

ZAKRASEVANJE V SLOVENIJI V LUČI CELOTNEGA MORFOGENETSKEGA RAZVOJA

LA KARSTIFICATION ET L'ÉVOLUTION GÉNÉRALE
DU RELIEF EN SLOVÉNIE

DARKO RADINJA

SPREJETO NA SEJI ODDELKA ZA PRIRODOSLOVNE VEDE
RAZREDA ZA PRIRODOSLOVNE IN MEDICINSKE VEDE
SLOVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI IN UMETNOSTI
DNE 24. JANUARJA 1972

UVOD

Morfogenetski razvoj Slovenije smo doslej proučevali v glavnem v luči pojmovanja erozijskega cikla. Toda novejše raziskave, oplojene z novimi pogledi sodobne geomorfologije, so v marsičem spremenile in poglobile klasična spoznanja. To nas je napeljalo na misel, da bi podali v novi luči zaokroženo podobo reliefnega razvoja Slovenije. Ker smo se po drugi strani v zadnjem času poglobili v morfogenetska proučevanja našega krasa in še posebej stičnih področij med kraškim in nekraškim reliefom in ker se je pri tem pokazalo, da razvoja našega kraškega reliefa ne moremo uspešno in v duhu sodobne geomorfologije dobro obravnavati brez zveze z vsem drugim geomorfološkim dogajanjem v Sloveniji, skušamo z našo študijo hkrati doseči tudi namen, da osvetlimo zakrasevanje v Sloveniji in osnovne pogoje zanj v luči celotnega geomorfološkega razvoja.

S tem si je študija postavila za nalogo, da osvetli vse osnovne pogoje in faktorje, ki so odločali glede razvoja reliefa naših krajev, pri tem pa tudi naših kraških predelov. Osvetliti jih skušamo glede na dosedanje raziskave našega ozemlja in glede na teoretična in druga spoznanja sodobne geomorfologije, predvsem tudi spoznanja v drugih, po osnovnih pogojih kaj raznovrstnih kraških pokrajinah na svetu (tropskih, subpolarnih, semiaridnih itd.).

Tudi glede Slovenije je očitno, kako na razvoj reliefa vplivajo vsi geografski faktorji in kako se pri tem nazorno utrjujejo teoretična spoznanja o medsebojni povezanosti in soodvisnosti prirodnih procesov in pojavov. Vedno znova spoznavamo, kako se razen časovnega poteka uveljavljajo v reliefu tako vplivi tektonske dinamike in petrografske sestave tal, kakor tudi vplivi paleogeografije, še posebno pa morfogenetski učinki klimatskih in hidroloških sprememb, pa tudi vplivi pedološke in vegetacijske odeje ter nazadnje vplivi človeka. Ker pa je tolmačenje reliefnega razvoja samo z dvema ali tremi faktorji pomanjkljivo, notranje strukture prav vseh faktorjev pa še ne poznamo dovolj in zato tudi ne njihovih vplivov, ki so se vrh tega zaradi živahne razvojne dinamike ves čas reliefnega razvoja precej spreminjali in različno prepletali, je na dlani spoznanje, da bodo šele sistematične in metodološko poglobljene študije, hkrati z raznovrstnimi meritvami recentnih procesov, pripomogle k novim spoznanjem.

Razen tega je očitno, da premalo poznamo vso zapleteno strukturo številnih faktorjev, ki so vplivali na genezo reliefa v tistih geoloških

razdobjih, za katera menimo, da so bila odločilna za poglobitve poteze današnjega reliefa. Tako vse premalo poznamo klimatske, hidrološke, pedološke in druge poteze miocenske in zlasti pliocenske dobe na naših tleh; premalo poznamo zlasti značilnosti prehoda v kvartar, ki je moral biti zaradi obsežnosti in postopnosti morfogenetsko zelo značilen. Zato bi kazalo preučiti pliocenske in druge sedimente v najširši luči, s sedimentacijskega, klimatskega, hidrološkega, pedološkega vidika itd., kar nam bo šele odprlo široko področje novih spoznanj. Potrebne so nam torej ugotovitve s paleogeografskega vidika v najširšem pomenu besede. Naša študija je uvod v to smer, za naprej pa je potrebno še veliko sistematičnega dela.

Pri sintezah so posploševanja nujna. Pri tem se zavedamo, kako je posploševanje kočljivo za Slovenijo in njeno pestro sestavo tal in površja in še zlasti za njeno pestro razvojno dinamiko. Zaradi prezahtevnosti, ki jo terja širša sinteza, smo se omejili le na nekatere pojave morfogenetskega razvoja kraškega površja, kajti to površje vzbuja med geomorfologi še vedno največ zanimanja.

V študiji orisane predstave smo sicer povezali v logično strukturo pojavov in procesov. V strukturo, kakor jo razkrivajo površinske oblike in ustrezno gradivo na njih ter sedanji morfogenetski procesi, vendar so te predstave ne glede na smiselno izpeljavo samo ena od možnih razvojnih smeri. Zato je treba v študiji postavljene trditve tako tudi razumeti, kajti trditve vsebujejo hkrati že nova vprašanja, kamor se bodoča raziskovanja šele usmerjajo.

Med vire smo zajeli le poglobitveno literaturo, dasi so za obravnavana vprašanja pomembne še številne druge geomorfološke, geološke in sorodne študije našega ozemlja, pa tudi veliko študij od drugod. Zato pri posameznih trditvah ali naziranjih nismo izčrpali vse ustrezne literature, temveč največkrat navajamo samo najznačilnejšo. Študijo, ki je iz 1970. leta, smo pred natisom dopolnili z navedbo nekaterih del, ki so medtem izšla. Viri so med tekstom navedeni z zaporedno številko, ker bi citiranje avtorjev in letnic spričo številne literature vzelo preveč prostora. Viri tudi niso navedeni abecedno ali kronološko temveč tematsko.

Študijo je finančno omogočil Sklad za znanstveno-raziskovalno delo filozofske fakultete v Ljubljani.

Se nedavna tolmačenja o nastanku klasičnega krasa v Sloveniji so slonela na naslednjih izhodiščih: 1. Na karbonatnih tleh naj bi se bil sprva razvijal normalni, fluvialni relief (predkraška faza); kraško površje naj bi bilo torej v osnovi erozijskega nastanka. Erozijsko preoblikovanje apniških tal naj bi bili omogočili nepretrti apnenci v nizki nadmorski legi. 2. Zakrasevanje apnencev naj bi bila sprožila šele orogeneza, ki je karbonatne kamnine pretrla, dvignila in izcedila. 3. Zakrasevanje naj bi bilo v bistvu konserviranje reliefa, češ da so s pre-

sihanjem vodnih tokov izginili s površja glavni preoblikovalci tal. Zato so na zakraselih tleh ugotavljali erozijske terase in uravnave, zlasti pa opuščene rečne doline. Po teh so rekonstruirali nekdanjo rečno mrežo oziroma nekdanji dolinski relief. 4. Kasnejši koroziji so pripisovali samo drobno razjedenost površja z vrtačami in drugimi zaprtimi globelmi, ki pa osnovnih erozijskih potez predkraškega reliefa niso mogle zabrisati. Zanimivo pa je, da so abrazijska tolmačenja kraškega površja ostala osamljena (128, 26).

Odkar pa je približno pred poldrugim desetletjem dobila teorija o izključno korozijskem nastanku (dinarskega) krasa za časa tople in vlažne (pliocenske) klime zaokroženo podobo (1, 2, 3, 4), se je tudi glede krasa v Sloveniji odprla diskusija o erozijskem oziroma korozijskem nastanku kraškega površja (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12). Ta vprašanja so sicer še danes sporna in pereča, vendar so proučevanja zadnjih let v marsičem dopolnila oziroma celo spremenila klasična pojmovanja o krasu. Te raziskave so na eni strani prinesle nova spoznanja o doslej znanih potezah kraškega reliefa, na drugi strani pa so odkrile tudi nove, dozdaj še neosvetljene črte našega krasa in sosednjega fluvialnega površja. Oboje je prineslo tudi nove poglede na razvoj klasičnega krasa nasploh.

Slovenski alpski in dinarski kras smo v zadnjem času precej proučevali z vidika korozijske učinkovitosti, zlasti z vidika recentnih korozijskih procesov (16, 17, 18, 13, 14, 15, 12, 11, 9), vendar je videti, da so mnenja o izključno korozijskem razvoju tega krasa sporna in osamljena. Domači geomorfologi namreč ugotavljajo, da so apniška tla preoblikovali raznovrstni procesi, ki so se med seboj prepletali oziroma vrstili v različnih razvojnih obdobjih. Zato se korozijsko oziroma erozijsko tolmačenje kraškega sveta ne postavlja več alternativno, temveč komplementarno.

Čeprav smo klasična spoznanja o razvoju alpskega in dinarskega krasa v Sloveniji v zadnjih letih vedno znova kritično pretresali, smo jih bolj modificirali kakor pa ovrgli. Pri tem smo skušali že znane poteze kraškega reliefa tolmačiti širše in bolj celovito, tudi v luči drugih prirodno-geografskih potez in ne samo petrografske ali tektonske, kakor doslej.

KRAŠKI RELIEF — SESTAVNI DEL CELOTNEGA POVRŠJA

Pri proučevanju klasičnega krasa ne smemo prezreti zlasti osnovnih značilnosti celotnega ozemlja, na katerem se je ta kras razvijal in izoblikoval. V Sloveniji pravzaprav ne gre posebej za kraški in posebej za fluvialni relief, temveč za različne dele enotnega, skupnega površja. To površje pa ima skupen osnovni razvoj tako v prostorskem kakor tudi v dinamičnem in časovnem pogledu. Celotno ozemlje ima sicer razen skupnih potez tudi pestro notranjo sestavo. Te razlike pa niso samo petrografske ali tektonske, kakor se rado poudarja, temveč so morfogenetski razvoj celotnega površja usmerjale tudi razlike v paleo-

geografskem in klimatskem pa tudi hidrološkem ter pedološkem razvoju. Toda te razlike so bile v celotni reliefni strukturi samo sestavine in so na to strukturirano celoto seveda vplivale, kakor je nasprotno tudi celota vplivala na posamezne dele. Te medsebojne vzajemnosti in prepletенosti so bile seveda splošne, stalne in dosledne. Zato se je so-učinkovanje pri oblikovanju reliefa uveljavljalo tudi glede petrografskih razlik in še posebno glede prepustne in neprepustne sestave tal. Morfogenetski procesi na enih in drugih tleh so bili sicer različni, vendar so se v marsičem preusmerjali že zaradi klimatskih sprememb, a prav tako tudi zaradi medsebojne prostorske prepletенosti in hidrološke povezanosti obeh vrst tal. Zato so se karbonatni oziroma nekarbonatni deli reliefa drugače razvijali, kakor bi se bili, če bi bili prostorsko ločeni in razvojno nepovezani, drugače se je zaradi tega razvijal tudi celotni relief. Saj so ravno zaradi različnih oblik, ki jih je morfogeneza vtisnila karbonatnim in nekarbonatnim tлом, začeli pri tolmačenju kraškega ali fluvialnega reliefa zanemarjati enotnost morfogenetskega procesa, zlasti pa medsebojno pogojenost tega procesa na sicer različnih, a sosednjih tleh.

Na apniških tleh se da namreč vseskozi slediti fluvialnim in drugim učinkom s petrografsko različnega sosedstva, na tem sosedstvu pa morfogenetskim učinkom z apniških tal. Že v študijah o matičnem Krasu in sosednji Vipavski dolini smo opozorili na posebnosti »kontaktnega reliefa« (11). Ta pa se ni izoblikoval le na neposrednem petrografskem stiku (robne terase, slepe in zagatne doline itd.), temveč zajema ene in druge pokrajine v celoti. Na apniških tleh je zlasti značilna odprtost uravnjav in suhih dolin, korelativno in akorelativno uravnjavno površje, paleofluvialna odeja na njem itd., na vododržnih tleh pa so očitna zlasti zatrepna povirja in kratke, prostorne ter prepoglobljene doline itd. Tako se ni prikrojilo samo površje na karbonatnih in silikatnih tleh, temveč je modificirano tudi celotno površje. Zato je tudi prišlo do značilne razvojne soodnosnosti obeh vrst reliefa in do ustrezne soodnosnosti posameznih reliefnih potez.

DVOJNA TEKTONSKA STRUKTURA TAL IN DVOJNA OROGRAFSKA USMERJENOST RELIEFA

Med osnovnimi strukturnimi značilnostmi slovenskega ozemlja je bržkone najvidnejša dvojna tektonska struktura tal in dvojna orografska usmerjenost reliefa, kar je posledica stikanja in prepletanja alpskega in dinarskega orogena (18 a, 19 a). V dinarskem svetu, zlasti na jadranski strani Slovenije, so reke dinarsko zgradbo tal prečkale, kakor jo morajo povečini še danes, medtem ko je alpska zgradba na panonski strani nudila osnovo za podolžen vodni tok. Glede na različno prepustno sestavo tal in kasnejše zakrasevanje je bila pretežno podolžna usmerjenost vodnega odtoka na eni in prečna usmerjenost na drugi strani v marsičem odločilna.

Splošna in drobna pretrtost kamnin je tudi v apnencih že zgodaj omogočila razvoj skalne vode, še bolj pa je kasneje, zlasti v pleistocenu, pripravila pot korozijsko aktivni cirkulaciji vode v apnencih. Prepletanje alpske in dinarske zgradbe je ustvarilo sicer gosto in značilno paralelepipedno strukturo razpoklinskega sistema, kakor dokazujejo diagrami pretrtosti (11, 12), vendar so v osrednjem delu ozemlja te razpoke tako zaprte in stisnjene, da se v reliefu uveljavljajo bolj skromno in pasivno. Na panonski strani, kjer sta oba gradbena sistema ob vmesni globoko potonjeni panonski grudi razmaknjena, je značilna paralelepipedna struktura razpok še posebno jasna in tudi v reliefu razločna, zlasti na Dolenjskem. Zaradi te divergence naj bi bilo po mnenju geologov ugrezjanje tod izrazitejše in transgresijski posegi panonskega morja v alpsko-dinarski svet globlji. Starejši geologi namreč menijo, da naj bi ravno diferencirana grezanja na alpsko-dinarskem stiku odprla pot terciarnim transgresijam s številnimi, povečini ozkimi in dolgimi zalivi. Morfogenetske študije pa nasprotno opozarjajo, kako so se terciarni sedimenti šele v kasneje znižanih delih bolje ohranili. Zato po današnji razprostranjenosti terciarnih sedimentov ne bi smeli sklepati na razčlenjenost in diskordantnost takratne obale. Kajti stratigrafska razčlenjenost današnjih tal je nastala povečini šele po odložitvi terciarnih plasti.

PALEO GEOGRAFSKI RAZVOJ¹

Za razumevanje morfogenetskega razvoja, posebno kraškega, je pomemben tudi paleogeografski razvoj celotnega ozemlja. V posameznih terciarnih dobah je današnji stik alpskega in dinarskega sveta predstavljal razmeroma ozko progo kopnega površja med panonskimi in sredozemskimi transgresijami. V podobnem položaju je bilo sicer tudi širše sosedstvo (Alpe, Dinarsko gorstvo), vendar je bilo neprekritega sveta na današnjem stiku obeh gorstev še posebno malo. Čeprav transgresije z ene in druge strani niso bile istočasne, so ostajali različno stari transgresijski sedimenti zelo blizu skupaj. Kakor dokazujejo njihovi denudacijski ostanki, je bilo vmes sorazmerno malo starejšega površja. Ni pa izključeno, da je eocensko morje seglo preko današnje Slovenije z ene na drugo stran (23). Za kasnejšo morfogenezo pa ni pomembno samo to, da so terciarni sedimenti prekrivali pretežni del današnjega slovenskega ozemlja, temveč tudi to, da so ti sedimenti, ki so bili sami povečini silikatne oziroma nepropustne sestave, zagrnili in na široko obdali tedanje karbonatno površje.

Pomena terciarnih plasti, ki so na široko zagrnile karbonatna oziroma korozijska tla, smo se pri tolmačenju kasnejše morfogeneze, posebno kraške, doslej vse premalo zavedali. Razen tega je v geologiji prevladovalo mnenje, da se nekdanja razprostranjenost terciarnih sedi-

¹ Gre za paleogeografski razvoj v ožjem smislu, namreč za razmerje med morjem in kopnim.

mentov ni bistveno razlikovala od današnje. Do transgresij naj bi bilo po mnenju avstrijskih geologov prišlo predvsem zaradi orogenetskih procesov; zato naj bi se bili ti sedimenti odlagali v udorinah in sinklinalah, kakršne poznamo v bistvu še danes. Ni pa prodrlo prepričanje, da so ti sedimenti samo skromni ostanki obsežne terciarne odeje, ki ni prekrila kopna zaradi razdrobljenih orogenetskih sprememb, temveč zaradi epirogenetskih premikanj, torej zaradi enakomernejših in obsežnejših zniževanj, ki so vodila zato tudi do enakomernejših transgresij.

Avstrijski geologi so namreč sklepali, da so bile terciarne obale razčlenjene v ozke in dolge zalive (udorine in sinklinale) ter vmesno kopno (antiklinale, grude). Opravka bi imeli potemtakem z razčlenjeno, diskordantno obalo. Te predstave so vse preveč opirali na današnje stratigrafske in druge razmere, premalo pa so njihovi avtorji presojali terciarne sedimente v soodnosnosti s takratnim površjem, odkoder so ti sedimenti prihajali. Šele v zadnjem času so začeli geologi tolmačiti terciarne sedimente kot ostanke nekdanjih obsežnejših plasti (20, 21, 22, 114, 118).

Tudi nekatere morfogenetske študije opozarjajo, da je do odločilne orogenetske aktivnosti in diferencirane tektonske dinamike prišlo šele po odložitvi terciarnih sedimentov, ker si sicer težko razložimo številne poteze našega reliefa. In ker je bilo pri tem ozemlje domala v celoti dvignjeno, sta erozija in denudacija odstranili tudi večino transgresijske terciarne preproge; ohranila se je le na tektonsko zavarovanih oziroma znižanih tleh.

Zato geomorfologi, ko tolmačimo posamezne pokrajine, tudi računamo s tem, da so bili terciarni sedimenti nekdanjega površja precej spremenili. S tem v zvezi je za kasnejšo morfogenezo, zlasti kraško, pomembno še spoznanje, da je zaradi pretežno epirogenetskega porekla terciarnih transgresij moralo biti tudi površje nižje in bolj uravnano. Temu naziranju se je približal tudi Winkler v svojem obsežnem pregledu o jugovzhodnih Alpah (28).

V zvezi s terciarnimi transgresijami je morfogenetsko pomembno še dejstvo, da po naftnih raziskovanjih pred zahodno istrsko obalo različno sklepajo na pliocenske sedimente (29). S tem je tudi teorija o pliocenski morfogenezi v Slovenskem primorju dobila novo oporo.

TERCIARNA ODEJA

Pomen nekdanje terciarne odeje, ki je prekrila pretežno karbonatna tla, sestavljena iz mezozojskih apnencev, je tudi v tem, da je s svojimi neprepustnimi plastmi omogočila razvoj hidrografske mreže.

Naše predstave o obsežnejši in sklenjeni terciarni odeji ne slonijo samo na denudacijskih ostankih, ki so se pred intenzivno pliocensko

erozijo in korozijo ohranili v tektonskih zajedah in korozijskih žepih, temveč tudi na sestavi teh sedimentov. Tako so terciarni ostanki povečini drobnozrnati in podobni onim v sklenjenem terciarnem svetu (131, 118, 84 itd.). Pomembno pa je tudi dejstvo, da so terciarni sedimenti še danes v višini kraških planot, tudi najvišjih. Tako niso samo v višini matičnega Krasa, temveč tudi Snežnika, Nanosa, Trnovskega gozda, Banjščic, Posavskega hribovja, Dolenjskega krasa, Ponikevske planote, Dobrovelj itd. (9, 11, 21, 22, 30, 31).

Da je bila terciarna prevleka nekoč obsežnejša in večja, za to imamo še več dokazov. Na panonski strani dokazuje to alpsko nagubano Posavsko hribovje. V obeh sinklinalah ohranjeni terciar so šteli za sedimente dveh dolgih in ozkih zalivov, ne pa za ostanke sklenjene transgresije, ki je segla prek širšega ozemlja. Kajti terciarni sedimenti so bili v obeh sinklinalah zavarovani šele s kasnejšim gubanjem, medtem ko so na vmesnih antiklinalnih hrbtih bili izpostavljeni denudaciji in zato odstranjeni (20, 32, 33). Na jadranski strani je podoben primer matični Kras. Ker je apniška planota obdana z eocenom, so jo imeli za nekdanji otok eocenskega morja (34), čeprav je po geološki zgradbi razvidno, da sestavlja matični Kras razkrito apniško jedro obsežne antiklinale z odstranjenim eocenskim krovom (26, 27). Po denudacijskih ostankih eocenskega fliša v različnih višinah in predelih dinarskega sveta, se da sklepati, da so terciarni sedimenti prekrivali tudi druge apnenice današnjega Slovenskega primorja (131, 30, 118, 49).

Na nekdanj sklenjeno terciarno odejo v današnji subpanonski in sosednji notranji Sloveniji ne opozarjajo samo osamljene denudacijske krpe in njih sestava (facies, drobnozrnatost), temveč opozarja na to tudi razprostranjenost miocenskih tufov in montmorillonitnih glin (21). Ti sedimenti se na ozemlje današnjega Posavskega hribovja in Dolenjskega krasa ne bi mogli razširiti, če bi bili vmes ozki zalivi in dolgi polotoki, kajti najbližji miocenski vulkani, odkoder tufi izvirajo, so delovali v oddaljenem Smrekovcu.

ELEMENTI POKOPANEGA IN EKSHUMIRANEGA KRASA

V zvezi z mezozojskimi apnenci in dolomiti, ki jih je prekrila terciarna odeja, je zanimiva geneza transgresijske podlage. Pod različno starimi terciarnimi nanosi so se namreč ohranile posamezne korozijske poteze predtransgresijskega reliefa. Tako so na sledove korozijske podlage z žepi terciarnih sedimentov naleteli na različnih krajih: v sečoveljskem premogovniku, v premogovniku pri Vremah in Ilirski Bistrici, v premogovniku Kočevje in Zagorje itd. (35, 35 a). Številni korozijski žepi s kremenovim peskom so tudi na Dolenjskem krasu, razkrili pa so tudi žepe z drugimi terciarnimi nanosi (21), do površja pa sega transgresijska podlaga pri Ravnici na robu Trnovskega gozda (36, 37).

Skratka, sledove korozijske podlage z žepi, zajedami in vdolbinami, zapolnjenimi z različno starimi terciarnimi nanosi, najdemo še

marsikje. To dokazuje, da so se korozijska tla razvijala zelo zgodaj in v različnih terciarnih obdobjih, kasnejši transgresijski sedimenti pa so jih na široko zagrnili ne le v eocenski in oligocenski dobi, temveč tudi še v miocenski ter pliocenski in jih s tem ohranili. Korozijsko površje se je potemtakem razvijalo vsakokrat, ko so apnenci segli do površja. V vseh teh fragmentih spoznavamo elemente fosilnega oziroma pokopanega krasa, vendar teh potez na sedanjem površju ni nikjer toliko, da bi lahko govorili o ekshumiranem krasu, čeprav se zagovarja tudi drugačno stališče (117).

Proučevanja namreč kažejo, da odstranjevanje terciarne odeje ni nikjer potekalo tako, da bi v sedanjem reliefu prišel do veljave predtransgresijski relief iz posameznih terciarnih obdobj. Sedanji relief namreč zaradi kasnejših gubanj krepko reže nekdanja korozijska površja. Zato so tovrstne reliefne poteze ohranjene le fragmentarno in izjemno (npr. na Banjščicah, pri Ravnici na robu Trnovskega gozda, na Ponikevski planoti, na Novomeškem krasu), čeprav je bila stara podlaga povečini uravnjena. V današnjih apniških pokrajinah je namreč težko razlikovati, ali so terciarni sedimenti v tektonskih zagozdah ali korozijskih žepih. Zato je po teh sledovih tvegano sklepati na starost in genezo tega reliefa. Več jasnosti je edino pri površju, ki vsebuje boksite. Z njimi zapolnjene korozijske zajede že same po sebi dokazujejo korozijsko poreklo. Razen tega tudi sami boksiti kot fosilne kraške ilovice (lateriti) iz različnih terciarnih obdobj pričajo o današnjih korozijskih procesih.

V zvezi z boksiti je zanimivih še več vprašanj. Pomembno bi namreč bilo, da bi zanesljivo ugotovili korozijsko izoblikovanost podlage, v kateri tičijo boksiti. O njih namreč vemo, da so v zelo nepravilnih, razdrobljenih in žepastih ležiščih. Ali so ti žepi nekdanje vrtače, kakor jih včasih imenujejo tehniki? Ker so boksiti povečini terciarne starosti, bi z njimi zapolnjene vrtače dokazovale, da je vrtačasti kras nastajal že davno pred pleistocensko dobo. To bi bil hkrati tudi dokaz za vertikalno cirkulacijo vode v apnencih med toplo terciarno klimo. Zato je tu odprt zelo zanimiv problem kraške morfogeneze. Enako je pereč problem predtransgresijskega korozijskega reliefa drugod po Sloveniji, kajti tudi v sečoveljskem premogovniku govore o vrtačah, ki so pod terciarno podlago. Ne da bi natanko poznali te oblike, menimo, da gre pri tem za tropsko varianto vrtač, namreč za »cocpitom« podobne oblike. Po podlagi boksitnih ležišč so skušali tudi ponekod v Srednji Evropi ugotavljati fosilni tropski kras (38, 141).

OBLOŽENI ALI ZAPRTI KRAS

Terciarna odeja ni samo prekrila mezozojskih apnencev, temveč jih je na obeh straneh, panonski in jadranski, tudi na široko obdala. S tem je bila dana osnova za kasnejši razvoj zaprtega ali obloženega

krasa v smislu Jovanovića (39).² Ni pa ostalo samo pri tej splošni zaježitvi; zaradi kasnejše orogeneze so nastale nepropustne obloge tudi okrog posameznih apniških pokrajin, ko so bile mednje tektonsko vgrubane in zagozdene terciarne in druge neprepustne plasti. Terciarni sedimenti so namreč s kasnejšo orogenetsko dinamiko prišli v zelo različen položaj do mezozojske osnove (40, 41, 42, 43, 44). S terciarnimi plastmi obdani in mednje vključeni mezozojski apnenci pa pomenijo razmere, ki niso pomembne samo za razumevanje celotne morfogeneze klasičnega krasa, temveč tudi za tolmačenje morfogenetskih razlik med posameznimi kraškimi pokrajinami.

Obloženi apnenci so bili posebno značilni v primorski Sloveniji, kjer jih še danes marsikje na visoko obdajajo flišne plasti. Najizrazitejši primer je matični Kras, kjer so ostanki nekdanjega flišnega oboda še marsikje razločni. Droben, a zelo nazoren primer je nadalje Planina, apniška planotica sredi vipavskega fliša. Pri zaprtih apnencih je treba upoštevati, da nepropustni obod ni segal na vseh straneh enako visoko. Zadoščalo je znižanje na eni strani, da je apnenca zajela vertikalna vodna cirkulacija in globinska korozija. Tako je flišna obloga, ki se vleče od Beneške Slovenije preko Goriških Brd, Vipavske doline in Pivke dalje proti Reškemu primorju, na široko zapirala apnenca današnjega Visokega krasa. To oblogo so morfogenetski procesi razdrli različno globoko in v različnih časih, kar je dalo osnovo za različen razvoj posameznih kraških pokrajin. Tako bi bili apnenci v zaledju briškega fliša še danes zaprti, če jih ne bi bila z notranje strani na globoko odprla Soška dolina. Vendar je Soča odprla samo bližnje apnenca, medtem ko so se ostali deli Visokega krasa odpirali ločeno (po Lijaku, Hublju in Vipavi), kajti različna sestava karbonatnih kamnin je preprečevala, da bi se poenotila vodna cirkulacija. Kot izolatorji so delovali zlasti dolomiti, ki so se predvsem v hladni pleistocenski dobi zaradi hitrega drobljenja kmalu zaprli in delovali kot neprepustna tla. Tako vlogo so imeli dolomiti zlasti na kraških poljih, v podoljih, v suhih dolinah itd. (131, 8).

Gravimetrična in druga merjenja Visokega krasa (36) kažejo, da tičijo spodnji deli apnencev še globoko v flišu in tako še vedno niso do kraja odprti.

Soška deber nad Solkanom je v sosednjih apnencih odprla globinski koroziji pot globoko navzdol, kakor dokazujejo kraški izviri v dnu soške debri. Zaradi višinskih razlik med dolino in obrobjem ter tako ustvarjenega hidrostatičnega pritiska, je zajela vodna cirkulacija tudi še del apnencev pod dolinskim dnom. Vendar so okoli 30 m globoke vrtime v dnu doline pokazale, da globlji apnenci niso več korodirani, pač pa so razpoke zapolnjene z neagresivno skalno vodo približno do višine vodnega toka (45, 46). Soča zatorej v apniški debri ni viseči vodni tok, temveč je oprta na skalno vodo (freatična cona). Po-

² Izraz zajezeni kras ustreza bolj v hidrološkem kakor pa v morfološkem pogledu. V zaprtih apnencih je npr. zajezena skalna voda.

dobno je bilo na Visokem krasu, ko so bili ti apnenci še v celoti obloženi in so neprepustne plasti segale še v višino apniškega površja. Na ta način naj bi zaprti apnenci z zajezeno skalno vodo (freaticno zaliti) omogočali površinske vode.

Tudi v notranji Sloveniji so apnenci različno odprti. Številni sledovi pa kažejo, da so bili v preteklosti bolj na visoko obloženi z neprepustnimi plastmi. Najbolj nazorno in temeljito so apnenci odprti v Posavskem hribovju, na temenu trojanske antiklinale (Gozdnik, Mrzlica, Čemšeniška planina itd.). Tudi drugod, kjer so apnenci pretežno odprti, sega vertikalna vodna cirkulacija z globinsko korozijo vred različno globoko (Gorjanci, Rog, Rakitniška planota, Bloke itd.).

Za razumevanje nekdanjega razvoja apniškega površja so poučne zlasti pokrajine s pretežno še vedno obloženimi apnenci. Take apnence sestavljajo npr. vzhodno Posavsko hribovje, Novomeški kras in Ponikevska planota. V teh pokrajinah je zato dolinasti relief bolj izrazit, ostanki fluvialne odeje pogostejši, prevotljenost apnencev plitvejša in površinske vode gostejše.

Toda razsežnejše in bolj tipične kraške pokrajine z izrazito enosmernim in dolinskim reliefom so ponekod drugod po svetu. Naj navedem primer iz evropskega severovzhodnega dela Sovjetske zveze, kjer se na aerofotografskih posnetkih obsežne in rahlo valovite gozdne pokrajine z izrazitim dolinskim reliefom nikakor ne dajo razločiti kraške poteze, tudi če človek ve, da gre za kraški oziroma korozijski svet, tako izrazita sta hidrografska mreža in dolinski relief. Pokrajina je nedvomno nazoren primer apnencev, ki so v nizki legi in hkrati zaprti. Podobno so si bržkone zamišljali naše apniške pokrajine v predkraški razvojni fazi starejši proučevalci.

Apniško površje v Sloveniji kaže torej tesno in neposredno razvojno zavisnost od sosednjega neprepustnega sveta. Odvisnost od apniških tal pa kaže nasprotno tudi neprepustno površje. Ta zavisnost je toliko večja, ker neprepustna tla niso samo v sosedstvu kraških pokrajin, temveč se z njimi tudi prepletajo. Pri medsebojnem razvojnem razmerju karbonatnih in nekarbonatnih tal je bila posebnega pomena tudi višina teh in onih kamnin. Od tega sta bila namreč odvisni usmerjenost vodnega toka in kasnejša cirkulacija vode v apnencih. Na hipsografska razmerja pa je poleg tektonike vplivalo zlasti s klimatskimi spremembami usmerjeno diferencirano zniževanje enih in drugih kamnin.

SPREMINJANJE PETROGRAFSKE SESTAVE TAL

Za razumevanje celotnega reliefnega razvoja je zlasti pomembno vedeti, katere kamnine so sestavljale naša starejša površja. Kamninska sestava je že na sedanjem površju pestra in za relief pomembna, za morfogenezo pa je odločilnejše, kako se je ta sestava spreminjala v preteklosti in kako se je pri tem spreminjal delež prepustnega in neprepustnega površja oziroma delež karbonatnih in silikatnih kamnin.

Saj je za razvoj kraškega reliefa nadvse pomembno, da so v posameznih razvojnih obdobjih prevladovala te in ne druge kamnine. Zato starejših morfogenetških procesov ne kaže presojati po kamninski sestavi današnjega površja. Razvojnih sprememb v petrografski sestavi tal pa v morfogenetških študijah doslej nismo upoštevali.

Kakor je razvidno iz številnih geoloških raziskav, so pred terciarnimi transgresijami sestavljali površje mezozojski apnenci, dolomiti in laporji, skratka čiste in obsežne karbonatne kamnine, ki so nudile osnovo kraškemu oziroma korozijskemu reliefu. Sele s kasnejšimi orogenetskimi in epirogenetskimi procesi oživljena denudacija je razkrivala starejše silikatne kamnine na ozemlju današnjega predalpskega sveta (paleozojski skrilavci, peščenjaki in konglomerati). Toda šele s transgresijami v eocenski ter kasneje v oligocenski in miocenski dobi se je petrografska sestava ozemlja temeljiteje spreminjala. S transgresijami razširjene neprepustne oziroma silikatne plasti so tedaj na široko zamenjale dotedanja karbonatna tla. Sele ob koncu terciarja, posebno v pliocenski dobi, ko so reke že na široko odstranjevale terciarno odejo, se je karbonatno površje znova razširilo. Tako so bile na uravnanem srednjepliocenskem površju ene in druge kamnine na široko zastopane. Morfogenetški procesi pa so spreminjali petrografsko sestavo tal še v pleistocenu, vendar so se tedaj bolj spreminjala hipsografska razmerja enih in drugih kamnin. Ker so predpanonski orogenetski procesi zajeli karbonatne in nekarbonatne kamnine v različne tektonske enote, so bila ta tla potisnjena različno visoko. Na uravnanem srednjepliocenskem površju pa so reke prečkale in uravnavale petrografsko različna tla. Vode so ponekod otekale s terciarnih in drugih neprepustnih plasti na apnence, drugod z apnencev na neprepustna tla. Pri kasnejšem zakrasevanju je bilo to precejšnjega pomena, saj so tako nastali različni hipsografski oziroma hidrološki tipi kraškega površja.

V pleistocenski dobi se je težišče poglobljanja in razdiranja tal prestavilo od apnencev na vododržne plasti. Doline so se v teh plasteh poglobile preko sto metrov, apniško površje pa se je zniževalo počasneje (8, 9, 12, 14, 48, 49). Zato so se apniške uravnave, ki so bile v pliocenu še v višini flišnega sosedstva, že ob koncu te dobe in v naslednji kvartarni dobi spreminjale v čedalje izrazitejše planote.

Petrografsko sestavo je slednjič začela spreminjati tudi fluvio-glacialna akumulacija, ki je z obsežnimi nanosi karbonatnega proda zajela večino naših dolin in kotlin. S tem je prišlo do svojevrstnega prodora karbonatnih tal neposredno med terciarne oziroma silikatne sedimente.

KLIMATSKO USMERJANJE MORFOGENETŠKIH PROCESOV

Pri spreminjanju morfogenetških procesov, ki so v preteklosti oblikovali alpsko-dinarski kraški svet, močno poudarjamo vplive klimatskih sprememb. To nikakor ni naključje, saj so ti vplivi tudi v sedanosti zelo očitni. Slovenija ni namreč samo na stiku večjih

prirodnih enot, kontinentalne Panonske nižine na eni, mediteranskega sveta na drugi strani, pa seveda vmesnega gorskega sveta, temveč je zaradi tega na izrazitem klimatskem stičišču, saj se vsa tri področja tudi v klimatskem pogledu močno razlikujejo. Vsa tri imajo različen temperaturni in padavinski režim (50, 51) in zato tudi različne osnove za mehanično razpadanje ter kemično preperevanje; prav tako različne pa so tudi osnove za denudacijo, erozijo in korozijo. Recentno korozijsko zniževanje Visokega krasa je zaradi obilnejših padavin hitreje od zniževanja sosednjega matičnega Krasa. Terciarnе gorice v subpanonskem svetu dobivajo komaj tretjino padavin gorskega sveta in se zato kljub mehkejšim plastem počasneje znižujejo. Razlike v morfogenetskem procesu so seveda tudi med subpanonskim in submediteranskim svetom, ki imata različen padavinski režim, čeprav so letne količine padavin tu in tam enake. Tla v primorju so npr. pred poglobitnim zimskim dežjem brez prave vegetacijske zaščite, medtem ko so prevladujoče poletne padavine v subpanonskem svetu manj učinkovite že zaradi vegetacije in večjega izhlapevanja.

Klimatske razlike so v Sloveniji še posebno jasne in klimatski prehodi izraziti tudi zaradi izostrenega reliefa, npr. med primorsko in notranjo Slovenijo. V takih področjih že manjše spremembe predstavijo klimatske meje.

Podobno je bilo v preteklosti, čeprav relief ni bil tako izrazit, a so se zato uveljavljali drugačni faktorji. Tako je v pleistocenu bilo današnje slovensko ozemlje na robu strnjene alpske poledenitve, medtem ko so v ostali Sloveniji bili pod ledom le nad 1300 m visoki vrhovi (52, 53). Ta sporadična poledenitev kaže, kako je bilo preostalo ozemlje v izraziti periglacialni klimi in kako je bilo zajeto v intenzivno periglacialno preoblikovanje (47, 48, 55, 122). Za razumevanje razlik med glacialnimi in interglacialnimi dobami pa moramo upoštevati zlasti menjavaње kontinentalne klime v glacialih, ko je bila kopna vsa severna polovica Jadrana, in maritimno klimo v interglacialih, ko se je Jadransko morje obnavljalo (138 a). Zato so bili glaciali ne samo hladni, temveč tudi sušni, kar potrjujejo tudi morfogenetska proučevanja (47, 48, 49), interglaciali pa vlažni in seveda topli, kakor pričajo paleobotanične in druge raziskave (19 a, 56, 57). Zato menimo, da so se pleistocenska klimatska nihanja nad našim ozemljem stopnjevala zaradi prehodne lege Slovenije in menjave paleogeografskega položaja. Slednjič je videti, da je k temu pripomogla še tektonika, ki je z dviganjem površja ostrila pleistocensko in še posebej würmsko klimo.

V pliocenu naj bi bila nasprotno razmeroma zelo topla in vlažna klima, podobna tropski oziroma subtropski, kakor kažejo redke paleobotanične in paleontološke raziskave (18 a, 19 a, 34, 58, 59, 60, 61). Vlažnost klime je bržkone povečala izrazito maritimna lega ozemlja, saj je pliocensko morje neposredno obdajalo sedanje slovensko ozemlje tako z jadranske kakor tudi s panonske strani. V teh klimatskih razmerah vidimo osnove za intenzivnejšo erozijo in korozijo pliocenskega reliefa.

Ničesar pa ne vemo o klimatskih kolebanjih v pliocenu samem in o slabšanju podnebja na prehodu v pleistocen, saj smo doslej še docela brez ustreznih paleoklimatskih študij za naše ozemlje. Sklepamo pa, da v pliocenu ni bilo izrazitejših klimatskih razlik med posameznimi deli Slovenije že zaradi njenega izrazito maritimnega položaja in nižjega reliefa. Medtem ko je v današnjih klimatskih razmerah izrazitejši relief pomemben klimatski faktor, saj ne razmejuje samo panonske in mediteranske klime, temveč ustvarja z goratostjo in zaprtostjo osrednje Slovenije tudi vmesno, ostrejšo in bolj namočeno klimo, pa nižje in bolj uravnano pliocensko površje te vloge prav gotovo ni imelo.

HIPSOGRAFSKO SPREMINJANJE PETROGRAFSKO RAZLIČNIH TAL

Spreminjanje kamninske sestave površja v pliocenski in pleistocenski dobi ni bilo samo posledica s splošnim dviganjem ozemlja okrepjene denudacije, temveč je imelo pri tem odločilno vlogo tudi s klimatskimi spremembami usmerjeno selektivno zniževanje tal. Izbirnega zniževanja površja pa niso usmerjale samo klimatske spremembe, temveč skupno z njimi tudi spremenjene hidrološke, pedološke in druge prirodnogeografske poteze takratnih pokrajin.

Pri spreminjanju kamninske sestave tal so torej razen tektonike in paleogeografije imeli zaznavno vlogo tudi eksogeni procesi in v okviru teh procesov zlasti njihovo razvojno spreminjanje. S klimatskimi spremembami so se namreč v nekaterih dobah okrepili erozijski, v drugih korozijski procesi, enkrat kemično preperevanje, drugič spet mehanično razpadanje. Zato so se včasih hitreje razdirala karbo-natna tla, drugič nekarbonatna.

V topli in vlažni pliocenski klimi z debelo pedološko in bujno vegetacijsko odejo ter veliko vodnatostjo rečne mreže naj bi se bila apniška tla hitreje zniževala (62, 9, 11, 8, 139). Poleg erozije oziroma denudacije naj bi jih bila izdatno razdirala zlasti ploskovna korozija, kakor sklepamo po ohranjenih oblikah našega krasa oziroma po ustreznih procesih v sedanjih kraških tropskih pokrajinah (1, 2, 3, 62, 63, 139, 140).

Nasprotno pa so se silikatne kamnine tedaj počasneje zniževale, čeprav so povečini mehansko manj odporne od apnencev. To velja tako za paleogene sedimente na jadranski strani (eocenski fliš), kakor tudi za neogene sedimente na panonski (oligocenske in miocenske gline, laporji, peščenjaki itd.), prav tako pa tudi za paleozojske skrilavce, peščenjake in konglomerate.

Spričo takega selektivnega zniževanja tal so se višinske razlike med apniškim in silikatnim površjem čedalje bolj večale. Tak razvoj je bil posebno izrazit na jadranski strani, kjer se apniške pokrajine prepletajo s flišnim svetom. Procesi diferenciranega zniževanja tal so bili tako dolgotrajni in učinkoviti, da je marsikje prišlo do »inverznega«

reliefa.³ Tako je bil v pliocenu matični Kras kljub antiklinalni zgradbi nižji od flišnega površja sosednjih dveh sinklinal, vipavske in tržaške (11, 49). In celo pri Visokem krasu so se iznad fliša dvigali razmeroma skromni neuravnavi deli (9, 11). Tudi v Posavskem hribovju je bila apniška litijska antiklinala nižja od sinklinalnega terciarja, kakor sklepamo po vanjo zajedeni Savski dolini. Gorjanci pa so se nad neprepustno okolico dvigali samo z zgornjo tretjino. Podobno je bilo tudi pri drugih kraških planotah.

Doslej so hipsografske razlike med posameznimi pokrajinami enostransko tolmačili z diferencirano tektoniko, torej izključno v geološki luči, čeprav za to povečini ni bilo ustreznih dokazov. Odslej pa bo treba upoštevati tudi klimatsko zasnovano selektivno zniževanje petrografske različnih tal, kar naglašajo tudi domače geomorfološke študije.

V naslednji, pleistocenski dobi je potekal razvoj v nasprotno smer. Hitreje od apncev so se namreč razdirala in zniževala silikatna tla oziroma mehanično manj odporni sedimenti, zlasti mehkejše terciarne plasti. Ko je zajela pleistocenska poledenitev osrčje slovenskega alpskega sveta, je bila vsa ostala Slovenija v periglacialnem območju. Pelodne analize kažejo, da je ob poledenitvenih viških prevladoval močno odprt svet s stepo oziroma tundro ter razredčenim drevjem (56, 57, 98). V pasu med pleistocensko snežno in gozdno mejo — prva je potekala 1300 do 1500 m visoko in druga 400 do 600 m, medtem ko je bila v kotlinah ta meja še nižja — je prevladovalo intenzivno mehanično razpadanje tal s soliflukcijskimi in drugimi periglacialnimi procesi. V tem času se je poleg krepkega mehaničnega razpadanja močno stopnjevala zlasti erozija, ki je zniževala oziroma razčlenjevala mehanično manj odporne kamnine, v prvi vrsti terciarne plasti, medtem ko so mehanično odpornejši apnenci in dolomiti, ki so sestavljali hrbe, planote in vrhove, čedalje bolj prevladovali. V pleistocenski dobi so se nekarbonatna tla poglobila v primerjavi z apnenci in dolomiti za okoli 100 do 150 m (47, 12). Pri tem pa je zniževanje reliefa potekalo postopno zaradi klimatskih in drugih kolebanj pleistocenske dobe. To dokazuje dobro terasirano površje s serijo erozijskih in akumulacijskih teras pleistocenske starosti.

Morfogenetski procesi v topli pliocenski ter hladni pleistocenski dobi so torej glede na karbonatno in nekarbonatno površje vtisnili tedanjemu reliefu dvoje značilnih potez: spremenjeno petrografske sestavo tal in drugačne hipsografske razmerje površja. Razen tega so se uravnave na nekarbonatnih tleh znatno bolj razčlenile kakor apniške uravnave, kar je še povečalo razliko med enim in drugim površjem.

Te splošne poteze klimatsko usmerjenega reliefnega razvoja na obravnavanem ozemlju smo pri morfogenetskem tolmačenju posameznih naših pokrajin doslej vse premalo upoštevali, čeprav so te poteze zlasti za razumevanje kraškega reliefa odločilnega pomena.

³ Takšen relief lahko označujemo kot »inverzni« le v luči današnje odpornosti kamnin, kakršno ustvarja sedanja klima.

Apniške pokrajine je najbolj smiselno razčleniti po hipsografskih in hidroloških razlikah, ki jih kaežjo do neprepustnega sosedstva. V srednjem pliocenu so bile številne apniške pokrajine v enaki višini kot sosednji neprepustni svet. Reke so jih prečkale, kot dediščina pa so pri kasnejšem razčlenjevanju tal ostale opuščene rečne doline z ostanki naplavin. Drugod, kjer so bile apniške pokrajine višje, so vode z apnencev tekle na neprepustno sosedstvo in v višini neprepustne obloge so se apnenci uravnavali (robne uravnave, obvisile in zatrepne doline). Tam pa, kjer so bile apniške pokrajine nižje od neprepustnega sosedstva, so se vode na apnenca razlivala (robne uravnave, slepe doline). Votljenje apnencev se tedaj ni uveljavilo morda zaradi neprepustne odeje, naplavljenosti sosedstva, temveč je vzrok v zaprtih apnencih in v zajezenih skalni vodi. Oboje je namreč zaviralo globinsko vodno cirkulacijo. Površinskih vodnih tokov si torej ni treba tolmačiti z alohtonimi naplavinami z neprepustnega sosedstva, ki naj bi bile zamašile kraške razjede in prekrile votlikova tla, kajti apnenci v tedanji dobi povečini še niso bili izvotljeni, ker se globinska korozija ni mogla razmahniti. Za takratne procese je poleg zaprtosti apnencev in zajezenosti skalne vode bila enako pomembna tudi tropska klima z bogato vegetacijsko in pedološko odejo. V takih razmerah se je namreč razvijala intenzivna, a hkrati tudi nagla korozija. Agresivna padavinska voda se je zato izčrpala takoj na začetku svoje poti, že kar na površju (87, 88, 89, 107).

V takih razmerah so torej nastajale uravnave na »klasičnem krasu«, ki so se s planotami ohranile še v današnjem reliefu kot najbolj značilne poteze našega alpskega in dinarskega sveta. Notranje korodirani so bili tedaj kvečjemu tisti apnenci, ki so se dvigali nad takratnimi uravnavami, vendar njihova ustreznost prevotljenosti ni dokazana. V nasprotju s klasičnimi pojmovanji, ki tolmačijo genezo apniških uravnav izključno z erozijo, je treba podčrtati, da štejemo tedanjo korozijo celo za učinkovitejšo od pleistocenske, s katero je prišlo do pravega zakrasevanja, to je prevotljenosti apnencev in presihanja površinskih tokov in s tem do zaprtih kraških globeli. Pliocensko apniško površje naj bi tedaj oblikoval enoten morfogenetski proces, ki je poleg krepke korozije obsegal tudi erozijsko in denudacijsko preoblikovanje tal (10, 11).

Postopno in kolebajoče poslabševanje klime ob koncu terciarja je torej dinamiko morfogenetskega procesa predstavljalo od apnencev na nekarbonatna tla. S tem se je neprepustna obloga okrog apnencev hitreje zniževala, apniško površje pa nagleje razčlenjevalo. Naplavine na apnencih so postajale bolj grobe, erozijski in korozijski procesi pa so se prostorsko čedalje bolj ločevali. V takih razmerah so nastale pogloblitve spremembe v usmerjenosti vodnih tokov, razvila pa se je tudi globinska vodna cirkulacija.

Pleistocenski morfogenetski procesi so v prejšnji dobi nastalo »petrografsko inverznost«¹ reliefa torej hitro načeli. Zaradi klimatskih kolebanj te dobe so spremembe potekale postopno in z vmesnimi prekinitvami, Šele hitrejša zniževanje neprepustnega oboda, nastalo zaradi

intenzivnega mehaničnega razpadanja in okrepljene erozije, je odprlo pot korozijsko aktivni podzemeljski vodni cirkulaciji, ki je zajemala čedalje več apnencev in segala čedalje globlje. Površinski tokovi so tako presihali. Zakrasevanje pa je bilo hkrati tudi posledica spremenejene korozijske dinamike, ki je prešla od površinske, usmerjene in ploskovne korozije, kakršna je bila v pliocenu, k razpršeni in globinski v pleistocenu. V hladnejši klimi in ob skromnejši vegetacijski ter pedološki odeji so se namreč agresivne vode izčrpale šele na daljši poti. Tretji faktor, ki je okrepil erozijo na nekarbonatnih tleh, je bila povečana reliefna energija, ki jo je povzročilo tektonsko dviganje. Na jadranski strani so ta proces modificirali še vplivi glacievstatičnega kolebanja morske gladine: umikanje morja je stopnjevalo kontinentalnost oziroma sušnost ozemlja, zniževanje pa je krepilo reliefno energijo.

Pleistocenska klima je sprožila še drugačne morfogenetske procese. Tako je okrepljeno mehanično razpadanje apnenca in zatrpavanje jam, brezen in ponikev, vodilo ponekod do obnavljanja površinskih voda, do ojezeritve kraških polj in do oživljanja suhih dolin, skratka do prekinutve kraškega procesa (54). K obnavljanju površinskih vodnih tokov je slednjič pripomogla tudi zamrznjenost pleistocenskih tal. Osiromašenje vegetacijske in pedološke odeje pa je korozijo bolj navezalo na razpokanost tal. Intenzivno mehanično razpadanje apnencev pa je zlasti v višjih legah tudi izostrilo apniški relief. Predvsem pa je pleistocenska doba apniško površje na drobno razjedla. Od nekdanjih uravnjav so marsikje ostali le razjedeni robovi med kraškimi kotanjami, npr. v osrednjih delih Nanosa, Trnovskega gozda, Javornikov itd. (9, 12, 8). Posebno vlogo so imeli dolomiti, ki naj bi v hladnih dobah bili neprepustni, kakor poudarjajo številni avtorji. Stiki med apnenci in dolomiti naj bi imeli za morfogenezo podobno vlogo kakor stiki med apnenci in neprepustnimi silikatnimi plastmi (131, 8, 9 itd.).

OSTANKI PALEOFLUVIALNEGA GRADIVA NA KRAŠKIH TLEH

Na klasičnem krasu smo v zadnjem desetletju ugotovili še druge sledove, ki pričajo o nekdanjih hidroloških povezavah med apnenci in sosednjim nekarbonatnim reliefom ter o značilnih višinskih razmerjih med enim in drugim površjem. Na zakraselih apniških planotah pa tudi na nižjih terasah se je namreč še marsikje ohranilo fosilno fluvialno gradivo. Največ je proda in peska, ki ju korozija zaradi silikatne sestave — večinoma gre za kremen — ni mogla uničiti. Ti fluvialni ostanki ne pričajo le o nekdanjih vodnih tokovih, temveč tudi o morfogenetskih procesih na apniških tleh; zlasti pa še o tem, kako so bile apniške planote nižje od neprepustnega sosedstva, odkoder je to gradivo dotekalo. Toda fosilni prod na kraških planotah ne izvira samo iz neprepustnega sosedstva — v tem primeru bi šlo le za alohtone vode in alhotone naplavine — temveč tudi z apniškega površja samega. Prodniki so namreč nastali tudi iz silikatnih vložkov, ki tičijo med apnenci (ročenci, limo-

nit), torej so se oblikovali na samih apniških tleh. Gre tedaj za avtohtono gradivo in avtohtone procese na apniškem površju. Samoniklost gradiva pa dokazuje tudi značilna poroznost konglomerata, iz katerega so bili kasneje izjedeni karbonatni prodniki, kakor dokazujejo razmere na matičnem Krasu (11). Toda tudi paleofluvialnega gradiva iz neprepustnega sosedstva ne sestavljajo samo peščena zrna in prodniki, ki bi bili neposredno izluščeni iz starejših peščencev in konglomeratov ob razpadanju teh plasti, temveč imamo opravka tudi z novo nastalim prodom in peskom iz sicer homogenih silikatnih kamnin. V celoti je tedaj paleofluvialno gradivo na kraških tleh različnega izvora.

Ostanki fosilnega rečnega nanosa se niso ohranili le na matičnem Krasu, kjer so številni sledovi kremenovega, roženčevega in limonitnega proda, kakor tudi peska, peščenjaka in konglomerata. Prod in pesek sta namreč tudi na zakraseli visoki planoti Trnovskega gozda (Voglarska planota), Nanosa, Hrušice, Postojnskega in Logaškega krasa (9, 49, 64). V notranji Sloveniji pa je fluvialno gradivo na zakraselih tleh Posavskega hribovja, Ponikevske planote, Dobrovelj, Novomeškega krasa, Suhe krajine itd. (54, 65, 65 a, 66, 96, 67, 121, 122). Zlasti je pomembno, da je prod še v najvišjih delih Posavskega hribovja, ki se dviga nad obsežnim sosedstvom. Našli smo ga tik pod Kumom okoli 1100 m visoko, še več pa ga je na širokih terasah pri Dobovcu (660 m), še niže pa ga je ugotovil tudi Meze (66). Doslej nismo našli proda edinole na apnencih, ki so bili že zelo zgodaj višji od neprepustnega sosedstva. Na prečnih in sotočnih apnencih pa so se ti ostanki domala še povsod ohranili.

Najviše ohranjeni silikatni prodniki so doslej znani s Komne, s Kana, z Velike planine in s Kalškega Grebena (28, 69). Zelo zgodaj so jih ugotovili na Sentviški gori, na Banjščicah in Lokavcu (68, 74). Na terasah Konjiškega pogorja je silikatno fluvialno gradivo od 760 m navzdol, na Ponikevski planoti pa so fosilni prodniki iz miocenskih tufov in keratofirjev (65 a).

Kremenovi prodniki pa niso samo na zakraselih tleh, temveč so ponekod tudi na ustreznih terasah sosednjega neprepustnega površja, na flišni Pivki in v prav tako flišnih Brkinih, v Posavskem hribovju itd. (10, 12, 65, 66, 70). Posebno poglavje so alohtone naplavine v kraških jamah in na kraških poljih (54, 77, 78, 121).

Največ kremenovega peska je na Dolenjskem oziroma Novomeškem krasu (71, 72, 115, 121, 122). Sredi apnencev in dolomitov tičijo istovrstni, drobni in marsikje presenetljivo čisti kremenovi peski v tektonskih zagozdah in korozijskih zajedah, medtem ko se na ožjem terciarnem obrobju uvrščajo med ostale pliocenske plasti. Veliko kremenovega peska so prenašale vode tudi v pleistocenu, ko so izdatno razpadale silikatne plasti in med njimi zlasti karbonski ter permski peščenci in konglomerati.

Da je med našimi kraškimi pokrajinami daleč največ kremenovega peska in proda na nizkem Dolenjskem krasu, nikakor ni naključje. V Krški kotlini in njenem nizkem zaledju (Novomeški kras, Temeniško

podolje, Suha krajina) vidimo namreč dediščino, ki med vsemi slovenskimi pokrajinami še najbolj spominja na nekdanje »miocensko oziroma pliocensko primorje«. Toda še odločilnejše je pri tem dejstvo, da leže dolenske kraške pokrajine, ki vsebujejo kremenove peske, na samem robu dinarskega sveta oziroma na vznožju sosednjega, petrografske drugačnega Posavskega hribovja. Iz silikatnih karbonsko-permskih kamnin, ki so tu na široko razgaljene, so vode nanosile na sosednji kraški svet velike količine kremenovega proda in peska. Tudi večjo izravnanoost kraških pokrajin, ki so v sosedstvu Posavskega hribovja, pripisujemo temu, da gre za obrobne apnence. Značilna homogenost in čistost kremenovih peskov naj bi bila posledica tega, da so korozijski procesi nanose kemično izčistiti in odstranili karbonatne primesi. Hkrati menimo, da so čisti kremenovi peski predvsem tisti, ki so presedimentirani. Kremenove peske so onesnažile edinole kraške ilovice, zato so pogosto obarvani. Med temi so posebno značilni izrazito rdeči peski, ki opozarjajo na to, kako so v tropski oziroma subtropski klimi skupno s peski nastajali lateriti oziroma intenzivno rdeče kraške ilovice (25).

Silikatni prod in pesek tičita v posameznih kraških pokrajinah na različno visokem površju, zato sklepamo, da sta iz različnih razvojnih obdobj. Po ohranjenem pelodu vemo doslej edinole za matični Kras, da je to gradivo iz tople dobe, bržkone iz zgornjega pliocena ali prvega interglaciala. Na toplodobno akumulacijo sklepamo tudi po zaobljenosti tega gradiva in po tem, da so iz njega izluščene vse karbonatne primesi.

Na kraških tleh ohranjeno fluvialno gradivo opozarja na obsežnost, razširjenost in izdatnost nekdanje akumulacijske odeje, opozarja pa tudi na veliko morfogenetsko vlogo tega gradiva in tedanjih voda. Za slednje lahko rečemo, da so s strmcem in odprtostjo površja usmerjale ploskovno korozijo.

Razprostranjenost fosilnega fluvialnega gradiva kaže zelo značilno zvezo s tremi osnovnimi tipi apniških pokrajin. Največ paleofluvialnih ostankov je namreč na nekdanjih prečnih apnencih. Veliko jih je tudi v sotočnih apniških pokrajinah, medtem ko so na povirnih apnencih ti ostanki izjemni. Slednji so nekdanja razvodja in površja, ki so že zgodaj dominirala nad okolico (Javorniki, Bohinjski greben, Gorjanci, Kočevski Rog itd.). Zelo je značilno, da na dolomitnih tleh ni ostankov fluvialnega gradiva, tako ga ni tudi na izraziti Dolski planoti v Posavskem hribovju.

Ostanki rečnih naplavin niso samo na slovenskem krasu. V sosednjih avstrijskih pokrajinah poročajo o silikatnih prodnikih z Dachsteina in z drugih visokogorskih kraških planot (28). S sosednjega dinarskega krasa so tovrstne navedbe razmeroma skromne, ker so ga v tej luči še malo preiskovali. Toda sledovi alohtone silikatne akumulacije so vendarle znani visoko nad Pivo, Taro in Drino (73). Na droben kremenov pesek smo naleteli na golem kraškem ovršju Raba. Sledovi fluvialnih naplavin so tudi še v drugih, bolj oddaljenih kraških pokrajinah, npr. v Grčiji in Romuniji. V Sovjetski zvezi smo našli kremenove prodnike

na kraški planoti Jajle na Krimu, pa tudi v zakraselih dolinah Zahodnega Kavkaza visoko nad Suhumijem.

Zastavlja se vprašanje, kako obsežne in debele so bile nekdanje plasti fluvialnih ostankov v različnih kraških pokrajinah Slovenije. Ali so to ostanki nekdanje sklenjene naplavininske odeje, ki je na debelo prekrila apniška tla, ali pa te naplavin že sprva ni bilo veliko? Winkler je po razmeroma skromnih sledovih sklepal, da je bila plast teh naplavin, odloženih nad Čepovansko suho dolino, debela okoli 50 m (28).

Na matičnem Krasu je tega gradiva precej več. Samo v breznu pri Brjah sredi Krasa je na desetine kubičnih metrov silikatnega proda. Vendar so te količine neznatne v primerjavi s kremenovimi peski na kraškem obodu Krške kotline, ki jih je toliko, da so gospodarsko pomembni, saj jih cenijo na več stotisoč ton, odkrivajo pa vedno nova ležišča (72, 75). Toda poleg tistih, ki so na površju, so kremenovi peski skriti tudi v globini, pod mlajšimi nanosi. Pri tem je pomembno zlasti vprašanje, odkod ogromne količine kremenovega peska na širokem kraškem obrobju Krške kotline in odkod debele plasti, ki so jih z vrtnjem ugotovili na dnu te kotline. Skoraj ne more biti dvoma o tem, da so kremenove peske prenašale vode preko Dolenjskega krasa, kjer ga je bilo v pliocenu še posebno veliko, saj sta se kremenov pesek in prod obdržala še v Suhi krajini (54, 122, 117). Pri tem pa je očitno, da kremenovi peski ne izvirajo iz karbonatnih kamnin Dolenjskega krasa, ker so te brez silikatnih primesi, temveč so ti peski prišli kvečjemu s permokarbonskega obrobja Ljubljanskega polja oziroma iz paleozojskih plasti sosednjega Posavskega hribovja.

Paleofluvialni ostanki tičijo ponekod v zaprtih kraških zajedah. Ali so ti žepi starejši od naplavin ali pa so bili ti ostanki kasneje prenešeni v kraške globeli? To vprašanje je pomembno za razumevanje pliocenske morfogeneze, zlasti še, ker tudi korozijske zajede s starejšimi terciarnimi sedimenti vred opozarjajo na zgodnji razvoj vertikalne korozije.

Dejstvo, da je fosilno gradivo na različno visokem oziroma različno starem površju, kaže, da je bilo denudirano v različnih razvojnih obdobjih. Ker pa je kraško podzemlje domala brez tega gradiva, sklepamo, da so ga s površja odstranili povečini že predkraški morfogenetski procesi, največ pa erozija in površinska korozija v mlajšem pliocenu.

Ker je veliko fosilnega gradiva iz peska in proda, kakršna sta v eocenskem flišu oziroma v paleozojskih peščenjakih in konglomeratih, se zastavlja vprašanje, ali ne izvira to gradivo v celoti iz teh plasti. Z izdatnim mehničnim razpadanjem v hladni pleistocenski dobi naj bi se bili iz teh plasti izluščili prodniki in peščena zrna. Čeprav je bilo mehnično razpadanje groboklastičnih kamnin v tej dobi nedvomno intenzivno, ni verjetno, da bi večina tega fluvialnega gradiva tudi nastajala takrat, vsaj na starejših tleh ne. V Krški kotlini so namreč kremenovi peski med drugimi pliocenskimi sedimenti.

Fosilno fluvialno gradivo kaže v primorskih kraških pokrajinah na flišno poreklo, v notranji Sloveniji pa sorodnost s karbonsko-perm-

skimi kamninami. Posebno poglavje pomenijo bobovci Notranjske, Dolenjskega krasa in Bele Krajine oziroma Julijskih Alp. Slednji se bržkone vežejo z bobovci Osrednjih Alp (126, 125, 124, 121, 76).

Slednjič je še vprašanje, ali kaže fosilno fluvialno gradivo na velikopotezne erozijske oziroma akumulacijske poteze ali pa gre za manjše, regionalne oziroma lokalne pojave. V prvem primeru bi šlo za enotnejšo in bolj splošno uravnavanje, v drugem pa za bolj razčlenjeno in morda celo akorelativno oblikovanje apniških tal.

Zdi se, da je o splošnem uravnavanju, ki bi hkrati zajelo celotno Slovenijo v smislu Davisovega peneplena, težko govoriti. Vendar pa razsežnost in sestava paleofluvialnega gradiva kažeta, da so tovrstni procesi sicer zajeli velike dele ozemlja, a je bilo vmes še precej neuravnanege površja kakor na karbonatnih tako tudi na silikatnih tleh.

TEKTONIKA IN KLIMA

Tektonske dinamike tudi sodobne morfogenetske študije ne zanemarjajo, čeprav se precej razlikujejo od nekdanjih študij strukture oziroma tektonske morfologije. To velja v polni meri tudi za proučevanje našega reliefa. Bistvo novih morfogenetskih prizadevanj je v tem, da skušajo poiskati tektoniki ustreznejše mesto med številnimi in raznovrstnimi morfogenetskimi faktorji. Doslej je namreč tektonika med njimi vse preveč prevladovala.

Za tektonsko dejavnost našega ozemlja imamo poleg starih dokazov tudi vse več novih. Zato pri morfogenetskih študijah tektonike ne moremo prezreti. Izpričujejo jo zlasti geološke vrtnine. Pri tem prihajajo na dan tudi dokazi za zelo mlado tektoniko, bodisi alpsko, dinarsko ali celo panonsko. Tako so mlada grezanja in sveže premaknitve, ki so zajele kvartarne plasti, znane iz Bovške kotline, z Goriškega polja (gravimetrična merjenja), s spodnjega Posočja (gravimetrična merjenja) in od Tržaškega zaliva. V notranji Sloveniji pa je mlada tektonska dinamika zaznavna zlasti na Ljubljanskem barju in Kamniškem polju (Vodice), kjer so alpsko usločene mladopleistocenske plasti. V subpanonski Sloveniji pa nam razmeroma mlado tektoniko razkrivajo vrtnine v Pomurju, na Dravskem polju, v Brežiški kotlini itd. (47, 79, 80, 81, 82, 83, 85).

Poleg tektonike se med morfogenetske faktorje uvrščajo še drugi pojavi, ki imajo s tektoniko enake ali podobne učinke. Zato je razlikovanje teh faktorjev po površinskih oblikah precej zapleteno. Doslej so bile stvari jasnejše: reliefne strmine in višine naj bi bile zasnovane s tektonskim dviganjem ozemlja, uravnave in terase pa s tektonskim zastajanjem ali mirovanjem. Ker moremo te oblike tolmačiti tudi s pomočjo klimatskih sprememb in hidroloških kolebanj, je vprašanje, kateri vplivi so v posameznih primerih te ali druge oblike dejansko sprožili. Pri tem je treba še upoštevati, da se posamezni morfogenetski faktorji različno prepletajo, dopolnjujejo ali si nasprotujejo. Večina

tektonskih gibanj so pri nas določevali posredno, z reliefom. Po reliefu so sklepali na tektoniko in po tektoniki na relief. Ta problem se je s klimatsko morfologijo samo poglobil.

Za pliocensko dobo npr. ugotavljamo, da so bile flišne plasti više od apniških tal, ko so na apnencih nastajale robne in druge uravnave. Višji relief na neprepustnih oziroma silikatnih tleh pa ni nastal zaradi selektivnega zniževanja tal, temveč kvečjemu zaradi tektonike, ki je mehkejša in bolj gnetljive flišne plasti laže nagubala in jih potisnila kvišku že med premikanjem apniških grud. Zato menimo, da so sporadične diskordance med njimi povečini tektonske in ne erozijske. Ker so bile nekatere apniške pokrajine nad flišnimi, si teh hipsografskih razmerij tudi s klimatsko morfologijo ne moremo uspešno razložiti.

Do različne absolutne in relativne višine, in s tem do različne reliefne energije, je v starejšem morfogenetskem razvoju lahko prišlo tudi brez neposrednega sodelovanja tektonike. Saj so na pliocensko kolebanje terciarnega panonskega in jadranskega morja vplivali tudi sedimentacijski procesi, v pleistocenu pa glacievstatično kolebanje. Odtod tudi nekatere morfogenetske razlike med reliefom panonske in primorske Slovenije.

Diferencirana zniževanja silikatnih in karbonatnih kamnin kažejo, kako je v pleistocenski dobi površinska hidrološka povezava med njimi slabela in se krčila. Ustrezni morfogenetski procesi so bili prekinjeni v različnih razvojnih fazah in so zapustili vrsto nedokončanih oblik: obviselo in zatrepne doline, komaj nakazane robne uravnave, slepe doline itd.

Po klasičnem tolmačenju so te oblike nastale zaradi tektonskega dviga, ki mu globinska erozija ni mogla slediti, pa se je zato vodni pretok na apnencih prestavil v tla. Po drugi razlagi je te procese sprožilo diferencirano zniževanje tal, predvsem hitrejše razdiranje neprepustnega oboda. Za te pojave pa ni niti najmanj nujno, da bi bili tektonsko zasnovani, nasprotno, selektivno zniževanje terja celo drugačno, klimatsko razlago. Ti procesi so lahko potekali celo nekoordinirano, v različni nadmorski oziroma relativni višini. Gre tedaj za drugačna pojmovanja o reliefni energiji in »pomlajevanju«
reliefu.

Neprepustna tla so v pliocenski dobi višinsko bržkone prevladovala. Tedanja hipsografska razporeditev reliefa je bila ravno nasprotna današnji petrografske sestavi tal. Bila je to očitno posledica tektonike, ker si drugače višjih terciarnih plasti ne moremo ustrezno razložiti.

Pliocenska morfogeneza je očitno izoblikovala relief, ki je bil v skladu s tedanjo klimo, čeprav je bil izrazito selektiven. V pliocenski klimi manj odporni apnenci so bili na splošno nižji, odpornejša silikatna tla pa višja. Nasprotno pa je pleistocenska morfogeneza preoblikovala pliocenski relief v skladu s tedanjo hladno klimo. Pred mehničnim razpadanjem in erozijo manj odporna silikatna tla so se v tedanji klimi razdirala in zniževala, medtem ko so se za te procese trši apnenci ohranili v relativno višji legi, čeprav so tudi sami, posebno v višjem svetu, krepko razpadali, kakor dokazujejo s fosilnimi gruščji obložena pobočja.

Zato inverznega reliefa pri nas pravzaprav ni. Podedovane oblike so le izjeme, npr. flišni Brkini nad nižjo apniško okolico. Le v takih primerih bi mogli govoriti o petrografsko inverznem reliefu. Razlagamo si ga pa tako, da je bilo v preteklosti brkinskega in pivškega fliša neprimerno več.

Pojmovanje o klimatsko usmerjenem zniževanju petrografsko različnih tal ne slonijo samo na ohranjenih višinah, reliefnih oblikah in različnem gradivu našega reliefa, temveč tudi na primerjavi s korozijskimi procesi in oblikami v današnjih tropskih kraških pokrajinah.

Vendar je tudi tako tolmačenje našega reliefa bržkone preveč enostavno in bi bilo možno le, če bi računali z dolgotrajnim tektonskim mirovanjem, česar pa geološke študije ne potrjujejo. Razvoj je bil očitno bolj pester. Zato ostaja za vsako pokrajino še naprej odprto vprašanje, ali so višinske razlike petrografsko različnih tal tektonsko ali klimatsko zasnovane.

Po klasični razlagi se je zakrasevanje začelo zaradi tektonskega dviganja; do tega je lahko prišlo v različnih geoloških obdobjih. Po razlagi, da je zakrasevanje vezano na klimatsko zasnovano diferencirano zniževanje tal, torej na nastop hladne pleistocenske dobe, pa bi bilo zakrasevanje časovno določeno.

MORFOGENEZA V LUČI TERCIARNIH SEDIMENTOV

Sestava eocenskega fliša, ki tako na široko prevladuje v primorski Sloveniji, zgovorno priča o korozijskih in erozijskih procesih takratnega površja, odkoder izvirajo ti sedimenti. Pri tem je značilno, da ima fliš dvojno petrografsko sestavo: na eni strani karbonatne plasti (apnenci, breče, laporji), na drugi strani silikatne (kremenovi peščenci, konglomerati in glinovci). Pri tem je v ospredju zlasti vprašanje, odkod toliko silikatnih oziroma kremenovih primesi v eocenskih plasteh. Danes namreč tičijo ti sedimenti izključno sredi mezozojskih apnencev. Očitno ne gre samo za nanose iz paleozojskih silikatnih kamnin alpskega predgorja, temveč tudi iz centralnih Alp, kar opozarja na obsežno rečno mrežo in bržkone tudi precej uravnano površje. V eocenski fliš so namreč vtisnjeni sledovi vodnih tokov, ki potrjujejo, da so vode dotekale s severa (36).

Tudi terciarne plasti na panonski strani kažejo na različne morfo-genetske procese takratnega kopna. Pri tem so posebno značilne bazalne plasti, ki so povečini debeloprodne in silikatne sestave, medtem ko je karbonatnega proda razmeroma malo (61), kar opozarja na intenzivno korozijo.

Ostali terciarni sedimenti so bolj pestri, v njih prevladujejo silikatne sestavine (gline, kremenov pesek, prod in konglomerat), v drugih karbonatne (laporji, karbonatne gline, grobozrnati apnenci). Razen tega so posamezne plasti drobnozrnate, druge grobe sestave. Kaj pomenijo

te razlike v korelacijski oziroma morfogenetski luči, je še vse premalo pručeno in je zato tu še veliko dela in področje novih spoznanj.

Doslej je po sestavi terciarnih sedimentov edinole Winkler (84) sklepal na tektonski razvoj takratnih tal in na morfogenetski razvoj v smislu Davisovega erozijskega cikla. Z upoštevanjem klimatske morfologije pa bi bilo treba terciarne sedimente na novo analizirati. Zlasti nas zanimajo morfogenetski procesi v luči korozijskih in erozijskih procesov. Silikatni prod v posameznih terciarnih plasteh nas opozarja na erozijske procese, dobra zaobljenost pa tudi na ustrezne klimatske razmere, vendar ta zaobljenost še ni izmerjena.

Še pomembnejše bodo analize pliocenske lokalne sedimentacije, ker nam lahko osvetle razlike v morfogenetskih procesih posameznih področij. V tej luči bi bile dragocene analize pliocenskih jezerskih sedimentov pri Ilirski Bistrici, Kočevju, Kanižarici in Velenju. Pri tem študiju bodo poleg petrografskih in sedimentacijskih potez v močno oporo zlasti paleobotanična oziroma pelodna svojstva teh sedimentov.

TROPSKE IN PERIGLACIALNE POTEZE KLASIČNEGA KRASA

Kakor kažejo proučevanja zadnjih let, so se osnovne poteze apniškega reliefa v Sloveniji izoblikovale med toplo in razmeroma vlažno pliocensko klimo. Zato čedalje več domačih geomorfologov meni, da imajo apniške pokrajine v Sloveniji marsikatero potezo, ki je sicer značilna za tropski oziroma subtropski kras. Take značilnosti naj bi se bile ohranile zlasti na kraških planotah in vzpetinah nad njimi. Za visoke planote Trnovskega gozda, Nanosa in Hrušice jih je najprej dognal Habič (9), medtem ko so se na sosednjem matičnem Krasu te poteze bolj modificirale (11).

Poteze tropskega krasa se kažejo zlasti v značilnih, stožcem podobnih vzpetinah, katerih vrhovi se uvrščajo v značilne nivoje. Med vzpetinami marsikje ni uravnane površja kakor pri tropskem krasu, namesto tega so izjedene kraške kotanje, ki pa z vmesnimi robovi vendarle kažejo sledove nekdanjih uravnjav. V tem naj bi bila tudi najbolj izrazita modifikacija nekdanjih tropskih potez našega krasa. Zaprte kraške globeli so namreč ponekod tako prepregle uravnave, da se vzpetine in vdolbine neposredno izmenjujejo.

Zaradi spremenjenega morfogenetskega razvoja v kasnejši pleistocenski klimi je nastalo na našem krasu troje prevladujočih elementov: kopaste vzpetine, uravnave in kraške globeli. Temu se pridružujejo še robne uravnave in nižje terase. Medtem ko naj bi bile uravnave in kopaste vzpetine poteze tropskega krasa, kamor sodita še terra rossa in silikatni prod, pa so, nasprotno, zaprte kraške globeli, prevotljenost krasa in nižje (deloma akorelativne) terase značilnosti pleistocenskega razvoja. Sem se uvrščajo še apniški grušči in breče ter denudacija ilovic.

Nadaljnjo modifikacijo tropskih kraških potez pomeni močno pleistocensko mehanično razpadanje apnencev, ki je izoblikovalo položnejša pobočja in površje drobno razčlenilo ter izostrilo (8, 9, 11). Tako bi se dalo razložiti, zakaj se kraške vzpetine nad uravnjavami razlikujejo od vzpetin v tropskem pasu. Pleistocenska doba je zapustila še vrsto drugih potez na našem krasu: nivalne terase, psevdomorenske nasipe, psevdoterase, psevdovršaje itd. (8, 9, 11).

V višini kraških uravnjav, nastalih v topli pliocenski dobi, ni kraških jam, prav tako jih ni v vzpetinah nad njimi. Kraške jame so namreč šele v nižjih legah in iz kasnejših razvojnih faz. Zato jih tudi ni v najvišjih delih Nanosa, Kolka, Trnovskega gozda, Snežnika, Dobrovelj, Gorjancev itd., čeprav bi jih po analogiji s tropskim krasom pričakovali.

Zaprte kraške globeli razlagamo z razpršeno površinsko korozijo, ki je v nadaljevanju prehajala neposredno v globinsko korodiranje, kar se je na odprtih apnencih dogajalo med hladno pleistocensko klimo. V klimatski luči se da torej razmeroma enostavno razložiti vse pogloblitve poteze našega krasa. Tako se dajo tudi apniške uravnave razložiti ne samo z lateralno erozijo, temveč tudi s ploskovno korozijo, ki naj bi se razvijala na zaprtih apnencih in v toplejši klimi. Težje pa je na apniškem površju razložiti dolinasti relief in še teže vzpetine, ki se z vrhovi razvrščajo v posamezne nivoje, a so brez vmesnega ravnega sveta. Ta relief še prepričljivejše od dolinskega reliefa opozarja na to, da je nastajal z različnimi morfogogenetskimi procesi.

Če govorimo o našem krasu kot fosilnem tropskem krasu, smo enako upravičeni govoriti tudi o fosilnem periglacialnem krasu. A po G a m s u je sedanji kraški relief predvsem kvartarne starosti (8).

RAZLIKOVANJE EROZIJSKEGA IN KOROZIJSKEGA PROCESA

Razlike v izoblikovanosti karbonatnega in silikatnega površja so posledica različne strukture korozijskega in erozijskega procesa. Medtem ko erozija s koncentriranim vodnim odtokom deluje na površje izrazito diferencirano, pa učinkuje korozija na vsem površju enakomerneje, ker gre za neposredne učinke deževnice in snežnice. V ospredju je torej neposredno korozijsko delovanje prav na začetku oblikovanja tal, medtem ko nastaja erozija šele s kopičenjem vode. Korozija tudi v fluvialnem reliefu, kjer je prav tako živa, ne pride do veljave ravno zaradi enakomernejšega učinkovanja.

Korozija je v bistvu avtohtona, ker jo ustvarja neposredna padavinska voda, nasprotno pa je erozija alohtona, ker je omogočajo šele večje vodne količine, ki se zbero z večjih površin, torej od drugod. Zaradi tega je erozija tudi bolj selektivna in morfogogenetsko izrazitejša. Seveda se korozija okrepi tudi z alohtonimi silikatnimi vodami. Posebno pomembne so bile te vode v pliocenski dobi. Zato so apniška tla proti silikatnemu površju tudi najbolj odprta in uravnana. V pliocenski dobi se je korozija bržkone okrepila tudi zaradi mešanja alohtonih

(npr. flišnih) in avtohtonih (apniških) voda v smislu korozije mešanja (86). Ker se na naših apnencih v današnji zmerni klimi trdota tekočih voda bistveno ne spreminja ob toku navzdol, sklepamo, da je v pliocenski dobi, ko so bili korozijski procesi zaradi tropske klime hitrejši, trdota takratnih voda še manj naraščala. Kraške jame se zato danes korozijsko slabo razvijajo. V pliocenu so morale zato imeti alohtone silikatne vode toliko večji pomen pri oblikovanju tal. Z avtohtono vodo so se tla le enakomerno zniževala in so ohranjala starejše oblike. Kakor sta v pleistocenu prevladovali globinska erozija in korozija, tako sta bili v pliocenu odločilni lateralna erozija in lateralna korozija. Pri tem je pliocenska korozija votlila apnenice kvečjemu v višini pretočne vode, čeprav tovrstnih dokazov na našem krasu doslej še ne poznamo.

V današnji klimi nista odločilni ne globinska korozija in ne korozijsko votljenje apnencev, temveč prevladuje razpršena korozija. Toda ta se zaradi podedovane prevotljenosti in pretrtosti apnencev razlikuje od korozije v pliocenski dobi.

Glede erozije in korozije še velja, da v topli pliocenski klimi, ko so tla uravnali eni in drugi procesi, ni bilo med njima bistvenih morfogenetskih razlik; zato po oblikah težko sklepamo na nastanek površja. Toda poleg klime je bila vsekakor pomembna tudi zaprtost apnencev. Razlike so se izostrile šele pri poglobljanju reliefa, posebno v hladnejši klimi, ko je vertikalna erozija neprepustna tla znižala in razčlenila ter pri tem apnenice odprla, globinska korozija pa jih izvotlila.

V tej luči bi predkraška faza pomenila lateralno erozijo na silikatnih in soodnosno lateralno korozijo na karbonatnih tleh. Na enih in drugih tleh so nastale uravnave, torej podobne oblike. Nasprotno pa je kraška faza pomenila vertikalno erozijo na prvih in globinsko korozijo na drugih tleh. Na neprepustnih tleh je nastal dolinasti relief, na karbonatnih tleh pa zaprte kraške kotanje in prevotljeni apnenci, torej različne oblike.

Glede klimatske pogojenosti posameznih tipov kraškega reliefa je morda preveč v ospredju vprašanje, kdaj je bila korozija intenzivnejša, v topli pliocenski ali hladni pleistocenski dobi (18, 62, 87, 88, 89, 127). Pač pa je videti odločilnejše, da so bili korozijski procesi v teh dveh dobah različno usmerjeni. Po reliefnih oblikah sodeč naj bi bila v pliocenu prevladovala hitra in površinska ter zato tudi ploskovna in usmerjena korozija, v pleistocenu pa naj bi bila korozija razpršena, nekoordinirana in globinska. Hkrati je bila ta korozija tudi počasnejša, ker se je agresivnost takratnih voda počasneje izčrpala. S tem se strinjajo številni poročevalci (88, 8).

Nagla, površinska korozija, kakršna naj bi bila v topli in vlažni pliocenski klimi, more ustvariti v apnencih zelo slabo prepustna tla, še posebno, če so ti zaprti. Zato menimo, da se je prepustnost apnencev razvojno spreminjala.

Ker so reke pri prečkanju karbonatnih tal izdelale samo ozke debri, medtem ko so se dolinski odseki v sosednjem neprepustnem svetu hkrati tudi širili in terasirali, so tolmačili te razlike s tektoniko, ki naj

bi bila apnenca intenzivneje dvignila. Dejansko pa razlike v izoblikovanosti apniških in neapniških dolinskih odsekov dokazujejo, da so se te doline poglobile šele v pleistocenski klimi, ko so bili apnenci erozijsko odpornejši, medtem ko so se terciarne plasti hitreje razdirale. Nasprotno pa so v topli pliocenski dobi bili apniški odseki dolin prostornejši.

ZNAČILNOSTI URAVNAV IN TERAS

Srednjepliocenske oziroma panonske uravnave novejšje morfogenetske študije sicer ne zanikajo, vendar zanjo tudi novih podkrepitev ne navajajo. V celoti pa menimo, da uravnanoost takratnega površja ni bila tako splošna oziroma dosledna, kakor se pogosto postavlja. Večje pa so razlike glede genetičnega tolmačenja tega uravnaneega površja in sploh terasiranega sveta. Vprašanje je namreč, koliko gre pri naših uravnavaah za penelene, koliko za korozijske ravnike oziroma za pedilene ali pedimente.

Ker so bile apniške uravnave vezane na tekoče vode, ki so prečkale tako karbonatna kot silikatna tla, menimo, da so apniške uravnave nastajale s kombiniranimi procesi. Apniške uravnave zato ne morejo biti akorelativne. Do nesoodnosnosti je lahko prišlo šele kasneje, npr. pri robnih uravnavaah in terasah, ko so se petrografska različna tla med seboj neodvisno selektivno zniževala in to po posameznih področjih različno.

Tudi postpliocenski razvoj, ki je na gosto terasiral mlajše površje, potrjujejo nove študije. Razlika je le v tem, da v teh terasah ne vidimo samo učinkov tektonike, temveč iščemo vzroke v klimatskih učinkih oziroma v selektivnem zniževanju tal. S tem v zvezi se nam poleg geneze razodeva tudi starost enako visokih teras. Kajti enako visoke »tektonske« terase so lahko različne starosti, medtem ko bi enako visoke »klimatske« terase morali uvrstiti v isto dobo. Toda tovrstnih študij pri nas še ni.

Pri kraških ravnikih ugotavljamo, da so jih poleg ploskovne koroziije oblikovale tudi tekoče vode, medtem ko krčenje višjega apniškega obrobja opozarja na robno koroziijo oziroma na elemente pedipleniranja (8). Tudi intenzivno mehanično razpadanje strmih apniških odsekov je povzročalo odmikanje pobočij, kar je v določenem smislu prav tako prvina pedipleniranja (49).

Druga posebnost so presenetljivo enake višine terciarnega sveta in terciarnih plasti ob vznožju kraških planot (ob vznožju Visokega krasa in Pivke, na obrobju Spodnje Savinjske doline, Krške kotline itd.). Čeprav je terciarni svet danes že močno razčlenjen, vidimo v teh vršinah ostanke površja, ki je imelo odločilni vpliv na izoblikovanost robnih delov sosednjih kraških planot. Videti je, da so v teh vršinah ostanke prav tako izrazitega površja, kakor so planote na karbonatnih tleh.

STAROST RELIEFA

Sprva so najstarejše dele našega površja uvrščali v eocen in oligocen, kasneje v miocen, danes pa jih stavimo v pliocensko dobo (90, 92, 93, 94). Tudi v okviru pliocena so starost reliefa predstavljali od starejšega prek srednjega v mlajši pliocen (95). Danes pripisujemo osnovne poteze reliefa v celoti pliocenski dobi, kajti starejše površje se tudi na apnencih ni moglo nikjer ohraniti zaradi intenzivne erozije oziroma korozije, čeprav je veljalo mnenje, da je zakrasevanje staro površje najboljše ohranilo.⁴

Skladno s temi spoznanji je tudi delež v pleistocenu izoblikovanega reliefa čedalje večji. Novejša proučevanja to sodbo v celoti potrjujejo, saj kažejo, da se je v pleistocenu razčlenilo površje v povprečju za več kot sto metrov globoko, (8, 12, 47, 49, 96) marsikje pa tudi za 200 ali 300 m (48). To velja sicer v glavnem za neprepustna tla, vendar so se s korozijo tudi apnenci izdatno zniževali (8, 9, 11), v višjem svetu pa tudi močno izostrili, kakor nam pričajo fosilni pobočni gruščiči in ogromne količine karbonatnega proda, ki zapolnjuje kotline in doline.

Če govorimo o vrtačastem krasu, mislimo na njegov pleistocenski razvoj. V ospredje postavljamo tedaj samo eno razvojno fazo. Ta faza je sicer značilna, a sloni na razmeroma drobnih potezah apniškega površja. Kajti osnovni črti teh pokrajin sta vsekakor njihova odprtost oziroma uravnjenost. Kakor govorimo o vrtačastem krasu, bi lahko govorili tudi o stožčastem krasu, o planotastem krasu in o fosilnem tropskem krasu. Dejansko pa gre pri našem krasu za zelo značilno prepletanost teh oblik. Ene in druge pa so razmeroma mlade, mladopliocenske in kvartarne. G a m s celo šteje, da so vzpetine značilne za vse klimatske tipe krasa in da je razlika med njimi le v obliki (8).

Nekdanje mnenje o večji starosti našega reliefa so narekovala geološka spoznanja oziroma morfogenetske študije, ki so potekale v geološki luči. Večja starost reliefa naj bi npr. dokazovala, da se je mlajša tektonika obnavljala po starejših tektonskih zasnovah. Zato je tudi paleogeografsko tolmačenje slonelo na sedanji razširjenosti terciarnih sedimentov. Zanimivo pa je dejstvo, da so zaradi večje starosti, ki so jo pripisovali temu reliefu, menili, da sta bili erozija in denudacija manj učinkoviti. Nasprotno pa danes, ko smo prepričani, da je starost tega reliefa precej manjša, menimo, da je bila denudacija v dokaj krajši dobi učinkovitejša in da je odstranila veliko terciarnih sedimentov.

Ostanki terciarnih plasti v različno visokem svetu sicer opozarjajo na diferencirano tektonsko dinamiko, ki je apniške planote dvignila različno visoko, hkrati pa je to tudi dokaz za uravnjenost in večjo preoblikovanost starejšega reliefa.

⁴ V zadnjem času se je edino Dolenjskemu krasu pripisala večja starost, češ da gre pri tem za ekskurirano površje (117). Podobno tudi Moravskemu krasu pripisujejo večjo starost (142).

Za mlajši relief govore tudi spoznanja o razmeroma veliki dinamiki današnjih morfofenetskih procesov, ki so erozijsko nagli na neprepustnem, korozijsko pa na prepustnem (karbonatnem) površju (8, 9, 11, 12, 13, 15, 95 138 b). Merjenja kažejo na zelo naglo korozijsko zniževanje površja, v nekaj milijon letih za več sto metrov (8).

Mnenje, da se je normalni relief razvijal na še nepretrtih apnencih, se je s prejšnjim pojmovanjem o večji starosti reliefa še nekako skladalo. Danes pa, ko uvrščamo »predkraški relief« v mlajši pliocen, torej v čas, ko sta bili pestra tektonska zgradba in krepka pretrtost kamnin, kakršni poznamo danes, v bistvu že ustvarjeni, so mnenja o »predkraški fazi« na nepretrtih apnencih zgubila vso veljavo.

Spoznanje, da je naš relief mlajši, kakor so menili starejši geomorfologi, je prevrednotilo tudi nekatere druge ugotovitve. To velja tudi za konzerviranost zakraselega reliefa. Nekdaj so dobro ohranjene poteze predkraškega reliefa razlagali z večjo starostjo, ki so jo pripisovali temu reliefu, in tudi z erozijo, ki naj bi bila s presihanjem rek prenehala. Danes se nam zdi ohranjenost predkraškega reliefa razumljivejša, ker smo mnenja, da je do zakrasevanja prišlo kasneje, šele na prehodu v pleistocensko dobo. Pri tem sicer tudi upoštevamo intenzivno korozijo v tem času, a jo tolmačimo tako, da je zaradi enakomernejšega delovanja ohranjala podedovane oblike. Te predkraške korozije pa starejši proučevalci še niso upoštevali.

MORFOGENETSKI POMEN VEGETACIJSKE IN PEDOLOŠKE ODEJE

Vegetacijska in pedološka odeja sta za morfofenetske procese pomembnejši, kakor se zdi na prvi pogled. Pri tem ne gre samo za bolj hudourniške in morfofenetsko učinkovitejše vode na golih ali slabo poraslih tleh in nasprotno za bolj umirjene in manj dinamične vode na zaraslem in pokritem površju. Takšne razlike je treba na našem krasu upoštevati zlasti med glacialnimi in interglacialnimi dobami in še posebno med pleistocensko in pliocensko dobo. Te razlike pa ne veljajo samo za denudacijske oziroma erozijske procese, temveč tudi za korozijo, čeprav v nasprotnem smislu. Korozija se namreč po dosedanjih spoznanjih najbolj razmahne na pokritem krasu, pod bujno vegetacijsko in pedološko odejo (8, 62). Razlika pa ni samo v intenzivnosti, temveč tudi v usmerjenosti korozijskega procesa.

Za naš goli kras je tipično, da so tla ostro in drobno razjedena. V tej mikroreliefni izjednosti se močno izražajo petrografske, razpoklinske in druge poteze kamninske sestave, skratka, poudarja se vsa različnost apnencev. Zato gre pri tem večinoma za strukturni mikrorelief.

Pri pokritem krasu je drugače. Pod vegetacijsko in pedološko odejo so apniška tla mehkih, gladkih potez. Namesto ostrorobnih škavnic so voljne ponvice, namesto nožastih škrap so zglajeni žlebovi, namesto

špičastih in razbrazdanih griž so gladke zajede in topi vmesni čoki itd. O tem se na našem krasu lahko marsikje prepričamo: v prirodnih golicah in pri različnih gradbenih odkopih kraških tal, na ogoljenih kraških gozdnih tleh, na apnencih, ki jih je razkrila erozija prsti itd. Za pokriti kras je tedaj značilna gladka korozijska podlaga, čeprav so tudi pri tem krasu razlike (138 c). Pod tanjšo in bolj prepustno preperelinsko odejo so namreč tla bolj enakomerna, kakor pod debelejšo in manj prepustno. Vzrok za to je očitno enakomernejše vlaženje tal v prvem primeru ter bolj neenakomerno v drugem (104).

Primerjava med golimi in pokritimi deli našega krasa nas torej opozarja na marsikatero morfogenetsko značilnost. Očitno je, kako se celo v sedanji zmerno topli klimi razvijajo pod preperelino gladka tla in kako so takšna tla prevladovala pod sklenjeno preperelino v pliocenski dobi. Pokriti deli krasa nas potemtakem spominjajo na pliocenske in goli deli krasa na pleistocenske razmere. Sklepamo, da je bilo pliocensko apniško površje pod debelejšo in bolj sklenjeno preperelino ter bujnejšo in bolj sklenjeno preperelino ter bujnejšo vegetacijsko odejo še bolj gladko in enakomerno. Bolj enakomerna pa so bila tla tudi zaradi drugačne klime in drugačne korozije.

Kljub takim in podobnim sklepanjem pa so hidrološke in pedološke razmere pliocenske dobe le malo znane. Proučevanje današnjih tropskih in subtropskih kraških pokrajin so dala doslej v tem pogledu še pomanjkljive rezultate, bila pa so tudi preveč usmerjena samo na morfogenezo in petrografsko sestavo tal.

Nekateri pojavi v zvezi s tropsko preperelino, zlasti z lateritom, do katerih je prišlo pri agrarnem osvajanju teh pokrajin, pa opozarjajo na zelo zanimive procese. V izkrčenem tropskem svetu, npr. v severni Avstraliji, so začele vode izločati obilico snovi, ki so prekrile tla s trdo skorjo, tako da je bila nadaljnja obdelava tal onemogočena. Očitno gre pri tem za procese, ki so v zvezi z izgubljanjem CO_2 v vodi zaradi osiromašenja vegetacije na izkrčenih tleh; odtod manjša agresivnost teh voda in izločanje v vodi raztopljenih snovi.

O podobnih pojavih poročajo z Gvinejskega primorja in Srednje Amerike. Ko so v Amazonju izkrčili tropski gozd in uredili moderno agrarno naselje Iata, so se že po nekaj letih prevlekla tla z debelo in trdo skorjo, ki je ni bilo mogoče več obdelovati. Vzrok za to naj bi bilo dejstvo, da se lateriti ob obilnem stiku z zrakom strde v trdo, boksitom podobno kamnino. Podobno si razlagajo propad nekaterih pragozdnih civilizacij v Srednji Ameriki in Indokini. S tem v zvezi vznikne vprašanje, ali se morda v teh pojavih razkrivajo procesi, ki so s spreminjanjem klime in vegetacije vtisnili v pliocenski preteklosti tudi našim kraškim ilovicam podobne lastnosti. Da so se namreč vode na njih zadrževale in razlivale ter korodirale višje obrobje. Še v sedanjih razmerah opazujemo — kot skromne odmeve nekdanjih procesov — v poletni dobi osušene in kot kamen trde kraške ilovice in mehke ter gnetljive ilovice pozimi.

ZNAČILNOSTI STIČNEGA RELIEFA

Ob stiku z neprepustnimi kamninami se na robu kraških pokrajin izoblikujejo značilne reliefne poteze. Te oblike so ob petrografskem stiku sicer najbolj tipične in izrazite, zajemajo pa v širšem smislu celotna apniška in neprepustna tla, zlasti če se ta tla med seboj prepletajo. V drobnem se morfogenetski pomen prepletanja takih tal pri nas najlepše kaže v Krškem hribovju.

Značilne oblike nastajajo sicer na enih in drugih kamninah, a se na apnencih neprimerno bolje ohranijo. Ker se v teh oblikah razkrivajo nekdanje hidrološke povezave med apnenci in neprepustnim sosedstvom, je najbolj smiselno, da jih po tej soodnosnosti tudi razvrstimo.

Na povirnih apnencih, ki so se razvijali nad neprepustnim sosedstvom, je na splošno manj uravnanega sveta in prevladujejo vzpetine (npr. Kolk, Nanos, Javornik itd.), kajti na teh apnencih gre samo za učinke avtohtone vode. Največ planega sveta je na krajeh, kjer so apniške vode izdelale robne uravnave oziroma terase, ki vise proti neprepustnemu sosedstvu.

Značilnost povirnih apnencev je vrsta zatrepnih oblik: zatrepnih dolov in dolin, zatrepnih uval in zatrepnih kraških polj. Vse te oblike visijo proti nepropustnemu obrobju. Tipične so tudi obvisle doline. Teh oblik je največ na Nanosu in sosednjem Kolku, na Snežniku, Bohinjskem grebenu, Krimu, Kočevskem Rogu, Gorjancih itd.

Na sotočnih apnencih je zaradi alohtonih voda več nižjega in uravnanega površja. Vode z nepropustnega sosedstva so na zunanjem robu alohtonih naplavin korodirale in spodjedale ter odmikale apniške vzpetine. Nastajale so uravnave in terase, ki pa so imele v primerjavi s povirnimi apnenci nasproten vodni odtok in so nagnjene od neprepustnega obrobja proti apniškemu svetu. Z diferenciranim zniževanjem enih in drugih kamnin so se na apnencih razvile slepe doline, aktivne in fosilne, ter robna kraška polja in uvale (Tomajski Kras, Senožški Kras, Matarsko podolje, Temeniško podolje s sosednjim Dolenjskim krasom itd.).

Na prečnih (transverzalnih) apnencih je največ uravnanega sveta. To površje sega sklenjeno prek apnencev, tako da gre za prave ravnike. Površje visi samo v eno smer. Za te apnence so značilne prečne doline in prečni vodni tokovi, ki so usmerjali uravnavanje površja. Z zakrasevanjem so se doline spremenile v recentne dole ali v suhe doline, če je bila vodna zveza pretrgana. Če je bil ta razvoj postopen, so suhe doline razpadle v tri dele, v slepo dolino v začetnem in zatrepno dolino v končnem delu apnencev ter v suho dolino na vmesnih apnencih. Kadar so bile vode, ki so odtekale na apnence, pretočene na neprepustnem obrobju, do nastanka slepih dolin ni prišlo. Razvoj zatrepnih dolin pa je ponekod preprečilo prestavljanje kraških izvirov. Za prečne apnence značilne oblike so npr. na matičnem Krasu, v Hrušici, na Banjščicah in sosednji Trnovski planoti, v Dobrovljah, na Poniškvi planoti, v Posavskem hribovju itd.

Posavsko hribovje oziroma Zasavje je najbolj izrazit primer prečnih apnencev. Še poseben pomen jim daje recentna Savska dolina, ki je v srednjem delu pravi apniški dol. Ob tem dolu je živo vprašanje, kako je na njegovo oblikovanost vplivalo dviganje ozemlja, kako petrografska sestava in kako ogromne količine kvartarnega proda, ki so bile pretransportirane skozi dolino, kakor dokazuje prodna akumulacija v Krški kotlini in niže navzdol. Na prvi pogled se zdi, da je imel ogromen transport tega gradiva razmeroma skromne učinke. Zato bi bila zanimiva primerjava s tistimi apniškimi doli, kjer tega transporta ni bilo (npr. dol ob zgornji Krki, ob Kolpi). Sploh je videti, da imamo v Zasavju redko priložnost opredeliti medsebojno vlogo, ki so jo imeli pri izoblikovanosti naših dolin pglavitni morfogogenetski faktorji (tektonika, petrografska sestava, klima). Zlasti še, ker je Zasavje v geološkem in terasnem pogledu že precej proučeno (20, 94, 66).

Na našem krasu je veliko slepih, a razmeroma malo zatrepnih dolin. To si razlagamo z večjim deležem, ki ga ima erozija pri slepih dolinah. Te imajo večji strmec, predvsem pa obilo gradiva, s katerim erozijo krepijo, medtem ko so kraški izviri brez transportnega gradiva.

Zanimivo, da je slepih in zatrepnih dolin, ki bi bile opuščene, na našem krasu zelo malo. Do njih pride namreč samo tedaj, ko je hidrološka zveza pretrgana. To pa se zgodi poredkoma, ker se tudi z zakrasevanjem vode koncentrirajo, kakor potrjujejo na slovenskem krasu številni primeri. Opuščene slepe doline nastanejo tedaj, kadar je hitrejše zniževanje neprepustnega sosedstva sprožilo pretočitve, opuščene zatrepne doline pa se razvijejo največkrat z naglim odpiranjem apnencev, ko si apniške vode poiščejo pot neposredno v tla.

Za robne dele apnencev, ki so imeli vodno zvezo z neprepustnim sosedstvom, je značilno, da so najbolj znižani in uravnani, vzpetine najbolj odmaknjene in pobočja najizrazitejša. Na teh apnencih so tudi stožčaste vzpetine najbolj tipične in vrtače na uravnavaah najpogostejše. Na krajnih apnencih se tudi sicer najbolj nazorno kaže genetska soodvisnost med ravnim in nagnjenim reliefom. Najizrazitejšim pobočjem ustreza tudi najizrazitejše vznožje. Nad najbolj izrazitimi uravnnavami se dvigajo najbolj strma pobočja in najizrazitejše vzpetine. Tudi prehod med ravnim in nagnjenim površjem je hiter in neposreden. Kjer pa so, nasprotno, slabo uravnana tla, so tudi pobočja, ki jih obdajajo, neizrazita in položnejša ter vznožja širša in zložnejša. Takih primerov je na našem krasu povsod dovolj. Tako so na eni strani izrazite vzpetine Skalnice in Skabrijela, na drugi Ravnica in sosednja uravnava. Na Kolku je izrazita robna uravnava okrog Otlice, nad njo pa vrsta stožcev (9). Zelo značilna je dobra uravnana Črnovrška planota ob neposrednem vznožju Kanjega dola. Zelo značilen je primer belokranjskega ravnika ob vznožju Roga. Na Gorjancih je izrazita Miklavževa planota, tik nad njo pa osrednji hrbet Gorjancev itd.

Kjer so bile med apnenci in neprepustnim sosedstvom vodne zveze že zgodaj prekinjene ali jih sploh ni bilo, so apnenci neizravnani. Velikokrat so v robnih delih celo najizrazitejše vzpetine: Čaven na robu

Trnovskega gozda, Trsteljsko hribovje na robu matičnega Krasa, Slavnik na robu rižanskega flišnega podolja itd.

Stiki med apnenci in neprepustnim sosedstvom imajo ponekod obliko strmih, nerazgibanih pobočij. Te stopnje povečini niso neposredno tektonske, temveč gre največkrat za diferencirano zniževanje starih tektonskih stikov in za razkrivanje apniških grud. Tako so nastala strukturna pobočja na primorski strani Visokega krasa, kjer ne gre samo za hitrejšo zniževanje mehkejših terciarnih plasti, temveč tudi za močno mehanično razpadanje razkritih apniških pobočij v hladni pleistocenski dobi, kakor dokazujejo tudi gruščič in breče, ki ta pobočja na široko prekrivajo. S temi procesi so se apniške stene tudi odmikale.

Mehanično razpadanje v pleistocenski dobi je poleg silikatnih tal zajelo tudi karbonatne kamnine. Pri tem ne gre samo za izdatno mehanično razpadanje apnencev v višjem svetu, temveč tudi za razpadanje apniških pobočij v nižjih legah, ki so na debelo obložene s fosilnim karbonatnim drobirjem. Razpadala pa so tudi položna tla, kakor dokazujejo z gruščič in brečami zatrpene vrtače in brezna. Vendar je na položnih tleh te procese zavrl gruščični pokrov, ki je tla zaščitil.

Ob stiku z apnenci se tudi na neprepustnem površju razvijajo značilne reliefne oblike. Tako so za doline v neprepustnih tleh značilni zatrepi; začetni deli dolin so ožji in se pobočja razmaknejo šele niže ob toku. Na začetku dolin je ob kraških izviroh sicer močan, koncentriran dotok vode, a so te vode povečini zajezone in brez gradiva in so morfogenetsko šibkejšje. Šele mehanično razpadanje apnencev je ustvarilo močan dotok gradiva, ki je pripomogel tudi do prostorneje izoblikovanih dolin.

Apniške pokrajine so še danes v položaju, ki ustreza različnim fazam preteklega razvoja. Imamo celo primere, značilne za pliocensko petrografsko hipsografijo z višjim terciarjem nad nižjimi apnenci: Brkini — Matarsko podolje, Senožeška brda — Senožeški kras, Idrijsko hribovje — Vojskarska planota, Rovte — Logaški kras itd. Drugod so apniške pokrajine v višini neprepustnih plasti, ki apnence zapirajo, kakor je bilo značilno za pliocen: Ponikevska planota, Novomeški kras itd. Večinoma pa so današnje razmere take, da jo neprepustni obod znižan in višinske razlike med apnenci ter neprepustnim sosedstvom velike. Zajezeni so kvečjemu najnižji deli apnencev, na splošno pa so apnenci naših kraških pokrajin na široko odprti.

LITERATURA

1. J. Roglič, 1956, Karstprozess und fluviatile Erosion, Report of the Commission on Karst Phenomena, Rio de Janeiro.
2. J. Roglič, 1957, Zaravni na vapnencima, Geografski glasnik, XIX, Zagreb.
3. J. Roglič, 1957, Quelques problemes fondamentaux du karst, L'information géographique, Paris.

4. J. Roglič, 1964, »Karstvalleys« in the Dinaric Karst, Erdkunde, XVIII, 2, Bonn.
5. A. Melik, 1961, Fluvialni elementi v krasu, Geografski zbornik, VI, SAZU, Ljubljana.
6. A. Melik, 1962/63, O dolih na krasu, Arheološki vestnik, XIII—XIV, Ljubljana.
7. I. Gams, 1962, Slepe doline v Sloveniji, Geografski zbornik SAZU, VII, Ljubljana.
8. I. Gams, 1965, H kvartarni geomorfogenezi ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerkniškim poljem, Geografski vestnik XXXVII, Ljubljana.
9. P. Habič, 1968, Kraški svet med Idrijo in Vipavo, SAZU, Dela 11, Ljubljana.
10. R. Gospodarič, P. Habič, 1966, Črni potok in Lekinka v sistemu podzemeljskega odtoka iz Pivške kotline, Naše jame, VIII, Ljubljana.
11. D. Radinja, 1964, Nova morfogogenetska spoznanja matičnega Krasa, tipkopis Ljubljana.
12. D. Radinja, 1967, Vremenska dolina in Divaški Kras, Geografski zbornik SAZU, X, Ljubljana.
13. I. Gams, 1962, Meritve korozijske intenzitete v Sloveniji in njihov pomen za geomorfologijo, Geografski vestnik, XXXIV, Ljubljana.
14. I. Gams, 1964, Velo polje in problem pospešene korozije, Geografski vestnik, XXXV, Ljubljana.
15. I. Gams, 1966, Faktorji in dinamika korozije na karbonatnih kame-ninah slovenskega dinarskega in alpskega krasa, Geografski vestnik, XXXVIII, Ljubljana.
16. H. Örtli, 1953, Karbonathärte von Karstwassern, Stalactite, Z. f. Schw. Ges. f. Höhlenforsch, 4, Bern.
17. J. Corbel, 1956, Le Karst proprement dit, etude morphologique, Revue de géographie de Lyon, Lyon.
18. Corbel, Sthoutkov, Franck, Muxart, 1965, Chemical Erosion in the Moravian Karst, Problems of the Speleological Research, Prague.
- 18 a. Prvi jugoslovanski geološki kongres, Ljubljana, 1956.
19. F. Jenko, 1959, Hidrogeologija in vodno gospodarstvo krasa, Ljubljana.
- 19 a. I. Rakovec, 1959, Geološka zgodovina ljubljanskih tal, Ljubljana.
20. M. Pleničar, A. Nosan, 1958, Paleogeografija panonskega obrobja v Sloveniji, Geologija, 4, Ljubljana.
21. A. Grimšičar, 1954, O montmorillonitnih glinah na Dolenjskem, Geologija, 2, Ljubljana.
22. H. Pireau, 1958, Zur Stratigraphie und Tektonik jungtertiärer Ablagerungen im nordwestlichen Krško polje, Geologija — razprave in poročila, Ljubljana.
23. A. Melik, 1962, Geografski pregled Dolenjske, Dolenjska zemlja in ljudje, Novo mesto.
24. I. Gams, 1964, Geomorfologija na razpotju, Geografski obzornik XI, 2, Ljubljana.
25. D. Radinja, 1969, Šentjernejski vršaj v luči morfogogenetske problematike Krške kotline, Ljubljana 1969 (tipkopis).
26. D' Ambrosi, 1960, Sviluppo e caratteristiche geologiche della serie stratigrafiche del Carso di Trieste, Boll. Soc. Adr. Sc. Naturali, LI, Trieste.
27. W. Maucci, 1960, Evoluzione geomorfologica del Carso Triestino
27. W. Maucci, 1960, Evoluzione geomorfologica del Carso Triestino succesiva all'emersione definitiva, Bol. Soc. Adr. Sc. Nat. Trieste.
28. A. Winkler, 1957, Geologisches Kräftespiel und Landformung, Wien.

29. S. Uccellini s sodelavci, 1962, Podmorska geološka ispitivanja na prostoru zapadne i severne obale Istre, Institut za naftu, Zagreb.
30. M. Pleničar, 1956/57, Geološki izleti na Snežnik, Proteus, XIX, Ljubljana.
31. F. Teller, 1898, Die miocänen Transgressionrelicte bei Steinbrück an der Save, Vhdl. geol. R. A., Wien.
32. D. Radinja, 1950, Stratigrafske in tektonske razmere terciarnih sedimentov v laški sinklinali, Geološki inštitut, Prirodoslovna fakulteta v Ljubljani (tipkopis).
33. A. Nosan, 1956, Razvoj oligocena in miocena v Sloveniji, Prvi jugosl. geol. kongres, Ljubljana.
34. I. Rakovec, 1935, Geološki vodnik po muzeju, Ljubljana.
35. Arhivi premogovnika Sečovelje, Vremski Britof in Ilirska Bistrica (Geološka in rudarska poročila) Sekretariat za industrijo SRS, Ljubljana.
- 35 a. Arhiv premogovnika Zagorje, Geološka in rudarska poročila, Zagorje 1960.
36. S. Buser, 1964, Geološko kartiranje Trnovskega gozda in Vipavske doline, Ljubljana, Geološki zavod (tipkopis).
37. S. Buser, 1965, Geološke razmere v Trnovskem gozdu, Geografski vestnik, XXXVII, Ljubljana.
38. P. Z. Stabo, 1964, Neue Daten und Beobachtungen zur Kenntnis der Palaökarsterscheinungen in Ungarn, Symposium der Karstkommision der IGU, Erdkunde, 2, Bonn.
39. P. Jovanović, 1924, Zagačeni karst, Zbornik radova posvećen Jovanu Cvijiću, Beograd.
40. G. Stache, 1859, Die Eocengebiete in Inner-Krain und Istrien, Jahrb. Geol. R. A., Wien.
41. A. Winkler, 1923, Über den Bau der östlichen Südalpen, Mitt. d. Geol. Ges., Wien.
42. F. Kossmat, 1906, Das Gebiet zwischen dem Karst und dem Zuge der Julische Alpen, Jb. Geol. R. A., Wien.
43. F. Kossmat, 1909, Der küstenlandische Hochkarst und seine tektonische Stellung, Verh. Geol. R. A., Wien.
44. F. Kossmat, 1913, Die adriatische Umrandung in der alpinen Faltenregion, Mitt. Geol. Ges., Wien.
45. L. Zlebnik, 1963, Geološko poročilo o projektu HE Solkan, Geološki zavod, Ljubljana (tipkopis).
46. D. Radinja, 1967, Morfogenetske poteze Goriškega polja, Geogr. vestnik, XXXIX, Ljubljana.
47. M. Sifrer, 1961, Porečje Kamniške Bistrice v pleistocenu, SAZU, IV, Ljubljana.
48. M. Sifrer, 1969, Kvartarni razvoj Dobrav na Gorenjskem, Geografski zbornik SAZU, Ljubljana, XI.
49. D. Radinja, 1964, Morfogenezna Vipavske doline, Ljubljana (tipkopis).
50. D. Furlan, 1953, Nova padavinska karta Slovenije, Geografski vestnik XXV, Ljubljana.
51. D. Furlan, 1960, Klimatska razmejitev Slovenije, Geografski vestnik XXXII, Ljubljana.
52. A. Melik, 1959, Nova geografska dognanja v Trnovskem gozdu, Geografski zbornik SAZU, IV, Ljubljana.
53. M. Sifrer, 1959, Obseg pleistocenske poledenitve na Notranjskem Snežniku, Geografski zbornik SAZU, V, Ljubljana.
54. A. Melik, 1955, Kraška polja Slovenije v pleistocenu, SAZU, Dela 3, Ljubljana.
55. I. Rakovec, 1956, Razvoj pleistocena v Sloveniji, Prvi jugoslovanski geološki kongres, Ljubljana.

56. A. Šercelj, 1965, Paleobotanične raziskave in zgodovina Ljubljanskega Barja, *Geologija*, 8, Ljubljana.
57. A. Šercelj, 1962, O kvartarni vegetaciji na Slovenskem, *Geologija*, 7, Ljubljana.
58. I. Rakovec, 1954, Povodnji konj iz Pivške kotline, SAZU, Razprave, Ljubljana.
59. I. Rakovec, 1954, O novi najdbi mastodonovih ostankov na Slovenskem, *Geologija*, 2, Ljubljana.
60. K. Drobne, 1967, Izkopavanje mastodona v Škalah pri Velenju, *Geologija*, 10, Ljubljana.
61. D. Kuščer, 1967, Zagorski terciar, *Geologija*, 10, Ljubljana.
62. Lehmann, Krömmelbein, Lötscher, 1956, Karstmorphologische, geologische und botanische Studien in der Sierra de los Organos auf Cuba, *Erdkunde*, X, 3, Bonn.
63. H. Louis, 1956, Die Entstehung der Poljen und ihre Stellung in der Karstabtragung auf Grund von Beobachtungen im Taurus, *Erdkunde*, 10, Bonn.
64. R. Gospodarič, 1965, *Geologija ozemlja med Postojno, Planino in Cerknico*, Inštitut za raziskovanje krasa SAZU, Postojna.
65. D. Radinja, 1968, Sledovi silikatnega proda in peska v Posavskem hribovju, Ljubljana (tipkopis).
- 65 a. D. Radinja, 1969, Sledovi silikatnega proda in peska na Dobrovljah in Konjiškem pogorju, Ljubljana (tipkopis).
66. D. Meze, 1969, Kvartarni sedimenti v Zgornjem Posavju, Ljubljana, SAZU (tipkopis).
67. M. Šifrer, 1962, Prispevki o geomorfologiji Novomeške kotline, Dolenjska zemlja in ljudje, Novo mesto.
68. F. Kossmat, 1916, Die morphologische Entwicklung der Gebirge im Isonzo und oberen Savagebiet, *Zeitschrift d. Gess. f. Erdkunde*, Berlin.
69. M. Brodar, 1959, Mokriška jama, nova visokoalpska aurignaška postaja v Jugoslaviji, *Razprave SAZU*, IV, Ljubljana.
70. M. Šifrer, 1960, Prod v okolici Ilirske Bistrice, *IG SAZU*, Ljubljana (tipkopis).
71. C. Germovšek, 1955, Poročilo o raziskavi kremenčevih peskov pri Mokrem polju, Geološki zavod, Ljubljana (tipkopis).
72. A. Moretti, 1960, Ležišča in izraba kremenovega peska na Dolenjskem, *Geografski obzornik*, 1960, 1—2, Ljubljana.
73. J. Roglič, 1958, Odnos riječne erozije in krškog procesa, Zb. radova V. kongresa FNRJ, Cetinje.
74. A. Winkler, 1922, *Geomorphologische Studien im Mittleren Isonzo und oberen Savagebiet*, *Jahr. Geol. B.*, 72, Wien.
75. Strokovna poročila, Podjetje Kremen, Novo mesto (tipkopis).
76. R. Gospodarič-Pohar, 1966, Geološka svojstva nahajališč železovih rud, železar, 8/1 Jesenice.
77. S. Brodar, 1952, Prispevek k stratigrafiji jam Pivške kotline, posebej Parske golobine, *Geografski vestnik*, XXIV, Ljubljana.
78. F. Osole, 1959, Analiza pleistocenskih jamskih sedimentov, *Geologija*, 5, Ljubljana.
79. -1965, Projekt, HE Trnovo, Geološko poročilo, Elektroprojekt Ljubljana (arhiv).
80. Morganti, Mosetti, Tongiorgi, 1966, *Moderne indagini idrologiche nella zona di Gorizia*, *Boll. d. Geofisica teorica ed applicata*.
81. D. Ravnik, Geoelektrične raziskave na Ljubljanskem polju, Geološki zavod, Ljubljana (tipkopis).
82. M. Pleničar, 1954, Obmurska naftna nahajališča, *Geologija*, 2, Ljubljana.

83. R. Gospodarič, 1963, Sledovi tektonskih premikov iz ledene dobe v Postojnski jami, Naše jame, 1—2, Ljubljana.
84. A. Winkler, 1923, Über die Beziehungen zwischen Sedimentation, Tektonik und Morphologie in der jungtertiären Entwicklungsgeschichte der Ostalpen, Sitzb. Akad. Wiss., Wien.
85. D. Ravnik, Geolektrične raziskave na Ljubljanskem Barju, Geologija, 8, Ljubljana.
86. A. Bögli, 1964, Mischkorrosion — ein Beitrag zum Verkarstungsproblem, Erdkunde, XVIII, 2, Bonn.
87. J. Corbel, 1959, Erosion en terrain calcaire, Annales de Géographie, 366, Paris.
88. A. Bögli, 1956, Der Chemismus der Lösungsprozesse und der Einfluss der Gesteinsbeschaffenheit auf der Entwicklung des Karstes, Report of the Commission on Karst Phenomena, XVIII international Geographical Congress, Rio de Janeiro.
89. A. Bögli, 1961, Karrentische, ein Beitrag zur Karstmorphologie, Zeitschrift f. Geomorphologie, Bonn.
90. R. Klebersberg, 1922, Die Haupt-Oberflächensysteme der Ostalpen, Vhdl, geol. B. A. Wien.
91. W. Penck, 1924, Die morphologische Analyse, Stuttgart.
92. A. Winkler, 1926, Das jüngere Entwicklungsbild der Ostalpen. Z. Ges. Erdk., Berlin.
93. A. Winkler, 1923, Über die Beziehungen zwischen Sedimentation, Tektonik und Morphologie in der jungtertiären Entwicklungsgeschichte der Ostalpen, Sitz. Akad. Wiss., Wien.
94. I. Rakovec, 1931, Morfološki razvoj v območju Posavskih gub, Geografski vestnik, VII, Ljubljana.
- 94.a A. Melik, 1928, Pliocensko porečje Ljubljanice, Geografski vestnik, IV, Ljubljana.
95. I. Gams, 1955/56, O intenzivnosti recentnega preoblikovanja in o starosti reliefa v Sloveniji, Geografski vestnik, XXXVII—XXXVIII, Ljubljana.
96. D. Meze, 1966, Gornja Savinjska dolina, Nova dognanja o geomorfološkem razvoju pokrajine, SAZU, Dela 20, Ljubljana.
97. A. Winkler, 1923, Über den Bau der östlichen Südalpen, Mitt. d. Geol. Ges., Wien.
98. A. Šercelj, 1963, Razvoj würmske in holocenske gozdne vegetacije v Sloveniji, Razprave, VII. SAZU, Ljubljana.
99. I. Gams, 1963, Klasifikacija kraških voda Slovenije v pogledu morfogenetskih sposobnosti, Treći jugoslovenski kongres, Sarajevo.
100. I. Gams, 1959, H geomorfologiji kraškega polja Globodola in okolice, Acta carsologica, Ljubljana.
101. C. Germovšek, 1956, Razvoj mezozoika v Sloveniji, Prvi jugoslovanski geološki kongres, Ljubljana.
102. M. Pleničar, 1956, Razvoj paleocena in eocena v Sloveniji, Prvi jugoslovanski geološki kongres, Ljubljana.
103. V. Očepek, 1962, Mineraloška sestava kremenovih peskov iz nekaterih nahajališč v Sloveniji, Geologija, 7, Ljubljana.
104. A. Hrovat, 1960, Zanimivosti pri gradnji avtomobilske ceste Ljubljana—Zagreb, Geologija, 6, Ljubljana.
105. C. Germovšek, 1955, O geoloških razmerah na prehodu Posavskih gub v Dolenjski kras med Stično in Šentrupertom, Geologija, 3, Ljubljana.
106. W. Klaer, 1957, Karstkegel, Karstinselberg und Poljeboden am Beispiel des Jezero-poljes, Petermanns Geographische Mitteilungen, Gotha, 2.
107. H. Louis, 1956, Das Problem der Karstniveaux, Report of the Commission on Karst Phenomena, Rio de Janeiro.

108. A. Melik, 1928, Pliocensko porečje Ljubljane, Geografski vestnik IV, Ljubljana.
109. A. Melik, 1951, Pliocenska Pivka, Geogr. vestnik, XIII, Ljubljana.
110. G. T. Warwick, Dry Valleys of the Southern Pennines, England, Symposium der Karstkommission der IGU, Erdkunde, XVIII, 2, Bonn.
111. S. Gilewska, 1964, Fossil Karst in Poland, Symposium der Karstkommission der IGU, Erdkunde, XVIII, 2, Bonn.
112. I. Gams, 1965, Aperçu sur l'hydrologie du Karst Slovène et sur ses communications souterraines, Naše jame, 7, Ljubljana.
113. D. I. Smith, 1969, The Solutional Erosion of Limestones in an Arctic Morphogenetic Region, Problems of the Karst Denudation, Studia geographica, 5, Brno.
114. L. Sribar, 1967, O sedimentih na meji kreda—terciar v južni Sloveniji, Geologija 10, Ljubljana.
115. M. Šifrer, 1959, Neke osobenosti razvoja reljefa u pleistocenu, Zb. radova V. kongresa, Cetinje.
116. V. Kokole, 1956, Morfologija Šavrinskega gričevja, Geografski zbornik, IV, SAZU, Ljubljana.
117. M. Šifrer, 1970, Nekateri geomorfološki problemi Dolenskega krasa, Naše jame, 11, Ljubljana.
118. K. Grad, 1962, O starosti fliša pri Kališah, Geologija 7, Ljubljana.
119. C. Germovšek, 1953, Poročila o raziskavi kremenčevih peskov pri Mokrem polju (tipkopis).
120. C. Germovšek, 1953, Zgornje kredni klastični sedimenti na Kočevskem in v bližnji okolici, Geologija, 1, Ljubljana.
121. M. Šifrer, 1967, Kvartarni razvoj doline Rašice in Dobrega polja, Geografski zbornik, X, SAZU, Ljubljana.
122. M. Šifrer, 1969, Kvartarni razvoj doline Krke, GI SAZU (tipkopis).
123. A. Melik, 1963, Slovenije I, Ljubljana.
124. R. Gospodarič, 1968, Über einige klastische Sedimente im Slowenischen Karst, Actes IVe CIS (1965), Ljubljana.
125. A. Rjazancev, 1963, Bobovci Julijskih Alp, Železar, 5/2, Jesenice.
126. R. Gospodarič, 1970, O limonitnih prodnikih na Postojnskem krasu, Naše jame, 11, Ljubljana.
127. H. Lehmann, 1954, Der tropische Kegelarst auf den Grossen Antillen, Erdkunde, VII, Bonn.
128. Č. Nagode, 1931, Étude géologique et géographique relative au réseau ferroviaire projeté en Yougoslavie occidentale, Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique, IV/1, Paris.
129. I. Gams, 1961, H geomorfologiji Bele Krajine, Geografski zbornik, VI, SAZU, Ljubljana.
130. V. Kokole, 1953, Morfološki razvoj področja med Savo in Sotlo, Geografski vestnik, XXV, Ljubljana.
131. J. Rus, 1925, Morfogenetske skice iz notranjskih strani, Geografski vestnik, I, Ljubljana.
132. C. Šlebinger, 1967, Fosilna tla in morfogeneza dolomitnega in notranjskega krasa, Zbornik biotehniške fakultete, Ljubljana.
133. J. Büdel, 1951, Fossiler Tropenkarst in der Schwabischen Alb und den Ostalpen, Erdkunde, V, Bonn.
134. J. Corbel, 1957, Les Karsts du Nord-Ouest de l'Europe et de quelques régions de comparaison, Lyon.
135. J. Corbel, 1956, Le Karst proprement dit, Etude morphologique, Revue de Géographie de Lyon, 4, Lyon.
136. Dainelli, 1940, Atlante fisico-economico d'Italia, Milano.
137. A. Melik, 1951, Pliocenska Pivka, Geografski vestnik, XXIII, Ljubljana.
138. A. Melik, 1956, Pliocenska Soča, Geografski zbornik, IV, SAZU, Ljubljana.

- 138.a M. Šifrer, 1965, Nova geomorfološka dognanja v Koperskem primorju, Geografski zbornik, IX, Ljubljana.
- 138.b I. Gams, 1956, Pitanja recentnosti i fosilnosti na Slovenskem Krasu. Izv. o radu IV. Kongresa geogr. FLRJ, Beograd.
- 138.c I. Gams, 1971, Podtalne kraške oblike, Geografski vestnik, XLIII, Ljubljana.
139. H. Lehmann, 1960, Sierra de les Organes, Cuba, Intern. Atlas of Karst Phenomena, Zeit. f. Geomorph. 2, Göttingen.
140. H. Wissman, 1954, Der Karst der humiden heissen und sommerheissen Gebiete Ostasiens, Erdkunde, VIII, Bonn.
141. P. Szabo, 1964, Neue Daten und Beobachtungen zur Kenntnis der Palaökarsterscheinungen in Ungarn, Erdkunde, XVIII, Bonn.
142. V. Panoš, 1964, Der Urkarst im Ostflügel der Böhmisches Masse, Zeit. f. Geomorph, 8, Berlin.

LA KARSTIFICATION ET L'ÉVOLUTION GÉNÉRALE DU RELIEF EN SLOVÉNIE

Résumé

Pour le karst classique de la Slovénie sont régionalement caractéristiques les plateaux karstiques au relief intermédiaire plus bas, composé en majeure partie de couches imperméables tertiaires et autres. Ces rapports hypsographiques entre les reliefs karstique et fluvial attirent l'attention sur les caractéristiques morphogénétiques de base du relief entier.

A ces différences d'altitude il ne s'agit pas seulement de la dépendance de la structure tectonique, mais bien plus de la dépendance de la composition pétrographique de la surface et des processus morphogénétiques conditionnés par le climat. Les rapports hypsographiques actuels du relief pétrographiquement différent s'accordent en effet avec les processus morphogénétiques d'aujourd'hui, car a surface carbonaté dans le climat présent est plus résistant que les couches imperméables tertiaires et autres.

Pour les plateaux karstiques, il est en outre caractéristique que vers les bords ils sont de plus en plus aplanis. C'est pourquoi la découpeure de la superficie au bord des plateaux est d'autant plus expressive et caractéristique. A côté des aplanissements, au bord des plateaux sont interrompus aussi d'autres traits du relief; tous cependant restent tout simplement suspendus au-dessus du voisinage plus bas.

La découpeure et la suspension du relief en plateau font observer que la superficie calcaire s'est formée en liaison large et fermée avec le voisinage imperméable, lorsque la surface carbonaté et non carbonaté étaient encore à la même altitude, et en bien des endroits la superficie imperméable était même plus élevée que la superficie karstique. Il est donc évident que la superficie des plateaux karstiques d'aujourd'hui s'est formée dans des rapports hypsographiques essentiellement différents de ceux d'aujourd'hui.

Des traces diverses appellent l'attention sur les rapports d'altitude autrefois différents entre les superficies karstique et imperméable. Parmi les formes de relief, cela est indiqué surtout par les vallées karstifiées qui traver-

sent les plateaux karstiques. La genèse des vallées sèches est peut-être contestable à la lumière des processus érosifs et corrosifs. Il est cependant incontestable que les vallées karstifiées ont fait partie du relief fluvial ancien qui embrassait une superficie pétrographiquement différente et s'étendait au-delà des couches perméables et imperméables. Les vallées transversales délaissées ne témoignent pas seulement des rapports hypsographiques, mais font observer aussi la liaison ancienne entre les surfaces karstique et fluviale.

Les rapports d'altitudes correspondants et la liaison de ce relief sont attestés aussi par les traces de l'accumulation fluviale qui s'est conservée sur la surface karstique jusqu'à nos jours mêmes.

Ces traces ne se trouvent pas seulement dans les vallées sèches, qui sont si caractéristiques pour le karst classique, mais encore sur le reste de la superficie karstique, surtout sur les terrasses et les aplanissements. Les recherches faites en Slovénie au cours des dernières années ont découvert des traces d'accumulation fluviale presque dans toutes les régions karstiques. Il y a tant de restes de ce genre que nous pouvons les ranger parmi les traits caractéristiques du karst classique (alpin et dinarique). Mais ici nous devons considérer que sur les plateaux karstifiés ne s'est conservée qu'une partie insignifiante de l'accumulation. Ne se sont conservés que les matériaux fluviaux qu'en raison de leur composition silicatée la corrosion n'a pas pu anéantir, tandis que les additions carbonatées sont dissoutes. Les restes d'accumulation sont de ce fait réduits quand à leur étendue et surtout quant à leur structure. Il est donc compréhensible qu'il n'y a parmi eux presque exclusivement que des galets de quartz et du sable. Les graviers silicatés moins purs sont, par contre, fortement altérés.

Les matériaux fluviaux, qui se sont conservés sur la surface karstique, sont très importants pour la compréhension de la morphogenèse karstique. Il faut cependant être prudent dans l'interprétation, parce que la genèse de ces matériaux est très différente. Les études effectuées montrent en effet que les galets de quartz sont d'origine hétérogène et, si nous n'en tenons pas compte, les conclusions peuvent être très différentes et erronées.

Par endroits, les matériaux fluviaux se composent de galets de quartz qui ne sont rien d'autre que le reste de la couverture tertiaire ancienne, qui recouvrait les calcaires. Des conglomérats décomposés, qui étaient parmi la couverture, se sont détachés les graviers silicatés qui se sont maintenus à la superficie calcaire pendant tout le cours de la karstification. Ces graviers n'ont évidemment pas de liaison directe avec la genèse de la superficie karstique. Ils ont cependant leur importance, parce qu'ils indiquent une plus grande extension des sédiments tertiaires et évidemment la couverture imperméable qui recouvrait les calcaires.

Plus importants du point de vue morphogénétique sont les restes fluviaux qui furent apportés du voisinage imperméable. Ces sédiments allochtones sont aussi les plus nombreux sur la surface karstique. Ces matériaux proviennent en majorité dans les régions karstiques subméditerranéennes des couches de flysch voisines, dans les régions subpannoniennes des différents sédiments néogènes et, dans les régions karstiques de la Slovénie intérieure,

ces restes proviennent pour la plupart des couches paléozoïk (conglomérats et grès).

L'accumulation fluviale allochtone aussi est d'origine différente. Moins importante du point de vue morphogénétique est celle qui s'est formée par la démolition et l'enlèvement des couches clastiques grossières. La deuxième partie de l'accumulation allochtone se compose des galets qui se sont reformés à partir des roches silicatées compactes (par ex. les galets des couches de flysch). Il s'agit ici des matériaux qui se sont formés lors du transport des matériaux silicatés et se sont en partie transformés déjà sur la surface calcaire. Les matériaux ainsi formés appellent l'attention sur les processus fluviaux ex autres, qui se sont déroulés à la superficie calcaire elle-même.

La plus importante est cependant l'accumulation fluviale qui s'est formée à l'intérieur des régions calcaires. Il s'agit de matériaux fluviaux autochtones qui se sont formés à partir des rares intercalations silicatées, qui se trouvent entre les calcaires et les autres roches carbonatées (par ex. les silex et les limonites). La signification morphogénétique des alluvions autochtones réside dans le fait qu'il s'agit de matériaux qui se sont formés exclusivement sur la surface calcaire. Ils nous révèlent les processus qui ont créé la superficie karstique. Ici, il est tout particulièrement important de noter qu'à côté des galets silicatés se sont formés aussi des galets carbonatés. Ces derniers ont cependant été détruits plus tard par la corrosion. La présence des galets carbonatés est attestée surtout par la porosité du conglomérat, dans lequel se sont conservés seulement les graviers silicatés, tandis que les graviers carbonatés ont été lessivés. C'est de là que provient la porosité caractéristique des restes de conglomérat, qui se sont conservés au coeur du Karst même.

Les restes de l'accumulation fluviale autochtone sur la superficie karstifiée prouvent qu'à la superficie calcaire se sont affirmés différents processus morphogénétiques, parmi lesquels il y avait sans nul doute aussi des processus fluviaux ou érosifs. En connexion avec cela se pose la question de savoir quelle part l'érosion a eue dans le processus morphogénétique entier, qui s'est déroulé à l'époque pliocène dans les régions calcaires du karst classique, surtout par rapport à la corrosion. Il est clair cependant que l'interprétation érosive ou corrosive du karst classique ne peut plus être posée d'une manière alternative, mais tout au plus complémentaire.

En Slovénie, les restes de l'accumulation fluviale se sont conservés des plateaux karstiques les plus élevés au coeur des Alpes Juliennes (Komna), où ils se trouvent à une altitude d'environ 2000 m, au karst le plus bas au bord de la Plaine pannonienne (karst de Novo mesto) et de la mer Adriatique (Karst proprement dit), où ils sont à une altitude d'à peine 200 ou 300 m.

L'extension sur la superficie karstique des restes fluviaux conservés montre plusieurs traits caractéristiques. Ces restes sont les moins nombreux sur les plateaux centraux plus élevés de la Slovénie intérieure, et les plus nombreux dans les régions karstiques plus basses des bordures subméditerranéenne et subpannonienne. Le volume des galets et du sable augmente donc de la Slovénie intérieure vers la bordure tertiaire. C'est en cette direction qu'augmente aussi la variété de l'accumulation fluviale.

Les matériaux paléofluviaux se sont conservés d'une manière différente sur la surface karstique. Par endroits, ils ne se composent que de rares graviers dans l'argile karstique, tandis qu'ailleurs sur la surface karstifiée il y a plus de galets de quartz, surtout dans les vallées sèches, et sur les aplanissements ils sont surtout dans les dolines. Par endroits, les gouffres karstiques aussi sont comblés de galets de quartz. A la bordure pannonienne, dans la surface karstique il y a de nombreuses poches de sables quartzueux purs (karst de la Dolenjska — Basse Carniole) en une quantité telle qu'on les exploite industriellement (sables de fonderie et de verrerie).

Les galets de quartz, conservés sur la surface karstique, sont partout bien arrondis. Selon la méthode de Cailleux, il s'agit de l'arrondissement qui est caractéristique pour les sédiments qui se sont formés en climat chaud. Le pollen aussi, qui s'est conservé parmi les matériaux paléofluviaux (dans l'argile et les grès) indique que l'accumulation fluviale s'est déposée en période chaude.

Dans les régions karstiques, les restes fluviaux sont localement sur-sédimentés en raison de la karstification postérieure. Comme les dolines sont sans nul doute d'âge pléistocène, il est évident que les restes fluviaux n'ont été dénudés que plus tard en dépressions karstiques.

Les restes de l'accumulation fluviale sur les plateaux karstiques d'altitudes différentes ne témoignent pas seulement de la liaison morphogénétique de la superficie calcaire et du voisinage imperméable, mais encore du fait qu'à l'époque pliocène les couches imperméables tertiaires et autres étaient en bien des endroits plus élevées que la surface calcaire. Nous attribuons un tel rapport hypsographique entre les calcaires et le voisinage imperméable avant tout au climat pliocène chaud et humide, dans lequel la corrosion intensive abaissait plus vite la superficie carbonatée. Par contre, à l'époque quaternaire plus froide, surtout dans les périodes glaciaires, ce rapport s'est détruit, parce que la forte décomposition mécanique la surface avec l'érosion renforcée abaissa plus vite les couches tertiaires alors moins résistantes. Ainsi, les rapports hypsographiques entre les superficies carbonatée et non carbonatée furent toujours en accord avec les processus morphogénétiques conditionnés par le climat. C'est pourquoi il y a eu relativement peu de relief inversé. Un exemple manifeste de ce genre de relief sont les hauteurs de flysch au bord du Karst proprement dit (Brkini). Nous l'interprétons comme un reste des couches de flysch autrefois bien plus étendues, qui s'élevaient au-dessus des masses calcaires voisines (Nanos, Hrušica, Javorniki, Snežnik, Kras proprement dit). Les processus exogènes conditionnés par le climat étaient plus déterminants que les processus tectoniques au moment où le relief se formait. En ce qui concerne l'âge, nous rangeons ce relief dans le pliocène plus jeune et le pléistocène.

Les traces de l'accumulation fluviale conservées sur les plateaux karstiques ne témoignent pas seulement des rapports d'altitudes correspondants, mais encore d'une composition pétrographique de la surface différente. Au pliocène, le relief se composait de bien plus de couches tertiaires. Cela nous est attesté aussi par les restes de dénudation de ces sédiments, qui se

sont conservés sur le relief fluvial et aux bords des plateaux karstiques (Trnovski gozd, Nanos, Snežnik, Posavje, etc.).

La composition pétrographique de la surface ne s'est pas transformée seulement par suite du soulèvement tectonique et de la dénudation révivée, mais en premier lieu en raison des changements climatiques. Les études effectuées montrent qu'au pléistocène se sont plus vite abaissées les couches tertiaires et imperméables en général. Dans cette période, les vallées se sont approfondies d'environ 150 m, alors que la superficie calcaire s'abaissait bien plus lentement. C'est pourquoi, vers la fin du pliocène, et surtout dans la période suivante du pléistocène, les régions calcaires se sont transformées en des plateaux de plus en plus expressifs.

En raison des processus érosifs et corrosifs déviés climatiquement, aux périodes pliocène chaude et pléistocène froide se sont donc transformés à la fois aussi bien la composition pétrographique de la surface que le rapport d'altitude entre les roches de part et d'autre. Mais les deux phénomènes avaient une signification déterminante pour le développement du relief karstique.

L'éloignement progressif de la couverture tertiaire et la dénudation du fondement carbonaté, ensemble avec les changements climatiques et les rapports hypsographiques modifiés entre les reliefs karstique et voisin, étaient parmi les traits les plus caractéristiques qui accompagnèrent la karstification du karst classique en Slovénie.

Le trait fondamental suivant de la karstification est le fait que les calcaires dénudés étaient largement entourés et revêtus de couches imperméables. Dans les calcaires ainsi fermés, la circulation souterraine de l'eau ne pouvait pas non plus se déployer, sans considérer que dans la période pliocène chaude il n'y avait pas de conditions convenables pour la corrosion en profondeur, parce qu'alors se déroulait la corrosion intensive et à la fois rapide qui s'épuisait déjà en surface. Evidemment la corrosion en profondeur ou le creusement des calcaires à cette période était empêché aussi par l'hypsographie d'alors avec des calcaires plus bas et un voisinage imperméable plus élevé. Dans de telles conditions, l'hydrographie superficielle s'est tout le temps maintenue sur la surface carbonaté. C'est pourquoi la superficie calcaire au pliocène a été transformée par les processus qui réunissaient l'activité corrosive et érosive à la fois. L'érosion des eaux superficielles dirigeait la corrosion, en sorte que les régions calcaires restèrent tout le temps ouvertes. Les conditions pour l'aplanissement des calcaires étaient alors aussi les plus favorables. Il en arriva à des formes superficielles fermées (des dolines, uvalas et poliés karstiques) et à la perforation des calcaires seulement à la période pléistocène froide, lorsqu'avec l'abaissement du voisinage imperméable les calcaires furent largement ouverts et qu'en raison de son cours long la corrosion alla en profondeur. Nous estimons que dans la période où sur la surface karstique coulaient les eaux superficielles, donc à la phase antékarstique, la corrosion était plus intensive qu'à la période pléistocène. Donc, l'érosion et la corrosion ne se substituaient pas dans le temps et leur évolution, mais elles s'entrelaçaient directement à la période pliocène.

En raison de l'alternance des calcaires et des couches imperméables, les régions karstiques particulières étaient largement revêtues par la bordure imperméable et, par là, fermées, endiguées. L'évolution de la superficie karstique dépendait donc à ce point de vue aussi directement de la bordure imperméable. Et l'évolution du relief normal dépendait aussi du voisinage karstique. La liaison réciproque et la dépendance de l'un et l'autre relief étaient plus grandes que nous l'estimons ordinairement, surtout parce que nous étudions le relief karstique d'une manière trop isolée. Les parties carbonatées et non carbonatées de cette superficie se sont développées autrement que ce serait le cas si elles avaient été séparées dans l'espace et non liées dans leur évolution; pour cela le relief entier s'est développé autrement.

Sur la surface calcaire, on peut en effet suivre tout le temps les effets fluviaux et autres d'un voisinage différent du point de vue pétrographique, et sur ce voisinage, les influences morphogénétiques de la surface calcaire. Ici il ne s'agit pas seulement des particularités du relief au contact pétrographique direct, mais le relief de contact au sens plus large englobe les deux espèces de régions en entier. Cela ne vaut pas seulement pour le karst que les eaux traversaient et qui se trouve au milieu des couches imperméables, mais encore pour le karst qui avait un voisinage imperméable seulement d'un côté, soit d'arrivée soit d'écoulement.

Eu égard au développement hypsographique et à l'ancienne liaison hydrologique entre les calcaires et le voisinage imperméable, le développement du karst classique et particulièrement du relief de contact présente les caractéristiques suivantes.

Le premier type sont les »calcaires des sources«, qui se sont développés au-dessus du voisinage imperméable. Sur ceux-ci il y a en général moins de superficie plane et les éminences prédominent, car sur ces calcaires on ne voit que les effets des eaux autochtones. Il y a plus de terrain plat aux endroits où les eaux calcaires ont exécutés des aplanissements de bordure à la hauteur du voisinage imperméable. C'est pourquoi la superficie est en entier suspendue vers le voisinage.

La caractéristique des calcaires des sources est la série des formes à pignon: des vallées, des uvalas et des poliés karstiques. Typiques sont surtout les vallées suspendues. Les aplanissements et les formes approfondies indiquent la hauteur de l'ancien revêtement imperméable. Les traces d'alluvions fluviales sont exceptionnelles sur les calcaires des sources. Si elles sont conservées, elles sont autochtones.

Le deuxième type sont les »calcaires des confluentes«. A cause des anciennes eaux allochtones, sur ceux-ci il y a plus de superficie plus basse et aplanie. Au bord extérieur des alluvions allochtones, les eaux du voisinage imperméable ont corrodé et dissocié les éminences calcaires. Des aplanissements et des terrasses se sont formés, qui — en comparaison avec les calcaires des sources — avaient un écoulement d'eau opposé et qui sont de ce fait inclinés de la bordure imperméable vers le noyau calcaire. Avec l'abaissement différencié des deux espèces de roches, sur les calcaires

se sont développées des vallées aveugles, des poliés karstiques de bordure et des terrasses de bordure.

Le troisième type sont les »calcaires transversaux«, où il y a le plus de superficie plane. Les aplanissements sur les calcaires sont ordinairement continus. La superficie est inclinée dans une direction. Pour ces régions sont caractéristiques les vallées transversales et les cours d'eau transversaux qui dirigeaient l'aplanissement de la superficie. Sur les calcaires transversaux il y a aussi le plus de restes de l'ancienne accumulation fluviale. Parmi eux il y a certes le plus de matériaux allochtones, mais il y a aussi une accumulation autochtone.

Les régions calcaires sont encore aujourd'hui dans la position qui correspond aux diverses phase de l'évolution passée. Il y a même des exemples qui sont caractéristiques pour l'hypsographie pétrographique pliocène avec un tertiaire plus élevé et des calcaires plus bas. Mais dans la plupart des cas les conditions actuelles sont telles que le bord imperméable est abaissé et que les calcaires du karst classique sont largement ouverts.

Avec la formation des différences d'altitudes entre les calcaires et le voisinage s'est relâchée la liaison morphogénétique directe des deux espèces de régions. Ainsi il en est arrivé aussi à des aplanissements acorrélatifs aux bords calcaires. La stagnation des masses calcaires et la destruction intensive du voisinage imperméable ont mené à la squelettisation du relief.

Par suite de l'abaissement corrosivement uniforme de la surface, sur le karst classique se sont conservées les formes plus anciennes, héritées, qui s'étaient formées à la période pliocène chaude et qui présentent les traits du karst tropical. Dans les dépressions karstiques démembrés et fermés et la porosité des calcaires se manifestent les caractéristiques du karst périglaciaire. Dans l'entrelacement des deux formes résident donc les principales caractéristiques du karst classique.

KAZALO

UVOD	199
KRAŠKI RELIEF — SESTAVNI DEL CELOTNEGA POVRŠJA	201
DVOJNA TEKTONSKA STRUKTURA TAL IN DVOJNA OROGRAFSKA USMERJENOST RELIEFA	202
PALEOGEOGRAFSKI RAZVOJ	230
TERCIARNA ODEJA	204
ELEMENTI POKOPANEGA IN EKSHUMIRANEGA KRASA	205
OBLOŽENI ALI ZAPRTI KRAS	206
SPREMINJANJE PETROGRAFSKE SESTAVE TAL	208
KLIMATSKO USMERJANJE MORFOGENETSKIH PROCESOV	209
HIPSOGRAFSKO SPREMINJANJE PETROGRAFSKO RAZLIČNIH TAL	211
OSTANKI PALEOFLUVIALNEGA GRADIVA NA KRAŠKIH TLEH	214
TEKTONIKA IN KLIMA	218
MORFOGENEZA V LUČI TERCIARNIH SEDIMENTOV	220
TROPSKE IN PERIGLACIALNE POTEZE KLASIČNEGA KRASA	221
RAZLIKOVANJE EROZIJSKEGA IN KOROZIJSKEGA PROCESA	222
ZNAČILNOSTI URAVNAV IN TERAS	224
STAROST RELIEFA	225
MORFOGENETSKI POMEN VEGETACIJSKE IN PEDOLOŠKE ODEJE	226
ZNAČILNOSTI STIČNEGA RELIEFA	228
LITERATURA	230
LA KARSTIFICATION ET L'ÉVOLUTION GÉNÉRALE DU RELIEF EN SLOVÉNIE (Résumé)	236