

# VLOGA USADOV PRI GEOMORFOLOŠKEM PREOBLIKOVANJU VOGLAJNSKEGA GRIČEVJA

## THE ROLE OF LANDSLIDES IN THE PROCESSES OF LANDFORM TRANSFORMATION IN THE HILLS EAST OF CELJE, SLOVENIA, YUGOSLAVIA

KAREL NATEK

ABSTRACT

The role of landslides in the processes of landform transformation in the hills east of Celje, Slovenia, Yugoslavia

The analysis of 327 landslides from the selected area of sub-Pannonian hills east of Celje shows that landslides are a constant part of systems of slope processes, 117 or 35.8 per cent out of 327 and fluvio-erosional processes (108 or 33.1 per cent). They occur on specific rock strata on Miocene sand and sandstone (12%) and sedimentary (12%). The dependence on sand and silt in the hills west (175 landslides) (53.9 per cent) occur in woodland, 75 (43 per cent) on meadows and in (19.7 per cent) in orchards. We consider that the landslides are a constant part of natural process of landform transformation in this area, not essentially influenced by human activities.

Address - Author

Inst. for Geology

Viljeva ulica 15

Geological Institute of the Academy of Sciences of the SFRY

Geological Institute of the Academy of Sciences of the SFRY

Novi Zagreb

11000 Ljubljana

Yugoslavia

**IZVLEČEK**

UDK 551.244.2(497.12)

**Vloga usadov pri geomorfološkem preoblikovanju Voglajnskega gričevja**

Proučevanje 325 usadov na izbranem območju vzhodno od Celja je pokazalo, da se usadi pojavljajo tako v sistemu pobočnih (217 oz. 66.8%) kot fluvioerozijskih procesov (108 oz. 33.2%). So izrazito navezani na določene kamnine, predvsem na miocenske peske in peščenjake (158) ter na andezitni tuf (109), odvisnost od rabe tal pa je šibka, saj se je 172 usadov (52.9%) sprožilo v gozdu, 79 (24.3%) na travnikih in 64 (19.7%) v sadovnjakih. To pomeni, da so usadi sestavni del naravnega procesa preoblikovanja površja, ki ga človekova dejavnost v prostoru ni bistveno spremenila.

**ABSTRACT**

UDK 551.244.2(497.12)

**The role of landslides in the processes of landform transformation in the hills east of Celje, Slovenia, Yugoslavia**

The analysis of 325 landslides from the selected area of sub-Pannonian hills east of Celje shows that landslides are a constituent part of systems of slope processes (217 or 66.8 per cent out of 325) and fluvio-erosional processes (108 or 33.2 per cent). They occur on specific rocks, mostly on Miocene sand and sandstone (158) and andesitic tuff (109). The dependence on land use is rather weak. 172 landslides (52.9 per cent) occur in woodland, 79 (24.3 per cent) on meadows and 64 (19.7 per cent) in orchards. We consider that the landslides are a constituent part of natural processes of landform transformation in this area, not essentially influenced by human activities.

Naslov - Address

mag. Karel Natek

Višji raziskovalni sodelavec

Geografski inštitut Antona Melika

Znastvenoraziskovalni center SAZU

Novi trg 5

61000 Ljubljana

Jugoslavija

## KAZALO

UVOD	41
PREGLED DOSEDANJEGA PROUČEVANJA	42
GEOLOŠKA ZGRADBA IN GOSTOTA USADOV	42
METODA DELA	46
MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI USADOV	47
PROSTORSKA RAZPOREDITEV USADOV	51
POLOŽAJ USADOV V GEOMORFNEM SKLOPU	58
1. Usadi v sistemu pobočnih procesov	58
2. Usadi v sistemu fluvioerozijskih procesov	62
PODOLŽNI IN PREČNI PROFILI USADOV	70
ZAKLJUČEK	72
L i t e r a t u r a	73
The role of landslides in the processes of landform transformation in the hills east of Celje, Slovenia, Yugoslavia (Summary)	74

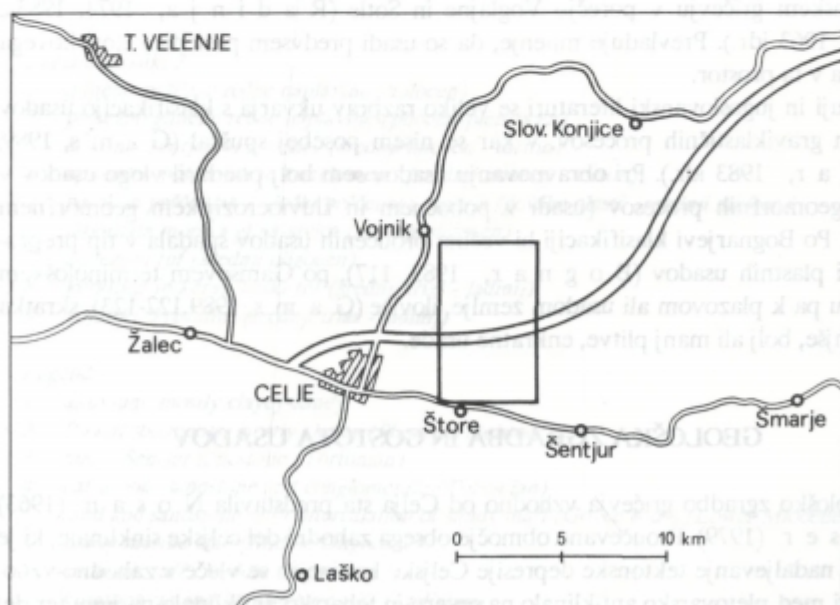


## UVOD

V fluviudenudacijskem reliefu je prevladujoč geomorfni proces fluvialna erozija v smislu celotnega sistema procesov, povezanih z delovanjem tekoče vode, vključno s pobočnimi procesi. V sredogorskem in gričevnatem svetu, zgrajenem iz kompaktnih kamnin, so nagli premiki prepereline pod neposrednim vplivom gravitacije razmeroma redki. V gričevju iz manj sprijetih, proti eroziji slabo odpornih, pretežno mio-censkih sedimentov, pa je v določenih okoliščinah pomembno tudi proženje usadov.

Namen razprave je dvojen:

- prikaz geomorfoloških značilnosti usadov v tem gričevnatem svetu ter ugotavljanje razlogov za njihovo specifično razporeditev



Slika 1: Lega proučevanega območja

Fig. 1: The geographical position of the area under investigation

- vloga usadov v geomorfne sklopu subpanonskega gričevja
- ugotoviti, ali so usadi predvsem naravni proces ali pa je na njihovo pojavljanje bistveno vplival človek.

Za proučevanje sem izbral 35 km<sup>2</sup> nizkega terciarnega gričevja na vzhodnem robu Celjske kotline v porečju Voglajne oziroma njenega desnega pritoka Ložnice (slika 1), kjer sem ugotovil kar 325 usadov. Na severu tega proučevanega območja je nekoliko višjega gričevja nad Vojnikom in Dramljami, na jugu pa do doline Voglajne med Šentjurjem in Teharji. Na severnem in južnem robu proučevanega ozemlja je živahno razgibano gričevje v nadmorskih višinah med 350-390 m oziroma 300-350 m in tu se pojavlja velika večina usadov. V osrednjem delu prevladujejo ilovnate terase v nadmorskih višinah od 270-300 m, med njimi pa 50-200 m široke in vlažne doline vzdolž pritokov Ložnice.

## PREGLED DOSEDANJEGA PROUČEVANJA

To območje je bilo proučeno samo v okviru širše Mezetove razprave o geomorfološkem razvoju Voglajnske pokrajine in Zgornjega Sotelskega (M e z e, 1963) ter v okviru proučevanja kvartarnih sedimentov na vzhodnem obrobju Celjske kotline (R a d i n j a, 1961). Pač pa se je več raziskovalcev ukvarjalo z usadi v bližnjem subpanonskem gričevju v porečju Voglajne in Sotle (R a d i n j a, 1974, 1983a; S o r e 1963 idr.). Prevladuje mnenje, da so usadi predvsem posledica človekovega poseganja v ta prostor.

V tuji in jugoslovanski literaturi se veliko razprav ukvarja s klasifikacijo usadov in drugih graviklastičnih procesov, v kar se nisem posebej spuščal (G a m s, 1989; B o g n a r, 1983 idr.). Pri obravnavanju usadov sem bolj poudaril vlogo usadov v sistemu geomorfni procesov (usadi v pobočnem in fluvioerozijskem geomorfne sistemu). Po Bognarjevi klasifikaciji bi večina proučenih usadov spadala v tip preprogastih ali plastnih usadov (B o g n a r, 1983, 117), po Gamsovem terminološkem prispevku pa k plazovom ali usadom zemlje, ilovice (G a m s, 1989, 122-123), skratka med manjše, bolj ali manj plitve, enkratne usade.

## GEOLOŠKA ZGRADBA IN GOSTOTA USADOV

Geološko zgradbo gričevja vzhodno od Celja sta predstavila N o s a n (1963) in B u s e r (1979). Proučevano območje obsega zahodni del celjske sinklinale, ki je vzhodno nadaljevanje tektonske depresije Celjske kotline in se vleče v zahodno-vzhodni smeri med pletovarsko antiklinalo na severu in teharsko antiklinalo na jugu ter del slednje (B u s e r, 1979, 44-45). Slaba polovica usadov (140) leži v severnem krilu celjske sinklinale, kjer prihajajo na površje oligocenski sedimenti (sivica in andezitni

tuf), ob šoštanjskem prelomu pa tudi srednjetriasni (ladinijski) vojniški "kristalin", v katerem pa so usadi redki. Drugo območje usadov je na severnem krilu teharske antiklinale (176), največ v spodnjemiocenskih govških plasteh. Osrednji del sinklinale zavzemajo plio-pleistocenski, pretežno glinasti rečni nanosi, razčlenjeni v stopničasto razporejene terase, na katerih se usadi ne pojavljajo (Slika 2).

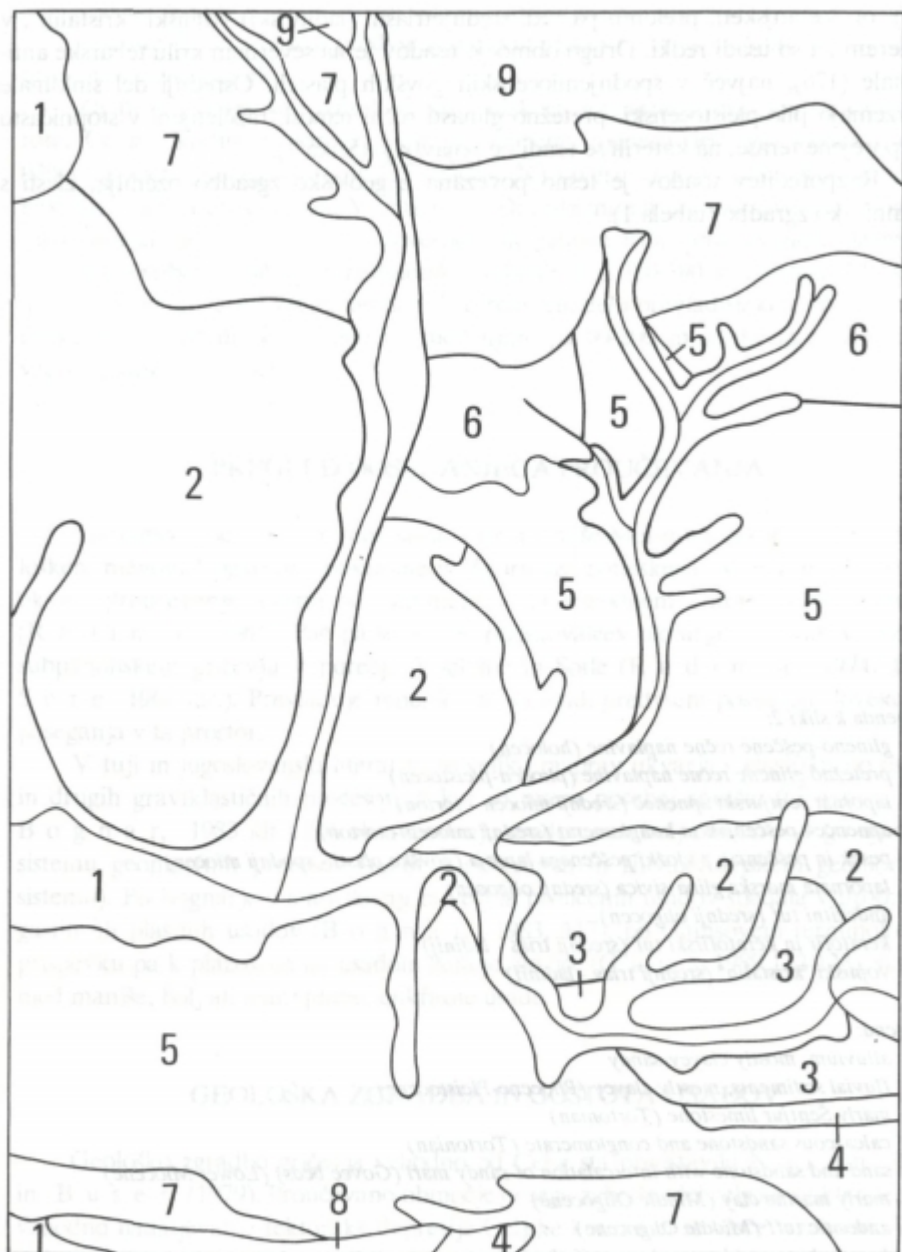
Razporeditev usadov je tesno povezana z geološko zgradbo ozemlja, zlasti s kamninsko zgradbo (tabela 1).

*Legenda k sliki 2:*

- 1 - *glineno-peščene rečne naplavine (holocen)*
- 2 - *pretežno glinene rečne naplavine (pliocen-pleistocen)*
- 3 - *lapornat šentjurski apnenec (srednji miocen - torton)*
- 4 - *apnenčev peščenjak in konglomerat (srednji miocen - torton)*
- 5 - *pesek in peščenjak z vložki peščene lapornja (govške plasti - spodnji miocen)*
- 6 - *lapornata morska glina-sivica (srednji oligocen)*
- 7 - *andezitni tuf (srednji oligocen)*
- 8 - *keratofir in keratofirski tuf (srednji trias - ladinij)*
- 9 - *vojniški "kristalin" (srednji trias - ladinij)*

*Legend:*

- 1 - *alluvium, mostly clayey-sandy*
- 2 - *fluvial sediments, mostly clayey (Pliocene-Pleistocene)*
- 3 - *marly Šentjur limestone (Tortonian)*
- 4 - *calcareous sandstone and conglomerate (Tortonian)*
- 5 - *sand and sandstone with intercalation of sandy marl (Govce beds) (Lower Miocene)*
- 6 - *marly marine clay (Middle Oligocene)*
- 7 - *andesitic tuff (Middle Oligocene)*
- 8 - *keratophyre and keratophyre tuff (Ladinian)*
- 9 - *"Vojnik crystalline" - partly metamorphosed keratophyre tuff and keratophyre (Ladinian)*



Slika 2: Litološka zgradba proučevanega območja  
 Fig. 2: Lithological map of the area

Tabela 1: Litološka zgradba proučevanega ozemlja in gostota usadov  
 Table 1: Lithological units and density of landslides

Litološka enota	Površina (km <sup>2</sup> )	Število usadov	%	Gostota usadov na km <sup>2</sup>
1. Glineno-peščene rečne naplavine (holocen)	6.82	0	0	-
2. pretežno glinene rečne naplavine (pliocen - pleistocen)	7.99	0	0	-
3. lapornat šentjurski apnenec (srednji miocen - torton)	0.79	20	6.2	25.3
4. Apnenčev peščenjak in konglomerat (srednji miocen - torton)	0.23	10	3.1	43.5
5. pesek in peščenjak z vložki peščenega laporja (govške plasti - spodnji miocen)	9.66	158	48.6	16.4
6. Lapornata morska glina-sivica (srednji oligocen)	1.41	27	8.3	19.2
7. Andezitni tuf (srednji oligocen)	5.72	109	33.5	19.1
8. Keratofir in keratofirski tuf (srednji trias - ladinij)	0.31	1	0.3	3.2
9. Vojniški "kristalin" (srednji trias - ladinij)	2.07	0	0	-
<b>S k u p a j</b>	<b>35.00</b>	<b>325</b>	<b>100.0</b>	<b>9.3</b>

Lapornat šentjurski apnenec obsega manjše območje na južnem krilu celjske sinklinale med vasmi Goričica, Zlateče in Repno. Odložen je bil v srednjem tortonu na litotamnjski apnenec in predstavlja stratigrafski ekvivalent laškega laporja (B u s e r, 1979,35). Večinoma je plastovit, debelina plasti je od 0.1 do 1 m. Kamnino pokriva razmeroma tanka peščena preperelina. Izrazita morfološka posebnost površja so številni, do 4 m visoki omejki. Prevladujejo travniki in njive, na njih pa se pogosto pojavljajo manjši plitvi usadi. Povprečna gostota je 43.5 usadov na 1 km<sup>2</sup>, kar je največ od vseh litoloških enot.

V podlagi lapornatega šentjurskega apnenca leži apnenčev peščenjak in konglomerat, ki prihaja na površje v nekaj 100 m širokem pasu južno od Zlateč. Proti prepevanju je odpornejši od ostalih kamnin in iz njega je ozek, razčlenjen razvodni hrbet med Voglajno in Ložnico vzhodno od Ogorevca. Značilna so strma pobočja v povirju



grap, ki se v hrbet zajedajo z obeh strani; v njihovih zatrepih so pogosti večji usadi, ki pa so se utrgali že v spodaj ležečih govških plasteh. V okolici Ogorevca so v tem peščenjaku razviti tudi netipični kraški pojavi (plitve vrtače).

V govških plasteh iz spodnjega miocena je največ usadov (158). Prevladuje svetlosiv do rjav kremenovo-apnenčev pesek, ki se občasno menjava s tanjšimi plastmi apnenčevo-kremenovega peščenjaka, vmes pa ležijo od 10 cm do 2 m debele plasti temnosivega sljudnatega peščenega laporja (B u s e r, 1979, 33). Govške plasti tvorijo severno krilo teharske antiklinale, zaradi česar so plasti za 20-30° nagnjene proti severu. Nagnjenost in vmesne plasti laporja predstavljajo idealno okolje za proženje usadov, ki ga stopnjuje še močna retrogradna erozija pritokov Ložnice. Verjetni razlog zanjo je recentno dviganje teharske antiklinale.

Lapornata morska sivica iz srednjega oligocena se pojavlja v ožjem pasu v severnem delu proučevanega ozemlja med nekoliko bolj razčlenjenim gričevjem iz andezitnega tuf na severni strani in tudi malo živahneje razrezanim površjem iz govških plasti. Sivica je izrazito temnosive barve in neplastovita. Naglo prepereva in jo pokriva 1-2 m debela preperelina. V njej se najpogosteje pojavljajo usadi v spodnjih delih pobočja, kjer prihaja do kopičenja kolvuvija.

Andezitni tuf iz srednjega oligocena se je odlagal v zvezi s smrekovških vulkanizmom. Zaradi velike oddaljenosti od izhodišča je na proučevanem območju sestavljen izključno iz drobnih delcev (B u s e r, 1979, 32). Tvori 1-1.5 km širok pas močno razčlenjenega gričevja na območju vasi Pristava, Razgor in Marija Dobje. V tufu so povirja številnih manjših potokov, ki se retrogradno zajedajo v gričevje nad Vojnikom in Dramljami. Skupaj z odpornejšim vojniškim "kristalinom" tvori neotektonsko premaknjen blok na južnem krilu šoštanjkega preloma. V tem je podobnost z območjem usadov v govških plasteh. Tufi vsebujejo precej glincev, zlasti plagioklazov, ki dajejo glinasto preperelino, v kateri se pogosto prožijo usadi. Kljub močni vertikalni razčlenjenosti skorajda ne najdemo usadov v vojniškem "kristalinu", ki predstavlja delno metamorfozirane keratofirske tufe, skrilavce in drobo (B u s e r, 1979, 22-23) ter se z izrazito stopnjo dviga nad gričevjem iz tufov; ni jih zaradi tanke preperelinske odeje.

Na skrajnem južnem robu proučevanega ozemlja prihaja na južni strani teharske antiklinale na površje ozek pas keratofirja in keratofirskega tufa. Kamnina je odpornejša proti preperevanju, zato so v njej zelo strma pobočja s tanko preperelino in skoraj brez usadov.

## METODA DELA

V letih 1986-1987 sem opravil detajlno geomorfološko kartiranje v merilu 1:5 000. Pri ugotavljanju razporeditve in značilnosti usadov sem si lahko pomagal z letalskimi posnetki v merilu 1:17 500 samo na obdelovalnih površinah, medtem ko so

bili za proučevanje usadov pod gozdom zaradi neprimerne časa snemanja (sredi poletja) povsem neuporabni; potrebno je bilo podrobno kartiranje na terenu.

Statistično analizo usadov sem izvedel na IBM kompatibilnem računalniku Znanstvenoraziskovalnega centra SAZU. Uporabil sem statistični program SPSS/PC+.

Osnovna datoteka o usadih vsebuje 14 podatkov o poglavitnih značilnostih vsakega usada in sicer:

1. IME - ime usada (zaporedna številka od 1 do 325)
2. KARTA - ime lista temeljnega topografskega načrta v merilu 1:5 000
3. X - X koordinata na horizontalni osi
4. Y - Y koordinata na vertikalni osi
5. LEGA - lega usada glede na oblike površja
6. OBLIKA - izoblikovanost zgornje in spodnje meje usada
7. DOLŽINA - dolžina usada
8. ŠIRINA - širina usada
9. HMAX - nadmorska višina zgornjega roba
10. HMIN - nadmorska višina spodnjega roba
11. NAKLON - povprečna nagnjenost pobočja, na katerem se je sprožil usad
12. EKSPOZ - ekspozicija pobočja, na katerem se je sprožil usad
13. KAMEN - kamninska podlaga
14. RABA - raba tal (zemljiška kategorija)

Neposredno na terenu sem zabeležil natančno lokacijo usada na topografski karti ter podatke o legi, obliki, dolžini, širini, naklonu pobočja, kamninski podlagi in rabi tal. Ostale podatke sem določil naknadno s pomočjo topografskih kart v merilu 1:5 000 ter terenskih zapiskov.

## MORFOLOŠKE ZNAČILNOSTI USADOV

R a d i n j a (1974, 1983a; S o r e ,1963) in drugi proučevalci subpanonskega obrobja v Sloveniji so ugotovili, da se v tem območju pojavljajo številni, vendar po obsegu majhni, plitvi in enofazni usadi. Tudi moja proučevanja potrjujejo te izsledke, razen usadov, ki se pojavljajo v povirnih delih dolin in se po morfologiji in genezi razlikujejo od "običajnih" usadov sredi pobočij.

Večina usadov ima izrazit zgornji rob in rob jezika na spodnji strani (tabela 2). Izoblikovanost robov sem ugotavljal samo pri usadih, daljših od 10 m, vendar tudi pri manjših prevladujejo izrazito omejeni robovi.

*Tabela 2: Izoblikovanost zgornjega in spodnjega roba usadov*  
*Table 2: The shape of the upper and lower edges of landslides*

	Število	%
Izrazit rob in jezik	164	50.5
Izrazit rob in neizrazit jezik	20	6.2
Neizrazit rob in izrazit jezik	15	4.6
Neizrazit rob in jezik	11	3.4
Neugotovljeno - majhen usad	115	35.4
<b>S k u p a j</b>	<b>325</b>	<b>100.0</b>

Izraziti zgornji in spodnji robovi usadov kažejo, da so nastali v eni sami fazi in niso starejši od nekaj let do nekaj desetletij. Zlasti na obdelovalnih površinah se izraziti robovi naglo zabrišejo, predvsem zaradi močne denudacije na neprepustni podlagi, deloma pa jih tudi kmetovalci sami poskušajo odstraniti. Ker so usadi večinoma majhni, so potrebni le malenkostni posegi.

Tudi večji usadi imajo praviloma zelo izrazite meje, ki jih lahko tolmačimo na podoben način. V nekaterih primerih pa so usadi še vedno aktivni in se počasi pomikajo po pobočju navzdol.

V tabeli 3 je prikazana frekvenčna distribucija usadov po dolžini, v tabeli 4 po širini, v tabeli 5 pa po koeficientu podolgovatosti. Ta preprosti podatek sem izračunal po formuli  $KP = \text{dolžina}/\text{širina}$ , pove pa nam, kolikokrat je usad daljši kakor širok.

*Tabela 3: Dolžina usadov*  
*Table 3: Frequency of landslides by length*

Dolžina	Število	%
Do 25 m	125	38.4
26 - 50 m	69	21.2
51 - 75 m	58	17.8
76 - 100 m	32	9.8
101 - 150 m	27	8.3
151 - 200 m	11	3.4
201 - 300 m	2	0.6
Nad 301 m	1	0.3
<b>S k u p a j</b>	<b>325</b>	<b>100.0</b>

Tabela 4: Širina usadov

Table 4: Frequency of landslides by width

Širina	Število	%
Do 10 m	121	37.2
11 - 20 m	81	24.9
21 - 30 m	55	16.9
31 - 40 m	45	13.8
41 - 50 m	12	3.7
Nad 51 m	11	3.4
<b>S k u p a j</b>	<b>325</b>	<b>100.0</b>

Tabela 5: Koefficient podolgovatosti usadov (KP)

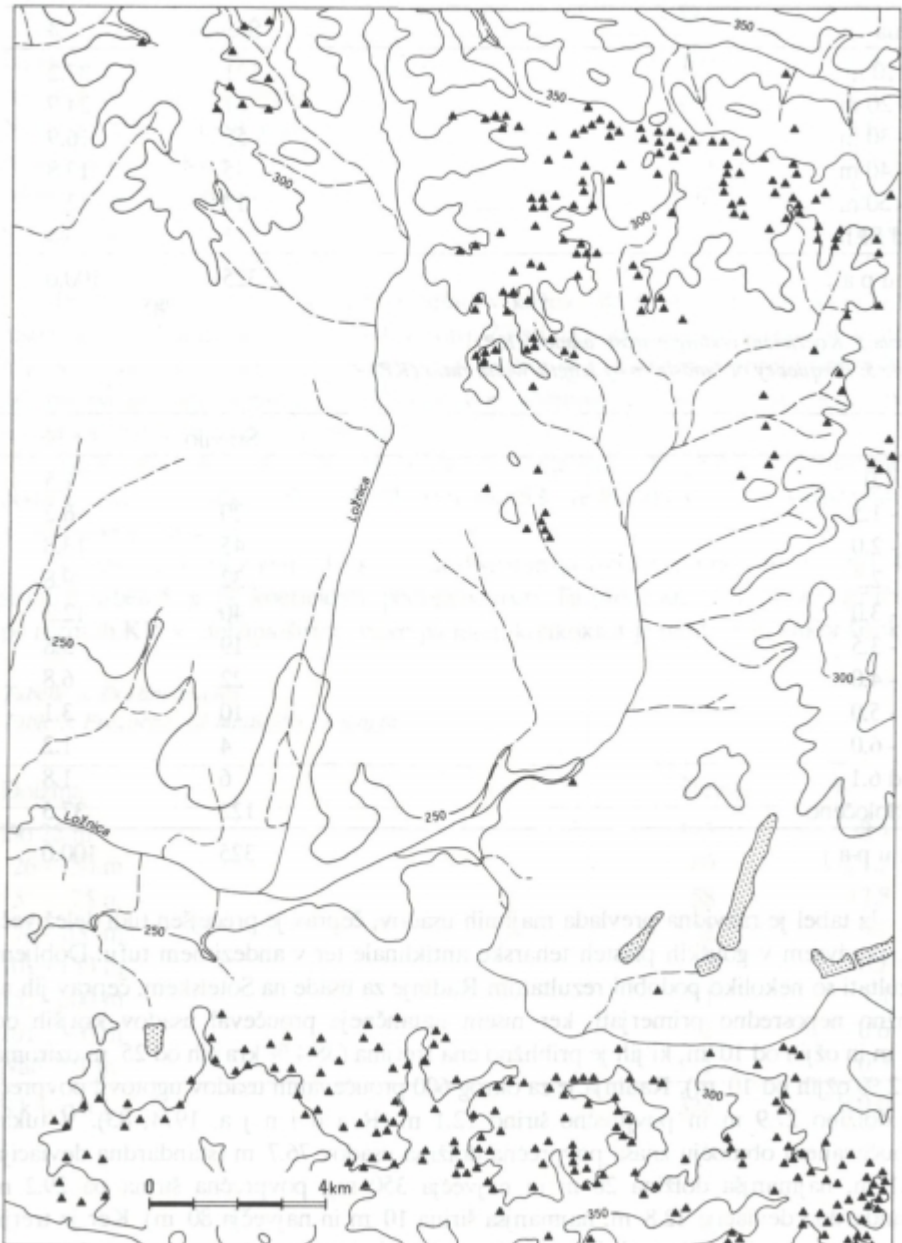
Table 5: Frequency of landslides by length/width ratio (KP)

KP	Število	%
Do 1.0	5	1.5
1.1 - 1.5	20	6.2
1.6 - 2.0	45	13.8
2.1 - 2.5	32	9.8
2.6 - 3.0	40	12.3
3.1 - 3.5	19	5.8
3.6 - 4.0	22	6.8
4.1 - 5.0	10	3.1
5.1 - 6.0	4	1.2
Nad 6.1	6	1.8
Nedoločeno	122	37.5
<b>S k u p a j</b>	<b>325</b>	<b>100.0</b>

Iz tabel je razvidna prevlada majhnih usadov, čeprav je precejšen tudi delež večjih, predvsem v govških plasteh teharske antiklinale ter v andezitnem tufu. Dobljeni rezultati so nekoliko podobni rezultatom Radinje za usade na Sotelskem, čeprav jih ni možno neposredno primerjati, ker nisem natančneje proučeval usadov krajših od 25 m in ožjih od 10 m, ki jih je približno ena tretjina (38.4 % krajših od 25 m oziroma 37.2 % ožjih od 10 m). Radinja je za okrog 600 proučevanih usadov ugotovil povprečno dolžino 27.9 m in povprečno širino 12.1 m (R a d i n j a, 1974, 83). V tukaj proučevanem območju znaša povprečna dolžina usadov 76.7 m (standardna deviacija 45.1 m, najmanjša dolžina 20 m in največja 350 m), povprečna širina pa 29.2 m (standardna deviacija 12.8 m, najmanjša širina 10 m in največja 80 m). Ker je tretjina usadov manjših od spodnjih mejnih vrednosti, je povprečje za vse usade precej manjše.

Slika 3 : Karta razprostranjenosti usadov

Fig. 3: The location of landslides



## PROSTORSKA RAZPOREDITEV USADOV

Na sliki 3 je prikazana prostorska razporeditev vseh 325 usadov. Izstopajo pogostejši usadi v severnem in južnem pasu. Severni pas, kjer sem naštel 140 usadov, leži v andezitnih tufih vzhodno od doline Ložnice in zajema v glavnem površne dele potoka Dobje. Južni, do 2 km širok pas v smeri zahod-vzhod, s 176 usadi, je večinoma na severni strani teharske antiklinale, kjer so v govških skladih povirja kratkih potokov levega pritoka Ložnice iz Proseniškega.

Takšna neenakomerna razporeditev kaže, da so usadi tesno navezani na specifične geološke in geomorfološke okoliščine, ki jih bom poskušal razčleniti v nadaljevanju.

Pri proučevanju prostorske razporeditve usadov sem upošteval nagnjenost pobočja, na katerem se je utrgal usad, ekspozicijo pobočja, kamninsko zgradbo, rabo tal in lego usada glede na bližnje reliefne oblike.

Tabela 6: Nagnjenost pobočij in število usadov  
Table 6: Frequency of landslides by slope gradient

Naklon pobočja	Število	%
0 - 5°	0	0
6 - 10°	12	3.7
11 - 15°	80	24.6
16 - 20°	104	32.0
21 - 25°	66	20.3
26 - 32°	44	13.5
Nad 33°	19	5.9
<b>S k u p a j</b>	<b>325</b>	<b>100.0</b>

Iz tabele je razvidno, da se je 129 usadov (39.7 %) utrgalo na pobočjih, ki so strmejša od 21° in so večinoma pod gozdom. Precej jih je tudi na strmih pobočjih nad 33°, ki so v tem območju razmeroma redka in omejena na zatrepne dele grap. Prav malo usadov je na položnih pobočjih do 10°, ki prevladujejo v osrednjem, terasastem in rahlo gričevnatem delu.

Tabela 7: Ekspozicija pobočij in število usadov  
 Table 7: Frequency of landslides by aspect of slopes

Ekspozicija	Število	%
Severna (N)	51	15.7
Južna (S)	43	13.2
Vzhodna (E)	51	15.7
Zahodna (W)	54	16.6
Severovzhodna (NE)	37	11.4
Severozahodna (NW)	26	8.0
Jugovzhodna (SE)	24	7.4
Jugozahodna (SW)	39	12.0
<b>S k u p a j</b>	<b>325</b>	<b>100.0</b>

Iz tabele je razvidno, da ekspozicija pobočij ne vpliva na razporeditev usadov. Nekoliko manjša deleža za severozahodna in jugovzhodna pobočja je možno razložiti z majhnim obsegom teh pobočij, kajti v dolinski mreži izrazito prevladuje smer sever - jug (to velja predvsem za glavne doline) in zahod - vzhod (večinoma stranske doline).

Že prej je bila omenjena tesna zveza med kamninsko zgradbo in usadi (tabela 1). Na 15.38 km<sup>2</sup> ozemlja (43.9%) iz govških skladov in andezitnega tufa sem zabeležil kar 267 oziroma 82.1 % vseh usadov. Tudi primerjava litološke karte (slika 2) in karte razprostranjenosti usadov (slika 3) nam jasno odraža tesno navezanost usadov na nekatere kamnine.

Prav tako obstaja tesna povezava med rabo tal in razporeditvijo usadov (tabela 8):

Tabela 8: Raba tal in število usadov  
 Table 8: Frequency of landslides by land use categories

Zem. kategorija	Število	%
Gozd	172	52.9
Travnik	79	24.3
Sadovnjak	64	19.7
Njiva	4	1.2
Vinograd	3	0.9
Travnik-vinograd	2	0.6
Travnik-njiva	1	0.3
<b>S k u p a j</b>	<b>325</b>	<b>100.0</b>

Po topografski karti v merilu 1:25 000 pokriva gozd 14.61 km<sup>2</sup> ozemlja (41.7%). To pomeni, da je na tej površini 52.9% vseh usadov oziroma v povprečju 11.8 usadov

na 1 km<sup>2</sup>. To presega povprečno gostota za celotno ozemlje (9.3 usadi na 1 km<sup>2</sup>) in je v nasprotju z ugotovitvami Radinje (1974, 90-91), ki je na Zgornjem Sotelskem ugotovil 87% vseh usadov na travnikih in v sadovnjakih ter samo 13% na njivah, v vinogradih, vrtovih in gozdu, oziroma da na gozdnih pobočjih usadov pravzaprav ni.

Skoraj vsi ostali usadi so na travnikih in v sadovnjakih (143 oziroma 44%), kar se ujema z ugotovitvami Radinje, da je (izven gozdnih površin) največ usadov prav na teh dveh zemljiških kategorijah.

Postavlja se vprašanje, od kod tolikšna razlika v ugotovitvah o gostoti usadov v gozdu. Glede na ostale pokazatelje razporeditve usadov na proučevanem območju, zlasti lego usadov glede na kamninsko zgradbo in druge geomorfološke oblike, menim, da je v tej razpravi ugotovljena razporeditev normalna in bi proučevanja po isti metodologiji v drugih delih subpanonske Slovenije dala slične rezultate.

Kot je razvidno iz tabele 9, je velik del usadov navezan na površne dele dolinic in grap, na njihova pobočja ali na spodnje dele pobočij večjih dolin, kjer so po naravi najugodnejše hidrološke in geomorfološke razmere za proženje usadov.

Dodatni argument za zgornjo trditev je tudi znano dejstvo, da je človek pri izbiri poselitvenega prostora in obdelovalnih površin zelo skrbno izbiral med možnostmi, ki mu jih je nudila narava. Na manj strmih, stabilnejših delih pobočij si je napravil njive, na vlažnejših in manj stabilnih pa pašnike, travnike in sadovnjake. Najbolj labilne dele pobočij, zlasti povirja grap ter razčlenjena in vlažna pobočja v osojah je človek večinoma puščal pod gozdom. Radinja (1974, 91) ima do teh trditev pomisleke zaradi lastne ugotovitve, da na Sotelskem v gozdu usadov skorajda ni. To odsotnost usadov v gozdu razlaga z veliko vlogo drevja pri stabilnosti pobočnega materiala in hidrološkim ravnotežju v gozdnih tleh. Ta vloga je pri manjših, zelo plitvih usadih gotovo pomembna, saj sem na proučevanem območju našel celo primer, ko se je plitvi usad premaknil le nekaj metrov navzdol po pobočju in obtičal ob prvem večjem drevesu. Pri večjih usadih, kjer so razlogi za njihovo proženje izven preperelinske odeje in kroženja vode v najbolj zgornji plasti, pa jih tudi drevesa ne morejo preprečiti.

Tabela 9: Lega usadov glede na položaj v reliefu

Table 9: Frequency of landslides by position in regard to other landforms

Lega	Število	%
V zatrepu grape	26	8.0
V zatrepu dolinice	45	13.8
Na pobočju manjše grape	37	11.4
V sredini pobočja	161	49.5
V spodnjem delu pobočja	48	14.8
V usadu - sekundarni	5	1.5
Na omejkju	3	0.9
<b>S k u p a j</b>	<b>325</b>	<b>100.0</b>



Tabela kaže na možnost, da je 108 usadov (33.2%) tesno navezanih na nastajanje grap in drugih linearnih fluvialnih oblik, ki sicer prevladujejo v tem tipu reliefa. 209 usadov (64.3%) je neposredno povezano s procesi oblikovanja pobočij. Te povezave bom podrobneje obravnaval v drugem delu razprave.

Kategorija "V sredini pobočja" je sicer precej ohlapna, saj sem vanjo vključil vse usade, katerih lega na pobočjih je takšna, da jih ni možno neposredno povezovati z drugimi oblikami. Vendar pa nisem našel usada, ki bi se utrgal v zgornjem, konveksnem delu pobočij, razen nekaterih primerov v zatrepih grap ali dolinic. Zgornji deli pobočij so dejansko najbolj stabilni in kljub številnim njivam ter vinogradom na njih ni usadov.

Drugačne so razmere v spodnjih delih pobočij, kjer sem zabeležil 48 usadov (14.8%). Tu se pogosteje pojavljajo usadi iz dveh razlogov: ponekod imajo spodnji deli pobočij konveksni prečni profil, v večini primerov pa je pobočje konkavno in se na njem kopiči koluvij, obenem pa v teh delih prihaja na površje talna voda.

Za ugotavljanje odvisnosti usadov od dveh ali več dejavnikov hkrati oziroma za ugotavljanje razlik znotraj določene kategorije (nagnjenost pobočij, ekspozicija, kamninska zgradba, raba tal idr.) sem uporabil metodo kontingenčnih tabel, izračunanih s programom SPSS. Ta metoda je primerna za geografska proučevanja iz treh razlogov:

- omogoča primerjanje različnih tipov spremenljivk (nominalnih, ordinalnih, intervalnih)
- omogoča svobodno interpretacijo povezanosti na osnovi tabel
- samo nakazuje povezanost in ne operira z absolutnimi pokazatelji, ki v mnogih primerih niso smiselni.

Metodo je podrobneje obdelal in uporabil P e r k o (1987) pri proučevanju povezanosti med prirodnimi in družbenimi pokrajinskimi dejavniki. Pri proučevanju usadov sem uporabil metodo v manjšem obsegu, vendar sem vseeno dobil koristne rezultate.

V analizo sem vključil devet spremenljivk za vsak usad. Prvih šest (LEGA, OBLIKA, NAKLON, EKSPOZ, KAMEN, RABA) je enakih kot v predhodnih analizah, tri pa so nove, izračunane iz dolžine in širine usada:

1. DOLKLA - dolžina usada, razvrščena v razrede (glej tabelo 3).
2. SIRKLA - širina usada, razvrščena v razrede (glej tabelo 4).
3. KPUKLA - koeficient podolgovatosti usada, razvrščen v razrede (glej tabelo 5).

S podprogramom CROSSTABS sem najprej za vse medsebojne povezave izračunal vrednost  $h_i^2$ , nato pa kontingenčne korelacijske koeficiente  $r$  za vseh devet spremenljivk (tabela 10).

Tabela 10: Kontingenčni korelacijski koeficienti  $r$   
 Table 10: Contingency correlation coefficients  $r$  for nine variables

	L	O	N	E	K	I	D	S
	E	B	A	K	A	Z	O	I
	G	L	K	S	M	R	L	R
	A	I	L	P	E	A	K	K
		K	O	O	N	B	L	L
		A	N	Z		A	A	A
LEGA								
OBLIKA	0.225							
NAKLON	0.174	0.190						
EKSPOZ	0.162	0.137	0.199					
KAMEN	0.217	0.196	0.217	0.209				
RABA	0.357	0.183	0.220	0.183	0.230			
DOLKLA	0.150	0.199	0.216	0.145	0.193	0.181		
SIRKLA	0.186	0.163	0.240	0.182	0.138	0.345	0.307	
KPUKLA	0.203	0.225	0.218	0.248	0.209	0.223	0.409	0.230

Kontingenčni korelacijski koeficienti so majhni, saj znašajo samo od 0.15 do 0.3, kar pomeni, da je povezanost spremenljivk zelo nizka (do 0.2) oziroma nizka (do 0.4).

Tako nizki kontingenčni korelacijski koeficienti potrjujejo, da povezave med spremenljivkami niso tako močne kot so ugotavljali nekateri dosedanja proučevalci, tudi ne med proženjem usadov in rabo tal. Usadi so sicer navezani na določene kamnine ali zemljiške kategorije, vendar pa na razporeditev znotraj ene kategorije vplivajo še ostale spremenljivke. Izračunani koeficienti govorijo samo o tem, koliko so učinkovanje spremenljivk vpliva na razporeditev usadov. Nizke vrednosti koeficientov povedo, da na razporeditev usadov ne vpliva le ena ali dve spremenljivki, marveč tudi ostale. Katere spremenljivke pa to so, nam kontingenčni korelacijski koeficienti ne povedo.

Da bi odstranili vplive ostalih spremenljivk, moramo za proučevanje izbrati samo množice usadov, ki se pojavljajo po posameznih kategorijah neodvisnih spremenljivk.

Iz tabele 8 je razvidno, da se 52.9% usadov pojavlja na površinah pod gozdom. Toda to še ne pomeni, da je gozd tista spremenljivka, ki to edina pogojuje. Podrobnejši vpogled v vpliv gozda na pojavljanje usadov dobimo, če vse zemljiške kategorije združimo v gozdne in negozdne ter znotraj teh dveh ugotavljamo značilnosti usadov. Kot izhodišče si postavimo tri hipoteze, ki izhajajo iz dosedanjih proučevanj usadov v subpanonskem svetu Slovenije:

- v gozdu se pojavljajo večji usadi kot na kmetijskih površinah
- večina usadov, ki so vezani na erozijske procese, se pojavlja v gozdu
- usadi so v gozdu na strmejših pobočjih kot na kmetijskih površinah

V tabeli 11 je prikazana razporeditev usadov po velikosti (dolžini) na gozdnih in kmetijskih zemljiščih.

Tabela 11: Razporeditev usadov po dolžini na gozdnih in kmetijskih površinah  
Table 11: Frequency of landslides by land use categories (wood, agricultural land) and length

	pod 20 m	21- 75 m	76- 100 m	100- 150 m	150- 200 m	nad 200 m
Gozdne površine	65	72	16	14	5	-
Kmetijske površine	57	58	16	13	6	3
Skupaj	122	130	32	27	11	3
%	37.5	40.0	9.8	8.3	3.4	0.9

$$hi^2 = 4.0634$$

$$r = 0.11112$$

Izračunani kontingenčni korelacijski koeficient  $r$  je zelo nizek in kaže na majhno odvisnost dolžine usadov od tega, ali se pojavljajo v gozdu ali ne. To pomeni, da prva hipoteza (v gozdu so večji usadi kot na kmetijskih površinah) ne drži.

Naslednjo hipotezo poskušam ovreči tako, da razvrstim usade glede na to, ali so neposredno povezani s fluvioerozijskimi oblikami ali ne. Kot prve sem upošteval usade, ki se pojavljajo v zatrepu grap in dolinic in na pobočjih manjših grap ("fluvioerozijski" usadi). Kot nepovezane z erozijskimi oblikami sem upošteval usade sredi in v spodnjih delih pobočij ("pobočni" usadi), v kategorijo ostalih pa sem vključil sekundarne usade in usade na omejkah.

Tabela 12: Razporeditev usadov iz sistemov fluvioerozijskih in pobočnih procesov glede na rabo tal  
Table 12: The distribution of landslides connected with fluvio-erosional and slope processes according to the land use (wood, agricultural land)

	Fluvioeroz. usadi	Pobočni usadi	Ostalo	Skupaj
Gozdne površine	57	112	3	172 (52.9%)
Kmetijske površine	51	97	5	153 (47.1%)
Skupaj	108	209	8	325
%	33.2	64.3	2.5	

$$hi^2 = 0.80186$$

$$r = 0.0496$$

Kontingenčni korelacijski koeficient  $r$  je tudi v tem primeru zelo majhen, kar spet kaže na majhen pomen gozda pri pojavljanju usadov, ki so neposredno povezani z erozijskimi oblikami. To pomeni, da tudi ta hipoteza (več usadov, ki so vezani na fluvioerozijske oblike, se pojavlja v gozdu) ne drži in da ni bistveno, ali so se taki usadi sprožili na gozdnih ali kmetijskih površinah.

Tretja hipoteza se glasi, da se usadi na gozdnih površinah prožijo na bolj strmih pobočjih kot drugje. To bi lahko izrazili tudi tako, da je človek izkoristil manj strma, stabilnejša pobočja, strmejša pa je pustil pod gozdom.

Tabela 13: Razporeditev usadov glede na nagnjenost pobočja in rabo tal

Table 13: Frequency of landslides by land use categories (wood, agricultural land) and slope gradient

	Do 20°	Nad 21°
Gozdne površine	80	92
Kmetijske površine	116	37
<b>S k u p a j</b>	<b>196</b>	<b>129</b>
<b>%</b>	<b>60.3</b>	<b>39.7</b>

$$h_i^2 = 27.84$$

$$r = 0.2927$$

Izračunani korelacijski koeficient  $r$  kaže na šibko odvisnost usadov od obeh spremenljivk. Iz tabele je sicer razvidno, da je na strmih pobočjih več usadov v gozdu kot na kmetijskih površinah, vendar zaradi tega še ne moremo zanesljivo trditi, da postavljena hipoteza drži. Kot sem rekel že prej, je človek izbral manj strma pobočja za obdelovalne površine in je verjetno izkrčen večji delež položnejših kot strmejših pobočij in to se tudi odraža na tej povezanosti. Torej lahko s precejšnjo gotovostjo ovržemo tudi to hipotezo.

Kot zaključek tega poglavja lahko povzamem, da raba tal ne vpliva bistveno niti na pojavljanje niti na velikost usadov. To pomeni, da so usadi naravni pojav, ki se ni začel šele s krčenjem prvotnega gozda, marveč je obstajal že prej kot pomemben člen denudacijsko-erozijskega sistema geomorfni procesov in ga človekova dejavnost v tem prostoru ni bistveno spremenila.

## POLOŽAJ USADOV V GEOMORFNEM SKLOPU

Velika gostota usadov v nekaterih delih proučevanega območja in ugotovljena šibka povezanost med njimi in nekaterimi pokrajinskimi elementi (raba tal, kamninska podlaga, nagnjenost pobočij idr.) je pokazala, da usadi niso rezultat človekovega delovanja, marveč sestavni del bolj ali manj naravnega sistema geomorfnih procesov, ki to površje danes preoblikujejo. Kvantitativne analize deleža usadov pri prenašanju materiala še ni možno izvesti zaradi omejenih možnosti, lahko pa na osnovi opravljene analize usadov vsaj približno ugotovimo njihovo mesto v tem sistemu.

Proučevano območje pripada obsežnemu fluviodenudacijskemu površju, ki zajema večji del sredogorskega in gričevnatega nekraškega sveta v porečju Savinje. Na njem so prostorsko in količinsko najpomembnejši naslednji trije geomorfni sistemi:

1. sistem pobočnih procesov
2. sistem fluvioerozijskih procesov
3. sistem fluvioakumulacijskih procesov

Usadi na proučevanem območju se pojavljajo v prvem (217 ali 66.8%) in drugem (108 ali 33.2%) sistemu, v tretjem pa v veliki meri prispevajo k množini akumuliranega materiala v dolinskem dnu ob bližnjih potokih.

### 1. Usadi v sistemu pobočnih procesov

Ta sistem prostorsko prevladuje, vanj pa spadajo vsi geomorfni procesi, ki delujejo na pobočju, med njimi pa so najpomembnejši preperevanje, premikanje delcev pod vplivom gravitacije, denudacija in podpovršinsko izpiranje (Encyclopedia, 1968, 1007). S tem sistemom je na proučevanem območju povezanih 217 usadov (66.8%), kar kaže na velik pomen usadov znotraj tega sistema. Shematični položaj usadov v tem sistemu je prikazan na sliki 4.

Na pobočjih prevladujeta naslednja dva načina premikanja mas:

- premikanje pod neposrednim vplivom gravitacije
- ploskovno odnašanje ali denudacija

Premikanje pod neposrednim vplivom gravitacije poteka na dva načina:

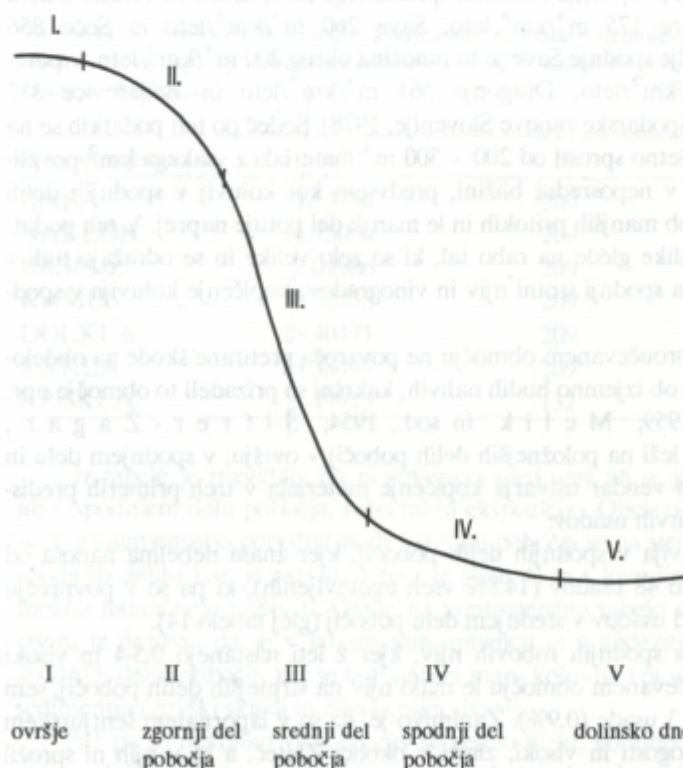
- polzenje tal
- plitvi usadi

Polzenje tal je splošno razširjen proces premikanja delcev v nesprijeti preperelini. Premikanje delcev znaša letno v povprečju nekaj milimetrov, odvisno pa je od nagnjenosti pobočja, velikosti delcev v preperelini in od vlage. Poglavitni vzroki za premikanje delcev so nihanja temperature (zlasti nabrekanje tal ob zmrzovanju) in vsebnosti vlage v preperelini (nabrekanje glinastih delcev). Ta proces večinoma ne ustvarja posebnih mikrooblik, kvečjemu drobno, nepravilno valovitost površja. Na osnovi

Slika 4: Shematični položaj usadov v sistemu pobočnih procesov

Fig. 4: The schematic position of landslides in the system of slope processes

Šibka denudacija	denudacija polzenje tal	plitvi usadi, denudacija, polzenje tal	akumulacija kolvija, plitvi usadi, denudacija, polzenje tal	akumulacija kolvija, rečni transport in akumulacija	PREVLADUJOČ PROCES
debela	srednje debela	tanka	debela, 1-4 m kolvija	Jebela, več metrov kolvija in fluvio-akumulacijskega mat.	DEBELINA PREPERELINE
naselja, okrog njih njive	njive, travniki, sadovnjaki	gozd, travniki, sadovnjaki	njive, travniki, gozd	travniki	RABA TAL
0	0	161	48	0	ŠTEV. USADOV



terenskih opažanj sodim, da je ta proces le v manjši meri povezan s proženjem usadov in sam po sebi ne ustvarja predispozicij za proženje usadov.

Plitvi usadi ali preperelinski usadi so na proučevanem območju najbolj razširjena oblika premikanja delcev pod neposrednim vplivom gravitacije in, kot so ugotovili že drugi, eden najpomembnejših geomorfni procesov v subpanonski Sloveniji. R a d i n j a (1974, 83) jih ima za "drobna, lokalno porušena ravnotežja same preperelinske odeje teh pobočij... že glede na razvojni prostor prej posledica pedogenetskih kot morfogenetskih procesov." Tudi na proučevanem območju na pobočjih prevladujejo manjši, le 0.5 - 1 m globoki usadi. Večinoma se pojavljajo v skupinah (t.im. usadna pobočja), so enkratni pojav in nasploh zelo podobni usadom, ki jih je na Zgornjem Sotelskem proučeval R a d i n j a (1974, 1983a). So delo tudi ploskovnega odnašanja in z njim povezanega lokalnega kopičenja koluvialnega materiala.

Ploskovno odnašanje ali denudacija je močan geomorfni proces na nesprijetih ali slabo sprijetih terciarnih sedimentih v celotnem subpanonskem delu Slovenije, še zlasti na slabo prepustnih lapornatih in glinastih sedimentih. Kvantitativni podatki o množini odnešenega materiala so za naše kraje še zelo redki. Sodeč po množini materiala, ki ga reke prenašajo, znaša povprečna množina sproščenega materiala v slovenskem delu porečja Drave in Mure  $175 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{leto}$ , Save  $260 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{leto}$  in Soče  $856 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{leto}$ . Za območje spodnje Save je ta množina okrog  $200 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{leto}$ , v porečju Ščavnice  $264 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{leto}$ , Dragonje  $561 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{leto}$  in Badaševce  $332 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{leto}$  (Vodnogospodarske osnove Slovenije, 1978). Sodeč po teh podatkih se na proučevanem območju letno sprosti od 200 - 300  $\text{m}^3$  materiala z vsakega  $\text{km}^2$  površine. Večji del se odloži v neposredni bližini, predvsem kot koluvij v spodnjih delih pobočij in v dnu dolin ob manjših pritokih in le manjši del potuje naprej. V teh podatkih niso upoštewane razlike glede na rabo tal, ki so zelo velike in se odražajo tudi v mikrooblikah (omejki na spodnji strani njiv in vinogradov, kopičenje koluvija v spodnjih delih pobočij).

Čeprav erozija na proučevanem območju ne povzroča pretirane škode na obdelovalnih površinah (razen ob izjemno hudih nalivih, kakršni so prizadeli to območje npr. junija 1954 in junija 1959; M e l i k in sod., 1954; Š i f r e r - Ž a g a r , 1960), kajti večina njiv leži na položnejših delih pobočij v ovršju, v spodnjem delu in na pobočnih policah, pa vendar ustvarja kopičenje materiala v treh primerih predispozicije za nastajanje plitvih usadov:

- akumulacija koluvija v spodnjih delih pobočij, kjer znaša debelina nanosa od 1-4 m. Tu se je sprožilo 48 usadov (14.8% vseh ugotovljenih), ki pa so v povprečju nekoliko krajši in širši od usadov v srednjem delu pobočij (glej tabelo 14).

- kopičenje prsti na spodnjih robovih njiv, kjer z leti nastanejo 0.5-4 m visoki omejki. Ker je na proučevanem območju le malo njiv na strmejših delih pobočij, sem na omejkah ugotovil le 3 usade (0.9%). Zanimivo je, da so v lapornatem šentjurskem apnencu omejki zelo pogosti in visoki, zlasti v okolici Zlateč, a se v njih ni sprožil noben usad. Po S o r e t u (1963) imajo na zgornjem Sotelskem omejki pomembnej-

šo vlogo pri proženju usadov, vendar so tam njive in vinogradi tudi na precej strmejših pobočjih kot na proučevanem območju.

- kopičenje prsti za drevjem v gozdu povzroča povečevanje višinske razlike med delom pobočja nad in pod drevesom. Za drevesnim deblom se odlaga koluvij in pri tem v pripobočnem delu počasi nastaja plitva kotanja, kjer se ob določenih pogojih lahko zbira padavinska voda in povzroči sproženje usada. Neposredno pod drevesom pa padavinska voda tanjša preperelinsko odejo in s tem prispeva k labilnosti delov pobočja tik nad tem mestom. Na osnovi terenskih opazovanj sodim, da se tako sproži precej usadov v gozdu sredi pobočij.

Zastavlja se vprašanje, ali obstajajo razlike v legi usadov v srednjih in spodnjih delih pobočij, kjer je zaradi akumulacije koluvija debelejša plast nesprijetega materiala, vendar manjša nagnjenost. Do odgovora lahko pridemo s pomočjo kontingenčnih tabel. Upošteval sem samo dve kategoriji usadov glede na lego: usade v srednjih delih pobočij in usade v spodnjih delih pobočij, kjer se nabira koluvij. Obe skupini sem primerjal glede na naslednje spremenljivke: raba tal, nagnjenost pobočja, ekspozicija, kamninska podlaga, dolžina, širina in koeficient podolgovatosti (tabela 14).

Tabela 14: Kontingenčni korelacijski koeficienti  $r$  za usade v srednjih in spodnjih delih pobočij

Table 14: Contingency correlation coefficients ( $r$ ) for landslides occurring in the middle and in the lower parts of slopes

Spremenljivka	hi <sup>2</sup>	N	r
RABA	4.53756	209	0.14734
NAKLON	14.75090	209	0.26567
EKSPOZ	7.04986	209	0.18366
KAMEN	11.72753	209	0.23688
DOLKLA	18.40471	209	0.29675
SIRKLA	23.38497	209	0.33450
KPUKLA	5.49913	132	0.20411

Iz tabele je razvidno, da ni povezave med tem, ali se je usad sprožil v srednjem ali v spodnjem delu pobočja, rabo tal in ekspozicijo. Obstaja pa nizka stopnja povezanosti z nagnjenostjo pobočij (usadi v sredini pobočja so na strmejših pobočjih kot tisti v spodnjih delih, kar je razvidno tudi iz slike 4) in s kamninsko zgradbo, česar pa ni možno natančneje razložiti. Glede na kontingenčno tabelo sodim, da nekoliko višji  $r$  izvira iz dejstva, da je v lapornatem apnencu in v andezitnem tufu manj usadov v spodnjih delih pobočij, ker se tam nabira manj koluvija kot v bolj glinastih in peščenih sedimentih (govški skladi in oligocenska sivica).

Pač pa so nekoliko višji, čeprav še vedno nizki, kontingenčni korelacijski koeficienti za dolžino, širino in podolgovatost usadov. Iz kontingenčnih tabel je razvidno, da so v spodnjih delih pobočij nekoliko krajši in širši usadi kot v sredini.



Torej, predispozicije za usade v pobočnem geomorfemnem sistemu ustvarjajo precej različni geomorfni procesi, vendar se to ne izraža posebej izrazito niti v odvisnosti usadov od zunanjih spremenljivk, niti v njihovih dimenzijah. To nadalje pomeni, da so na proučevanem območju usadi hkrati odvisni od več spremenljivk in da so dosedanji proučevalci pripisovali prevelik pomen posameznim spremenljivkam.

## 2. Usadi v sistemu fluvioerozijskih procesov

Na proučevanem območju se pojavlja 108 usadov (33.2%) v povezavi z linearnimi fluvioerozijskimi oblikami (grapami, dolinicami in dolinami). Ta povezanost in izoblikovanost teh usadov kaže, da so sestavni del fluvioerozijskega sistema, ki je poleg sistema pobočnih procesov drugi najpomembnejši.

Že v prvem delu razprave je omenjena tesna povezanost usadov s tektonskimi in geomorfološkimi značilnostmi širšega območja. V že omenjeni celjski sinklinali, ki zavzema osrednji del proučevanega območja, se je v smeri zahod- vzhod izoblikovalo široko plitvo podolje z izrazito asimetrično rečno mrežo. Os podolja je namreč tesno pod južnim robom, južni pritoki so bistveno krajši od severnih. Takšna rečna mreža je posledica neotektonskih premikov v kvartarju. Tudi pojavljanje usadov v obeh vzporednih pasovih je vsaj deloma pogojeno s konvergentnim vpadom plasti terciarnih sedimentov v sinklinali in neotektonskim dviganjem obeh antiklinal, pa tudi z morfološkim razvojem tega vzhodnega nadaljevanja Celjske kotline.

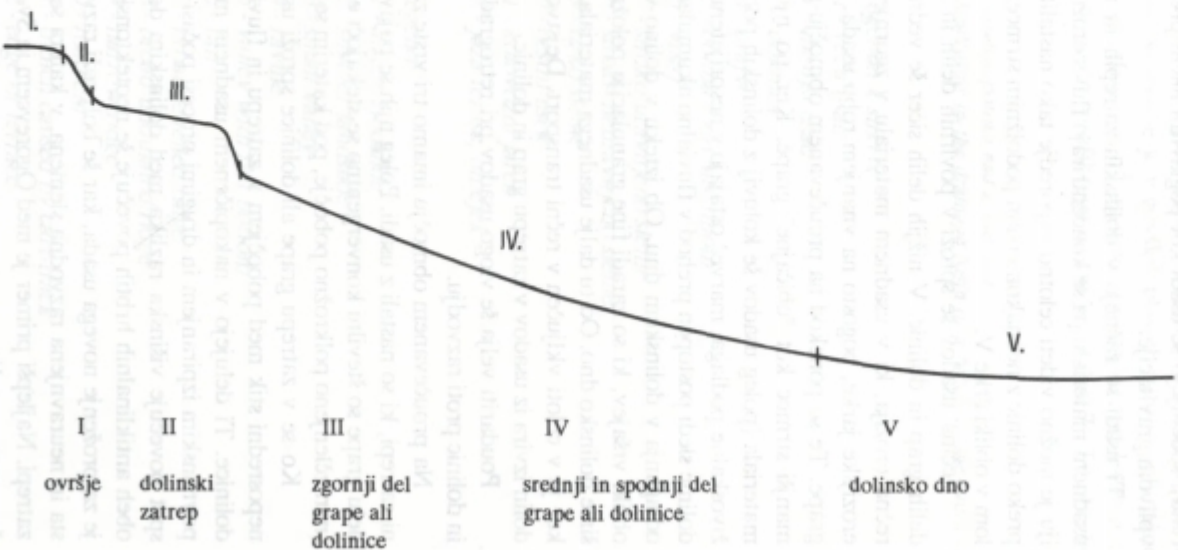
Pliocenski rečni sedimenti, ki so naloženi na spodnje- in srednjemiocenske morske sedimente, kažejo, da je bilo tu še v pliocenu območje fluvialne akumulacije. M e z e (1963) meni, da je v pliocenu tod tekla proti vzhodu prednica današnje Savinje. Kasneje se je na teh sedimentih razvila nova rečna mreža, ki je obrnjena proti zahodu in izrazito asimetrična.

Od osrednjega podolja, po katerem tečeta Ložnica v spodnjem toku in njen pritok iz Proseniškega, se proti severu in jugu vrezuje v nekoliko višje obrobje podolja vrsta manjših potokov, ki imajo v dnu podolja plitve doline (20-30 m) s širokim in vlažnim dnom, v območju obeh sinklinal pa se naglo razvejijo v številne ozke in strme grape. V zatrepih se prožijo številni usadi, v njih pa z močno retrogradno rečno erozijo nastane gosta mreža grap in erozijskih jarkov. Ti usadi niso posledica nastajanja teh erozijskih oblik, kakor se marsikdaj misli (Z á r u b a - M e n c l, 1969, 39), marveč ustvarjajo pogoje za intenzivno linearno rečno erozijo.

Tudi proučevanja usadov v drugih delih subpanonske Slovenije bolj poudarjajo povezanost usadov s pobočnimi procesi, enako proučevanja posledic hudih neurij junija 1954 (M e l i k i n s o d., 1954) in junija 1959 na celjskem območju (Š i f e r r - Ž a g a r, 1960). Slednja sicer poudarjajo, da so bila glavna torišča geomorfnega dogajanja grape in zgornji deli dolin, vendar v tem kompleksu ne obravnavajo usadov, ki so z njimi neposredno povezani.

Slika 5: Shematični položaji usadov v sistemu fluvioerozijskih procesov  
 Fig. 5: The schematic position of landslides in the system of fluvio-erosional processes

Šibka denudacija	proženje usadov, povezano z retrogradno erozijo, denudacija	akumulacija usadnega materiala, linijska erozija, podpovršinsko izpiranje	linijska erozija, transport usadnega materiala, količija in usadov sosednjih pobočij	rečna akumulacija (vršaji v zg. delih, poplavna akumulacija v spodnjih), kopičenje koluvijskega materiala na robovih	PREVLADUJOČ PROCES
debela, odvisno od kamnine	tanka do srednje debela	nakopičen usadni material zelo različne debeline	nakopičen usadni material, ki potuje po depresiji navzdol, pomešan s koluvijskim	debeli rečni nanosi, slabo sortirani in pomešani s koluvijskim	DEBELINA PREPERELINE
naselja, okrog njih njeve	travniki, gozd, sadovnjaki	gozd, travniki,	gozd, travniki,	travniki	RABA TAL



V tej shematični podobi je poudarjena vloga usadov v okviru fluvioerozijskih procesov, ki je zelo pomembna na proučevanem območju in tudi v drugih delih subpanonske Slovenije. Za razliko od "normalnih" razmer, kjer se prepletata denudacija (v ožjem pomenu besede) in rečna erozija (odnašanje, prenašanje in odlaganje materiala), sodelujejo še usadi kot poglavitni način prenašanja materiala pod neposrednim vplivom gravitacije.

Ti usadi se začnejo v dolinskih zatrepih in polzijo po grapi ali dolinici, na tem usadnem materialu pa se koncentrirajo fluvioerozijski procesi. Na proučevanem ozemlju je možno videti celotno zaporedje tako nastalih oblik, od plitvih erozijskih jarkov, preko dolinic z neenakomernim podolžnim strmcem do grap z izrazitim prečnim profilom v obliki črke V.

Večina usadov se sproži v povirnih delih in le izjemoma v srednjih ali spodnjih delih grap in dolinic. V nižjih delih sicer še vedno počasi polzijo, vendar prevladuje rečna erozija, ki v usadnem materialu v zgornjem in srednjem delu doline ustvarja erozijske jarke, pogosto na vnanjem robu usada. V spodnjem delu prehajajo v prave grape. Te so ponekod na proučevanem območju globoke preko 100 m, vendar imajo manjši strmec kot "običajne" grape. Ker po njih potujejo navzdol velike množine materiala (poleg usadov še koluvij z dolinskih pobočij), v večini primerov ne dosežejo živoskalne podlaga, marveč ostajajo v nesprijetem materialu. V spodnjem delu grap in dolinic sledi postopen prehod v fluvialno akumulacijo, ki ima sprva značaj prehodnega odlaganja v dolinskem dnu. Ob izteku v dolino višjega reda pa se material odlaga v obliki vršajev, ki so zaradi fine granulacije položni ( $3-8^\circ$ ), majhni in naglo preidejo v širše dolinsko dno. Od tu dalje usadnega materiala ne moremo več posebej zasledovati, ker je v celoti vključen v rečni transport. Dejstvo pa je, da velik del materiala v dnu dolin izvira iz usadov v zatrepu grap in dolinic.

Poudariti velja še vlogo usadov pri retrogradnem pomikanju povirnih delov grap in dolinic proti razvodju.

Na proučevanem območju imamo tri vrste zatrepov. Prevladujejo široki polkrožni zatrepi, ki so nastali z usadi. Poleg njih se pojavljajo še erozijski zatrepi (v zgornjem delu grape so številni konvergentno se stekajoči erozijski jarki) in denudacijski zatrepi (nerazčlenjeno polkrožno pobočje, pod katerim se zelo izrazito začenja grapa).

Ko se v zatrepu grape ali dolinice sproži usad, se za določeno obdobje prekine neposredni stik med pobočjem v zatrepu in fluvioerozijskimi procesi v dnu grape ali dolinice. Ti delujejo v nakopičenem usadnem materialu, ki ga v sodelovanju s podpovršinskim izpiranjem in drugimi procesi počasi odnašajo navzdol po dolini. S tem se spet povečuje višinska razlika med dolinskim dnom in pobočjem v zatrepu, ki jo v obeh antiklinalnih hrbtih povečuje še neotektonsko dviganje ter ustvarja predispozicije za proženje novega usada, kar še bolj zoži razvodni hrbet. Rezultat so ozka, vijugasta in neuravnjena razvodna slemena, v katera se z obeh strani zajedajo strmi dolinski zatrepi. Najlepši primer je med Ogorevcem in Sv. Rozalijo v jugovzhodnem delu proučevanega ozemlja.

Na sliki 6 je kot primer povezanosti fluvioerozijskih oblik in usadov prikazano povirje potoka nad Zlatečami, ki leži v skrajnem jugovzhodnem kotu proučevanega ozemlja.

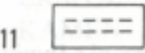
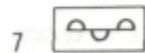
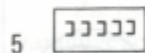
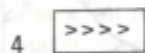
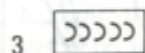
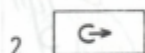
Potok teče pod Zlatečami po ozki dolini skozi pas lapornatega šentjurskega apnenca, kjer so pobočja dolin razčlenjena le s plitvimi stranskimi dolinicami in številnimi, do 4 m visokimi omejkami. Južno od vasi se je v govških plasteh razvilo polkrožno povirje potoka in v njem sem na površini 1 km<sup>2</sup> ugotovil 15 usadov, od katerih je največji dolg kar 350 m (podolžni in prečni profil tega usada je na sliki 7). Tu prevla-

Slika 6: Usadi in fluvioerozijske oblike v povirju potoka nad Zlatečami

Fig. 6: Landslides and fluvio-erosional landforms in the drainage basin of a brook to the south of the village Zlateče

LEGENDA

LEGEND



Legenda k sliki 6:

- 1 - večji usad
- 2 - manjši usad
- 3 - dolinica
- 4 - grapa
- 5 - dolina z ravnim dnom
- 6 - vršaj
- 7 - široko uravnjeno sleme
- 8 - široko neuravnjeno sleme
- 9 - ozko sleme
- 10 - cestni usek
- 11 - kolovozni jarek
- 12 - ježa terase, omejek

Legend:

- 1 - larger landslide
- 2 - smaller landslide
- 3 - small valley
- 4 - ravine
- 5 - valley with flat bottom
- 6 - fan
- 7 - broad levelled ridge
- 8 - broad undulated ridge
- 9 - narrow ridge
- 10 - road-cut
- 11 - trench caused by cart-track
- 12 - edge of terrace



dujejo usadna pobočja, fluvioerozijske oblike pa so zelo neizrazite zaradi usadov, ki se prožijo v zatrepnih grap in na njihovih pobočjih.

Podobne razmere srečamo tudi v drugih pritokih potoka iz Proseniškega, ki se od severa vrezujejo v gričevje med podoljem v celjski sinklinali in dolino Voglajne ter severneje pod Bovšami in Marijo Dobjem. Menim, da bi natančnejše kartiranje usadov v drugih delih subpanonske Slovenije razkrilo podobno povezanost usadov s fluvioerozijskimi oblikami.

Naslednje zanimivo vprašanje je, ali se usadi, ki so neposredno povezani s fluvioerozijskimi oblikami, po velikosti in odvisnosti od proučevanih spremenljivk razlikujejo od teh v sistemu pobočnih procesov (tabela 15).

Tabela 15: Povprečna dolžina in širina usadov ter nagnjenost pobočja za usade v pobočnem in fluvioerozijskem geomorfemnem sistemu

Table 15: The average length, width and slope gradient of landslides in the systems of slope and fluvio-erosional landslides

	Srednja vrednost	Standardna deviacija	Minimalna vrednost	Maksimalna vrednost	N
Dolžina (m)					
-pobočni	75.52	40.01	20	225	135
-erozijski	78.97	54.02	35	380	68
Širina (m)					
-pobočni	28.97	13.14	10	80	136
-erozijski	29.57	12.27	15	75	69
Naklon (°)					
-pobočni	19.51	6.02	8	34	217
-erozijski	18.38	6.43	7	34	108

Izračun povprečnih vrednosti (dolžina, širina in nagnjenost pobočja z usadom) za obe skupini ne pokaže posebnih razlik.

Razlike v srednjih vrednostih pri vseh treh parametrih sem testiral s t-testom, da bi ugotovil, ali so izračunane razlike večje od tistih, ki bi jih glede na frekvenčno distribucijo lahko ugotovili znotraj populacije vseh proučenih usadov. Rezultat testiranja je bil negativen, kar pomeni, da izračunane razlike v povprečnih vrednostih niso statistično značilne.

Za nadaljno analizo sem spet uporabil metodo kontingenčnih tabel, ki je dala zanimivejše rezultate. V analizo sem vključil 217 usadov iz sistema pobočnih procesov in 108 usadov iz sistema fluvioerozijskih procesov. Osnovni namen analize je bil, ugotoviti, ali se usadi iz obeh skupin statistično razlikujejo po navedenih spremenljivkah.

Tabela 16: Kontingenčni korelacijski koeficienti  $r$  za usade v sistemih pobočnih in fluvioerozijskih procesovTable 16: Contingency correlation coefficients ( $r$ ) for landslides in the systems of slope and fluvio-erosional landslides

Spremenljivka	$hi^2$	N	$r$
RABA	6.10216	325	0.13576
NAKLON	9.66668	325	0.16995
EKSPZOZ	16.95356	325	0.22840
KAMEN	20.43034	325	0.24320
DOLKLA	3.04488	325	0.09679
SIRKLA	5.23427	325	0.12691
KPUKLA	14.99118	203	0.27175

Iz tabele je razvidno, da ni posebno tesnih povezav med temi spremenljivkami in tem, kateri skupini pripada usad. O nekakšni nizki povezanosti bi lahko govorili samo pri zadnji spremenljivki (koeficient podolgovatosti usada), kjer se v sistemu fluvioerozijskih procesov pojavljajo ožji, bolj podolgovati usadi. Izračunan korelacijski koeficient pri kamninski podlagi bi lahko pomenil, da se več pobočnih usadov pojavlja v govških plasteh in več drugih v andezitnem tufu.

Povzamemo lahko torej, da med obema skupinama ni tako velikih razlik v teh spremenljivkah kot bi jih morda pričakovali na prvi pogled, čeprav to ne pomeni, da se obe skupini usadov med seboj ne razlikujeta. Če namreč pri podrobnejši analizi upoštevamo usade samo v območjih, kjer se pojavlja največ usadov in kjer lahko na osnovi terenskega dela ugotovimo, da prevladuje usajanje v povezavi s fluvioerozijskim procesom, dobimo precej drugačne rezultate.

*Tabela 17: Kontingenčni korelacijski koeficienti za usade v sistemih pobočnih in fluvioerozijskih procesov v izbranih pokrajinskih enotah*

*Table 17: Contingency correlation coefficients (r) for landslides in the systems of slope and fluvio-erosional processes in selected landscape units*

Spremenljivka	Pokrajinska enota			
	103	105	110	113
RABA	0.18980	0.14642	0.28308	0.28838
NAKLON	0.43686	0.32253	0.31979	0.45275
EKSPZOZ	0.33547	0.39985	0.18385	0.49270
KAMEN	0.11977	0.25850	0.28496	-
DOLKLA	0.32249	0.30429	0.28646	0.48104
SIRKLA	0.35793	0.37715	0.40739	0.51364
KPUKLA	0.50531	0.40392	0.39243	0.53486

Pokrajinske enote:

103 Gričevje med Razgorjem in Bovšami

105 Gričevje okrog Marije Dobja

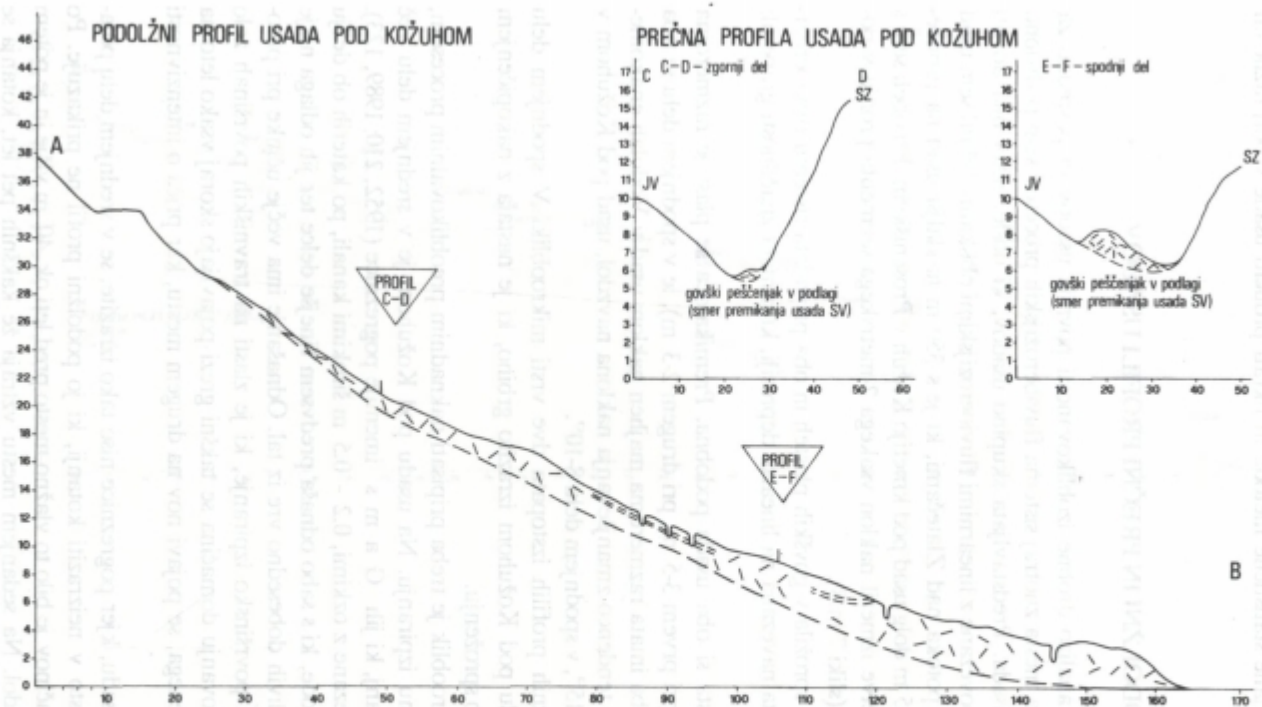
110 Gričevje vzhodno od Ogorevca

113 Gričevje okrog Zlateč

Prvi dve pokrajinski enoti ležita v severnem pasu usadov, ostali dve pa v južnem. Iz tabele vidimo, da v posameznih pokrajinskih enotah obstajajo kar precejšnje povezave pri nagnjenosti pobočja, kjer se usad sproži (usadi iz sistema pobočnih procesov se prožijo na strmejših pobočjih) in ekspozicije (v severnem pasu je večina usadov v fluvioerozijskem sistemu na pobočjih, obrnjenih proti jugu, v gričevju okrog Zlateč pa proti severu, medtem ko so usadi iz sistema pobočnih procesov bolj razpršeni).

Kontingenčni korelacijski koeficienti kažejo, da obstajajo razlike tudi v dimenzijah usadov po pokrajinskih enotah. Usadi iz sistema fluvioerozijskih procesov so praviloma daljši, širši (torej večji) in bolj podolgovati kot so usadi iz sistema pobočnih procesov.

Slika 7: Podolžni in prečni profil usada v Vokolah  
 Fig. 7: Longitudinal and transversal profiles of the landslide in Vokolah





Kontingenčni korelacijski koeficienti ne dosežejo višjih vrednosti predvsem zato, ker na pojavljanje usadov vedno vpliva več spremenljivk hkrati. Potrebno bi bilo uporabiti še bolj dodelane statistične metode in hkrati proučiti usade v bolj različnih pokrajinskih enotah.

## PODOLŽNI IN PREČNI PROFILI USADOV

Za podrobnejšo analizo drobne izoblikovanosti površja usadov in posredno za ugotavljanje njihovega mesta znotraj sistema fluvioerozijskih procesov sem podrobno premeril dva večja usada. Predstavljata skupino usadov, ki doslej nista bila dovolj proučena, t.j. usade, povezane z linearnimi fluvioerozijskimi oblikami. Izbral sem usad v Vó dolah v porečju potoka nad Zlatečami, ki je s 350 m najdaljši usad na proučevanem območju in 165 m dolg usad pod kmetijo Kožuh v Proseniškem. Pri obeh sem s pomočjo 2 m dolge letve izmeril naklon vsakega 2-metrskega segmenta profila v podolžni in prečni smeri (sliki 7 in 8).

Oba usada sta se sprožila v govških plasteh in oba pripadata sistemu fluvioerozijskih procesov. Oba sta navezana na linearni depresiji, ki nimata značilnosti grape ali dolinice.

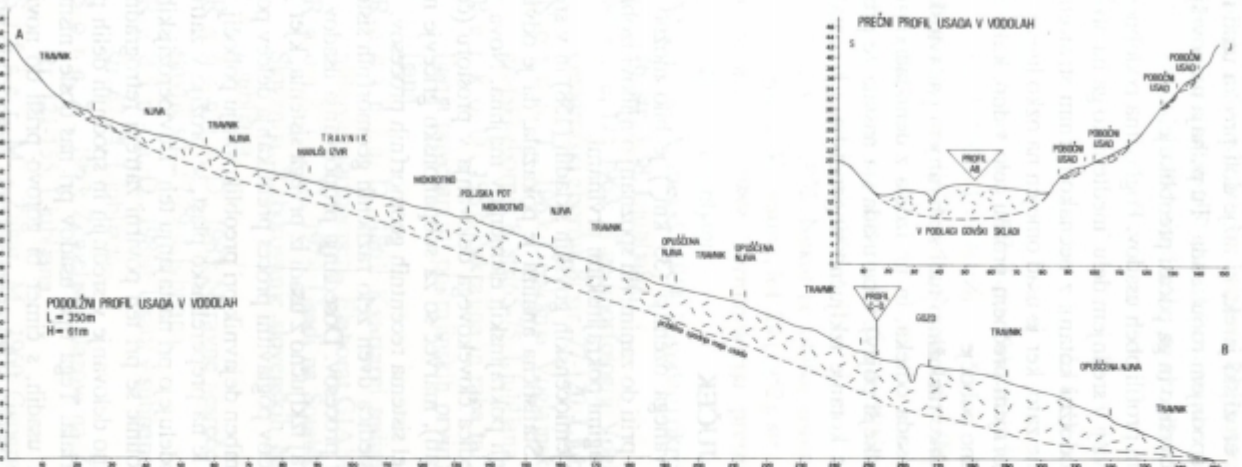
Tudi po obliki sta si oba usada podobna. Premikajoča se plast je razmeroma enakomerno debela (pri prvem 3-5 m, pri drugem 2-3 m), le v spodnjem delu se oba nekoliko odebelita. Oba imata razmeroma majhen naklon; usad v Vó dolah enakomerno od 10-14° z rahlo tendenco zmanjševanja naklona navzdol, usad pod Kožuhom v zgornjem delu okrog 15°, v spodnjem delu 8-10°.

Na obeh podolžnih profilih izstopata dve vrsti mikrooblik. V spodnjem delu imamo zlasti na usadu pod Kožuhom izrazito grbino, ki je nastala z nakopičenjem usadnega materiala ob sproženju.

Drugo vrsto mikrooblik je treba pripisati naknadnim preoblikovalnim procesom, zlasti podpovršinskemu izpiranju. Na usadu pod Kožuhom je v srednjem delu več 1-1.5 m globokih kotanj, ki jih G a m s imenuje pogreznice (1952, 210; 1989, 123). Pod površjem so povezane z ozkimi, 0.2 - 0.5 m širokimi kanali, po katerih ob dežju odteka dobršen del vode, ki s sabo odnaša predvsem finejše delce ter jih odlaga nižje na usadu, kjer ob nalivih dobesedno vre iz tal. Odnašanje ima večje učinke pri preoblikovanju usada kot površinsko izpiranje, ki je zlasti na travniških površinah zelo majhno. Po pripovedovanju domačina se takšni grezi pojavljajo skoraj vsako leto na novo in ko zasujejo enega, se pojavi nov na drugem mestu, kar priča o intenzivnosti procesa.

Pri vó dolskem usadu, kjer pogreznice niso tako izrazite, se v srednjem delu pojavlja mokrotnejše mesto v neizraziti kotanji, ki jo podolžni profil ne prikazuje. Po pripovedovanju domačinov je bilo to vlažno mesto pred leti ok. 40 m višje in je potem počasi potovalo navzdol. Na sedanjem mestu vztraja že kakšnih pet let, kotanja se

Slika 8: Podolzi in dva prečna profila usada pod Kozuhom  
 Fig. 8: Longitudinal and two transversal profiles of the landslide below the farm-house Kozuh



poglablja in postaja vse bolj mokrotna, da v zadnjih letih sploh ne morejo več kositi. Očitno prihaja tudi tu do podpovršinskega izpiranja. Približno 20 m nižje se na severnem robu usada ostro začena 2 m globok erozijski jarek, ki nižje doli prečka usad in se po južni strani nadaljuje do potoka ob spodnjem robu usada. Tu prihaja na površje voda, ki v zgornjem delu usada teče pod površino in ga počasi preoblikuje.

Na istih slikah so prikazani tudi prečni profili obeh usadov. Poglavitna podobnost med vsemi tremi profili je, da je usad najvišji v srednjem delu, medtem ko ga na obeh robih spremljata bolj ali manj izraziti podolžni kotanji z neenakomernim strmcem. Nakopičenje v srednjem delu usada nastane zato, ker je usad omejen na ozko linearno kadunjo. Pri usadu pod Kožuhom je v zgornjem prečnem profilu celo vidno, kako je usad zaneslo skoraj 2 m višje na jugovzhodno pobočje.

Podolžne kotanje na obeh straneh lahko razložimo tudi z zbiranjem padavinske vode s sosednjih pobočij, ki nato vzdolž usada odteka, in jih izdela z denudacijo (na travniških površinah je linijska erozija redkejši pojav). Oba usada sta nastala že pred več desetletji in ni možno trditi, da so te kotanje izključno singenetske, t.j. nastale hkrati z usadom.

## ZAKLJUČEK

Kljub sorazmerni majhnosti proučevanega ozemlja (35 km<sup>2</sup>) je bilo možno z natančno analizo 325 ugotovljenih usadov priti do zanimivih spoznanj o njihovi izoblikovanosti, predvsem pa o povezanosti z drugimi pokrajinskimi prvami.

Večina usadov se je sprožila v spodnjemiocenskih govških skladih (158) in v srednjeoligocenskem andezitnem tufu (109). Statistična analiza je pokazala, da je odvisnost usadov in njihovih dimenzij od drugih pokrajinskih elementov majhna. Nova je predvsem ugotovitev, da usadi niso posledica človekovega delovanja v prostoru (čeprav tega vpliva ni možno povsem zanikati), marveč so za subpanonsko gričevje na proučevanem območju značilen sestavni del sistema recentnih geomorfni procesov.

Jasno se je pokazalo, da so usadi posledica dveh zelo različnih geomorfni sistemov in sicer pobočnih in fluvioerozijskih procesov. Dosedanja proučevanja usadov v subpanonski Sloveniji so se ukvarjala skoraj izključno z usadi iz prvega sistema, kjer je proženje plitvih, razmeroma majhnih usadov poglaviti proces premikanja delcev pod neposrednim vplivom gravitacije in pomemben dejavnik pri preoblikovanju pobočij.

Večji in globlji usadi, ki niso omejeni le na preperelinsko plast, se prožijo v zatrepnih grap in dolinic in s tem neposredno sodelujejo pri nastajanju teh "fluvioerozijskih" oblik. Za razliko od običajnih grap ali dolinic se pri teh povrni zatrepi retrogradno umikajo zaradi usadov, vse ostalo fluvialno delovanje v srednjih in spodnjih delih pa je omejeno na odnašanje usadnega materiala. Tega tipa usadov pri nas doslej nismo proučevali, prav tako ne mikrooblik na usadih, s čimer bi gotovo prišli do novih pomembnih spoznanj o proženju in vlogi usadov v celotnem sistemu geomorfni procesov.

Podobna proučevanja usadov v celotni subpanonski Sloveniji, kjer vsako leto povzročijo veliko škode na zemljiščih in objektih, občasno pa prave katastrofe (Haloze julija 1989, Kozjansko avgusta 1989), pa bi s pomočjo še bolj dodelanih statističnih postopkov razjasnilo povezanost usadov z drugimi pokrajinskimi elementi in s tem neposredno prispevalo k zmanjšanju posledic teh škodljivih naravnih procesov.

### L i t e r a t u r a :

- B o g n a r, A., 1983: Tipovi klizišta u SR Hrvatskoj. Naravne nesreče v Jugoslaviji, str. 114-124. Ljubljana.
- B u s e r, S., 1979: Tolmač lista Celje Osnovne geološke karte 1:100 000. 72 str. Beograd.
- T h e E n c y c l o p e d i a of Geomorphology. Ed. Rh. W. Fairbridge. 1295 str. New York 1968.
- G a m s, I., 1952: Nekatere oblike spreminjanja površja zaradi erozije talne vode. Geografski vestnik, let. 24 (1952), str. 210-211. Ljubljana.
- G a m s, I., 1989: Terminologija premikanja zemeljskih gmot. Ujma, št.3, str. 122-123. Ljubljana.
- M e l i k, A. in sod., 1954: Povodenj okrog Celja junija 1954. Geografski vestnik, let. 26, str. 3-58. Ljubljana.
- M e z e, D., 1963: H geomorfologiji Voglajnske pokrajine in Zgornjega Sotelskega. Geografski zbornik 8, str. 77-120. Ljubljana.
- N o s a n, T., 1963: Geologija Voglajnske pokrajine in zgornjega Sotelskega. Geografski zbornik 8, str.65-75. Ljubljana.
- P e r k o, D., 1987: Pokrajina in raba tal v Pokokrju (primer računalniškega ugotavljanja povezanosti pokrajinskih prvin). Geografski zbornik 27, str. 119-202. Ljubljana.
- R a d i n j a, D., 1961: Kvartarni sedimenti v vzhodnem delu Celjske kotline ter njihova morfogeneza. Elaborat GIAM. 37 str. Ljubljana.
- R a d i n j a, D., 1974: Usadi na Sotelskem v pokrajinski luči. Voglajnsko-Sotelska Slovenija. 9.zborovanje slovenskih geografov, Rogaška Slatina 1973, str. 81-95. Ljubljana.
- R a d i n j a, D., 1983: Naravne nesreče v geografski luči. Naravne nesreče v Jugoslaviji, str. 17-29. Ljubljana.
- R a d i n j a, D., 1983a: Usadi v subpanonski Sloveniji. Naravne nesreče v Sloveniji, str. 67-74. Ljubljana.
- S o r e, A., 1963: Zemeljski plazovi na Zgornjem Sotelskem. Geografski zbornik 8, str. 121-155. Ljubljana.
- Š i f r e r, M. - Žagar, M., 1960: Geografski učinki neurja med Konjicami in Krškim. Geografski vestnik, let. 32, str. 233-246. Ljubljana.

Vodnogospodarske osnove Slovenije. Zveza vodnih skupnosti Slovenije. Ljubljana 1978.

Záruba, Q. - Menci, V., 1969: Landslides and their control. 205 str. Praga.

## THE ROLE OF LANDSLIDES IN THE PROCESSES OF LANDFORM TRANSFORMATION IN THE HILLS EAST OF CELJE, SLOVENIA, YUGOSLAVIA

### S U M M A R Y

In the Sub-pannonian hills of Slovenia, built of unconsolidated, mostly Miocene sediments, landslides play an important role in the shaping of landforms. Some researchers think that human activity (mostly agriculture) is the most important factor in the occurrence of landslides. Detailed geomorphological mapping of 35 sq. km of hilly area east of Celje, where 325 landslides have been found, shows that landslides are an integral part of the natural process of denudation.

The area under investigation is situated on the eastern margin of Celje Basin, ca. 5 to 10 km east of Celje. The central part of the area is a broad valley with extensive loamy terraces from 270 to 300 m in altitude and 50 to 200 m broad moist valleys along small tributaries of Ložnica among them. Tectonically, this is a part of the Celje syncline whose axis is west-east in direction, filled with Miocene sands and Pliocene-Quaternary loamy fluvial sediments. To the north, the valley changes slowly into dissected hills, altitude from 350 to 390 m, built mostly of middle Oligocene andesitic tuff and marine clay, tectonically uplifted in the Pletovarje anticline.

To the south of the valley is situated the neotectonically uplifted Teharje anticline built of middle Miocene sand, sandstone and marly limestone.

Most of (158 out of 325) landslides occur in Miocene sand and sandstone in the south and in Oligocene andesitic tuff in the north (109) (Fig. 2 and 3).

As a result of detailed geomorphological mapping to a scale 1:5 000 a file of 325 landslides, with 14 variables for each case, has been made: IME - serial number, from 1 to 325, KARTA - sheet of the map, X - x-coordinate on the map, Y - y-coordinate, LEGA - position of landslide in relation to other landforms, OBLIKA - outline of limits, DOLZINA - length, SIRINA - width, HMAX - altitude of upper edge, HMIN - altitude of lower edge, NAKLON - slope gradient, EKSPON - aspect of slope, KAMEN - lithology and IZRABA - land use.

Statistical analysis has been done on an IBM compatible personal computer with the SPSS+ programme package.

Most of landslides are rather small, thin and single-phase. Table 3 presents the frequency of landslides by length, Table 4 by width and Table 5 by length/width ratio (KP).

Fig. 3 shows the location of all 325 landslides. They are very clearly concentrated

in two belts, one in the north (140 landslides) and one in the south (176 landslides), closely connected with some lithological units (Table 1).

Table 6 shows the frequency of landslides by slope gradient. 129 landslides (39.7 per cent) are situated on slopes steeper than  $21^\circ$  and mostly in woodland. Very few landslides occur on the gentler slopes which prevail in the central part of the area under investigation.

Table 8 shows the frequency of landslides by land use. 172 landslides (52.9 per cent) occur in woodland, 79 (24.3 per cent) on meadows, 64 (19.7 per cent) in orchards, only 4 in fields, 3 in vineyards etc. Since 41.7 per cent of the area is covered by woodland, the landslide density is greater there (11.8 landslides per sq. km) than the average for the whole area (9.3). Such results are completely different from those from the upper part of Sotla River drainage basin, ca. 20 km to the east, where R a d i n j a (1974, 1983a) found 87 per cent of landslides in meadows and orchards, 13 per cent in fields and vineyards and almost none in woodland. The difference cannot be explained but, I suppose, is of methodological origin.

Table 9 shows the frequency of landslides by position in regard to other landforms. 26 (8 per cent) are situated at the upper ends of ravines, 45 (13.8 per cent) at the upper ends of small valleys, 37 (11.4 per cent) on the slopes of ravines, 161 (49.5 per cent) in the middle portions of slopes, 48 (14.8 per cent) in the lower portions of slopes etc. 33.2 per cent (108 landslides) are closely connected with fluvio-erosional processes and 64.3 per cent (209 landslides) with slope processes.

In analysing the dependency of landslides from different variables the method of crosstabulation has been used. Besides six known variables three new ones have been introduced: DOLKLA - length by classes (Table 3), SIRKLA - width by classes (Table 4) and KPUKLA - length/width ratio by classes (Table 5).

Table 10 shows the calculated contingency correlation coefficients  $r$  for all variables. Very weak relations between variables are obvious.

The next question is the difference between landslides in woods and on agricultural land (mostly meadows and orchards). Three hypothesis have been introduced and disproved:

- The landslides in woods are larger than on agricultural land (Table 11)
- Most of landslides connected with fluvio-erosional processes occur in woods (Table 12)
- Landslides in woods occur on steeper slopes than on agricultural land (Table 13).

According to these results we can confirm that the land use has no statistically significant influence either on the occurrence of landslides nor on their size. In other words, the process of formation of landslides did not start with clearing the ground for cultivation but is a constituent part of a natural complex of denudational-erosional processes not substantially changed by human activities.

The landslides in the area under investigation are connected with two systems of geomorphic processes:

- System of slope processes (217 landslides or 66.8 per cent)
- System of fluvio-erosional processes (108 landslides or 33.2 per cent).

In the system of slope processes, landslides are the prevailing type of gravitational movement of weathered material. The results of sliding are rather small thin (0.5-1 m) landslides, usually following heavy rainstorms (as in June 1954 or June 1959).

The landslides occurring in this system are divided into two groups according to the position on the slope:

- Landslides in the middle part of slope (161)
- Landslides in the lower part of slope (48)

The cross-tabulation of both groups of landslides by seven variables (Table 14) did not show any strong relation, although the slope processes on both parts of slopes differ considerably (denudation in the middle part, accumulation of colluvium in lower). A weak relation exists only in slope gradient (slopes are gentler in the lower part) and in length and width (landslides in the middle part of the slope are longer and wider).

The landslides in the system of fluvio-erosional processes occur in a very different geomorphological setting. They are to be found in two areas of strong valley-head erosion in the hills to the north and to the south of the main valley, very probably accelerated by neotectonical rising of both anticlines.

Most of landslides of that group occur at the upper end of ravines or small valleys, forming amphitheatral valley-heads. The material, once moved down, becomes the area of concentrated fluvial erosion which results in the formation of ravines. Down the valley the transportation of material by flowing water exceeds the gravitational movements but a considerable part of the transportation is done by subsurface water channels. In the longitudinal profile of a landslide of that group (Fig. 8) some fresh sinkholes, connected by underground channels, can be seen. The movement of slid material increases the relative height at the end of the ravine or small valley and a new landslide in the same place moves the valley-head backwards again. Fig. 6 shows a good example of a drainage basin, where the connection of landslides and fluvio-erosional forms is very obvious.

In spite of impression that there are considerable differences between "slope" and "fluvio-erosional" landslides the statistical analysis did not confirm this assumption. Table 15 shows the differences of mean and standard deviations for "slope" and "fluvio-erosional" landslides by the length, width and slope gradient. The differences are small and, according to the t-test, statistically not significant.

Also, the correlation of both groups of landslides to the seven variables (Table 16) is rather weak for the whole area, but quite considerable for four selected landscape units where "fluvio-erosional" landslides prevail (Table 17). Landscape units 103 and 105 are situated in the northern belt of landslides (hills in andesitic tuff and marine clay), landscape units 110 and 113 in the southern belt (hills in Miocene sand and sandstone).

Figs. 7 and 8 show the longitudinal and transverse profiles of two "fluvio-erosional" landslides from the southern belt. The landslide in Fig. 7 is the longest one in the whole area (350 m). Both of them are rather similar, with interesting differences in the shapes of profiles and microforms.

The results of this investigation are of twofold importance:

- A reasonable distinction exists between landslides connected mostly with slope processes occurring in the middle and lower portions of slopes and landslides connected with fluvio-erosional processes, mostly found at the upper ends of ravines and small valleys.

- Landslides are not strongly dependent on any landscape characteristic and, although they occur mostly on Miocene sand and sandstone and andesitic tuff, we still cannot make any general conclusion about the relationship of landslides to the lithology. We could say the same for the relationship between landslides and land use which was over-emphasized by previous investigators. However, this area is still too small and too few data for landslides in other areas are available for a general presentation of the landslides in Sub-pannonian part of Slovenia where these phenomena are very common and, unfortunately, very destructive.