

Inženjerskogeološke i geotehničke značajke fliša u području Kaštela

Davor Pollak, Renato Buljan, Aleksandar Toševski

Ključne riječi

fliš,
naslage fliša,
Kaštela,
egzogenetski procesi,
inženjerskogeološke
značajke,
geotehničke značajke

Key words

flysch,
flysch formations,
Kaštela,
exogenetic processes,
engineering-geological
properties,
geotechnical properties

Mots clés

flysch, couches de flysch,
Kaštela, procédés
exogènes, propriétés de
géologie de l'ingénieur,
propriétés géotechniques

Ключевые слова

флиш, отложения
флиша, Каштела,
экзогенетические
процессы, инженерно-
геологические
характеристики,
геотехнические
характеристики

Schlüsselworte

Flysch,
Flyschaufschichtungen,
Kaštela, exogenetische
Prozesse,
ingenieurgeologische
Merkmale,
bodentechnische
Merkmale

D. Pollak, R. Buljan, A. Toševski

Prethodno priopćenje

Inženjerskogeološke i geotehničke značajke naslaga fliša u području Kaštela

Prikazuju se geološke i inženjerskogeološke značajke fliša u području Kaštela. Definirani su i opisani egzogenetski procesi koji karakteriziraju istraživano područje. Naslage fliša razdijeljene su prema morfološkom i sedimentološkom kriteriju što je omogućilo odvojeno sagledavanje njihovih inženjerskogeoloških značajki. Posebna pažnja usmjerena je definiranju inženjerskih značajki izdvojenih litoloških jedinica unutar fliša kojima su pridodane karakteristične GSI vrijednosti.

D. Pollak, R. Buljan, A. Toševski

Preliminary note

Engineering-geological and geotechnical properties of flysch formations in Kaštela region

Geological and engineering-geological properties of flysch in the region of Kaštela are presented. Exogenetic processes characterizing the area under study are defined and described. Flysch formations are classified according to morphological and sedimentological criteria, which has enabled a separate study of their engineering-geological properties. A particular attention is paid to the definition of engineering-geological properties of lithological units identified in the flysch and, in this context, typical GSI values are allocated to such units.

D. Pollak, R. Buljan, A. Toševski

Note préliminaire

Propriétés géologiques et géotechniques des couches de flysch dans la région de Kaštela

Propriétés géologiques et géotechniques du flysch dans la région de Kaštela sont présentées. Les procédés exogènes caractérisant la région sont définis et décrits. Les couches de flysch sont classifiées selon les critères morphologiques et sédimentologiques, ce qui a permis l'étude séparée de leurs propriétés relatives à la géologie de l'ingénieur. Une attention toute particulière est accordée à la définition des propriétés géologiques des unités lithologiques identifiées dans le flysch et, dans ce contexte, les valeurs typiques de GSI sont attribuées à ces unités.

Д. Поллак, Р. Буљян, А. Тошевски

Предварительное сообщение

Инженерно-геологические и геотехнические характеристики отложений флиша в районе Каштела

Описываются геологические и инженерно-геологические характеристики флиша в районе Каштела. Определены и описаны экзогенетические процессы, характерные для исследуемой области. Отложения флиша поделены по морфологическому и седиментологическому критериям, что обеспечило возможность отдельного рассмотрения их инженерно-геологических характеристик. Особое внимание уделено определению инженерных характеристик выделенных литологических единиц внутри флиша, которым доданы характеристические значения GSI.

D. Pollak, R. Buljan, A. Toševski

Vorherige Mitteilung

Ingenieurgeologische und bodentechnische Merkmale der Flyschaufschichtungen im Gebiet von Kaštela

Dargestellt sind geologische und ingenieurgeologische Merkmale des Flysch im Gebiet von Kaštela. Definiert und beschrieben sind exogenetische Prozesse charakteristisch für das betrachtete Gebiet. Die Flyschaufschichtungen sind nach morphologischem und sedimentologischem Kriterium verteilt womit das abgesonderte Wahrnehmen deren ingenieurgeologischer Merkmale ermöglicht wurde. Besondere Aufmerksamkeit widmete man dem Definieren der Ingenieurmerkmale absonderter lithologischer Einheiten innerhalb des Flysches denen charakteristische GSI-Werte hinzugefügt wurden.

Autori: Dr. sc. **Davor Pollak**, dipl. ing. geol.; dr. sc. **Renato Buljan**, dipl. ing. geol., Hrvatski geološki institut, Zagreb; **Aleksandar Toševski**, dipl. ing. geol., Geološko kartiranje d.o.o. Zagreb

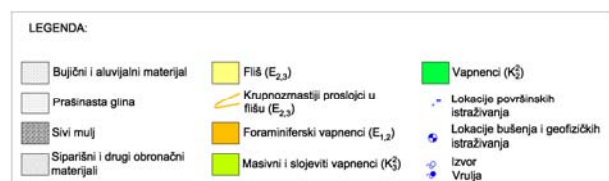
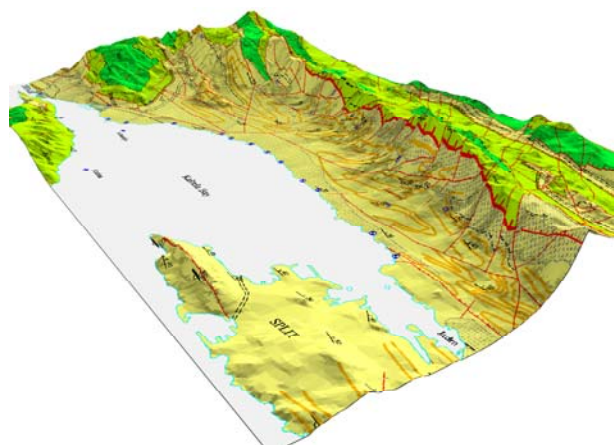
1 Uvod

Istraživano područje nalazi se između Splita, Trogira, brdskog masiva Kozjak i Kaštelanskog zaljeva. Spomenuto područje uglavnom je urbanizirano, gusto naseljeno, a fliš pokriven tlom pa se rijetko mogu naći njegovi izdanci što otežava površinska istraživanja. Međutim, inženjerskogeološka istraživanja i izgradnja infrastrukture provedeni u ovom području u posljednjih nekoliko godina omogućili su definiranje dviju inženjerskogeoloških/geotehničkih jedinica koje čine kompleks flišnih naslaga.

U članku su prikazani i interpretirani rezultati površinskih inženjerskogeoloških istraživanja provedenih za izradu Osnovne inženjerskogeološke karte RH mjerila 1:100.000 i iz podataka bušenja, geofizičkih istraživanja i laboratorijskih istraživanja provedenih za projekt „ECO Kaštelanski zaljev“. Donošenje zaključaka omogućili su i olakšali brojni postojeći laboratorijski podaci prikupljeni u području grada Splita ili u njegovoj okolici [15, 12, 18], i geološka i sedimentološka istraživanja [6, 9].

2 Geologija područja

Istraživano područje pripada zapadnom i središnjem dijelu eocenskog do oligocenskog splitskog fliškog bazena koji čine klastični sedimenti varijabilne veličine zrna s prosljocima vapnenaca [9]. Sedimenti fliša uglavnom su u tektonskom kontaktu s okolnim karbonatnim stijenama, a u sjevernom dijelu su na fliš navučeni stariji, mezozojski karbonatni sedimenti.



Slika 1. Morfologija i geologija [7] šire okolice istraživanog područja s lokacijama istraživanja. Vertikalno mjerilo je uvećano za 2,5 puta

Navučene karbonatne naslage znatno su otpornije na trošenje i „strše“ iznad fliša, što je dovelo do nastanka obronačnih sedimenata koji prekrivaju fliš u podnožju navlake Kozjaka (slika 1.). U atmosferskim uvjetima naslage fliša se relativno brzo troše, zbog čega je veći dio fliša prekriven eluvijalnim tlom.

2.1 Geološki razvoj područja

U širem području istraživanja sedimentacija karbonata odvija se kontinuirano tijekom mezozoika na plitkoj i stabilnoj karbonatnoj platformi. Kraj mezozoika obilježen je laramijskom orogenezom i izdizanjem Dinarida [5]. Nakon toga započinje snažno okršavanje i stvaranje nepravilnog krškog reljefa. U dubljim depresijama nastaju boksitične naslage.

U donjem paleogenu regionalna transgresija omogućuje taloženje breča, zatim pločastih vapnenaca, a produbljivanjem mora tijekom donjeg i srednjeg eocena i foraminiferskih vapnenaca.

Maksimalna razina mora dosegnuta je tijekom gornjeg eocena kada se taloži turbiditni fliš. Kraj eocena obilježen je snažnim izdizanjem i taloženjem orogenetskih breča. Tada započinju vrlo intenzivne deformacije, boranje i rasjedanje naslaga fliša. Istovremeno, okolne se karbonatne naslage dodatno i snažno okršavaju. Kopnena faza traje do danas.

2.2 Tektonika

Naslage fliša su u istraživanom području tijekom geološke prošlosti bile podvrgnute snažnoj kompresiji koja je uzrokovala intenzivno boranje, rasjedanje i formiranje brojnih pukotinskih sustava i razlomljenih zona. Intenzivna tektonika uzrokuje nastanak poleglim i prebačenim bora i ljuskave strukture. Općenito gledajući struktura je monoklinalna, s Dinarskim pružanjima (SZ-JI) i smjerom nagiba slojeva prema sjeveru i sjeveroistoku i kutovima nagiba od 20° do 70°.

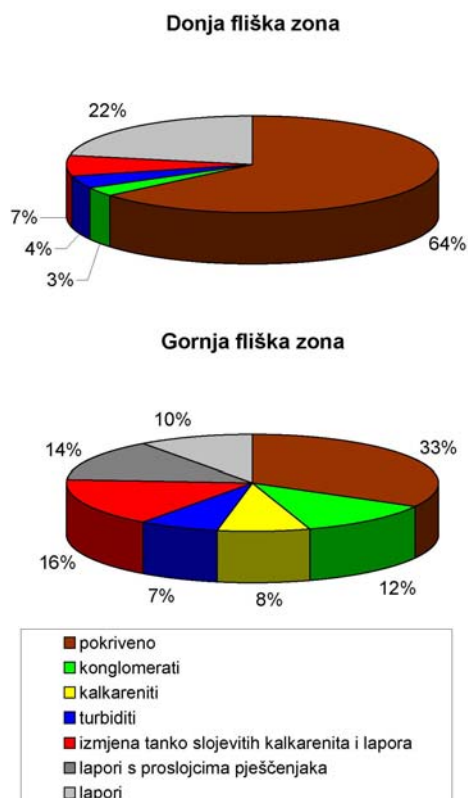
2.3 Sedimentologija naslaga fliša

Istraživano područje u regionalnom mjerilu predstavlja distalni facijes Jadranskog fliškog kompleksa [6]. Sastoji se od vapnenačkih breča, konglomerata, kalkarenita, silita, lapora, glinovitog vapnenca i rijetko od velikih olistolitnih blokova.

Nekoliko autora izrađivalo je sedimentološke podjele unutar kompleksa fliša ovog područja [4, 5, 6], a prema novijim istraživanjima fliš se dijeli na: donju flišku zonu i gornju flišku zonu [9]. Ova podjela vrlo je značajna jer jasno odjeljuje „zone“ fliša koje imaju različite udjele pojedinih komponenata fliša (slika 2.).

Iz podjele se jasno vidi da su sedimenti donje fliške zone vrlo često pokriveni trošnim sedimentom – eluvijalnim tлом. U gornjoj fliškoj zoni udjel krupnozrnastijih klastita znatno je veći.

Mineraloški i petrografski sastav klastita varira i često je u skladu s veličinom zrna. Breče i konglomerati imaju vapnenačke fragmente s biokalkarenitnim ili lokalno laporovitim matriksom. Pješčenjaci su često s kalcitičnim i vapnenačkim detritusom i kalcitičnim cementom, pa ih nazivamo kalkarenitima.



Slika 2. Udjeli različitih litoloških komponenata ili paketa naslaga u pojedinim fliškim zonama [9]

Lateralne i vertikalne izmjene svih komponenata fliša vrlo su česte, a snažna tektonika, boranje i ljuskanje cjelokupnog fliškog kompleksa dodatno kompliciraju njihove međusobne odnose. Cjelokupna debljina kompleksa flišnih naslaga u ovom području procjenjuje se na približno 800 m [7].

Analize rentgenske difrakcije netopivog ostatka uzoraka lapora u području Splita utvrdile su postojanje kvarca, ilita, plagioklasa, kalijevih feldspata, smektitita, vermikulita, piritita i amorfnih komponente [18].

2.4 Hidrogeološki odnosi

U skladu s litološkim značajkama šireg područja mogu se izdvojiti dvije osnovne hidrogeološke jedinice:

- dobro vodopropusne karbonatne stijene, uglavnom okršeni vapnenci
- vodonepropusne ili slabo vodopropusne stijene, klastične flišne naslage.

Vodopropusni vapnenci snažno su okršeni i imaju veliku sekundarnu poroznost i propusnost. U njima je dobro razvijena mreža kojom protječe podzemna voda. U takvoj sredini oborinske vode praktički se trenutačno procjeduju do vode temeljnice s kojom teku prema jugu do izvora.

Vodonepropusne naslage flišnog kompleksa općenito predstavljaju barijeru za vode prikupljene u krškom zaleđu i usmjeravaju tok vode prema izvorima Jadro i Pantan. Unutar samog fliša također postoje manji izvori.

3 Inženjerskogeološke i geotehničke značajke

3.1 Morfologija i inženjerske značajke

Geološki je razvoj istraživog područja uvelike utjecao na njegovu morfologiju (slika 1.). Međutim, današnja morfologija ovog područja je također pod velikim utjecajem procesa trošenja. Zbog toga je uglavnom laporovito, obalno i priobalno područje zaravnjeno. U tom je području osnovna stijena često pokrivena eluvijalnim tлом. Središnji dijelovi istraživog područja su lokalno brežuljkasti, s blagim padinama i mjestimičnim stršćim izdancima otpornijih klastita i karbonata. Sjeverni dio istraživog područja karakteriziraju strme padine Kozjaka izgrađene od vrlo otpornih slojeva klastita, kalcitičnih lapora i vapnenaca koje nerijetko prekriva obronačni sediment koji potječe od navučenog vapnenca u krovini.

Već sama morfologija područja nameće diferenciranje naslaga fliša (u mjerilu 1:100.000) na barem dvije jedinice s različitim potencijalom trošenja:

- „tvrdi fliš“ je čvršći, otporniji na fizikalno trošenje i dominantno sadrži krupnozrnatije klastite i/ili uglavnom karbonatne sedimente: karbonatne breče, kalkarenite, vapnence i kalcitične lapore
- „mekani fliš“ je podložan fizikalnom trošenju, a u njemu dominiraju inženjerska svojstva pelitnih i glinovitih sedimenata; predstavljen je laporima, glinovitim laporima s mjestimičnim tankim proslojcima krupnozrnastijih sedimenata, uglavnom kalkarenita.

3.2 Značajke materijala stijena i tla

Mineraloški i petrografski sastav pojedinih komponenata fliša su različiti.

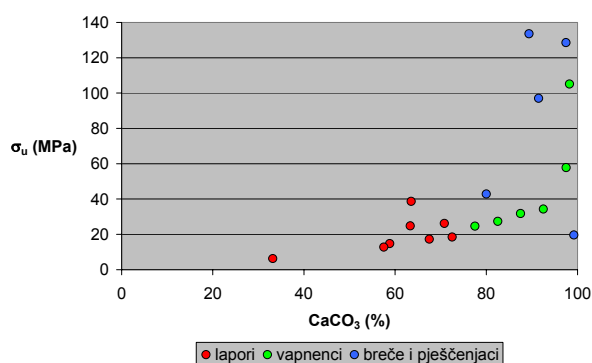
Krupnozrnastiji sedimenti poput pješčenjaka i breča uglavnom imaju karbonatni sastav detritusa. Na njihova fizikalna i mehanička svojstva uglavnom utječu kvalite-

ta i sastav matriksa. Zbog toga karbonatna breča s čvrstim karbonatnim matriksom ima znatno veće jednoosne čvrstoće od vapnenačke breče s glinovitim matriksom (slika 3.). U skladu s tim i njihova vlačna čvrstoća (brazilsko ispitivanje) varira u širokom rasponu od 0,94 do 12,47 MPa [16].

Jednoosna tlačna čvrstoća vapnenaca također se znatno smanjuje povećanjem udjela glinovitih minerala u njima (slika 3.). Vlačna čvrstoća (brazilsko ispitivanje) vapnenaca nalazi se u rasponu od 4,85 do 18,16 MPa [16].

Udjel karbonatne komponente u pelitnim sedimentima - silitima i laporima - varira u širokom rasponu. U skladu s porastom udjela karbonata raste i jednoosna tlačna čvrstoća (slika 3.). Prosječna vlačna čvrstoća različitih lapora iz područja Splita za glinovite je lapore – 0,5 MPa; lapore – 1,3 MPa i kalcitične lapore – 3,0 MPa [15].

Potrebno je napomenuti da se spomenuti trendovi porasta mehaničkih svojstava materijala stijena s povećanjem udjela karbonatne komponente mogu uočiti samo na velikom broju uzoraka jer postoje i brojni drugi faktori koji imaju utjecaj na čvrstoću ovih materijala stijene [13] poput: udjela i mineralnog sastava pojedinih minerala glina [17], dijagenetskih i postdijagenetskih procesa [14], procesa trošenja i slično.



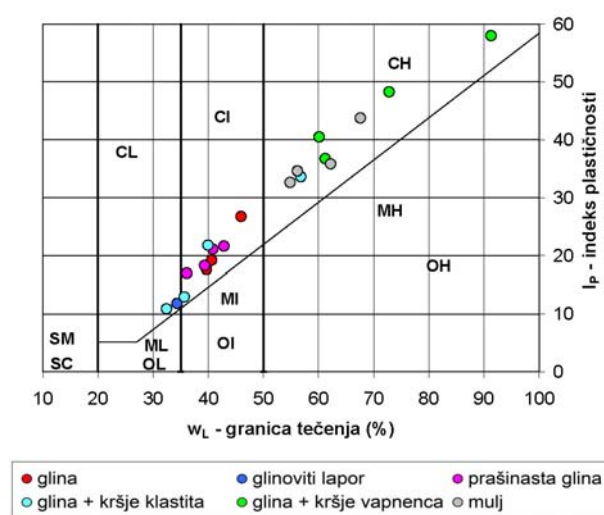
Slika 3. Prosječne vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće u odnosu na prosječni udjel karbonatne komponente uzoraka. Uzorci različitih klastičnih stijena Splita i šire okolice [13, 16, 14, 2]

U širem Kaštelanskom području terenskim se istraživanjima može izdvojiti nekoliko tipova tla:

- glina i silitna glina – konačni produkt trošenja laporovitih sedimenta;
- glina s fragmentima klastita – jako trošne naslage fliša;
- terra rossa – crveno glinovito tlo koje se sastoji od produkata trošenja karbonata i eolski transportiranih sedimenta;
- prašinasta glina s kršjem vapnenca – potpuno trošna zona karbonata;
- mulj – recentni marinski sediment u području Trogira i okolice;

- obronačni materijal – mješavina gline, silta i siparišnog vapnenačkog kršja varijabilne veličine u podnožju navlačnog kontakta.

Vidljivo je da se tla mogu podijeliti prema genezi i sastavu. Takva podjela tla ima uporište i u njihovim geomehaničkim svojstvima pa se iz laboratorijskih ispitivanja može vidjeti da eluvijalno tlo nastalo trošenjem karbonatnih stijena ima znatno veće plastičnosti nego tlo koje je nastalo trošenjem klastičnih naslaga fliša (slika 4.).



Slika 4. Dijagram plastičnosti materijala tla koji prekriva stijensku podlogu u širem području Kaštela. Legenda prikazuje terensku determinaciju materijala u bušotinama

3.3 Egzogenetski procesi

3.3.1 Trošenje u inženjerskom vremenu

Ubrzano trošenje sedimenta fliša u kosinama jedan je od najvećih inženjerskih problema ovog područja. S obzirom na znatno bolja mehanička svojstva ostalih stijena, ovdje se to prije svega odnosi na lapore i glinovite karbonatne klastične stijene.

Procesi trošenja lapora na iskopanijim usjecima u Splitu iscrpno su istraženi i dobro dokumentirani u brojnim radovima [10, 11, 12]. Prema zaključcima autora, ubrzano trošenje lapora u usjecima posljedica je učestalog vlaženja i sušenja materijala. Zbog toga se smatra da se taj problem može znatno usporiti brzo i efikasnom zaštitom prirodne vlažnosti materijala stijene.

3.3.2 Erozijski bujičnim vodama

Klastične glinovite stijene, lapori i eluvijalna tla podložna su eroziji bujičnim vodama. U području Kaštela zbog toga postoji približno 25 bujičnih vodotoka koji otječu izravno u more [1]. Bujične vode periodički, ali intenzivno erodiraju segmente „mekanog fliša“.

Bujični vodotoci i rijeke Jadro i Pantan smatraju se najvažnijim izvorom recentnih sedimenta koji se talože u

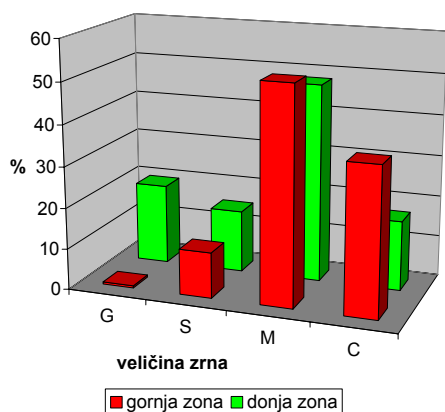
Kaštelanskom zaljevu. Holocenski sedimenti u zaljevu debeli su od 0 do 4 m, a prosječna brzina sedimentacije je 0,4 mm na godinu [3].

3.3.3 Trošenje u geološkom vremenu

Sedimenti „tvrdog fliša“ nisu toliko podložni fizikalnom trošenju što se lako može uočiti proučavanjem morfologije područja. Međutim i u tim materijalima tijekom geološkog vremena nastaju zone trošenja. Pregledom usjeka cesta utvrđeno je da je zona trošenja predstavljena tlom relativno tanka, od 0 do 1 m, vrlo nepravilna i heterogenog sastava (mješavine gline s kršjem, odlomcima i blokovima matičnog materijala). I ostale zone trošenja „tvrdog fliša“ vrlo su nepravilnih granica i varijabilne dubine. S obzirom da se uglavnom radi o karbonatnim stijevima, vrlo je važno napomenuti da trošenje napreduje gotovo isključivo duž diskontinuiteta i ne utječe u većoj mjeri na značajke materijala stijene.

Za razliku od tvrdog fliša, za mekani je fliš karakteristično da se trošenje manifestira degradiranjem fizikalnih i mehaničkih značajki materijala stijene. Naime, trošenje laporovitih stijenjskih masa obično je popraćeno alteracijama minerala i mineralnog sastava duž svih diskontinuiteta ili mikroprslina i pora što često uzrokuje promjenu sastava trošne stijene u korist minerala glina.

„Mekani fliš“ je gotovo uvijek prekriven slojem eluvijalnog tla. Tlo se gotovo redovito sastoji od dviju zona: donja je zona mješavina glinovitog i laporovitog materijala s trošnim kršjem matične stijene; u gornjoj zoni izostaje kršje matične stijene a udio gline znatno je veći (slika 5.).

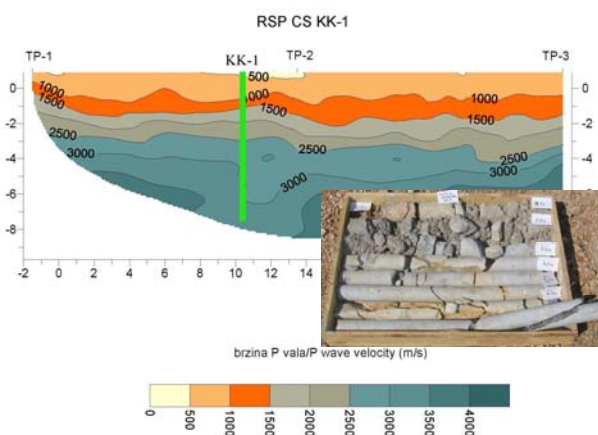


Slika 5. Granulometrijski sastav donje i gornje zone tla na „mekanom flišu“. Veličine zrna: G – šljunak, S – pijesak, M – prah, C – glina

Prema terenskim zapažanjima i podacima plitke refrakcijske seizmike i ostale zone trošenja „mekanog fliša“ koje se mogu smatrati stijevskom masom vrlo su pravilnog prostiranja i sastava. Upravo zbog pravilnosti, podaci bušenja i geofizičkih istraživanja često su jedno-

značni prilikom definiranja zona trošenja (slika 6.). Na temelju provedenih istraživanja duž obale Kaštelanskog zaljeva u „mekanom flišu“ mogu se izdvojiti četiri zone trošenja:

- eluvijalno tlo – prekriva naslage fliša, debljina 1-4 m, $V_p < 1000$ m/s;
- jako trošna zona – pravilna, debljina 1-3 m, $V_p = 700-1500$ m/s;
- trošna zona – uglavnom debljine 2-5 m, ali lokalno i 1,5-10 m, $V_p = 1500-2000$ m/s,
- svježi „mekani fliš“ – $V_p = 2000-3500$ m/s



Slika 6. Profil plitke seizmičke refrakcije (MOHO) s lokacijom i fotografijom bušotine. Kaštel Kambelovac

3.3.4 Bujanje

Popis nepovoljnih geotehničkih svojstava lapora u flišu proširen je dokazivanjem njegova bujanja tijekom istraživanja o trošenju i slijeganju nasipa izgrađenog od laporovitih sedimentata [12]. Istraživanjem mineralnog sastava lapora dokazano je postojanje bujajućih minerala glina, iz grupa vermikulita i smektita [18].

3.3.5 Abrazija obale

Usprkos vrlo maloj energiji mora u Kaštelanskom zaljevu, abrazija flišne obale vrlo je intenzivna u područjima gdje dominiraju laporoviti sedimenti. Zbog toga danas većinu prirodne obale predstavljaju otporniji kalkareniti, breče i vapnenci. Drugi dijelovi obale podložni abraziji mora zaštićeni su nasipima i molovima.

3.3.6 Odroni

U podnožju strmih, gotovo vertikalnih karbonatnih padina talože se obronačni sedimenti. Obično je to mješavina vapnenačkih blokova, odlomaka i kršja s prašinas-tom glinom. Procijenjena debljina ovih naslaga je od nekoliko do dvadesetak metara.

3.3.7 Klizišta

Na prirodnim padinama Kaštelanskog fliša i njegova eluvijalnog tla nisu zabilježena klizišta, ali u području Splita (Žnjan) postoji jedno neaktivno [14].

3.4 Inženjerske značajke stijenske mase

Dijelovi „mekanog fliša“ karakterizirani su ubrzanom trošenjem na kosinama (slika 7.), malim vrijednostima jednoosne tlačne čvrstoće materijala stijene (slika 3.), i blagom morfologijom. „Mekani fliš“ obično se može smatrati izotropnom ili kvaziizotropnom sredinom i u geotehničkom smislu bi se trebao tretirati kao tvrdo tlo ili mekana stijena.



Slika 7. Usjek u masivnim laporima s lećama pješčenjaka

Materijal stijene „tvrdog fliša“ znatno je čvršći (slika 3.) i obično nije podložan ubrzanom trošenju pod utjecajem atmosferilija. Njegova je stijenska masa obično anizotropna, s dobro izraženim primarnim ili sekundarnim diskontinuitetima (slika 8.). Ipak, postoje izuzeci, kao što je kalcitični lapor koji može biti izotropan. U geotehničkom smislu stijenska masa „tvrdog fliša“ trebala bi se tretirati kao čvrsta stijena.



Slika 8. Krupnozrnasti i masivni pješčenjaci u napuštenom kamenolomu

U prikazanim primjerima vrlo je lako odijeliti „mekani“ i „tvrdi“ fliš, međutim naslage fliša karakteristične su upravo po svojoj heterogenosti, brojnim i nepravilnim izmjenama - proslojcima različitih svojstava u promje-

njivim omjerima. U tim slučajevima potrebno je utvrditi udjele pojedinih komponenata paketa naslaga, njihove debljine, učestalost i inženjerska svojstva svake komponente zasebno.

Ako inženjerska svojstva stijenske mase diktiraju fizikalne i mehaničke značajke materijala stijene, paket naslaga svrstava se u „mekani fliš“ (slika 9.).



Slika 9. Dobro slojevite učestale izmjene tankih slojeva glinovitih lapora i trošnih pješčenjaka

Debeli i kompetentni slojevi čvrsto vezanih pješčenjaka, s tankim proslojcima laporovitih sedimenata ili dobro slojeviti kalcitični lapori s proslojcima pješčenjaka svrstavaju se u „tvrdi fliš“. Prilikom izgradnje u takvim paketima naslaga odlučujuću ulogu za stabilnost kosina često imaju značajke i orijentacije diskontinuiteta slojevitosti (slika 10.).



Slika 10. Dobro slojevite izmjene kalcitičnih lapora i kalkarenita

3.4.1 Geološki indeks čvrstoće (GSI)

Inženjerske značajke naslaga fliša kvantificirane su procjenom geološkog indeksa čvrstoće (GSI) prema dijagramu za heterogene stijenske mase [8]. Postupak procjene proveden je na usjecima i jezgrama bušotina (slika 1.).

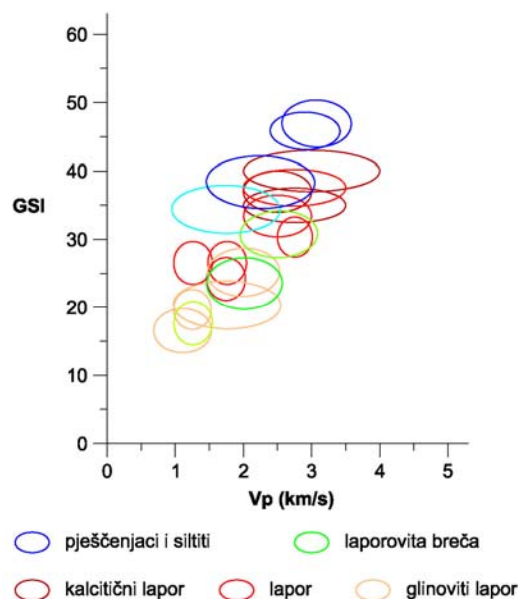
Prema rezultatima procjena u istraživanom području, sedimenti fliša imaju veliki raspon GSI vrijednosti (slika 11.).

Krupnozrnasti, dobrovezani i karbonatni sedimenti, uglavnom svježi kalkareniti „tvrdog fliša“ imaju GSI u intervalu 42-70. Na njihove GSI vrijednosti utječe veličina bloka, tj. debljina sloja, tektonska razlomljenost i značajke diskontinuiteta. Trošni kalkareniti obično imaju manje veličine blokova od svježih, pa su zbog toga u GSI dijagramu locirani ispod njih s vrijednostima 33-45 (slika 11.).

GSI vrijednosti svježih lapora imaju veliki raspon od 27-42, uglavnom zbog različite razlomljenosti naslaga. Trošni se lapori u GSI dijagramu nalaze desno od svježih zbog značajne degradacije svojstava diskontinuiteta – GSI od 18 do 28 (slika 11.).

U velikom dijelu fliša Kaštela, laporoviti sedimenti sadrže proslojke krupnozrnastijih klastita - kalkarenita ili čak breča. Učestalost, debljina i kompetentnost krupnozrnastije komponente fliša u takvom kompleksu naslaga u velikoj mjeri utječe na njihova inženjerska svojstva. Zbog toga njihove GSI vrijednosti mogu imati vrlo široki raspon. Kompetentni, čvrsti i otporni slojevi učvršćuju paket naslaga, ali i smanjuju podložnost trošenju mekših

komponenta. Trošne zone klastičnih paketa naslaga s učestalim izmjenama tankih slojeva imaju GSI od 22-37 (slika 11.).

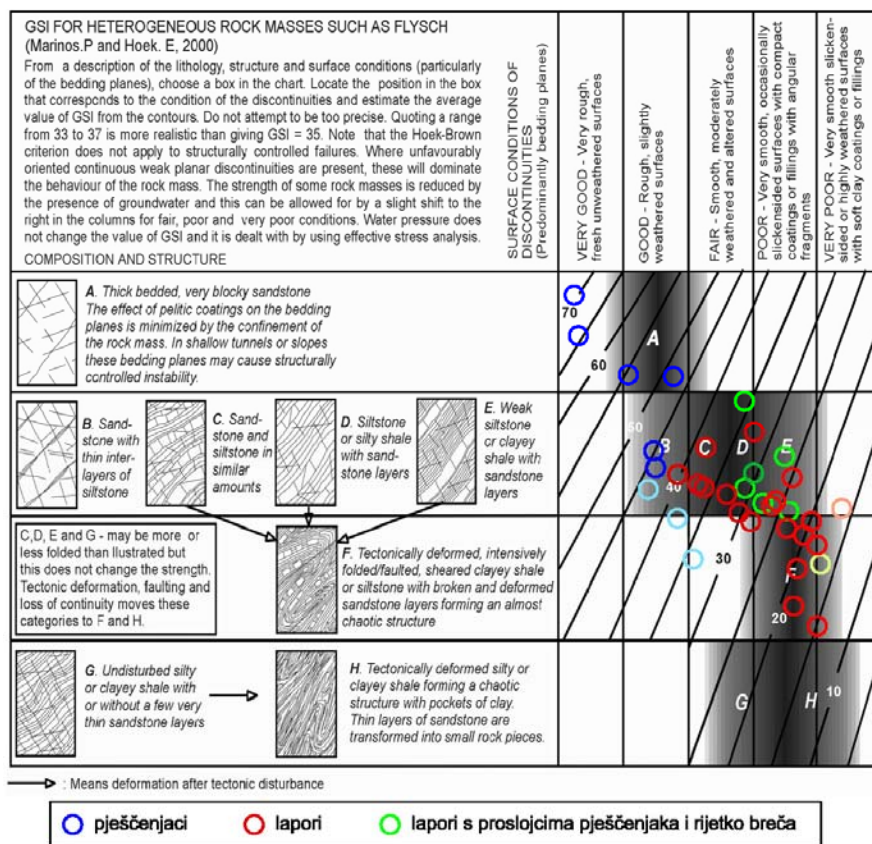


Slika 12. Usporedba GSI vrijednosti procijenjenih na bušotinama s brzinama širenja primarnih valova (V_p) na lokacijama preklapanja istraživanja

Kao što je već rečeno, u područjima „mekanog fliša“ podaci prikupljeni bušenjem i seizmičkim profiliranjem podudarni su. Zbog toga je u područjima preklapanja ovih istraživanja bilo moguće usporediti procijenjene GSI vrijednosti i brzine širenja primarnih seizmičkih valova na istim dubinama (slika 12.). Prikazani dijagram u dobroj mjeri pokazuje međusobnu ovisnost ovih parametara.

Općenito, smanjenje geološkog indeksa čvrstoće (GSI) može se pratiti po smanjenju brzine širenja primarnih valova (V_p). Konkretno, trošni kalkareniti (svjetloplavo) i trošna laporovita breča (svjetlozelena) imaju manje GSI i V_p vrijednosti od svojih svježih ekvivalenata označenih tamnijom bojom (slika 12.). Također je vidljivo da čak i mineralni sastav lapora utječe na brzinu V_p , pa je tako brzina V_p veća u kalcitičnim laporima nego u laporima ili glinovitim laporima.

Bez obzira što postoji trend ovisnosti GSI i V_p vrijednosti u flišu,



Slika 11. Rasponi GSI vrijednosti različitih komponenata fliša procijenjeni na usjecima i jezgrama bušotina. Svjetlije nijanse boja odnose se na trošnu stijensku masu

potrebno je naglasiti da se GSI vrijednosti nekog područja ne mogu dobiti isključivo iz istraživanja plitkom seizmičkom refrakcijom.

4 Zaključak

U geotehničkim razmatranjima termin fliš se često rabi kao sinonim laporovitih naslaga koje imaju inženjerske značajke mekanih stijena. Inženjerskogeološka i geotehnička istraživanja fliša u području Kaštela dokazuju da pojedini paketi fliša mogu imati i značajke karakteristične za čvrste stijene.

Inženjerska svojstva fliša u području Kaštela u velikoj mjeri variraju i ovisna su o mnogobrojnim čimbenicima. Većina čimbenika zapravo su sedimentološka svojstva: mineralni sastav, struktura, tekstura, veličina zrna, debljina i udjel pojedinih proslojaka, stupanj cementacije, kvaliteta cementa ili matriksa i debljina slojeva. Zbog toga se ovdje predlaže inženjerska podjela fliša na dvije jedinice: „mekani“ i „tvrđi“, koja je u skladu s njegovim sedimentološkim i morfološkim značajkama.

Čini se da je primjena GSI sustava za kvantificiranje inženjerskih svojstava paketa flišnih naslaga prikladna, premda su potrebne manje promjene u opisima pojedinih svojstava koje bi olakšale njegovu primjenu u ovom području. GSI vrijednosti naslaga u istraživanom području variraju od 70 za tvrde kalkarenite do 18 za trošne glinovite lapore.

Ipak je prilikom definiranja inženjerskih značajki sedimentata fliša, osim provođenja GSI procjene potrebno istraživanjima prikupiti podatke kojima se može utvrditi radi li se o „mekanom“ ili „tvrdom“ flišu. Time se definiraju značajke razmatranih naslaga koje nisu obuhvaćene GSI klasifikacijom, a to su: mineraloški i litološki sastav, fizikalne i mehaničke značajke materijala stijene, značajke i definiranje zona trošenja nastalih u geološkom vremenu, očekivana podložnost i način trošenja u inženjerskom vremenu. Primjerice, iz GSI tablice nije vidljivo radi li se o kalcitičnim ili glinovitim laporima, a ovdje je dokazano kako će upravo taj podatak utjecati na cjelokupno inženjersko ponašanje i ponašanje stijene.

Treba napomenuti da su različiti prirodni egzogenetski procesi u području fliša Kaštela učestali. Posljedice tih procesa, ali i različitih antropoloških zahvata mogu se ublažiti pažljivim prostornim planiranjem koje usvaja sve inženjerske značajke fliša razrađene ovdje i prethodnim istraživanjima. U tome može pomoći i izdvajanje jedinica naslaga fliša na „mekani“ i „tvrđi“. Naime, vjerujemo da se predložene jedinice mogu izdvajati u inženjerskim modelima i podlogama različitih mjerila i za vrlo različite namjene: prostorno planiranje, projektiranje regulacije voda i vodotoka, šumarstvo, agronomiju, eksploataciju kamena, projektiranje i izgradnju građevina, sanaciju nestabilnih kosina i održavanje izvedenih iskopa.

Zahvala

Autori zahvaljuju tvrtkama Geokon i MOHO na dozvoli za uporabu laboratorijskih i geofizičkih podataka. Ovo istraživanje provedeno je uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa.

LITERATURA

- [1] Barbarić, Ž.; Pejaković, B.: *Protection of the broader Kaštela region from the damaging influence of floodwaters*, Kaštela the cradle of Croatia, Proceedings, (1998), 386-390
- [2] Barčot, D.; Bojanić, D.: *Inženjersko-geološki i geotehnički uvjeti izgradnje tunela Klis-Kosa*, Građevinar 50 (1998) 2, 91-96
- [3] Crmarić, R.; Bogner, D.; Juračić, M.: *Holocene sediments and sedimentation in the Kaštela bay*, Kaštela the cradle of Croatia, Proceedings, (1998), 178-182
- [4] Kerner, F.: *Gliederung der Spalatiner Flyschformation*, Verhandl. Geol. Reichanst. 17 (1903) 18, 420-427
- [5] Magaš, N.; Marinčić, S.: *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000*, Tumač za listove Split i Primošten, (1973) K33-20 i K33-21
- [6] Marinčić, S.: *Eocene Flysch of Adriatic area*, Geološki vjesnik 34 (1981), 27-38
- [7] Marinčić, S.; Magaš, N.; Borović, I.: *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000* (1971) List Split K33-21
- [8] Marinos, P.; Hoek, E.: *Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch*, Bulletin of Engineering Geology and the Environment 60 (2001) 2, 85-92
- [9] Marjanac, T.: *Evolution of Eocene-Miocene flysch basin in central Dalmatia, Croatia*, PhD thesis, Prirodoslovno-matematički fakultet sveučilišta u Zagrebu, 1993
- [10] Mišćević, P.: *Erozija površinske plohe u naslazi fliša*, Geotehnika prometnih građevina, Novigrad, Hrvatska (1994), 339-346
- [11] Mišćević, P.: *The investigation of weathering process in flysch terrains by means of index properties*, Engineering Geology and the Environment, (1997), 273-277
- [12] Mišćević, P.: *The investigation of weathering process in Eocene flysch*, The Geotechnics of Hard Soils-Soft Rocks, (1998), 267-272
- [13] Roje-Bonacci, T.; Šestanović, S.; Čagalj, M.: *Analiza odnosa jednoosne čvrstoće i postotka CaCO₃ u flišnim naslagama*, Jugoslavensko društvo za mehaniku stijena i podzemne radove, 6. simpozij, Titovo Velenje, Knjiga 1, (1985), 104-107

- [14] Šestanović, S.: *Inženjerskogeološka istraživanja fliša u istočnim stambenim naseljima Splita*, Rudarsko-geološko-naftni zbornik 1, (1989), 69-76
- [15] Šestanović, S.: *Engineering-geological characteristics of marl from Eocene flysch in the City of Split, Croatia*. The Geotechnics of Hard Soils-Soft Rocks, (1998), 311-314
- [16] Šestanović, S.; Braun, K.; Barčot, D.: *Inženjerskogeološke značajke trase prometnice Solin-Klis (Dalmacija – Hrvatska)* Rudarsko-geološko-naftni zbornik 5, (1993), 87-97
- [17] Šestanović, S.; Štambuk, N.; Samardžija, I.: *Control of the Stability and Protection of Cut Sloes in Flysch*, Geologia Croatica 47 (1994) 1, 139-148
- [18] Toševski, A.: *Sedimentološke, petrološke i mineraloške osobitosti naslaga fliša područja grada Splita i njihovo značenje u inženjerskoj geologiji*. Diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2004.