

O stabilnosti karbonskega glinastega skrilavca ob avtocesti Ljubljana - Celje s petrografskega stališča

Stability of the Carboniferous Slate along the Ljubljana - Celje Highway from the Petrographic Point of View

Mirka TRAJANOVA

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 16, Ljubljana

Ključne besede: glinasti skrilavci, karbon, anhimetamorfoza, tekstura in struktura, mineralna sestava, fizikalne lastnosti, Trojane, Slovenija

Key words: slate, Carboniferous, anchimetamorphism, structure and texture, mineral composition, physical properties, Trojane, Slovenia

Kratka vsebina

Karbonske klastične kamnine na trasi avtoceste preko Trojan so predvsem muljevci in podrejeno peščenjaki, ki oblikujejo lamine, plasti ponekod pa tudi debelejša intervala peščenjakov. Pri tektonskih procesih so se v pogojih anhicone dinamometamorfno spremenili v glinaste skrilavce in zelo šibko metamorfozirane peščenjake. Primarne in novo nastale anizotropije, mineralna sestava ter sekundarna razpokanost, predstavljajo geomehansko zelo nestabilno kamnino, ki je še posebno občutljiva na strižne obremenitve. Laboratorijski strižni testi kažejo porušitve vzdolž obstoječih anizotropij v kamnini.

Abstract

The Carboniferous clastic rocks along the highway from Ljubljana passing across the Trojane hilly area toward Celje belong predominantly to shale and subordinate sandstone, forming laminae, layers and also thicker sandstone intervals. They have been dynamometamorphosed to the anchizone grade to slates and weakly metamorphosed sandstones. Primary and newly developed anisotropies together with mineral composition and secondary fracturing resulted geomechanically into a very unstable rock, sensitive primarily to the shear strain. The laboratory shear tests show failures along existing anisotropies in the rock.

Uvod

Gradnja avtocestnega odseka med Ljubljano in Celjem je danes najbolj zahteven, zagotovo pa eden največjih gradbenih posegov pri nas. V ta okvir spada tudi predor pod Golovcem na ljubljanski severni obvoznici. Dogodki, povezani z njegovo gradnjo, so pravi povod za pričujoči članek. Vzrok za

obsežno plazenje hribine na tem območju so bile v glavnem karbonske klastične kamnine, med njimi prav glinasti skrilavec. Pogled na Osnovno geološko karto OGK 1:100 000, list Ljubljana (Premru, 1982) kaže pojavljanje tako imenovanih permokarbonskih kamnin na več odsekih vzdolž trase avtoceste. Začnejo se z grebenom Golovca in nadaljujejo proti vzhodu vzdolž re-

ke Save v Posavske gube. Po njih poteka, s posameznimi prekinitvami, pretežni del trase avtoceste.

Karbonski glinasti skrilavec je bil že večkrat predmet obravnav, tako v sklopu osnovnih geoloških raziskav, kot tudi z ekonomskega stališča. Mlakar s sodelavci (1992) govori o več rudnih pojavih v karbonskih kamninah severno od Litije in podrobno razčlenjuje Litijsko rudno polje (Mlakar, 1994). Pri spremljevalnih delih na omenjeni trasi avtoceste so ga Čadež in sodelavci preiskovali z inženirsko-geološkega zornega kota (Čadež et al., 2000) in v primerjavi s podobnimi kamninami psevdoziljske formacije (Čadež et al., 2001). Njihove glavne lastnosti je na kratko podala Trajanova (2001).

Klastične kamnine na območju Posavskih gub je Mlakar (1987) ter Mlakar s sodelavci (1992) uvrstil v karbon. Starostna uvrstitev temelji predvsem na najdbah Kolar-Jurkovškove in Jurkovška (1985 in 1986). Na obravnavanem ozemlju so zajete v mejnem območju med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi. Pripadajo geotektonski enoti Zunanjih Dinariidov, kjer so predstavljali mehko posteljico pri nastajanju njihove krovne zgradbe (Placer, 1998a,b, Placer et al., 1999). Zaradi tega na celotnem območju sledimo dinamometamorfne spremembe, ki so se posebno jasno vtisnile v najdrobnejše zrnate sedimentne kamnine. Postopen prehod iz diageneze v metamorfozo je vedno težko opisati samo z imenom nastopajočih razlik. Zato se za isto kamnino iz območja anhicone uporabljata imeni skrilav glinavec (shale) in glinasti skrilavec (slate). O poimenovanju teh in podobnih kamnin je bilo že pisano v članku Eržen-Trajanove (1999), konkretnega dogovora pa še vedno ni.

Neglede na to pa so osnovne lastnosti glinastih skrilavcev pogosto, če že ne praviloma, pomenile past za prehitre gradbene posege. Kljub opozorilom o možnih posledicah ob premajhnem poznavanju globinskih razmer pred pričetkom del na predoru pod Golovcem, smo se ponovno učili na napaakah. Podobne težave so se in se še pojavljajo na območju Trojan, vendar je tu tehnologija gradnje že prilagojena kamnini.

Osnovne lastnosti glinastega skrilavca

Obravnavane kamnine so nastale iz zelo drobnozrnatih klastičnih sedimentov. Navadno niso homogene, temveč laminirane do tanko plastovite. Temne glinavce z lečami in polami meljevca je Mlakar označil kot najnižjo in najstarejšo superpozicijsko enoto a ali talninski skrilavec. V enoto b spadajo mlajši, bolj debelozrnat klastiti. Med njimi je ločil podenoto b_1 s hitrim menjavanjem drobnozrnatega peščenjaka, meljevca in muljevca, ki ji pripisuje regionalni pomen, kot reporni horizont. V enoto c pa uvršča sive glinavce z vložki lapornih kamnin (Mlakar 1987). Glede na podobnost preiskovanih vzorcev z omenjenimi je najverjetneje, da pripadajo superpozicijski enoti a in podenoti b_1 , del pa lahko tudi podenoti b_2 , ki jo Mlakar (1994) opisuje na območju Litijskega rudnega polja.

Dinamometamorfni procesi so glinavce in meljevce (muljevce) v pogojih anhicone spremenili v glinaste skrilavce (slate). Jakost sprememb v njih ni povsod enaka. Zato ponekod še vedno najdemo dokaj nedeformirane različke, pri katerih so znaki metamorfoze predvsem rekristalizacija z usmerjeno novo rastjo nekaterih mineralov in močno poudarjena skrilavost, ki lahko sovпада s plastovitostjo ali pa oklepa z njo različne kote. Glinasti skrilavci so temno sivi, najdrobnejše zrnati sivkasto črni, po čemer se na pogled razlikujejo od sivih do svetlo sivih peščenih meljevcev in peščenjakov (sl. 1).

Porušitev naravnega ravnovesja z gradbenimi posegi pa prav v glinastih skrilavcih lahko hitro povzroči težave. Vzrok moramo iskati v osnovnih lastnostih kamnine: v splošni tektonski deformiranosti, teksturi, mineralni sestavi in strukturi.

Mineralno sestavo je rentgensko spremljal M. Mišič, vendar rezultati še niso objavljeni. Skaberne jo je določil na območju Cerknega (Placer et al., 2000) in je povsem primerljiva z obravnavano, ki je določena mikroskopsko. Prevladujoči minerali so filosilikati: muskovit, sericit in klorit. Podrejeno nastopajo še kremen in glinenci, ki jih zastopata v glavnem albit in v nekaterih primerih malo mikroklina. Ponekod je v spremenljivih količinah prisoten avtigeni dolomit in zelo redko siderit. Med akcesor-



Sl. 1. Tanko do mikro-laminirano menjavanje glinastega skrilavca in zelo šibko metamorfoziranega peščenega meljevca. Odlomna ploskev seče kompetentne lamine prečno in povija v smeri s_1 ter s_0 v nekompetentnih laminah. Predor Golovec.

Fig. 1. Thinly to micro-laminated alternations of slate and slightly metamorphosed sandy siltstone. The break surface cuts transversely through the competent laminas and turns to the s_1 and s_0 directions in the incompetent laminas. The Golovec tunnel.

nimi minerali so najpogostejši neprosojni minerali, v sledovih pa najdemo cirkon, turmalin, rutil in titanit. V enem vzorcu svetlo zelenkasto olivne barve iz trojanskega predora smo zasledili mikroskopske iglice, ki lahko pripadajo rutilu, vendar so po pojavljanju bolj podobne antimonitu.

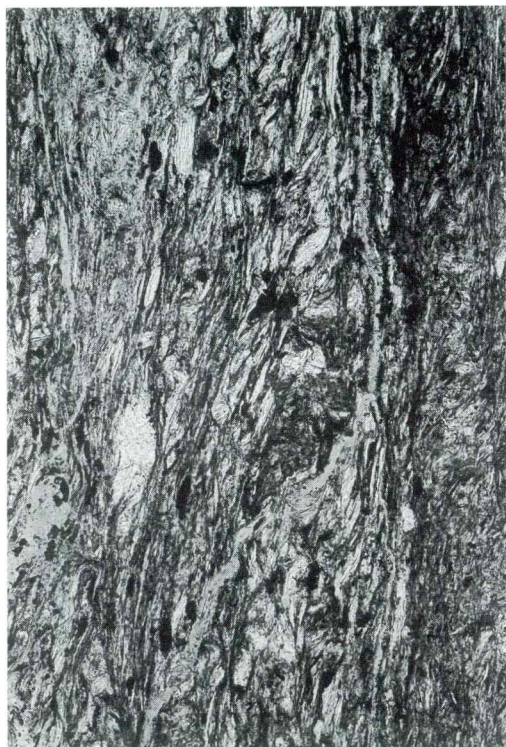
Za obravnavane razlike so značilne texture laminacija do tanka plastovitost, s pogostimi postopnimi do ostrimi menjavami med glinastimi skrilavci, meljevci in peščenjaki (sl. 1). Peščenjake in meljevece imenujemo kompetentni del kamnine. V nekompetentne muljevece z jasno primarno skrilavostjo (s_0), vzporedno laminaciji, se je dinamometamorfno vtisnila še izrazita sekundarna skrilavost (s_1). Pogosto je posledica plisira-



Sl. 2. Sekundarna skrilavost s_1 s koncentracijami neprosojnih mineralov poteka prečno na plastovitost s_0 . Glinasta lamina se je močnejše deformirala kot meljasta. Nastaja plisiran klivaž. Viadukt Vranke, VR-761, +N, 8 x.

Fig. 2. Secondary cleavage s_1 with concentrations of opaque minerals crosscuts bedding s_0 . The clayey lamina is more deformed than the silty lamina. Crenulation cleavage developed. Viadukt Vranke, VR-761, +N, 8 x.

nja, zaradi sestavnih anizotropij pa se močno spreminja njena gostota (sl. 2). Skrilav klivaž se je razvil do različne stopnje. Oblikujejo ga sekundarna rast sericita in klorita v smeri s_1 , rekristalizacija, mehanska reorientacija detritičnih listkov muskovita in klorita in raztapljanje pod usmerjenim pritiskom. Nastala prednostna orientacija flosilikatov poteka pod različnimi koti na plastovitost ali vzporedno z njo, odvisno od položaja plasti in glavnih napetosti. Novo nastala orientacija je običajno izrazitejša od primarne, v smeri plastovitosti in določa prevladujoči način kroitve glinastega skrilavca (sl. 3). Izoblikovale so se klivažne domene in vmesni mikrolitoni. Prve so poudarjene z razporeditvijo neprosojnih mine-



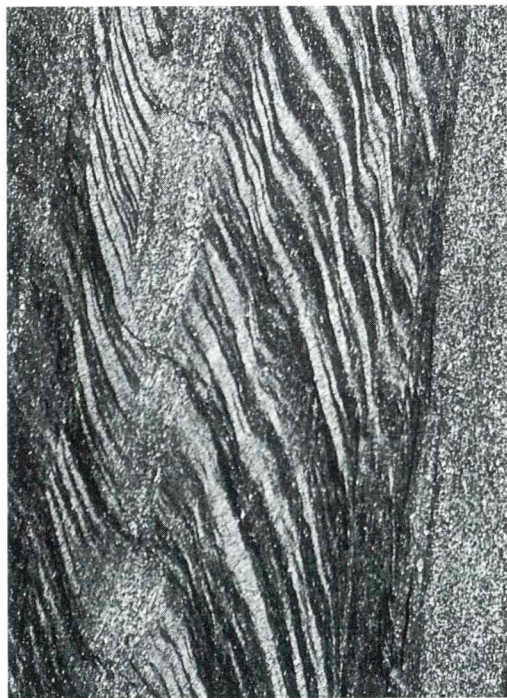
Sl. 3. V smeri s_1 prednostno orientirani filosilikati. Večji detritični listki muskovita so v osrednjem delu slike le delno mehansko reorientirani. Mikrorazpoka sledi smeri s_1 in rotirani smeri s_0 v spodnji polovici slike. Viadukt Log, || N, 107 $\times$.

Fig. 3. Phyllosilicates with preferred orientation along the s_1 direction. Bigger detrital flakes of muscovite in the central part of the figure are only partly mechanically reoriented. A microfracture runs along the s_1 direction and the rotated s_0 direction in the lower half of the picture. Viadukt Log, || N, 107 $\times$.

ralov, med katerimi sta najpogostejša organska snov in pirit ter s povečano koncentracijo filosilikatov. V mikrolitonih prevladujejo zrnati minerali, med njimi pa kremen, albit in avtigeni dolomit. Opisane teksturne, strukturne in sestavne anizotropije v kamnini povzročajo tudi anizotropije v njenih geomehanskih lastnostih.

Peščeno meljaste lamine, pole in plasti so po sestavi identične mikrolitonom. V njih se ponekod pojavlja navzkrižna laminacija in plastovitost. Na deformacije so se odzvale šibkeje kot muljasti deli. Vpliv metamorfoze se v njih odraža s poudarjeno skrilavostjo. Razvila se je zaradi raztapljanja in izločanja kremenice in drugih komponent

pod vplivom pritiska, reorientacije in delne rekristalizacije detritičnih zrn ter nove rasti sericita ($\pm$ klorita) v sencah pritiskov (sericitne brade) in vzdolž skrilavosti. Na prehodu v glinasti skrilavec je nastal diferencialni klivaž (sl. 4). V peščenjaku so pogoste žilice. Nekatere med njimi imajo raztegnjena zrna kremenca (stretched crystal fibre vein) in so značilne tudi za območja ekstenzije v glinastem skrilavcu.



Sl. 4. Na prehodu iz peščeno meljastih v muljaste lamine je nastal diferencialni klivaž. V kompetentnih mikrolaminah so deformacije krhke (razpoklinske), usmerjene prečno na lamine, v nekompetentnih pa plastične in povijajo v smer plastovitosti. V slednjih so jasno vidni svetli mikrolitoni in vmesne temne klivažne domene. Viadukt Javorje, +N, 7 $\times$.

Fig. 4. Differential cleavage formed at the transition of slaty to silty laminas. Brittle deformations (microfractures) crosscut the competent microlaminas. Deformations within the incompetent microlaminas are ductile, banded to the bedding direction and showing light microlithons and dark cleavage domains. Viadukt Javorje, +N, 7 $\times$.

Sekundarna tektonska aktivnost je povzročila v glavnem krhke deformacije. Nastal je sistem razpok, ki v nekompetentnem delu sledijo položnima s_1 ali s_0 , v kompeten-

tnem pa se obrnejo strmo prečno na plastovitost (sl. 4). Odlomne površine so zato stopničaste (sl. 1), preskakovanje z ene na drugo klivažno ravnino pa v glinastem skrilavcu oblikuje značilne luskasto-lečaste drobce (sl. 5). V intenzivneje zdrobljenih delih se med njimi pogosto nahaja delno zaglinjen material (sl. 6, levo).



Sl. 5. Mikroskopski izgled lečasto-luskasto razpokanega glinastega skrilavca vzdolž značilne prednostne orientacije filosilikatov (prevladuje sericit). Viadukt Log, +N, 20 ×.

Fig. 5. Microscopic view of the lenticularly fractured slate along the characteristic preferred orientation of phyllosilicates (sericite prevails). Viadukt Log, +N, 20 ×.

Odziv kamnine na geomehanske spremembe

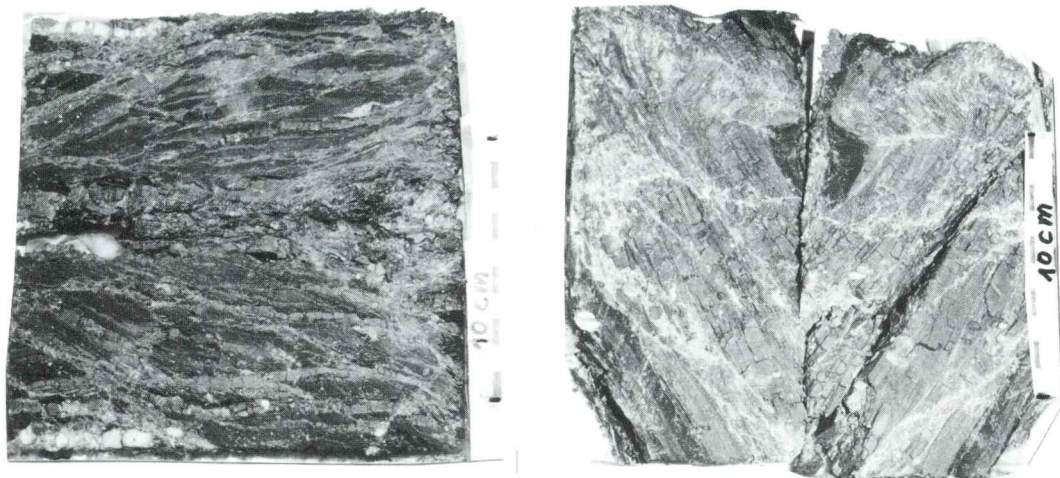
Prikazane lastnosti glinastega skrilavca imajo zelo velik vpliv na njegovo deformacijo in porušitev pri pogojih umetnih obremenitev, ki jih povzročimo z odkopavanjem ali gradnjo objektov. Zato navadno tudi odločajo, kako bomo ravnali z njim. Ena najpomembnejših značilnosti, ki jo moramo upoš-

tevati, je njegova nizka strižna trdnost. Predstavlja vodoneprepustno kamnino in je praktično nehigroskopičen. Zaradi omenjene sekundarne tektonike je nastala razpoklinska poroznost, ki omogoča in kanalizira pronicanje vode. Kamninski drobir z vmesno glino (sl. 6, levo) imata zelo veliko specifično površino. Nanje se adsorpcijsko in absorpcijsko lahko veže relativno velika količina vode. Pri obilnejših padavinah se povečata hidrostatični in porni tlak. S tem se med delci zdrobljenega glinastega skrilavca zniža kohezija, z njo pa še dodatno tudi strižna trdnost. Razmočen, delno glinast material postane masten, hribinska masa pa zelo podvržena plazanju. V strmih predelih z nagibom skrilavosti in/ali plasti niz pobočja, prihaja praviloma do polzenja ob vsakem dolgotrajnejšem deževju. Vzrok je navadno pretežka, z vodo prenasičena preperina. Isto se zgodi, če tako kamnino dodatno umetno obremenimo. Pri tem se razmočeni hribini zmanjša strižni kot. Pojav je navidezno v nasprotju s fizikalnimi zakoni in traja vse dotlej, dokler voda ni iztisnjena iz sistema. Tedaj se delci ponovno staknejo, kohezija se poveča, s tem pa tudi trenje in strižni kot. Med tem časom se hribina navadno že poruši. Premiki po ploskvah skrilavosti med drobci kamnine (diferencialni zdrsi) so v začetni fazi praktično nevidni, dokler ni poškodovana površina terena. Pravtako se ne oblikuje jasna drsna ploskev, dokler material ne splazi.

Čeprav sta spremljajoča meljevec do peščenjak z geomehanskega stališča trdni kamnini, se zaradi prikazanih anizotropij, predvsem tankih prekinitev v obliki glinastega skrilavca, vzdolž njih pravtako z lahkoto prestrižeta (sl. 7). Mikroskopske preiskave vzorcev jeder iz vrtni, ki so jih porušili v triosni strižni aparaturi so pokazale, da so smeri porušitev povezane z opisanimi anizotropijami v kamnini. Makroskopski izgled prestriženih jeder v podolžnem prerezu je viden na sl. 6.

Zaključek

Pred gradbenimi posegi v kamnine, kakršne so glinasti skrilavci, so potrebne podrobne geološke preiskave. Te morajo zajemati terensko določitev struktur in potencialno



Sl. 6. Lečasto-luskasta porušitev vzorca glinastega skrilavca z diferencialnimi zdrsi, brez vidne strižne ploskve. Med luskami se nahaja delno zaglinjen drobir kamnine (levo, vzorec za objekt OZ-10). V vzorcu šibko metamorfnega peščenega meljevca je prestrižna ravnina jasno vidna in sledi krilu asimetrične strižne gube (desno, vzorec za viadukt Log).

Fig. 6. Lenticular to scaly failure of the slate core sample with differential slides. No glide plane is visible. Partly clayey material can be seen between the rock fragments (left, sample for the object OZ-10). In the sample of the slightly metamorphosed sandy siltstone, the gliding plane following to the asymmetric shear fold is clearly visible (right, sample for the viadukt Log).

nevarnejših območij, kot tudi laboratorijske analize za določitev tekstur in struktur ter mineralne sestave. Tako postavljene preiskave omogočajo kvantificiranje njegovih lastnosti. Predvidimo lahko način porušitve glinastega skrilavca in njemu sličnih kamnin, oziroma ga poskušamo preprečiti. Predvsem je pomembno, da ga pri odkopavanju v pobočju ne destabiliziramo in ne obremenimo, dokler ni ustrezno podgrajen.

Zahvala

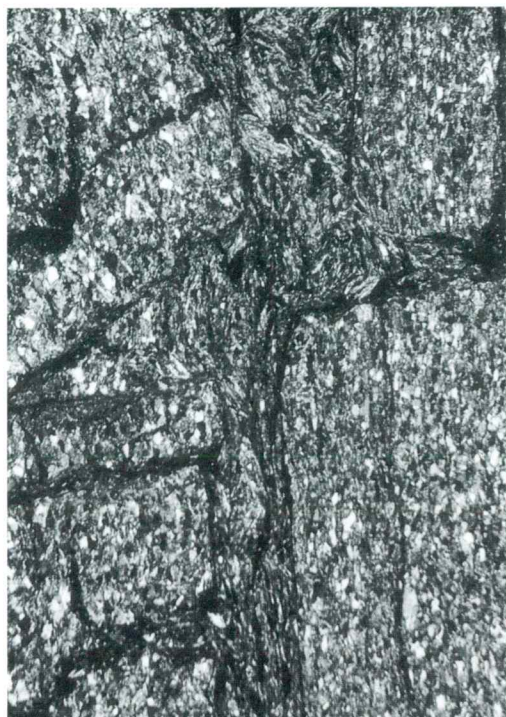
Zahvaljujem se DARS-u za financiranje spremljevalnih petrografskih preiskav pri izgradnji avtoceste ter kolegom Tomažu Budkoviču, Franciju Čadežu in Dragu Ocepku za posredovanje na terenu odvzetih vzorcev. Posebno zahvalo dolgujem Dr. Dragomirju Skabernetu za kritične popravke teksta.

Summary

Slates, as well as the similar shales are considered very unpredictable rocks for constructional grounding. The paper deals with

the slates along the highway Ljubljana - Celje. The area of the Permian-Carboniferous clastic rocks is shown on the basic geologic map of Slovenia 1:100 000; sheet Ljubljana (Premru, 1982). In the Slovenia these rocks were studied several times in the frame of general geological research as well as the raw material. Mlakar et al. (1992) introduced some sites with ore mineralization north of the Litija. Detailed presentation of the Litija ore field is also given by Mlakar (1994). Čadež et al. (2000 and 2001) discussed them from the engineering geology point of view. Trajanova (2001) shortly described their main characteristics.

Mlakar (1987) and Mlakar et al. (1992) attributed the clastic rocks in the Sava folds mostly to Carboniferous. This ranging is based upon new findings of Kolar-Jurkovšek and Jurkovšek (1985 and 1986). The rocks belong to the geotectonic unit of Outer Dinarides, where they acted as a soft bed for the nappe structure development (Placer, 1998a,b, 1999). During this process all fine-grained sequences of the rocks (mudstones) dynamometamorphically were altered to slates. Due to unevenness and indistinctness of the changes both names, slate and shale, are used for the same



Sl. 7. Šibko metamorfoziran pešeni meljevec razpokan zaradi zdrsa vzdolž mikrolamine glinastega skrilačca. Viadukt Javorje, +N, 15 $\times$.

Fig. 7. Slightly metamorphosed sandy siltstone fractured due to a slip along the slate microlamina. Viaduct Javorje, +N, 15 $\times$.

rock. Their nomenclature has shortly been discussed by Eržen - Trajanova (1999), but there is no general agreement yet.

The Carboniferous clastic rocks are not homogenous. They are lamellar to thinly layered claystones, siltstones and fine-grained sandstones. Dynamometamorphism was particularly strongly expressed in the finest parts of the rock (mixtures of claystone and siltstone), so that mudstones were altered to slates (Fig. 1). According to the similarities of investigated samples to the rocks subdivided by Mlakar, they probably belong to the superposition unit a as the oldest one and to the subunit b_1 . Only partly they can be attributed to the subunit b_2 (Mlakar, 1987 and 1994).

In the Cerkno area Skaberne determined mineral composition of slates by x-ray diffraction (Placer et al., 2000). It is consistent with the discussed one that was established

under microscope. The major minerals are phyllosilicates: muscovite, sericite and chlorite. Subordinately quartz, feldspars (predominantly albite, sparsely microcline) and locally dolomite with some siderite occur. Among accessory minerals opaques are the most frequent, belonging mostly to pyrite and organic matter.

Two cleavages developed in the rock: primary s_0 parallel to bedding and secondary s_1 with various angles to it (Fig. 2). The so-called slaty cleavage is developed to a varying degree. It is controlled by the secondary growth of sericite and chlorite along the s_1 direction, by recrystallization, by mechanical reorientation of phyllosilicates, and by minor silica migration under directed stress. The resulting preferred orientation is stronger than that along s_0 and governs the already predominant way of the rocks fracture (Fig. 3). Cleavage domains with intermediate microlithons developed. At the transition of slaty laminas to silty sandstones differential cleavage was formed (Fig. 4).

Slates are practically impermeable rocks. Intensive secondary tectonic activity reflects in the form of brittle deformation. Fragments have characteristic lenticular shape (Fig. 5). A lot of fines and clayey material is usually retained in the rock fractures (Fig. 6, left). Consequently, specific area of the crushed rock increased considerably, enabling adsorption and absorption of water. With this, cohesion between single rock fragments decreased and the rock of already weak shear strength became very sensitive to shear stress. Water needs certain time to access detached grains of the rock or mineral and also to permeate out of the rock. In the meantime a phenomenon occurred that is seemingly in contrary to physical laws: with increasing load the shear angle decreases. This lasts as long as the water is being removed from the system. Only after that the direct contact between particles is attained what increases cohesion and by that the friction and shear angle. During the course of this process the rock usually fails.

Slightly metamorphosed silty sandstone represents a geomechanically quite stable rock. Nevertheless, it can also easily be sheared because of (and along) thin, often microscopic laminas of slate in it (Fig. 7). Microscopic investigations of core samples tre-

ated in the three-axial shear apparatus show that all failures are connected to the described anisotropies in the rock. On macroscopic scale this can be seen in Fig.6.

Therefore it is important not to destabilize slates during excavation and not to load them until they are adequately immobilized (ex. by retain walls). Initial differential slides are practically invisible until a ground surface is damaged. There is also no clear sliding surface until the rock slides. The danger increases rapidly when the rock mass is oversaturated by water. Its increased weight and hydrostatic pressure additionally decrease cohesion among the rock particles and mineral grains. Hence, steep slopes with fractured slates and slaty cleavage and/or bedding along them, often show signs of land sliding.

If we take into consideration the above characteristics of slates and study properly their structure in situ, these unpredictable rocks become much more predictable.

Literatura

- Čadež, F., Križnič, A., Vukadin, V. & Trajanova, M., 2000: Inženirsko geološke razmere pri izgradnji predora Ločica. - 5. mednarodno posvetovanje o gradnji predorov in podzemnih prostorov, 20. - 22. september, 2000, I-85-94, Ljubljana.
- Čadež, F., Križnič, A., Vukadin, V. & Trajanova, M., 2001: Geološka zgradba in hribinske kategorije v predoru Jasovnik. - Geološki zbornik 16, povzetki referatov. 15. posvetovanje slovenskih geologov, 23. marec 2001, Ljubljana.
- Eržen - Trajanova, M., 1999: Skrilav glinovec ali glinast skrilavec? - Geologija 41, 157-163, Ljubljana.
- Kolar-Jurkovšek, T. & Jurkovšek, B., 1985: Nova najdišča paleozojske flore v Posavskih gubah med Ljubljano in Litijo. - Razprave IV. Razr. SAZU, 199-218, Ljubljana.
- Kolar-Jurkovšek, T. & Jurkovšek, B., 1986: Karbonska (westfalijska) makroflora iz Zavrznika. - Rudarsko-metalurški zbornik, 33/1-2, 3-34, Ljubljana.
- Mlakar, I., 1987: Prispevek k poznavanju geološke zgradbe Posavskih gub in njihovega južnega obrobja. - Geologija 28/29, 157-182, Ljubljana.
- Mlakar, I., Skaberne, D. & Drove-nik, M., 1992: O geološki zgradbi in orudenju v karbonskih kamninah severno od Litije. - Geologija 35, 229-286, Ljubljana.
- Mlakar, I., 1994: O problematiki Litijskega rudnega polja. - Geologija 36, (1993), 249-338, Ljubljana.
- Placer, L., 1998: Structural meaning of the Sava folds. - Geologija 41, 191-221, Ljubljana.
- Placer, L., 1998: Contribution to the macro-tectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides. - Geologija 41, 223-255, Ljubljana.
- Placer, L., Skaberne, D. & Mlakar, I., 1999: Strukturni pomen vrtnice LK-1/88 v Nadgorici pri Ljubljani. - Geologija 42, 215-218, Ljubljana.
- Placer, L., Rajver, D., Trajanova, M., Ogorelec, B., Skaberne, D. & Mlakar, I., 2000: Vrtina Ce-2/95 na meji med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi. - Geologija 43/2, 251-266, Ljubljana.
- Premru, U., 1982: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Ljubljana. - Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Trajanova, M., 2001: Karbonski glinasti skrilavci ob avtocesti Ljubljana-Celje. Geološki zbornik 16, povzetki referatov. 15. posvetovanje slovenskih geologov, 23. marec 2001, Ljubljana.