

OSNOVNO O GENEZI, SASTAVU I TROŠENJU EOCENSKOG FLIŠA HRVATSKOG OBALNOG POJASA

SOME CHARACTERISTICS OF EOCENE FLYSCH GENESIS, COMPOSITION AND WEATHERING IN CROATIAN COAST BELT

ALEKSANDAR TOŠEVSKI¹, DAMIR GRGEC², BOŽO PADOVAN³

¹Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, Zagreb, Hrvatska

²Institut IGH d.d., Janka Rakuše 1, 10000 Zagreb, Hrvatska

³Georheo d.o.o., Kneza Mislava 3, 10000 Zagreb, Hrvatska

Ključne riječi: fliš, bazen predgorja, olistoliti, lapor, mehaničko trošenje, kemijsko trošenje, Slani Potok, selektivna erozija, zona trošenja

Key words: flysch, foreland basin, olistolith blocks, marl, mechanical weathering, chemical weathering, Slani Potok, selective erosion, weathering zone

Sažetak

Najzastupljeniji litotipovi eocenskog flišnog slijeda hrvatskog obalnog pojasa su breče, konglomerati, (bio)kalciruditi, (bio)kalkareniti, pješčenjaci, prahovnjaci, šejlovi i lapori. Sastavni dio eocenskog fliša mogu biti i olistoliti, a na površini su uočeni samo na širem splitskom području. Mehaničko trošenje flišnih stijenskih masa dominantno je u odnosu na kemijsko koje je za praktične potrebe skoro pa zanemarivo. Mehaničko trošenje uzrokovano je tektonikom te ponavljanjem procesa sušenja i vlaženja. Dogada se u inženjerskom vremenu, ne geološkom, što diktira način iskopa, zaštitu kosina i građevinskih jama u flišnim stijenskim masama. Količina erodiranog materijala može premašivati 20000 m³/km²/god. Najpodložniji eroziji su litotipovi koji su dominantno izgrađeni od klasta dimenzija praha i gline. Sliv Slanog Potoka u Vinodolskoj dolini dominantno izgrađuju eocenski flišni sedimenti. Karakterističan je po tome što predstavlja za sada jedinu poznatu lokaciju u sklopu Vanjskih Dinarida u Hrvatskoj gdje kemijsko trošenje fliša prevladava u odnosu na mehaničko, a navedeno je uzrokovano kristalizacijom minerala tenardita. Precizno određivanje debljine zone trošenja flišnih, ali i svih ostalih vrsta stijenskih masa, od iznimnog je značaja u geotehnici. Najčešće se zona trošenja određuje na slijedeća četiri načina: vizualno na izdanku, kartiranjem jezgre bušotine, analizom brzina primarnih seizmičkih valova te analizom otpornosti.

Abstract

The most common lithotypes of the Eocene flysch in the Croatian coast belt are breccias, conglomerates, (bio)calcirudites, (bio)calcarenites, sandstones, siltstones, shales and marls. Olistolithes also can be constitutive part of Eocene flysch. On the surface they can be mapped only in wider Split area. The mechanical weathering of the flysch rock mass is dominant in regard to the chemical weathering which is almost irrelevant for practical purposes. Mechanical weathering is caused by tectonic activities, and by repeated drying and wetting. It takes place in the engineering time, and not geological, which dictates the method of excavation, protection of slopes and construction pits in flysch rock masses. The quantity of the eroded material can extend 20000 m³/km²/yr. Most subject to erosion are lithotypes which are dominantly made of clasts varying in size from silt to clay. The Slani Potok catchment in the Vinodol Valley mainly consists of Eocene flysch sediments. Its feature is that it represents the so far only known location in the External Dinarides in Croatia where the chemical weathering prevails in relation to mechanical, and that is caused by crystallization of the mineral tenardite. The precise determination of the weathering zone thickness of flysch, as well as other rock mass types is of great significance in geotechnical engineering. The weathering zone is mostly determined in four following ways: visually on the outcrop, by core mapping, analyzing the speed of primary seismic waves and analyzing the resistivity.

Uvod

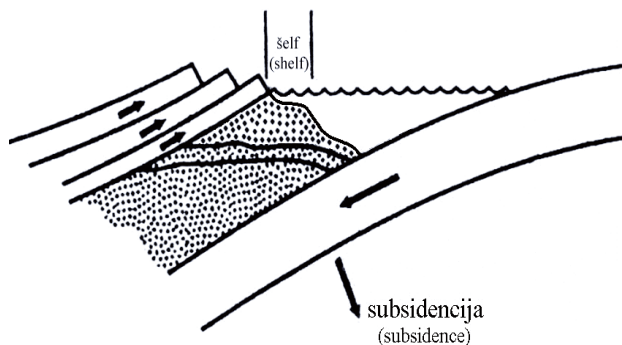
Prema Bates and Jackson (1984) fliš je marinski sedimentni facijes karakteriziran debelim sukcesijama koje su predstavljene tankoslojevitim, građuiranim laporima, pješčenjacima, kalcitičnim šejlovima i muljnjacima u izmjeni s konglomeratima, krupnozrnatim pješčenjacima i grauvakama (starosti od gornje krede do oligocena) duž

granice Alpskog pojasa istaloženih u depresijama ispred navlačnog pojasa, a prije završne faze Alpske orogeneze u miocenu. Reading (1986) daje puno jednostavniju definiciju, a koja u sebi objedinjuje sve relevantne čimbenike koji definiraju fliš pa je tako za njega fliš sedimentni facijes koji opisuje debeli slijed gravitacijskim tokovima

pretaloženih, dubokomorskih, klastičnih sedimenata nastalih u zadnjem stadiju orogena. Tektonsko razlamanje karbonatne platforme i reverzna tektonska kretanja u području Vanjskih Dinarida stvorili su bazen predgorja složenog paleoreljefa koji je najlakše predočiti slikom 1 (Swift and Thorne, 1991) u sklopu kojeg su taloženi flišni sedimenti. Detaljan opis tektonskih pokreta u Vanjskim Dinaridima na primjeru šireg područja Vinodolske doline dao je Blašković (1999). U spomenutom radu autor objašnjava model plitke subdukcije kontinentalne kore pod kontinentalnu koru sa detaljnim prikazom strukturnih i geomorfoloških karakteristika koje taj proces karakteriziraju.

Flišni tereni predstavljaju kompleksnu geotehničku i sedimentološku sredinu izgrađenu od litološki različitih članova. Pojedini litološki članovi zahvaljujući mineralnom sastavu su izrazito skloni trošenju i eroziji što su pojave koje diktiraju način izvođenja zemljanih radova u tim stijenama, zaštitu kosina itd. Mehaničko trošenje flišnih sedimenata dominira nad kemijskim, a pojava selektivne erozije bitna je značajka flišnih stijenskih masa.

Iz same definicije slijedi da fliš nije samo definiran litološkim članovima koji ga izgrađuju nego i genezom i geotektonskom pozicijom u sklopu koje su ti sedimenti nastali. U ovom radu će ukratko biti prikazane specifičnosti postanka, sastava i trošenja eocenskih flišnih sedimenata hrvatskog obalnog pojasa koje su ponajviše istraživane na području Istre, šireg splitskog i šireg dubrovačkog područja. Popis svih listova Osnovne geološke karte Republike Hrvatske mjerila 1:100 000 na kojima se na površini nalaze flišni sedimenti prikazan je u tablici 1.



Slika 1. Bazen predgorja (modificirano prema Swift and Thorne, 1991, djelomično modificirano)

Figure 1. Foreland basin (modified after Swift and Thorne, 1991, partially modified)

Geneza flišnih sedimenata

Prema paleotektonskim i paleomorfološkim uvjetima kakvi su prikazani slikom 2, unutar eocenskog taložnog prostora pretpostavlja se istovremeno postojanje plitkog šelfa te dubljeg dijela bazena (tzv. flišnog bazena) koji su bili odijeljeni međusobno kontinentalnim pragom i prostranom padinom.

U plićim dijelovima bazena pretpostavlja se taloženje foraminiferskih vapnenaca (Herak, 1973 i mnogi drugi). Akumulacija numulita uz sam kontinentalni prag odgovara tzv. numulitnim vapnencima eocena koji se nalaze u podini flišnih naslaga (Kerner, 1914; Marinčić et al. 1977; Marjanac 1991). Uz pretpostavljene dugotrajne uvjete akumulacije naslaga numulitnih vapnenaca moguće je pretpostaviti daljni razvoj bazena predgorja i to u smislu daljnjeg produblivanja korita i/ili moguće oplićavanja šelfnog (plićeg) dijela uslijed tektonike, ili obilne akumulacije u plićem dijelu i na samom kontinentalnom pragu.

Tablica 1. Popis svih listova Osnovne geološke karte mjerila 1: 100 000 na kojima se nalaze eocenski flišni sediment:

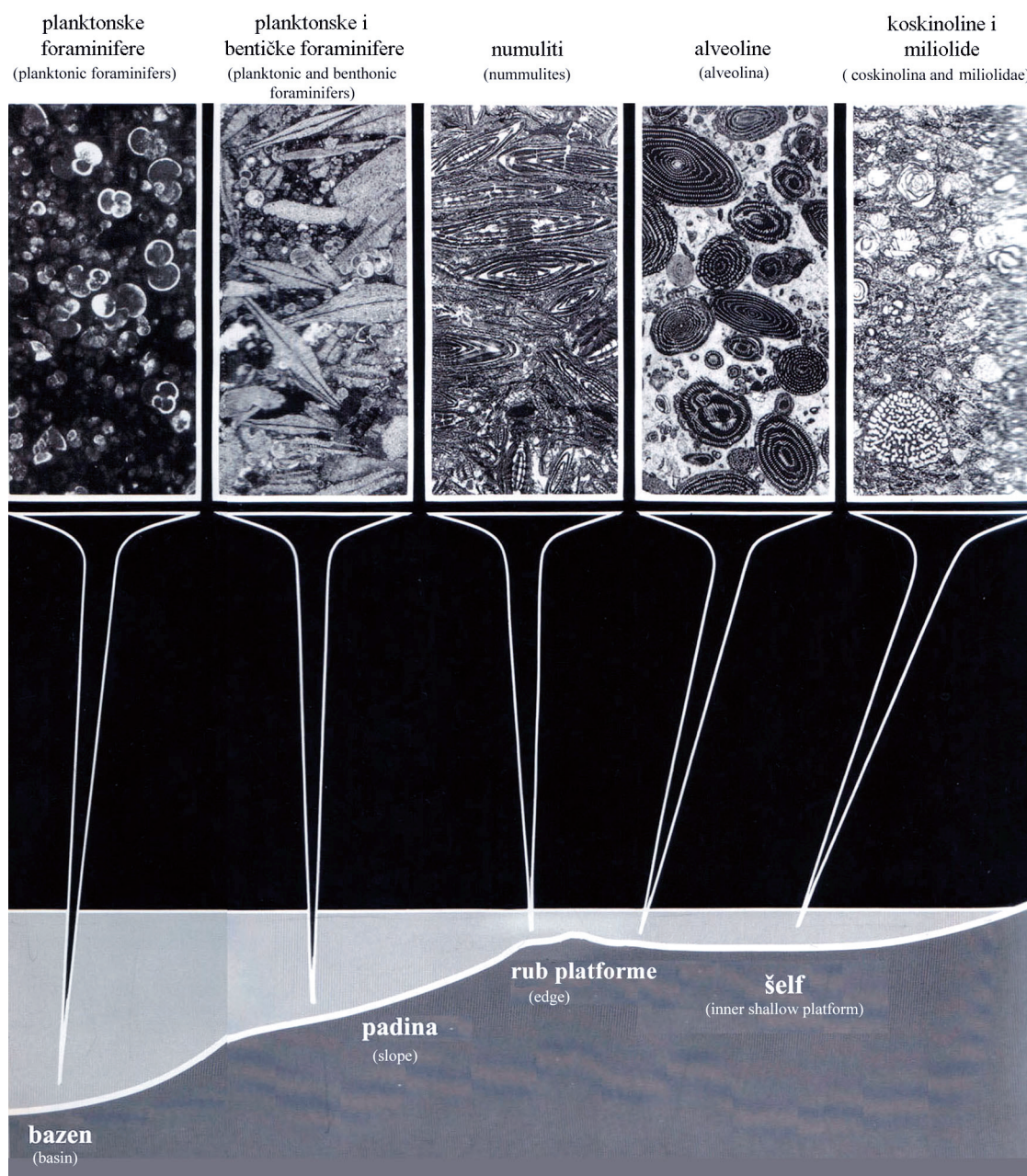
Table 1. List of all Basic geological map sheets scaled 1: 100 000 on which eocene flysch sediments are mapped

List	Autori i godina publiciranja
Biograd	Mamužić i Nedela-Devide, (1968)
Cres	Magaš, (1968)
Crikvenica	Šunjar i dr. (1970)
Drniš	Ivanović i dr. (1977)
Dubrovnik	Marković, (1971)
Gospić	Sokač i dr. (1974)
Iirska Bistrica	Šikić i dr. (1972)
Imotski	Raić i dr. (1976)
Jelsa	Marinčić i Majcen, (1975)
Korčula	Korolija i dr. (1975)
Labin	Šikić i dr. (1969)
Metković	Rajić i dr. (1975)
Obrovac	Ivanović i dr. (1973)
Ogulin	Velić i Sokač, (1981)
Omiš	Marinčić i dr. (1976)
Ploče	Marinčić i dr. (1977)
Primošten	Marinčić i dr. (1971)
Rab	Mamužić i dr. (1969)
Rovinj	Polšak i Šikić (1969)
Silba	Mamužić i dr. (1970)
Sinj	Papeš i dr. (1982)
Split	Marinčić i dr. (1971)
Ston	Raić i dr. (1980)
Šibenik	Mamužić, (1971)
Trebinje	Natević i Petrović, (1967)
Trst	Pleničar i dr. (1969)
Vis	Borović i dr. (1975)
Zadar	Majcen i dr. (1970)

U uvjetima sinsedimentacijske tektonike te akumulacije vapnenačkog materijala u plićim šelfnim dijelovima bazena i naročito na kontinentalnom pragu, nadalje se pretpostavlja nestabilnost samog kontinentalnog praga, formiranje podmorskih klizišta, slampiranje, odlamanje blokova i formiranje olistolita te premještanje blokova i rastresitog sedimenta kontinentalnog praga (ruba šelfa) duž padine u dublje dijelove bazena mehanizmima različitih gravitacijskih tokova. Upravo su tim gravitacijskim tokovima (najčešće turbiditima i debritima) tijekom sred-

njeg i gornjeg eocena u dubljim dijelovima bazena istaloženi sedimenti koje danas zovemo fliš.

Unutar slojeva klastita flišnih naslaga ponekad se pojavljuju blokovi foraminiferskog vapnenca – olistoliti (slika 3). Marjanac (1991) tumači pojavu krupnog dekametarskog blokovitog detritusa taloženjem iz debritnog toka pretpostavljajući njegov postanak pri jednom sedimentacijskom događaju. Tok je bio pokrenut na gornjoj padini kao podmorsko klizište, potom je prešao u debritni tok da bi završio kao turbiditna struja.



Slika 2. Okoliši taloženja u donjem i srednjem eocenu (Sartorio and Venturini, 1988)

Figure 2. Sedimentary environments in Lower and Middle Eocene (Sartorio and Venturini, 1988)



Slika 3. Olistoliti foraminiferskog vapnenca "uronjeni" u debelu sukcesiju lapora (lokalitet Turska Kula u Splitu (Šestanović et al. 2012))

Figure 3. Olistolith blocks of foraminiferal limestones which are "submerged" into thick succession of marls (locality Turska Kula, city of Split (Šestanović et al. 2012))

Moguće je, međutim, i drugačije objašnjenje. Izolirani olistoliti numulitnog vapnenaca u flišnim klastičnim sedimentima mogu se tumačiti degradacijom već očvrstelih stijena numulitnog vapnenaca kontinentalnog praga uslijed formiranja lokalnih podmorskih kamenih odrona i klizišta kako to objašnjava Tišljar (2001).

Važno je naglasiti da se procesi odlamanja stijena kontinentalnog ruba događaju u uvjetima kad su te stijene već bile litificirane te da one s flišnim sedimentima u kojima se sada nalaze nisu u rasjednom kontaktu. Njihov sadašnji izolirani položaj posljedica je sedimentacijskih procesa. Inženjerskogeološko značenje olistolita u graditeljskoj praksi se sastoji u tome da isti znatno povećavaju heterogenost i anizotropiju stijenske mase u kojoj se nešto gradi. Situacija u kojoj je dio temelja građevine na čvrstom foraminiferskom vapnencu, a dio na mekoj stijeni laporu za projektiranje je izuzetno nepovoljna. Naime, navedene stijene su kontrastnih fizičko – mehaničkih značajki što ima za posljedicu različitu nosivost stijene, različito kemijsko i mehaničko trošenje te različit "odziv" materijala na seizmičku pobudu. Pojava olistolita predstavlja specifikum flišnih terena. Flišni sedimenti hrvatskog obalnog pojasa su vrlo često u navlačnom kontaktu sa mezozojskim karbonatnim kompleksom zbog čega se na flišnim padinama mogu naći i blokovi koji su zbog trošenja otkinuti sa čela navlake i gravitacijski transportirani u niže

nadmorske visine. Neki od tih blokova se mogu interpretirati kao blokovska paleoklizišta (Jurak i dr., 1995) čija stabilnost u dinamičkim uvjetima je vrlo upitna. Isti autori su to i dokazali analizirajući dvije lokacije i to lokaciju Kostur u Župi Dubrovačkoj i lokaciju manastira Gradište u Crnoj Gori.

Petrološki sastav flišnih sedimenata

Litologija flišnih sedimenata vrlo je raznolika. Magdalenić i dr. (1980) navode da su najvažniji i najčešći članovi flišnog slijeda šejlovi, lapori, prahovnjaci i pješčenjaci dok su vapnenci i konglomerati znatno rjeđi. Jurak i dr. (1987) na temelju rendgenskih, granulometrijskih i mikroskopskih analiza uzoraka fliša dubrovačke regije definiraju stijene kao prahovnjake, glinovite prahovnjake, prahovitu glinu i krupnoklastični kalcisilit, a za pješčenjake, mikrobreče i konglomerate navode da su vrlo rijetki. Šestanović (1998) za naslage fliša na području grada Splita piše da se sastoje od brečokonglomerata, breča, pješčenjaka, detritičnog vapnenca i lapora s različitim udjelom CaCO_3 komponente, a Magaš i Marinčić (1973) stijene fliša šireg splitskog područja klasificiraju kao vapnenačke breče, brečokonglomerate, kalcirudite, kalkarenite, pjeskovite kalkarenite, biokalkarenite i lapore. Sliv Slanog Potoka koji je bio predmet istraživanja nekoliko

autora (Aljinović et al. 2010., Mileusnić et al. 2004., Jurak et al. 2005, Jurak et al. 2006) izgrađuju dominantno pelitni sedimenti (lapori, prahoviti lapori, prahovnjaci, glinoviti prahovnjaci), a u podređenom udjelu su prisutni pješčenjaci grauvaknog tipa i biokalkruditi (Aljinović et al. 2010). Iz navedenog je očito da su flišni sedimenti izgrađeni od granulometrijski različitih klastičnih te biogenih stijena koje s obzirom na dimenzije klasta pokrivaju cijeli spektar veličine zrna što znači da su prisutni klasti dimenzija šljunka, pijeska, praha i gline. Zaključno se može reći da su eocenski flišni tereni hrvatskog obalnog pojasa izgrađeni od breča, konglomerata, kalcirudita, kalkarenita, pješčenjaka, prahovnjaka, šejlova i lapora (Hrvatski geološki institut, 1999).

Za klasificiranje litotipova fliša koji predstavljaju prirodne smjese kalcitne komponente, praha i gline u različitim omjerima, kao najprikladnija predlaže se klasifikacijska shema prema Konti (1973), nadopunjena prema Tišljar (1994).

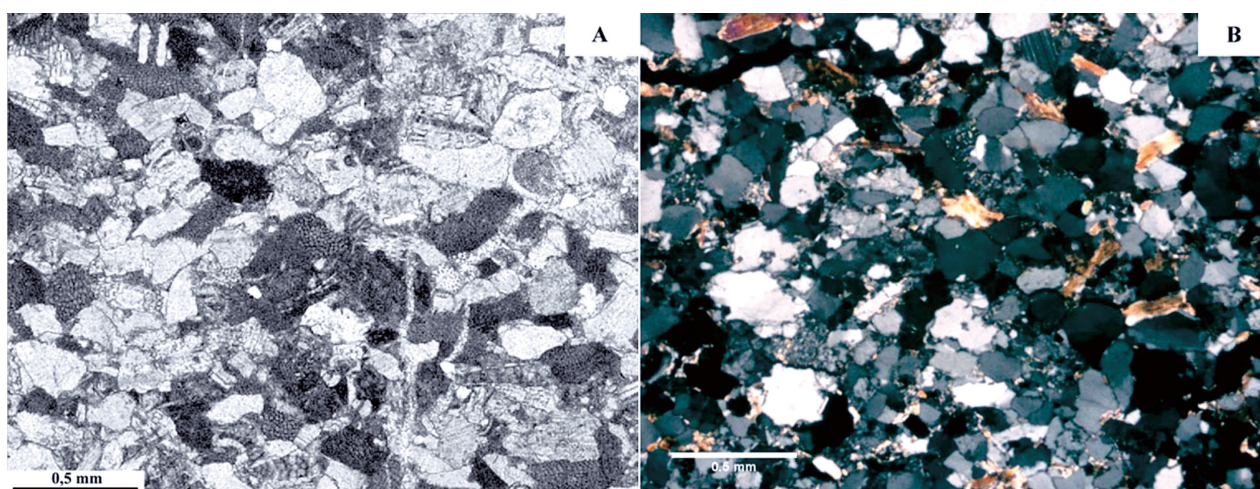
Termin kalkarenit danas se koristi kao općeniti naziv za mehanički taložene karbonatne stijene, tj. detritične, klastične vapnenice, koji sadrže više od 50% vol. odlomaka karbonatnih stijena dimenzija pijeska (Carozzi, 1960). Takvi odlomci ili klasti obično su definirani kao klasti intrabazenskog postanka (intraklasti, ooidi, kršje fosila; Pettijohn et al., 1972) ili kao litoklasti nastali erozijom više ili manje očvrstelih karbonatnih stijena unutar sedimentacijskog bazena (Füchtbauer, 1974). Ukoliko bioklasti dimenzija pijeska prevladavaju u odnosu na ostale intrabazenske klaste dimenzije pijeska, stijena je klasificirana kao biokalkarenit (Füchtbauer, 1974). Ako pak stijenu izgrađuju intrabazenski klasti dimenzija šljunka, stijena je klasificirana kao kalkrudit, odnosno biokalkru-

dit ako su dominantni bioklasti (Tišljar, 1994). Definicije spomenutih autora najbolje definiraju stijene flišne serije koje imaju klaste dimenzija pijeska ili šljunka.

Unutar flišnih sedimentata može se naći i stijena koju klasificiramo kao kalkarenacejski pješčenjak (Pettijohn et al. 1972). To su klastiti iz skupine miješanih klastičnih i biokemijskih stijena sastavljeni od mješavine klasta ekstrabazenskog porijekla (više od 50% vol. siliciklasta, tj. kvarca, feldspata, litoklasta i tinjaca) i vapnenačkih intrabazenskih klasta (10 – 50% vol. bioklasta, fosila, intraklasta, peleta, ooida i onkoida).

Slika 4 zorno prikazuje razliku između pješčenjaka prema klasifikaciji Pettijohn et al. (1972) i biokalkarenita iz fliša užeg područja grada Splita kako ga je opisao Füchtbauer (1974).

O mineralnom sastavu fliša u sklopu Pazinskog sedimentacijskog bazena pisali su Bergant et al. (2003). Prema autorima rada, pješčenjaci su sastavljeni od siliciklastičnih i karbonatnih klasta te fosilnog kršja. Među siliciklastima dominiraju kvarc, litoklasti čerta i kvarcita, dok su u podređenom udjelu feldspati, tinjci, granati, cirkon, rutil i turmalin. Karbonatna komponenta predstavljena je fragmentima mikritnog vapnenca, kristalima kalcita i sitnozrnatim kalcitnim matriksom. Magdalenić, Z. (1972) je u pelitnim sedimentima paleogenskog fliša Istre i Primorja determinirala slijedeće minerale: ilit, hidrotinjac, septoklorit, kaolinit, montmorilonit i klorit. Jašarević and Lebo (1998) su u svom radu predočili rezultate mineraloške analize prahovnjaka flišnog slijeda na području Dubrovnika i Rijeke gdje su izdvojene slijedeće mineralne faze: kvarc, plagioklasi, kalijski feldspat, kalcit, dolomit, montmorilonit, klorit, kaolinit, vermikulit i amorfna komponenta.



Slika 4. (A) Biokalkarenit s prevladavajućom komponentom kršja fosila (foto Aleksandar Toševski); (B) pješčenjak s prevladavajućom komponentom kvarca (ljubaznošću Uroša Barudžije).

Figure 4. (A) Biocalcareneite with fossil fragments as most abundant allochems (photo Aleksandar Toševski); (B) sandstone with prevailing quartz component (with kindness of Uroš Barudžija)

Slovenec (1990) je za potrebe Instituta IGH d.d. izradio mineralošku analizu lapora iz tunela Mačkovac, Klis – Kosa i Mravinci na brzjoj cesti Solin-Klis gdje navodi slijedeće minerale: kalcit, dolomit, kvarc, feldspati, pirit, klorit, smektit, amorfna komponenta, nepravilno interstratificirani filosilikati i ilit. Udjeli pojedinih mineralnih faza izraženi u postotku prikazani su u tablici 2.

Udio CaCO_3 komponente u laporima fliša splitskog područja također je bio predmet zanimanja nekolicine autora. Prema Miščeviću (1998) taj udio varira u rasponu od 49% do 81%, prema Šestanoviću (1998) od 31% do 73%, dok Roje – Bonacci i dr. (1985) navode da se taj udio kreće u rasponu od 50% do 80%. Navedeni rezultati ukazuju na široki raspon, ali i visoki udio kalcitne komponente što je karakteristika lapora šireg splitskog područja, za razliku od prahovnjaka dubrovačke regije u kojima udio CaCO_3 komponente varira u rasponu od 8% do 20% (Jurak i dr., 1987).

Trošenje fliša

Sve stijene i tla litosfere podložni su procesu trošenja koje se može definirati kao dezintegracija i/ili dekompozicija geološkog materijala (Gonzalez de Vallejo and Ferrer, 2010). Ono može biti mehaničko i kemijsko. Mehaničko trošenje uzrokovano je agensima koji djeluju iz atmosfere, hidrosfere i biosfere. Pritom ne dolazi do promjene kemijskog i mineralnog sastava stijene već do njezina komadanja i usitnjavanja, ponekad i do dimenzija praha. Takvo trošenje olakšano je sustavima pukotina i prslina koje su posljedica dijagenetskih procesa, tektonskih na-

prezanja, insolacije, djelovanja vode, leda te organizama na stijenu ili tlo. Kemijsko trošenje karakterizirano je promjenom mineralnog sastava iste. Ono se svodi na otapanje komponenata topivih u vodi ili u raznim fluidima magmatskog porijekla te na oksidaciju i hidrolizu (Johnson and De Graff, 1988). U otopljenom stanju tvari mogu dalje biti transportirane na velike udaljenosti ili mogu reagirati međusobno, a rezultat su novi minerali kojih nema u stijeni koja je izložena kemijskom trošenju. Moć otapanja vode ovisi o njezinom pH faktoru, količini otopljenog CO_2 , količini organskih kiselina, kisika, nitrata, klorida i drugih tvari koje djeluju agresivno na stijenu. I kemijsko trošenje je intenzivnije u materijalima s razvijenim pukotinama i prslinama.

Mehaničko trošenje fliša uzrokovano tektonikom

Fliš u Hrvatskoj se nalazi u tektonski vrlo aktivnom području, kako tijekom geološke prošlosti tako i danas. Radi se o terenu koji je pod utjecajem kolizijskih kretanja između Jadranske mikroploče i masiva Dinarida što je rezultiralo podvlačenjem fliša pod karbonatni mezozojski kompleks. Primjer inženjerskogeološkog kartiranja stijenske mase u zoni navlake fliša i karbonata i to na trasi brze ceste Solin-Klis dan je u elaboratu koji se nalazi u arhivi Instituta IGH d.d. (Garašić, 1987). O procesu podvlačenja svjedoče brojni potresi duž naše obale čija žarišta se nalaze do dubine 30 km ispod mora (Kuk i dr., 2000), a o intenzitetu pomaka se vrlo lako može zaključivati uz pomoć ugrađenih GPS postaja.

Tablica 2. Postotni udjeli detektiranih mineralnih faza u laporima tunela Mačkovac, Klis – Kosa i Mravinci na brzjoj cesti Solin-Klis (Slovenec, 1990)
Table 2. Percentage proportions of detected mineral phases in marls of tunnels Mačkovac, Klis-Kosa and Mravinci on Solin-Klis motorway (Slovenec, 1990)

	Kalcit (<i>Calcite</i>)	Dolomit (<i>Dolomite</i>)	Kvarc (<i>Quartz</i>)	Feldspati (<i>Feldspars</i>)	Pirit (<i>Pyrite</i>)	Klorit (<i>Chlorite</i>)	Smektit (<i>Smectite</i>)	Amorfna komponenta (<i>Amorphous component</i>)	Nepravilno interstratificirani filosilikati (<i>Irregularly stratified phyllosilicate</i>)	Iilit (<i>Illite</i>)
Tunel Mačkovac (<i>Tunnel Mačkovac</i>)	45	< 5	10	vrlo malo (<i>very low percentage</i>)	malo (<i>low percentage</i>)	< 5	-	> 30		
Tunel Klis- Kosa (<i>Tunnel Klis-Kosa</i>)	65	-	10	malo (<i>low percentage</i>)	-	-	> 20			
Tunel Mravinci (<i>Tunnel Mravinci</i>)	55	< 5	8	malo (<i>low percentage</i>)	-	5	15	-	10	
Tunel Mravinci (<i>Tunnel Mravinci</i>)	30	-	15	< 5	-	5	25		20	

Yüksel et al. (2006) su izmjerili pomake Jadranske mikroploče u široj okolici Dubrovnika u rasponu od 6 mm do 1 cm godišnje. Generalni smjer pomaka je prema sjeveroistoku.

Sedimentni kompleks fliša je posebno pogodan za tektonsko "oblikovanje". Lapor koji je često dominantan litotip fliša, je stijena sa malom jednoosnom tlačnom čvrstoćom. Prema Šestanoviću (1998) jednoosna tlačna čvrstoća lapora splitskog područja kreće se u rasponu od 6 do 26 MPa, a prema Roje – Bonacci i dr. (1985) najveći broj uzoraka, također splitskih lapora, ima čvrstoću od 10 do 30 MPa. Na izdancima fliša mogu se snimiti brojne prebačene, izoklinalne i druge geološke strukture povezane s boranjem, odnosno prema Juraku i dr. (1987) fliš ima svoju internu tektoniku. Razmjeri te tektonike se vide na Osnovnoj geološkoj karti list Split (Marinčić i dr. 1971) te na tlocrtnom prikazu terena prema Google Earth-u gdje se na području grada Kaštela između planine Kozjak i Jadranske magistrale lako može uočiti velika borana struktura unutar duktilnih flišnih naslaga koja se nalazi u podnožju spomenute planine (krti vapnenački masiv). Odgovor na pitanje kako su deformacije stijenske mase uzrokovane tektonikom povezane sa mehaničkim trošenjem fliša ilustriran je slikom 5. Zbog naprezanja kojima je stijenska masa bila izložena tijekom svoje geološke prošlosti dolazi do savijanja i povećanja kuta nagiba slojeva što dovodi do pojave pukotina okomitih na slojne plohe. Ovom procesu znatno su podložniji litotipovi fliša koji imaju klaste dimenzije šljunka i/ili pijeska zbog svoje povećane krtosti u odnosu na duktilne pelitne članove. Na slici 5 vide se slojevi intenzivno razlomljeni na manje blokove po pukotinama koje su okomite na njihove slojne plohe. Navedeni proces u potpunosti je u skladu s definicijom mehaničkog trošenja stijene.

Mehaničko trošenje fliša uzrokovano ponavljanjem procesa sušenja i vlaženja

Stijene flišnog slijeda pokazuju izrazitu sklonost degradaciji nakon što bivaju izložene utjecaju vode i sušenju nakon toga. Treba naglasiti da se ovaj proces reflektira samo na pelitne članove fliša (zbog njihovog mineralnog sastava), a kako su oni najčešće dominantni u čitavom kompleksu fliša, možemo smatrati da je i slijed flišnih sedimenata pod utjecajem ovog procesa. Za mehaničko trošenje lapora uzrokovano sušenjem i vlaženjem u literaturi pisanoj na engleskom jeziku koristi se termin "slaking", a kvantificira se preko "slake durability index-a". Spomenuti indeks se računa na način na koji je opisan u preporukama ISRM-a (International Society for Rock Mechanics, 1977), a njegove vrijednosti ukazuju na postojanost stijene koja sadrži određeni postotak glinovite komponente. Navedeni proces Mišćević (1998) ujedno smatra i glavnim uzrokom koji dovodi do degradacije lapora na terenu. Za potrebe svojih istraživanja autor je skupinu od 24 uzorka lapora užeg splitskog područja podijelio u tri

grupe. Prvu grupu uzoraka je nakon vađenja ostavio na sobnim uvjetima i na njima nisu obavljani nikakvi pokusi. Nakon šest mjeseci na uzorcima nisu uočene nikakve promjene. Druga grupa uzoraka je šest mjeseci bila potopljena u vodi na sobnoj temperaturi. U toj grupi uzoraka su uzorci koji su imali manje od 60% kalcitne komponente djelomično dezintegrirani. Treća grupa uzoraka je sušena na 50° C 20 sati, nakon toga je hlađena 4 sata na sobnim uvjetima da bi potom uzorci 24 sata bili potopljeni u vodi. Treća grupa uzoraka koja je tretirana na opisani način doživjela je potpunu dezintegraciju u sitnozrnat materijal (autor ne navodi nakon koliko ciklusa).



Slika 5. Razlomljenost boranih slojeva flišnog slijeda kao posljedica tektonskih naprezanja kojima je stijenska masa bila izložena tijekom svoje geološke prošlosti. Rezultat je savijanje i povećanje kuta nagiba slojeva što dovodi do nastanka pukotina okomitih na slojne plohe. (Trgovački centar Kaštela, Kaštel Sućurac, foto Aleksandar Toševski).

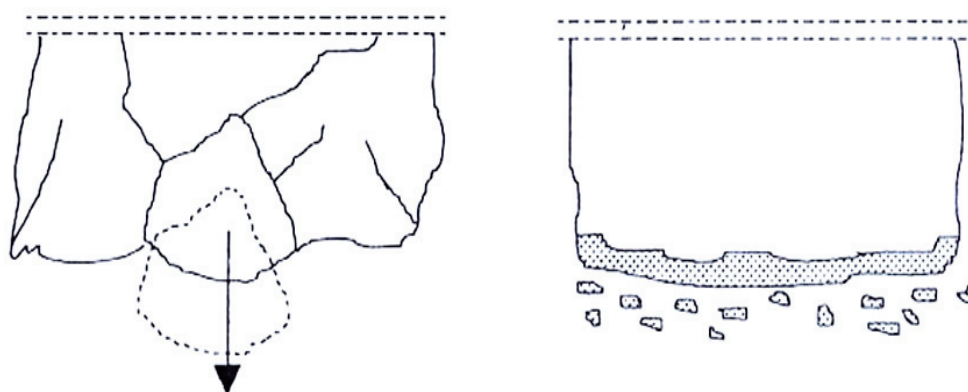
Figure 5. Fractured and folded flysch layers as a consequence of tectonic pressure during geological history. Result is folding and increasing of layers dip which is leading to joints development that are perpendicular to bedding planes (Shopping Mall Kaštela, Kaštel Sućurac, photo Aleksandar Toševski)

I praktična znanja i laboratorijska ispitivanja su pokazala da se lapori troše u inženjerskom vremenu (Fookes et al. 1988) što je najbitnija činjenica za geotehničke zahvate (Mišćević, 2004). To znači da se izdanci lapora u podzemnim ili nadzemnim iskopima moraju odmah

zaštiti od djelovanja vlage što se najčešće izvodi mlaznim betonom. Prema Miščeviću (1998) postoje dva oblika trošenja lapora uzrokovanog procesima sušenja i vlaženja (slika 6). Jedan oblik je raspadanje uzorka na manje dijelove po nastalim pukotinama, a drugi je ljuštenje lapora od površine uzorka prema njegovoj unutrašnjosti. Iako je obično jedan oblik dominantan, u pravilu se oba procesa odvijaju istovremeno.

Koji su mogući uzroci prevelike osjetljivosti lapora na procese uzastopnog sušenja i vlaženja? U prvom redu to je bubrenje minerala glina koji imaju svojstvo bubrenja u dodiru s vodom, a sastavni su dio lapora. To su minerali iz grupe smektita (najčešće montmorilonit) i nepravilno

interstratificirani filosilikati koji u sebi sadrže smektitne slojeve. Drugi razlog degradacije je naglo upijanje vode u pukotine suhog lapora koja "nagurava" zarobljeni zrak prema vrhu pore što stvara tlak koji poru dalje širi (Miščević, 2004). Ova pojava u engleskom jeziku je poznata pod nazivom "airbreakage". Uzastopno ponavljanje sušenja i vlaženja zbog navedenih razloga dovodi do slabljenja dijagenetskih veza u laporu i njegova raspadanja. Trošenje lapora na izdanku koji nije zaštićen od djelovanja vlage prikazano je slikom 7. U slučaju da se opisano trošenje odvija na terenu koji svojim nagibom omogućava zadržavanje trošnog materijala na mjestu nastanka, tada govorimo o zoni trošenja ili eluviju.



Slika 6. Oblici degradacijskog procesa na uzorcima lapora (a – nastanak pukotina, b – ljuštenje od površine prema unutrašnjosti uzorka, Miščević; 1998)

Figure 6. Forms of degradation processes on marl samples (a - development of cracks, b – exfoliation from the surface into depth of sample, Miščević; 1998)



Slika 7. Trošenje lapora na kosini koja nije zaštićena od utjecaja atmosferilija (lokalitet Žnjan, Split; foto Aleksandar Toševski)

Figure 7. Weathering of marl on the slope which is not protected from atmospheric conditions (locality Žnjan, city of Split; photo Aleksandar Toševski)

Erozija ogoljele flišne padine

Jurak i dr. (2002) su objavili vrlo zanimljiv rad na temu prekomjerne erozije ogoljelih flišnih padina u Istri. Iz slike 7 je očito da je produkcija trošnog materijala i njegova akumulacija u podnožju flišne padine ili kosine velika, a u spomenutom radu je precizno određena količina toga materijala metodom terestičke fotogrametrije.

Lokacija koja je bila predmetom istraživanja nalazi se kraj mjesta Sv. Donat u Istri. Radi se o ogoljeloj flišnoj padini izgrađenoj od klastičnih, srednjeeocenskih naslaga (Pleničar i dr., 1969, 1973) koje su prema Jurak i dr. (2002) predstavljene pješčenjacima, prahovnjacima, prahovitim laporima i laporima. Predmetna padina (slika 8) je metodom terestičke fotogrametrije snimljena 11. 12. 1997 i 12. 2. 2001. Na temelju promjene u topografiji terena može se izračunati razlika u volumenu materijala koji je s padine erodiran. Geodetska analiza snimaka je pokazala da je sa izložene površine od 4239 m² u razdoblju od 38 mjeseci (1997 – 2001) erodiran 361 m³ (Jurak i dr. 2002). Od toga je 314 m³ odneseno izvan područja praćenja, a ostatak od 47 m³ se zadržao unutar područja praćenja. Na temelju tih podataka izračunata je prosječna godišnja produkcija nanosa od 26890 m³/km²/god što jasno ukazuje na znatnu količinu materijala koja nastaje erozijom. Prema autorima rada, gornji, strmiji dijelovi padine erodirani su osipavanjem, a u donji dijelovi spiranjem kišom. Bitno je naglasiti da se ovakve pojave prekomjerne erozije smatraju geohazardnim događajima zbog toga što erodirani materijal biva istaložen tamo gdje je predstavlja štetne posljedice za ljude i materijalna dobra.



Slika 8. Ogoljela flišna padina kraj Sv. Donata u Istri na kojoj je primijenjena terestička fotogrametrija u svrhu određivanja količine erodiranog materijala (ljubaznošću Vlatka Gulama)

Figure 8. Eroded flysch slope near St. Donat on Istria Peninsula which was subjected to terrestrial photogrammetry for defining amount of eroded material (with kindness of Vlatko Gulam)

Fenomen "Slani Potok"

Slani Potok je mali vodotok površine sliva 1,34 km² koji se nalazi u zaleđu Crikvenice i pripada slivu Dubračine koja se u Crikvenici ulijeva u more. Sliv Slanog Potoka izgrađuju flišne naslage srednjeg i gornjeg eocena (E_{2,3}) među kojima pelitni intervali dominiraju nad

pješčenjacima i biokalkkruditima (Aljinović et al. 2010). Pelitni intervali su determinirani kao lapori, prahoviti lapori, kalcitični glinoviti prahovnjaci, prahovnjaci i glinoviti prahovnjaci (Mileusnić et al. 2004., Jurak et al. 2005). Kao i sve flišne terene, tako i sliv Slanog Potoka karakterizira erozija. Međutim, u slivu spomenutog vodotoka erozija je prekomjerna (ekscesivna), a teren se kao posljedica toga može okarakterizirati kao "badlands" (slika 9). Uzrok prekomjerne erozije na ovom području su istraživali Mileusnić et al. (2004), Jurak et al. (2005), Jurak et al. (2006) te Aljinović et al. (2010), a pojava je povezana sa kristalizacijom minerala tenardita (Na₂SO₄) koji do sada nije pronađen ni na jednom lokalitetu u Hrvatskoj, osim u slivu Slanog Potoka. Spomenuti mineral se lako uočava na izdancima u sušnim razdobljima kao pojava nazvana "cvjetanje" soli (Mileusnić et al. 2004., Jurak et al. 2005). Dodatnim upijanjem vode ternadit se transformira u mirabilit (Na₂SO₄ x 10H₂O) koji ima znatno veći volumen od tenardita što dodatno doprinosi mehaničkom trošenju flišnih sedimenta zbog porasta naprezanja u stijeni. Osim ove činjenice, prekomjernoj eroziji doprinosi i ion natrija (Na⁺) koji se zbog otapanja tenardita i mirabilita nalazi u sedimentu (Aljinović et al. 2010). Kako je ion natrija antikoagulans za čestice gline koje se nalaze u pelitnim intervalima, efekt disperzije čestica je jako izražen što dovodi do daljnje degradacije stijene i pojave puzanja i klizanja trošnih pelitnih sedimenta sliva Slanog Potoka. Zbog navedenog, resedimentacijski procesi na ovom području su puno izraženiji nego na ostalim flišnim lokalitetima u Hrvatskoj. Kristalizacija minerala tenardita u slivu Slanog Potoka je omogućena time što arenitni flišni sedimenti sadrže litoklaste mezozojskih i paleozojskih stijena određenih lokaliteta Gorskog kotara bogate natrijevim mineralima (Aljinović et al. 2010).



Slika 9. Žarište prekomjerne erozije u slivu Slanog Potoka (foto Aleksandar Toševski)

Figure 9. Focus of excessive erosion in Slani Potok catchment (photo Aleksandar Toševski)

Kemijsko trošenje fliša

Kemijskom trošenju fliša se ne pridaje velika važnost jer mehanički procesi su ti koji su dominantni tijekom procesa degradacije flišnih stijena. Međutim, flišne stijene su zbog svog mineralnog sastava ipak podložne nekim procesima koji u potpunosti zadovoljavaju definiciju kemijskog trošenja stijene. To su okršavanje i trošenje pirita (FeS_2).

Okršavanje je proces koji zahvaća terene izgrađene od karbonatnih stijenskih masa i soli. Za karbonatne stijenke se odvija prema slijedećoj kemijskoj reakciji:



Ugljični dioksid otopljen u vodi dovodi do toga da je otopina blago kisela što uzrokuje otapanje minerala kalcita i soli. Pri tomu nastaju dobro poznati krški oblici reljefa i to škrape, vrtače, ponori, jame, špilje, uvale i krška polja. Kako svi litotipovi fliša u sebi sadrže kalcitnu komponentu, proces okršavanja zahvaća i stijene flišne serije. Kemijski sastav srednje i krupnozrnatih flišnih litotipova nerijetko ukazuje na dominantno udio minerala kalcita, ali krški oblici na njima nisu razvijeni u opsegu koji bi bio očekivan. Razlog tomu je što se te stijene nalaze unutar debelih paketa pelitnih stijena koje svojom nepropusnošću predstavljaju zaštitu koja sprječava okršavanje srednje i krupnozrnatih litotipova. Krški oblici nisu razvijeni ni na pelitnim članovima flišnih sedimenta. Naime, te stijene doživljavaju mehaničko trošenje u inženjerskom vremenu pod utjecajem procesa sušenja i vlaženja čime se stvara zona trošenja koja se također odlikuje slabom propusnošću i na taj način štiti svježiju stijenu od daljnjeg utjecaja vode. Proces okršavanja ne odvija se u inženjerskom već geološkom vremenu zbog čega ni posljedice tog procesa ne mogu biti vidljive na terenu zbog navedenih razloga.

U pelitnim sedimentima fliša može biti prisutan i pirit. Njegovom oksidacijom putem vode nastaje željezni oksid i sumporna kiselina (preuzeto iz Johnson and De Graff, 1988). Sumporna kiselina otapa kalcit i ostale karbonatne minerale i na taj način pridonosi kemijskom trošenju stijene. Ovaj proces nije toliko izražen jer se mineral pirit u pelitnim članovima fliša nalazi u malim količinama.

Osim okršavanja i trošenja pirita, kemijskom trošenju fliša se može pripisati i proces koji je registriran i opisan na području Slanog Potoka, a odnosi se na utjecaj natrijevih iona na čestice gline u pelitnim članovima fliša.

Pojava selektivne erozije u flišu

Za flišne sedimente karakteristična je pojava selektivne erozije koja se na terenu vrlo često i lako uočava (slika 10). Srednje i krupnozrnati slojevi unutar flišnog

slijeda zbog svog mineralnog sastava su znatno otporniji na trošenje nego što su to pelitni slojevi čiji se intenzitet trošenja praktički može pratiti iz dana u dan, naravno pod uvjetom da su izloženi djelovanju atmosferilija. Zbog te činjenice na padinama i/ili kosinama gdje se trošni materijal vrlo lako erodira, slojevi otporniji na trošenje strše iz profila kosine i/ili padine u odnosu na slojeve koji nisu otporni na atmosferske uvjete.



Slika 10. Selektivna erozija u flišu (lokalitet Žnjan, Split. Izdanak sa slike 7; foto Aleksandar Toševski)

Figure 10. Selective erosion in flysch (locality Žnjan, city of Split, outcrop from figure 7; photo Aleksandar Toševski)

Određivanje zone trošenja flišnih sedimentata

Zona trošenja nastaje kao posljedica opisanih mehaničkih i kemijskih procesa koji zahvaćaju stijene flišnog slijeda. Njezina debljina ovisi o intenzitetu trošenja, a može varirati u rasponu od nekoliko centimetara do nekoliko metara. Precizno određivanje debljine zone trošenja od iznimnog je značaja pri izradi temelja, potpornih konstrukcija, stupova mostova i vijadukata te svih ostalih objekata koji moraju biti temeljeni u svježoj stijeni, a ne trošnoj. "Kontakt" između zone trošenja i svježe matične stijene u podini prema Juraku i dr. (1987) ne predstavlja diskontinuitet već postupan prijelaz iz trošnog stanja u svježe stanje stijene.

Zona trošenja se najčešće određuje na četiri načina:

- vizualno na izdanku,
- kartiranjem jezgre bušotine,
- analizom brzina primarnih (uzdužnih) seizmičkih valova
- analizom otpornosti

Što znači vizualno odrediti zonu trošenja na izdanku najlakše je predočiti slikom 11. Na slici je crnom crtom predstavljen "kontakt" eluvijalnih tvorevina (zona trošenja) i lapora koji nije zahvaćen procesima trošenja. Slučaj kada na terenu postoji profil naslaga na kojem se vide svi relevantni čimbenici povezani s problematikom koja se rješava, za geologa je najpoželjniji. Ukoliko ne postoji kvalitetan profil, istraživačko bušenje jedna je od metoda kojom se također vrlo pouzdano može odrediti debljina zone trošenja.

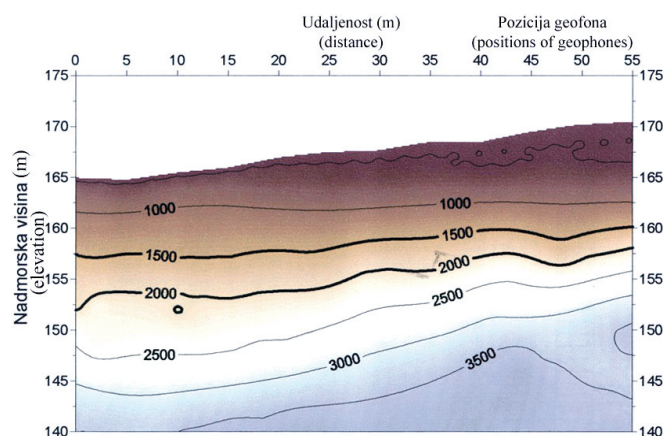


Slika 11. Zona trošenja lapora snimljena na istočnom profilu sjever – jug građevne jame Sveučilišne knjižnice u Splitu (foto Aleksandar Toševski)

Figure 11. Marl weathering zone mapped on the eastern cross section north-south in construction pit of Split University Library (photo Aleksandar Toševski)

Jurak i dr. (1987) su na primjeru Župe Dubrovačke pokazali da se i mjerenjem brzina uzdužnih (primarnih) seizmičkih valova također može razlikovati trošna sredina od one koja to nije. Naime, brzine uzdužnih seizmičkih valova u eluvijalnim tvorevinama Župe Dubrovačke se kreću u rasponu od 700 do 2140 m/s, a u svježim stijenama fliša koje nisu zahvaćene procesima trošenja od 2000 do 2700 m/s. Zbog toga je i na seizmičkom profilu također moguće odrediti i procijeniti debljinu zone trošenja. Školski primjer navedenog se može vidjeti na slici 12 koja predstavlja seizmički profil na trasi buduće brze ceste Stobreč-Omiš (poddionica Dugi Rat-Omiš) od stacionaže 10+323,00 do 10+378,00. Brzine primarnih seizmičkih valova do 1500 m/s odgovaraju kvartarnom pokrivaču dominantno izgrađenom od kršja vapnenca i glinovito-prahovitog materijala deriviranog sa čela navlaka te "in situ" trošenjem. Brzine od 1500 do 2000 m/s odgovaraju zoni trošenja flišnih sedimenata (lapor sa proslojcima pješčenjaka) dok brzine iznad 2000 m/s odgovaraju svježem flišu (Institut IGH d.d., 2006)

proslojcima pješčenjaka dok brzine iznad 2000 m/s odgovaraju svježem laporu sa proslojcima pješčenjaka.



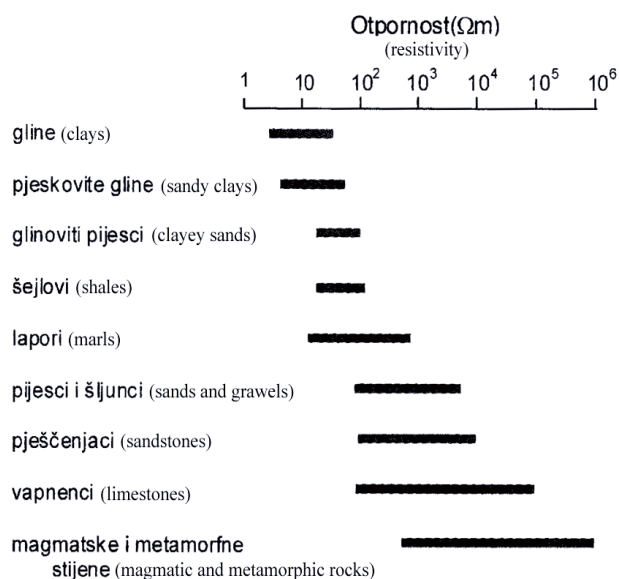
Slika 12. Refrakcijski seizmički profil na trasi buduće brze ceste Stobreč-Omiš (poddionica Dugi Rat-Omiš) od stacionaže 10+323,00 do 10+378,00. Profil predstavlja školski primjer povećavanja brzine primarnih seizmičkih valova sa porastom dubine što je s obzirom na geološku građu spomenutog lokaliteta interpretirano na slijedeći način: brzine primarnih seizmičkih valova do 1500 m/s odgovaraju kvartarnom pokrivaču dominantno izgrađenom od kršja vapnenca i glinovito-prahovitog materijala deriviranog sa čela navlaka te "in situ" trošenjem. Brzine od 1500 do 2000 m/s odgovaraju zoni trošenja flišnih sedimenata (lapor sa proslojcima pješčenjaka) dok brzine iznad 2000 m/s odgovaraju svježem flišu (Institut IGH d.d., 2006)

Figure 12. Refraction seismic cross section on the rout of future motorway Stobreč-Omiš (subsection Dugi Rat-Omiš) from chainage 10+323,00 to 10+378,00. Cross section represents reference example of velocity amplification with depth increasing. According to local geological settings cross section is interpreted as follows: velocity of primary seismic waves up to 1500 m/s corresponds to Quaternary superficial deposits which comprised of limestone fragments and clayey-silty material derived from overthrust and "in situ" weathering. Velocity of primary seismic waves from 1500 to 2000 m/s corresponds to flysch weathering zone (marl with sandstone intercalation). Velocity of primary seismic waves which exceeds 2000 m/s corresponds to fresh flysch rock mass (Institut IGH d.d., 2006)

Pored spomenuta tri načina, u svrhu određivanja zone trošenja flišnih sedimenata, danas se često koristi i jedna od električnih geofizičkih metoda istraživanja, a to je električna tomografija. Osim određivanja zone trošenja, električna tomografija daje odlične rezultate i u istraživanju kontakta fliša i karbonatnih stijenskih masa koji se spomenutom metodom lako odredi.

Električna tomografija bazira se na mjerenju otpornosti (Ωm) u podzemlju. Stijene i tla se međusobno razlikuju prema otpornosti, međutim ista stijena može imati otpornosti u vrlo širokim rasponima pa dolazi do preklapanja otpornosti različitih stijena. Približni rasponi otpornosti nekih vrsta stijena prikazani su slikom 13. Općenito se može reći da otpornost ovisi o količini vode u materijalu, njejoj mineralizaciji i temperaturi što objašnjava činjenicu da gline imaju najmanju opornost (do 60 Ωm). Sukladno tome, otpornost tala će se smanjivati s povećanjem glinovite komponente u njima, a stijena povećavati s povećanjem razlomljenosti i stupnjem trošnosti stijene.

Uspješnost istraživanja električnom tomografijom ovisi ponajprije o razlikama u otpornosti materijala, a dobre rezultate daju slijedeće kombinacije naslaga: glina-vapnenac, glina-pijesak-šljunak, lapor-vapnenac, slana vodaslata voda u porama i pukotinama te suhe stijene-vlažne stijene (Šumanovac, 2007).

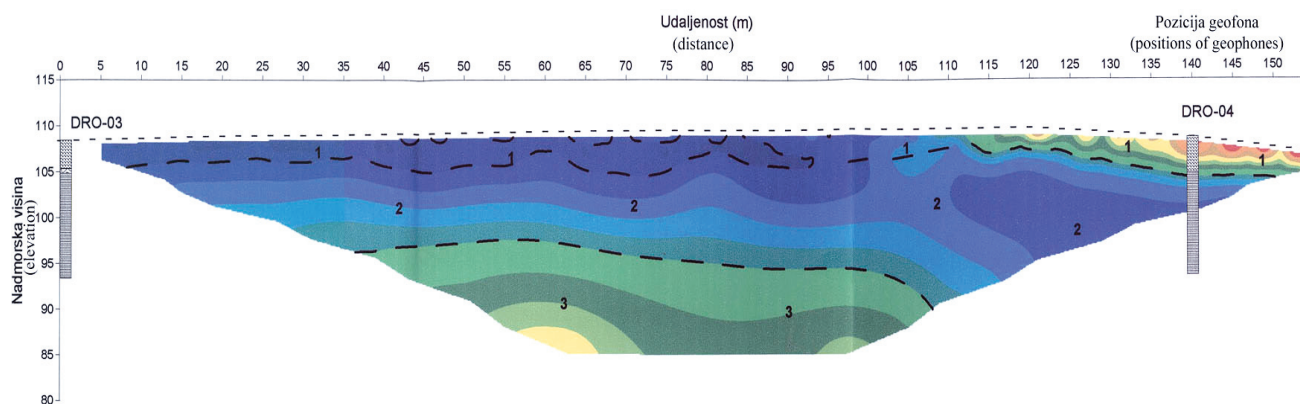


Slika 13. Približni rasponi otpornosti nekih vrsta stijena (Šumanovac, 2007)

Figure 13. Resistivity approximate values of some rock types (Šumanovac, 2007)

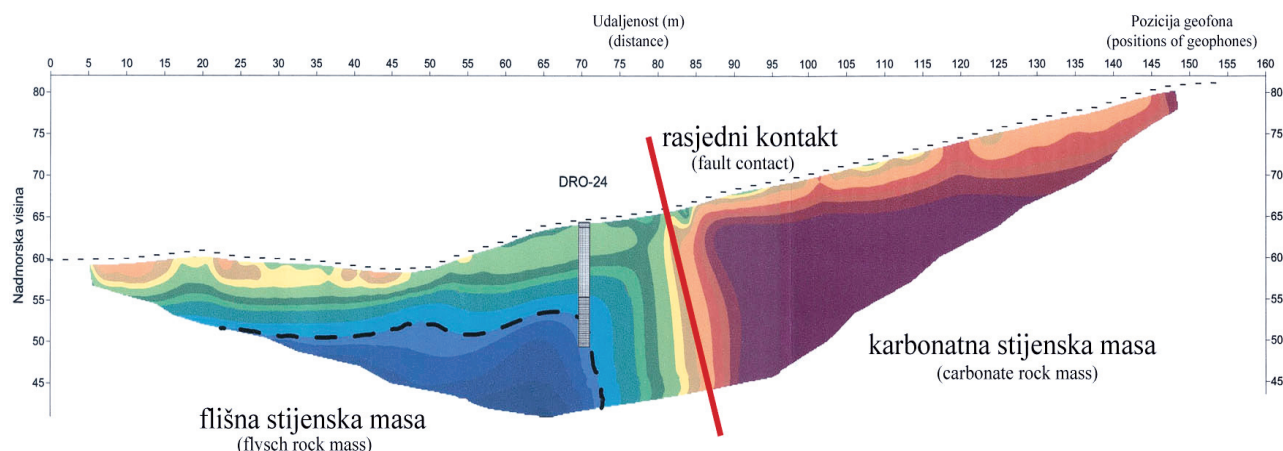
Na slici 14 je prikazan profil načinjen električnom tomografijom [(trasa buduće brze ceste Stobreč-Omiš (poddionica Dugi Rat-Omiš) od stacionaže 13+052,00 do 13+212,00)] na kojem se jasno mogu izdvojiti tri zone s obzirom na otpornost naslaga, a koje su s obzirom na geološku građu terena interpretirane na slijedeći način: zona 1 odgovara zoni trošenja lapora (otpornost do 30 Ωm) iznad koje se na desnom dijelu profila nalazi kvartarni pokrivač izgrađen od kršja vapnenca i glinovito-prahovitog materijala deriviranog sa čela navlaka te "in situ" trošenjem otpornosti od 50 do 300 Ωm; zona 2 otpornosti od 30 do 50 m Ωm interpretirana je kao zona trošenja flišnih sedimenata; a zona 3 otpornosti od 50 do 150 Ωm odgovara flišnim stijenama koje nisu zahvaćene procesima trošenja.

Osim određivanja zone trošenja, električna tomografija daje odlične rezultate u istraživanju kontakta flišnih sedimenata i karbonatnih stijenskih masa što se vidi na slici 15. Navedeni kontakt je moguće lako utvrditi tomografijom jer se radi o izrazito kontrastnim sredinama. Otpornost flišnih sedimenata koji nisu zahvaćeni trošenjem iznosi do 150 Ωm, a karbonatnih stijenskih masa i do nekoliko tisuća Ωm, pogotovo ako su karakterizirane kavernama bez ispune kada otpornost može dosegnuti vrijednosti i do nekoliko desetaka tisuća Ωm. Kaverne se mogu naći i u flišnim terenima. Najveća špilja u flišu nalazi se u Istri, a riječ je o špilji Piškovića dužine oko 1090 m (Garašić, 2012, usmeno priopćenje) koja se nalazi na teritoriju općine Vižinada.



Slika 14. Profil načinjen električnom tomografijom na trasi buduće brze ceste Stobreč-Omiš (poddionica Dugi Rat-Omiš) od stacionaže 13+052,00 do 13+212,00. Analizom otpornosti, a s obzirom na geološku građu terena, izdvojene su tri zone: zona 1 odgovara zoni trošenja flišnih sedimenata (otpornost do 30 Ωm) iznad koje se na desnom dijelu profila nalazi kvartarni pokrivač izgrađen od kršja vapnenca i glinovito-prahovitog materijala deriviranog sa čela navlaka te "in situ" trošenjem otpornosti od 50 do 300 Ωm; zona 2 otpornosti od 30 do 50 m Ωm interpretirana je kao zona trošenja flišnih sedimenata; a zona 3 otpornosti od 50 do 150 Ωm odgovara flišnim stijenama koje nisu zahvaćene procesima trošenja (Institut IGH d.d., 2006)

Figure 14. Cross section made by electrical resistivity tomography on the route of future motorway Stobreč-Omiš (subsection Dugi Rat-Omiš) from chainage 13+052,00 to 13+212,00. According to local geological settings and resistivity values three zones can be distinguished: zone 1 corresponds to weathering zone of flysch rock mass (resistivity up to 30 Ωm) with Quaternary superficial deposits (limestone fragments and clayey-silty material derived from overthrust and "in situ" weathering) above on the right side of cross section with resistivity from 50 to 300 Ωm; zone 2 with resistivity from 30 to 50 Ωm corresponds to weathering zone of flysch rock mass; zone 3 with resistivity from 50 to 150 Ωm corresponds to fresh flysch rock mass (Institut IGH d.d., 2006)



Slika 15. Profil načinjen električnom tomografijom na trasi buduće brze ceste Stobreč-Omiš (poddionica Dugi Rat-Omiš) od stacionaže 15+689,00 do 15+850,00. Predstavlja primjer određivanja kontakta fliša i vapnenca analizom otpornosti. Desnu stranu od rasjednog kontakta izgrađuje karbonatna stijenska masa okršena u površinskom dijelu (otpornosti do 25000 Ω m što može ukazivati i na pojave kaverni), a lijevu stranu profila flišna stijenska masa otpornosti do 60 Ω m iznad koje se nalazi kvartarni pokrivač sa otpornostima do 2500 Ω m (Institut IGH d.d., 2006)

Figure 15. Cross section made by electrical resistivity tomography on the rout of future motorway Stobreč-Omiš (subsection Dugi Rat-Omiš) from chainage 15+689,00 to 15+850,00. It represents a reference example of mapping fault contact between carbonate and flysch rock mass using electrical resistivity tomography. Right side of the fault contact is built of carbonate rock mass karstified near surface (resitivity up to 25000 Ω m what can be indication of solution cavity presence). Left side of the fault contact is built of flysch rock mass resitivity up to 60 Ω m with Quaternary superficial deposits above with resistivity up to 2500 Ω m (Institut IGH d.d., 2006)

Zaključak

Krupnozrnati članovi flišnog slijeda najčešće su predstavljeni (bio)kalkruditima i (bio)kalkarenitima, brečama, konglomeratima i pješčenjacima, a pelitni članovi, koji su ujedno i dominantni, laporima i prahovnjacima. Olistoliti foraminiferskog vapnenca specifikum su fliša šireg splitskog područja. Inženjerskogeološko značenje olistolita u graditeljskoj praksi sastoji se u tome da isti znatno povećavaju heterogenost i anizotropiju stijenske mase u kojoj se nešto gradi. Situacija u kojoj je dio temelja građevine na čvrstom foraminiferskom vapnencu, a dio na mekoj stijeni laporu za projektiranje je izuzetno nepovoljna. Naime, navedene stijene su kontrastnih fizičko – mehaničkih značajki što ima za posljedicu različitu nosivost stijene, različito kemijsko i mehaničko trošenje te različit "odziv" materijala na seizmičku pobudu.

Kao i druge stijene, stijene flišnog kompleksa su podložne mehaničkom i kemijskom trošenju. Mehaničko trošenje uzrokovano je tektonikom i atmosferilijama od kojih je za pelitne flišne litotipove najznačajniji proces sušenja i vlaženja. Spomenuti proces odvija se u inženjerskom vremenu i diktira uvjete iskopa u flišnim terenima na način da stijensku masu fliša treba što prije zaštititi od utjecaja vlage. Zbog značajne količine trošnog materijala, padine i/ili kosine u flišu podložne su geohazardnom događaju prekomjerne erozije koja se iskazuje putem osipavanja i spiranja kišom. Kemijsko trošenje flišnih stijena uključuje dva procesa, a to su okršavanje i oksidacija pirita. Ova dva procesa međutim nemaju značajniju ulogu u cjelokupnom

trošenju flišnog kompleksa. Izuzetak je kemijsko trošenje flišnih stijena sliva Slanog Potoka gdje je trošenje fliša uzrokovano kristalizacijom minerala tenardita izravno utjecalo na pojavu prekomjerne erozije. Erozijska je do te mjere razvijena da možemo govoriti o terenu koji ima značajke "badlands"-a. Zbog razlika u mineralnom sastavu krupnozrnatih članova u odnosu na pelitne članove, na izdancima fliša često se može uočiti pojava selektivne erozije u smislu da je trošenje pelitnih mnogo izraženije od trošenja krupnozrnatih litotipova.

Precizno određivanje debljine zone trošenja flišnih, ali i svih ostalih vrsta stijenskih masa, od iznimnog je značaja pri izradi temelja, potpornih konstrukcija, stupova mostova i vijadukata te svih ostalih objekata koji moraju biti temeljeni na svježoj, a ne trošnoj stijeni. Najčešće, zona trošenja se određuje na slijedeća četiri načina: vizualno na izdanku, kartiranjem jezgre bušotine, analizom brzina primarnih seizmičkih valova te analizom otpornosti.

U Hrvatskoj su objavljeni mnogi radovi na temu fliša, najčešće u području geotehnike, međutim malo je radova koji tretiraju kompleksnu tektoniku, sedimentologiju i mineralogiju flišnog kompleksa, a neophodni su za njegovo potpuno poznavanje što može biti smjernica za buduća istraživanja.

Rad je izrađen u sklopu bilateralnog hrvatsko-japanskog projekta "Identifikacija rizika i planiranje korištenja zemljišta za ublažavanje nepogoda kod odrona zemlje i poplava u Hrvatskoj". Projekt je financiran od strane Ministarstva znanosti, obrazovanja i

sporta te SATREPS (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development) programa japanske vlade. U sklopu SATREPS programa u projektu sa japanske strane sudjeluju dvije državne agencije, JICA (Japan International Cooperation Agency) i JST (Japan Science and Technology Agency).

Literatura

- Aljinović, D., Jurak, V., Mileusnić, M., Slovenec, D., Presečki, F. (2010): The origin and composition of flysch deposits as an attribute to the excessive erosion of the Slani Potok Valley ('Salty Creek), Croatia. *Geologia Croatica*, 63/3, 313-322.
- Bates, R., L. Jackson, J. A. (1984): *Dictionary of Geological Terms*, 3rd ed., American Geol. Inst., Alexandria, Virginia, 571 str.
- Bergant, S., Tišljarić, J., Šparica, M. (2003): Eocene Carbonates and Flysch Deposits of the Pazin Basin. Field Trip Guidebook, 22nd IAS meeting of Sedimentology, Opatija, Croatia, eds. Vlahović and Tišljarić, 57-63.
- Blašković, I. (1999): Tectonics of part of the Vinodol valley within the model of the continental crust subduction. *Geologia Croatica*, 52/2, 153 – 189.
- Borović, I., Marinčić, S., Majcen, Ž., Rafaeli, P., Mamužić, P. (1975): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Vis, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Carozzi, A.V. (1960): *Microscopic Sedimentary Petrography*, John Wiley & Sons, Inc., New York – London, 485 str.
- Fookes, P.G., Gourley, C.S., Ohikere, C. (1988): Rock weathering in engineering time. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 21, 33-57.
- Füchtbauer, H. (1974): *Sediments and Sedimentary Rocks 1. – Sedimentary Petrology, Part II*. Schweizerbart, Stuttgart, 464 str.
- Garašić, M. (1987): Geološko kartiranje brze ceste Solin-Klis. Arhiva Instituta IGH d.d. (elaborat).
- Gonzalez de Vallejo, L.I., Ferrer, M. (2010): *Geological Engineering*. Taylor and Francis Group, CRC Press/Balkema, Leiden, 678 p.
- Herak, M. (1973): Some tectonic problems of the evaporitic area in the Dinarides of Croatia, *Geološki vjesnik*, 26, Zagreb, 29 – 40.
- Hrvatski geološki institut (1999): Geološka karta Republike Hrvatske, M 1:300000. Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Institut IGH d.d. (2006): Geofizički istražni radovi, brza cesta Stobreč-Omiš, poddionica Dugi rat-Omiš. Radni nalog: 22100110 (elaborat).
- ISRM (1977): Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake durability index properties.
- Ivanović, A., Sakač, K., Marković, S., Sokač, B. (1973): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Obrovac, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Ivanović, A., Sikirica, V., Marković, S., Sakač, K. (1977): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Drniš, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Jašarević, I., Lebo, Ž. (1998): A contribution to geotechnical engineering in HSSR of Adriatic coast area, *The Geotechnics of Hard Soils – Soft Rocks*, Evangelista i Picarelli (ur.), Balkema, Rotterdam, 2723 – 2731.
- Johnson, R.B., De Graff, J.V. (1988): *Principles of Engineering Geology*, John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 497 str.
- Jurak, V., Kovačić, D., Garašić, M. (1995): Procjena seizmičke stabilnosti nekih blokovskih paleoklizišta. 1. Hrvatski geološki kongres, zbornik radova, ur. Vlahović et al., Opatija, 269-274.
- Jurak, V., Matasović, N., Cvijanović, D., Jašarević, I., Garašić, M., Slovenec, D. (1987): Definiranje prirodnih uvjeta terena na području Župe Dubrovačke za potrebe geotehničko – seizmičkog mikrozoniranja, Zbornik referata 9. jug. simp. o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, knjiga 2, Inženjerska geologija, Plišina, 41 – 60.
- Jurak, V., Petraš, J., Gajski, D. (2002): Istraživanja ekscesivne erozije na ogoljelim flišnim padinama u Istri primjenom terestičke fotogrametrije, *Hrvatske vode*, 10/38, Zagreb, 49 – 58.
- Jurak, V., Slovenec, D., Mileusnić, M. (2005): Pretjerana erozija fliša – Slani Potok. Excursion Guide Book, 3rd Croatian Geological Congress, Zagreb, 51-55.
- Jurak, V., Slovenec, D., Mileusnić, M. (2006): Excessive flysch erosion – Slani Potok. Field Trip Guidebook, MECC'06, Zagreb, 48-51.
- Kerner, F. (1914): *Geologische Spezialkarte der Österr.-Ungar. Monarchie 1:75000, zone 31 kol XV, Sinj und Spalateo*. Wien.
- Konta, J. (1973): Kvantitativni system rezidualnih hornin, sedimentu vulkanoklastičkih usazenin. – Univ. Karlova, Praha, 375, str.
- Korolija, B., Borović, I., Grimani, I., Marinčić, S. (1975): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Korčula, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Kuk, V., Prelogović, E., Dragičević, I. (2000): Seismotectonically Active Zones in the Dinarides. *Geologia Croatica*, 53/2, Zagreb, 295 – 303.
- Magaš, N. (1968): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Cres, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Magaš, N., Marinčić, S. (1973): Tumač Osnovne geološke karte, M 1: 100 000, listovi Split i Primošten (K 33-20, K 33-21), Savezni geološki zavod, 47 str., Beograd.
- Magdalenčić, Z. (1972): Sedimentologija fliških naslaga srednje Istre. *Prir. Istraž.* 39, *Acta geol.* 7/2, Zagreb, 71-100.
- Magdalenčić, A., Crnković, B., Jašarević, I. (1980): Problemi vezani za radove u flišu. Gen. izvještaj, Zbornik radova 5. jug. simp. o meh. stijena i podz. rad., knjiga 2, Split, 93 – 109.
- Majcen, Ž., Korolija, B., Sokač, B., Nikler, L. (1970): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Zadar, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Mamužić, P. (1971): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Šibenik, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Mamužić, P., Nedela-Devide, D. (1968): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Biograd, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Mamužić, P., Milan, A., Korolija, B., Borović, I., Majcen, Ž. (1969): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Rab, Savezni geološki zavod, Beograd.

- Mamužić, P., Sokač, B., Velić, I. (1970): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Silba, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Marinčić, S., Magaš, N., Borović, I. (1971): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Split, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Marinčić, S., Magaš, N., Borović, I. (1971): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Primošten, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Marinčić, S., Majcen, Ž. (1975): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Jelsa, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Marinčić, S., Korolija, B., Mamužić, P., Magaš, N., Majcen, Ž., Brkić, M., Benček, Đ. (1977): Tumač Osnovne geološke karte, M 1: 100 000, list Omiš (K 33-22), Savezni geološki zavod, 51 str., Beograd.
- Marinčić, S., Magaš, N., Benček, Đ. (1977): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Ploče, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Marjanac, T. (1991): Evolucija eocensko - miocenskog flišnog bazena srednje Dalmacije, doktorska disertacija, Prirodoslovno - matematički fakultet, Geološki odsjek, Zagreb.
- Marković, B. (1971): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Dubrovnik, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Mileusić, M., Slovenec, D., Jurak, V. (2004): Thenardite-efflorescence indicating cause of the excessive flysch erosion, Slani Potok, Croatia. *Acta Mineralogica-Petrographica, Abstract Series, Szeged*, 75-75.
- Miščević, P. (1998): The investigation of weathering process in Eocene flysch, *The Geotechnics of Hard Soils – Soft Rocks*, Evangelista i Picarelli (eds.), Balkema, Rotterdam, 267 – 272.
- Miščević, P. (2004): Uvod u inženjersku mehaniku stijena, Građevinsko – arhitektonski fakultet, Split, 232 str.
- Natević, Lj., Petrović, V. (1967): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Trebinje, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Papeš, J., Marinković, R., Raić, V. (1982): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Sinj, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R. (1972): *Sand and Sandstone*, Springer - Verlag, New York – Heidelberg – Berlin, 615 str.
- Plenićar, M., Polšak, A., Šikić, D. (1969): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Trst, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Plenićar, M., Polšak, A., Šikić, D. (1973): Tumač osnovne geološke karte, M 1: 100 000, list Trst, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Polšak, A., Šikić, D. (1969): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Rovinj, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Raić, V., Ahac, A., Papeš, J. (1976): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Imotski, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Raić, V., Papeš, J., Ahac, A. (1980): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Ston, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Rajić, V., Papeš, S., Behlilović, S., Crnolatac, I., Mojićević, M., Ranković, M., Slišković, T., Đorđević, B., Golo, B., Ahac, A., Luburić, P., Marić, Lj. (1975): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Metković, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Reading, H. G. (1986): *Sedimentary Environments and Facies*, 2nd ed., Blackwell Sci. Publ., Oxford – London – Edinburgh – Boston, 615 str.
- Roje – Bonacci, T., Šestanović, S., Čagalj, M. (1985): Analiza odnosa jednoosne čvrstoće i postotka CaCO₃ u flišnim naslagama, *Zbornik radova 6. jug. simp. o meh. stijena i podz. rad.*, knjiga 1, 104 – 107, Titovo Velenje.
- Sartorio, D., Venturini, S. (1988): *Southern Tethys biofacies*, Agip Stratigraphic Department, Milan.
- Slovenec, D. (1990): Mineralni sastav uzoraka sedimenata s lokacije gradilišta magistralne ceste M – 11, dionica Solin – Klis, tunel Mravinci, tunel Mačkovac i tunel Klis-Kosa (elaborat)
- Sokač, B., Nikler, L., Velić, J., Mamužić, P. (1974) Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Gospić, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Swift, D. J. P., Thorne, I. A. (1991): Sedimentation on continental margins. I: a general model for shelf sedimentation. In: Swift, d. S., P., Oertel, G. F., Tillman, R. W., and Thorne, S. A. (eds), *Shelf Sands and Sandstone Bodies: Geometry, Facies and Sequence Stratigraphy*. Special Publication 14, Internal Association of Sedimentologists, 1 - 31.
- Šestanović, S. (1998): Engineering – geological characteristics of marl from Eocene flysch in the City of Split, Croatia, *The Geotechnics of Hard Soils – Soft Rocks*, Evangelista i Picarelli (eds.), Balkema, Rotterdam, 311 – 314.
- Šestanović, S., Toševski, A., Mihalić, S., Dečman, A., Ferić, P. (2012): Preliminary data for development of the engineering geological map of the city of Split (Croatia). *Environmental Earth Science*, vol. 66, 1547 – 1556.
- Šikić, D., Polšak, A., Magaš, N. (1969): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Labin, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Šikić, D., Plenićar, M., Šparica, M. (1972): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Ilirska Bistrica, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Šumanovac, F. (2007): Geofizička istraživanja podzemnih voda, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 244 str.
- Šušnjar, M., Bukovac, J., Nikler, L., Crnolatac, I., Milan, A., Šikić, D., Grimani, I., Vulić, Ž., Blašković, I. (1970): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Crikvenica, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Tišljar, J. (1994): *Sedimentne stijene*, Školska knjiga, Zagreb, 422 str.
- Tišljar, J. (2001): *Sedimentologija karbonata i evaporita*, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 375 str.
- Velić, I., Sokač, B. (1981): Osnovna geološka karta, M 1: 100 000, list Ogulin, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Yüksel, A., Marjanović, M., Medved, M., Rasić, Lj. (2006): Active deformation of the northern Adriatic region, *Proceedings of the NATO advanced research workshop on the Adria Microplate: GPS geodesy, tectonics and hazards*, Veszprem, Hungary, April 4 – 7, 2004, N. Pinter et al (eds), 257 – 267, 2006 Springer, Printed in Netherlands.

SOME CHARACTERISTICS OF EOCENE FLYSCH GENESIS, COMPOSITION AND WE- ATHERING IN CROATIAN COAST BELT

The paper briefly outlines the genesis, composition and weathering of Eocene flysch in the Croatian coast belt. By its definition, flysch is a sedimentary facies which describes a thick succession of deep marine, clastical sediment gravity flow deposits in the late stage of an orogen. Coarse-grained lithotypes are mostly represented by breccias, conglomerates, (bio)calcrudites, (bio)calacarenites and sandstones. Argillaceous lithotypes are mostly represented by marls and siltstones. Olistolithes of the foraminiferal limestone are specificity of the flysch in the wider Split area. The engineering geological significance of olistolithes in the engineering practice lies in the fact that they increase heterogeneity and anisotropy of rock mass in which something is being built. The situation in which one part of the building foundation is on solid foraminiferal limestone, and the other part on soft rock marl, is extremely unfavorable for designing. The aforementioned rocks have contrastive physical and mechanic features which results in a different bearing capacity of rocks, different chemical and mechanical weathering and different seismic response of the material. As all other lithosphere rock masses, flysch is subject to mechanical and chemical weathering. Mechanical weathering is caused by tectonic activities and atmospheric conditions, wetting and drying being the most significant processes

for flysch rocks. The mentioned process takes place in the engineering time, and dictates the method of excavation so that the flysch rock mass needs to be protected from the influence of moisture. Due to a significant quantity of weathered material, flysch slopes and/or cutt offs are subject to geohazard event of excessive erosion which manifests itself through rain drift and rain-wash. The chemical weathering of flysch rocks includes two processes, and they are karstification and oxidation of pyrite. However, these two processes do not play a more substantial role in the overall weathering of the flysch complex. The exception is the Slani Potok catchment where the chemical weathering of flysch caused by the crystallization of the mineral ternadite has directly influenced the phenomenon of excessive erosion. Erosion has been developed to the extent that we can talk about a terrain which has all the characteristics of badlands. Due to the differences in the mineral composition of coarse-grained lithotypes in relation to argillaceous lithotypes, on the flysch outcrops we can often notice selective erosion. The precise determination of the weathering zone thickness of flysch, but all other rock mass types as well, is of great significance in building foundations, support structures, bridge piers and viaducts, and all other objects which have to be built on a fresh, and not weathered rock. The weathering zone is mostly determined in four following ways: visually on the outcrop, by core mapping, analyzing the velocity of primary seismic waves and analyzing the resistance.