

INŽINJERSKO-GEOMORFOLOŠKI PROBLEMI STRMIH LESNIH ODSJEKA UZ DUNAV I TISU U JUGOSLAVIJI I MAĐARSKOJ

A. BOGNAR, GY SCHEUER,* F. SCHWEITZER**

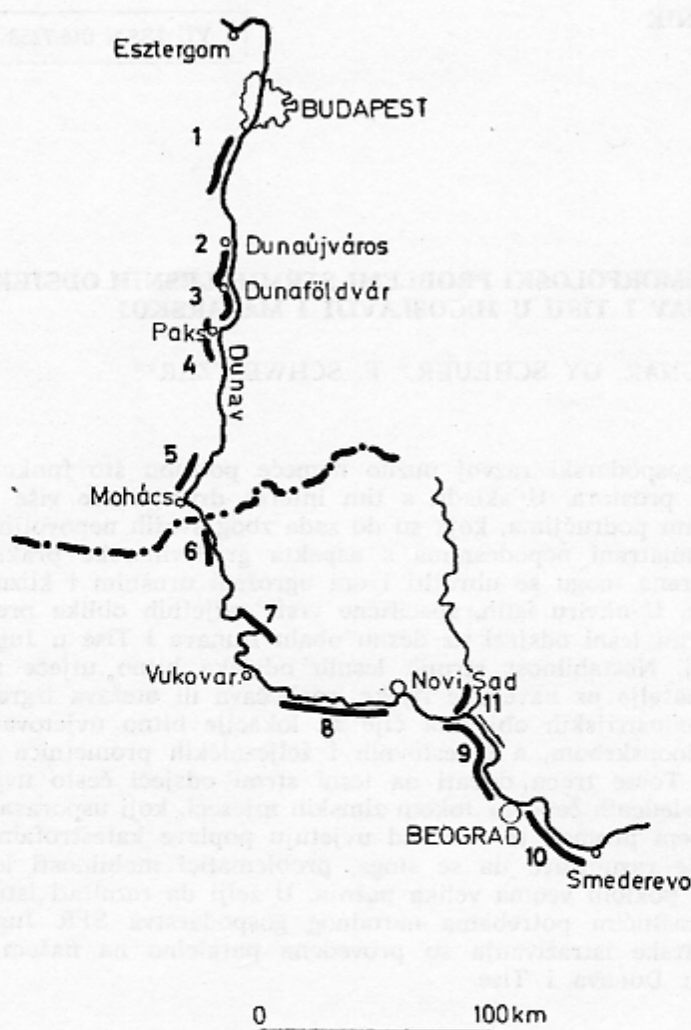
Brz društveno-gospodarski razvoj nužno nameće potrebu što funkcionalnijeg korišćenja prostora. U skladu s tim interes društva sve više je upućen i prema onim područjima, koja su do sada zbog svojih nepovoljnih reljefnih osobina smatrani nepodesnima s aspekta građevinarske prakse. U tu kategoriju terena mogu se ubrojiti i oni ugroženi urušnim i klizno-urušnim pokretima. U okviru istih, specifične vrste reljefnih oblika predstavljaju visoki strmi lesni odsjeci uz desnu obalu Dunava i Tise u Jugoslaviji i Mađarskoj. Nestabilnost strmih lesnih odsjeka bitno utječe na razvoj priobalnih naselja uz navedene rijeke, spriječava ili otežava izgradnju građevinskih industrijskih objekata čije su lokacije bitno uvjetovane odgovarajućom vodoopskrbom, a i cestovnih i željezničkih prometnica te stambenih naselja. Tome treba dodati da lesni strmi odsjeci često uvjetuju stvaranje tzv. »ledenih čepova« tokom zimskih mjeseci, koji usporavaju i onemogućuju vodeni promet, te ponekad uvjetuju poplave katastrofalnih razmjera. Sasvim je razumljivo da se stoga, problematici mobilnosti lesnih strmih odsjeka pokloni veoma velika pažnja. U želji da rezultati istraživanja odgovore rastućim potrebama narodnog gospodarstva SFR Jugoslavije i NR Mađarske istraživanja su provedena paralelno na našem i mađarskom sektoru Dunava i Tise.

Hidrogeološki faktori i njihov utjecaj na inženjersko-geomorfološke osobine lesnih strmih odsjeka

Istraživanja u priobalnom području Dunava i Tise ukazuju da hidrogeološke prilike bitno utječu na mobilnost lesnih strmih odsjeka. Upravo stoga, velika pažnja poklonjena je i utvrđivanju osobina režima podzemnih voda i tipovima izvora i njihovog utjecaja na inženjersko-geomorfološke osobine i razvoj lesnih odsjeka.

* SCHEUER Gyula, Research Worker, Geodesy and Soil Survey, 1181 Budapest, Reviczky u. 41, Hungary.

** SCHWEITZER Ferenc, Research Worker, Geographical Research Institute of Hungarian Academy of Sciences, 1388 Budapest, Nepkőztársaság utja 66, Hungary.



Sl. 1. Strmi lesni odsjeci uz rijeku Dunav i Tisu u SFR Jugoslaviji i NR Mađarskoj.

Fig. 1. Loess bluffs along the Danube and Tisa river in Yugoslavia and Hungary.

a. Podzemne vode

U okviru istraživanog područja mogu se izdvojiti 4 važna vodonosna horizonta. To su kompleks lesnih i lesu sličnih naslaga, naslage njihove podine, naslage akumulirane urušno-kliznim procesima (u daljem: delapsium) i riječne naplavine. U sva 4 slučaja podzemna voda pokazuje tendenciju strujanja prema lokalnim erozijskim bazama, a to su najčešće Dunav i njegovi neposredni desni pritoci.

Unutar lesnih i lesu sličnih naslaga podzemna voda se, ovisno o lokalnim obilježjima terena, nalazi na različitim dubinama. U pravilu u blizini samog odsjeka nivo podzemne vode se naglo spušta, da bi se na njegovu podnožju pojavila u obliku izvora. Nivo podzemne vode bitno je utjecan

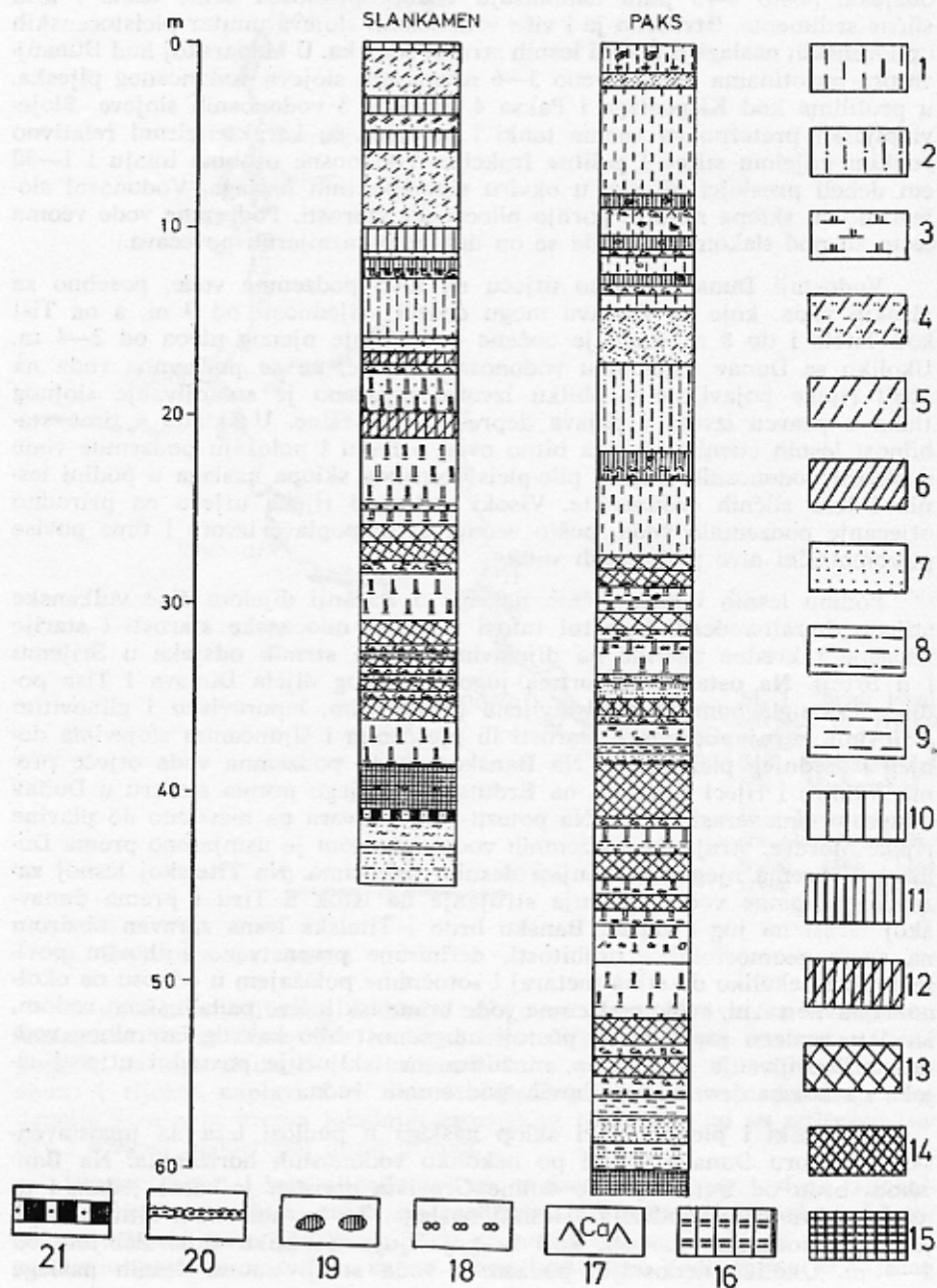
vrijednostima evapotranspiracije na lesnom odsjeku, čiji je intenzitet ovisan i o gustoći vegetacijskog pokriva. Otjecanje podzemne vode prvenstveno je vezano za pješćane i pjeskovite slojeve unutar profila lesnog odsjeka, pošto 2—3 puta nadmašuju vodopropusnošću same lesne i lesu slične sedimente. Utvrđeno je i više vodonosnih slojeva unutar pleistocenskih i pliocenskih naslaga u podini lesnih strmih odsjeka. U Mađarskoj kod Dunaújvárosa bušotinama je otkriveno 3—6 nezavisnih slojeva vodonosnog pijeska, u profilima kod Kispostága i Paksa 4 odnosno 5 vodonosnih slojeva. Slojevi pijeska pretežno su veoma tanki i najčešće su karakterizirani relativno velikim udjelom siltne i pelitne frakcije. Vodonosne osobine imaju i 1—30 cm debeli proslojci pijeska u okviru siltno-pelitnih naslaga. Vodonosni slojevi dio su sklopa naslaga gornjo pliocenske starosti. Podzemne vode veoma često su pod tlakom, s tim da se on dubinom razmjerno povećava.

Vodostaji Dunava znatno utječu na nivo podzemne vode, posebno za visokih voda, koje na Dunavu mogu doseći vrijednosti od 9 m, a na Tisi kod Titela i do 8 m, kada je uočeno povišavanje njenog nivoa od 2—4 m. Ukoliko se Dunav usjekao u vodonosne slojeve, pa se podzemna voda na obali rijeke pojavljuje u obliku izvora, zapaženo je smanjivanje slojnog tlaka u pravcu izvora i pojava depresivne površine. U skladu s time stabilnost lesnih strmih odsjeka bitno ovisi o tlaku i položaju podzemne vode u okviru vodonosnih slojeva plio-pleistocenskog sklopa naslaga u podini lesnih i lesu sličnih sedimenata. Visoki vodostaji rijeka utječu na prirodno otjecanje podzemnih voda, pošto veoma često poplave izvore i time povise piezometrički nivo podzemnih voda.

Podinu lesnih i lesu sličnih naslaga u Baranji dijelom čine vulkanske stijene (bazalt-andezit, bazaltni tufovi i breče) miocenske starosti i starije neogene i kredne naslage na dijelovima lesnih strmih odsjeka u Srijemu i u Srbiji. Na ostalim sektorima jugoslavenskog dijela Dunava i Tise podina lesa uglavnom je predstavljena pjeskovitim, laporovitim i glinovitim slojevima gornjopliocenske starosti ili pješćanim i šljunčanim slojevima donjeg i srednjeg pleistocena. Na Banskom brdu podzemna voda otječe prema Dunavu i rijeci Karašici, na Erdutskom brijegu prema sjeveru u Dunav i jugu, prema terasi Drave. Na potezu od Vukovara pa nizvodno do plavine rijeke Morave, strujanje podzemnih voda uglavnom je usmjereno prema Dunavu ili prema njegovim manjim desnim pritocima. Na Titelskoj lesnoj zaravni podzemne vode pokazuje strujanje na istok u Tisu i prema dunavskoj terasi na jug i zapad. Bansko brdo i Titelska lesna zaravan obzirom na svoje geomorfološke osobitosti, definirane prvenstveno njihovim povišenim (za nekoliko desetina metara) i »otočnim« položajem u odnosu na okolne naplavne ravni, svoje podzemne vode hrane isključivo padalinskom vodom, što istovremeno znači da ne postoji mogućnost bilo kakvog lateralnog vodnog prihranjivanja. Navedeno, međutim, ne isključuje posredni utjecaj rijeka na kolebanje nivoa njihovih podzemnih voda.

Pliocenski i pleistocenski sklop naslaga u podlozi lesa na jugoslavenskom sektoru Dunava sadrži po nekoliko vodonosnih horizonata. Na Banskom brdu od Batine pa do doline Grovišta utvrđen je samo jedan, i to na kontaktu bazalt-andezita i lesnih naslaga. To su uglavnom sitnozrni pijesci pleistocenske starosti, koji se pojavljuju u obliku sloja debljine od 2—4 m. Ukoliko nedostaju, podzemna voda struji unutar lesnih naslaga

neposredno iznad dijelova rastrošne površine bazalt-andezita i bazaltnog tufa. Kod Erdutskog brijega, Šarengrada, Iloka, Neština, Suseka, Čerevića i Starog Slankamena Dunav je zasjekao srednje i starije pleistocenske te



gornjo pliocenske naslage koje su predstavljene slojevima sitnozrnog sivog, žućkastog i crvenkastog pijeska, koji se pojavljuje često u gustoj izmjeni s tanjim siltno-pelitnim proslojcima. Kod Iloka i Starog Slankamena utvrđena su dva sklopa vodonosnih naslaga ispod 20—25 m odnosno oko 50 m visokog lesnog odsjeka, s tim da se u slučaju Iloka od doline Lovke pa do Turske Skele jedan nalazi nešto povišeno (do 10 m) iznad korita Dunava, a drugi u podnožju lesnog odsjeka. Kod Starog Slankamena oba vodonosna sloja nalaze se u nivou korita. Veoma vjerojatno da se dubinom izmjenjuje više takvih vodonosnih i impermeabilnih slojeva, međutim, u nedostatku podesne bušotine to se za sada nije moglo točno utvrditi. Na Titelskoj lesnoj zaravni podzemne vode su na dubinama većim od 45 m, kolika je otprilike debljina lesa i lesu sličnih sedimenata. Vezane su za pleistocenske slojeve glinovitih pijesaka, koji se izmjenjuju sa slojevima glina i pjeskovitih glina, koje se mogu, najvjerojatnije, shvatiti kao kompakcijskim procesima epigenetski izmjenjene naslage lesa i lesu sličnih sedimenata. Ukoliko je podzemna voda vezana za same lesne naslage, tada one u pravilu struje iznad zaglinjenih zona, koje su česte, naročito u dubljim partijama lesnih naslaga. Takvi hidrogeološki odnosi zamijećeni su i na kontaktu Banskog brda i Južne baranjske lesne zaravni, Erdutskog brijega i Vukovarske lesne zaravni s koritom odnosno položajem Dunava.

Vodonosne osobine imaju i riječne naplavine Dunava i potočne plavine, koje se redovito pojavljuju na njihovom sutoku s Dunavom ili pak na završetku njihovih dolina prema naplavnoj ravni Dunava. To je često veoma heterogen sklop naslaga, karakteriziran izmjenom šljunka, pijesaka i siltno-glinovitih slojeva i proslojaka.

b. Izvori

Kako su se rijeka Dunav i Tisa i njihovi desni manji pritoci na mnogim dijelovima svog toka usjekli u vodonosne slojeve, to je razumljivo da je zapažen niz izvora putem kojih podzemna voda izbija na površinu i

Sl. 2. Litostatigrafski profil lesnih strmih odsjeka kod Paksa (Mađarska, prema M. Pécsi, 1978.) i St. Slankamena (Jugoslavija).

Legenda: 1. Les, 2. Pjeskoviti les, 3. Stariji les, 4. Deluvijalni pijesci, 5. Pjeskoviti derazijski les, 6. Semipedolit, 7. Fluvijalni, proluvijalni pijesak, 8. Siltoviti pijesak, 9. Silt, silt s glejnim mrljama, 10. Humificirani lesni horizont, 11. Chernozjom, 12. Izmjenjena šumska tla, 13. Smeđa šumska tla, 14. Pseudoglejna smeđa šumska tla, 15. Crvene gline, 16. Riške gline, 17. Karbonatizirani horizont, 18. Lesne lutke, 19. Krotovine, 20. Denudacijski horizont, 21. Akumulacijski horizont.

Fig. 2. Litostratigraphical profile of loess bluffs near Paks (Hungary, according to M. Pécsi, 1978.) and St. Slankamen (Yugoslavia).

Legend: 1. Loess, 2. Sandy loess, 3. Older loess, 4. Loess-like deluvial sand, 5. Derasional sandy loess, 6. Semipedolite, 7. Fluvial, proluvial sand, 8. Silty sand, 9. Silt, silt with clayey dots, 10. Weak humus carbonate fossile soils, 11. Chernozem, 12. Chernozem brown forest soils, 13. Brown forest soils, 14. Gray-brown podzolic soils (lessivé), 15. Red clay, 16. Marshy clay, 17. Calcium carbonate accumulation, 18. Loess dolls, 19. Krotovines, 20. Denudational horizon, 21. Horizon of accumulation

otječe u obliku manjih curaca i tokova prema svojim erozijskim bazinama, a to su gotovo uvijek navedeni vodotoci. Kapacitet tih izvora je, ovisno od hidrogeoloških osobina terena, veoma različit i kreće se najčešće u rasponu od 0,5—30 l/sek. To su, prema tome, uglavnom izvori relativno malog vodnog kapaciteta.

Na temelju terenskih opažanja utvrđena su dva osnovna tipa izvora:

1. Izvori na kontaktu strmih lesnih odsjeka i korita i naplavne ravni Dunava i Tise ulaze u kategoriju tzv. jednostavnih ili gravitacijskih izvora. To su istovremeno i vrlo promjenljivi ili čak periodični izvori, koji u sušnijim dijelovima godine ponekad presušuju. Takvi izvori zapaženi su gotovo na čitavom istraživanom dijelu toka Dunava u Mađarskoj i Jugoslaviji, posebno u području lesnih odsjeka Banskog brda, Erdutske i Srijemske lesne zaravni. Česti su i u manjim dolinama pritoka. Redovito se izvori tu pojavljuju na mjestima gdje je vodotok zasjekao impermeabilne slojeve. Gravitacijski izvori karakteristični su i za kontakt lesnih strmih odsjeka Titelske lesne zaravni i rijeke Tise.

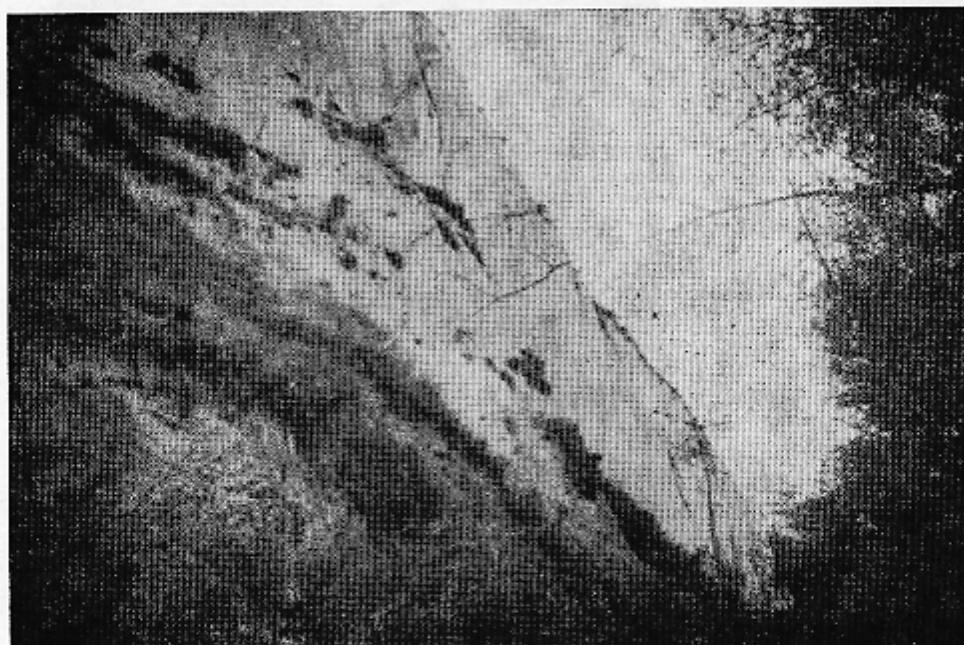
2. Izvori u kojima se podzemna voda pojavljuje pod tlakom. Redovito se vežu za dijelove strmih lesnih odsjeka s delapsiumom. Urušeni ili klizni materijal uvjetuje da se podzemna voda izdiže do kontakta lesnog odsjeka s njegovom površinom. Izvori obilno kvase delapsium, pa se on poput blatne mase pokreće prema koritu vodotoka. Zapaženi su kod Dunaújvárosa, u razdoblju prije sanacijskih radova u priobalju Dunava (Karacsonyi S., Scheuer Gy., 1972), kod Iloka na potezu između doline Lovke i Turske Skele i na južnom dijelu Titelske lesne zaravni, i to na mjestu gdje lesni strmi odsjek kontaktira s riječnim naplavinama. Izvori pod tlakom toga tipa gotovo uvijek se javljaju po 10-ak i više metara iznad samog korita Dunava i Tise.

Druga vrsta izvora putem kojih podzemna voda izbija pod tlakom zapažena je na nekoliko mjesta u koritu samog Dunava. Posebno su interesantni kod Starog Slankamena. Podzemna voda se tu prirodno drenira iz vodonosnih slojeva gornjeliocena starosti, koje je Dunav erozijski mjestimično zasjekao. Za visokih voda Dunava ti su izvori potopljeni, što izaziva povišenje nivoa i povećanje hidrostatskog tlaka podzemne vode unutar vodonosnih slojeva gornjeliocenske starosti, koje je Dunav erozijski mjesti slučaj nastaje za niskih vodostaja Dunava; podzemna voda izbija kao izvor unutar dijela korita rijeke s kojeg su se povukle poplavne vode.

Tamo gdje je ostvaren kontakt lesnog strmog odsjeka s naplavnom ravni, koji u svom sastavu imaju vodopropusne slojeve (pijesci, ilovasti pijesci), izvori nedostaju. Podzemna voda tu direktno otječe tim slojevima prema koritu vodotoka. To su ujedno i najstabilniji strmc, i osim tragova spiranja, jaruženje i lokalnog manjeg urušavanja gotovo u potpunosti izostaju klizno-urušni pokreti većih razmjera. Što se tiče stabilnosti lesnih strmih odsjeka, značenje navedenih vrsta i tipova izvora je dvojako:

a. Podzemne vode koje izviru uz sam kontakt lesnog odsjeka i korita vodotoka neposredno ovlažuju najkritičniji dio odsjeka i njegovog podnožja, pa je on stoga, gotovo u stalnom pokretu. To je i razumljivo obzirom da se vrši stalni odnos materijala lesnog odsjeka, što može uvjetovati lokalna urušavanja.

b. U slučaju upora podzemnih voda uslijed podizanja vodostaja rijeka Dunava i Tise koja time potapa izvore, povećava se njihov povratni hidrostatski tlak, a paralelno s tim i prirodna napetost unutar vodonosnog horizonta: Ukoliko uslijedi naglo opadanje vodostaja opada i tlak podzemnih voda, što uvjetuje formiranje depresijske površine, čime se najčešće smanjuje stabilnost lesnih naslaga iznad vodonosnog sloja, a što u krajnjoj liniji može izazvati klizno-urušne pokrete katastrofalnih razmjera.



Fot. 1. Lesni strmi odsjek na Titelskoj lesnoj zaravni uz rijeku Tisu. Vide se manje lesne škrape i tragovi manjih urušnih pokreta kao izraz erozijskog podsjecanja rijeke Tise.

Fig. 1. Loess bluff on the Titel loess plateau along the Tisa river. On the loess bluff are well developed loess grikes and traces of small detritus movements usually as an occurrence of destructive effect of Tisa river's erosion.

Dominantni geomorfološki procesi i njihov utjecaj na stabilnost lesnih odsjeka

Na recentni morfološki razvoj strmih lesnih odsjeka na istraživanom sektoru rijeke Dunava i Tise odlučujući utjecaj imaju fluvijalna erozija i akumulacija, derazijski i korozijsko-sufozijski procesi. Svi ti morfološki procesi prirodno su uvjetovani ili su mjestimično čovjekovim radom oživjeli ili potencirani, pa imaju karakter antropogeno-prirodnih procesa. Veliko značenje u oblikovanju lesnih odsjeka u posrednom i neposrednom smislu imaju i različite aktivnosti čovjeka i društva, kao što su to vodozaštitni radovi (prosjecanje meandara, nasipi i kanalska mreža), poljodjelske i građevinarske djelatnosti i izgradnja prometnica.

Prirodni morfološki procesi imaju najveće značenje u razvoju reljefnih osobina lesnih odsjeka.

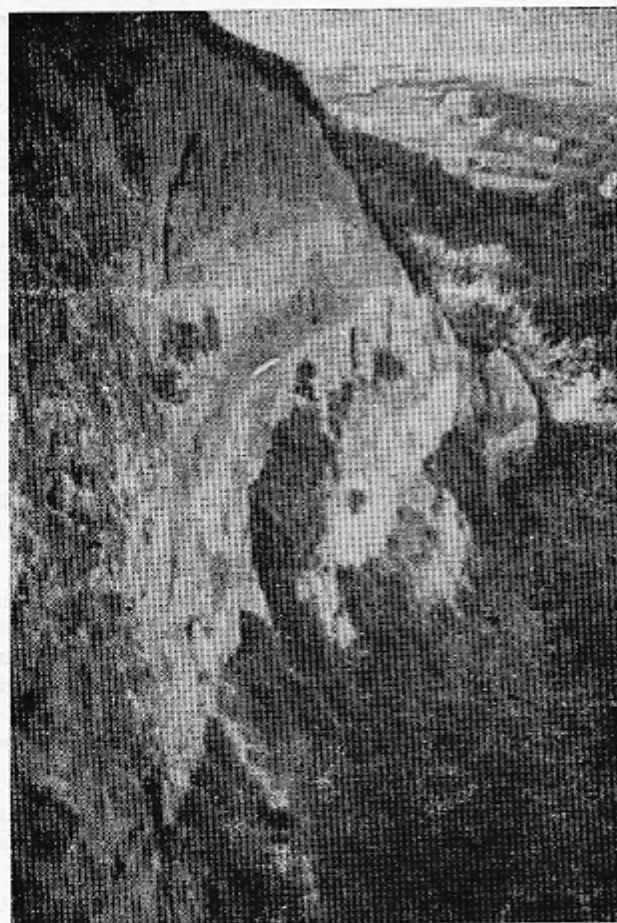
a. Fluvijalno modeliranje ima odlučujući i istovremeno višestruki utjecaj na nastanak i na stabilnost, odnosno mobilnost strmih lesnih odsjeka. Zapaženo je da su urušno-klizni procesi katastrofalnih razmjera, koji su zahvatili i po nekoliko stotina metara strmih obala Dunava, najčešći tamogdje rijeka direktno erodira lesne odsjeke. Odlučujuću važnost pri tome ima lateralna erozija rijeka, pošto je njenim izrazitim potsjecanjem veoma jak gubitak materijala u podnožju odsjeka, koji se istovremeno i transportira nizvodno snažnom erozijskom sposobnošću Dunava i Tise. Naprotiv, na mjestima gdje je izražena akumulacija pa se u podnožju odsjeka formirala naplavna ravan, efekt riječnog modeliranja ima pozitivni odraz na stabilnost istih.

Prema tome, erozijska djelatnost rijeke Dunava i Tise stimulira mobilnost lesnih odsjeka destruktivnog karaktera, a njihova akumulacijska aktivnost ih sprječava.

b. Urušno-klizni pokreti, spiranje, osipanje i jaružanje ulaze u kategoriju tzv. derazijskih procesa.

Spiranje lesnih odsjeka i padinskih strana dolina desnih pritoka Dunava ima arealni karakter, i naročito je izražen za topljenja snijega u rano proljeće, te za kiša pljuskovitog karaktera u rano ljeto, kada panonski prostor ima primarni maksimum padalina. Naglašeno destruktivno djelovanje spiranje ima na padinama s nagibima većim od $7^{\circ}30'$, uvjetujući snažnu eroziju tla i matične stijene, koja je u ovom slučaju isključivo predstavljena lesom i lesu sličnim sedimentima. Kako se kišne kapi na padinama ujedinjuju u vodene mlazeve, a ovi pak u bujičaste tokove za lesne strme odsjeke, a i za dolinske strane pritoka, karakterističan je razvoj vododerina i jaruga. U daljoj fazi njihovog razvoja bočnom erozijom bujica, jaruga se širi urušavanjem i osipanjem njenih strmih strana i konačno prelazi u tipične suhe ili tzv. derazijske doline ovalnog ili koritastog oblika. Razvoj jaruga može biti uvjetovan i kombinacijom bujičastih i korozivno-sufozijskih procesa, posebno kao vid dalje geneze lesnih provalija, po svom nastanku vezanih za lesne strme odsjeke. Pojava jaruga i derazijskih dolina povećava površine strmih padina i uvjetuje, zbog horizontalnog filtriranja bujičastih voda u lesne naslage (koje su i inače karakterizirane smanjenim kapacitetima bočne filtracije), lokalna ispušćenja podzemne vode, što pogoduje razvoju klizno-urušnih pokreta. Veoma karakteristični primjeri lokalnog urušavanja i kliženja lesnih naslaga uvjetovani navedenim uzrocima zapaženi su na stranama doline Drljanskog potoka i njoj gravitirajućim derazijskim dolinama kod Iloka (Bognar A. i Blazek I., 1978).

Spiranje i jaruženje zbog povećanih nagiba ima za posljedicu i snažnu eroziju tla, pošto su jaruge istovremeno i lokalni erozijski bazisi dijela padalinskih voda koje redovito otječu prema lesnim odsjecima ili pak niz strane jaruga i derazijskih dolina, gdje one zbog njihovih strmih nagiba dobivaju na kinetičkoj energiji i erodiraju tlo ogoličujući time matični supstrat — les. Kako ogoličavanje lesa potencira mogućnost bočne infiltracije padalinskih voda, takve površine treba pošumiti, čime se istovremeno lokalizira i onemogućuje dalji razvoj procesa spiranja i jaruženja.



Fot. 2. Oko 50 m visoki lesni strmi odsjek kod Starog Slankamena predstavlja istovremeno i front urušno-kliznog pokreta.

Fig. 2. About 50 m high loess bluff near Stari Slankamen is in same time back of step slide.

Klizno-urušni pokreti strmih lesnih odsjeka uz Dunav i Tisu su svakako najizrazitiji destruktivski derazijski procesi, čija aktivnost nanosi najteže posljedice naseljima, komunalnim, vodoopskrbnim i vodozaštitnim objektima i prometnicama izrađenim u neporednom priobalju rijeka. Uz bočnu eroziju rijeka imaju odlučujuće značenje u morfogenezi i razvoju odgovarajućih tipova lesnih strmih odsjeka. Prema svojim osobinama svi ti pokreti pripadaju tipu stepeničastih klizišta.

Osnovna im je osobina da se lesne naslage, u skladu sa svojim fizičkim karakteristikama, gubitkom prirodne stabilnosti, stepeničasto urušavaju uz vertikalni zid fronte klizišta. Istovremeno, razvojem horizontalnih kliznih pokreta iznad gotovo vodoravne klizne plohe, istisnuti materijal na prednjoj strani formira lokalno ispupčenje, tzv. jezik klizišta, unutar kojeg se zbog kompresijskih pritisaka uočava boranje kliznatog materijala.

Negativni utjecaji erozije u slučaju direktnog podsjecanja strmih lesnih odsjeka posebno su opasni u slučajevima kombinacije s nepovoljnim

hidrogeološkim osobinama lesnog odsjeka. Misli se tu na pojavu izvora na obalama u podnožju lesnih odsjeka, čija je aktivnost u direktnoj zavisnosti s vodostajima rijeke. Naime, kao što je već to prije naglašeno, velike i nagle izmjene amplituda vodostaja rijeke, koja za visokih voda potapa izvore i uvjetuje upor podzemnih voda i povećanje njihovog hidrostatskog i prirodnog tlaka u okviru vodonosnih horizonata (koji su u pravilu u podini lesnih naslaga), za njihovog naglog snižavanja povećavaju brzinu otjecanja podzemne vode prema rijeci. To uvjetuje formiranje depresijske površine i sufozijskim procesima gubitak materijala u vodonosnom sloju, što nužno rezultira poremećajem stabilnosti lesnih naslaga iznad vodonosnog sloja. Takvi hidrogeološki odnosi u kombinaciji s lateralnim odsjecanjem rijeke uvjetovanim gubitkom materijala u podnožju lesnog odsjeka najčešći su uzrok katastrofalnih urušavanja i kliznih pokreta stepeničastog tipa na lesnim strmim odsjecima. Primjer toga je katastrofa kod Dunaujvárosa 1964. godine, kada se 20—25 dijela lesnog odsjeka visine od oko 50—60 m urušio na dužini od oko 1,3 km (Pécsi M. 1971.). Pokrenuta masa lesnog materijala od oko 10.000.000 km³ kliznula je u Dunav, izazvala poplavni val koji je pogodio suprotnu, nižu obalu Dunava. Izuzetno velike štete nanijelo je urušavanje lesnog odsjeka i privреди naselja. U samom koritu rijeke uz strmac došlo je do njegovog opličavanja i formiranja nekoliko sprudova.

U početnoj fazi urušno-kliznog pokreta formiraju se nestabilne pukotine pod kutom od oko 80° usporedno s lesnim odsjekom, duž kojih započinje postepeno slijeganje lesnih naslaga, koje je, kao što je to uvodno razloženo, u toj fazi bitno uvjetovano stupnjem koeficijenta slijeganja karakterističnim za tipske lesne naslage, i to posebno ako je isti veći od 0,02. Slijedi već opisani mehanizam urušno-kliznog pokreta, koji može biti katastrofalnog razmjera.

U razvoju klizišta uz reljefne i geološke odnose, važnu ulogu imaju i hidrološke i hidrogeološke osobine, kao i fizička obilježja lesa i lesu sličnih naslaga, te antropogeni utjecaji. Međutim, treba naglasiti da se u slučaju stepeničastih klizišta kao osnovni faktor njihovog razvoja javljaju morfološke karakteristike terena i erozijska aktivnost rijeke. Svi ostali navedeni faktori mogu utjecati na poremećaj stabilnosti lesnih odsjeka i razvoj urušno-kliznih pokreta samo ovisno od prvospomenutih.

Korozijsko-sufozijski procesi imaju također značajnog udjela u morfološkom oblikovanju lesnih odsjeka. Misli se tu na aktivnost podzemne i padalinske vode, koje otapaju karbonatnu ovojnicu oko kvarcnih zrna, i ispiranje čestica manjih od 100 mikrona podzemnom vodom. Ovisno o udjelu CaCO₃, oglinjenosti, tektonskoj predispoziciji i stupnju propusnosti podloge lesnih naslaga, te kretanju vode na lesnim zaravnima, koje prema Dunavu i Tisi završavaju strmim odsjecima visine i do 60 m, razvili su se tzv. pseudokrški (korozijsko-sufozijski) i heterogeni pseudokrško-derazijski reljefni oblici. Česti pseudokrški oblici su lesne ponikve i lesne doline. Kako je njihova geneza manje važna za tretiranu problematiku, to im se neće pokloniti pažnja, tim više što je isto detaljno razrađeno u okviru jednog drugog rada (Bognar A., 1974). Daleko veću važnost imaju pseudokrško-derazijski oblici, kao što su to lesne provalije, lesni bunari, lesni surdaci i lesne piramide, pošto su po svom mjestu nastanka vezani

redovito upravo za lesne strme odsjeke, i na njima predstavljaju veoma specifične mikromorfološke oblike. Od posebnog su interesa lesne provalije, lesni bunari i lesni surdaci, jer svojom genezom bitno narušavaju stabilnost lesnih odsjeka.

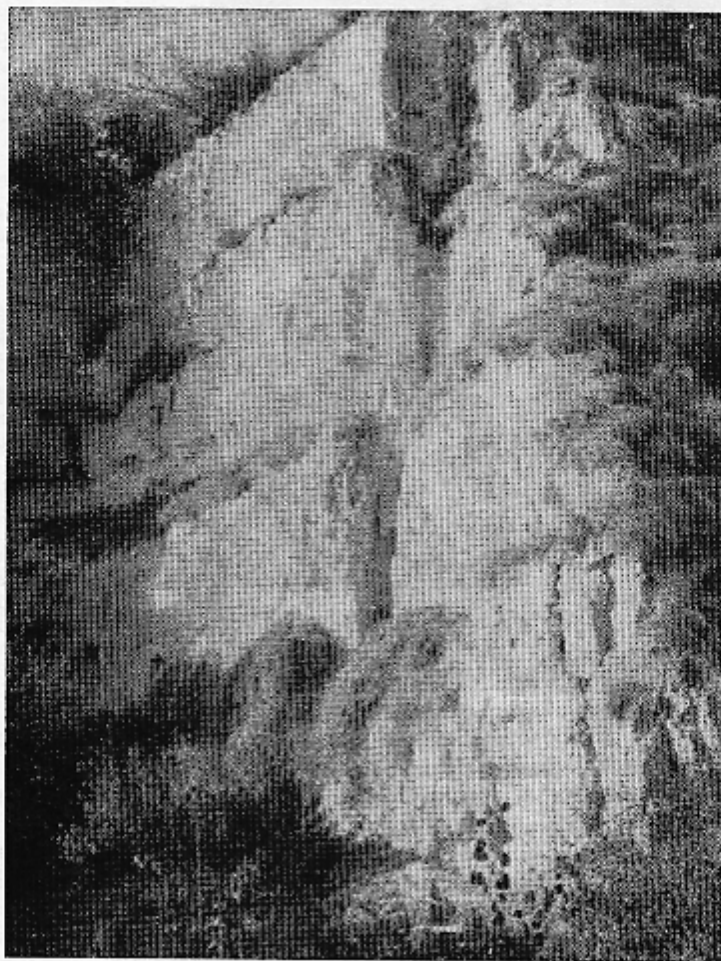


Fot. 3. Posljedice klizno-urušnih pokreta na lesnom strmom odsjeku kod Batine (Baranja).
Fig. 3. Exemple of consequences of step slide movements on the loess bluff near Batina (Baranja).

Lesni bunari, kao i lesne provalije, vezani su svojim razvojem uz kontakt strmih lesnih odsjeka lesnih zaravni prema naplavnim ravninama. Složenog su nastanka, jer se uz krški proces kao bitan faktor razvoja javlja i linearna erozija.

Povremeni tokovi, koji nastaju za jakih kiša, snažnim se mlazom ruše niz strme lesne odsjeke, razvijajući snažnu erozivnu djelatnost. Stvara se erozivno udubljenje, koje se dalje proširuje korozijom; kapilarne pukotine izluživanjem CaCO_3 se šire, pa se les, gubeći svoju vertikalnu postojanost, urušava stvarajući time vertikalno polukružno udubljenje bunarastih osobina. Lesni bunari nisu cjeloviti jer im se vanjski zid redovito urušava pod utjecajem jakog erozivnog rada mlaza vode. Vertikalna razvijenost lesnih bunara je znatna i obično se poklapa s čitavim profilom lesnog strmca (20—30 m).

Lesne provalije su po svom mjestu nastanka također vezane za rub lesnih strmaca ili strmih lesnih odsjeka. Najljepši primjeri zapaženi su u selu Suzi (Baranja). Vertikalni razvoj poklapa im se s debljinom lesnog sloja iznad starijeg pedološkog horizonta, što nužno ukazuje na uvjetovanost njenog razvoja odnosom nepropusnog sloja i strujanja podzemne vode. Ukratko, morfogeneza lesnih provalija rezultat je slijedećeg procesa: padalinska voda otječući po nepropusnom sloju (u ovom slučaju to je stariji pedološki horizont), kombiniranim djelovanjem korozije i linearne erozije stvaraju pukotinu, koja se sve više širi zbog sve manje vertikalne postojanosti lesnih naslaga iznad nje, one se u određenom trenutku lome duž podzemne pukotine. Tako nastala lesna provalija duboka je zavisno od debljine les-



Fot. 4. Inaktivni lesni strmi odsjek kod Zmajevca (Bansko brdo, Baranja). U prednjem planu vidi se lijepo razvijen lesni bunar.

Fig. 4. Inactive loess bluff near Zmajevac (Vörösmart, Baranja), with well developed loess well in the front.

nih naslaga iznad nepropusnog sloja, 5—10 pa i više metara. Lesne provalije su vrlo nepostojane reljefne forme, jer se za jakih kiša pukotine erozivnim radom sve više šire, pa joj se strane urušavaju. Najčešće se pretvaraju u jaružasta proširenja vrlo strmih strana.

Lesni surduci nastaju kombiniranim djelovanjem antropogenih aktivnosti, korozivsko-sufozijskih procesa i utjecajem bujičnih tokova. To su linearna duboka i uska udubljenja koja služe kao prometnice između obala rijeke i lesne zaravni. Stalni promet uvjetuje usitnjavanje površinskog dijela lesa, koji se spira, ali, i vertikalno ocjeđivanje padalinske vode, koja pri tome otapanjem karbonatnih ovojnica oko kvarcnih zrna proširuje kapilarne pukotine, što u krajnjoj liniji uvjetuje slijeganje lesnih naslaga. Surduk se tim procesima sve više udubljuje. Za jakih kiša surducima se ocjeđuje padalinska voda prema Dunavu i Tisi u obliku blatnih bujica, koje ih često u potpunosti pretvaraju u jaruge nepodesne za bilo kakvo korišćenje u prometnom smislu. Pretvaranje surduka u jaruge je u biti negativan proces, u skladu s već prije opisanim utjecajem na pogoršanje hidrogeoloških osobina lesnih naslaga bitno pridonosi potenciranju mobilnosti lesnih odsjeka.

Svi do sada analizirani morfološki procesi ukoliko su intenzificirani i oživjeli aktivnošću čovjeka i društva ulaze u kategoriju prirodno-antropogenih procesa. Odnosi se to prvenstveno na pojačano spiranje na poljodjelskim površinama uz lesne odsjeke, jaruženje, kao rezultat neadekvatno izgrađene i održavane kanalizacijske mreže, i na razvoj klizno-urušnih pokreta podsjećanjem padina pri izgradnji prometnica, stambenih i gospodarskih objekata. Destrukcijski utjecaj naročito im je izražen pri izgradnji nadzemne kanalizacijske mreže ukoliko nije osigurana odgovarajućom građevnom oblogom, što zbog poznate tendencije vertikalnog cijepanja lesnih naslaga stimulira razvoj procesa jaruženja, a time i formiranje pogodnosti za pojavu lokalnih klizno-urušnih pokreta na lesnim odsjecima ili na padinama Dunavu gravitirajućih manjih dolina. Primjer toga je urušavanje lesnog strmca u dvorištu privatne zgrade u Radićevoj ulici u Iloku tokom rujna 1978. godine (Bognar A., Blazek I., 1978). Mora se, međutim, naglasiti da je takvih primjera bezbroj i na ostalim lokalitetima duž našeg i mađarskog dijela priobalja rijeke Dunav (Karácsonyi S., Scheuer Gy. 1972).

Gušćom izgradnjom te širenjem naselja na lesnim zaravnima i u neposrednom priobalju Dunava i Tise antropogeni procesi postaju sve važniji faktor u morfološkom oblikovanju lesnih strmih odsjeka. Reljefnih oblika čisto antropogenog porijekla, koji posredno ili neposredno utječu na stabilnost lesnih strmaca, sve je više. Unutar pojedinih naselja imaju »tehnogen«, a van njih »agrogen« karakter. Dok su prvi rezultat inženjersko-građevinskih zahvata, »agrogeni« reljefni oblici po svom nastanku vežu se za ratarsko-stočarske aktivnosti poljodjelskog stanovništva.

Ekskavacijski morfološki oblici su najrašireniji. Predstavljani su površinskom i podzemnom mrežom odvodnih kanala, gliništima, jamačama za vađenje pijeska, u naplavnim ravnima uz lesne odsjeke, i usjecima za cestovne i željezničke prometnice. Kanalizacijska mreža najčešće je samo djelomično zaštićena umjetnom oblogom, što kao što je već naglašeno, stimulira procese jaruženja i razvoj klizno-urušnih pokreta. Naglašeno

negativne utjecaje imaju podzemni kanali kada zbog raznovrsnih oštećenja propuštaju otpadne vode. Na takvim mjestima vrši se gubljenje vode u lateralnom smislu, pa se formiraju lokalna ispupčenja podzemne vode, a pojačano je i sufozijskim procesima gubljenje materijala čime nastaju podzemne šupljine, koje se stalno proširuju. Kako su nivoi podzemnih voda utjecani vodostajima rijeke Dunav i Tisa, i u navedenim slučajevima, zbog stvaranja depresijskih površina, narušava se stabilnost lesnog odsjeka. Veoma poučan primjer tako uzrokovanih klizno-urušnih pokreta je poznata katastrofa kod Batine u kolovozu 1975. godine, kada je dio SI ruba Banskog brda bio zahvaćen klizno-urušnim pokretom stepeničastog tipa izazvavši štete i urušavanje niza stambenih objekata uz gornji rub i u podnožju lesnog strmca (Bognar A., 1978).

Umjetnim nasipavanjem nastale reljefne forme su također brojne u naseljima uz lesne odsjeke. To su uglavnom nasipi nastali kao rezultat izgradnje putova, stambenih i privrednih objekata. U tu kategoriju reljefnih oblika mogu se uključiti antropogenim putem zatrpani riječni rukavci i meandri u blizini pojedinih naselja kako bi se spriječila bočna erozija lesnih strmca (Ilok).

Značajni utjecaj na stabilnost lesnih odsjeka imaju i građevinskim objektima zahvaćene površine u priobalnom dijelu naselja uz Dunav i Tisu. Misli se tu prvenstveno na stambene i industrijske objekte, ali i na pločnike i asfaltirane ulice i ceste, koji gotovo u potpunosti pokrivaju prirodnu površinu terena. To ima bitnog odraza na modifikaciju prirodnih morfoloških procesa, hidrogeoloških i geomehaničkih osobina lesnih i lesu sličnih naslaga u njihovoj podini, i to u pozitivnom i negativnom smislu. Treba izbjegavati izgradnju visokih građevinskih objekata u neposrednoj blizini ruba lesnog odsjeka, jer prekomjerno opterećenje lesnih naslaga u uvjetima njihovog jakog vertikalnog ovlaživanja podzemnim i ojednim padalinskim vodama može izazvati ulijeganje terena i urušavanje lesnih odsjeka. Posebno je to karakteristično za dijelove naselja gdje su asfaltiranjem relativno velikih površina i neadekvatnom odvodnjom otpadnih voda poremećeni prirodni utjecajni odnosi padalinskih i podzemnih voda. Najnoviji klizno-urušni pokreti u istočnom dijelu Vukovara (1979. g.) upravo su posljedica neodgovarajućeg korišćenja dijelova lesne zaravni za izgradnju niza građevinskih objekata u blizini strmih lesnih odsjeka uz Dunav.

4. Tipovi lesnih strmih odsjeka

U genezi lesnih strmih odsjeka uočeni su mnogi oblici čije morfološke osobitosti određuju stupanj njihove stabilnosti i odlučujuće utječu na lokalne hidrogeološke odnose. No, unatoč njihovih raznovrsnih pojava oblika uzimajući u obzir njihove veze s rijekama Dunavom i Tisom, koje su bile odlučujući činioci u njihovom nastanku, mogu se izdvojiti tri osnovna tipa lesnih strmih odsjeka:

- direktno erodirani lesni strmi odsjeci
- lesni strmi odsjeci s podnožjem od klizno-urušnog materijala
- lesni strmi odsjeci s podnožjem od klizno-urušnog materijala i naplavnom ravni

a. Direktno erodirani lesni odsjeci vodama Dunava i Tise i lesni strmi odsjeci s podnožjem od delapsiuma ulaze u kategoriju morfoloških oblika, koji za građevinske zahvate predstavljaju potencijalno izuzetno ugrožene terene s mogućim razvojem klizno-urušnih pokreta katastrofalnih razmjera. U prvom slučaju erozija vodotoka javlja se kao direktni uzrok mobilnosti lesnih strmih odsjeka. Nagibi lesnih odsjeka redovito su veći od $50 - 60^\circ$, a mjestimice su gotovo okomiti. Bočnom erozijom Dunav i Tisa podlokavaju strmce, pa dolazi do stalnog gubitka lesnog materijala, koji se istovremeno transportira u nizvodnom smjeru, a uspostavljena je i direktna ovisnost

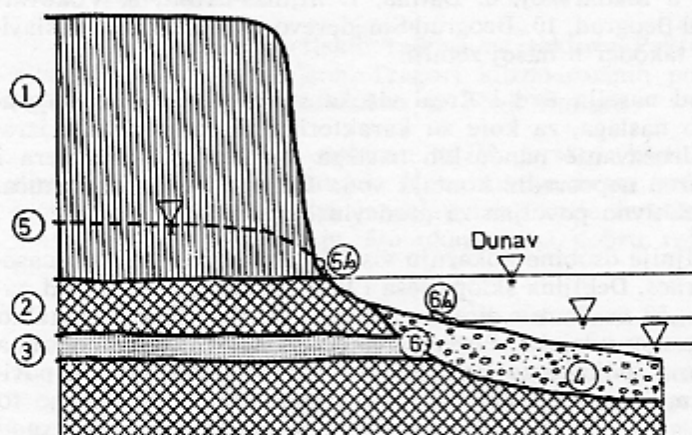


Fig. 3. Type of directly eroded loess bluff along the Danube river, (according to S. Karácsonyi, Gy. Scheuer, 1972.).

Legend: 1. Loess and loess-like sediments, 2. Upper pannon clay mud layers, 3. Upper pannon sand layers, 4. Holocene sandy gravel, 5. Ground water, 5a. Springs of ground water, 6. Artesian water, 6a. Springs of artesian water.

kretanja podzemnih voda od vodostaja rijeke. Direktno erodirani lesni strmi odsjeci su bez izuzetka nestabilni. Iako to ne znači da su oni u stalnom pokretu, valja istaći da i nakon klizno-urušnih pokreta privremeno stanje mirovanja može biti veoma lako narušeno, pa pokreti mogu biti ponovljeni.

b. Kod lesnih odsjeka s podnožjem od delapsiuma riječna erozija se javlja samo kao sekundarni destruktivski faktor, međutim, urušno-klizni materijal je konstantno u labilnom stanju zbog brojnih izvora, koji ga stalno vlaže, što u krajnjoj liniji negativno utječe na stabilnost lesnog strmog odsjeka. U nekim slučajevima ovlaženi delapsium može pridonijeti formiranju kliznih ploha i time razvoju urušno-kliznih pokreta.

c. Treći tip lesnih strmih odsjeka je relativno veoma zaštićen od direktne erozijske aktivnosti Dunava i Tise. Vodopropusni sedimenti naplavne ravni javljaju se kao prirodni kolektori u odvodnji podzemnih voda lesnog odsjeka, pa spadaju u najstabilnije terene za značajnije građevinske zahvate. Klizno-

Sl. 3. Tip lesnog strmog odsjeka direktno erodiranog rijekom Dunavom (prema S. Karácsonyi, Gy. Scheuer, 1972.).

Legenda: 1. Les i lesu slični sedimenti, 2. Gornjopanonska glina i siltovitve naslage, 3. Gornjopanonske naslage pijeska, 4. Holocenski pjeskoviti šljunci, 5. Podzemna voda, 5a. Izvori podzemne vode, 6. Arteška voda, 6a. Izvori arteške vode.

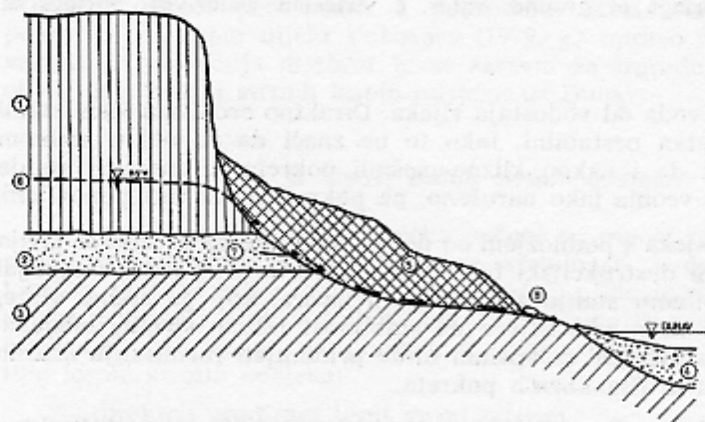
-urušni pokreti su lokalnog karaktera i uglavnom su stimulirani procesima jaruženja. Nagibi strmca su znatno manji u odnosu na prethodna dva tipa, što je odraz sve jačeg planacijskog utjecaja padinskih procesa.

Inžinjersko-geomorfološke osobine lesnih strmih odsjeka uz rijeke Dunav i Tisu

Prostorno gledajući mogu se izdvojiti slijedeći sektori lesnih odsjeka uz Dunav i Tisu: 1. Erd-Ercsi, 2. Dunaújváros, 3. Dunaföldvár, 4. Paks, 5. Dunaszekcső, uz Dunav u Mađarskoj, 6. Batina, 7. Aljmaš-Erdut, 8. Vukovar-Novi Sad, 9. Novi Sad-Beograd, 10. Beograd-Smederevo uz Dunav u Jugoslaviji, i 11. Titel uz Tisu, također u našoj zemlji.

1. Na sektoru od naselja Erd i Ercsi visoka strma obala Dunava građena je od panonskih naslaga, za koje su karakteristični samo slabije izraženi klizni pokreti. Urušavanje panonskih naslaga lokalnog su karaktera i to tamo gdje je ostvaren neposredni kontakt voda Dunava i obalnog strmca. Teren je uglavnom relativno povoljan za građevinske zahvate.

2. Znatno nepovoljnije osobine pokazuju visoke strme obale između naselja Kulcs i potoka Baracs. Debljina sklopa lesa i lesu sličnih naslaga iznad panona kreće se od 20 — 50 m. Dunav direktno erodira lesni strmec, što stalno narušava stabilnost lesnog odsjeka. Povećana mobilnost strmca potencirana je litološkim osobinama sedimenata koji sudjeluju u njegovu sastavu, povišenim nivoima podzemnih voda i neadekvatnom izgradnjom. Odnosi se to posebno na područje grada Dunaújvárosa, gdje je stalno potsjecanje lesnog strmca i veoma intenzivna gradska i industrijska izradnja (čelčana) bitno narušile hidrološke (smanjena evapotranspiracija i ocjedne vode iz kanalizacijske mreže podigle su nivo podzemnih voda) odnose. Rezultiralo je to katastrofalnim urušno-kliznim pokretima veljače 1964. godine, kojima je zahva-



Sl. 4. Tip lesnog strmog odsjeka s podnožjem od klizno-urušnog materijala.

Legenda: 1. Les i lesu slični sedimenti, 2. Sloj pijeska, 3. Naslage lapora, i pješčenjaka pliocenske starosti, 4. Fluvijalne naslage, 5. Urušno-klizni materijal, 6. Podzemna voda, 7. Arteška voda, 8. Izvor.

Fig. 4. Type of loess bluff with a foreground of sliding detritus material.

Legend: 1. Loess and loess like sediments, 2. Sand layer, 3. Marl and sandstone deposits of pliocene age, 4. Fluvial deposits, 5. Sliding detritus, 6. Ground water, 7. Artesian water, 8. Springs.

ćen lesni strmac u dužini od 1,3 km, a pokrenuta masa materijala imala je 10 miliona kubnih metara (Karácsonyi S., Scheuer Gy. 1972).

3. Najugroženiji dio dunaföldvárskog sektora je njegov sjeverni dio između potoka Baracs i naselja Bölska. Dunav tu direktno erodira lesni odsjek, što uzrokuje stalno manja urušavanja lesnog materijala. Značajno je naglasiti da su se upravo na ovom sektoru u najnovije vrijeme dogodili veći urušno-klizni pokreti, koji su ozbiljniju štetu nanijeli poljoprivrednim površinama. Za srednjih voda Dunava zapaženi su izvori u samom koritu rijeke. Vode u njima izbijaju pod tlakom iz vodonosnih slojeva panona, koje je Dunav zasjekao.

4. Utjecajem sanacijskih radova na sektoru Paksa mobilnost lesnih odsjeka je znatno umanjena. Tragovi klizno-urušnih pokreta, međutim, zapažaju se još uvijek mjestimično na obali Dunava.

5. Na najjužnijem sektoru u Mađarskoj kod Dunaszekcső-a, Dunav direktno erodira lesni odsjek. Kako matica nema većeg erozijskog utjecaja, mobilnost lesnog odsjeka je relativno slabije izražena; zapažena su samo manja lokalna urušavanja, što ukazuje na dobru vertikalnu stabilnost lesnih naslaga.

6. Batinski sektor nalazi se uz desnu obalu Dunava u jugoslavenskom dijelu Baranje. Lesne naslage leže na nešto povišenoj bazalt-andezitnoj ploči, tako da nisu direktno erodirane, a odsjek je na potezu od Batine do Kneževih Vinograda branjen širokom naplavnom ravni. Pojava klizno-urušnih pokreta vezana je samo posredno za Dunav, koji je erozijski bazis podzemnih voda Banskog brda. Znatno veći utjecaj ima neadekvatna izgradnja, posebno komunalija koje bitno utječu u kombinaciji s izmjenama vodostaja Dunava na kretanje podzemnih voda. Podizanje nivoa podzemnih voda i njihovo koncentrirano otjecanje smanjuje stabilnost lesnog odsjeka i stimulira razvoj klizno-urušnih pokreta. Tome u prilog govori i katastrofalno urušavanje lesnih naslaga 1975. godine (Bognar A., 1978).

7. Strmi nagibi lesnih odsjeka visine oko 50 — 60 m na potezu od Aljmaša do Erduta tektonski su predisponirani, a lateralnom erozijskom aktivnošću rijeka Dunava i Drave, te klizno-urušnim procesima još su i više naglašeni. Posebno je to izrazito na samoj okuci Dunava kod Erduta, gdje je sve donedavno Dunav direktno erodirao lesni odsjek. Zapaženi stepeničasti nivoi na različitim visinama tragovi su brojnih klizno-urušnih pokreta u nedavnoj prošlosti, pa prema tome sektor se u cijelosti može uvrstiti u terene nepovoljne za ozbiljnije građevinske zahvate. Gravitacijski izvori zapaženi su na više mjesta na različitim visinama lesnog strmca.

8. Idući od Vukovara prema Novom Sadu visina lesnih strmih odsjeka se povišava od 25 — 30 do 40 — 50 m. Karakteristična je izmjena svih triju tipova lesnih odsjeka: uz direktno erodirane lesne odsjeke, posebno kod Vukovara i Iloka, uz sam kontakt odsjeka i korita Dunava česti su tragovi reliktnih klizišta i urušavanja. Tragovi pokreta lesnih masa česti su i kod Prljuše, Ledinačkog i Rakovačkog potoka (B. Z. Milojević, 1960). Klasičan primjer strmog lesnog odsjeka s podnožjem od klizno-urušnog materijala istražen je u Iloku, od doline Lovke do Turske Skele (Bognar

A., Blazek I., 1978). Tu je lesni strmec, unatoč relativno gustoј vegetaciji zbog brojnih izvora, koji konstantno natapaju klizno-urušnu zonu, izuzetno nestabilan.

9. Slične osobine pokazuje i sektor od Novog Sada do Beograda. Naglašeno nestabilne osobine lesni odsjek ima kod Sremskih Karlovaca i Starog Slankamena. Prema B. Ž. Milojeviću (1960.) klizno-urušni pokreti kod S. Karlovaca uvjetovani su glinovitom i pjeskovitom podlogom lesnih naslaga. Klizno-urušni pokreti se opetovano javljaju već stotinjak godina (1881, 1895, 1912, 1918, 1922, 1938 i u poslijeratnom razdoblju). Kod St. Slankamena karakteristična je pojava lesnog strmca s podnožjem od klizno-urušnog materijala. I samo naselje se razvilo na naslagama takvog porijekla, iako postoji stalna potencijalna opasnost oživljavanja klizno-urušnih pokreta. Dunav se tu usjekao u površinski dio naslaga pliocenske starosti i pri tome zasjekao relativno debele slojeve pijeska. To je u potpunosti izmjenilo hidrodinamičke odnose lesnog odsjeka. Za niskih vodostaja voda izvori se pojavljuje u koritu, ali za visokih vodostaja izvori prestaju radom, što podiže piezometrijski nivo podzemnih voda unutar slojeva pijeska. Nagle izmjene vodostaja rijeke uvjetuju pojačano ispiranje materijala povećanom mehaničkom snagom podzemne vode i stvaranje depresijske po-

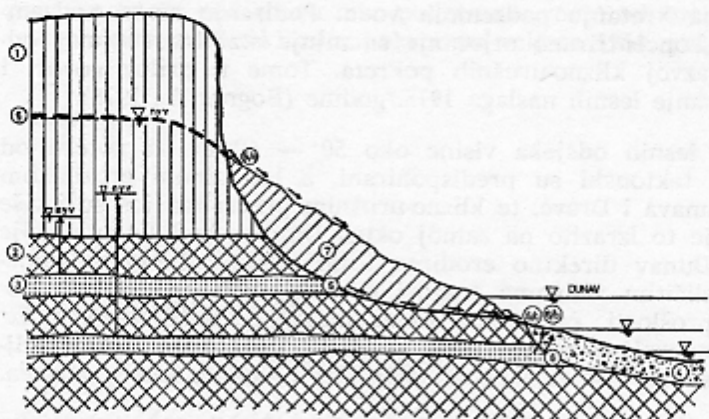


Fig. 5. Type of loess bluff with foreground of sliding detritus material near St. Slankamen

Legend: 1. Loess and loess-like sediments, 2. Pliocene clay layers, 3. Pliocene sand layers, 4. Fluvial deposits, 5. Ground water, 5a. Ground water spring (swallowed), 6. Artesian water, 6a. Inundated artesian water spring, 6b. Artesian spring under pressure, 7. Sliding detritus, (for the construction of the profile has been used the fig. 2. from scientific work of S. Korácsnyi, Gy. Scheuer 1972.).

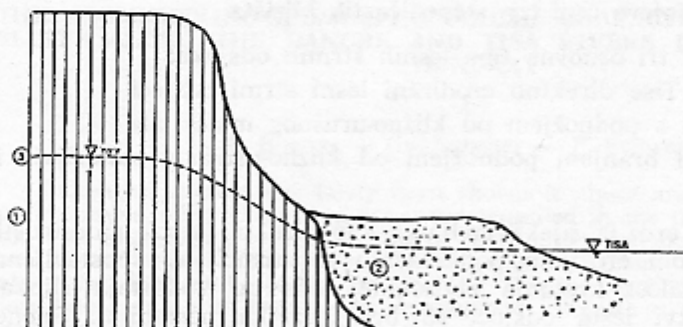
Sl. 5. Tip lesnog strmog odsjeka s podnožjem od klizno-urušnog materijala kod St. Slankamena.

Legenda: 1. Les i lesu slični sedimenti, 2. Pliocenske naslage gline, 3. Pliocenske naslage pijeska, 4. Fluvijalne naslage, 5. Podzemna voda, 5a. Gravitacijski izvor, 6. Arteška voda, 6a. Plavljeni izvori arteške vode, 6b. Arteški izvori podzemne vode pod tlakom, 7. Urušno-klizni materijal (pri konstrukciji profila korištena je i sl. 2 iz rada S. Korácsnyi, Gy. Scheuer, 1972.).

vršine, što je osnovni uzrok klizno-urušnim pokretima, koji su formirali široku zonu urušnog i kliznutog materijala, mjestimično i danas u pokretu. Klizno-urušnim pokretima formiran je tu jedan od najimpresivnijih lesnih odsjeka na Dunavu, koji omogućuju odgovarajuća istraživanja gotovo kompletnog profila lesa i lesu sličnih naslaga iznad pliocenske podloge. Po tome je lesni profil kod St. Slankamena jedan od najistraženijih klasičnih lesnih profila u Svijetu.

Dijelovi sektora od Novog Sada do Beograda, gdje je podloga lesnih naslaga predstavljena mezozojskim (Kalakač) i tercijskim (SZ od St. Slankamena) naslagama i eruptivima (serpentin kod Petrovaradina), stabilnost odsjeka je relativno dobro izražena, tako da su uočena samo manja urušavanja i slijeganja lesa uvjetovana derazijskim i korozijsko-sufozijskim procesima.

10. Nizvodno od Beograda nestabilnošću odsjeka se odlikuje sektor do Smedereva. Zastupljene su sve tri vrste lesnih odsjeka. Urušno-klizni pokreti se redovito pojavljuju na mjestima direktne erozije Dunava, i to kod Višnjice, Veličkog Sela, Vinče, Ritopeka, Grockę i Smedereva (J. Cvičić, 1926., P. S. Jovanović, 1954). Vertikalno gledajući, klizno-urušni pokreti javljaju se u dva pojasa, što lesnom odsjeku daje stepeničasti izgled.



Sl. 6. Tip lesnog strmog odsjeka branjenog naplavnim ravni rijeke Tise.

Legenda: 1. Les i lesu slični sedimenti, 2. Fluvijalne naslage, 3. Podzemna voda.

Fig. 6. Type of loess bluff protected by the fluvial deposits of the Tisa river.

Legend: 1. Loess and loess-like sediments, 2. Fluvial deposits, 3. Ground water.

11. Na Titelskoj lesnoj zaravni aktivni klizno-urušni pokreti utvrđeni su samo na lesnim odsjecima uz rijeku Tisu. Tu rijeka i danas mjestimično erozijski podsjeća lesni strmac, dok su ostale padine lesne zaravni općenito uzevši stabilne. Manja urušavanja rezultat su uglavnom antropogenih aktivnosti.

Zaključak

Interes društva sve je više upućen prema onim područjima koji su do sada zbog svojih nepovoljnih reljefnih osobina smatrani nepodesnima s aspekta građevinske prakse. U okviru istih, specifične vrste morfoloških oblika predstavljaju visoki strmi lesni odsjeci (30 — 60 m) u dužini od

oko 600 km uz desnu obalu rijeke Dunava i Tise u Jugoslaviji i Mađarskoj, čija nestabilnost bitno utječe na razvoj priobalnih naselja i sigurnost prometnica.

U sastavu lesnih odsjeka uz pleistocenske naslage lesa i lesu sičnih sedimenata, debelih do 60 m, sudjeluju i neogeni sedimenti morskog i limičkog porijekla, vulkanske stijene, te mezozojske naslage. Duž podnožja lesnih odsjeka javljaju se recentne taložine Dunava i Tise i padinske naslage, najčešće klizno-urušnog porijekla.

Odlučujuću ulogu u nastanku lesnih odsjeka ima fluvijalno modeliranje, zatim derazijski i korozivno-sufozivski procesi. Svi oni prirodno su uvjetovani ili su čovjekovim radom oživjeli. Od velikog značenja za oblikovanje i stabilnost lesnih odsjeka imaju i antropogene aktivnosti.

Uočeni su mnogi oblici lesnih odsjeka čije morfološke različitosti određuju stupanj njihovog stabilneta i odlučujuće utječu na lokalne hidrogeološke odnose. Erozijske aktivnosti rijeka i utjecaj njihovih vodostaja na kretanje podzemne vode, vrste izvora i litološke osobine lesa i lesu sličnih naslaga i neogenih sedimenata u njihovoj podlozi dalji su faktori koji bitno utječu na stabilnost i mobilnost lesnih odsjeka. Naime, sufuzijskim djelovanjem podzemne vode uvjetovan gubitak materijala u vodonosnim horizontima i stupanj ovlaženosti lesa znatno smanjuje njegovu prirodnu vertikalnu stabilnost, pospješuje procese slijeganja i klizno-urušne pokrete. Laboratorijska istraživanja utvrdila su linearnu vezu između koeficijenta vodopropusnosti i poroznosti. Klizno-urušni pokreti pripadaju u najvećem broju slučajeva tipu tzv. stepeničastih klizišta.

Izdvojiti se mogu tri osnovna tipa lesnih strmih odsjeka:

- vodama Dunava i Tise direktno erodirani lesni strmi odsjeci
- lesni strmi odsjeci s podnožjem od klizno-urušnog materijala
- lesni strmi odsjeci branjeni podnožjem od klizno-urušnog materijala i naplavnom ravni.

U prvom slučaju erozija rijeka javlja se kao direktni uzrok mobilnosti lesnih odsjeka. Bočnom erozijom podlokavaju se strmci, a uspostavljena je i neposredna ovisnost kretanja podzemne vode od vodostaja rijeka. U skladu s tim takvi lesni odsjeci su bez izuzetka nestabilni. Slične osobine imaju i lesni odsjeci s podnožjem od urušno-kliznog materijala, koji ovlažen pridonosi formiranju kliznih ploha, a time i rušno-kliznih pokreta. Treći tip lesnih strmih odsjeka je relativno dobro zaštićen od erozijskog djelovanja Dunava i Tise. Vodopropusni sedimenti naplavne ravni javljaju se kao prirodni kolektori u odvodnji podzemnih voda lesnog odsjeka, pa oni spadaju u najstabilnije terene za građevinsku izgradnju.

LITERATURA

- Bognar A., Krški i krško-denudacijski reljefni oblici na lesu Baranje, Zbornik IX kongresa geografa Jugoslavije 1972, Sarajevo 1974.
 Bognar A., Morfogenezu Banskog brda i Južne baranjske lesne zaravni Geografski glasnik, br. 35—37, Geografsko društvo Hrvatske i Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1975.

- Bognar A., Distributin, properties and types of loess and loesslike sediment in Croatia, *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, Tomus 22, fasc. 1—4, Akadémiai Kiadó, Budapest 1979.
- Bognar A., Uzroci urušavanja i kliženja tla na Banskom brdu kod Batine 1975. godine *Geografski horizont*, br. 1—2, 1978, god XXIV, GDH, Zagreb, 1978.
- Bognar A., Blazek I., Inženjersko-geomorfološka problematika naselja Ilok, inženjersko-geomorfološka karta 1:2000 s tumačem, Urbanistički institut SRH, Zagreb 1978.
- Cvijić J., *Geomorfologije*, knjiga 2, Beograd 1926.
- Jovanović P. S., *Urvine u okolini Beograda*, Glasnik Srpskog geografskog društva 1954, Beograd 1954.
- Karácsonyi, S., Scheuer Gy., Engineering Geological Problems of Bluff along the Danube, *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, Tomus XVI, fasc. 4., Akadémiai Kiadó, Budapest 1972.
- Marković-Marjanović J., Rasprostranjenje i stratigrafija lesa u Jugoslaviji, *Glasnik prirodnačkog muzeja*, Serija A, knjige 27, Beograd 1972.
- Milojević B. Z., Panonski Dunav na teritoriju Jugoslavije, *Zbornik za prirodne nauke* br. 18, Matica Srpska, Beograd, 1960.
- Pécsi M., Lösse und lössartige Sedimente im Karpatenbecken und ihre lithostratigraphische einteilung, *Földrajzi Közlemények*, god. LXXXIX, br. 4, Magyar Földrajzi Társaság, Budapest 1965.
- Pécsi M., On the river-bank landslide at Dunaföldvár in 1970., *Földrajzi Értesítő*, god. XX, br. 3, MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest 1971.
- Pécsi M., The main types of landslides, god. XCV, br. 2—3, *Földrajzi Közlemények*, MFT, Budapest 1971.

Summary

THE ENGINEERING-GEOMORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF LOESS BLUFFS ALONG THE DANUBE AND TISA RIVERS IN YUGOSLAVIA AND HUNGARY

by

A. Bognar — Gy. Scheuer — F. Schweitzer

Increased interest has lately been shown in those areas which, due to their unfavourable relief characteristics, were regarded in the past as being unsuitable for civil engineering projects. Some of these areas include high loess bluffs (30—60 m) with specific morphological formation, stretching approximately 600 km along the right banks of the Danube and Tisa in Yugoslavia and Hungary. Their instability greatly influences the development of settlements and safety of roads in these areas along the rivers.

Beside loess layers of Pleistocene age and loess-like sediments of a thickness of up to 60 m, the structure of loess bluffs also includes Neogene sediment of maritime and lacustrine origin, volcanic rocks and Mesozoic layers. Along the foreground of the loess bluffs recent sediments of the Danube and Tisa can be found, together with slope deposits mainly of slide detritus origin.

A decisive role in the formation of loess bluffs is taken by the fluvial modelling, foling, followed by derasional and corrosional-suphositional processes. All are naturally conditioned or remobilized by man. Anthropogenic activities are also of great significance in the formation and stability of loess bluffs.

Many forms of loess bluffs have been observed whose morphological differences determine the degree of their stability, greatly influencing local hydrogeological realtions. The erosive activity of the rivers and the effect of their changing water level on the movement of underground water, kinds of springs, and the lithological characteristics of loess and loess-like layers and Neogene sediments in their base are further factors which greatly influence stability and mobility of loess bluffs. In other words, the loss of material in the water and mois-

ture content, considerably decreases their natural vertical stability, hastening the process of subsidence and slide detritus movement. By means of laboratory investigation the linear connection between void ratio and the subsidence factor has been established.

Slide detritus movements usually occur in types of so-called step-like sliding terrains.

Three basic types of loess bluffs can be defined:

- loess bluffs directly eroded by the waters of the Danube and Tisa rivers
- loess bluffs with a foreground of sliding detritus material
- loess bluffs protected by a foreground of sliding-detritus material and flood plain.

In the first case the erosion of the rivers appears as a direct cause of loess bluff mobility. With their side erosion they underwash the bluff and direct dependence of the underground water movement and the changing water level is established. Consequently, such loess bluffs are, without exception, unstable. Similar characteristics are found in loess bluffs with a foreground of sliding-detritus material, which at a certain level of water content contributes to the formation of sliding surfaces and consequently a sliding-detritus movement. The third type of loess bluff is relatively well protected from the erosive effect of the Danube and Tisa. The permeable sediments of the flood plain exist as natural collections in the outflow of underground water of the loess bluff, and they regarded as very stable terrains for civil engineering projects.