se prvi pojam odnosi isključivo na objašnjenje korištenih oznaka i ustvari predstavlja legendu karte, Tumač hidrogeološke karte je zaseban, opsežan tekstualni dokument u kojem su detaljno obrazloženi hidrogeološki odnosi promatranog područja, u ovom slučaju Tumač lista Split (Fritz & Kapelj, 1998). Tumač oznaka grupiran je u nekoliko dijelova. Obično tabelarni prikaz objašnjava poligonske podatke koji se odnose na vrstu i sastav stijena te njihova svojstva propusnosti (slika 13).

VRSTE STIJENA			LITOLOŠKI SASTAV I STRATIGRAFSKA PRIPADNOST			HIDROGEOLOŠKA SVOJSTVA		DUBINA DO NISKIH PODZEMNIH VODA U KRŠKOM VODONOSNIKU	OZNAKA			
			NAZIV I OPIS	STRATIGRAFSKA PRIPADNOST	LITOLOŠKA OZNAKA	OPIS	VODOPRO- PUSNOST		NA KARTI		NA STUPU I PROFILU	
									VODONOSNIK NA POV. TER.	U PODLOZI		
NEVEZANE KLASTIČNE NASLAGE	KVARTAR	Crvenica s kršjem vapnenaca	Q ₁ ts		MEĐUZEMSKA POROZNOST	SLABA						
		Nanos vapnenca i kršja	Q ₂			OSREDNJA						
	KARBONATNE STIJENE	Breče i brežokonglomerati	E ₁		PUKOTINSKA POROZNOST	SLABA						
		Dolomiti i vapnenci	K ₂ ¹			SLABA						
		Pločasti vapnenci	K ₂ ²			OSREDNJA						
		Pločasti vapnenci	K ₂ ¹			OSREDNJA						
		Foraminiferski vapnenci	E _{1,2}			DOBRA						
		Rudisti vapnenci	K ₂ ³			DOBRA						
		Gromadasti i uslojeni vapnenci	K ₂ ²			DOBRA						
		Uslojeni vapnenci	K ₁			DOBRA						
		KLASTIČNE STIJENE	Fliske naslage	?E _{2,3}			NEPROP. STIJENE	NEMA VODONOSNIKA				

Slika 13. Dio tumača oznaka na OHGK 1: 100.000 vezan za hidrogeološke karakteristike stijena na području prikaza

Osim poligonskih podataka za vrste naslaga, u tumaču oznaka ima čitav niz točkastih i linijskih simbola, vezano za vodne objekte, vodne građevine, geomorfološke objekte, granice slivova, smjer tečenja podzemne vode i drugo (slike 14 – 17).

GEOLOŠKE OZNAKE	
K_2^2	Stratigrafska pripadnost
	Normalna litostratigrafska granica
	Erozijsko-diskordantna granica *
	Položaj sloja (kos, prebačen i vodoravan)
	Uspravna ili kosa antiklinala *
	Prebačena ili polegla antiklinala sa smjerom tonjenja *
	Uspravna ili kosa sinklinala *
	Prebačena ili polegla sinklinala sa smjerom tonjenja *
	Normalan rasjed *
	Reversan rasjed *
	Erozijsko-diskordantna granica u HG profilu i stupu

Slika 14. Dio tumača oznaka na OHGK 1: 100.000 vezan za geološke granice i tektoniku

VODNE POJAVE		(a)	(b)	
	< 0.1			Povremen ponor
	0,1 - 1			Zona povremenog poniranja
	1 - 10			Manja špilja sa stalnom vodom
	10 - 100			Manja jama sa stalnom vodom
	0,1 - 1			Manja jama, voda povremena ili neodređenog trajanja
	1 - 10	OPAŽAČKE POSTAJE		
	> 100			
	Povremen bočati izvor, srednja izdašnost < 10 l/s			Limnigraf
	Vrulja velike izdašnosti, povremeno aktivna			Kišomjer
				Klimatološka postaja
				Opažački objekti

Slika 15. Dio tumača oznaka na OHGK 1: 100.000 vezan za vodne pojave

VODNE GRAĐEVINE	
	Napušten bušeni zdenac, izdašnost nepoznata
	Plitka istražna bušotina
	Opažačka bušotina
	Crpilište javnog vodovoda
	Primitivan zahvat
	Bez vode
	1 - 25
	25 - 100
Vodozahvatna galerija, izdašnost, (l/s)	
	Površinski kop, aktivan

Slika 16. Dio tumača oznaka na OHGK 1: 100.000 vezan za vodne građevine

GEOMORFOLOŠKE OZNAKE		PODACI O PODZEMNIM VODAMA		HIDROGEOLOŠKA FUNKCIJA TERENA	
(a)	(b)		Linijnska podzemna razvodnica *		Potpuna
	Manja špilja		Zonarna podzemna razvodnica *		Viseća
	Manja jama		Hidroizopieza najniže razine *		Djelomična
	Suha dolina		Pretpostavljen smjer protjecanja podzemnih voda		
		A B	Linija hidrogeološkog profila		
					Podzemna barijera

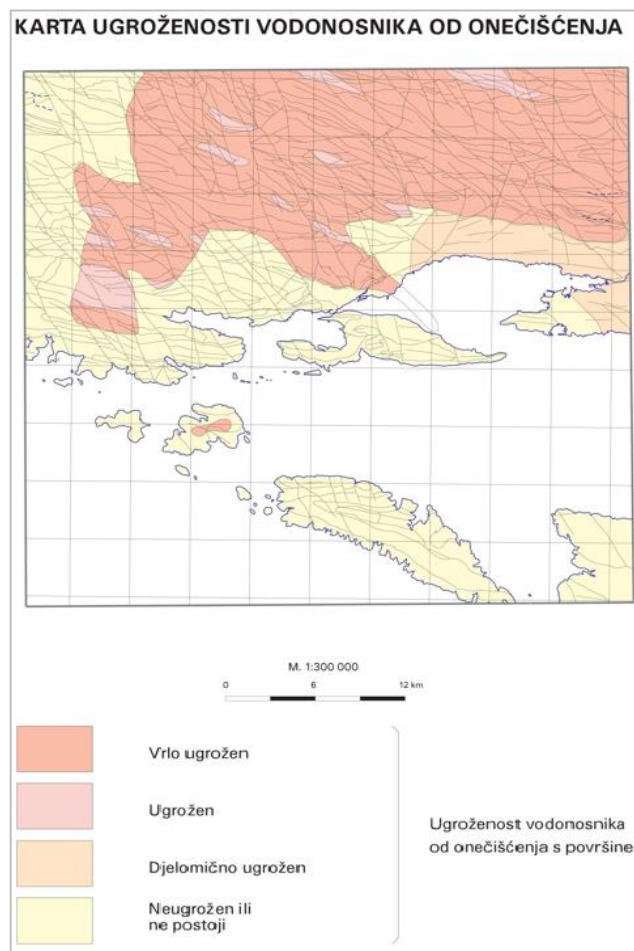
Slika 17. Dio tumača oznaka na OHGK 1: 100.000 s preostalim oznakama

Svaka karta pa tako i OHGK ima grafičko mjerilo i neke osnovne podatke koji su u ovom slučaju smješteni u centralnom dijelu između područja prikaza karte i hidrogeoloških profila.

Autori geološke podloge: S.Marinčić, N.Magaš, I.Borović		GIS projekt:	D.Singer
Suradnici: I. Blašković, Ž.Majcen, P.Raffaelli, Z.Magdalenić		Digitalna obrada:	D.Singer, T.Kolander, S.Dolić, M.Dolić
		Priprema:	S.Košćal
		Software:	ARC/INFO ver. 7.02, ESRI Cal. USA
		Hardware:	Hewlett-Packard - WS Mod. 712/100
		Tisak:	GEO/INFO, IGI, Zagreb - VI 1998
			TechJET Color Plotter, Calcomp

Slika 18. Grafičko mjerilo i sastavnica na OHGK 1: 100.000

Kao dodatni podaci na novoj OHGK 1:100.000 nalazi se i karta ugroženosti vodonosnika od onečišćenja u mjerilu 1:300.000 (slika 19) te položaj lista na karti RH (slika 20).



Slika 19. Karta ugroženosti vodonosnika od onečišćenja na OHGK 1: 300.000



Slika 20. Prostorni smještaj lista na karti RH

Osim svih ovdje objašnjenih dijelova karte i prikazanih oznaka koji su prisutni na ovome listu, ovisno o situaciji na području prikaza moguća je pojava dodatnih simbola, a svi oni mogu se naći na vodiču za izradu hidrogeološke karte. Tako se mogu prikazivati:

Vodne pojave:

- izvori: stalni, povremeni, stalni bočati, povremeni bočati
- izvori- zdenac
- potopljeni krški izvor
- estavele, izdašnost nepoznata
- vrulja: male izdašnosti, male izdašnosti- povremena, velike izdašnosti, velike izdašnosti - povremena
- zona izviranja

Geomorfološki objekti:

- stalni ponor
- povremeni ponor
- manja špilja- stalni ponor
- velika špilja- stalni ponor
- mala špilja- ponor povremen ili neodređen
- velika špilja- ponor povremen ili neodređen

Vodne građevine :

- aktivan bušeni zdenac, pojedinačne izdašnosti
- subarteški bušeni zdenac, pojedinačne izdašnosti
- arteški bušeni zdenac, pojedinačne izdašnosti
- kopani zdenac, pojedinačne izdašnosti

Opažački objekti:

- vodokaz
- limnigraf
- kišomjer
- klimatološka stanica višeg reda

Termomineralna i kemijska svojstva vodonosnika:

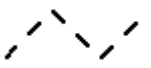
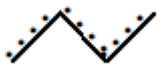
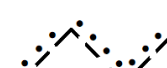
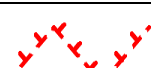
- studena voda
- zagrijana voda
- topla voda
- vruća voda
- obalna linija slanog jezera
- mineralna voda (zbog povišenog sadržaja, naročito aktivnih kemijskih sastojaka)
- kupališta, lječilišta
- sadržaj klorida u plitkoj podzemnoj vodi
- osnovni ioni.

3.2. Priprema elemenata hidrogeološke karte u ArcGIS-u

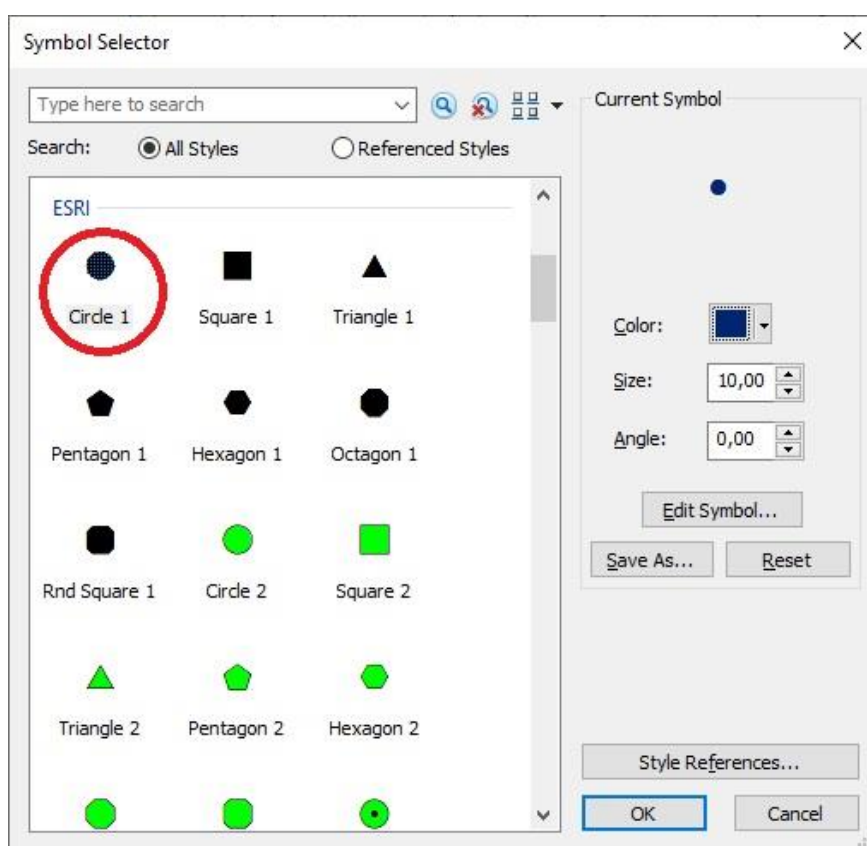
Za pripremu i izradu karata prvo je potreban kabinetski rad koji uključuje prikupljanje izvora i literature (objavljenih radova i neobjavljenih materijala, najčešće stručnih elaborata i izvješća u arhivima). Izvor je djelo čiji se podaci koriste za izradu novih karata. Izvor može biti popis hidrogeoloških svojstva, baza podataka speleoloških objekata (špilja, jama) koji se stavljaju na hidrogeološku kartu. Izvore dijelimo na grafičke, pisane i literaturne (Buzjak, 2022). Nakon kabinetskog rada slijedi terenski dio posla za prikupljanje novih setova podataka te ponovo obrada podataka i priprema za njihov kartografski prikaz

U ovom poglavlju biti će prikazan postupak pripreme elemenata hidrogeološke karte za prikaz u GIS-u. U tu svrhu korišten je ArcGIS softver američke tvrtke ESRI verzija 10.3 napredne razine licence za edukacijske svrhe Geotehničkog fakulteta. Tumač Osnovne hidrogeološke karte ima čitav niz unaprijed definiranih simbola kako bi se osigurala standardizacija karte bez obzira na autora. Neki simboli su vrlo jednostavni, a za neke je potrebno kombinirati više elemenata u jedan. U ovom radu biti će objašnjena izrada nekoliko osnovnih i vrlo često korištenih simbola za sva tri tipa podataka (točke, linije i poligone). Svi izrađeni simboli su prikazani i u tablici 1.

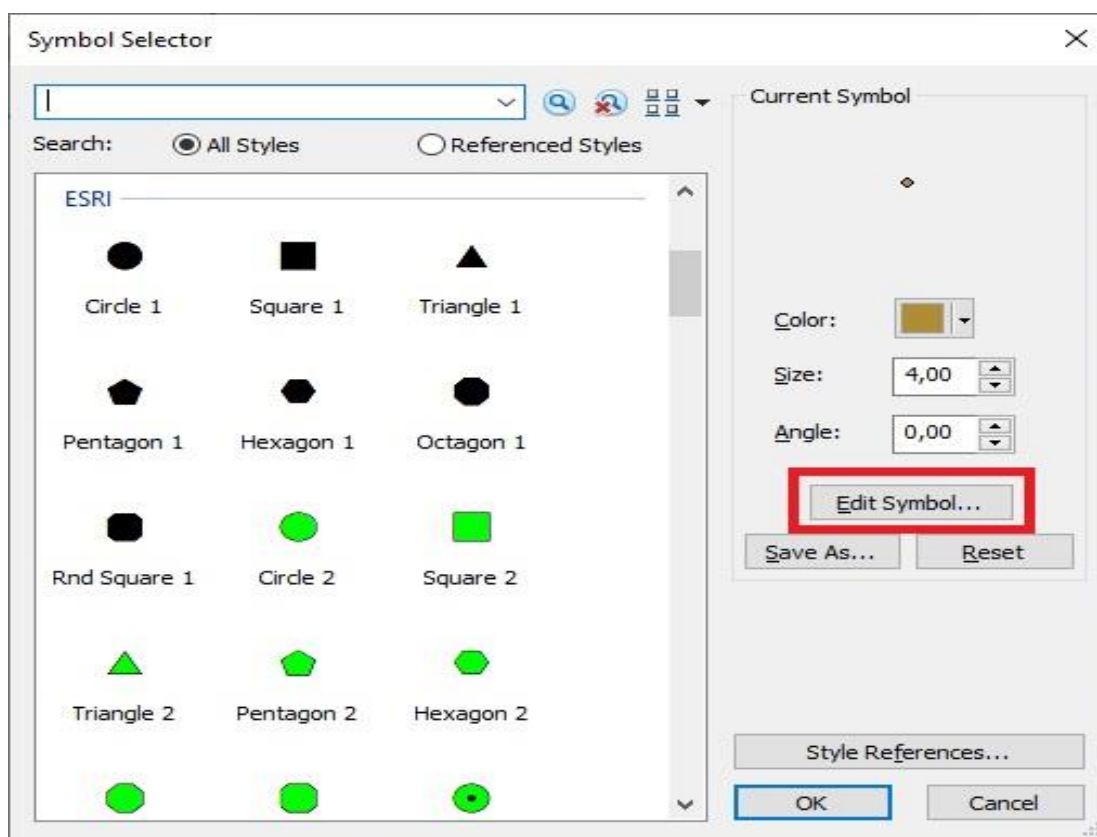
Tablica 1. Osnovni simboli izrađeni u ArcGIS-u.

SIMBOL	NAZIV POJAVE	OPIS	NAPOMENA
PODZEMNO – VODNE POJAVE			
	Stalni izvor	Puni krug plave boje	Veličina kruga ovisi o izdašnosti izvora
	Povremeni izvor	Krug horizontalno podijeljen na dva dijela, gornja strana prazna, a donja ispunjena plavom bojom	Veličina kruga ovisi o izdašnosti izvora
GEOLOŠKI PODACI			
	Normalna litostratigrafska granica - utvrđena	Puna crna linija	
	Normalna litostratigrafska granica - pretpostavljena	Isprekidana crna linija	
	Erozijsko – diskordantna geološka granica	Puna crna linija s točkicama na gornjoj strani	
	Erozijsko – diskordantna geološka granica - pretpostavljena	Isprekidana crna linija s točkicama na gornjoj strani	
	Normalni rasjed - utvrđeni	Puna crvena linija	
	Normalni rasjed - pretpostavljeni	Isprekidana crvena linija	
	Reversni rasjed	Puna crvena linija s okomitim crticama na gornjoj strani	
	Reversni rasjed - pretpostavljeni	Isprekidana crvena linija s okomitim crticama na gornjoj strani	
	Os uspravne ili kose antiklinale - utvrđena	Puna crvena linija s trokutima čije osnovice leže s obje strane linije	
	Os uspravne ili kose antiklinale - pretpostavljena	Isprekidana crvena linija s trokutima čije osnovice leže s obje strane linije	
	Os uspravne ili kose sinklinale - utvrđena	Puna crvena linija s trokutima čiji vrh je s obje strane linije	
	Os uspravne ili kose sinklinale - pretpostavljena	Isprekidana crvena linija s trokutima čiji je s obje strane linije	
	Os pognute ili prebačene antiklinale s označenim smjerom tonjenja	Puna crvena ravna linija sa središnjim simbolom i strelicom	

U ArcGIS-u simbol se izrađuje u *ArcMap-u* za svaki sloj pojedinačno. ArcGIS uvijek nudi određen broj standardnih simbola. Međutim vrlo često specifični hidrogeološki simboli nisu u osnovnoj ponudi pa ih treba izraditi. U slučaju simbola za stalni izvor nije bilo problema, korišten je ESRI-ev simbol *Circle 1* što je prikazano na slici 21, uz podešavanje u plavu boju (*Dark Navy*) i prilagođenu veličinu u ovom slučaju 20. Za simbol povremenog izvora nije u ponudi bilo standardnog simbola, nego je bilo potrebno izraditi prilagođeni simbol pomoću opcije *Edit Symbol* u *Symbol selector* dijaloškom okviru prikazano na slici 22.

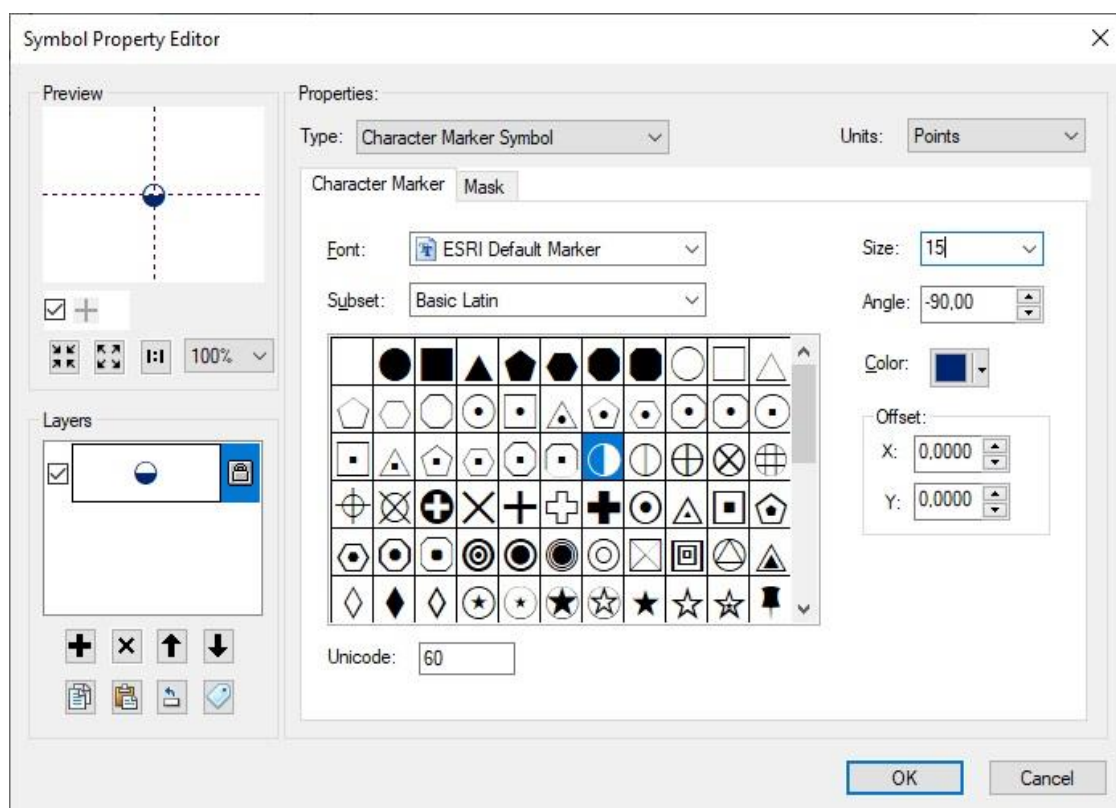


Slika 21. Prikaz simbola stalnog izvora u ArcGIS-u



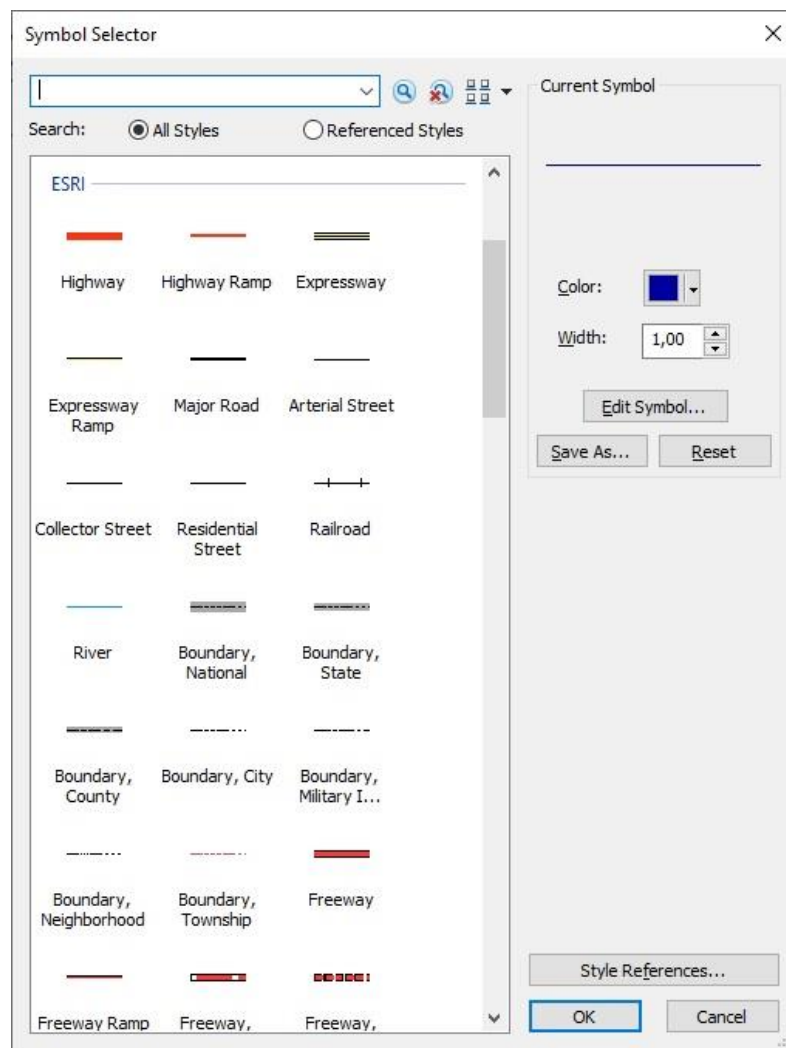
Slika 22. Prikaz opcije *Edit Symbol* u *Symbol selector* dijaloškom okviru

U ponudi dodatnih točkastih simbola nalazi se jedan sličan onome koji bi zadovoljio (krug vertikalno podijeljen na dva dijela, lijeva strana prazna, a desna ispunjena). Odabirom tog simbola i njegovim dodatnim podešavanjem (zakretanje za -90° i odabir boje te veličine), dobiven je simbol za povremeni izvor, slika 23.



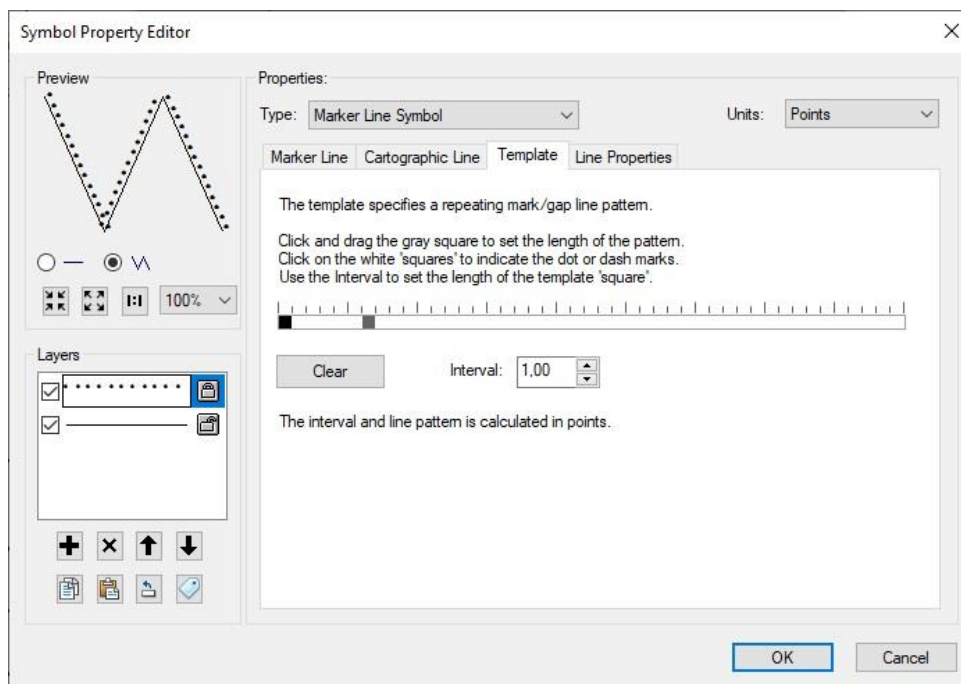
Slika 23. Prikaz podešavanja povremenog izvora u ArcGIS-u.

Litostratigrafska normalna granica ima jednostavan simbol crne pune linije određene debljine, slika 24. Ukoliko je geološka granica postavljena (nije u potpunosti potvrđena) koristi se isprekidana crna linija koja je također u standardnoj ponudi.



Slika 24. Prikaz simbola linije

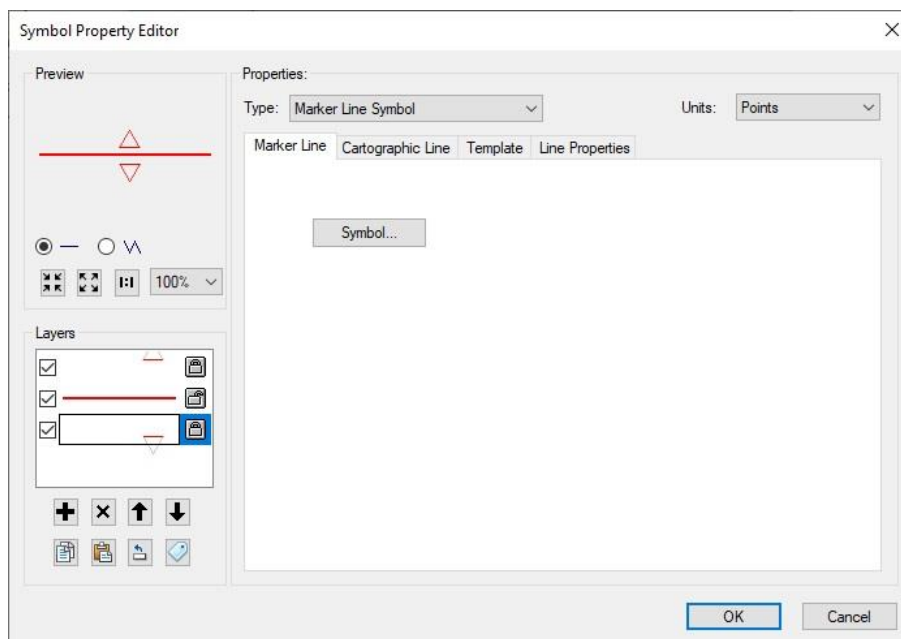
Simbol erozijsko - diskordantne geološke granice je složeni simbol u dva dijela, u podlozi je puna crna linija na koju u gornjem dijelu dolaze crne točkice u pravilnom rasporedu. Takav simbol također nije u standardnoj ponudi pa ga je potrebno izraditi (slika 25). ArcGIS omogućava kombinaciju više različitih elemenata u jedan. U ovom slučaju kombiniraju se linijski simbol (*simple line*) i točkasti simbol (*marker symbol*). Pri tome je moguće fino podesiti njihov međudodnos, na način da se bira međusobna udaljenost (*offset*) i opciju ponavljanja točkastog simbola (odnos simbol/praznina).



Slika 25. Prikaz podešavanja simbola erozijsko- diskordantne granice u ArcGIS-u

Simbol normalnog rasjeda je jednostavna linija crvene boje. Pretpostavljen rasjed je isprekidana crvena linija. Reversni rasjed ima složenu strukturu simbola iz dva dijela. Način izrade tog simbola je jednak onome za erozijsko – diskordantnu granicu, samo što u ovom slučaju nisu točkice već male linije okomite i spojene na osnovnu liniju, tako da podsjećaju na češalj (simbol je prikazan u tablici 1).

Simboli antiklinale i sinklinale svih vrsta također su složeni simboli i sastoje se od više dijelova. Glavni dio čini crvena linija koja je puna ako se radi o utvrđenoj ili je isprekidana ako se radi o pretpostavljenoj antiklinali ili sinklinali. Drugi dio simbola je znak koji razvrstava vrstu bore (Tablica 1). Budući da se svi rade na sličan način, detaljno će biti objašnjen samo jedan, ali slično vrijedi za sve. Simbol za os uspravne ili kose antiklinale radi se iz tri dijela, u sredini je linija crvene boje, a s obje strane linije nalaze se crveni trokuti bez ispune i njihova je osnovica obavezno uz liniju, kao što je prikazano na slici 26.

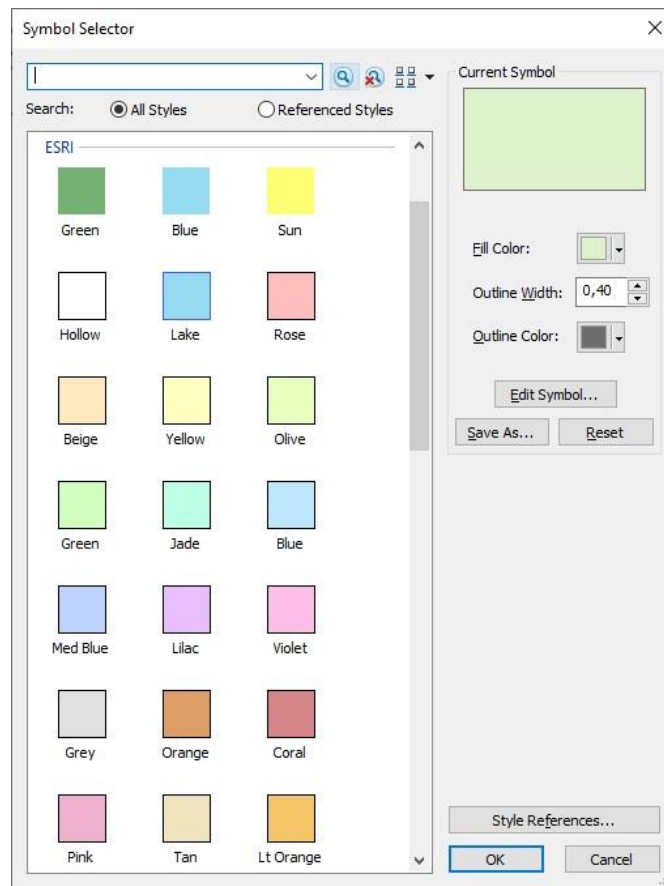


Slika 26. Izrada antiklinale u ArcGIS-u

Na isti način radi se i sinklinala samo je u tom slučaju uz liniju okrenut vrh trokuta koji se nalaze s obje strane linije. Ako su antiklinala i sinklinala pretpostavljene (nepotvrđene) onda je središnja linija crtkana. Simbol za os prebačene ili polegnute antiklinale ili sinklinale izrađuje se na potpuno istom principu, samo je središnji simbol nešto drugačiji.

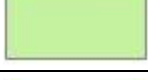
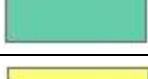
Poligonski podaci se razvrstavaju prema hidrogeološkim svojstvima stijena i naslaga, a o kombinaciji vrste vodonosnika i izdašnosti zdenaca i izvora u pojedinim tipovima stijena ovisi njihova boja, kao što je prikazana u tablici 2. Boja poligona podešava se prilično jednostavno odabirom odgovarajuće nijanse u *Symbol Selector* dijaloškom okviru, slika 27.

U legendi jednog lista hidrogeološke karte prikazuju se samo simboli korišteni na dotičnom listu. Obično se poligonski podaci o hidrogeološkim karakteristikama prikazuju u tablici uz detaljne opise, a ostali simboli nalaze se izvan tablice (kao što je prikazano na slici 9).



Slika 27. Podešavanje boje poligona u dijaloškom okviru *Symbol Selector*

Tablica 2. Hidrogeološka svojstva jedinica

HIDROGEOLOŠKA SVOJSTVA JEDINICA		
SIMBOL	PROPUSNOST	VRSTA VODONOSNIKA I IZDAŠNOST ZDENACA
	Slaba	Međuzrnska poroznost, transmisivnost vodonosnika i izdašnost zdenca
	Osrednja	
	Dobra	
	Vrlo dobra	
	Slaba	Međuzrnska poroznost, transmisivnost vodonosnika i izdašnost zdenca i izvora
	Osrednja	
	Slaba	Kavernozno - pukotinska poroznost, okršenost vodonosnika
	Osrednja	
	Dobra	
	Slaba	Pukotinska poroznost, raspucanost i izdašnost izvora i zdenaca
	Osrednja	
		Međuzrnska poroznost, vodonosnici mjestimični i ograničenog prostranstva, transmisivnost i izdašnost različite, pretežito vrlo slabe
		Pukotinska poroznost stijene propusne samo plitko pod površinom terena, a u dubini nepropusne, vodonosnici mjestimični i ograničenog prostranstva, transmisivnost i izdašnost gornje zone uglavnom vrlo dobre
		Međuzrnska ili pukotinska poroznost, vodonosnici mjestimični i ograničenog prostranstva, transmisivnost i izdašnost vrlo slabi
		Glinovite - laporovite naslage i nisko metamorfne stijene, nema vodonosnika

4. Zaključak

Hidrogeologija je interdisciplinarna znanost koja se bavi proučavanjem podzemne vode. Podzemna voda je vrlo važan resurs u životu čovjeka, a zbog povećane potražnje za vodom raste opterećenje na nju. Sukladno tome dolazi do smanjenja kvalitete vode, ali i do prekomjernog iskorištavanja. Da bi zaštitili vodu potrebno je donijeti niz zakonskih regulativa koje propisuju zone i mjere zaštite pa je potrebno provesti niz hidrogeoloških istraživanja. Temelj svih hidrogeoloških istraživanja je izrada hidrogeološke karte koja prikazuje osnovna hidrogeološka svojstva naslaga na nekom području, a prikazuje se propusnost stijena, slivovi, vodna tijela te utvrđene podzemno-vodne veze.

Za upravljanje i istraživanje vodnih resursa GIS je vrlo bitan zbog modeliranja slivova, izrade podloga za urbanističke planove, izrade podloga za vodoopskrbne planove, izrade podloga za razvojne planove kod određivanja najpovoljnijih trasa za promet opasnim teretima ovisno o položaju prometnica u slivu i zaštitnim zonama, definiranja lokacija i stupnja pročišćavanja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i kod mnogo drugih primjena. Izrada hidrogeoloških karata danas je nezamisliva bez GIS-a koji sadrži bazu podataka koja omogućuje jednostavnu i brzu izradu karata različitih namjena, ali i pristup informacijama koje nisu bile dostupne na tiskanim kartama. Kartiranje je samo jedan aspekt hidrogeoloških istraživanja. Razvojem GIS-a i računalne tehnologije došlo je do prelaska s crtanja karata na papiru na izradu digitalnih karata u GIS-u, ali i dodatnih mogućnosti upravljanja podacima, modeliranja i rada na prostornim analizama.

Elementi hidrogeološke karte su unaprijed dogovoreni i standardizirani. Tumač oznaka hidrogeološke karte je vrlo detaljan i sveobuhvatan, ali najvažnije je da oznake na hidrogeološkim kartama budu standardizirane, tako da bez obzira na list i autora oznake budu jednake i svima razumljive.

5. Popis literature:

- Biondić, B. (2006): Hidrogeologija, interna skripta za istoimeni kolegij. Geotehnički fakultet Sveučilište u Zagrebu. Dostupno na: https://moodle.srce.hr/2021-2022/pluginfile.php/6190987/mod_resource/content/1/HG%20skripta%20compress.pdf Datum pristupa: 01.07.2022.
- Biondić, R. (2022): Hidrogeologija, materijali za predavanja u akademskoj godini 2021/2022 na Geotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Dostupno na Merlin stranici kolegija: <https://moodle.srce.hr/2021-2022/course/view.php?id=96223> Datum pristupa: 01.07.2022.
- Biondić, R. (2013): Uvod u GIS (Geografski informacijski sustav) skripta iz kolegija GIS na Geotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Dostupno na Merlin stranici kolegija: <https://moodle.srce.hr/2021-2022/course/view.php?id=96189> Datum pristupa: 12.05.2022.
- Buzjak, N. (2022): Geoekološko kartiranje, Kartiranje geobaštine i georaznolikosti. materijali za predavanja u akademskoj godini 2021/2022 na Geografskom odsjeku PMF-a Sveučilišta u Zagrebu. Datum pristupa: 05.07.2022. Dostupno na: <https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/pg2.pdf>
- Chaminé, H. I., Carvalho, J. M., Teixeira, J., & Freitas, L. (2015). Role of hydrogeological mapping in groundwater practice: back to basics. European Geologist Journal, 40, 34-42.
- Fritz, F., Kapelj, J., Pavičić, A. & Renić, A. (1998): Osnovna hidrogeološka karta Republike Hrvatske 1:100.000, List Split. – Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- Fritz, F. & Kapelj, J. (1998): Osnovna hidrogeološka karta Republike Hrvatske 1:100.000, Tumač za List Split. – Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 45 str.
- HGI, službena web stranica Hrvatskog geološkog instituta: Dostupno na: <https://www.hgi-cgs.hr/hidrogeoloska-istrazivanja/> Datum pristupa: 25.06.2022.
- HGI, službena web stranica Hrvatskog geološkog instituta, OHGK: Dostupno na: <https://omagi.hgi-cgs.hr/Osnovna-hidrogeoloska-karta-Republike-Hrvatske.htm> Datum pristupa: 25.06.2022.

- Hidrogeologija. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Datum pristupa: 10. 7. 2022.
<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=25405>
- Loborec J. (2022) - Hidrogeologija, materijali za vježbe iz kolegija Hidrogeologija u akademskoj godini 2021/2022 na Geotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Dostupno na Merlin stranici kolegija: <https://moodle.srce.hr/2021-2022/course/view.php?id=96223> Datum pristupa: 01.07.2022.
- Nacionalna infrastruktura prostornih podataka (NIPP) (2022): Osnovna hidrogeološka karta RH mjerila 1: 100.000 Dostupno na: <https://registri.nipp.hr/izvori/view.php?id=50>
- Okvirna direktiva o vodama (ODV 2000/60/EC). Dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/ALL/?uri=CELEX:32000L0060>
- Ortolan Želimir (2019): Stručno mišljenje o hidrogeološkim rubnim uvjetima temeljenja građevine donje postaje žičare Sljeme. RNK-GEOMOD, Elaborat: E-239-2019.
- Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta NN 66/2011. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2011_06_66_1460.html
- Proleksis enciklopedija. Natuknica – hidrogeologija. Dostupno na: <https://proleksis.lzmk.hr/26377/> Datum pristupa: 15.06.2022.
- Šarin, A. (1984): Klasifikacija hidrogeoloških karata. Geološki vjesnik, 37, Zagreb 1984. Dostupno na: http://31.147.204.208/clanci/1984_Sarin_815.pdf
- Šarin, A. (1988): Upute za izradu Osnovne hidrogeološke karte Jugoslavije M 1:100.000.- Savezni geološki zavod, Beograd, 134 str. Dostupno na: http://31.147.204.208/clanci/1984_Sarin_815.pdf
- Hrvatske vode (2022): Sadržaj elaborata o izvedenim vodoistražnim radovima - mikrozoniranje.
- Struckmeier, W.F. & Margat, J. (1995): Hydrogeological Maps - A Guide and a Standard Legen.- International Association of Hydrogeologists, International Contributions to Hydrogeology, Vol. 17, pp. 177, Heise, Hannover, ISBN 3-922705-98-7.

6. Popis slika:

Slika 1. Današnji izgled kanata (lijevo) i nekadašnji način njihove izrade (desno) (https://www.curioctopus.it/read/10318/ecco-l-efficiente-sistema-di-canali-sotterranei-con-cui-i-persiani-riuscivano-ad-irrigare-il-deserto).....	3
Slika 2. Podjela RH na dvije različite prirodne cjeline (Biondić, R., 2022).....	4
Slika 3. Trasiranje podzemnih tokova (https://www.hgi-cgs.hr/hidrogeoloska-istrazivanja/).....	5
Slika 4. . Osnovna hidrogeološka karta- List Rab (https://www.hgi-cgs.hr/osnovna-hidrogeoloska-karta-republike-hrvatske-1100-000/).....	9
Slika 5. Osnovna hidrogeološka karta Republike Hrvatske 1:100 000 - list Zagreb (https://omagi.hgi-cgs.hr/images/zgb-ohgk1.jpg).....	10
Slika 6. Hidrogeološka karta krupnog mjerila (1:5000) (Ortolan, 2019).....	12
Slika 7. Analogni prikaz hidrogeološke karte izvorišne zone slijeva Pantan (Fritz & Kapelj, 1998).....	14
Slika 8. Shema listova OHGK 1:100 000 (HGI).....	15
Slika 9. OHGK 1:100 000, list Split (HGI).....	16
Slika 10. Naslov lista OHGK 1: 100.000.....	16
Slika 11. Dio samog prikaza (sadržaja) OHGK 1: 100.000.....	17
Slika 12. Hidrogeološki profili na OHGK 1: 100.000.....	17
Slika 13. Dio tumača oznaka na OHGK 1: 100.000 vezan za hidrogeološke karakteristike stijena na području prikaza.....	18
Slika 14. Dio tumača oznaka na OHGK 1: 100.000 vezan za geološke granice i tektoniku.....	19
Slika 15. Dio tumača oznaka na OHGK 1: 100.000 vezan za vodne pojave.....	19
Slika 16. Dio tumača oznaka na OHGK 1: 100.000 vezan za vodne građevine.....	20
Slika 17. Dio tumača oznaka na OHGK 1: 100.000 s preostalim oznakama.....	20

Slika 18. Grafičko mjerilo i sastavnica na OHGK 1: 100.000.....	20
Slika 19. Karta ugroženosti vodonosnika od onečišćenja na OHGK 1: 100.000.....	21
Slika 20. Prostorni smještaj lista na karti RH.....	22
Slika 21. Prikaz simbola stalnog izvora u ArcGIS-u.....	26
Slika 22. Prikaz opcije <i>Edit Symbol</i> u <i>Symbol selector</i> dijaloškom okviru.....	27
Slika 23. Prikaz podešavanja povremenog izvora u ArcGIS-u.....	28
Slika 24. Prikaz simbola linije.....	29
Slika 25. Prikaz podešavanja simbola erozijsko- diskordantne granice u ArcGIS-u.....	30
Slika 26. Izrada antiklinale u ArcGIS-u.....	31
Slika 27. Podešavanje boje poligona u dijaloškom okviru <i>Symbol Selector</i>	32

7. Popis tablica:

Tablica 1. Osnovni simboli izrađeni u ArcGIS-u.....25

Tablica 2. Hidrogeološka svojstva jedinica.....33