

Rečni sistemi in njihovi sedimentacijski modeli

Fluvial systems and their sedimentary models

Dragomir Skaberne

Geološki zavod Ljubljana

Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko

Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Kratka vsebina

Slovenska geomorfološka in sedimentološka terminologija za rečna sedimentacijska okolja še ni povsem izdelana. Zato smo se skušali dotakniti razdelitve in podati predlog slovenskega poimenovanja nekaterih rečnih sedimentnih in erozijskih oblik ter posameznih pomembnejših vplivov na način njihovega nastanka. Nekaj besed smo namenili problematiki opredelitve rečnih sedimentacijskih okolij v sedimentnih kamninah in rečnim sedimentacijskim modelom.

Abstract

The Slovenian geomorphologic and sedimentologic terminology for fluvial depositional environments is not established yet. Therefore a classification and the proposal for Slovenian names of fluvial sedimentary and erosional forms and influences controlling them are discussed. Attention is given to the problems of recognition of sedimentary environments in sedimentary rocks, and to fluvial sedimentary models.

Uvod

Pri raziskavah klastičnih kamnin gródenske formacije, katerih nastanek je interpretiran pretežno kot produkt rečnega sedimentacijskega okolja s svojimi podokolji, smo se srečali s problemi slovenske terminologije rečnih sedimentacijskih in erozijskih oblik. Do enakih sklepov smo prišli v pogovorih s kolegi geologi in geomorfologi. Toda, kot je pokazal Badjura (1953), slovensko ljudsko izrazoslovje za poimenovanje različnih geomorfnih oblik nikakor ni revno. Med izrazi, ki jih navaja v poglavju Vodovje in opisujejo različne rečne geomorfne oblike, so marsikateri lepi in uporabni, a so omejeni le na nekatere pogostnejše oblike, ki jih najdemo na našem ozemlju. Za številne raznolike genetsko pomembne geomorfne oblike, ki so pri nas manj pogoste ali niso niti razvite ali so manj izrazite in poznane, pa domačih izrazov preprosto nimamo. To nikakor ni presenetljivo saj se večina slovenskih vodotokov nahaja v relativno mladem reliefu ter pripadajo pretežno zgornjim delom (prvi coni) rečnega sistema. Le v ravninskih predelih, ki zavzemajo manjši del slovenskega ozemlja, imajo vodni tokovi značilnosti

srednjega dela (druga cona) rečnega sistema. Ker želimo obravnavati rečni sistem kot celoto, podrobnosti in posebnosti rečnih geomorfnih oblik na našem ozemlju prese-gajo zastavljeni okvir.

Drugi problem, ki je precej težji in zadeva predvsem geologijo oziroma sedimen-tologijo ter v manjši meri geomorfologijo, je prepoznavanje različnih geomorfnih oblik in določevanje parametrov in kriterijev, ki opredeljujejo kompleksne rečne sisteme in njihove dele v sedimentih in sedimentnih kamninah.

Tako bomo skušali navesti nekatere vplive na način rečne sedimentacije oziroma njene erozije, se dotakniti njihove razčlenitve in poimenovanja ter končno nameniti nekaj besed rečnim sedimentacijskim modelom. Pri tem ne nameravamo obravnavati vseh problemov in oblik ter posegati v globino navedenih problemov, ampak želimo podati le nekatere poglobitnejše parametre, ki so po našem mnenju pomembni de-ja-vniki v rečnem sedimentacijskem okolju.

Rečni sistemi in rečni sedimentacijski sistemi

Reko, kot površinski vodni tok lahko opredelimo kot vodno telo, ki se pod vpli-vom težnosti premika po koritu, ki ga je voda urezala v podlago.

Rečni sistem ali *rečje* predstavlja reka s svojimi pritoki od izvira do izliva. *Porečje* pa je območje, ki ga rečni sistem odvodnjava. Znotraj njega lahko ob rečnih pritokih obstaja več lokalnih drenažnih (odvodnih) zaledij. Schumm (1977) je razdelil rečni sistem na tri cone.

Prvo cono rečnega sistema lahko imenujemo zbiralno in jo idealizirano začena dendritna, konvergentno potekajoča mreža rečnih korit, ki oblikuje odvodno mrežo porečja ali drenažnega zaledja, v katerem se zbirajo vode. Zgornji deli drenažnega zaledja predstavljajo tudi poglobitno produkcijsko in izvorno območje sedimentov. Na tem območju prevladuje erozija, čeprav se v nekaterih delih sedimenti lahko tudi začasno odlože.

Drugo cono rečnega sistema lahko označimo kot prenosno območje, kjer se po relativno stabilnem rečnem koritu pretaka v drenažnem zaledju zbrana voda, ki prenaša del na izvornem območju nastalega sedimenta. To območje obvladuje dinamično rav-notežje med erozijo in sedimentacijo. Tako je količina sedimenta, ki prihaja v sistem, približno enaka količini, ki ga vode odnašajo iz sistema, v tretjo cono.

V tretji, sedimentacijski coni rečnega sistema se energija vodnega toka toliko zmanjša, da se odloži večina preostalega transportirajočega materiala. V tej coni je mreža vo-dnih korit večinoma divergentna.

Glede na položaj tretje cone in s tem povezanim načinom zmanjšanja energije vodnega toka, lahko ločimo dve sedimentacijski okolji s svojimi specifičnimi sedimen-tacijskimi in morfološkimi značilnostmi.

Prvo sedimentacijsko okolje je razvito proksimalno glede na drenažno zaledje in se običajno razteza ob vznožju hribovja, v predelih, ko se strmo pobočje prevesi v relativno položno ali ravno območje. Ob prehodu vodnega toka iz strmega v široko odprto ravninsko območje (rečno naplavno ravnino) se njegova energija zaradi disperzije na ravnini zmanjša in vodni tok odloži večino transportirajočega materiala v obliki bolj ali manj stožčasto oblikovanega pahljačastega sedimentacijskega telesa, *aluvialnega vršaja* (alluvial fan). Če vršaj nastane v območju stoječe vode, jezera ali morja, se pod vplivom njene dinamike lahko deloma preoblikuje in ustvarja *vršajno delto* (Holmes, 1965; McGowen, 1970; McPherson et al., 1987).

Drugo sedimentacijsko okolje se pojavlja distalno glede na drenažno zaledje na nizkem, skoraj ravnem reliefu ob izlivu vodnega toka v stoječe vodno telo – večinoma morje ali redkeje jezero. Ko se vodni tok izlije v stoječe vodno telo, se hitrost toka in njegova, že tako majhna transportna moč zmanjšata. Posledica tega je usedanje preostalega transportirajočega se materiala. Sediment gradi deltoidno oblikovano, večinoma podvodno, deloma kopno sedimentacijsko telo, ki ga imenujemo *delta*. Pod vplivom prevladujočega dinamičnega dejavnika, valovanja ali plimovanja, stoječega vodnega telesa lahko pride do premeščanja prinesenega sedimenta in nastanka različno oblikovanih delt ali estuarijev. *Estuarij* predstavlja široko lijakasto oblikovano rečno ustje, v katerem se mešata sladka in morska voda ter se jasno odražajo vplivi plimovanja. Razviti so ob rekah z relativno manjšo energijo rečnega toka in s tem povezano količino prinesenega materiala v primerjavi z energijo morja, ki jo v največji meri predstavlja energija plimovanja.

Podobno kot Schumm (1977) je tudi Miall (1981) razdelil rečni sistem glede na položaj izvornega območja in ločil štiri dele:

1. tokovi v gorskem izvornem območju
2. proksimalna okolja neposredno ob vnožju in robu sedimentacijskega bazena
3. srednja okolja
4. distalna okolja, kjer se vplivi rek prepletajo z mejnimi okolji, kot so jezera, puščave, plimske ravnine ali delte.

Sedimentacijsko okolje tokov v gorskem izvornem območju je v sedimentacijskem sistemu sorazmerno nepomembno. Kljub temu lahko v njem nastanejo dolinski zasiپی in ponekod jezerski sedimenti. V območju proksimalnega, srednjega in distalnega rečnega okolja se spreminja, običajno zmanjšuje, strmec (gradient) rečnega toka, kar vpliva na spreminjanje njegove oblike in poteka.

V nadaljevanju distalnih sedimentacijskih okolij delt in estuarijev ne bomo obravnavali, ker predstavljajo le-ti samostojna prehodna sedimentacijska okolja.

Pri analizi velikih rečnih sistemov je Potter (1978) ugotovil, da potekajo večinoma vzdolžno ali prečno na gorske verige. Kasneje je Miall (1981) posplošeno razdelil aluvialne sedimentacijske bazene na prečne, ki se raztezajo prečno na strukturne enote, in vzdolžne, ki potekajo vzporedno z njimi. Kot primer prečnega sedimentacijskega rečnega bazena navaja Miall (1981) del atlantske obale ZDA, za primer vzdolžnega pa sedimentacijski bazen reke Pad. Zaradi kompleksnosti nekaterih strukturnih enot je lahko ta posplošitev lokalna, a kljub temu pomembna za način zapolnitve sedimentacijskega bazena.

Pri preučevanju sedimentacijskih bazenov so na Texas Bureau of Economic Geology razvili model »sedimentacijskih sistemov«. V nekoliko razširjeni obliki ga je uporabil tudi Miall (1981) za rečni sedimentacijski sistem, v katerega vključuje sedimente okolij aluvialnih vršajev, rek kot prenosnih območij vodá in sedimentov ali druge cone po Schummu (1977) in delt. Glede na prečni ali vzdolžni potek bazena, razporeditev sedimentacijskih okolij v proksimalnem, srednjem in distalnem delu bazena ter obliko izliva oziroma delte, je Miall (1981) opredelil devet modelov rečnih sedimentacijskih sistemov.

V rečnem sistemu vlada približno dinamično ravnotežje med erozijo in sedimentacijo, na katerega vplivajo različne spremenljivke. Schumm in Lichty (1963) navajata dvanajst takih spremenljivk: 1. čas, 2. začetni relief, 3. geologija (litologija in struktura), 4. klima, 5. vegetacija, 6. relief in volumen rečnega sistema nad erozijsko bazo, 7. hidrologija (vodni odtok in prinos sedimenta na enoto površine v prvi coni), 8. oblika rečne drenažne mreže, 9. oblika pobočij, 10. hidrologija (pretok vode in

sedimenta v drugo in tretjo cono), 11. oblika korita in doline ter značilnosti sedimenta (druge cone), 12. oblika sedimentacijskega bazena in značilnosti sedimenta (tretje cone). Spremenljivke so navedene po naraščajoči stopnji odvisnosti, od katerih lahko nekatere povezujemo, dokler ne pridemo do treh skoraj neodvisnih spremenljivk: 1. časa, 2. tektonike in 3. klime. Te globalno vplivajo na spremembe rečnega sistema in se odražajo v zapolnjevanju rečnega sedimentacijskega bazena. Omenjene tri spremenljivke ne vplivajo le na rečno sedimentacijo, ampak jih lahko pojmujeemo kot univerzalne spremenljivke, ki opredeljujejo sedimentacijske cikle.

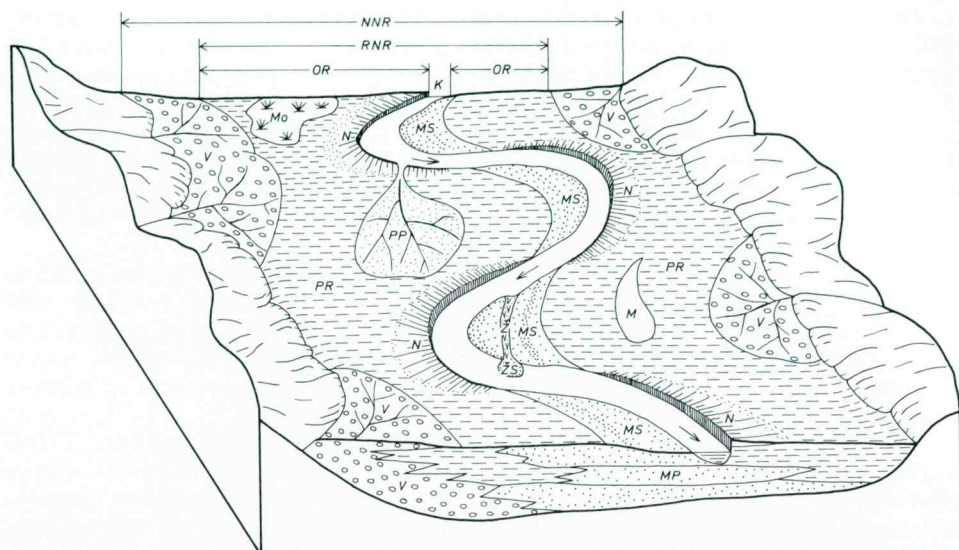
Rečne sedimentne oblike

Sedimentacijski prostor ali bazen ima lahko zelo različne dimenzije in kompleksnost zapolnitve. V splošnem lahko ločimo tri načine zapolnitve: agradacijsko, progradacijsko in retrogradacijsko. *Agradacija* je vertikalno zapolnjevanje sedimentacijskega bazena. *Progradacija* predstavlja zasipavanje bazena od njegovih robov proti centru in s tem napredovanje ter prekrivanje distalnejših s proksimalnejšimi faciesi. *Retrogradacija* je način zapolnjevanja iz bazena proti njegovim robovom in napredovanje ter prekrivanje proksimalnejših z distalnejšimi faciesi. Način zapolnjevanja bazena je poleg drugih dejavnikov odvisen predvsem od razmerja med hitrostjo pogreznja sedimentacijskega bazena in sedimentacije. Če sta obe hitrosti približno enaki, je poglavitni način agradacijsko zapolnjevanje bazena, če pa je hitrost neto sedimentacije večja od hitrosti pogreznja, se sedimentacijski prostor progradacijsko zapolnjuje in zmanjšuje. Ob večji hitrosti pogreznja, glede na hitrost neto sedimentacije, se ustvarijo možnosti za retrogradacijsko zapolnitev bazena, ki nakazuje širitev sedimentacijskega prostora.

V lokalnih sedimentacijskih okoljih govorimo tudi o *vertikalnem priraščanju* (vertical accretion) sedimentov, ki v bistvu predstavlja agradacijsko zapolnjevanje sedimentacijskega prostora. V rečnem sedimentacijskem okolju je vertikalno priraščanje značilno za usedanje materiala iz suspenzije na obrežni ravnini. *Lateralno ali bočno priraščanje* (lateral accretion), si lahko predstavljamo kot obliko retrogradacije, kjer se po dnu in po sipini premikajoči material odlaga na nagnjeni, notranji strani sipine. Sedimentna telesa, nastala z lateralnim priraščanjem, so značilni, a ne izključni produkti meandrirajočih rečnih tokov.

Sedimentacija v rečnem sedimentacijskem bazenu je odvisna predvsem od razmer in dogajanj v drenažnem zaledju in v bazenu samem, vendar se njen značaj in oblike nastopanja sedimentov deloma spreminjajo v proksimalno-distalni smeri. Nekatere oblike so značilne za vsa rečna območja, le da so v posameznih delih slabše ali bolje razvite, medtem ko se druge pojavljajo le v nekaterih območjih rečnega toka.

Razdelitev sedimentov in oblik *zapolnitve rečne doline* ali *dolinskega zasipa* (valley fill) so obravnavali številni raziskovalci v širšem ali ožjem pogledu (Wolman & Leopold, 1957; Leopold et al., 1964; Allen, 1965; Happ, 1971; Schumm, 1977; Selley, 1988). V zapolnitvi rečne doline, ki površinsko predstavlja *nasipno naplavno ravnino* (sl. 1), lahko ločimo obrobni in osrednji del. Na obrobem delu se kopičijo sedimenti s pobočij, ki obdajajo dolino, nastali z gravitacijskimi procesi. Happ (1971) uvršča v to skupino *koluvijski material* in *sedimente*, nastale pod vplivom *masnih premikanj* (mass movements). Poleg navedenih bi lahko v to skupino uvrstili tudi *sedimente aluvialnih vršajev*. Osrednji del predstavlja *rečna naplavna ravnina* (alluvial plain), znotraj katere ločimo *rečno korito* (channel) in *obrežno ravnino*



Sl. 1. Shema dolinskega zapisa z glavnimi geomorfnimi elementi meandrskega rečnega toka
 V Aluvialni vršaj; PR Poplavna ravnina; N Nasip; PP Prebojna pahljača; MS Meandrska sipina; NNR Površina dolinskega zapisa ali nasipno naplavna ravnina; RNR Rečna naplavna ravnina; OR Obrežna ravnina; K Korito; MP Meandrski pas; Mo Močvirje; M Mrtvica; Ž Žleb, ŽS Žlebna sipina

Fig. 1. Scheme of alluvial valley fill with principal geomorphologic elements of the meandering river

V Alluvial fan; PR Alluvial plain; N Levee; PP Crevasse splay; MS Point bar; NNR Valley fill plain; RNR Alluvial plain; OR Overbank; K Channel; MP Meander belt; MO Back swamp; M Oxbow lake; ŽS Chut bar

(overbank) ali *pobrežje* (Badjura, 1953). Rečna korita so *aktivna* ali *opuščena* (*mrtvi rokavi*). V slednjih lahko nastanejo manjša jezera – *mrtvice* (oxbow lake). Znotraj korita ločimo *dno korita*, *koritne* ali *obkoritne sipine* in *bregove korita*.

V razgovoru z geologi in geomorfologi se je izoblikovalo mnenje nekaterih, da naj bi pri izrazih »alluvial plain«, »flood plain« prevajali izraz »plain« kot ravnica. Pri tem naj bi imel izraz ravnica genetsko konotacijo, rečno izravnano območje in naj ne bi predstavljal pomanjševalnice izraza ravnina, kot je to opredeljeno v Slovarju slovenskega knjižnega jezika (1985, IV, 325) in kot navaja Badjura (1953). Sami predlagamo uporabo izrazov ravnina, ravnica in ravninica v velikostnem pomenu. Genetski ali ožji položajni odnos pa naj bi opredelili pridevniško. Navedeni izrazi se uporabljajo večinoma glede na relativno velikost. Ločitev recentnih ravnin, ravnin in ravnin na osnovi absolutne velikosti nam ni poznana. Še težje je mogoče sklepati na velikost fosilnih ravnin in ravnin na osnovi posameznih profilov. Zato bomo izraz ravnina uporabljali v splošnem pomenu, izraz ravnica pa v relativnem velikostnem pomenu.

Aktivna korita zapolnjujejo večinoma *sipine*, ki predstavljajo za krajši ali daljši čas odloženi material. Ashley (1990) loči tri osnovne elemente sipin: *plastne oblike* (bedforms), *koritne oblike* (channel forms) in *enotne sipine* (unit bars). Sestavljena združba vseh treh osnovnih elementov lahko predstavlja *prepletajoče sipinske komplekse* (braid bar complexes).

Plastne oblike uvrščamo glede na njihovo velikost med mezooblike (Jackson, 1975). Te predstavljajo dinamične, periodične oblike, ki se relativno hitro odzivajo na spremembe lastnosti toka oziroma tokovnega režima. V tej skupini nastopajo dvo- (2D) ali tridimenzionalne (3D) oblike – sipine. Vsaka geomorfna oblika je tridimenzionalna tvorba. V omenjenem primeru so pod 2D oblike mišljene one, ki jih lahko zadovoljivo opišemo s prerezom, vzporednim s smerjo toka, medtem ko so za opis 3D oblik potrebne tri dimenzije oziroma dva preseka. Manjše oblike so imenovali *peščene valove* (sand waves, megaripples) in *dune* (dunes), večje pa *prečne sipine* (transverse bars) in/ali *jezičaste sipine* (linguoid bars).

Koritne oblike so za stopnjo večje od plastnih in jih uvrščamo med makrooblike (Jackson, 1975). Odzivni čas koritnih oblik na spremembe tokovnega režima je dolg. Pojavljajo se periodično, nastopajo večinoma v obrobni delih korita in predstavljajo *stranske sipine* (side bars), *diagonalne sipine* (diagonal bars), *izmenjujoče sipine* (alternate bars), *meandrske sipine* (point bars). Po omenjenih oblikah se pogosto premikajo manjše plastne oblike.

Enotne sipine uvrščamo glede na velikost med mezooblike (Jackson, 1975). Nastopajo posamično ali navidezno periodično v odvisnosti od lokalnih hidrodinamičnih sprememb globine in jakosti toka. V to skupino uvrščajo *vzdolžne sipine* (longitudinal bars), *pritočne sipine* (tributary bars), *sipine lomečih valov* (scroll bars), *žlebne sipine* (chute bars).

Prepletajoči sipinski kompleksi so relativno velika posamična ali navidezno periodična sedimentna telesa, ki jih sestavljajo zgoraj opisane oblike in predstavljajo več sedimentacijsko erozijskih dogodkov.

V *opuščenih koritih* se nad sipinskimi sedimenti usedajo pretežno drobnozrnati suspenzijski poplavni sedimenti in jih z vertikalnim priraščanjem agradacijsko zapolnjujejo.

Obrežna ravnina (sl. 1) ni v vseh območjih reke enako izražena. Poleg drugih dejavnikov sta njen obseg in videz precej odvisna tudi od oddaljenosti od drenažnega zaledja. Na obrežni ravnini lahko ločimo predele, ki jih voda v daljših ali krajših časovnih obdobjih ob poplavah zalije, in predele, kamor voda tudi ob velikih poplavah več ne seže in so tako zunaj aktivnega rečnega vpliva.

V predelih, kamor ob poplavah seže voda, lahko ločimo tri območja (sl. 1): *obrežni nasip* (levée), *prebojne pahljače* (crevasse splay) in *poplavno ravnino* (flood plain).

Obrežni nasip je razvit tik za bregom in predstavlja nad poplavno ravnino nekoliko dvignjen, vzporedno s koritom potekajoč greben, ki se položno spušča proti poplavni ravnini. Običajno so nasipi najbolj izraženi na konveksnih straneh rečnih zavojev – meandrov. Nasip nastaja ob poplavah. Pri prekoračitvi bregov se globina vodnega toka na obrežni ravnini hitro zmanjša, kar povzroči zmanjšanje njegove jakosti, transportne moči in od tod hitro usedanje debeleje zrnatega suspenzijskega materiala neposredno za bregom. Na tak način se z vertikalnim priraščanjem (agradacijo) večja višina obrežnega nasipa.

Ob zelo visokih vodah lahko pride na nekem mestu do *preboja obrežnega nasipa* (crevasse). Voda, ki udere skozi obrežni nasip na poplavno ravnino, jo lahko erodira in izoblikuje *prebojna korita* (crevasse channel) ter relativno hitro odloži suspenzijski, debeleje zrnati material. Ta oblikuje *prebojno pahljačo* (crevasse splay), ki je preprežena z divergentno mrežo manjših prebojnih korit.

Predele obrežne ravnine, kamor seže voda le občasno, ob velikih poplavah, imenujemo *poplavna ravnina* (flood plain, flood basin). Na območju poplavne ravnine, v odvisnosti od klimatskih razmer, lahko nastopajo manjša jezera ali močvirja. Popla-

vna ravnina lahko postopno ali nenadno preide v območja obrežne ravnine, na katera ne sežejo rečni vplivi ali pa so le-ti relativno redki. Na takih območjih prično delovati drugi procesi, kot so preperevanje in nastajanje prsti, delovanje vetra in podobno. *Terase* so lahko razvite v kompleksnih zapolnitvah dolin in predstavljajo različno stare obrežne ravnine, ki so na različnih višinah. Njihov nastanek je posledica neenakomernega menjavanja obdobja povečane neto sedimentacije (zasipavanja) in obdobja intenzivnejše erozije (poglobljanja rečnega korita). Slednja so bila vezana najpogosteje na znižanje erozijske baze. Brežino med starejšo in mlajšo teraso, oziroma starejšim in mlajšim rečnim zasipom, imenujemo *ježo*, ki predstavlja nezasuti zgornji del starejše dolinske brežine.

Rečna korita

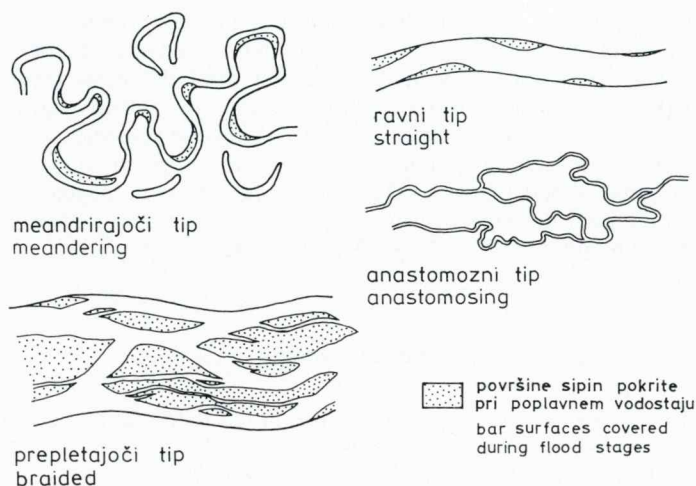
Rečno korito si voda ureže v podlago, ki je lahko trdna kamnina, nevezan sediment ali kombinacija obeh. V nadaljnjem bomo govorili le o rečnih koritih, urezanih v aluvialne sedimente ali o tako imenovanih *aluvialnih rečnih koritih*.

Potek in oblika korit, ki se vijejo preko rečne naplavne ravnine, je zelo različen. Z njihovim opisom in klasifikacijo so se ukvarjali številni raziskovalci (Leopold & Wolman, 1957; Schumm, 1960, 1963, 1968, 1972, 1977, 1981; Brice, 1964; Schumm & Khan, 1972; Miall, 1977; Rust, 1978a). Večina geomorfologov je za opis rečnega toka uporabljala parametre, kot so *vijugavost* (sinuosity) in *prepletenost* (braiding).

Vijugavost sta Leopold in Wolman (1957) opredelila kot razmerje med dolžino *koritnice* (thalweg) in rečne doline. *Koritnica* (izraz je predlagal Šušteršič, ustno sporočilo) predstavlja črto, ki povezuje najgloblje dele korita. Na osnovi izbrane vrednosti 1,5 vijugavosti sta Leopold in Wolman (1957) ločila *meandrska* in *nemeandrska korita*. Isto vrednost je uporabil tudi Rust (1978a) za ločitev med *malo vijugavimi* in *zelo vijugavimi koriti*, medtem ko sta Moody-Stuart (1966) in Schumm (1968) omenjala vrednost 1,3, Leeder (1973) pa vrednost 1,7.

Prepletenost je lastnost več korit, ki se vijejo med sipinami in/ali rečnimi otoki. Slednji so opredeljeni kot relativno stabilni, večinoma kopni, z vegetacijo porasli predeli, ki jih obdaja voda. Sipine so manj stabilne, neporasle in ob visokih vodah običajno poplavljenе. Kot kvantitativno mero prepletenosti je Brice (1964) uporabil *indeks prepletenosti*. To je razmerje med dvakratno vsoto dolžin otokov in/ali sipin v določenem ravnam območju reke in dolžino tega območja, merjenega v črti, potekajoči v sredini med obema bregovima. Rust (1978a) je opredelil *parameter prepletenosti* z razmerjem med dolžino srednje črte »suhih« in »mokrih« korit, ki obdajajo vsako sipino, in otok ter valovno dolžino meandra oziroma zavoja. Za enokoritne tokove je parameter prepletenosti manj kot 1, za večkoritne tokove pa več kot 1 (Rust, 1978a).

Na osnovi vijugavosti in parametra prepletenosti sta Miall (1977) in Rust (1978a) ločila štiri tipe rečnih tokov: *enokoritne, rahlo vijugave (ravne) tokove; enokoritne, vijugave (meandrske) tokove; večkoritne, rahlo vijugave (prepletajoče) tokove* in *večkoritne, vijugave (anastomozne) tokove* (sl. 2). Nekateri so uporabljali izraza prepletajoč (braided) in anastomozen (anastomosing) kot sinonima. Schumm (1968) je predlagal, da bi izraz anastomozen omejili na relativno stalni in stabilni sistem vijugavih korit, s kohezivnimi bregovi, ločenimi z relativno velikimi, poraslimi otoki. Prepletajoči tok se ob visoki vodi, ko voda preplavi večino sipin, večinoma spremeni v enokoritni tok, oziroma se indeks prepletenosti zmanjša. V takem pomenu, kot ga je predlagal Schumm (1968), so izraz anastomozni tok uporabljali Smith (1976), Miall (1977),



Sl. 2. Tlorisi osnovnih tipov poteka rečnih tokov (prirejeno po Miallu, 1977, 5, sl. 1)

Fig. 2. Plan view of principal types of fluvial channels (modified after Miall, 1977, 5, Fig. 1)

Rust (1978a), Smith in Smith (1980), Rust (1981), Rust in Legun (1983), Smith (1983) in drugi.

Schumm je v vseh svojih delih težil h genetski klasifikaciji rečnih korit, ki izvira iz eksperimentalnega dela in empiričnega opazovanja recentnih, stalnih rečnih tokov. Na njihovi osnovi je izvajal empirične odnose med vodnim pretokom, količino, vrsto in načinom prenosa sedimenta ter morfološkimi značilnostmi korit in njihovega poteka. Pri tem je ugotovil, da obliko stabilnega rečnega korita določata vodni pretok in sediment, ki ga tok prenaša. Tako naj bi bil pretok premosorazmeren s širino korita, njegovo globino in valovno dolžino meandra ter obratnosorazmeren z gradientom (strmcem) korita. Kot vidimo, določa pretok predvsem velikost rečnega korita, manj pa njegov potek in zato ni primeren za klasifikacijo poteka rečnih korit. Uporabljamo ga lahko za opredelitev tokov glede na značilnosti pretoka, kot na primer kratkotrajen ali občasen in trajen ali stalen vodni tok (Schumm, 1977). Dimenzije rečnega korita so pri enakem pretoku odvisne tudi od vrste sedimenta in načina njegovega transporta, kar vpliva tudi na značaj dna korita in njegovih bregov. Ločimo *talni material* (bed load, bed-material load), ki drsi, se vali ali poskakuje po dnu, in *suspenzijski material* (suspended load). Schumm (1963) je v suspenzijski material uvrstil frakcije melja in glin, medtem ko talni material predstavljajo frakcije peska, proda in blokov. Delež talnega materiala v celotni količini materiala, ki ga prenaša vodni tok, narašča premosorazmerno z valovno dolžino meandra, širino in strmcem (gradientom) korita ter obratnosorazmerno z globino in vijugavostjo korita. Iz tega je razvidno, da razmerje med talnim in suspenzijskim materialom zelo vpliva na obliko korita (razmerje med širino in globino) in deloma na njegov potek. Na osnovi odvisnosti oblike rečnih korit od vrste in načina transporta materiala je Schumm (1963) ločil korita s talnim, mešanim in suspenzijskim transportom sedimenta.

Pomemben parameter je relativna stabilnost korita, ki je odvisna od moči in hitrosti toka oziroma vodnega pretoka, ter od značaja, količine sedimenta in načina njegovega transporta. Izkazalo se je, da so korita, ki imajo bregove iz kohezivnih muljastih sedimentov, stabilnejša od korit, katerih bregovi so iz nekohezivnih peščenih in prodnatih sedimentov. Te ugotovitve veljajo za stabilne ali uravnovešene tokove, pri katerih je količina prinesenega sedimenta približno enaka njegovi odneseni količini. Na utrnjenost bregov in s tem povezano stabilnost korit zelo vpliva tudi vegetacija (Schumm, 1968). Neuravnoteženost med kapaciteto vodnega toka in celotno količino v korito prinesenega sedimenta je vzrok njegove nestabilnosti. Notranja energija toka se kompenzira s procesi erozije in sedimentacije. Presežek količine celotnega sedimenta povzroči usedanje, primanjkljaj pa erozijo. Obe nestabilni stanji, sedimentacijsko in erozijsko, nastopata v vseh tipih korit.

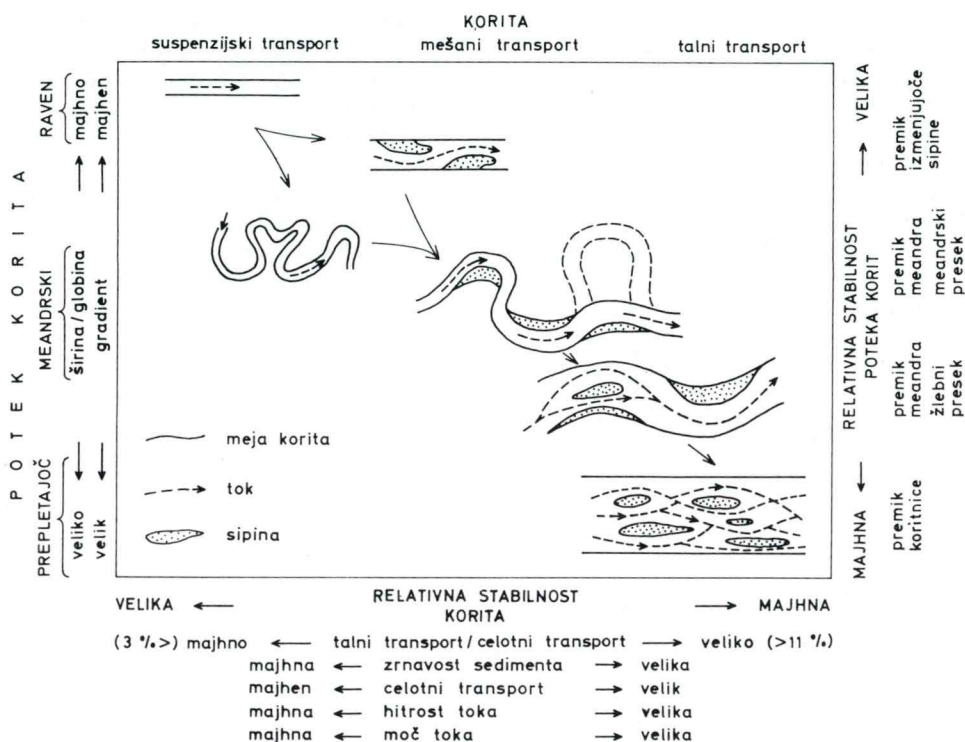
V vsaki skupini korit lahko najdemo ravne, meandrirajoče in prepletajoče odseke korit ter zvezne prehode med njimi. Poleg značaja in načina prenosa sedimenta vpliva na potek rečnih korit tudi njihov strmec (naklon, gradient). Pri majhnem naklonu so stabilna, ravna, pri srednjem meandrirajoča in pri velikem prepletajoča korita (Schumm & Khan, 1972). Tako vidimo, da se rečni tok s svojim značajem poteka prilagaja spremembam naklona rečne doline (Ouchi, 1985). Pri tem je meandriranje oziroma sprememba vijugavosti eden od pomembnih prilagoditev notranji energiji toka. Meandri se v stabilnem toku spreminjajo in premikajo počasi, pri čemer nastajajo in se širijo meandrske sipine. V nestabilnih stanjih, ki običajno nastanejo ob kritičnem oziroma poplavnem stanju vode pa lahko pride do nenadnih sprememb in premikov.

Visoke vode pogosto preplavijo meandrske sipine in erodirajo površino ter preko njih izdolbejo ter poglobljajo manjše ali večje *žlebove* (chute). V večini primerov se po znižanju vodne gladine glavni tok vrne v prvotno korito, manjši del vode pa lahko še nadalje teče po žlebu ali pa je le-ta opuščen. V nekaterih primerih se žleb tako poveča, da se glavni tok prestavi na njegovo mesto, medtem ko ostane staro korito opuščeno. To imenujemo *žlebni presek* (chute cut-off). Če sta si konkavna, erodirajoča bregova meandra že sorazmerno blizu, lahko visoka voda prebije še preostali del starejšega aluvija, kar imenujemo *meandrski presek* (neck cut-off). Tako se tok deloma izravna oziroma njegova vijugavost se zmanjša. Odrezani del meandra predstavlja *opuščeno korito* ali *mrtev rokav*, v katerem se lahko ohrani stoječa voda v obliki manjšega jezera – *mrtvice* (oxbow lakes). *Pemik meandra* (meander shift) nastane s prebojem obrežnega nasipa in močno erozijo ter poglobljanjem *prebojnega korita* (crevasse channel), ki se izoblikuje v glavno korito, novi del meandra. Ob poplavih lahko reka del korita ali pa celoten spodnji tok *premakne* in si ureže novo korito (evulsion), medtem ko ostane staro korito opuščeno.

Pri določitvi eno- ali večkoritnih sistemov ima Schumm (1968) drugačne kriterije kot večina omenjenih avtorjev. Večkoritne reke naj bi bile po njegovi opredelitvi one, ki tečejo po aluvialni površini in oblikujejo razvodni, divergentni sistem, kot na primer na vršajih, rečnih ravninah in deltah. Vsak enokoritni tok pa lahko predstavlja del večkoritnega sistema. Prepletajoče tokove pojmuje kot enokoritne tokove s prevladujočim talnim transportom materiala, pri katerih se ob nizkem stanju vode po kažejo otoki sedimenta, sipine ali vključujejo relativno stabilne porasle otoke.

Na osnovi korita, opredeljenega s prevladujočim načinom transporta sedimenta, njihovega poteka in njune relativne stabilnosti, je Schumm (1981) podal genetsko klasifikacijo aluvialnih rečnih korit (sl. 3).

Korita s suspenzijskim transportom prevajajo vodni tok z več kot 97% suspenzijskega muljastega sedimenta, medtem ko lahko predstavlja delež talno transporti-



Sl. 3. Genetska klasifikacija aluvialnih rečnih korit (prirejeno po Schumm, 1981, 24, sl. 4)

ranega materiala manj kot 3% celotne količine sedimenta, ki ga tok prenaša. Korita so običajno ozka in globoka. Stabilna korita imajo razmerje med širino in globino manjše od 10. Pri majhnem strmcu so korita ravna, pri nekoliko večjem, a kljub temu relativno majhnem, pa se vijugavost poveča in znaša večinoma več kot 2,0. Pri tem tipu korit se pogosto pojavlja večkoritni anastomozni potek vodnega toka. V nestabilnem, erozijskem stanju suspenzijski vodni tok erodira večinoma dno korita in ga s tem pogloblja, medtem ko je erozija bregov majhna. Zato je širjenje korit le počasno. Pri nestabilnem, sedimentacijskem stanju suspenzijski vodni tok odlaga drobnozrnati material večidel na obrežni ravnini, kar lahko povzroča oženje korita. Sedimentacija v koritu je običajno majhna.

Korita z mešanim transportom prevajajo 3 do 11% celotne količine prenašanega materiala v obliki talnega transporta. Stabilna korita imajo razmerje med širino in globino v območju 10 do 40, pri srednjem strmcu zavzema njihova vijugavost vrednosti od 1,3 do 2,0. V omenjeni skupini prevladujejo enokoritni meandrirajoči vodni tokovi. V nestabilnem, erozijskem stanju tok z mešanim transportom v začetku erodira dno korita in ga pogloblja. Kasneje lahko sledita erozija bregov in širjenje korita. Pri nestabilnih, sedimentacijskih razmerah tok z mešanim transportom odlaga sediment najprej na obrežni ravnini. Sledi sedimentacija v koritu in ob njem ter s tem nastajanje in povečevanje meandrskih sipin s sočasnim oženjem korita.

Korita s talnim transportom prevajajo vodni tok, v katerem je delež talnega

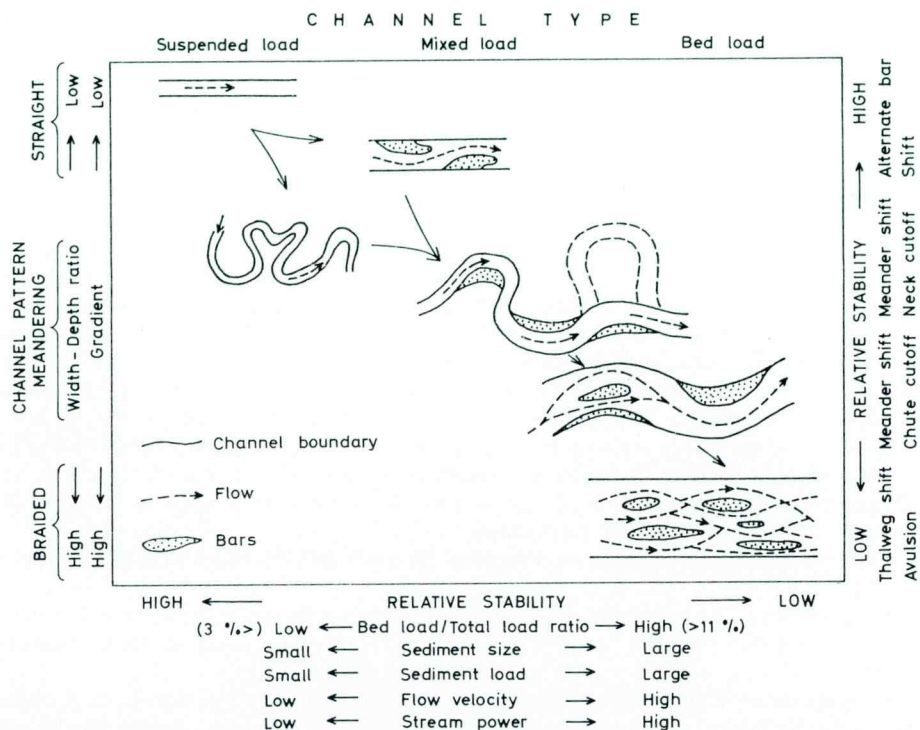


Fig. 3. Genetic classification of alluvial channels (modified after Schumm, 1981, 24, Fig. 4)

materiala večji od 11% količine celotnega sedimenta, ki ga pranaša tok. Stabilna korita imajo razmerje med širino in globino večje od 40, njihova vijugavost je večidel manjša od 1,3 pri relativno velikem strmecu. V tej skupini prevladujejo prepletajoči vodni tokovi. Pri nestabilnih erozijskih razmerah vodni tok s talnim transportom pretežno erodira bregove korita, ki se na ta način širijo, medtem ko je erozija dna korita omejena. V nestabilnem sedimentacijskem stanju se večina transportiranega materiala odloži v koritu, v obliki aggradacije z nastajanjem sipin in otokov.

V vseh skupinah korit lahko zasledimo njihov raven, meandrirajoč ali prepletajoč potek. Na značaj poteka korita bolj kot absolutna količina transportiranega sedimenta vpliva način njegovega premikanja po koritu (Schumm, 1977).

O hidrodinamiki pretakanja vodnih tokov v koritih ne bomo razpravljali, saj pre-sega okvir obravnavane problematike, čeprav je njeno poznavanje in razumevanje pomembno za interpretacijo rečnih sedimentnih tvorbo.

Združevanje faciesov in rečni sedimentacijski modeli

Združbo faciesov je Potter (1959) opredelil kot skupino lastnosti, kot so površina in debelina, zveznost in oblika litoloških enot, vrsta kamnin, sedimentne teksture, fosilne združbe itd ... Glede na razumevanje faciesa kot opisnega izraza za bolj ali manj

homogeno kamninsko telo, ki ga določimo in ločimo od drugih po fizikalnih, kemičnih in bioloških značilnostih, lahko združbo faciesov opredelimo kot prostorsko porazdelitev faciesov na obravnavanem območju, ki temelji na konkretnih opazovanjih. V geologiji uporabljamo za obvladovanje in prikazovanje prostora karte, s katerimi ponazarjamo površinsko porazdelitev opazovanih lastnosti in profile, s katerimi zajemamo in podajamo lastnosti v vertikalni komponenti prostora.

Že pri zbiranju površinskih podatkov se srečujemo s številnimi problemi, med katerimi je pokritost terena eden izmed pomembnejših. Za obvladovanje vertikalne, globinske komponente je problematika še mnogo bolj kompleksna. Zato je poznavanje globinskih podatkov večinoma nezadovoljivo in pomanjkljivo. Na kartah običajno prikazujemo poenostavljene ali posplošene podatke. Njihova porazdelitev se zaradi neizogibne uporabe inter- in ekstrapolacij bolj ali manj približuje realnosti. Pogosto pa so nam zaradi tektonske zgradbe, erozije in človeške dejavnosti na površini, brez namernega poseganja v globino, dostopni tudi podatki, ki predstavljajo vertikalno komponento. Vertikalno, profilno zajemanje podatkov in njihovo prikazovanje je preprostejše, ker je enodimenzionalno, poleg tega pa je lahko podrobnejše. Zato imamo večino podatkov o podrobnejših združbah faciesov iz fosilnih okolij zbranih na osnovi njihovega vertikalnega zaporedja. V recentnih okoljih so nam poleg vertikalnih sosledij faciesov lažje dostopna površinska razmerja med njimi.

Koncept sedimentacijskega modela sloni na dveh glavnih opazovanjih in eni interpretaciji.

1. opazovanje: Na zemeljski površini obstaja končno število sedimentacijskih okolij, pri čemer tudi dve podobni okolji nista enaki. Prehodi med okolji so lahko postopni ali ostri.

2. opazovanje: V geološkem zapisu na določenem mestu in v določenem času obstaja končno število faciesov, ob tem da tudi dva podobna faciesa nista enaka. Horizontalni in vertikalni prehodi med posameznimi faciesi so lahko postopni ali ostri.

Interpretacija: Z uporabo aktualističnega načela lahko parametre sedimentnih faciesov starejših geoloških obdobij neznanega nastanka primerjamo z recentnimi faciesi, nastalimi v znanih sedimentacijskih okoljih, ter tako razkrijemo sedimentacijska okolja fosilnih sedimentnih faciesov (Selley, 1988).

Tako naj bi sedimentacijski ali facialni model predstavljal sintezo lastnosti, zbranih v določenih starih in recentnih okoljih, prečiščenih lokalnih posebnosti. Lahko ga pojmuje kot interpretativno sredstvo, ki mora po Walkerju (1979) služiti kot: 1. standard za primerjavo, 2. ogrodje in napotek za nadaljnja opazovanja, 3. napovedno sredstvo novih geoloških stanj, 4. osnova za interpretacijo okolja ali sistemov, katere predstavlja.

Povezavo vertikalnega zaporedja faciesov z njihovo horizontalno porazdelitvijo določa Waltherjevo pravilo, ki pravi, da faciesi, ki so ali so bili v sedimentacijskem okolju drug poleg drugega, nastopajo v vertikalnem zaporedju brez prekinitev eden nad drugim (Walther, 1893/94).

V vertikalnem sosledju faciesov pogosto ugotavljamo *cikličnost*, ki jo karakterizira zaporedje litoloških razlikov, sedimentnih tekstur, porazdelitev zrnivosti in drugo. Cikličnost je lahko posledica spreminjanja porazdelitve notranje energije sedimentacijskega okolja. V tem primeru govorimo o *avtocikličnosti* in *avtociklih*. Cikličnost, ki je posledica notranje prilagoditve zunanjim vplivom, pa lahko opredelimo kot *alocikličnost*, nastale cikle pa *alocikle* (Beerbower, 1964). V rečnem sedimentacijskem okolju so avtociklični mehanizmi: počasno spreminjanje položaja korit ter hitre spremembe (žlečni presek, meandrski presek, preboj obrežnega nasipa in prestavi-

tev korita), pri katerih prihaja do manjših prilagoditev vodnega toka energetskim razmeram s kompleksno soodvisnostjo med erozijo in usedanjem. Alociklične mehanizme predstavljajo spremembe pretoka, količine transportiranega materiala in strnca korita, ki so večinoma posledice tektonskih in klimatskih sprememb. Ti mehanizmi kontrolirajo velike prilagoditve z epizodno sedimentacijo npr. vršajev ali erozijo, npr. poglabljanjem rečne doline in nastajanjem teras ter drugim. V vertikalnem zaporedju faciesov se običajno odražajo avto- in alociklični mehanizmi, med katerimi pride pogosto do interference, kar povzroča težave pri njunem ločevanju. Za opredelitev sedimentacijskega modela so verodostojna le avtociklična zaporedja. Alocikli so običajno debelejši in so pomembni predvsem za interpretacijo zapolnitve sedimentacijskega bazena.

V klastičnih sedimentacijskih okoljih je po splošnem prepričanju velikost zrn premo sorazmerna z energijo v okolju. V vertikalnih profilih običajno zasledimo dva tipa ciklov. Prvi predstavlja zaporedje z *zmanjševanjem zrnivosti in debeline plasti* (fining and thinning upward cycle or sequence), ki ponazarja zmanjševanje energije v okolju. Drugi ustvarja zaporedje z *naraščanjem zrnivosti in debeline plasti* (coarsening and thickening upward cycle or sequence), ki predstavlja naraščanje energije v okolju. Prav vertikalna zaporedja porazdelitve velikosti zrn in faciesov so imela velik vpliv na razvoj sedimentacijskih in facialnih modelov (Visher, 1965).

Na oblikovanje rečnih sedimentacijskih modelov je v začetnem obdobju imel največji vpliv Allen (1965), ki je podal štiri hipotetične modele običajnih aluvialnih faciesov: za vznožje pobočja z aluvialnimi vršaji, za prepletajoči tok, za rahlo vijugav tok in za močno vijugav – meandrirajoči tok.

Prvi pravi sedimentacijski model za nastanek meandrske sipine in s tem meandrirajoči rečni tok je podal Allen (1964, 1970a, b). Vertikalno zaporedje peščenomuljaste sekvence označuje zaporedje z zmanjševanjem zrnivosti, velikosti sedimentnih tekstur in debelin plasti, v katerih se pojavljajo tudi ploskve lateralnega priraščanja. Na osnovi tega modela so peščena zaporedja z zmanjševanjem zrnivosti pogosto interpretirali kot sedimentne meandrirajočih tokov, medtem ko so večino debeleje zrnatih, prodnatih sekvenc pripisovali prepletajočim tokovom ali vršajem. Nadaljnje raziskave so pokazale precejšnja odstopanja v zrnivosti debelozrnatega dela sekvence in v razmerju med debelo- in drobnozrnatim, muljastim delom sekvence glede na splošni model (McGowen & Garner, 1970; Jackson, 1976, 1978). Pri razmerju med debelo- in drobnozrnatim delom sekvence moramo upoštevati tudi možnost ohranitve oziroma delne erozije drobnozrnatega, muljastega dela sekvenc (Plint, 1983).

Po razumevanju sedimentacije v meandrirajočih tokovih je naraslo zanimanje za prepletajoče tokove kot drugo prevladujočo skupino rečnih tokov. Na osnovi preučevanja recentnih in fosilnih primerov so nastali modeli prepletajočih tokov (Costello & Walker, 1972; Miall, 1977, 1978; Rust, 1978b; Cant & Walker, 1978). Odložene sekvence prepletajočih tokov so glede na porazdelitev velikosti zrn in sedimentne teksture zelo spremenljive. Zasledili so sekvence z naraščanjem in zmanjševanjem zrnivosti kot tudi sekvence s sorazmerno nediferencirano zrnavostjo. V sekvencah je drobnozrnati del neizrazit ali pa ga ni.

Za enokoritne, rahlo vijugave, skoraj ravne tokove imamo relativno malo podatkov tako iz recentnih kot fosilnih primerov (Moody-Stuart, 1966; Kelling, 1968; Campbell, 1976).

Sedimentacijski model za večkoritne meandrirajoče, anastomozne tokove so razvili na osnovi recentnih podatkov (Smith & Smith, 1980; Rust, 1981; Smith, 1983; Rust & Legun, 1983). Z njim so razlagali tudi fosilne sisteme korit (Smith & Putnam, 1980; Putnam, 1982, 1983). V vertikalnem zaporedju sedimentov anastomoznih to-

kov nastopajo med muljastimi faciesi granulometrično slabo diferenciran pesek in peščenjak s ponekod slabo izraženim zmanjševanjem zrnivosti.

Na pomanjkljivost bolj ali manj enodimenzionalnega vertikalnega zaporedja faciesov za prikazovanje in interpretacijo prostorsko tako kompleksnih in raznolikih sedimentacijskih okolij, kot so rečna, je opozoril Friend leta 1981 na 2. mednarodni konferenci o rečni sedimentologiji v Keelu. »Brez dvodimenzionalnih podatkov se mora vsaka klasifikacija omejiti na posplošitve o načinu transporta; kljub temu lahko podrobno preučevanje vertikalnega poteka smeri transporta, tekstur in zrnivosti nakazuje točnejši model okolja.« (Friend, 1983, 345). V približno istem času so sedimentologi pričeli v velikih izdankih slediti dvodimenzionalne in sestavljati tridimenzionalne prikaze lastnosti in porazdelitve faciesov (Nijman & Puigdefabregas, 1978; Allen, 1983; Kirk, 1983; Haszeldine, 1983 a, b; Ramos & Sopena, 1983; Blakey & Gubitosa, 1984). Z dvo- in tridimenzionalnim preučevanjem geometrije sedimentnih teles in faciesov je nastal koncept arhitekture sedimentacijskih bazenov, ki naj bi prikazoval razprostiranje sedimentnih faciesov ali teles v prostoru in času. Prostorske spremembe lastnosti faciesov so vodile Mialla (1985) do zasnove arhitekturnih elementov rečnega sistema, ki ga je kasneje (Miall, 1988a, b) dopolnil z arhitekturnim merilom, s katerim je določena hierarhija notranjih mejnih ploskev. Miall (1985) je opredelil osem glavnih strukturnih elementov: – korita; – prodnate sipine in plastne oblike; – peščene plastne oblike; – v smeri toka naraščajoče makrooblike (sipine); – tvorbe, nastale z lateralnim priraščanjem; – sedimente gravitacijskih tokov; – ploščata, horizontalno laminirana peščena telesa; – poplavne, drobnazrnate sedimente. Arhitekturne elemente je povezal v dvanajst modelov, ki ponazarjajo spremembe značaja nekaterih rečnih tokov in njihovih sedimentov. Pri tem pa se pojavlja tudi kritika preveč standardiziranega oziroma shematiziranega dela pri preučevanju rečnih sedimentov (Bridge, 1993).

Pri raziskavah rečnih sedimentacijskih okolij so posvečali največjo pozornost debelejšim koritnim sedimentom, medtem ko so drobnazrnate poplavne sedimente na obrežni ravnini večinoma zanemarjali, čeprav ne moremo reči, da jih nekateri avtorji niso tudi podrobneje raziskovali. Pregled starejših del je podal Bridge (1984). V zadnjem času so se s porazdelitvijo faciesov in procesi na obrežni ravnini ukvarjali med drugim tudi Fielding (1986), Kraus (1987), Kraus in Brown (1988), Allen in Wright (1989), Brierley (1991) in Andrews s sodelavci (1991).

Zgoraj smo navedli le nekatera, večidel začetna dela, ki obravnavajo posamezne skupine rečnih facialnih modelov. Pregled prispevkov, razvrščenih v šest skupin: transport sedimenta in plastne oblike, moderni rečni sistemi, rečni faciesi in facialni modeli, aluvialna stratigrafija, uravnavanje rečnega okolja in ekonomske aplikacije, ki so bili predstavljeni na petih mednarodnih konferencah o rečni sedimentologiji (ICFS) v letih 1977 do 1993, je pokazal, da so bili rečni faciesi in facialni modeli ter aluvialna stratigrafija v centru zanimanja na četrti konferenci leta 1989 (Fielding, 1993). Vendar sta razvoj in izboljšava sedimentacijskih in facialnih modelov in tako tudi modelov rečnih sedimentacijskih okolij stalna dejavnost sedimentologije.

Sklepi

Slovenska geomorfološka in sedimentološka terminologija rečnih sedimentacijskih okolij še nista povsem izdelani. Zato smo se skušali dotakniti razdelitve in podati predlog slovenskega poimenovanja nekaterih rečnih sedimentnih in erozijskih oblik ter posameznih pomembnejših vplivov na način njihovega nastanka.

Rečni sistem predstavlja reka s svojimi pritoki od izvira do izliva. V njem ločimo tri cone. Prvo imenujemo zbiralno, drugo prenosno in tretjo sedimentacijsko. V sedimentacijski coni lahko glede na proksimalni in distalni položaj ter obliko ločimo aluvialne vršaje in delte ter estuarije. V rečnem sistemu vlada približno dinamično ravnotežje med erozijo in sedimentacijo, na katerega vplivajo različne spremenljivke, ki jih lahko združimo v tri skoraj neodvisne spremenljivke: čas, tektoniko in klimo.

Sedimentacijski prostor se na splošno zapolnjuje na tri načine: agradacijsko, progradacijsko in retrogradacijsko. Oblike zapolnitve rečne doline ali dolinski zasip lahko hierarhično razčlenimo. Površino dolinskega zasipa predstavlja nasipna naplavna ravnina s svojim obrobni, kolvialno vršajnim in osrednjim delom. Slednjega predstavlja rečna naplavna ravnina z rečnimi koriti in obrežno ravnino. V rečnih koritih nastajajo sipine, ki jih lahko ločimo v tri osnovne elemente: plastne oblike, koritne oblike in enotne sipine ter sestavljene prepletajoče sipinske komplekse (Ashley, 1990). Na obrežnih ravninah so izrazitejša tri območja: obrežni nasipi, prebojne pahljače in poplavne ravnine.

Rečno korito je voda urezala v podlago. Za njegov geomorfološki opis uporabljajo večinoma dva parametra: vijugavost in prepletenost. Na osnovi teh parametrov ločimo enokoritne, rahlo vijugave (ravne) tokove; enokoritne, vijugave (meandske) tokove; večkoritne, rahlo vijugave (prepletajoče) tokove ter večkoritne, vijugave (anastomozne) tokove (sl. 2). V geološkem zapisu sedimentnih kamnin je večidel nemogoče slediti zgoraj navedene geomorfološke parametre, zato je veliko bolj operativna razdelitev rečnih korit na osnovi prevladujočega načina transporta, njihovega poteka in njune relativne stabilnosti. Tako je Schumm (1981) ločil korita s suspenzijskim, mešanim in talnim transportom (sl. 3).

Danes imamo bolj ali manj popolne sedimentacijske modele za večino potekov rečnih korit, vendar je za zanesljivejše prepoznavanje in interpretacijo značaja kompleksnih in raznolikih rečnih okolij potrebno tridimenzionalno poznavanje geometrije sedimentacijskih teles in porazdelitev faciesov.

Zahvala

Za kritično oceno rokopisa se zahvaljujem J. Čaru, K. Natku, B. Ogorelcu in F. Šušteršiču, ki so s pripombami pripomogli k njegovi izboljšavi. Poleg tega velja moja zahvala S. Pircu za angleški prevod in M. Karer za tehnično opremo.

Fluvial systems and their sedimentary models

Conclusions

The Slovenian geomorphologic and sedimentologic terminology of river sedimentary environments is not entirely worked out. Therefore we attempted the classification and presented the proposal of Slovenian names for certain fluvial sedimentary and erosional forms and the most important influences on their formation.

The fluvial system consists of the river with its tributaries from the source to the mouth. In it three zones can be distinguished. The first one can be called the

collector zone, the second the transport and the third the sedimentation zone. In the sedimentation zone with regard to the proximal or distal position the alluvial fans, deltas and estuaries can be distinguished. In the fluvial system exists an approximately dynamic equilibrium between erosion and deposition influenced by a number of variables that may be combined into three more or less independent factors: time, tectonics and climate.

The sedimentation area is generally being filled in three ways: the aggradation-al, progradational, and retrogradational way. The forms of the alluvial valley fill can be hierarchically subdivided. The surface of the alluvial valley fill consists of the alluvial plain with its marginal (colluvial, alluvial fan), and central part. The last one is represented by the river channels and the overbank plain. River bars can be subdivided into three basic elements: bed forms, channel forms and unit bars, as well as the composed braid bar complexes (Ashley, 1990). On overbank plain three domains are distinguished: levée, crevasse splay and flood plain.

The river channel is cut by the river into the ground. For its geomorphological description mostly two parameters are used: sinuosity and braidedness. Based on these parameters four types can be distinguished, single-channel, slightly sinuous (straight) streams; single-channel, sinuous (meandering) streams; multi-channel, slightly sinuous (braided) streams, and multi-channel, sinuous (anastomosing) streams (fig. 2). In the geological record of sedimentary rocks these geomorphologic parameters mainly cannot be recognized, and therefore the subdivision of the channels on the basis of the prevailing kind of transport, its course, and their relative stability is more operational. In this sense Schumm (1981) distinguished channels with suspension, mixed and bed load transport (fig. 3).

Actually more or less complete sedimentary models exist for the majority of river channels. However, for reliable distinction and interpretation of the character of complex and diverse river environments a three dimensional knowledge of sedimentary bodies and distribution of facies are needed.

Literatura

- Allen, J. R. L. 1964: Studies in fluvial sedimentation: six cyclothems from the lower Old Red Sandstone, Anglo-Welsh Basin. – *Sedimentology*, 3, 163–198, Amsterdam.
- Allen, J. R. L. 1965: A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments. – *Sedimentology*, 5, 89–191, Amsterdam.
- Allen, J. R. L. 1970 a: Studies in fluvial sedimentation: A comparison of fining-upwards cyclothems, with special reference to the coarse-member composition and interpretation. – *Jour. Sed. Petrology*, 40, 298–323, Tulsa.
- Allen, J. R. L. 1970 b: A quantitative model of grain size and sedimentary structures in lateral deposits. – *Geol. J.* 7, 129–146, London.
- Allen, J. R. L. 1983: Studies in fluvial sedimentation: bars, bar complexes and sandstone sheets (low-sinuosity braided streams) in the Brownstone (L. Devonian), Welsh Borders. – *Sediment. Geol.*, 33, 237–293, Amsterdam.
- Allen, J. R. L. & Wright, V. P. (eds.) 1989: Paleosols in siliciclastic sequences. Postgraduate Research Institute for Sedimentology, Reading University, Reading, 97 pp.
- Andrews, J. E., Turner, M. S., Nabi, G. & Spiro, B. 1991: The anatomy of an early Dinantian terraced floodplain: palaeo-environment and early diagenesis. – *Sedimentology*, 38, 271–287, Oxford.
- Ashley, M. G. 1990: Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. – *Jour. Sed. Petrology*, 60, 160–172, Tulsa.
- Badjura, R. 1953: Ljudska geografija, Terensko izrazoslovje. – Državna založba, 337 pp., Ljubljana.
- Beerbower, J. R. 1964: Cyclothems and cyclic depositional mechanisms in alluvial plain sedimentation. v: Merriam, D. F. (ed.), Symposium on cyclic sedimentation. – *Kansas Geol. Serv. Bull.*, 169, 1, 31–42, Lawrence.
- Blakey, R. C. & Gubitosa, R. 1984: Control of sandstone body geometry and architecture in the Chinle Formation (Upper Triassic), Colorado Plateau. – *Sediment. Geol.*, 38, 51–86, Amsterdam.
- Brice, J. C. 1964: Channel patterns and terraces of Loup River in Nebraska. – *U. S. Geol. Surv. Prof. Paper* 422-D, 41 pp., Washington.
- Bridge, J. S. 1984: Large-scale facies sequences in alluvial overbank environments. – *Jour. Sed. Petrology*, 54, 583–588, Tulsa.
- Bridge, J. S. 1993: Description and interpretation of fluvial deposits: a critical perspective. – *Sedimentology*, 40, 801–810, Oxford.
- Brierley, G. J. 1991: Floodplain sedimentology of the Squamish River, British Columbia: relevance of element analysis. – *Sedimentology*, 38, 735–750, Oxford.
- Campbell, C. V. 1976: Reservoir geometry of a fluvial sheet sandstone. – *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 60, 1009–1020, Tulsa.
- Cant, D. J. & Walker, R. G. 1978: Fluvial processes and facies sequences in the sandy braided South Saskatchewan River, Canada. – *Sedimentology*, 25, 625–648, Oxford.
- Costello, W. R. & Walker, R. G. 1972: Pleistocene sedimentology, Credit River, southern Ontario: a new component of the braided river model. – *Jour. Sed. Petrology*, 42, 389–400, Tulsa.
- Fielding, C. R. 1986: Fluvial channel and overbank deposits from the Westphalian of the Durham coalfield, NE England. – *Sedimentology*, 33, 119–140, Oxford.
- Fielding, C. R. 1993: A review of recent research in fluvial sedimentology. – *Sediment. Geol.*, 85, 3–14, Amsterdam.
- Friend, P. F. 1983: Towards the classification of alluvial architecture or sequence. v: Collinson, J. D. & Lewin, J. (eds.), Modern and Ancient Fluvial Systems. – *Int. Ass. Sediment. Spec. Publ.*, 6, 345–354, Oxford.
- Happ, S. C. 1971: Genetic classification of valley sediment deposits. – *A. S. C. E. J. Hydraulics Div.*, 97, 43–53, New York.
- Haszeldine, R. S. 1983a: Fluvial bars reconstructed from a deep, straight channel, Upper Carboniferous coalfield of northeast England. – *Jour. Sed. Petrology*, 53, 1233–1248, Tulsa.
- Haszeldine, R. S. 1983b: Descending tabular cross-bed sets and bounding surfaces from a fluvial channel in the Upper Carboniferous of north-east England. v: Collinson, J. D. & Lewin, J. (eds.), Modern and Ancient Fluvial Systems. – *Int. Assoc. Sediment. Spec. Publ.*, 6, 449–456, Oxford.

- Holmes, A. 1965: Principles of Physical Geology. 2nd ed., The Ronald Press, 1288 pp., New York.
- Jackson, R. G. II. 1975: Hierarchical attributes and unifying model of bed forms composed of cohesionless material and produced by shearing flow. – *Geol. Soc. Am. Bull.*, **86**, 1523–1533, Boulder.
- Jackson, R. G. II. 1976: Depositional model of point bar in the lower Wabash River. – *Jour. Sed. Petrology*, **46**, 579–594, Tulsa.
- Jackson, R. G. II. 1978: Preliminary evaluation of lithofacies models for meandering alluvial streams. v: Miall, A. D. (ed.), *Fluvial Sedimentology*. – *Can. Soc. Petrol. Geol., Mem.*, **5**, 543–576, Alberta.
- Kelling, G. 1968: Patterns of sedimentation in Rhondda Beds of South Wales. – *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, **52**, 2369–2386, Tulsa.
- Kirk, M. 1983: Bar developments in a fluvial sandstone (Westphalian “A”), Scotland. – *Sedimentology*, **30**, 727–742, Oxford.
- Kraus, M. J. 1987: Integration of channel and floodplain suites, II. vertical relations of alluvial paleosols. – *Jour. Sed. Petrology*, **57**, 602–612, Tulsa.
- Kraus, M. J. & Brown, T. 1988: Pedofacies analysis: A new approach to reconstructing ancient fluvial sequences. – *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper* **216**, 143–152, Washington.
- Leeder, M. R. 1973: Fluvial fining-upwards cycles and the magnitudes of paleochannels. – *Geol. Mag.*, **110**, 265–276, London.
- Leopold, L. B. & Wolman, M. G. 1957: River channel patterns: braided, meandering and straight. – *U. S. Geol. Surv. Prof. Paper* **282-B**, 39–85, Washington.
- Leopold, L. B., Wolman, M. G. & Miller, J. P. 1964: *Fluvial Processes in Geomorphology*. Freeman & Co., 522 pp., San Francisco.
- McGowen, J. H. 1970: Gum Hollow fan delta, Nueces bay, Texas. – *Texas Bur. Econ. Geol., Rept. Invs.*, **72**, 57 pp., Austin.
- McGowen, J. H. & Garner, L. E. 1970: Physiographic features and stratification types of coarse-grained point bars: modern and ancient examples. – *Sedimentology*, **14**, 77–111, Amsterdam.
- McPherson, J. G., Shanmugam, G. & Miola, R. J. 1987: Fan-deltas and braid deltas: varieties of coarse-grained deltas. – *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **99**, 311–340, Boulder.
- Miall, A. D. 1977: A review of the braided-river depositional environment. – *Earth Sci. Rev.*, **13**, 1–62, Amsterdam.
- Miall, A. D. 1978: Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: summary. v: Miall, A. D. (ed.), *Fluvial sedimentology*. – *Can. Petrol. Geol. Mem.*, **5**, 597–604, Calgary.
- Miall, A. D. 1981: Alluvial sedimentary basins: tectonic setting and basin architecture. v: Miall, A. D. (ed.), *Sedimentation and Tectonics in Alluvial Basins*. – *Geol. Assoc. Can. Spec. Pap.*, **23**, 1–33, Waterloo.
- Miall, A. D. 1985: Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits. – *Earth-Sci. Rev.*, **22**, 261–308, Amsterdam.
- Miall, A. D. 1988 a: Architecture elements and bounding surfaces in fluvial deposits: anatomy of the Rayenta Formation (Lower Jurassic), Southwest Colorado. – *Sediment. Geol.*, **55**, 233–262, Amsterdam.
- Miall, A. D. 1988 b: Facies architecture in clastic sedimentary basins. v: Kleinspehn, K. L. & Paola, C. (eds.), *New Perspective in Basin analysis*. Springer-Verlag, 67–81., New York.
- Moody-Stuart, M. 1966: High- and low-sinuosity stream deposits, with examples from the Devonian of Spitsbergen. – *Jour. Sed. Petrology*, **36**, 1102–1117, Tulsa.
- Nijman, W. & Puigdefabregas, C. 1978: Coarse-grained point bar structure in a molasse-type fluvial system, Eocene Castisent Sandstone Formation, South Pyrenean Basin. v: Miall, A. d. (ed.), *Fluvial Sedimentology*. – *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.*, **5**, 487–510, Alberta.
- Ouchi, S. 1985: Response of alluvial rivers to slow active tectonic movements. – *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **96**, 504–515, Boulder.
- Plint, A. G. 1983: Sandy fluvial point bar sediments from the middle Eocene of Doset, England. v: Collinson, J. D. & Lewin, J. (eds.), *Modern and Ancient Fluvial Systems*. – *Int. Ass. Sediment. Spec. Publ.*, **6**, 355–368, Oxford.
- Potter, P. E. 1959: Facies models conference. – *Science*, **129**, 1292–1294, New York.
- Potter, P. E. 1978: Significance and origin of big rivers. – *J. Geol.*, **86**, 13–33, Chicago.
- Putnam, P. E. 1982: Fluvial channel sandstones within the upper Mannville (Albian) of east-central Alberta: geometry, petrology, and paleogeographic implications. – *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, **66**, 436–459, Tulsa.

- Putnam, P. E. 1983: Fluvial deposits and hydrocarbon accumulations: examples from the Lloydminster area, Canada. v: Collinson, J. D. & Lewin, J. (eds.), *Modern and Ancient Fluvial Systems*. – Int. Ass. Sediment. Spec. Publ., 6, 517–532, Oxford.
- Ramos, A. & Sopena, A. 1983: Gravel bars in low-sinuosity streams (Permian and Triassic central Spain). v: Collinson, J. D. & Lewin, J. (eds.), *Modern and Ancient Fluvial Systems*. – Int. Ass. Sediment. Spec. Publ., 6, 301–312, Oxford.
- Rust, B. R. 1978a: A classification of alluvial channel systems. v: Miall, A. D. (ed.), *Fluvial sedimentology*. – Can. Soc. Petrol. Mem., 5, 187–198, Calgary.
- Rust, B. R. 1978b: Depositional models for braided alluvium. v: Miall, A. D. (ed.), *Fluvial sedimentology*. – Can. Soc. Petrol. Mem., 5, 605–625, Calgary.
- Rust, B. R. 1981: Sedimentation in aride-zone anastomosing fluvial system: Cooper's Creek, Central Australia. – *Jour. Sed. Petrology*, 51, 745–755, Tulsa.
- Rust, B. R. & Legun, A. S. 1983: Modern anastomosing-fluvial deposits in aride Central Australia, and a Carboniferous analogue in New Brunswick, Canada. v: Collinson, J. D. & Lewin, J. (eds.), *Modern and Ancient Fluvial Systems*. – Int. Ass. Sediment. Spec. Publ., 6, 385–392, Oxford.
- Schumm, S. A. 1960: The shape of alluvial channel in relation to sediment type. – U. S. Geo. Surv. Prof. Paper 352-B, 17–30, Washington.
- Schumm, S. A. 1963: A tentative classification of alluvial river channels. – U. S. Geo. Surv. Circular 477, Washington.
- Schumm, S. A. 1968: River adjustment to altered hydrologie regimen, Murrumbidgee River and paleochannels, Australia. – U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 598, 65 pp. Washington.
- Schumm, S. A. 1972: Fluvial paleochannels. v: Rigby, J. K. & Hamblin, Wm. K. (eds.), *Recognition of Ancient Sedimentary Environments*. – Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ., 16, 98–107, Tulsa.
- Schumm, S. A. 1977: *The Fluvial System*. J. Wiley & Sons, 338 pp. New York.
- Schumm, S. A. 1981: Evolution and response of the fluvial system, sedimentological implication. v: Ethridge, F. G. & Flores, R. M. (eds.), *Recent and Ancient Nonmarine Depositional Environments: Models for Exploration*. – Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ., 31, 19–29, Tulsa.
- Schumm, S. A. & Khan, H. R. 1972: Experimental study of channel patterns. – *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 83, 1755–1770, Boulder.
- Schumm, S. A. & Lichty, R. W. 1963: Channel widening and floodplain construction along Cimarron River in Southwestern Kansas. – U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 352-D, 71–88, Washington.
- Selley, R. C. 1988: *Applied Sedimentology*. – Academic Press, 446 pp., London.
- Slovar slovenskega knjižnega jezika 1985: 4. knjiga, Preo-Š, SAZU, Državna založba Slovenije, 1251 pp., Ljubljana.
- Smith, D. G. 1976: Effect of vegetation on lateral migration of anastomosed channels of a glacier meltwater river. – *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 87, 857–860, Boulder.
- Smith, D. G. 1983: Anastomosed fluvial deposits: modern examples from Western Canada. v: Collinson, J. D. & Lewin, J. (eds.), *Modern and Ancient Fluvial Systems*. – Int. Ass. Sediment. Spec. Publ., 6, 517–532, Oxford.
- Smith, D. G. & Putnam, P. E. 1980: Anastomosed fluvial deposits: modern and ancient examples in Alberta, Canada. – *Can. J. Earth Sci.*, 17, 1396–1406, Ottawa.
- Smith, D. G. & Smith, N. D. 1980: Sedimentation in anastomosed river systems: examples from alluvial valleys near Banff, Alberta. – *Jour. Sed. Petrology*, 50, 157–164, Tulsa.
- Visser, G. S. 1965: Fluvial processes as interpreted from ancient and recent fluvial deposits. v: Middleton, G. V. (ed.), *Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation*. – Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ., 12, 116–132, Tulsa.
- Walker, R. G. 1979: Facies and facies models; General introduction. v: Walker, R. G. (ed.), *Facies Models*. – Geosci. Can. Reprint Series 1, 1–7, Toronto.
- Walther, J. 1893/94: Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft; 3. Lithogenese der Gegenwart. – G. Fischer, (3 vol.), 1055 pp. Jena.
- Wolman, M. G. & Leopold, L. B. 1957: River flood plains: some observations on their formation. – U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 282-C, 87–107, Washington.