

631.4:552.5(497.1)

SLAVČO HRISTOV

UTICAJ SEKUNDARNIH ARGILOIDNIH ZONA KORE RASPADANJA NA HIDROGEOLOŠKA I INŽENJERSKOGEOLOŠKA SVOJSTVA NEKIH TERENA JUGOSLAVIJE

Na osnovu terenskih istraživanja i podataka iz literature izvršen je pokušaj genetske klasifikacije glina kao produkta trošenja; klasifikacija se zasniva na geološkim i pedološkim kriterijumima i daje potpun prikaz najvažnijih hidrogeoloških i inženjerskogeoloških karakteristika takvih glina na odgovarajućem mestu. Klasifikacija olakšava izvođenje specifičnih zaključaka ili opštih prognoza na osnovu poznavanja glavnih faktora postanka glina, kao što su geološka osnova, klima, reljef, vegetacija, podzemna voda i dr.

Kroz petnaestogodišnju praksu na proučavanju deformacija prirodnih padina i veštačkih kosina došao sam do saznanja da su u najvećem broju slučajeva uzrok deformisanja bile zone naknadno obogaćene glinom u okviru kore raspadanja koje sam nazvao *sekundarne argiloidne zone* (SAZ). Sekundarne sam ih nazvao zbog toga što su nastale i nastaju procesima zonalne diferencijacije kore raspadanja nakon njenog formiranja, a argiloidne zbog toga što u odnosu na neposredno više i niže zone iste kore raspadanja sadrže relativno najveći procenat gline. Zapazio sam takođe, da se ove zone u različitim fizičkogeografskim (geološkim, geomorfološkim, klimatskim, biološkim i dr.) uslovima Jugoslavije nalaze u različitim stadijima razvoja. Pojednim stadijima odgovaraju zone specifične unutrašnje građe i drukčijih fizičko-mehaničkih, hidrogeoloških i inženjerskogeoloških svojstava. Ipak, najkarakterističniji pokazatelji fizičkog stanja tla sekundarnih argiloidnih zona su oblik konsistencije i mehanička čvrstoća.

Kod profila sa sekundarnim argiloidnim zonama na nižem stupnju razvoja konsistencija i mehanička čvrstoća variraju tokom vremena u veoma širokim granicama: u vodom zasićenom stanju tlo pelazi u jedan od plastičnih oblika konsistencije, sa svim pratećim pojavama, uključujući

tu i naglo opadanje mehaničke čvrstoće; u suvom stanju pak, poprima polučvrst i čvrst oblik. Sa napredovanjem procesa zonalne diferencijacije profila i dijagenetskih procesa sekundarnih argiloidnih zona, sve se više ustaljuje unutrašnja struktura tla, zone postaju prirodno zbijenije, manje vodopropusne i u okviru kore raspadanja mehanički stabilnije.

U cilju otkrivanja ovog fenomena, istraživanja su vršena kroz sledeće zadatke;

1. Kojim procesima i pod koji uslovima nastaju sekundarne argiloidne zone kore raspadanja u istraženim delovima terena Jugoslavije.

2. Kojim se bitnim svojstvima, uključujući tu hidrogeološka i inženjersko-geološka svojstva, odlikuju sekundarne argiloidne zone kao mase tla i terena uopšte.

3. Da li sekundarne argiloidne zone imaju lokalno ili regionalno rasprostranjenje u Jugoslaviji i od kakvog su hidrogeološkog i inženjersko-geološkog značaja.

Istraživanja su vršena u dolinama reka: Prizrenske Bistrice, Drine, Sutjeske i Morače, zatim u gradu Karlovcu i njegovoj okolini, a sastoje se iz radova na terenu, u laboratoriji i obrade podataka.

Terenska istraživanja se sastoje iz otvaranja terena istražnim sondama, plitkim bušotinama i drugim iskopima vezanim za rešavanje nekih privrednih i nastavnih zadataka. Istovremeno je merena penetraciona čvrstoća i uzimani uzorci tla za laboratorijska ispitivanja iz svih zona kore raspadanja i geološke podloge. Geološki subovi su rađeni na licu mesta. Uzorci su uzimani cilindrima »Kopecki«, a merenje penetraacione čvrstoće vršeno je Proktorovom iglom sa baždarenom oprugom. Svaka je zona penetrirana horizontalno sa po 8—10 uboda, ravnomjerno raspoređenih po čitavoj širini zone. Parcijalno su vršeni i opiti probne infiltracije vode, putem utisnutih metalnih cilindara; merena je stišljivost tla kružnom pločom; efekat zbijanja tla vibracionim valjkom i sniman učinak ručnog rada pri iskopu ručnim alatom.

Laboratorijska ispitivanja obuhvataju sledeća svojstva i metode: granulometrijski sastav, prosejavanjem i hidrometrisanjem; zapreminska težina suvog tla i prirodna vlažnost, sušenjem neporemećenih uzoraka na 105°C do konstantne težine; optimalna vlažnost, Proktorovim postupkom; granice plastičnosti, po A. Casagrande-u; koeficijent filtracije, metodom promenljivog pritiska; retencioni kapacitet za vodu, modificiranim postupkom Kopeckog; higroskopna vlažnost, kao razlika težine između osušenog sitnog tla na sobnoj temperaturi i 105°C; zapreminska težina čvrstih čestica (specifična težina), piknometarskom metodom; pH, kolorimetrijski, pomoću univerzalnog indikatorskog papira; sadržaj humusa, po Kocman-u. Ostali podaci dobijeni su računski.

Kod obrade podataka dominantne su bile metode komparativne analize i srednjeg kvadratnog odstupanja (standardna devijacija). Analizom

su obuhvaćeni, pored rezultata sopstvenih istraživanja, još i mnoštvo podataka iz objavljene literature (Ćirić, 1956; Filipovski & Ćirić, 1968; Stritar, 1969; Racz, 1962) i stručnog fonda Instituta za Pedologiju i tehnologiju Poljoprivrednog fakulteta u Zagrebu (Kovačević, 1956; Pušić & Škorić, 1966; Kalinić, 1967). Na osnovu rezultata sopstvenih istraživanja i literaturnih izvora, u prvom redu na osnovu Klasifikacije zemljišta Jugoslavije iz 1963. godine (Nejgauer & dr., 1963.), vodeći računa o osnovnim fizičko-mehaničkim, hidrogeološkim i inženjerskogeološkim svojstvima, kao i o mestu, uslovima i načinu postanka, sve sekundarne argiloidne zone svrstao sam u tri osnovne grupe: subdetritične, subhumusne i subakvalne.

Subdetritične sam nazvao one sekundarne argiloidne zone koje nastaju u bazi detritičnih (klastičnih) deponija, tačnije, u kontaktnoj zoni između detritusa kao povlate i neke druge manje vodopropusne mase u podini. U ovom radu se razmatraju samo zone nastale u bazi krečnjačko-dolomitičnog detritusa, nataloženog na beskarbonatnoj podlozi.

Subdetritične sekundarne argiloidne zone nastaju akumulacijom finih čestica u kontaktnoj zoni kao posledica ispiranja produkata raspadanja masa povlate i dezintegracijom strukturnih agregata gornjih delova geološke podloge.

U okviru kore raspadanja subdetritične sekundarne argiloidne zone se javljaju u obliku sasvim tankih proslojaka do znatno debelih slojeva i to uvek na granici između masa grublje poroznosti, kada one čine površinu terena i masa finije poroznosti ispod njih. Boje su crvenkaste, žućkaste, katkada plavkaste i zelenkaste. Dubina zaleganja određena je debljinom masa grublje poroznosti iznad njih.

Ove zone se kao mase tla odlikuju veoma promenljivim fizičko-mehaničkim svojstvima. Zapažaju se znatne razlike u granulometrijskom sastavu, plastičnim koloidnim, higroskopnim i drugim svojstvima, kako po horizontali tako i po vertikali i to ne samo između zona različitih lokaliteta, već i unutar jedne zone istog lokaliteta. Razlike nastaju kao posledica delovanja različitih pedogenetskih faktora (geološki sastav podloge, klima, inklinacija i ekspozicija reljefa, karakter humusa i dr.).

U hidrogeološkom pogledu subdetritične sekundarne argiloidne zone odlikuju se relativno malom izolatorskom hidrogeološkom funkcijom, tako da one ne predstavljaju značajniju prepreku za infiltraciju vode sa površine u dublje delove terena.

U uslovima zasićenja tla vodom kada se nalaze na jače inkliniranim elementima reljefa i kada budu padine zasečene veštačkim radovima, podlokane prirodnim tokovima ili opterećene stranom masom iz iskopa, subdetritične sekundarne argiloidne zone gotovo redovno uzrokuju lokalno deformisanje padina. To je njihovo osnovno inženjerskogeološko svojstvo.

Subhumusne obuhvataju grupu genetski veoma raznovrsnih sekundarnih argiloidnih zona čije je zajedničko obeležje da leže, ma da ne uvek neposredno, ispod zone humusa i da nastaju pod uticajem površinskih i plitkih podzemnih voda, uz aktivno učešće humusnih kiselina.

Javljaju se u vidu jednoslojnih i višeslojnih zona u okviru kore raspadanja, čija je geneza uvek vezana za procese zonalne diferencijacije profila. Ukupna debljina se kreće od nekoliko centimetara do 4 m, a leže na dubini između 0,5 i 5,0 m ispod površine terena.

U okviru ove grupe izdvojene su nekoliko vrsta sekundarnih argiloidnih zona, na osnovu stupnja njihove izraženosti (morfoloških odlika), fizičko-mehaničkih, hidrogeoloških i inženjerskogeoloških svojstava i to: insitugene, iluvijalne, glejogene i halitogene. U okviru glejogenih izdvojene su dve podvrste: pseudoglejne i glejne.

Insitugene su najniži i najnerazvijeniji oblici subhumusnih sekundarnih argiloidnih zona i može se reći da pripadaju prvim, zonalno još nedovoljno diferenciranim tipovima kore raspadanja. One se na profilu (0,5—1,0 m dubine) ističu žućkasto-smeđom ili cimetastom bojom. Nazvao sam ih insitugenim zbog toga što je obogaćivanje glinom izvršeno u toku procesa dezagregacije strukturnih agregata i raspadanja primarnih minerala »in situ«, tj. bez učešća eluvijalno-iluvijalnih procesa. Sadržane su, uglavnom, u smeđim zemljištima (gajnjače, kiselja smeđa zemljišta, smeđa zemljišta na krečnjacima i dolomitima i dr.). U inostranoj literaturi smeđim zemljištima su analogna: Brown mediterranean (Zap. Evropa); Noncalic brown soils i Brown acid soils (Engleska i SAD), Sol brun acid (Francuska) (Stritar, 1969).

Uopšte se može reći da se insitugene sekundarne argiloidne zone odlikuju povećanim sadržajem frakcija gline, da su nestabilne strukture, da se njihov oblik konsistencije menja od žitko-plastičnog do tvrdog, zavise od stepena vlažnosti tla, da su podložne deformisanju u uslovima plastične konsistencije i da relativno dobro propuštaju vodu.

Iluvijalne sekundarne argiloidne zone su dobile ime prema dominirajućem procesu iluvijacije u toku njihove geneze. Sadržane su u ilimerizovanim (lesiviranim) zemljištima i u podzolima. Analogna zemljišta u inostranoj literaturi (Stritar, 1969) pominju se: Sol lesivé (Franc.), Grey brown podzolic soils (SAD), Parabraunerde (Nemačka), Leached mull soils (Engl.), ilimerizovanje počvi (SSSR) i dr. U pedologiji se ove zone označavaju simbolom »B«. Nastaju procesima lesivaže, tj. ispiranjem frakcija gline bez njihovog prethodnog raspadanja i opodzoljavanja, tj. ispiranje produkata krajnjeg raspadanja mineralnog dela tla. Odlikuju se znatnim sadržajem frakcija gline (2,8—1,2 puta više u odnosu na eluvijalnu zonu); smeđom bojom sa ili bez Fe-Mn-humusnih konkracija; prosečnom debljinom oko 60 cm, čija gornja granična površina obično leži na dubini 0,4—0,6 m a donja 1—1,5 m ispod površine terena; izrazi-

tom prirodnom zbijenošću njihovih masa; otpornošću na razmekšavanje pod uticajem vode i relativno malom vodopropusnošću. U sklopu terena predstavljaju izrazite hidrogeološke izolatore, otežavajući stvaranje ekonomski značajnih podzemnih akumulacija vode, a njihov dosta stabilan položaj smanjuje mogućnost razvoja kliznih procesa.

Glejogene sam nazvao one sekundarne argiloidne zone koje su nastale pod pretežnim uticajem stagnirajućih površinskih voda, usled smanjene vodopropusnosti dubljih delova kore raspadanja ili geološke podloge, kao i one nastale pod uticajem plitkih podzemnih voda u zoni oscilacije njihovog nivoa, tj. procesima pseudooglejavanja i oglejavanja. Prve sam nazvao *pseudoglejnim*, a druge *glejnim*, prema nazivima njihovih matičnih tipova zemljišta u kojima su one najpotpunije razvijene. Zemljišni tipovi u inostranoj literaturi (Štritar, 1969), u kojima su ove zone sadržane nose u pojedinim zemljama različite nazive: Gleyartiger Boden, Marmorierter gleyartiger Boden i dr. (Nemačka); Sols a pseudogley (Franc.); poverhnosno gleevie počvi (SSSR); Planosol (SAD) i dr.

Glejne su obično jednozonalne i razvijaju se u delovima terena trajno ili pretežno zasićenih vodom u toku godine, zbog čega su plavkaste ili zelenkaste boje i gotovo se redovno nalaze u plastičnom obliku konsistencije.

Pseudoglejne su najčešće višezonalne, nastale alternacijom suvih i mokrih faza, tj. smenom oksidacionih i redukcionih procesa. Zbog toga, kao i zbog različitog sastava i fizičkog stanja članova sedimentne serije, čijom su metamorfozom nastale, u jednom istom profilu se razvijaju pseudoglejne zone koje se međusobno razlikuju po boji, granulometrijskom i mineraloškom sastavu, strukturi i dr. Tako, na primer, u zonama grubozrnijeg sastava, kao bolje aerisane, Fe-Mn-humusne konkrete su redovno prisutne, često u velikim masama. U zonama fino-zrnijeg sastava, kao manje aerisane, dominira siva koloidna glina u vidu žila i sočiva raznih debljina koje se međusobno mrežasto ukrštaju, dajući zoni karakterističan mramorast izgled. To je osnovno fiziograsko svojstvo profila sa pseudoglejnom sekundarnom argiloidnom zonom u njegovom sastavu.

Zahvaljujući naročitoj strukturi tla, bogatstvu oksida gvožđa i drugih vodootpornih jedinjenja, pseudoglejne sekundarne argiloidne zone se odlikuju velikom prirodnom zbijenošću, malom ili nikakvom vodopropusnošću i izrazitom stabilnošću u sklopu terena.

Gornja granična površina glejnih i pseudoglejnih sekundarnih argiloidnih zona obično leži na dubini između 0,4 i 0,6 m, a donja zavisi od njihove debljine. U istraženim delovima terena debljina glejnih argiloidnih zona iznosi do 2 m, a pseudoglejnih do 4 m.

U odnosu na hidrogeološka svojstva, između glejnih i pseudoglejnih sekundarnih argiloidnih zona gotovo nema nikakvih razlika, dok u inže-

njerskogeološkom pogledu između njih postoje ekstremne razlike. Obe se one ističu izrazitom izolatorskom hidrogeološkom funkcijom u sklopu kore raspadanja i terena u celini. Zbog trajne ili pretežne zasićenosti vodom u toku godine, glejne sekundarne argiloidne zone, kada su razvijene na jače inkliniranim elementima reljefa, gotovo redovno uzrokuju smicanje površinskih zona kore raspadanja u obliku klizišta i soliflukcija. Suprotno glejnim, prisustvo pseudoglejnih sekundarnih argiloidnih zona, zbog njihove izrazite prirodne zbijenosti i otpornosti na razmekšavanje pod uticajem vode, ne samo da ne uzrokuju klizne procese, već predstavljaju elemente stabilnosti onih delova terena u kojima su one sadržane. Na padinama su katkada moguća soliflukcijska pomicanja tla iznad pseudoglejne zone.

Halitogene sekundarne argiloidne zone nazvao sam »horizonte B« (prema pedološkoj klasifikaciji) kod solonca i solodja u okviru klase halomorfni zemljišta. Ove kao i subkvalne sekundarne argiloidne zone obrađene su isključivo na osnovu podataka iz literature, jer ih nisam neposredno proučavao na terenu.

Iz korišćene literature proizlazi da u pogledu geneze halitogenih argiloidnih zona kod solonca među istraživačima ne vlada jedinstveno mišljenje. Sve se više napušta teorija Gedrojca (Filipovski & Cirić, 1968), po kojoj se povećani sadržaj R_2O_3 i MgO u ovoj zoni tumači kao posledica migracije peptiziranih produkata krajnjeg raspadanja, a u isto vreme sve više pristalica dobija teorija Antipov-Karatajeva, koja povećano prisustvo pomenutih jedinjenja objašnjava ispiranjem koloidnih čestica iz viših u niže zone profila, budući da one sadrže više R_2O_3 i MgO u odnosu na ostalu masu tla.

U solodju (po Rode-u i Bazilevič-u) halitogene sekundarne argiloidne zone nastaju kao rezultat alternacije ascendentnih i descentnih tokova slabo mineralizovanih alkalnih rastvora, sadržanih u podzemnim vodama. U suvim periodima se alkalni rastvori penju kapilarno i usled isparavanja vode zasićuju površinske delove tla jonima Na. U narednim vlažnim periodima, usled infiltracije slabo acidne vode sa površine terena, adsorbovani joni Na se zamenjuju H-jonima i nastupa destrukcija i ispiranje. Spuštajući se naniže, prirodni rastvori nailaze na sve veći sadržaj baza, usled čega koagulišu i time se tlo obogaćuje sekundarnim organomineralnim kompleksima.

Debljina halitogenih sekundarnih argiloidnih zona se nalazi u granicama 40—80 cm i obično počinje na 10—25 cm ispod površine terena. Najčešće se razvijaju u depresivnim elementima reljefa na lesu i na jezerskim sedimentima tercijara, u semiaridnim i aridnim oblastima. Boje su otvoreno do zatvoreno smeđe, stubaste ili grudvaste građe. Sadržaj glinastih frakcija iznosi 40—78%. Odlikuju se izrazitom kompaktnošću sa pojavom pukotina u suhom i sklonošću rasplinjavanja (peptizacije) u mokrom stanju. Mehančka čvrstoća raste sa dubinom, a paralelno sa

njom raste i zapreminska težina, dok poroznost i vodopropusnost opadaju. U sklopu terena predstavljaju izrazite hidrogeološke izolatore-barijere, otežavajući infiltraciju vode sa površine terena. Njihova osobina da menjaju oblik konsistencije u zavisnosti od stepena vlažnosti tla ima negativan odraz na izgradnju i stabilnost građevinskih objekata.

Subakvalne sekundarne argiloidne zone nazvao sam one zone koje nastaju u plitkim delovima (najčešće do 2 m dubine) vodenih akumulacija, pod uticajem ustajalih voda i podvodne vegetacije.

Ove zone nisu kod nas u dovoljnoj meri proučene. Nešto više podataka daje D. Stepančić (1963) o Ljubljanskom barju, gde se subakvalne sekundarne argiloidne zone javljaju u obliku glinovitih i krečnih gyttja. Razlika između glinovitih i krečnih gyttja u Ljubljanskom barju, prema pomenutom autoru, je u sadržaju CaCO_3 i organskih materija. Sadržaj CaCO_3 u prvima je minimalan (2,47%, Bistra), dok sadržaj organskih materija iznosi čak 30—40%. U krečnim gyttjama CaCO_3 iznosi 17—24%, a organske materije cca 10%.

Zona gyttja (glinovite i krečne) leži u Ljubljanskom barju između peškovitih sedimenata u podini i tresetnog sloja u povlati. Ukupna debljina iznosi 20—40 cm, leži na dubini između 60 i 160 cm ispod površine terena. Obično je sivosmeđe boje, plastične konsistencije, stalno zasićena vodom.

Iz raspoloživih podataka može se zaključiti da je tlo gyttja male vodopropusnosti, gnječivo, male nosivosti i lako peptizira.

Sem halitogenih i subakvalnih sekundarnih argiloidnih zona, čija je geneza vezana za specifične fizičko-geografske uslove, sve ostale vrste sekundarnih argiloidnih zona u Jugoslaviji nastale su i nastaju u umereno toploj, humidnoj do perhumidnoj klimi, sa srednjim godišnjim temperaturama +6 do +10°C i višegodišnjim prosekom atmosferskih padavina 1100—1400 mm.

Prema nepotpunim podacima, sekundarne argiloidne zone u okviru pojedinih tipova zemljišta imaju u Jugoslaviji veliko prostorno rasprostranjenje. Samo grupi subhumusnih sekundarnih argiloidnih zona, koja je inače najrasprostranjenija, bez insitugennih u sastavu smeđih zemljišta, pripada cca 7,553.000 ha ili cca 29% celokupne površine Jugoslavije. Ako se ovde doda površina rasprostranjenja ostalih grupa sekundar argiloidnih zona, ukupna površina zonalno diferencirane kore raspadanja u Jugoslaviji daleko prelazi navedenu cifru.

PREGLED REZULTATA

Suština procesa zonalne diferencijacije kore raspadanja sastoji se u rušenju postojeće strukture tla u nekoj zoni, pod uticajem prirodnih rastvora, uz istovremenu sintezu produkata raspadanja u obliku novih mineralnih zajednica i izgradnju nove strukture u istoj ili nižoj zoni. Pro-

cesi zonalne diferencijacije su utoliko intenzivniji i njihov učinak sveobuhvatniji ukoliko je klima vlažnija, reljef ravniji, geološka podloga kiselija, trošnija i poroznija i ukoliko su prirodni rastvori hemijski aktivniji. Promena bilo kojeg od ovih faktor auzrokuje odgovarajuću promenu pravca i intenziteta procesa.

Komparativnom analizom numeričkih vrednosti fizičkih svojstava tla pojedinih zona dolazi se do zaključaka da se idući od najprimitivnijih (subdetritičnih i insitugenih) do najrazvijenih (pseudoglejnih), zapaža izvesna prirodna zakonitost. Ona se ogleda u postupnom porastu sadržaja finoznih frakcija, vrednosti plastičnih, koloidnih i higroskopnih svojstava, veličine prirodne zbijenosti i otpornosti na razmekšavanje pod utcajem vode i dr. U istom pravcu su u opadanju: sadržaj nekapilarne poroznosti, vodopropusnost i deformabilnost.

Hidrogeološki značaj sekundarnih argiloidnih zona je u tome što su one u manjoj ili većoj meri hidrogeološki izolatori, barijere, otežavajući ili sprečavajući infiltraciju vode sa površine u dublje delove terena. Njihov inženjerskogeološki značaj je pak u tome što različito utiču na stabilnost prirodnih padina i veštačkih kosina. Konsistentno reverzibilne sekundarne argiloidne zone (subdetritične, insitugene, glejne i delom halitogene) u uslovima zasićenosti njihovog tla vodom, kada se nalaze na jače inkliniranim delovima terena, često izazivaju deformacije u obliku klizišta i soliflukcija. Suprotno ovima, konsistentno ireverzibilne (iluvijalne, naročito pseudoglejne) sekundarne argiloidne zone ne samo da ne izazivaju deformacije terena u vidu klizišta, već na izvestan način povećavaju njegovu stabilnost. Na strmijim delovima terena moguća su plitka soliflukcijska kretanja, ako su izloženi češćem i dugotrajnijem vlaženju.

Prema nepotpunim podacima, ukupna površina zonalno diferecirane kore raspadanja u Jugoslaviji daleko prelazi 30% celokupne njene površine. Posmatrane po grupama, subdetritične, subakvalne i neke vrste subhumusnih sekundarnih argiloidnih zona (glejne i halitogene) imaju uglavnom lokalno, dok ostale pretežno regionalno rasprostranjene u Jugoslaviji, iz čega proizlazi i njihov hidrogeološki i inženjerskogeološki značaj.

Primljeno 19. 12. 1973.

*dr S. Hristov,
47000 Karlovac, Klobučareva 11,*

LITERATURA

- Ćirić, M. (1956): Karakteristike procesa opodzoljavanja zemljišta u Srbiji (doktorska disertacija), JDPZ, posebne publikacije, br. 4.
Filipovski, Dj. & Ćirić, M. (1963): Zemljišta Jugoslavije, Beograd.
Kalinić, M. (1967): Neke specifičnosti tala u Slavonskoj posavini, Treći kongres JDPZ, Zadar.

- Kovačević, P. (1956): Tla Like s orijentacionom agropedološkom kartom (doktorska disertacija), 301 str., 25 tab. Poljoprivredno-šumarski fakultet, Zagreb.
- Nejgebauer, V., Čirić, M., Filipovski, Dj. Škorić, A. & Živković, M. (1963): Klasifikacija zemljišta Jugoslavije. — Zemljište i biljka, 12/1—3.
- Pušić, B. & Škorić, A. (1966): Prilog poznavanju hidrogenizacije, klasifikacije i odvodnje tala doline Save. — Zemljište i biljka, 15/3, Beograd.
- Racz, Z. (1962): Vrištinsko-bujadična tla Korduna (doktorska disertacija), 171 str., Poljoprivredni fakultet, Zagreb.
- Stepančić, D. (1963): Hemijske i fizičke osobine dubokih i plitkih tresetnih zemljišta na Ljubljanskom barju. — Zemljište i biljka, 12/1—3, Beograd.
- Stritar, A. (1969): Neke sistematske jedinice tala na fluvioglacialnim šljuncima i konglomeratima Gorenjske (doktorska disertacija), 86 str. 17 priloga, Poljoprivredni fakultet, Zagreb.

S. HRISTOV

EINFLUSS DER SEKUNDAREN ARGILOIDZONEN DER VERWITTERUNGSRINDE AUF HYDROGEOLOGISCHE UND INGENIEURGEOLOGISCHE EIGENSCHAFTEN EINIGER GEBIETE IN JUGOSLAWIEN

In meiner 15-jährigen Praxis, gewidmet dem Studium der natürlichen und der künstlichen Abhänge, kam ich zur Erkenntnis, dass die Ursachen der so entstehenden lokalen oder sog. »ingenieurgeologischen« Störungen meistens auf eine Tonanreicherung im Bereich der Verwitterungszone zurückzuführen sind; diese Zone kann als »Sekundärargiloidzone« bezeichnet werden. »Sekundär«, weil sie nach der Entstehung der Verwitterungsrinde entstanden ist; »argiloid«, weil diese Zone — im Verhältnis zu unmittelbar höheren und niedrigeren Zonen — einen relativ hohen Tongehalt aufweist. Auch wurde festgestellt, dass sich diese Zonen in den verschiedenartigen physikalisch-geographischen Bedingungen in Jugoslawien (geologisch, geomorphologisch, klimatisch, biologisch usw.) in ungleichen Entwicklungsstufen befinden. Jeder Entwicklungsstufe entspricht eine Zone mit spezifischer Innenstruktur und spezifischen physikalisch-mechanischen, hydrogeologischen und ingenieurgeologischen Beschaffenheiten. Dennoch sind als bedeutendste Indikatoren des physikalischen Zustandes eines Bodens in solcher Sekundärargiloidzone die Konsistenz und die mechanische Festigkeit zu betrachten.

In dem Bodenprofil, das eine niedriger entwickelte Sekundärargiloidzone umfasst, können seine Konsistenz und seine mechanische Festigkeit zeitweise innerhalb weiter Grenzen variieren: während der Wassersaturierung geht der Boden in eine plastische Konsistenz über, sogar mit gewissen Begleiterscheinungen, wie z. B. mit ausgeprägter Abnahme der mechanischen Festigkeit. Im Trockenzustand dagegen ist der Boden fest oder gar halbfest. Im Laufe der Zonaldifferenzierungs- und der Diagenesis-Prozesse in der Sekundärargiloidzone wird die innere Bodenstruktur immer mehr stabilisiert, die Zonen im Bereiche der Verwitterungsrinde werden mehr und mehr kompakt, wasserdicht und mechanisch beständig.

Um diese Phänomene besser aufzuklären, wurde die Untersuchung nach der Bearbeitung einiger spezieller Fragen gegliedert:

1. Welche Prozesse und Bedingungen sind als entscheidend in der Genesis solcher Sekundärargiloidzonen der Verwitterungsrinde in den erforschten Teilen Jugoslawiens zu betrachten?

2. Welche Eigenschaften — die hydrogeologischen und die ingenieurgeologischen inbegriffen — charakterisieren diese Sekundärargiloidzonen als Bodenmassen und als geologische Körper im Bereiche der Verwitterungsrinde und im Gelände überhaupt?

3. Weisen die Sekundärargiloidzonen in Jugoslawien eine weite oder nur lokale Erstreckung auf, und welche Bedeutung haben sie für hydrogeologische und ingenieurgeologische Probleme?

Unsere Forschungen wurden in den Flusstälern der Prizrenska Bistrica, Drina, Sutjeska und Morača, sowie in der Stadt Karlovac mit Umgebung durchgeführt. Die Forschungen umfassten Feld- und Laboratoriumsarbeiten, sowie eine entsprechende Interpretation der so erreichten Angaben.

Die Feldarbeiten umfassten Flachbohrungen, Schürfförderungen und andere Ausgrabungen, die mit entsprechenden Wirtschafts- und Studienaufgaben verbunden sind. Gleichzeitig wurde die Penetrationsfestigkeit gemessen. Bodenproben für Laboratoriumsuntersuchungen wurden aus allen Verwitterungszonen sowie aus der geologischen Unterlage entnommen.

Die geologische Bohrkernbestimmung wurde sofort an Ort und Stelle durchgeführt;

die Proben wurden durch Anwendung der Kopecký-Zylindermethode entnommen;

die Penetrationsfähigkeit mit Proctorsnadel gemessen, indem jede Zone mit 8 bis 10 Stichen — auf die ganze Breite gleichmässig verteilt — penetriert wurde;

teilweise wurde die Versuchsinfiltation des Wassers durch Aufdrückung von Metalzylindern durchgeführt;

die Zusammendrückbarkeit des Bodens wurde mittels einer Rundscheibe gemessen;

die Zusammenpressung mit der Vibrationswalze;

die Arbeitsleistung beim Aushub wurde mit Hangwerkzeug aufgenommen.

Die Laboratoriumsarbeiten umfassten das Messen verschiedener Eigenschaften durch Anwendung entsprechender Methoden:

Kornverteilungsanalyse mittels Durcksiebung und Hydrometrierung;

Raumgewicht des getrockneten Bodens und Bodennaturfeuchte durch Trocknen der ungestörten Proben bei einer Temperatur von 105° C bis zum Konstantgewicht;

Optimalfeuchte mittels Proctor-Verfahren;

Plastizitätsgrenze nach Casagrande;

Filtrationskoeffizient nach dem Verfahren des veränderlichen Druckes;

Wasserretentionskapazität durch modifiziertes Kopecký-Verfahren;

Hygroskopische Feuchtigkeit als vorhandene Differenz des Bodens, getrocknet bei Zimmertemperatur und bei 105° C;

Raumgewicht der festen Teilchen (spezif. Gewicht) mittels Piknometer;

Azidität (p_H) kolorimetrisch mit dem Universalindikatorpapier;

Humusgehalt nach Kocman;

Alle übrigen Daten wurden mathematisch ermittelt.

Bei der Interpretation aller dieser Angaben dominierten die Methoden der Vergleichsanalyse und der Standarddeviation. Die Analyse umfasst eigene Untersuchungsdaten wie auch eine grosse Anzahl von Literaturdaten aus der Berichtsammlung des Instituts für Pedologie und Bodentechnologie der Landwirtschaftsfakultät in Zagreb.

Auf Grund eigener Untersuchungsangaben sowie der vorhandenen Literaturquellen wurden alle Sekundärargiloidzonen in drei Hauptgruppen eingeordnet u. zw. Subdetritus-, Subhumus- und Subaquazonen, alles auf Grund der jugoslawischen Bodenklassifikation aus dem Jahre 1963 (Nejgebauer & al., 1963). Dabei wurden hauptphysikomechanische, hydrogeologische und ingenieurgeologische Beschaffenheiten sowie Ort, Verhältnisse und Art der Genesis berücksichtigt.

1. Als »Subdetrituszonen« bezeichnete ich jene Sekundärargiloidzonen, die unter dem klastischen Detritus (besser gesagt, in der Kontaktzone zwischen Detritus als Hangendem und einem anderen mehr wasserdichten Liegenden) entstanden sind. In dieser Arbeit betrachten wir nur solche Zonen, die unter einem auf Nichtkarbonatliegendem abgelagerten Karbonatdetritus entstanden sind. Die Subdetrituszone bildet sich also durch die Akkumulation feiner Teilchen in der Kontaktschicht als Folge von Auswaschungseinwirkungen bei der Hangendverwitterung und der Desintegration der Oberteile des Liegendstrukturaggregats. Innerhalb der Verwitterungsrinde finden wir diese Zone in Form dünner bis erheblich dicker Schichten, immer an der Grenze der Grobporösemasse flach unter der Landoberfläche mit einer feinporösen Masse als Unterlage. Sie haben rötliche, gelbliche oder manchmal sogar grünliche und bläuliche Farben. Ihre Tiefe ist durch die Mächtigkeit des grobporösen Hangenden bestimmt.

Diese Zonen sind als Bodenmassen durch sehr wechselnde physikomechanische Eigenschaften gekennzeichnet: sie weisen erhebliche Korngrösseamplituden, Plastizität, Hygroskopizität und Kolloidbeschaffenheit auf, sowohl horizontal als auch vertikal, zwischen verschiedenen Lokalitäten und auch innerhalb einer Zone derselben Lokalität. Die Verschiedenheiten entstehen als Wirkung der verschiedenartigen pedogenetischen Faktoren, so z. B. der geologische Lagegestaltung, des Klimas, der Reliefinklination und Reliefexposition sowie des Humuscharakters.

Hydrogeologisch ist die Subdetrituszone relativ schwach wasserdicht (demnach ist sie kein »Isolator«) und kann deshalb kein bedeutendes Hindernis für das Durchdringen von Infiltrationswasser in die Tiefe darstellen.

Im Falle eines mit Wasser gesättigten Bodens in schärfer geneigten Bergabhängen oder wo diese Abhänge durch künstliche Objekte gesättigt sind, mit Naturwasserläufen unterspült oder mit fremdem Ausgrabungsmaterial belastet, werden die Subdetritus-Sekundärzonen fast immer als Ursache der Deformation dieser Bergabhängen zu betrachten sein. Das kann man als spezifisch für ihre ingenieurgeologische Beschaffenheit angesehen werden.

2. Die »Subhumuszonen« umfassen eine Gruppe genetisch vielartiger Sekundärargiloidzonen, deren gemeinsame Beschaffenheit dadurch gekennzeichnet ist, dass sie unter dem Humus liegen (nicht immer direkt) und dass ihre Genesis auf die Wirkung des Oberflächen- und Seichtgrundwassers mit aktiver Teilnahme der Humussäuren zurückzuführen ist.

Subhumuszonen können wir in der Form einschichtiger oder mehrschichtiger Zonen im Bereiche der Verwitterungsrinde vorfinden, deren Entstehung immer mit Prozessen der Zonaldifferentiation des Profils verbunden ist. In dieser Gruppe unterscheiden wir einige Haupttypen von Sekundärargiloidzonen, und zwar nach der Stufe ihrer Ausprägtheit und nach ihren physikochemischen, hydrogeologischen und ingenieurgeologischen Eigenschaften: es sind dies insitugene, illuviale, gleyogene und halitigene Zonen.

2.1. Die »insitugenen« Zonen sind die niedrigsten und schwächstenwickelten Formen der Subhumuszonen, und man kann sagen, dass sie zu den ersten und zonal noch nicht differenzierten Verwitterungstypen gehören. Sie reichen bis 0,5—1,0 m Tiefe und haben eine gelblichbraune, rötlichbraune oder zimtbraune Farbe. Wir bezeichnen sie als »insitugene«, da sich ihre Tonanreicherung

gerade im Laufe des Zerfallprozesses des Strukturaggregats und des Mineralverwitterungsprozesses in situ vollendet, ohne Teilnahme der Eluvial-Illuvialprozesse. Hauptsächlich bestehen sie in braunem Böden. In der ausländischen Literatur findet man Angaben über analoge Bodenarten, so wie »Brown Mediterranean« in Westeuropa, »Sol brun acide« in Frankreich, »Noncalic brown soils« und »Brown acid soils« in England und in den USA (Stritar, 1969).

Im allgemeinen kann man behaupten, dass die insitigenen Argiloidzonen, einen höheren Tongehalt haben, ihre Struktur labil ist, ihre Konsistenz von dünnplastisch bis hart variieren kann (abhängig von der Bodenfeuchte), dass sie sich unter den Bedingungen plastischer Konsistenz deformieren können und dass sie relativ leicht Wasser durchlassen.

2.2. Die »Illuvialzonen« bekamen diesen Namen nach dem Hauptprozess ihrer Entstehung. Man findet sie in Podsolen und in ilimerisierten (lössivisierten) Böden. Analoge Bodenarten finden wir in Frankreich als »sol loessique«, in Nordamerika als »grey brown podzolit soils«, als »Parabraunerde« in Deutschland, »laeched mull soils« in England, »ilimerizovane počvi« in der UdSSR. In der Bodenkunde bezeichnet man sie als »B«-horizont.

Diese Böden entstehen durch den sogenannten »Loessivage-Prozess« und den Prozess der Podsolisation; sie haben einen hohen Tonfraktionengehalt (1,2 bis 2,8 mal mehr als die unmittelbar obere Zone); ihre Farbe ist braun, mit oder ohne Fe-, Mn- oder Humuskonkretionen; ihre durchschnittliche Mächtigkeit beträgt cca 60 cm, die obere Grenzfläche liegt 0,4—0,6 m, die untere 1,0—1,5 m unterhalb der Landoberfläche; ihre Masse ist ausdrücklich verdichtet; sie können durch Wasser aufgeweicht werden; ihre Wasserdurchlässigkeit ist gering. Im Terrainkomplex stellen sie ausgeprägte hydrogeologische Isolatoren dar, welche die Entstehung von Grundwasserakkumulation erschweren; ihre stabile Lage vermindert die Möglichkeit von Rutschungsentwicklungen.

2.3. Als »gleyogen« wird jene Zone bezeichnet, die durch die Einwirkung stagnierender Oberflächenwässer und infolge der geringer Wasserdurchlässigkeit tieferer Teile der Verwitterungsrinde oder der geologischen Unterlage entstanden ist, sowie durch Einwirkung seichter Grundwässer in der Oszillationszone des Grundwasserspiegels — also durch Prozesse der Gleyogenese oder Pseudogleyogenese. (So habe ich sie nach ihren Quellenböden benannt, in denen sie sich am besten entwickeln.) In der ausländischen Literatur sind diese Bodentypen verschiedenartig bezeichnet: »gleyartiger Boden« oder eventuell »marmorierter gleyartiger Boden« (Deutschland), »sols à pseudogley« (Frankreich), »planosol« (Nordamerika), »poverhnosno gleevie počvi« (Russland).

2.3.1. Die »Gleys« sind gewöhnlich einzonal und entstehen in Gebieten, die im Verlauf des Jahres konstant oder überwiegend mit Wasser gesättigt sind und infolgedessen eine bläuliche oder grünliche Farbe aufweisen. Sie sind gewöhnlich in plastischer Konsistenzform.

2.3.2. Die »Pseudogleys« sind in der Regel mehrzonal und entstehen durch Alternation trockener und feuchter Phasen und infolgedessen durch Umsetzungen der Oxidations- und Reduktionsprozesse. Deshalb (und auch infolge des verschiedenen litologischen Gefüges und des physischen Zustandes der Sedimentmitglieder, aus denen sie durch Metamorphose entstanden sind) entwickeln sich in demselben Profil gewisse Pseudogleyazonen, die sich mitunter durch Farbe, Korngrösse, Mineralgehalt, Gefüge und andere Kennzeichen unterscheiden. So findet man z. B. in den Grobkornzonen (die besser aeriert werden können), immer Fe- oder Mn- oder Humus-Konkretionen, sogar in grossen Mengen. In den feinkörnigen Zonen (die nicht so gut aeriert werden können) hingegen dominiert grauer Ton in Form von Linsen und Adern verschiedener Mächtigkeit, die durcheinander gekreuzt sind und die Zone marmorähnlich erscheinen lassen. Das ist die physiographische Hauptbeschaffenheit

des Profils mit Pseudogleys. Diese Zone ist wegen ihrer ursprünglich grossen Kompaktheit und ausgeprägten Stabilität gegen Rutschungsprozesse wie auch wegen der geringen Wasserdurchlässigkeit als spezifisch anzusehen, and zwar infolge des spezifischen Bodengefüges mit vielen Eisenoxiden und anderen im Wasser resistenten Mineralien.

2.3.3. Die obere Grenzfläche der beiden Zonen (der Gleysargiloidzone sowie der Pseudogleyszone) befindet sich gewöhnlich in 0,4 bis 0,6 m Tiefe; während die untere Grenzfläche von ihrer Mächtigkeit abhängt. In den untersuchten Gebieten beträgt die Mächtigkeit der Gleysargiloidzone bis zu 2 m, der Pseudogleyszone bis zu 4 m.

Hydrogeologisch unterscheiden sich diese beiden Zonenarten fast gar nicht; im Bereiche der Verwitterungsrinde haben beide eine sehr ausgedrückte Wasserundurchlässigkeitsfunktion; ingenieurgeologisch dagegen sind sie vollkommen verschieden: Infolge der ständigen oder gar überwiegenden Wassersaturierung im Laufe des Jahres verursachen die Gleys — wenn sie in stärker inklinierenden Reliefelementen sind — gewöhnlich das Verschieben der Oberflächenebene der Zerfallsrinde und zwar in Form von Rutschung oder Solifluktion. Hingegen verursachen die Pseudogleys — wegen ihrer natürlichen Kompaktheit und Wasserwiderstandsfähigkeit — keine Rutschungsprozesse und sind sogar ein Stabilitätsэлемент in den betreffenden Bereichen.

2.4. Als »halitogene Sekundärargiloidzone« wird der sogenannte B-Horizont des »Solonec« oder »Solodj« im Bereiche der Halomorph-Bodenklasse bezeichnet. Diese Zonen wie auch die Subaqualzonen (Kap. 3) sind ausschliesslich auf Grund der Literaturdaten bearbeitet, da in der Natur kein solches Beispiel untersucht wurde. Aus der Literatur geht hervor, dass über die Entstehung dieser Zonen keine einheitliche Anschauung besteht. Immer mehr wird die Theorie von Gedrojc aufgelassen, in welcher der vergrösserte R_2O_3 - und MgO-Gehalt als Folge der Migration der Peptisierungsprodukte in der Endzerfallphase erklärt wird, und gleichzeitig wird immer häufiger die Theorie von Antipov-Karatajev anerkannt, die den vergrösserten Inhalt der erwähnten Oxyde durch Auswaschung der Kolloidteilchen aus der höheren und ihre Depositionierung in die unteren Zonen erklärt, weil diese letzten mehr angewandte Oxyde als die übrigen Bodenmassen enthalten.

Im »Solodj« (nach Rode und Bazilevič) entstehen die halitogenen Sekundärzonen als Ergebnis der Alternation von azendenten und deszendenten schwachmineralisierten Alkalilösungen im Grundwasser. Während der Trockenperiode steigen die Alkalilösungen kapillar und wegen der Wasserverdampfung sättigen sie die Bodenoberflächenteile mit Na^+ -Ionen. Während der folgenden feuchten Perioden werden diese adsorbierten Ionen wegen der Wasserinfiltration mit H^+ -Ionen vertauscht, und auf diese Weise entsteht eine Auswaschung und Destruktion; mehr und mehr in die Tiefe sinkend, finden die Naturlösungen immer mehr Alkalien, daher koagulieren sie und reichern den Boden mit sekundären Organomineralkomplexen an.

Die Mächtigkeit der halitogenen Zonen beträgt 40—80 cm, und sie beginnen gewöhnlich 10—25 cm unterhalb der Landoberfläche. Meistens entwickeln sie sich in den Oberflächendepressionen des Tertiär- oder Lössplateaus in Arid- und Semiaridprovinzen. Ihre Farben sind braun bis dunkelbraun, und ihre Textur ist säulenförmig oder schollenförmig. Der Tonfraktionengehalt kann 40 bis 78% betragen. Sie sind ausgeprägt kompakt mit Spalten im Trockenbestand, und haben eine ausgesprochene Peptisationsneigung im Feuchtbestand. Ihre mechanische Festigkeit steigt mit der Tiefe, ebenso das Raumgewicht, während ihre Porosität und Wasserdurchlässigkeit mit der Tiefe abnimmt. Hydrogeologisch im Terraingefüge sind ausgeprägte Sperrungen, welche die Wasserinfiltration von der Oberfläche erschweren. Ihre Neigung zur Konsistenzänderung — abhängig von der Feuchtemenge im Boden — hat einen unangenehmen Einfluss auf den Ausbau und die Stabilität der Bauobjekte.

3. Die »Subaqual-Sekundärargiloidzonen« sind jene, die in der flachen Wasserakkumulationen entstehen (gewöhnlich bis 2 m Tiefe), und zwar unter Beeinflussung des stehenden Wassers mit viel Vegetation. In Jugoslawien sind sie nicht genügend untersucht worden. Einige Angaben gibt Stepančič (1963) in der Arbeit über das Ljubljansko Barje-Gebiet, wo solche Zonen eine Form von Ton- oder Kalk-Gyttje haben. Der Unterschied zwischen diesen beiden Gyttje-Formen besteht in dem Gehalt des Ca-Karbonats und der organogenen Reste; in den ersten ist der CaCO_3 -Gehalt ganz minimal (2,47%) und der organogenen Stoffe 30–40%, dagegen macht in den Kalk-Gyttjen der CaCO_3 -Gehalt 17–24% aus, aber der Gehalt der organogenen Substanz beträgt nur cca 10%.

Die Gyttje-Zone (die beiden Arten) in dem zitierten Gebiet des Ljubljansko Barje (unweit der Stadt Ljubljana in Slowenien) liegt zwischen einem hangenden Torf und dem liegenden Sand. Die Gesamtmächtigkeit beträgt 20–40 cm, die Tiefe ist gewöhnlich 60–160 cm; die Farbe ist gräulich-braun, die Konsistenz ist plastisch, die Wassersättigung ist fast konstant.

Aus den vorliegenden Angaben kann man ersehen, dass der Gyttje-Boden eine geringe Wasserdurchlässigkeit und Tragfähigkeit hat, dagegen aber eine hohe Knetbarkeit, und dass er leicht peptisieren kann.

Ausser den Halitogenen und der subaqualen Sekundärargiloidzonen — deren Genesis mit spezifischen Bedingungen verbunden ist — entwickelten sich alle anderen Sekundärargiloidzonenarten in Jugoslawien (oder sie entwickeln sich noch) in einem mässig warmen humiden bis perhumaden Klima mit durchschnittlicher Jahrestemperatur zwischen +6 bis +10,9° C und mit einem mehrjährigen Niederschlagsdurchschnitt von 1100–1400 mm.

Nach unvollständigen Angaben haben die Sekundärargiloidzonen in Jugoslawien im Bereiche der einzelnen Bodentypen grosse Ausdehnung: die Subhumusgruppe allein — als die meistverbreitete, ohne die insitogenen im Bereiche der Braunböden — umfasst ungefähr 7 553 000 ha oder cca 29% des ganzen Flächenraumes Jugoslawiens. Wenn wir zu dieser Zahl noch die Fläche der übrigen Gruppen der Sekundärargiloidzonen hinzufügen, so überschreitet die Gesamtfläche der zonaldifferenzierten Verwitterungsrinde diese Zahl noch weit.

Dem so grossen Flächenraum Jugoslawiens, wie auch dem so bedeutsamen Einfluss unserer Argiloidzonen auf die Wasserinfiltration in die Tiefe und auf die Stabilität der Naturbergabhänge wie auch der Kunstbergabhänge entspricht auch ihre hydrogeologische und ingenieurgeologische Bedeutung.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Wesen der Zonaldifferenzierung der Verwitterungsrinde besteht in der Zertrümmerung der bestehenden Bodengefüge in einer gewissen Zone unter Beeinflussung der Naturlösungen unter gleichzeitiger Synthese der Verwitterungsprodukte in Form neuer Mineralgemeinschaften und einem neuen Gefügebau in derselben oder eventuell in einer tieferen Zone. Die Zonaldifferenzierungsprozesse sind desto intensiver und ihr Effekt umso allumfassender, je feuchter das Klima, je flacher das Relief und das primäre Grundgebirge saurer, bröckelig und porös ist, inwieweit die Naturlösungen chemisch aktiver sind. Die Änderung irgendeines diesen Umstände fordert eine entsprechende Prozess- und Intensitätsänderung heraus.

Mit Hilfe einer Komparationsanalyse der Zahlenwerte für die Bodeneigenschaften in den einzelnen Zonen kommen wir zur Folgerung, dass — von den primitivsten (subdetritischen und insitogenen) bis zu den entwickeltesten (die Pseudogleys) — eine bestimmte Regelmässigkeit besteht. Sie findet ihren Aus-

druck in der fortschreitenden Feinkorngehalterhöhung, in fortschreitender Plastizität und Hygroskopizität, Naturkompaktheit und Widerstandsfähigkeit gegen Aufweichung unter dem Wassereinfluss. Gegen diese Eigenschaften sind die anderen abnehmend: nichtkapillärer Porositätsinhalt, Wasserdurchlässigkeit und Deformabilität.

Unsere Argiloidzonen sind mehr oder weniger hydrogeologisch isolierend und demzufolge Wassersperren, weil sie Wasserinfiltration in die Tiefe erschweren oder sogar verhindern. Darin liegt ihre hydrogeologische Bedeutung. Ganz anders ist es mit ihrer ingenieurgeologischen Bedeutung: sie beeinflussen die Stabilität der Natur- und der Kunstabhänge sehr verschieden; die konsistent reversiblen Sekundärargiloidzonen (die subdetritischen, insitigenen, gleyogenen und halitogenen) rufen im Falle von Wassersättigung und auf stärker inkliniertem Gelände gewöhnlich deren Deformierung hervor in Form seichter Rutschungen oder Solifluktionen; die irreversiblen (im Sinne der Konsistenz), also die illuvialen und pseudogleyogenen — dagegen fordern keine Deformierung, sondern vergrößern sogar die Stabilität im Gelände.

Nach unvollständigen Angaben überschreitet die Gesamtfläche der zonal-differenzierenden Verwitterungsrinde weit die Ziffer von 30% der Gesamtfläche Jugoslawiens.

Angenommen am 19. 12. 1973.

*Dr. S. Hristov,
47000 Karlovac, Klobučareva 11*