

UDK  
UDC

911.2:551.4 (497.12—11)

## TEORETSKI MODEL POBOČJA, PREIZKUŠEN BLIZU ROGAŠKE SLATINE\*

Carolyn Knight\*\*

### Uvod

Kirkby (1967, 1971) je razvil model pobočja, katerega razvoj je pogojen s procesi in ki ugotavlja odnos med obliko, prenašanjem gradiva in energije na vsem pobočju. Če nanašanje ni dovoljno, proces spreminja začetno obliko in se s tem časovno sam regulira. Kirkby meni, da se razvija pobočje sčasoma v smeri tako imenovane značilne oblike, ki je odvisna od prirode in relativne hitrosti delovanja oblikotvornega procesa, in ne od začetnega profila pobočja.

Model sloni na preprosti enačbi o sosledju in ugotavlja naslednje: če se prinaša na neko mesto na pobočju več gradiva kot znaša odnašanje, potem se razlika javlja v akumulaciji v vsem sistemu, ali obratno: če je na nekem mestu odnašanje večje, kot je nanašanje, se razlika javlja v degradaciji v vsem sistemu. Strmina in oddaljenost od razvodja (ki je dozdevno prostorsko nespremenljivo) sta osnova. Situacija, ki jo tu obravnavamo, je transportno omejena s hitrejšim preperevanjem, kot je odnašanje, tako da se nabere občutna debelina prsti.

Kirkbyjeva (1971) enačba za značilno obliko je tu uporabljena v naslednji približnostni obliki:

$$Y_0 - x \propto \int_0^x \left[ \frac{x}{f(x)} \right]^n dx$$

kjer je  $x$  = vodoravna oddaljenost od razvodja,  $Y_0$  = višina razvodja,  $y$  = višina nad točko (podatkom) in  $n$  = konstanta, ki predstavlja časovno funkcijo.  $f(x)$  za proces je sorazmeren s potenco razdalje  $x^m$ .

\* Opomba uredništva: Ta študija, ki je plod terenskih raziskovalnih vaj geografskega oddelka univerzitetnega kolidža iz Londona pod vodstvom učiteljev, ne prinaša dokončnih rezultatov. Za objavo smo se odločili, ker menimo, da bo koristna spodbuda za izpopolnitev matematičnih oziroma kvantitativnih metod pri raziskovanju reliefa, kar je po našem mnenju perspektivna smer. Pri terenskem delu so sodelovali tudi slušatelji in učitelji Oddelka za geografijo v Ljubljani.

\*\* Department of Geography, University College, London, Gower Street, London W C I E 6 BT.

Enačba lahko dobi naslednjo obliko:

$$-\frac{dy}{dx} \cong x \left( \frac{1-m}{n} \right)$$

in torej:

$$\text{Log} \left( \frac{-dy}{dx} \right) = K + \left( \frac{1-m}{n} \right) \text{Log } x$$

Če je  $n = 1$ , kar je smiselno za največ primerov, je po Kirkbyju:

$$\text{Log} \left( \frac{-dy}{dx} \right) = K + (1-m) \text{Log } x$$

Metoda sloni na naslednjih pomembnih postavkah:

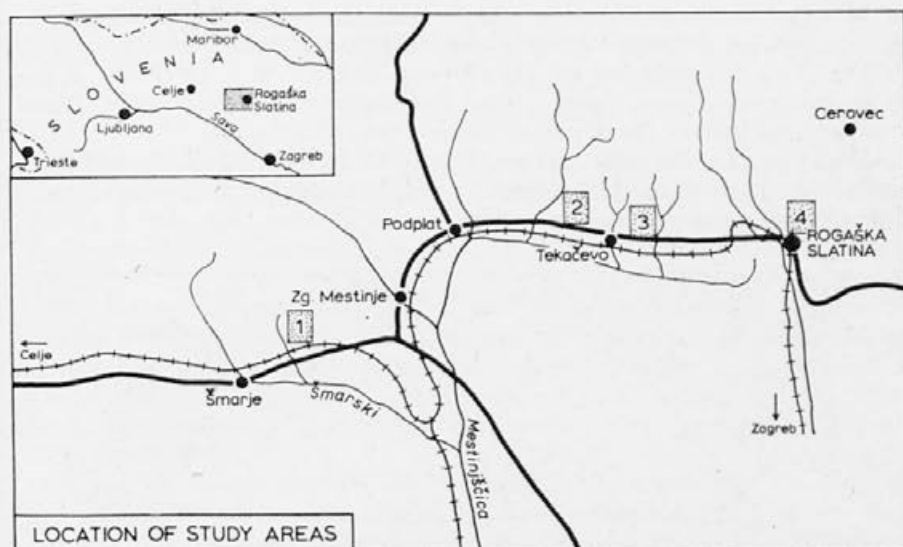
1. V porečju je preteklo dovolj časa, da se je razvila značilna oblika.
2. Korozija je zanemarljiva, količina ostankov preperevanja (to je prostorninsko razmerje med kamnino, ki je preperela, in nastalim preostankom) mora biti enako 1. V pokrovu prepereline ni opaziti učinkov katene.
3. Obstajajo ravne izohipse. Teorija vključuje modifikacije za vdolbine in obronke, toda v analizi uporabljena matematika postane preveč zamotana, da bi jo lahko tukaj obrazložili.
4. Sistem je transportno omejen in odnašanje v osnovah je neomejeno.
5. Na pobočju ni pomembnega pregiba.
6. Spremembe po človeku so neznatne.

Metoda in postavke so bile preizkušene s podatki, ki so bili zbrani v Vzhodni Sloveniji.

### Raziskovano območje

Območje raziskovanja leži blizu Rogaške Slatine (risba 1). V podlagi slemena, na katerega meji na jugu, so na vzhodu masivni apnenci in na zahodu oolitni in konglomeratni apnenci. Relief sestavlja vrsta slemen, ki so razdeljena s kratkimi strmimi suhimi dolinami in posejana z vrtačami raznih velikosti. Širša dolina Mestinjščice, ki se prebija na jug, je predelila vse področje. Podnebje je humidno, z okoli 1100 mm letnih padavin, ki so dokaj enakomerno razdeljene med letom. Januarske temperature so okoli  $-1$  do  $-2^{\circ}$ , julijske malo nad  $20^{\circ}$ , letne okoli  $9^{\circ}$ . Tla so tipa kisle rjavice, mestoma so to pseudogleji. Prst je rumenkasto rjava, s precej glinastih delcev; zato je precej kohezivna. V primerjavi z nekaterimi prstmi na apnencu je debela, čeprav nima izrazitih horizontov. Vegetacijo predstavlja mešan listopadni in iglasti gozd s travniki.

Predel je pretežno agraren in znaten del prebivalstva se bavi s kmetijstvom. Nekatere raztresene parcele so na zelo strmih pobočjih. Strojno obdelovanje ni pomembno in tako ne pride do večjih premikov prsti. Opuščene parcele je mogoče spoznati po manjšem številu vrst, kot so v okolici. Druge drobne oblike kot kolovozi so sicer modificirale pobočje, toda to lahko pustimo v nemar pri študiju profila.



Risba 1

### Izbira dolin za študij

Izbiri smo opravili na terenu, ker ni bilo na razpolago zemljevidov v večjem merilu za večino področja. Za eno izbrano dolino je bila na voljo karta 1:5000, za druge pa le karte v merilu 1:100.000.

Doline smo izbirali po naslednjih vidikih.

1. Morale so biti zmerno velike zaradi omejenega razpoložljivega časa za študij. Največja je bila 300 m dolga. V okviru porečij so bile vse doline prvega reda.

2. Očividna enostavnost v obliki in brez oblik, ki bi bile pogojene z geološko strukturo.

3. Omejeno število vegetacijskih tipov in brez ekstenzivnega kmetovanja.

4. Pokritost s prstjo.

5. Dostopnost.

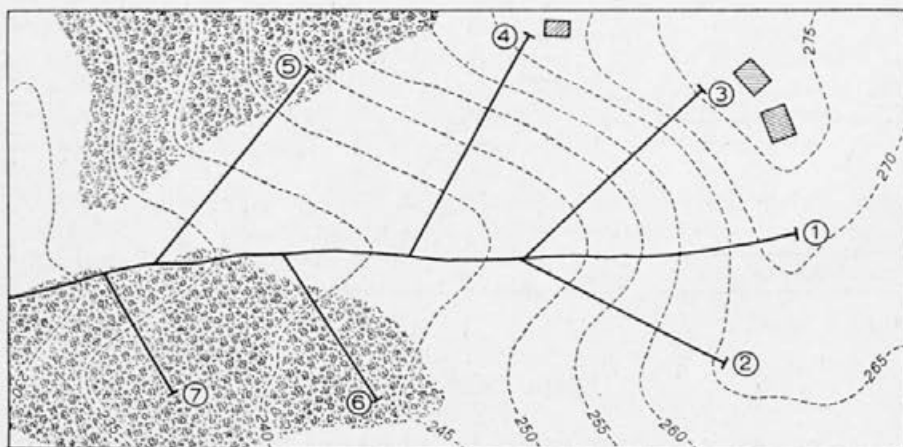
Dejansko je bilo malo izbire in zato so bili nekateri kriteriji zastavljeni.

**Dolina 1:** Orehek blizu Šmarja, g. š. 40°14', g. d. 13°12' (risba 2). To je največja dolina izmed vseh obravnavanih, okoli 300 m dolga, usmerjena vzhod—zahod. Preval na razvodju nakazuje kratkotrajen razvoj porečje. Naravno vegetacijo predstavljajo trava, detelja, različne cvetnice in dve zaplati mešanega gozda s praprotno in mahovjem.

**Dolina 2:** zahodno od Tekačeva, g. š. 46°16', g. d. 13°16'. Nahaja se južno od slemena, ki meji s severno dolino Mestinjščice. Je 210 m dolga in brez površinskega vodnega toka. Vegetacija je podobna kot v dolini št. 1. Proti dnu doline se večajo obdelovalne površine.

**Dolina 3:** vzhodno od Tekačeva, g. š. 46°16', g. d. 13°17'. To je povsem gozdnata dolina, dolga 210 m. Rastejo hrasti, topoli, breze, jeseni z nekaterimi iglavci. Na odprtem dnu so trave in mahovje.

**Dolina 4:** Rogaška Slatina, g. š. 46°15', g. d. 13°22'. To je najmanjša dolina, dolga 70 m. Je travnata, z redkimi radnimi drevesi. Na ustju doline je zgrajena cementna pregrada.



VALLEY 1 Based on Yugoslavian 1:5000 map

Risba 2: Lega doline 1 je razvidna iz risbe 1. Oštevilčene linije se nanašajo na izmerjene profile, vrisane v risbi 4

### Terenske meritve

Potrebno je bilo izbrati take metode, ki dajejo ob kratkem razpoložljivem času dovolj podatkov za analizo. Zato so bile opuščene teodolitske meritve in sklenjena Abnejeva nivelacija v prid modificirani tehniki, ki jo je prvi uporabil Strahler (1950) in pozneje Schumm (1956). Dva metra dolgo mersko palico smo polagali na tla na 5 metrskih intervalih na večjih strminah; naklon smo merili z neteleskopskim delom Abnejevega nivelatorja. Ta način se je izkazal za hitrega in je dal rezultate z ocenjenim odstopanjem do 1/2%. Je posebno primeren za to študijo, ker so doline majhne.

Zgornji in spodnji konec profila sta bila večkrat zakrivljena proti dolinskemu ustju, tako da horizontala  $0^\circ$  ni bila dosežena pravokotno na izohipse. Vrh pobočja je bil definiran s točko, kjer pobočni naklon prvič preseže naklon vzdolž slemenskega hrbta. Podobno je bilo na spodnjem koncu pobočja, kjer je bil profil končan tam, kjer je strmina pobočja zdrknila pod naklon dolinskega dna.

Vzorci prsti smo dobili z vrtino s svodom na dnu in pri vrhu pobočja. Zabeležili smo tudi druge pojave. Vzorci kamnin smo vzeli v prvih treh dolinah, a v četrti jih nismo mogli najti.

### Laboratorijske analize

Vzorci kamnin smo sušili v peči pri  $100^\circ$ , jih stehali, nato vložili v koncentrirano hidrokloridno kislino, dokler ni prenehalo šumenje. Raztopina je bila nato razredčena in presejana. Netopni ostanek in filtrirni papir smo nato sušili, ponovno stehali in sešteli težo suhega filtrirnega papirja.

Vzorci prsti so bili posušeni v peči in stehani, nato zdrobljeni in vloženi v Calgon, da bi razbili agregate. Nato smo jih presejali na mreži 250 mesh in izločili melnato-glinaste delce. Ostanek je bil posušen in stehant, da smo dobili težo frakcij, večjih od melja in gline. Temu ostanku je bila dodana koncentrirana kislina in v vseh primerih je bil povsem raztopljen.

Pomislek vzbujajo majhno število vzorcev. Toda pomisliti moramo, da so vendarle karakteristični, čeprav ne dovoljujejo popolne točnosti. Značilno je tudi dejstvo, da so tu vrednosti izražene v teži, medtem ko so v modelu vrednosti volumske. Vendar lahko rečemo, da je taka prilagoditev dopustna glede na splošno točnost poskusa.

### Izsledki

A. Preizkus postavk. 1. Predvidoma je preteklo dovolj časa, odkar so pričeli delovati procesi na pobočju, tako da je bila že dosežena značilna oblika. Kirkby (1971) je računal, da se razvije 0,2 odstotka značilne oblike, ko je bila izdelana polovica začetnega reliefa. Majhen delež netopnega ostanka, ki so ga ugotovile naše analize kamnin, in velika debelina prsti, ki smo jo našli na terenu in celo na razvodjih, nakazuje, da je bil velik del sedimentov erodiran ali raztopljen. Proces je torej deloval dolgo geološko razdobje. Spremembe v morski gladini in s tem erozijske baze so verjetno razmeroma nepomembne v primerjavi z možno gorotvorno aktivnostjo.

2. Neupoštevanje korozije je zelo vprašljivo. Kamnina je težnostno približno 90 odstotkov čisti kalcijev karbonat, medtem ko vsebuje prst poprečno le 10 odstotkov fragmentov kalcijevega karbonata. To nakazuje verjetnost, da med procesi prevladuje kemično preperevanje.

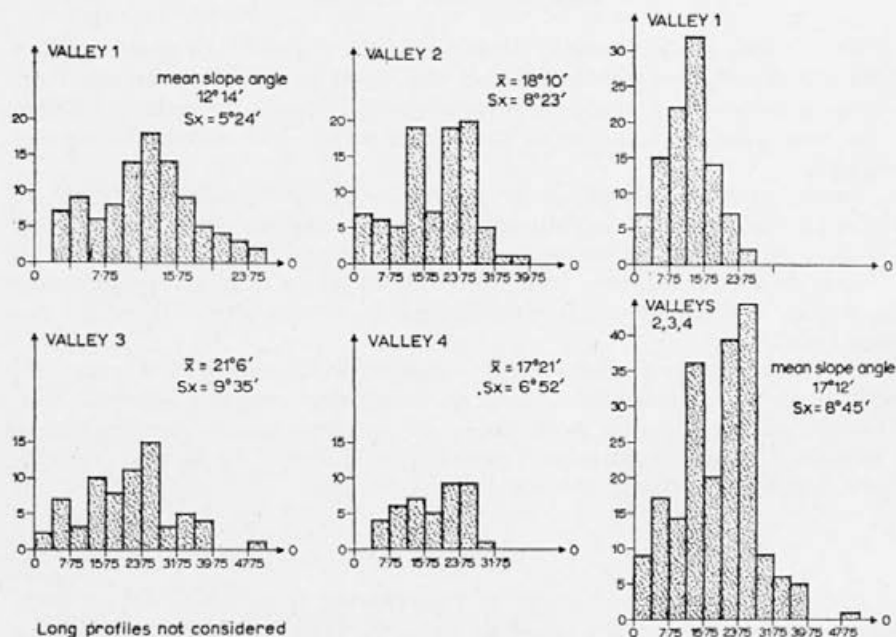
Postavko o neučinkovanju katene lahko sprejmemo, ker v profilu prsti ni videti tendence k izpiranju glinaste frakcije in h kopičenju v

nižjih legah. To bi kazalo, da je količina prsti konstantna, a je manjša, kot znaša prostornina raztopljenega apnenca. Ni znan njen točnejši učinek na naravo pobočja.

3. Postavka o ravnih izohipsah je vzdržala preizkus zaradi skrbne izbire merskih profilov. Toda blizu dolinskega začetka se ni bilo mogoče izogniti nekajstopenskemu odklonu od največje strmine.

4. Sistem je nedvomno glede na transport omejen z več kot 1 m debelo prstjo na vseh raziskanih profilih. Nikjer nismo naleteli na golo skalo ali steno z gruščem.

#### FREQUENCIES OF ANGLE OF SLOPE



Risba 5: Pogostnost pobočnih naklonov, prikazanih v risbi 1. y-os pomeni frekvenco, x-os je pobočni naklon v stopinjah. Vrednost  $\bar{x}$  in standardna deviacija ( $Sx$ ) sta prav tako prikazani

Med raziskovanjem so bile vse doline suhe, tako da je postavka o neomejenem odnašanju snovi vprašljiva. Dolina 1 ima krajše korito, po katerem je možen transport v času vodnega toka. Toda doline 2, 3 in 4 ne kažejo sledov rečnih tokov in betonska pregrada na začetku doline 4 očitno preprečuje transport gradiva po pobočju, kar je mogoče spoznati po nakopičenem drobirju v zgornjem delu pobočja.

5. Obstoj pregiba v pobočju je bil preverjen s statistično analizo. Izdelan je bil histogram pogostnosti pobočnega naklona za vsako dolino v okviru štirih razredov (risba 5). Raziskava je pokazala, da je v dolini 1 normalna distribucija okoli poprečka  $12^{\circ}$ , medtem ko je distri-

bucija v dolinah 2, 3 in 4 negativno premaknjena k modalni vrednosti pri približno  $26^\circ$  in z redkimi preseženimi nakloni. Manj izrazit je bil modalni vrh pri približno  $13^\circ$ .

Studentov test je pokazal, da je v dolini 1 srednja vrednost naklona dolinskega pobočja značilno drugačna od sredine celotne populacije pri signifikantni ravni 0,001. Ker distribucija populacije ni bila normalna, je bilo odločeno, da to preizkusimo z neparametrično statistiko  $\chi^2$ . Ta je potrdila, da je distribucija naklonov v dolini značilno drugačna od dolin 2, 3 in 4. Na tej osnovi je bilo odločeno, da nadaljujemo z dvema ločenima analizama, z eno za dolino št. 1 in z drugo za ostale doline. Razlike med dolinama je težko razložiti.

Analiza pobočnega profila v dolinah 2, 3 in 4 je pokazala značilno osredotočenje modalnega naklona pri  $26^\circ$  na ravnih sektorjih, navadno sredi pobočja. Ta vrednost je bila povezana s policami (pregibi) in širšimi obronki, vidnimi na terenu. Carson (1970) in Young (1961) sta predlagala vrednost  $26^\circ$  kot značilno za pobočni naklon v vlažnih zmernotoplih področjih. Ta naklon predstavlja zgornjo mejo stabilnosti odeje prsti in je odvisen od naklona internega trenja mešanice.\* Za mešanico prsti in proda je posipni kot pri približno  $42-25^\circ$ , toda pritisk porne vode v prsti ga zmanjša na  $26^\circ$  ob pogoju, da so tla zasičena z vodo. Za take gline, kot so v dolinah 2, 3 in 4, je manjši naklon posledica internega trenja in tako ni treba pojasnjevati pojava z zasičenjem z vodo.

B. Preizkus pobočnega modela v dolini 1. Čeprav so številne postavke, ki se nanašajo na dolino 1, vprašljive, smo sklenili,

da bomo nadaljevali analizo prav te doline.  $x \frac{dy}{dx}$  smo vrisali proti

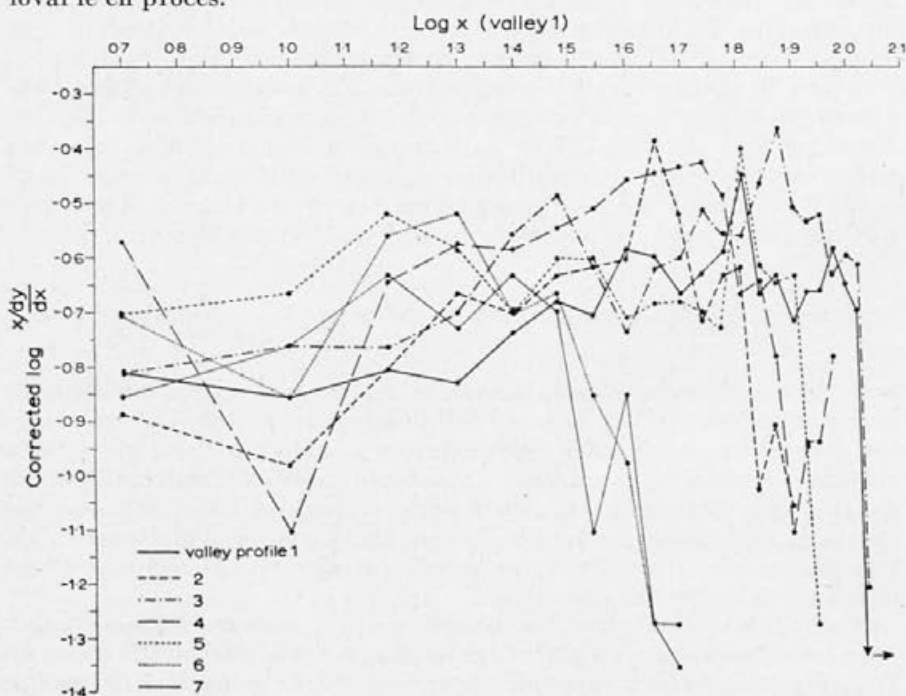
$x$ , da bi dobili funkcijo oddaljenosti. Jasno je, da funkcija oddaljenosti ni enostavna potenca in da v tej dolini deluje ali je delovalo več procesov. Blizu razvodnega vrha  $dy/dx$  narašča z večjo postopico kot  $x$ , toda onstran določene točke navzdol na pobočju ta faktor nadvlada učinek drugega dejavnika in  $x$  narašča z večjo postopnico kot  $dy/dx$ , kar povzroča konveksno-konkavno obliko pobočja. Funkcija oddaljenosti dobi tako bolj obliko  $A + BX^m$  in jo je težko analizirati. Vseeno smo nadaljevali s preostalim delom analize.

Log  $(dy/dx)$  (korigiran, da bi bili mantisa in karakteristika negativna) smo vrisali proti log  $x$  za vse profile, všteti dolgi profil (risba 4). Pojavil se je rahel trend, vendar je precej točk izkazovalo širši razmik z večjo vrednostjo  $x$ . Vzrok so bile nepotencialne zakonitosti transportne funkcije. Skladno s tem je bila izdelana analiza podatkov samo za zgornje dele pobočja, kjer je odklon od potence funkcije najmanjši. Izrabili smo zgornjih 65 m profilov 1-5 in zgornjih 30 m profilov 6 in 7, kar predstavlja okoli 70 odstotkov dolžine vsakega profila, razen dolgega

\* Od trenja med posameznimi zrni znotraj mešanice je odvisen tudi tako imenovani posipni kot (opomba prevajalca).

profila. Izračunan je bil Pearsonov korelacijski koeficient za  $\log dx/dy$  proti  $\log x$  za te dolžine in je znašal samo 0,1678. Odvisnosti so nepomembne in pojasnjujejo samo nepomembni del variance.

Za pomanjkljivo korelacijo je možnih več razlag. Prvič, mogoče je vzorec del obsežnejše populacije in bi za to dobili večjo korelacijo šele pri številnejših podatkih, oziroma če bi bila dolina večja, ali če bi deloval na daljšem pobočju samo en proces. Morda je treba iskati vzrok v že diskutiranem vprašanju o količinskem razmerju med kamnino in preperelino, ki ni enaka 1, in je posledica korozije apneniške podlage, ali pa je vzrok v odnašanju kamninske osnove. Če bi bila v preteklosti dolina vlažna celo leto ter bi se bila razvila značilna oblika doline s potokom, ki je odnašal drobir, bi lahko klimatska sprememba z upadom padavin, posredno pa tudi kak drug dogodek z zmanjšanjem površinskega odtoka, zaustavil prenašanje drobirja. To je v skladu z naklonom pobočja, ki je v podnožju pobočja manjši kot bi pričakovali, če bi deloval le en proces.



Risba 4: Podatki za izmerjene profile doline 1 so v risbi št. 2. Kompleksnost modelov morda nakazuje vrsto procesov, ki so aktivni na vsakem profilu

### Zaključki

Majhno ujemanje, ki smo ga dobili na linearnem regresijskem modelu, ne more diskreditirati hipotezo, ker so lahko posredi druge okoliščine, kot smo že nakazali, posebno, ker je v našem primeru vzdržala pretres



ena od osnovnih postavk. Prav tako ni bilo na razpolago dovolj podatkov, da bi lahko model dopolnili z novimi kriteriji.

Iz poskusa so razvidni še drugi zanimivi dejavniki. Ni jasno, zakaj ima dolina 1 občutno drugačno pobočno frekvenčno distribucijo kot dolini 2 in 3, zakaj je pregib na pobočju značilen prav zanju in ne za dolino 1. V dolini 2 in 3 je morda to povezano z zniževanjem erozijske baze v dolini Mestinjščice. Ta dolina je, na primer, direktni »pritok« Mestinjščice. To ne velja za dolino 1, medtem ko ima dolina 4 vmesni položaj.

(Prevedel I. Gams)

#### Bibliografija — Bibliography

Carson, M. A. (1971). An application of the concept of threshold slopes to the Laramie Mountains, Wyoming, Institute of British Geographers Special Publication No. 3, 31—48.

Carson, M. A. and Kirkby, M. J. (1972), Slope Form and Process, (Cambridge University Press) Cambridge, 475 pp.

Kirkby, M. J. (1967), Measurement and theory of soil creep, Journal of Geology 75, 359—378.

Kirkby, M. J. (1971), Hillslope process-response models and the continuity equation, Institute of British Geographers Special Publication No. 3, 15—50.

Young, A. (1961), Characteristic and limiting slope angles, Zeitschrift für Geomorphologie, 5, 126—131.

#### A THEORETICAL SLOPE MODEL TESTED ON SLOPES NEAR ROGASKA SLATINA, SLOVENIA

Carolyn Knight

(Summary)

This paper examines a process-response model of slope development put forward by Kirkby (1971) which states that for any line of steepest slope in a drainage basin, the balance between input and output of material in a section will be represented by aggradation or degradation of the slope. An equation for the 'characteristic form' produced by a particular slope process such as sheetwash is derived by mathematical reasoning. With a number of assumptions, this model should be applicable to real slopes.

Four valleys near Rogaška Slatina in Slovenia were selected for study, and slope profiles recorded by placing a ranging rod on the ground at 5 m. intervals downslope, measuring the angle using an Abney level. Laboratory sediment analysis indicated little size differentiation of material along the sections but that large amounts of the underlying limestone must have been dissolved to produce the thick mantle of soil. Sufficient time had therefore probably elapsed for the slopes to approximate to a 'characteristic form'.

Despite the fact that most of the assumptions were upheld, the sections in three of the valleys did not appear to have reached this form, exhibiting, on the contrary, significant threshold angles with modal values of about 26°. This value has been suggested as the upper limit of slope stability for humid temperate areas by Carson (1970) and Young (1961), and may indicate that insufficient development time had elapsed. The sections in the remaining valley were examined for 'characteristic form', but it was apparent that the predicted power law relationship between distance and elevation was not present. A number of possible reasons for the absence of the characteristic form are put forward, the most probable being the operation of chemical solution on the underlying limestone, mechanical erosion being an assumption of the model. The operation of more than one transport process on the slopes is also possible.