

i potrebna je upotreba elektroničkih računala. Metoda rastavljanja ploče u ravninske rešetke jedna je od diskretnih metoda. Kako ravninska rešetka djeluje samo u svojoj ravnini, ona je u ravnoteži pod utjecajem vanjskih sila, reakcija i interakcijskih sila kojima ostale ravninske rešetke djeluju na promatranu rešetku.

Međusobni razmak štapova u rešetkastim pločama u usporedbi s rasponom ploče toliko je malen da se unutrašnje sile mogu smatrati kontinuirano raspoređenima uzduž presjeka ploče. Takva pretpostavka daje dovoljno točne rezultate za preliminarne, a često i za izvedbene analize. Ploča se zamjenjuje ekvivalentnim kontinuumom, odnosno masivnom troslojnom pločom (sendvič-pločom) odgovarajuće krutosti, ili se primjenjuju metode koje vrijede za masivne i rebraste ploče uz zanemarenje deformacije jezgre i njene ortotropije koje daju približna rješenja.

Sile u štapovima gornje i donje mreže određuju se dijeljenjem pripadnih momenata savijanja s debljinom ploče, pa se tako momenti rastave u parove sila. Sile u štapovima ispune dobivaju se pomoću poprečnih sila ploče. Krutosti ploče i njeni progibi određuju se pomoću ekvivalentnog momenta inercije koji u smjeru promatranih štapova iznosi

$$I = d^2 \left(\frac{1}{F_0} + \frac{1}{F_u} \right)^{-1}, \quad (134)$$

gdje je d debljina ploče koja je jednaka osnom razmaku gornje i donje mreže, F_0 površina gornje, a F_u površina donjeg pojasa po jedinici širine presjeka. Kad su površine gornjeg i donjeg pojasa jednake ($F_0 = F_u = F$), ekvivalentni je moment inercije

$$I = \frac{1}{2} d^2 F. \quad (135)$$

Ploče s relativno slabim štapovima ispune imaju manju krutost i veći progib nego što se dobivaju pomoću izraza (134) i (135).

Osim unutrašnjih sila u gotovoj ploči, treba ispitati unutrašnje sile i stabilnost ploče tokom montaže.

Eksperimentalne metode. Opravdanost pretpostavki analitičkih metoda proračuna armiranobetonskih ploča dokazana je eksperimentalnim istraživanjem odaziva modela pri porastu opterećenja sve do sloma ploča. Pred lom pojavile su se linije odnosno trake tečenja u skladu s pretpostavkama teorije lomnog mehanizma.

LIT.: S. Timošenko, S. Vojnovski-Kruger, Teorija ploča i ljuski. Građevinska knjiga, Beograd 1962. — K. Girkman, Površinski sistemi nosača. Građevinska knjiga, Beograd 1965. — R. Park, W. L. Gamble, Reinforced Concrete Slabs. J. Wiley & Sons, New York 1980.

R. Rosman

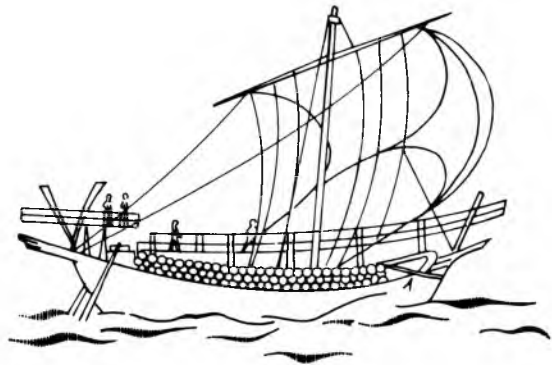
PLOVNI PUTOVI, vodene površine po kojima se roba i putnici prevoze plovilima. Razlikuju se dva sustava plovni putova: *unutrašnji plovni putovi* na rijekama, jezerima i kanalima, te *morski plovni putovi* na morima i oceanima. Morski i unutrašnji plovni putovi umnogome se razlikuju. Te se razlike očituju u veličini plovila (morska su plovila obično mnogo veća), u dinamici plovidbe (plovidba po stajaćoj i plovidba po tekućoj vodi, plovidba po valovitom moru i plovidba po mirnoj rijeci ili kanalu), u navigaciji (plovidba po moru kad se ne vidi obala i plovidba po relativno uskoj rijeci ili kanalu) i dr. Na ušćima rijeka te se dvije vrste plovni putova dodiruju, a granica među njima najčešće se podudara s granicom utjecaja plime i oseke. Najčešće se tamo prometni proces prekida radi prekrcaja s jedne na drugu vrstu plovila. Da bi se izbjeglo prekrcajanje, razvijen je specijalan tip teretnog broda prilagođen plovidbi i rijekom i morem, tzv. riječno-morski brod.

UNUTRAŠNJI PLOVNI PUTOVI

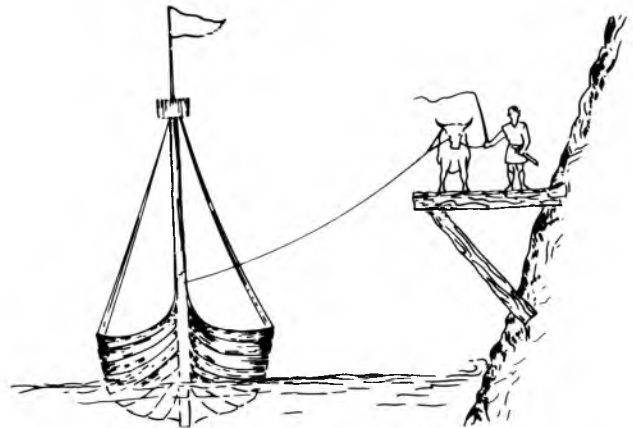
U pradávnog doba nije bilo putova, pa su rijeke bile prirodni udobni putovi. Riječna se plovidba najprije razvila na donjim tokovima rijeka na kojima se moglo ploviti i uzvodno i nizvodno. Uz tokove velikih rijeka (Nil, Eufrat i

Tigris, Yangce, Žuta rijeka i dr.) i uz obale toplih mora razvile su se prve kulture. Već je oko 3000. godine bila dobro razvijena plovidba na Nilu, oko 2200. godine postojalo je brodarstvo po kineskim rijekama, a oko 2000. godine plovili su Babilonci i Asirci po Eufratu i Tigrisu. U Egiptu je već u 14. st. prokopan kanal koji je spajao Nil s Crvenim morem, a u 16. st. reguliran je tok Eufrata i Tigrisa.

Razvitak plovidbe rijekama dobro se može pratiti na primjeru Dunava jer o tome postoji dosta podataka. Prvi su povijesni podaci o Dunavu iz 7. st. U to su doba Grci doplovili iz Argosa i Mileta do Đerdapa. Grci su Dunav nazivali Istrosom prema njihovoj koloniji koju su, prvu, osnovali na desnoj obali Dunava oko 650. godine, a zatim i druge kolonije na desnoj obali Dunava. Herodot je u 5. st. bio na Dunavu i spominje ga kao najveću poznatu rijeku svijeta. Dunavom su plovili grčki morski brodovi na vesla s pomoćnim jedrom (sl. 1). Rimljani su prvi plovili kroz Đerdap početkom 1. st. Tada je Dunav bio granica Rimskog Carstva. Rimljani su u Đerdapu nizvodno od Sipa sagradili i kanal da bi olakšali plovidbu. U to doba Dunavom najviše plove vojnički brodovi, koji se uzvodno kreću tegljenjem (kopitarenjem,

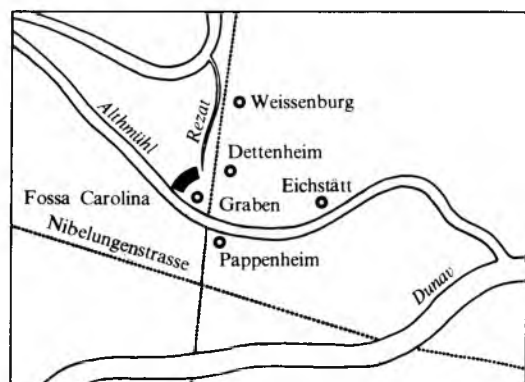


Sl. 1. Antički grčki brod na Dunavu



Sl. 2. Prolaz broda kroz Đerdap u doba Rimljana

sl. 2), a nizvodno ih nosi struja rijeke. U vrijeme seobe naroda plovidba Dunavom postaje nesigurna, a ponovno oživljava u IX. st. Tada mnogi gradovi na gornjem i srednjem dijelu Dunava postaju središta trgovine. Naročito se razvio Regensburg preko kojega su se održavale veze između Bizanta i zapadnoevropskih zemalja. Za križarskih ratova (XII i XIII st.) Dunav je vrlo važan prometni put. S dolaskom Turaka na Balkan promet se na donjem Dunavu smanjuje. Takvo stanje ostaje na Dunavu sve do XIX st., kad se na rijekama zapadne Evrope pojavljuju prvi parobrodi. Na tim rijekama prvi je parobrod



Sl. 3. Plovni kanal Fossa Carolina, kraj VIII st.

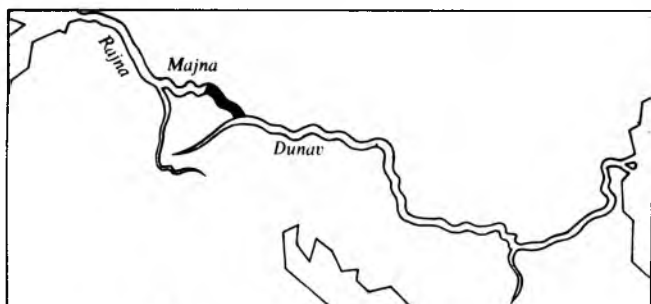
zaplovio 1817. godine, a kroz Đerdap je prvi put prošao 1834. god. Pojava parobroda znači oživljavanje prometa Dunavom, a i nove teškoće. Brzina vode na dijelu Dunava koji se naziva Đerdapom (duljina 117 km) iznosi do 5 m/s uz malu plovnu dubinu. Zbog toga je miniranjem podvodnih stijena izgrađen Sipski kanal (1890—1896) širok 75 m plovne dubine 3 m. Velika brzina vode svladana je lokomotivskom vučom s obale. Poslije je (do 1921) produbljen kanal (ukupna duljina 28 km), pa je tada prometni kapacitet iznosio $14 \cdot 10^6$ t/god.



Sl. 4. Ludvigov kanal (1846)

Uz Dunav su vezane i prve ideje o evropskom unutrašnjem plovnom putu. Franački kralj Karlo Veliki (793. god.) započeo je graditi spojni kanal između Rajne i Dunava (Fossa Carolina, sl. 3) od kojeg još danas postoje tragovi. Kanal zbog ratnih prilika nije bio dovršen. Ideju spajanja Sjevernog s Crnim morem realizirao je mnogo poslije (1846) bavarski kralj Ludvig I. Kanal dug 172 km (sl. 4) između Bamberga na Majni i Kelheima na Dunavu spaja Dunav i Rajnu preko rječice Regnitz i rijeke Majne. Na kanalu je postojala 101 brodska prevodnica, a mogla su kanalom ploviti plovila do 120 t nosivosti. Kanal je služio sve do pred drugi svjetski rat, kad je plovidba zamrla jer nije mogao primiti veće brodove koji su se tada gradili.

Ideja o povezivanju Sjevernog i Crnog mora, međutim, bit će ostvarena kad bude dovršen kanal Rajna—Majna—Dunav (sl. 5).



Sl. 5. Trasa plovnog puta Rajna—Majna—Dunav

Mreže unutrašnjih plovni putova. Pojedini plovni put dobiva pravu vrijednost tek onda kad je sastavni dio mreže plovni putova. Što je mreža razgranatija, to su plovni putovi korisniji.

Najvažnije su plovne mreže izvan Evrope: sibirski (SSSR), Mississippi—Ohio (SAD) i Velika jezera (SAD i Kanada) (sl. 6), te kineske rijeke. U Evropi postoji nekoliko plovni mreža (sl. 7): sjeverozapadna mreža (na području SR Njemačke, Belgije i Nizozemske), jugozapadna mreža (Francuska, Belgija), sjeverna mreža (Njemačka DR, Čehoslovačka, Poljska), sovjetska (SSSR) i dunavska mreža (SR Njemačka, Austrija, Mađarska, Jugoslavija, Rumunjska, Bugarska, SSSR).

Okosnicu dunavske plovne mreže čini rijeka Dunav, koji je plovno od Kelheima, uzvodno od Regensburga, do ušća (Sulina) u Crno more. Potpunom izgradnjom plovnog puta Rajna—Majna—Dunav ostvarit će se 3500 km duga evropska transverzala. Taj se plovni put proteže od ušća Rajne kod Rotterdama na Sjevernom moru do ušća Dunava kod Sulina. Kanal Rajna—Majna—Dunav sastoji se a) od regulirane Rajne od Rotterdama do Mainza (500 km), b) od kanalizirane Majne od Mainza do Bamberga (384 km), c) od kanala Majna—Dunav između Bamberga i Kelheima (171 km) i d) od reguliranih i kanaliziranih dunavskih dionica (2411 km). Predviđa se da će plovni put Rajna—Majna—Dunav biti potpuno dovršen do kraja ovog desetljeća.

Između Sjevernog i Sredozemnog mora postoji plovni put koji ide Rajnom, kanalom Rajna—Rhôna i dalje Rhônom do Sredozemnog mora. Ta veza nema, međutim, praktičnog značenja zbog potpuno nesuvremenih plovni karakteristika spomenutog kanala. Predviđena je njegova modernizacija u nešto daljoj budućnosti.

Na tromeđi Austrije, Čehoslovačke i Mađarske moguće je povezati dunavski plovni put s mrežom Odra—Elba—Morava, pa bi se tako uspostavila veza plovni puta Rajna—Majna—Dunav sa sjevernom i sovjetskom mrežom.

Unutrašnji plovni putovi u Jugoslaviji. Unutrašnji plovni putovi nisu u nas dovoljno razvijeni, jer je moguće produljiti plovne putove u prvom redu tokom naše najdulje rijeke Save. U tabl. 1 vidi se duljina plovni vodotoka u Jugoslaviji.

Tablica 1
PLOVNE RIJEKE U JUGOSLAVIJI

Rijeka	Duljina vodotoka za redovitu plovību km	Duljina vodotoka za plovību plovila manje nosivosti km
Dunav	588,0	588,0
Sava	593,0	653,0
Drava	72,0	198,6
Tisa	159,6	159,6
Begej	77,0	77,0
<i>Ukupno</i>	1489,6	1670,2

S obzirom na plovību Dunavom na području Jugoslavije, glavni je problem bio u svladavanju brzaca na području Đerdapa. Do dovršenja gradnje hidroelektrane Đerdap I (zajednička jugoslavensko-rumunjska hidroelektrana) brzaci su svladavani pomoću željezničke vuče s obale. Izgradnjom brane visoke 34,5 m ta je teškoća eliminirana, a visinska se razlika svladava sa dvije dvostepene brodske prevodnice (duljina 310 m, širina 34 m, gaz 5 m). Ta gradnja predstavlja doprinos propusnoj moći budućeg plovni puta Rajna—Majna—Dunav. Zbog promjenljivosti brzine strujanja vode, koja nastaje zbog neravnomjernog protoka vode kroz turbine hidroelektrane, pojavljuje se problem nanosa nizvodno od brane. To se, međutim, eliminira dovršenjem gradnje hidroelektrane Đerdap II, koja se nalazi ~100 km nizvodno od hidroelektrane Đerdap I.

U vezi s gradnjom plovni puta Rajna—Majna—Dunav postoje ideje o ostvarivanju najkraće plovne veze između srednje Evrope i mora, i to preko područja Jugoslavije. Postoje u osnovi tri varijante: a) Dunav—Sava—Bakar, b) Dunav—Sava—Monfalcone i c) Dunav—Morava—Vardar—Solun.

Da bi se ostvario plovni put Dunav—Sava—Bakar dug 550 km, potrebno je: a) sagraditi plovni kanal Dunav (Vukovar)—Sava dug ~50 km, s jednom brodskom prevodnicom, b) kanalizirati Savu do ušća Kupe na duljini ~265 km, s jednom prevodnicom, c) kanalizirati Kupu na duljini od ~195 km, sa 9 prevodnica i s plovni tunelom dugim 6 km, te d) izgraditi plovni tunel dug ~30 km s brodskim dizalom.

Plovni put Dunav—Sava—Monfalcone dug je 625 km. Od toga je dio do ušća Kupe jednak s plovni putom Dunav—Sava—Bakar. Preostalih 310 km sastoji se od ~227 km kanaliziranih tokova Save, Ljubljanice, Vipave i Soče, ~55 km kanala i kosog tunela dugog 28 km sa željezničkom vučom. Za svladavanje predviđene su 32 prevodnice i željeznička vuča.

Plovni put Dunav—Morava—Vardar—Solun dug je ~650 km uz svladavanje visinske razlike od 430 m. Da bi se svladala ta visinska razlika, potrebne su 63 prevodnice.

Tim varijantama plovni putova suprotstavlja se kombinirana plovno-željeznička veza koja bi se ostvarila izgradnjom nizinske dvokolosijske pruge Zagreb—Rijeka, kanaliziranjem Save do Zagreba i izgradnjom kanala Dunav (Vukovar)—Sava.

Rijeka Drava danas je suvremeni plovni put samo do Osijeka (duljina 21 km tokom Drave), plovība je moguća i od Terezina polja (duljina 198 km), ali samo za plovila najniže klase. Kanaliziranjem Drave uz istodobnu gradnju hidroelektrane u tri stepenice dobit će se plovni put IV klase (v. u poglavlju

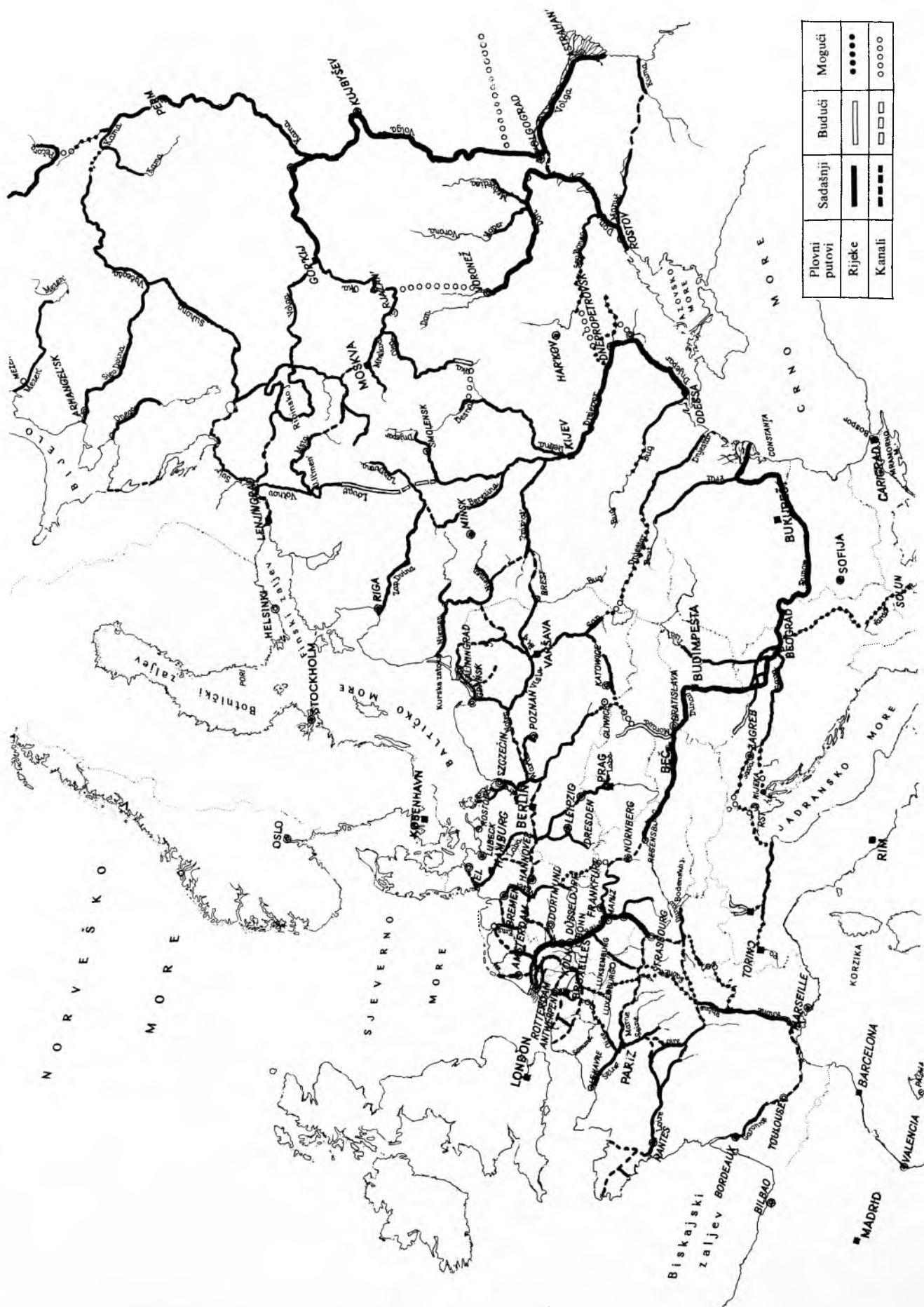


Sl. 6. Mreža plovnih putova u SAD

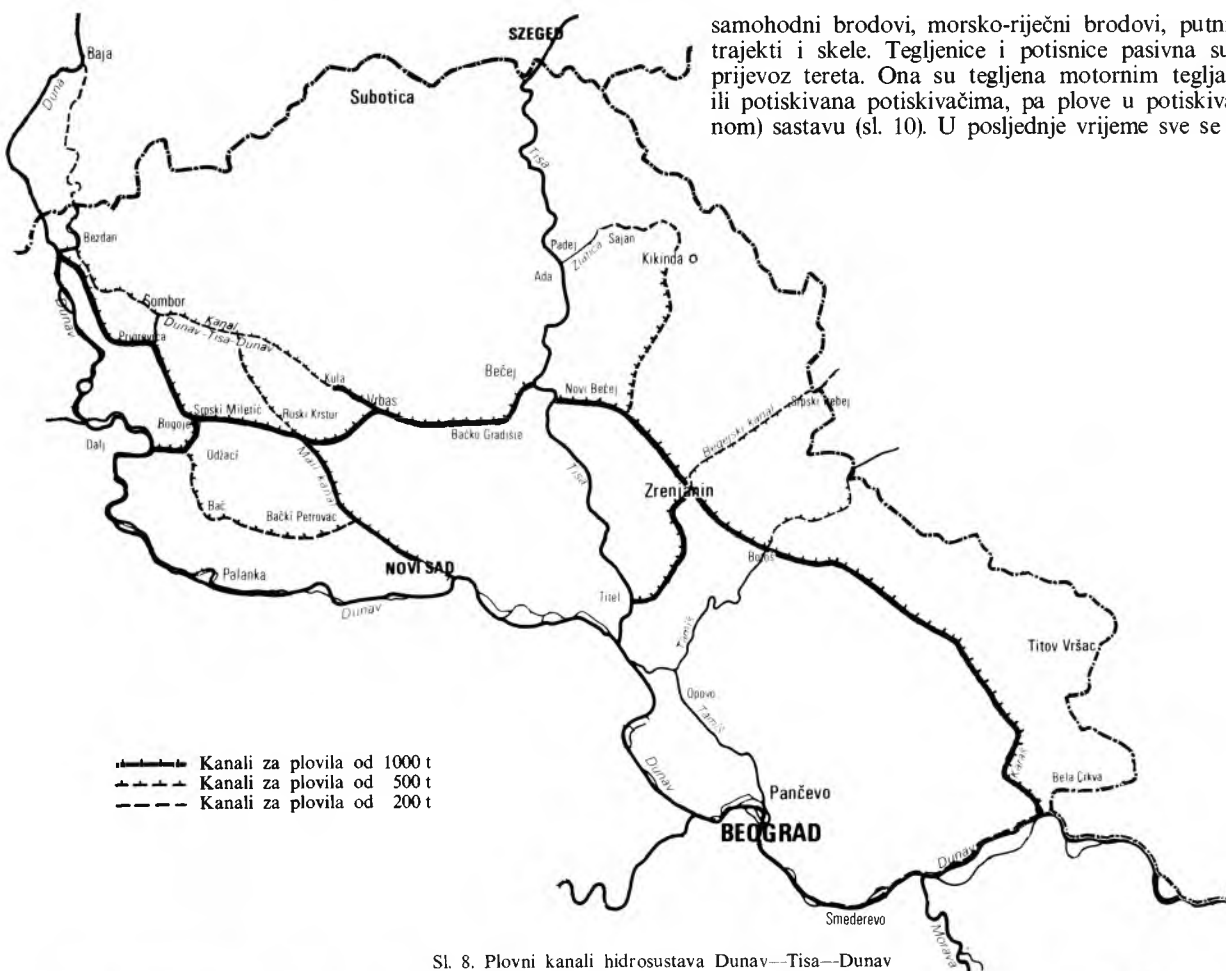
Klasifikacija unutrašnjih plovni putova) dug ~200 km kao priključak na kanal Rajna—Majna—Dunav.

Osim toga, postoji još i vojvodanska mreža plovni putova, tzv. hidrosustav Dunav—Tisa—Dunav, koja se sastoji od 660 km kanala i 15 prevoznica (sl. 8). Ta mreža kanala ima dvostruku namjenu: poljoprivrednu (odvodnjavanje i natanje) i plovnu. Uređaji za plovidbu u cijelosti su izgrađeni, ali zbog pomanjkanja masovnih tereta malo se iskorištavaju.

Plovila i plovni sastavi. Plovila na unutrašnjim plovni putovima bitno se razlikuju od brodova za plovidbu na moru svojom konstrukcijom, oblikom trupa i opremom, jer se i uvjeti plovidbe bitno razlikuju (v. *Brodovi unutrašnje plovidbe*, TE 2, str. 491). Plovila na unutrašnjim plovni putovima rijetko plove pojedinačno, a najčešće u sastavima koji se sastoje od plovila s vlastitim pogonom te od tegljenica i potisnica, koje nemaju vlastitog pogona. Tegljenice i potisnice najčešća su plovila na unutrašnjim plovni putovima. Osim toga postoje



Sl. 7. Evropski plovni putovi



Sl. 8. Plovni kanali hidrosustava Dunav—Tisa—Dunav



Sl. 9. Tegljeni sastav



Sl. 10. Potiskivani sastav

njuje potiskivani sastav kao ekonomičniji i efikasniji (tabl. 2). O sastavu tegljenica i potisnica u plovidbi v. *Brođovi unutrašnje plovidbe*, TE 2, str. 495.

Da bi se omogućilo što bolje iskorištavanje sadašnjih različito dimenzioniranih plovni putova u Evropi, utvrđene su

Tablica 2
UDIO TERETNIH PLOVILA NA DUNAVU (%)

Godina gradnje		do 1949.	1950—1959.	1960—1969.	1970—1979.
Prema nosivosti plovila, %	Tegljenice	67,1	75,7	54,0	23,3
	Potisnice	1,2	3,1	23,1	71,5
	Ostala	31,7	21,2	22,9	5,2
Prema broju plovila, %	Tegljenice	63,6	69,6	41,3	8,3
	Potisnice	1,1	5,6	30,7	87,6
	Ostala	35,3	24,8	28,0	4,1

(CEMT, Comité européen des ministères du transport) kategorije tegljenica (tabl. 3). Ekonomska komisija za Evropu (CEE, Commission économique pour l'Europe) predložila je za međunarodni evropski transport plovilo 4. kategorije nosivosti 1350 t, tzv. europabrod. Također su utvrđene kategorije potisnica (tabl. 4).

Tablica 3
KATEGORIJE TEGLJENICA PREMA CEMT

Kategorija	Nosivost t	Duljina m	Širina m	Gaz m
0	< 300	—	—	—
1	300	55	9	1,2
2	600	55	12	1,3
3	1000	65	14	1,6
4	1350	80	9,5	2,5
5	2000	95	11,4	2,7
6	≥ 3000	≤ 135	16	3,5

Tablica 4
KATEGORIJE POTISNICA

Kategorija	Nosivost t	Duljina m	Širina m	Gaz m
Evropa 1	1350	70	9,5	2,5
Evropa 2	1650	76,5	11,4	2,5
Evropa 3	2600	76,5	11,4	3,5

Klasifikacija unutrašnjih plovni putova. Evropski unutrašnji plovni putovi klasificirani su prema nosivosti teretnih plovila u šest klasa (tabl. 5). Parametre plovni putova na Dunavu propisuje Dunavska komisija. Za regulirane dionice plovni

Uz uredno održavanje vodnog režima u kanalu potrebno je uvijek održavati vodostaj na nekoj stalnoj koti koja se obično označuje sa ± 0 . U izuzetnim prilikama dopušta se sniženje vodostaja za 50 cm a da to ne ugrožava plovidbu.

Osnovna trasa plovnog kanala definirana je prometnim zahvatima. Pri tom treba uzeti u obzir topografske, geološke, hidrološke i eksploatacijske uvjete. U principu treba predvidjeti takvu trasu plovnog kanala koja traži minimum zemljanih radova i minimum građevina za svladavanje visinskih razlika. Kanali najčešće imaju slobodno vodeno lice, ili tek malo usporeno. To znači da se nagibi terena svladavaju prevodnicama (sl. 11). Dijelovi kanala između dviju prevodnica nazivaju se kanalnim dionicama. Pri izboru kanalne trase treba paziti da najviše dionice ne budu previsoko nad morem kako bi se eliminirala opasnost od smrzavanja, da tlo ne bude pretvrdo za iskop, te da se što dulji dio kanala izgradi u usjeku (sl. 12) da bi se smanjila opasnost od poplava za slučaj proboja nasipa.

Plovne rijeke prirodni su unutrašnji plovni putovi. Plovidba je ovisna o režimu rijeke koji obuhvaća vodni režim, režim korita i režim nanosa.

Vodni režim vremenska je promjena kretanja i količina vode u rijeci. Vodni je režim u stalnoj interakciji s režimom nanosa i s režimom korita, koji su također vremenski procesi. Na mjestima vodotoka gdje su spomenuti procesi uravnoteženi korito je stabilno. Nepogodnim regulacijskim zahvatima može se ta ravnoteža poremetiti, pa se zbog toga može promijeniti plovni put i njegove karakteristike.

Vodostaj je jedna od osnovnih karakteristika vodnog režima. (O mjerenju vodostaja v. *Hidrometrija*, TE 6, str. 416.) S obzirom na plovidbu najvažniji su visoki plovni vodostaj (VPV) i niski plovni vodostaj (NPV). Unutar tih graničnih vodostaja plovidba

Tablica 5
KLASIFIKACIJA UNUTRAŠNJIH PLOVNIH PUTOVA

Klasa plovnog puta	Kategorija plovila	Plovne rijeke			Plovni kanali			Prevodnice		
		širina m	dubina m	minimal. polumjer krivine m	širina m	dubina m	minimal. polumjer krivine m	širina m	dubina m	duljina m
I	1	36...50	1...1,4	250...450	26	2,2	500	10	1,6	90...145
II	2	36...50	1...1,7	250...450	26	2,25...2,5	500	10...15	2...2,5	90...155
III	3	40...65	1,3...2,1	300...550	26...36,5	2,5...3,5	600...650	12...18	2,5...3	100...180
IV	4, E2	50...75	2,1...2,5	350...750	34	3,5	800	12...24	3...3,5	115...180
V	5, E3	70...90	2,3...3,2	500...750	36,5	3,8...4,5	900...1000	15...30	3,65...4	145...240
VI	6, E3	85...100	> 3,0	600...1000	43	> 4,5	> 1000	18...35	4...5,5	145...300

putova u Jugoslaviji propisana je plovna širina od 100...180 m i dubina od 2,5 m, a za kanalizirane dionice minimalna plovna širina od 180 m i dubina od 3,5 m te minimalni polumjer krivine 1000 m. Propisani parametri prevodnica iznose: duljina 310 m, širina 34 m, dubina 4,5 m.

Plovni kanali umjetni su unutrašnji plovni putovi. Ponekad se kanali grade za više namjena (plovidba, melioracije, dovod vode hidroelektranama).

Prema ulozi u plovnoj mreži kanali mogu biti: spojni kanali koji spajaju dva susjedna plovna puta ili dvije plovne mreže, priključni kanali kojima se spaja područje ili grad na plovnu mrežu, te obilazni kanali kojima se obilazi neka dionica nepogodna za plovidbu.

Plovni se kanali klasificiraju prema maksimalnoj nosivosti plovila koja mogu nesmetano ploviti (tabl. 3, 4 i 5).

Prema širini plovni kanali mogu biti jednostrani i dvotračni. Jednostrani kanali mogu biti jednosmjerni i dvosmjerni. Kad su jednostrani kanali dvosmjerni, moraju postojati ugibališta i okretišta. Dvotračni kanali uvijek su i dvosmjerni.

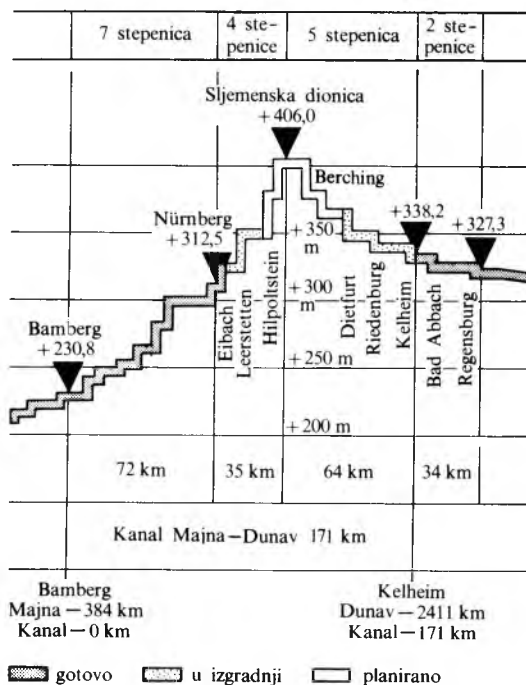
S obzirom na hidrauličke uvjete postoje kanali sa slobodnim vodenim licem, u kojima je brzina vode jednolična po cijeloj duljini, te kanali s uspornim vodenim licem, u kojima brzina nije jednolična. Prema brzini vode u kanalu razlikuju se mirni (brzina vode $\leq 0,1$ m/s), spori ($0,1 < v \leq 0,5$ m/s) i brzi kanali ($0,5 < v \leq 1,5$ m/s).

se može neometano odvijati. Kad su vodostaji veći od visokih plovni, plovidba se obustavlja, jer plovni put nije više vidljiv, jer su prevelike brzine vode i jer je premala slobodna visina ispod mostova. Plovidba se također obustavlja kad vodostaj postane manji od niskog plovnog vodostaja, jer je tada dubina vode nedovoljna za plovidbu na cijeloj potrebnoj širini plovnog puta.

Navigacijski period. Osim vodostaja na mogućnost plovidbe utječu: pojava leda na rijeci, pojava magle i brzina vjeta. S pojavom leda na rijeci plovidba se obustavlja bez obzira na to da li se led kreće (*ledohod*) ili su ledene sante zaustavljene (*ledostaj*). Za vrijeme gušće magle također se obustavlja plovidba. Tako se npr. uzvodna plovidba na Dunavu obustavlja kad je vidljivost manja od 500 m, a nizvodna plovidba kad je vidljivi-

Tablica 6
NAVIGACIJSKI PERIODI NA PLOVNIM RIJEKAMA U JUGOSLAVIJI

Rijeka	Prosječni navigacijski period u danima
Dunav	292
Drava	243
Sava	286
Tisa	304
Begej	314
Tamiš	304



Sl. 11. Kanal Majna—Dunav (stanje 1979). a tlocrt, b uzdužni presjek

moгуće je odrediti navigacijski period (tabl. 6). Za razmatranu riječnu dionicu pri određivanju niskog plovnog vodostaja mjerodavan je profil s najmanjom dubinom plovnog puta, a pri određivanju visokog plovnog vodostaja neki drugi profil iznad kojeg npr. postoji most.



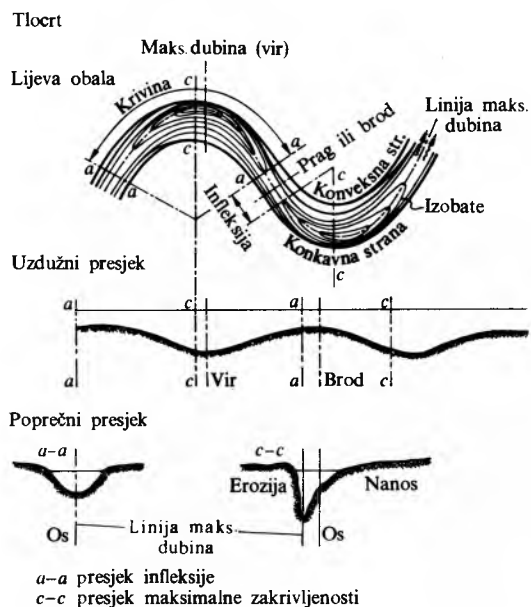
Sl. 12. Albertov kanal Lüttich—Antwerpen. a u gradnji, b završen

Uređenje rijeka za plovidbu. Od navedenih smetnja za plovidbu može se tehničkim zahvatima utjecati na previsoke i preniske vodostaje. To su ujedno, u našim prilikama, smetnje koje najduže traju, pa je opravdano smanjivanje trajanja tih smetnja. Takvi zahvati nazivaju se zajedničkim imenom uređenje rijeka za plovidbu. To se uređenje može ostvariti a) regulacijom korita i b) regulacijom vodnog režima. Regulacijom korita uglavnom se popravlja plovni put, a regulacijom se vodnog režima plovni put kvalitetno mijenja.

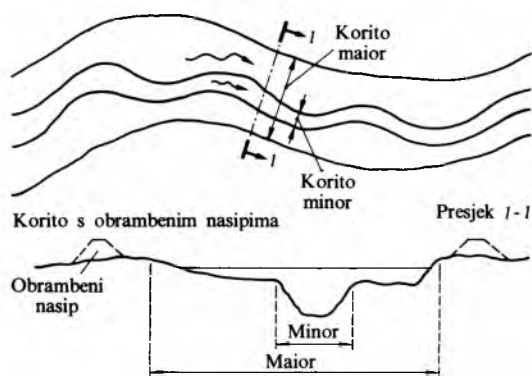
Regulacija korita za plovidbu naziva se i morfološkom regulacijom. Pod tim pojmom razumijevaju se zahvati u koritu (produbljivanje korita, smanjenje krivina i sl.) kojima se, međutim, bitno ne mijenja vodni režim. Obično je najveći nedostatak plovnog puta premala dubina na pojedinim dijelovima vodotoka, pa se regulacijom korita ostvaruje koncentracija toka uz smanjenje širine i povećanje dubine. Zbog toga se morfološka regulacija provodi za prilike koje odgovaraju vrlo malim vodama. Da bi regulirano korito bilo stabilno, s najmanjim promjenama poprečnih presjeka, treba pri regulacijskim zahvatima poštivati opće karakteristike toka. Na sl. 13 vide se morfološki elementi nekog riječnog korita, a na sl. 14 riječno korito s obrambenim nasipima.

vost manja od 800 m. Velike brzine vjetra osobito nepovoljno djeluju na prazna plovila, jer je tada izronjeni dio plovila velik. Iskustvo na Dunavu pokazuje da je za uzvodnu plovidbu kritična brzina vjetra 12 m/s, a za nizvodnu plovidbu 16,5 m/s. Kad su brzine vjetra veće, plovidba se obustavlja.

Poznajući trajanje svih smetnji koje onemogućuju plovidbu, te uzimajući u obzir i njihovo vremensko preklapanje,



Sl. 13. Morfološki elementi riječnog korita za srednju vodu



Sl. 14. Elementi tlocrta i presjeka rijeke s obrambenim nasipima

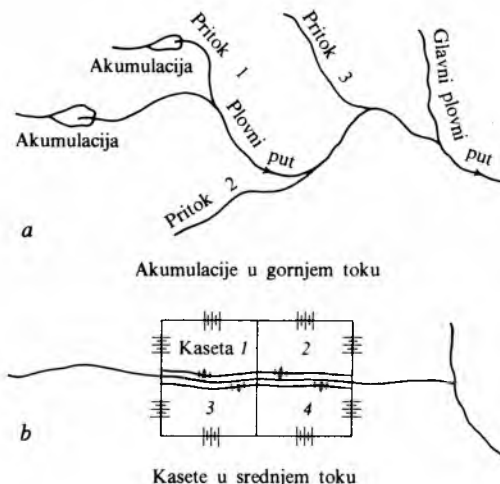
Regulacija vodnog režima višenamjensko je uređenje rijeke. Ono, osim plovidbe, omogućuje obranu od poplava, energetsko iskorištenje, osiguranje vode za natapanje i dr. Moguća su dva načina regulacije vodnog režima: a) kanaliziranje rijeke i b) hidrološka regulacija.

Kanaliziranjem rijeke mijenja se vodni režim usporavanjem protjecanja vode i osigurava se potrebna dubina. To se postiže gradnjom poprečno na tok i nasipa uzduž toka. Tim se uređajima rijeka na neki način umrtvi i podijeli na vodne stepenice. To je naročito pogodno kad je potrebno povećati dubinu rijeke za vrijeme niskih vodostaja. Na ustavama se ugrađuju preljevni uređaji, hidroelektrane, brodske prevodnice i zahvati vode za natapanje poljoprivrednih površina. Kanaliziranje rijeke posebno je pogodno za ostvarenje takvih plovinih putova kojima je moguća stalna i sigurna plovidba većih plovila u toku cijele godine.

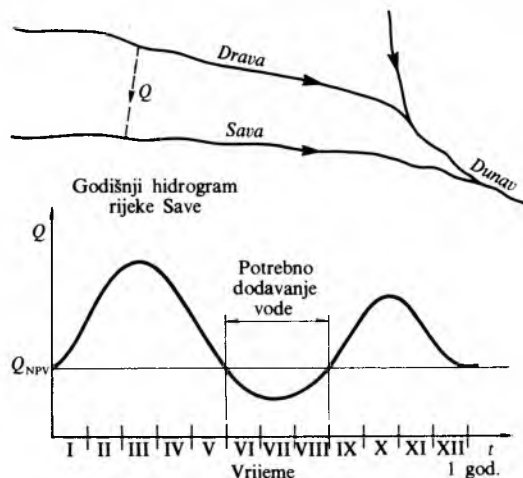
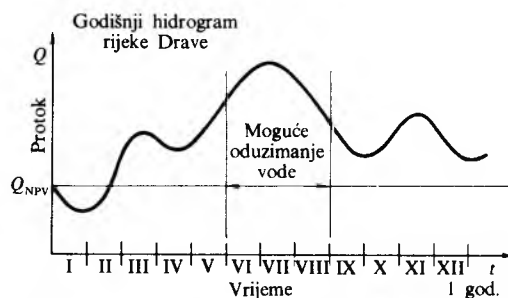
Hidrološka regulacija provodi se smanjivanjem velikih voda, a povećanjem malih. To se postiže gradnjom akumulacijskih bazena u gornjem toku rijeke ili na njenim pritocima (sl. 15a), ili pak kasete u srednjem toku (sl. 15b). I akumulacijski bazeni i kasete pune se za vrijeme velikih voda, pa se tako smanjuju previsoki vodostaji i ujedno sprečavaju poplave, a prazne se za vrijeme malih voda, što omogućuje povišenje niskih vodostaja i povećanje plovinih dubina. Punjenje i pražnjenje akumulacijskih bazena može se po volji regulirati, dok kasete djeluju kao retencije, pa njihovo punjenje i pražnjenje ovisi o vodostaju u rijeci.

Osim toga, mali se protoci mogu povećati prevođenjem voda iz drugoga, susjednog sliva, ali to je opravdano kad je susjedni vodotok dovoljno bogat vodom u svim sezonama ili kad susjedni vodotok ima velike protoke u sezoni kad su protoci u proma-

tranom vodotoku maleni. Za prvi primjer može poslužiti kanal Majna—Dunav, kojim se vode iz Dunava prebacuju u Majnu, jer Dunav u tom dijelu toka ima cijele godine dovoljno vode, pa taj kanal ne služi samo za plovidbu nego i za povećanje malih voda u Majni. Za drugi primjer može poslužiti ideja o prebacivanju voda iz Drave u Savu izgradnjom spojnog kanala (sl. 16). Tim bi se kanalom prebacivala u ljetnim mjesecima voda iz Drave u Savu, jer tada Drava ima velike, a Sava male protoke.



Sl. 15. Primjer obogaćivanja malih voda vodom iz vlastitog sliva



Sl. 16. Primjer obogaćivanja malih voda vodom iz drugog sliva

Svladavanje visinskih razlika na unutrašnjim plovinih putovima. Kad je na plovnom putu potrebno dignuti ili spustiti plovilo za visinu plovne stepenice, to se može ostvariti pomoću brodske prevodnice ili pomoću dizala. Oba načina svladavanja visinske razlike traže posebne građevine i znače zadržavanje u plovidbi.

Iskustvo pokazuje da je granica primjene prevodnica visinska razlika od 20–25 m na zemljanom tlu, odnosno 30–35 m na stjenovitom tlu. Nizom prevodnica može se svladati visinska

razlika od 40...60 m. Za visinske razlike veće od 70 m najčešće je opravdana upotreba brodskog dizala.

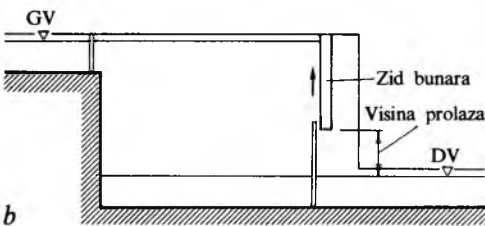
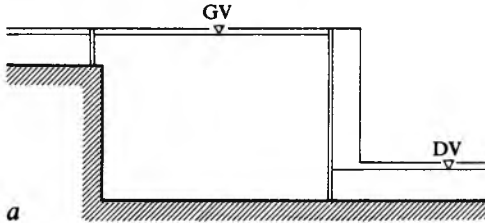
Prevodnice. Podizanje ili spuštanje plovila pomoću prevodnica provodi se punjenjem, odnosno pražnjenjem komore koja je na oba kraja zatvorena vratima. S vanjske strane vrata nalaze se gornja i donja predluka za čekanje plovila.

Oblikovanje prevodnice ovisi o visini plovne stepenice, o načinu punjenja i pražnjenja komore, te o plovidbenim i građevnim zahtjevima.

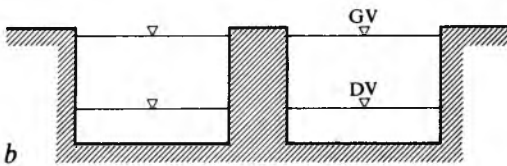
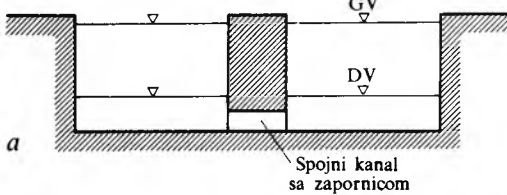
Jednostavni tip prevodnice (sl. 17) gradi se na plovnom putovima s malim prometom. Gornja vrata imaju manju visinu

koja ovisi o dubini plovnog puta. Donja vrata imaju veću visinu, jer pokrivaju cijelu visinu stepenice kad je visina stepenice manja od 12 m (sl. 17a). Za više stepenice gradi se bunarska prevodnica (sl. 17b), kojoj je komora s donje strane pregrađena u dva dijela. Donji dio ima pokretna vrata koja se podižu do visine plovila, dok je gornji dio čvrsti zid.

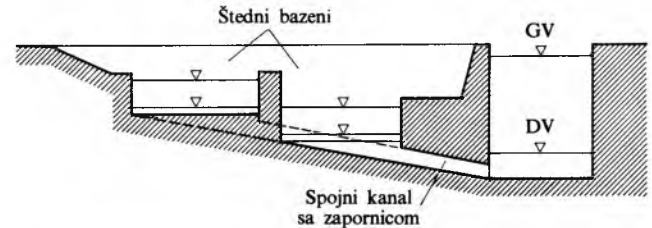
Za plovne putove s većim prometom grade se složeni tipovi prevodnica. Prevodnice s dvije komore mogu imati spojni kanal sa zapornicom među komorama (sl. 18a), a komore mogu biti potpuno odijeljene (sl. 18b). Kad je potrebno smanjiti potrošnju vode, grade se prevodnice sa štednim bazenom ili s više štednih bazena (sl. 19). Veće se visinske razlike svladavaju dvostepenim prevodnicama (sl. 20a i b) ili prevodnicama u nizu (sl. 20c).



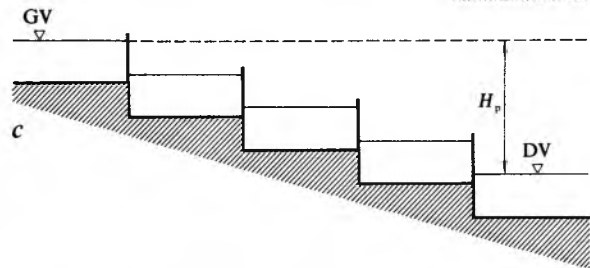
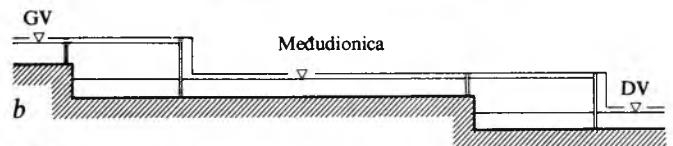
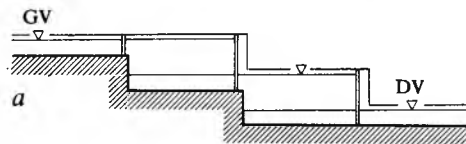
Sl. 17. Jednokatna prevodnica za male i srednje visine. a jednostavna prevodnica dubine do 12 m, b bunarska prevodnica dubine 12...20 m



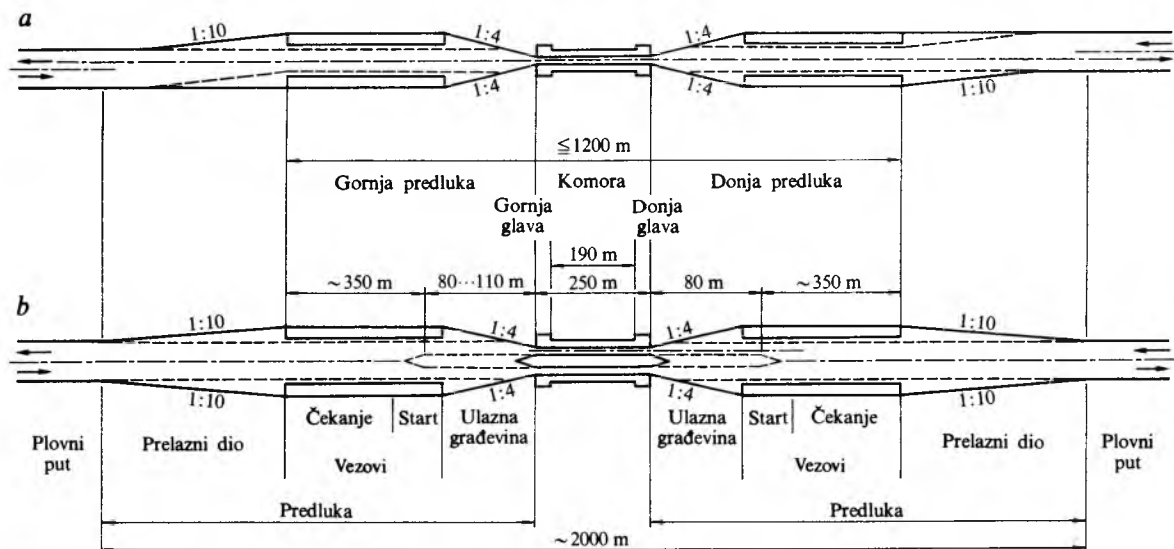
Sl. 18. Blizne prevodnice. a spojene komore, b odijeljene komore



Sl. 19. Prevodnica sa štednim bazenima, poprečni presjek



Sl. 20. Višestepene prevodnice, uzdužni presjek. a dvostepena prevodnica, b dvostepena prevodnica s međudionicom, c prevodnice u nizu



Sl. 21. Parametri prevodnica i predluka na glavnom putu IV međunarodne klase. a jednostruka, b dvostruka prevodnica

Predluke služe za čekanje plovila i za njihovo usmjeravanje pri ulazu u komoru prevodnice. Za usmjeravanje plovila postavlja se pred ulazom u komoru usmjerna građevina s tlocrtnim odklonom 1:4 do 1:5 od osi prevodnice. Na sl. 21 vide se dimenzije prevodnice i predluka za plovni put IV međunarodne klase.

Punjenje i pražnjenje prevodnice. Postoje u osnovi dva sustava punjenja i pražnjenja prevodnica: a) čelno punjenje i pražnjenje i b) komorno punjenje i pražnjenje.

Čelno punjenje i pražnjenje provodi se kroz otvore na vratima, optočno oko vrata ili ispod, odnosno preko vrata. Vodovi za dovod vode su kratki ili ih uopće nema. Ulazni mlaz je koncentriran u uskoj zoni oko vrata. To nepovoljno djeluje na plovilo, pa se takvo punjenje i pražnjenje ne primjenjuje na visoke prevodnice. Uz takvo punjenje, naime, privezna se užad previše napreže zbog nagiba vodene površine u komori, opstrujavanja plovila i pojave stojnih valova u komori.

Komorno punjenje i pražnjenje provodi se kroz zidove ili kroz dno komore. Voda tako dotječe i istječe kroz mnogo otvora pa nema jačeg udara vode kao pri čelnom punjenju. Taj se sustav primjenjuje u prevodnicama s većom visinom dizanja, odnosno u prevodnicama velikog volumena.

Za punjenje i pražnjenje kroz zidove služi kanal uzduž cijele komore s mnogo bočnih otvora. Na početku punjenja osjeća se mali udar vode, jer više vode dotječe kroz otvore koji su bliži početku kanala. Zbog toga nastaje mali vodeni val koji nije ugodan. Pogodnim razmještajem otvora može se intenzivnost te pojave ublažiti.

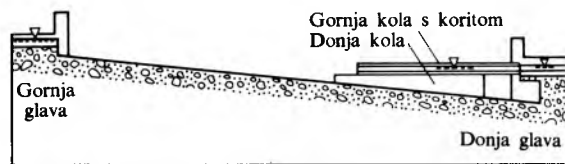
Punjenje i pražnjenje kroz pod komore provodi se pomoću mreže kanala ispod cijelog poda s mnogo vertikalnih otvora. Razina vode vertikalno se diže i ne pojavljuju se uzdužna i poprečna strujanja u komori. Zbog toga su brodovi u prevodnici tako mirni da ih ne treba ni privezivati. Pri tome se može postići velika brzina podizanja vode (3 m/min i više), što skraćuje trajanje prolaza kroz prevodnicu.

Dizala. Za svladavanje većih visinskih razlika na plovnom putu upotrebljavaju se dizala kojima se plovila mehanički dižu i spuštaju. Razlikuju se kosa i vertikalna dizala.

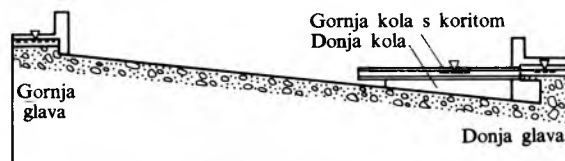
Kosim dizalima mogu se plovila podizati uz kosinu ili spuštati niz kosinu.

Plovilo smješteno u čelično korito napunjeno vodom leži na kolicima koja se pomoću protuutega kotrljaju po kosim tračnicama (sl. 22). Brzina je kretanja mala da bi se spriječio njihanje vode u koritu.

Podizanje i spuštanje plovila može se ostvariti pomoću vodenog klina, koji se formira pomoću štita i u kojem pluta plovilo (sl. 23). Vodeni se klin pokreće mehanički po kosom četvrtastom žlijebu. Na gornjem su kraju vrata kroz koja plovilo uplovlja u plovni put. Nedostatak je takvog dizala velik utrošak energije, jer nema protuutega, i procjeđivanje vode između štita i stijenka žlijeba.

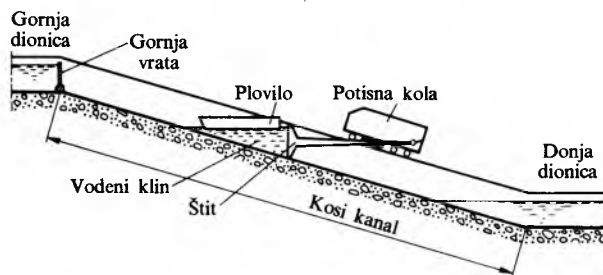


Donja voda visoka +8 m; donja kola uzdignuta

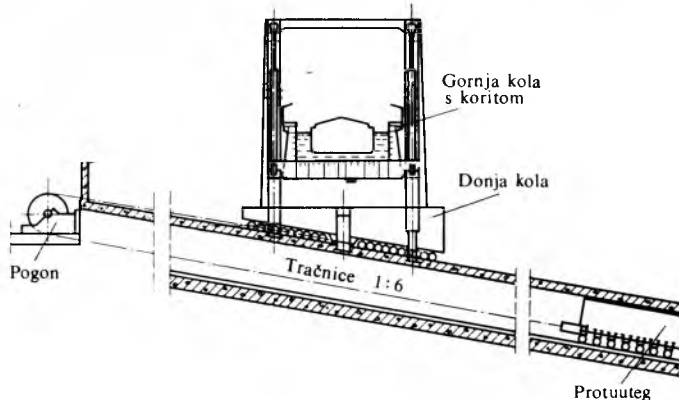


Donja voda normalna +4 m; donja kola uvučena

Sl. 22. Uzdužno koso dizalo s pomičnim gornjim kolima za prilagođavanje promjeni vodostaja. a vodostaj donje vode +8,00 m, b vodostaj donje vode +4,00 m

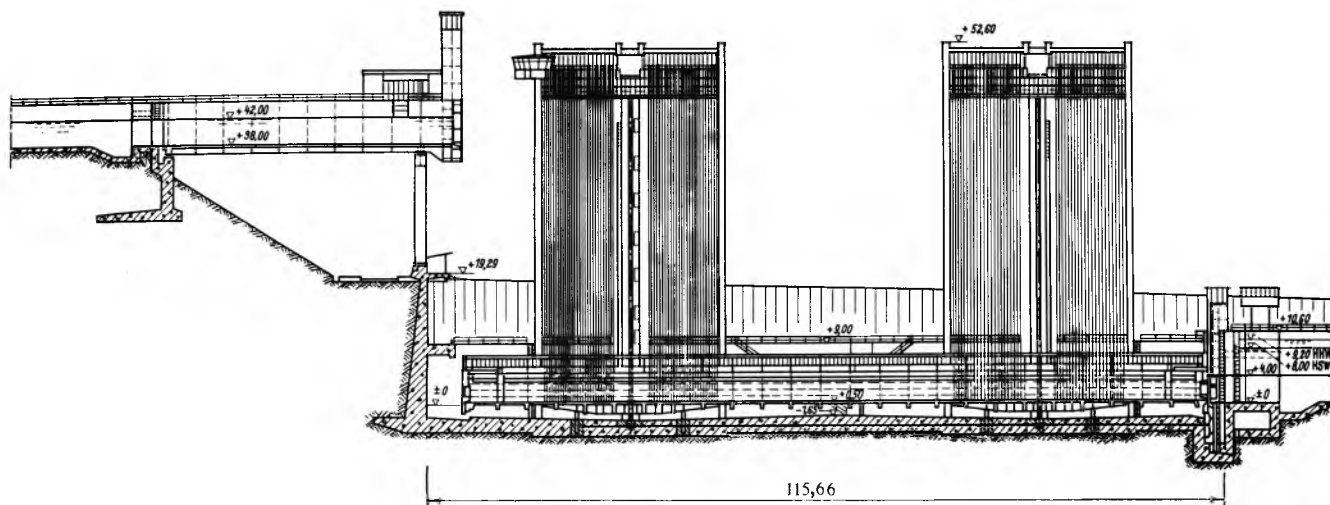


Sl. 23. Uzdužno koso dizalo s vodenim klinom



Sl. 24. Poprečno koso dizalo s mokrim koritom

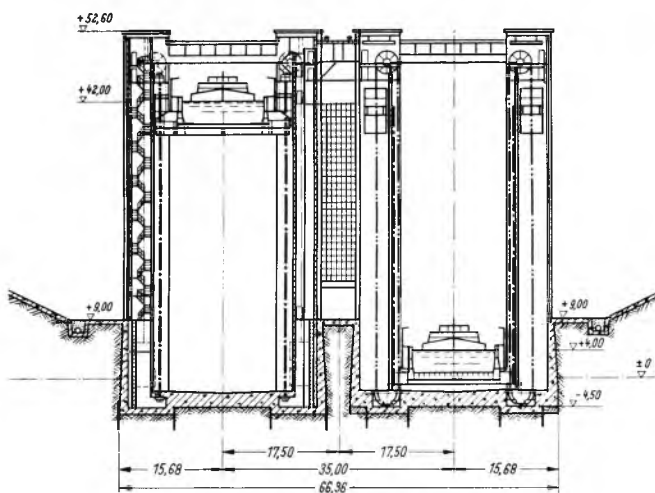
U oba spomenuta kosa dizala plovilo je smješteno uzduž smjera gibanja. Postoje, međutim, i kosa dizala u koja se plovila smještaju poprečno na smjer gibanja (sl. 24). Takva dizala imaju



Sl. 25. Vertikalno mokro dizalo, uzdužni presjek

relativno veliku brzinu gibanja, jer njihanje vode u koritu nema negativnog djelovanja, te mogu svladati veće strmine.

Vertikalna dizala grade se kao suha i mokra. Suho dizalo diže i spušta plovilo mehanički iz jednog u drugi plovni put. Mokro dizalo (sl. 25, 26) prenosi plovilo u koritu punom vode. Da bi se olakšao prijenos, postavlja se protuuteg. Često se upotrebljava hidraulički pogon.



Sl. 26. Vertikalno mokro dizalo, poprečni presjek

MORSKI PLOVNI PUTOVI

Sva su morska prostranstva morski plovni putovi, ali je na pojedinim dijelovima tih putova zbog gustoće prometa, klimatskih i maritimnih prilika, te sigurnosti plovidbe uobičajena ili propisana plovidba užim pojasom (koridorom). Plovne rute, kao osi plovnog puta, ucrtane su na pomorskim kartama. Morski plovni putovi mogu biti prirodni i umjetni (kanali).

Morski prolazi sastavni su dijelovi većine prirodnih morskih plovih putova. To su prirodni uski morski plovni putovi koji povezuju mora ili oceane. Morski prolazi nisu samo vrlo važne arterije pomorske plovidbe, već imaju i veliko političko i strateško značenje. Da bi se izbjegli sporovi, plovidba je važnijim morskim prolazima regulirana međunarodnim konvencijama.

Postoji dvadesetak važnijih morski prolaza. U Evropi su najvažniji morski prolazi: Doverska vrata (između Velike Britanije i evropskog kopna, minimalna širina 33 km), Gibraltar-ska vrata (između Pirenejskog poluotoka i Afrike, širina 12,8...37 km, dubina do 300 m), te Bospor i Dardaneli (između Mramornog i Crnog mora, duljina 31,8 km, širina od 0,66...4,6 km, dubina 61...94 m).

Umjetni morski plovni putovi (kanali). Sve intenzivniji robni promet među kontinentima i sve veći razvoj parobrodarstva tražili su kraće putove od prirodnih morskih putova pa su zbog toga prokopani kanali kao umjetni morski plovni putovi. To su Sueski, Panamski, Kielski i Korintski kanal, te plovni sustav na rijeci St. Lawrence.

Sueski kanal spaja Sredozemno more i Indijski ocean. Gradnja Sueskog kanala dovršena je 1869. godine. Njegovom izgradnjom skraćena je plovidba iz sjeverne Evrope do Indije za ~8000 km. Zbog sve većeg gaza i nosivosti brodova koji plove kanalom, te zbog stalnog zatrpavanja nanosom kanal se neprekidno jaruža, proširuje i produbljuje. Tako sada duljina plovnog puta iznosi 193,5 km, širina plovnog puta 180 m, širina dna 160...170 m, a dubina 18 m. Sueskim kanalom mogu ploviti brodovi s gazom do 16 m, potpuno natovareni do nosivosti od 270000 t, a prazni do nosivosti od 500000 t. Sueski kanal uz sva proširenja još je uvijek jednostručni plovni put. Zbog toga na njemu ima više proširenja, pa se zbog toga može održavati plovidba u oba smjera. Obično dnevno plove dva konvoja prema jugu i jedan prema sjeveru. Konvoji koji plove prema sjeveru imaju prednost jer se u njima nalaze pretežno puni tankeri. Plovidba prema sjeveru traje 12...15 sati, a prema jugu, zbog čekanja, 24...26 sati. Dnevni kapacitet kanala iznosi oko 80 brodova.

Panamski kanal spaja Atlantski i Tih ocean. Gradnja je započela 1879. godine, ali je završena, uz mnogobrojne prekide, tek 1914. godine. Panamski je kanal dug 81,6 km. U početku je na najužem dijelu širina kanala iznosila 91,5 m, ali je na tom dijelu 1969. godine proširen na 152,4 m. Dubina vode iznosi između 12,8 i 14,7 m. U kanalu postoji šest prevodnica (po tri na svakom kraju) duljine 304,8 m i širine 33,5 m. Maksimalna nosivost brodova koji mogu ploviti Panamskim kanalom iznosi 65000 t, a ne smiju biti duži od 297,2 m ni širi od 32,3 m, niti imati veći gaz od 12,2 m. Plovidba traje oko 8 sati, a dnevni je kapacitet kanala 36 brodova srednje veličine.



Sl. 27. Plovni sustav St. Lawrence (SAD, Kanada)

Kielski kanal povezuje Kielski zaljev u Baltičkom moru s ušćem Labe u Sjevernom moru. Radovi su na kanalu započeli 1887, a završeni 1895. godine. Kanal je dug 98,65 km, a bio je širok 67 m na površini i dubok 9 m. Kielski kanal počinje prevodnicom u Kielskoj luci a završava ustavom. Poslije je, između 1907. i 1914. godine, proširen na 102 m na površini (na dnu 44 m), a dubina je povećana na 11,35 m. Zbog postepenog zatrpavanja kanal se mora stalno jaružati. Najveći dopušteni gaz brodova iznosi 9,5 m, što omogućuje prolaz brodova do nosivosti 18000 t. Brodovi do nosivosti od 6000 t mogu ploviti kanalom bez ograničenja, dok se brodovi veće nosivosti moraju prilikom susreta sklanjati u proširenja (postoji 11 proširenja).

Korintski kanal spaja Jonsko i Egejsko more. Završen je 1893. godine. Brodovi s gazom do 7,3 m mogu ploviti kanalom ako im paluba nije šira od 14 m, dok brodovi široki 16,5 m mogu ploviti ako im gaz nije veći od 6,2 m. Izgradnjom Korinskog kanala skraćena je plovidba između Pireja i jadranskih luka za ~250 km.

Plovidbeni sustav St. Lawrence povezuje Atlantski ocean s Velikim jezerima u Sjevernoj Americi (sl. 27). Ostvaren je regulacijom i kanalizacijom rijeke St. Lawrence u duljini od 193 km, te izgradnjom niza kanala. Taj plovni sustav omogućuje plovidbu morskih brodova nosivosti 5000–10000 t, ovisno o tipu broda. Plovni put St. Lawrence spojen je čikaškim kanalom na riječni sustav Mississippi—Missouri—Ohio.

LIT.: Enciklopedija plovidbe. Saobraćajno izdavačko preduzeće Ministarstva saobraćaja, Beograd 1948. – H. Press, Binnenwasserstrassen und Binnenhäfen. Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin 1956. – A. B. Михайлов, Судоводные шлюзы. Транспорт, Москва 1966. – H. A. Семанов, Н. Н. Варламов, В. В. Баланин, Судоводные каналы, шлюзы и судоподъемники. Транспорт, Москва 1970. – A. Agatz, Empfehlungen des Arbeitsausschusses »Uferereinfassungen«. Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin-München-Düsseldorf 1976. – D. Muškaitović, Unutrašnji plovni putovi i pristaništa. Građevinski fakultet, Beograd 1979.

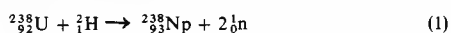
M. Pršić Z. Tadejević Ž. Vuković

PLUTONIJ, plutonijum (Plutonium, Pu), hemijski element s atomskim brojem 94 i s relativnom atomskom masom najstabilnijeg izotopa 244. U tablicama se često kao relativna atomska masa plutonijuma navodi 242, što je masa njegova drugog po redu izotopa s obzirom na stabilnost. Plutonijum se nalazi u sedmoj periodi i u IIIA skupini periodnog sistema elemenata i pripada aktinidima, velikoj grupi unutrašnjih prelaznih elemenata, koja započinje elementom aktinijumom, a završava lorencijumom (v. *Aktinijum i aktinidi*, TE 1, str. 46). Plutonijum ujedno pripada i grupi transurana, nestabilnih, radioaktivnih elemenata s atomskim brojem većim od uranijuma, koji se, uz iznimke, ne nalaze u prirodi, već ih je čovjek sam stvorio. Elektronska konfiguracija plutonijumova atoma jeste $[Rn] 5f^6 7s^2$.

Plutonijum je radioaktivan element, tj. ne sadrži stabilnih izotopa. Danas je poznato 15 radioaktivnih izotopa plutonijuma (tabl. 1), i to redom od izotopa s atomskim brojem 232 do 246 (^{232}Pu ... ^{246}Pu).

Laki izotopi plutonijuma nisu mnogo važni. Izotop ^{238}Pu važan je kao izvor energije u različitim manjim uređajima, a najvažniji je svakako izotop ^{239}Pu , koji podleže fisiji delovanjem neutrona, pri čemu se oslobađa ogromna energija. Zbog toga je plutonijum, nakon što je uspješno rešena njegova proizvodnja u velikim količinama, postao vrlo važan i tražen, a ujedno i skup metal. Plutonijum je danas ključni materijal u industrijskoj primeni nuklearne energije (v. *Nuklearna energija*, TE 9, str. 431), služi kao gorivo u nuklearnim reaktorima (v. *Nuklearna energijska postrojenja*, TE 9, str. 386; v. *Nuklearni reaktor*, TE 9, str. 464) i kao bitan eksplozivni sastojak nuklearnog oružja (v. *Nuklearno oružje*, TE 9, str. 530).

Plutonijum je potkraj 1940. godine otkrila grupa američkih naučnika (G. T. Seaborg, E. M. McMillan, J. W. Kennedy i A. C. Wahl) kada je uranijum u ciklotronu bombardovan deuteronom



Hemijskim postupkom odvojen je uranijum i neptunijum, dok je jedan deo materijala ciklotronske mete zaostao i pokazivao je drugačije osobine. Te su osobine bile pripisane elementu s rednim brojem 94. Njegovi pronalazači dali su mu ime plutonijum po planeti Pluton, jer se u periodnom sistemu plutonijum nalazi iza elementa neptunijuma, kao što se planeta Pluton, s obzirom na udaljenost od Sunca, nalazi iza Neptuna. Opisanim metodom dobijen je izotop plutonijuma ^{238}Pu , a godinu dana kasnije pronađen je i najvažniji izotop, ^{239}Pu . Nakon što je otkriveno da izotop ^{239}Pu podleže fisiji sa sporim neutronima bolje od izotopa uranijuma ^{235}U , počeo se intenzivno proučavati plutonijum i njegova jedinjenja.

Mnogo pre nego što su veštački dobijeni, pokušavali su se transuranski elementi otkriti u prirodi. Ti su pokušaji dugo ostali bez rezultata, no iznimka je u tome upravo plutonijum. Danas je poznato da se plutonijum nalazi u prirodi, iako je njegova količina u Zemljinoj kori ekstremno malena. Plutonijumov izotop ^{239}Pu pronađen je u uranijumovim mineralima, u kojima njegov udeo, s obzirom na uranijum, iznosi $0,7 \cdot 10^{-11}$... $2,0 \cdot 10^{-11}$. Pretpostavlja se da ^{239}Pu u prirodi nastaje od ^{238}U pod dejstvom neutrona koji se stvaraju pri spontanjoj fisiji ^{238}U i ^{235}U . Osim izotopa ^{239}Pu , dokazano je 1971. godine postojanje prirodnog izotopa ^{244}Pu , za koji se veruje da datira još od vremena stvaranja našeg Sunčeva sistema

Tablica 1
IZOTOP PLUTONIJUMA I NJIHOVE KARAKTERISTIKE

Izotop	Relativna atomska masa	Tip radioaktivnog raspada ¹	Energija i udeo radioaktivnog raspada	Vreme poluraspada
^{232}Pu	232,0411	e.z.	($\leq 98\%$)	36 min
		α	6,58 MeV ($\geq 2\%$)	
^{233}Pu	233,0427	e.z.	($> 99\%$)	20 min
		α	6,30 MeV (0,12%)	
^{234}Pu	234,0433	e.z.	(94%)	9 h
		α	6,19 MeV (6%)	
^{235}Pu	235,0453	e.z.	(99%)	26 min
		α	5,85 MeV ($3 \cdot 10^{-3}\%$)	
^{236}Pu	236,0461	α	5,76 MeV 5,72 MeV 5,61 MeV 5,45 MeV	2,85 a
^{237}Pu	237,0483	e.z.	(99%)	45,6 d
		α	5,65 MeV 5,36 MeV ($3,3 \cdot 10^{-3}\%$)	
^{238}Pu	238,0495	α	5,50 MeV (72%) 5,45 MeV (28%)	86,4 a
^{239}Pu	239,0522	α	5,15 MeV (72%) 5,14 MeV (17%) 5,10 MeV (11%)	$2,439 \cdot 10^4$ a
^{240}Pu	240,0540	α	5,12 MeV (24%) 5,04 MeV (76%)	$6,62 \cdot 10^3$ a
^{241}Pu	241,0567	β^-	0,02 MeV (99%)	13,3 a
		α	4,90 MeV	
^{242}Pu	242,0587	α	4,90 MeV 4,85 MeV	$3,75 \cdot 10^5$ a
^{243}Pu	243,062	β^-	0,57 MeV (53%) 0,47 MeV (35%) 0,37 MeV (12%)	4,98 h
^{244}Pu	244,0642	α	4,59 MeV 4,55 MeV	$7,6 \cdot 10^7$ a
^{245}Pu		β^-	1,2 MeV 0,9 MeV	11 h
^{246}Pu		β^-	0,33 MeV 0,15 MeV	10,85 d

¹ e.z. = elektronski zahvat u jezgro