# Krivulja protoka

**Gudelj, Andrija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*
**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:695151

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-28**



*Repository / Repozitorij:*

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split









**SVEUČILIŠTE U SPLITU**
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# ZAVRŠNI RAD

**ANDRIJA GUDELJ**

**Split, 2015**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# ANDRIJA GUDELJ

**Završni rad**

**Split,2015**

***Sažetak:***

*Definicija hidrologije, hidrometrija, hidrogram, mjerenje protoka, krivulja protoka, Metoda Stauta, Stevensova metoda, krivulja trajanja protoka, na temelju zadanih vodomjerenja definirati krivulju protoka.*

***Ključne riječi:***

Hidrometrija, hidrogram, krivulja protoka, stevensova metoda

# FLOW CURVE

**Abstract:**

*Definition of hydrology, hydrometry, hydrograph, flow measurement, flow curves, method Stout, Stevens methods, flow duration curve based on the set of measurement define curve flow.*

**Keywords:**

Hydrometry, hydrograph, flow curve, stevens method

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **STRUČNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: **ANDRIJA GUDELJ**

BROJ INDEKSA: **1518**

KATEDRA: **Katedra za hidrologiju**

PREDMET: **Hidrologija**

# ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Krivulja protoka

Opis zadatka: Teoretski objasniti krivulju protoka,
Na temelju zadanih vodomjerenja potrebno je definirati krivulju protoka

U Splitu, 3. rujna 2015.

Voditelj Završnog rada: Dr. sc. Vesna Denić

# Sadržaj


1. UVOD.....1
2. DEFINICIJA HIDROLOGIJE.....1
3. HIDROLOŠKI CIKLUS.....3
4. HIDROMETRIJA.....4
   - 4.1. Hidrometrijski profil.....5
   - 4.2. Razina vode.....6
   - 4.3. Mjerenje vodostaja.....6
   - 4.4. Hidrogram.....8
   - 4.5. Komponente otjecanja.....12
   - 4.6. Mjerenje protoka.....15
   - 4.7. Mjerenje protoka ADCP-om.....17
   - 4.8. Krivulja protoka.....19
   - 4.9. Hidrauličke osnove na kojima se zasniva veza između protoka i vodostaja u vodotocima.....24
   - 4.10. Nejednoznačne veze između protoka i vodostaja.....25
5. METODA STAUTA.....28
6. STEVENSOVA METODA.....30
7. KRIVULJA TRAJANJA PROTOKA.....31
8. ZAKLJUČAK.....33
9. PRIMJER (KRIVULJA PROTOKA).....34
10. LITERATURA.....37

# Popis slika

**Slika 1.** Hidrološki ciklus……3

**Slika 2.** Hidrološki ciklus……4

**Slika 3.** Nilometar u Egiptu……..6

**Slika 4.** Vodomjerna letva……7

**Slika 5.** Uređaj s plovkom……7

**Slika 6.** Primjer hidrograma……9

**Slika 7.** Nivogram i hidrogram……9

**Slika 8.** Primjer godišnjeg hidrograma……10

**Slika 9.** Razdvajanje komponenti hidrograma otjecanja……11

**Slika 10.** Koncentracija, recesija……..11

**Slika 11.** H-gubici=He……..13

**Slika 12.** Krivulja recesije-polulogaritamsko mjerilo……14

**Slika 13.** Hidrogram izvora……..15

**Slika 14.** Hidrometrijsko krilo……17

**Slika 15.** Mjerenje protoka ADCP-om……18

**Slika 16.** Krivulja protoka……19

**Slika 17.** Rasipavanje vodomjerenja oko protočne krivulje……20

**Slika 18.** Hidrometrijsko krilo……21

**Slika 19.** Nivogram,krivulja protoka,hidrogram……22

**Slika 20.** Krivulja protoka rijeke Neretve……23

**Slika 21.** Ovisnost protoka o vodostaju i o koti nivoa vode na ušću……25

**Slika 22.** Metoda Stauta……28

**Slika 23.** Teorijske krivulje trajanja protoka za sušnu, približno vlažnu i kišnu godinu……31

# 1. UVOD

Voda je kemijski spoj dva atoma vodika i jednog atoma kisika i jedan je od osnovnih uvjeta života. Voda je najrasprostranjenija kapljevina (tekućina) na Zemlji i najvažnije (polarno) otapalo koje otapa kapljevine, plinove i mnogobrojne krutine. Gotovo sva živa bića najvećim dijelom sastoje se od vode ( neka čak i do 90%). Oko 70% Zemljine površine je prekriveno vodom. Voda je najveći čovjekov prijatelj, ali ponekad i najljući neprijatelj. Ona je neophodna za piće, poljoprivredu, industriju i mnoge druge potrebe. Međutim, voda može donjeti i smrt i uništavanje. Poplave su jedan od najgorih oblika prirodnih katastrofa, koje ubijaju više ljudi i naprave veće materijalne štete nego ostale prirodne katastrofe. Zagađena voda je također jedna od katastrofa koja donosi bolest i smrt onima koji je piju. Prve velike drevne civilizacije razvile su se uz rijeke Eufrat i Tigris u Mezopotamiji, Nil u Egiptu, Ind u Indiji, Huang-ho u Kini. Već te prve drevne civilizacije usavršile su postupke navodnjavanja, gradile kanale , akvadukte za transport vode. Veći hidrotehnički zahvati tih velikih civilizacija zahtjevali su dobro poznavanje hidroloških procesa i zakona.

# 2. DEFINICIJA HIDROLOGIJE

Riječ hidrologija dolazi od starogrčke riječi hidro (voda) i logos (nauka). Dakle doslovno prevedeno Hidrologija znači znanost ili nauka o vodi. Hidrologija je znanost koja se bavi izučavanjem i opisivanjem pojave, cirkulacije i distribucije vode u vremenu i prostoru, njenim fizičkim i kemjskim osobinama, te djelovanjem vode na okolinu uključujući djelovanje vode na živa bića. Najšira podjela hidrologije je na dvije grupe : Naučna hidrologija i Inženjerska ili Primjenjena hidrologija. Inženjerska hidrologija se bavi proučavanjem onih kvantitaivnih i kvalitativnih karakteristika vodnog režima od kojih zavisi funkcionalnost i sigurnost inženjerskih objekata. Inženjerska hidrologija se kao znanost oslanja na veći broj drugih znanosti kao što su oceanografija, geologija, meteorologija, hidrogeologija i dr. Zbog toga što je teško povući strogu granicu između hidrologije i tih znanosti. Rezultati hidroloških istraživanja i analiza služe kao podloga za čitav niz inženjerskih aktivnosti koje su vezane za

poljoprivredu, šumarstvo, i sl. Do stalnog unaprjeđivanja inženjerske hidrologije dolazi prvenstveno zbog stalne potrebe za što kvalitetnijim informacijama o vodnim resursima u svrhu planiranja, projektiranja i održavanja i korištenja vodoprivrednih objekata.

Hidrologija se teško može zamisliti bez mjerenja i osmatranja. Prikupljanje i obrada podataka su baza svih hidroloških aktivnosti u praksi i osnovna informacija za izvođenje hidroloških pravila i zakona. Hidrologija je zaista jedna široka nauka zbog čega masovno koristi saznanja iz mnogih drugih znanstvenih disciplina. Oštro ograničenje hidrologije od ostalih srodnih znanosti je teško, jer između pojava i zakonitosti u hidrologiji i zakonitosti ostalih bliskih znanosti postoji uzajamna veza.

U hidrologiji postoje tri najvažnija problema a to su:

a) mjerenje, prikupljanje osnovnih hidroloških podataka

b) analiza prikupljenih hidroloških podataka

c) primjena tih podataka za rješavanje praktičnih problema

Stoga u suštini hidrologija nije u potpunosti prirodna znanost jer je svrha analize njena praktična primjena. Dobro poznavanje hidrologije je neophodno za inženjere koji se bave navodnjavanjem, vodoopskrbom i kanalizacijom, izgradnjom autoputova, obranom od poplava, iskorištavanjem vodnih snaga za proizvodnju električne energije i nizom drugih inženjerskih djelatnosti.

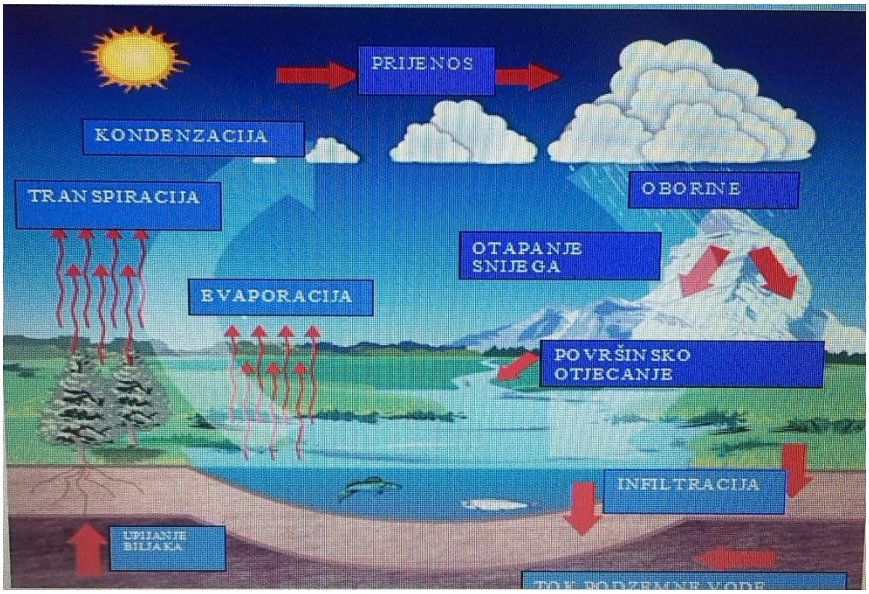
Hidrologija treba osigurati: podatke za procjenu utjecaja režima vodotoka, jezera i podzemnih voda na objekte, podatke za utjecaj objekata na režim vodotoka , jezera i podzemnih voda, rješenje za ekonomično dimenzioniranje objekta, podatke za procjenu sigurnosti objekata od velikih voda.

# 3. HIDROLOŠKI CIKLUS




**Slika 1.** Hidrološki ciklus

Hidrološki ciklus je stalni proces kruženja , obnavljanja i prividnog gubljenja vode na Zemlji. Zemlja se smatra zatvorenim hidrološkim sustavom. Bilo gdje da se pojavi i u bilo kom obliku sva voda na Zemlji je zarobljena unutar hidrološkog ciklusa. Najjednostavnije tumačenje hidrološkog ciklusa je da djelovanjem sunčeve toplinske energije voda stalno isparava sa površine oceana, mora i drugih kopnenih i vodenih površina. Te se pare dižu u Zemljinu atmosferu gdje se kondenziraju i padaju na zemlju tvoreći novi ciklus kretanja voda. Pri takvoj cirkulaciji ukupna količina vode na Zemlji ostaje nepromijenjena.




**Slika 2.** Hidrološki ciklus

## 4. HIDROMETRIJA

Ukratko hidrometrija je znanost o mjerenju vode i analizi podataka mjerenih u svim njezinim oblicima pojavljivanja na Zemlji, uključujući sve mjerne metode, mjerene tehnike i instrumente koji se koriste u hidrologiji.

Hidrometriju definiramo kao aktivnost koja se bavi mjerenjem parametara koji definiraju režim rijeka jezera i akumulacija. U širem smislu hidrometrije također uključuje i mjerenje nanosa, i definiranje kvaliteta vode. Hidrometrija uključuje izučavanje instrumenata mjerenja i tehnika mjerenja. U ograničenijem smislu hidrometriju definiramo kao mjerenje površina, dubina , brzina i protoka u vodnim tokovima. Stalni procesi u prirodi kao što su vremenske serije meteoroloških i hidroloških veličina, su slučajni procesi. Ovi ishodi se gotovo nikada ne ponavljaju niti se mogu čovjekovom voljom ponoviti. Jedini način da se ovakavi procesi izuče se sastoji u dugorajnom mjerenju relevantne meteorološke i hidrološke veličine. Da bi mogli sagledati osnovne karakteristike režima voda , odnosno pojava vode i njena distribucija u

prostoru i vremenu, potrebno je prvo izmjeriti određene veličine koje definiraju taj režim. To nam omogućava hidrometrija, naučna disciplina koja se bavi izučavanjem postupaka, metoda i tehnika vezanih za mjerenje. Hidrologija a posebno hidrotehnika gotovo sve svoje postupke, metode i zaključke bazira na podacima izmjerenim na terenu ili u labaratoriju, dakle na podlogama čijim se skupljanjem i analizom bavi hidrometrija. Značaj hidrometrije postaje sve širi zbog nemogućnosti projektiranja hidrotehničkih objekata i sistema bez poznavanja stvarnog stanja na terenu , bez izvršenih odgovarajućih istražnih radova. Zbog toga se hidrometrija počela sve više samostalno razvijati , usavršavati i davati vrijedne teoretske i praktične rezultate. Mjerenja se uglavnom vrše u prirodi ili u labaratoriju. Mjerenja na prirodnim tokovima su nerazdvojno vezana sa hidrološkim saznanjima, zato se hidrometrija smatra dijelom hidrologije.

Glavni zadaci hidrometrije su :

-obrada podataka izvršenih mjerenja na bazi raznih metoda i pribora

-organizacija i uspostavljanje sistema stanica za dobivanje optimalnih informacija u vremenu i prostoru

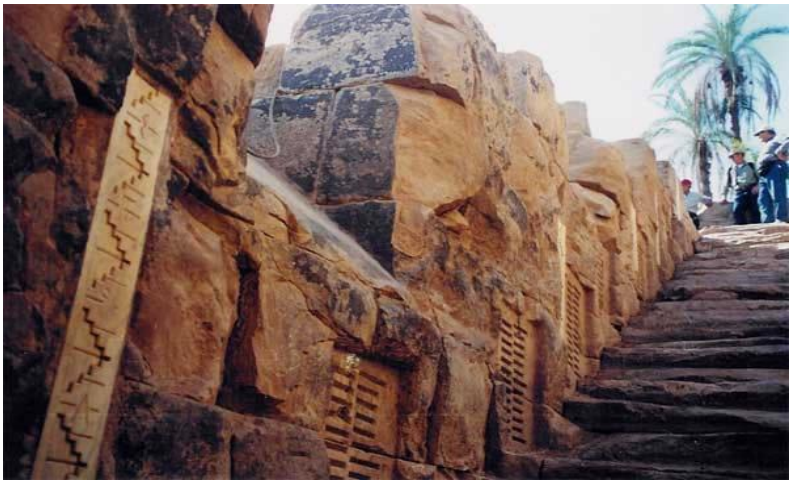
-razrada postupaka, metoda i alata i pribora za kvantitativno određivanje i proučavanje različitih elemenata režima vode.

## 4.1. HIDROMETRIJSKI PROFIL

Hidrometrijski ili vodomjerni profil je poprečni profil (okomito na smjer toka vode) u kojem se dobivaju podaci o vodi u rijekama, jezerima, ili akumulacijskim jezerima i močvarama na temelju jednoga ili više mjerenih elemenata: vodostaja, otjecanja vode, pronošenja nanosa, temperature i drugih fizikalnih i kemijskih svojstava vode i karakteristika ledenog pokrivača. Kod mjerenja podzemnih voda i površinskih stajaćica (jezera i močvara) hidrometrijskim se profilom naziva pravac duž kojeg se u više točaka pravca vrše vodomjerenja.

## 4.2. RAZINA VODE

Razina vode ili vodostaj je okomita udaljenost vodene površine vodotoka, prirodnog ili akumulacijskog jezera, močvare, ili površine vodnog lica u pijezometrima podzemnih voda, od definirane početne (referentne) nivo točke mjerenja. Referentnoj (početnoj) točki mjerenja razine vode pridružuje se geodetskim postupkom visinska kota, to jest nadmorska visina – kota nule vodokaza. Na taj se način omogućuje da se temeljem mjerenja relativne udaljenosti površine vode od početne točke mjerenja iskaže razina vode u apsolutnom iznosu to jest kao nadmorska visina.



**Slika 3.** Nilometar u Egiptu

## 4.3. MJERENJE VODOSTAJA

-Vodomjernim letvama

(letve mogu biti postavljene duž rijeke, jedna počinje gdje druga završava, sve mjere u odnosu na referentnu točku)



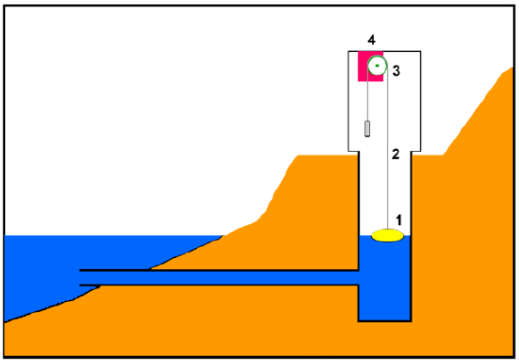

**Slika 4.** Vodomjerna letva

-Automatsko bilježenje vodostaja

(na principu mjerenja tlaka, ultrazvučni senzori, na principu plovaka, radarski senzori)

## 1. Water level sensors

**Shaft encoder with float**

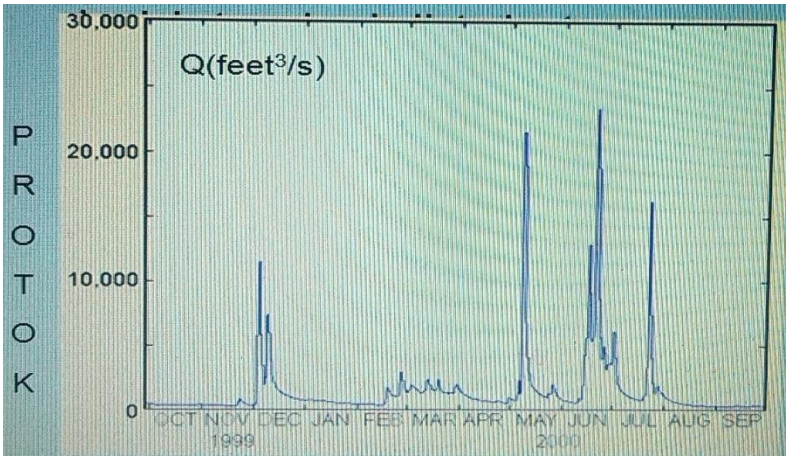



**Slika 5.** Uređaj s plovkom

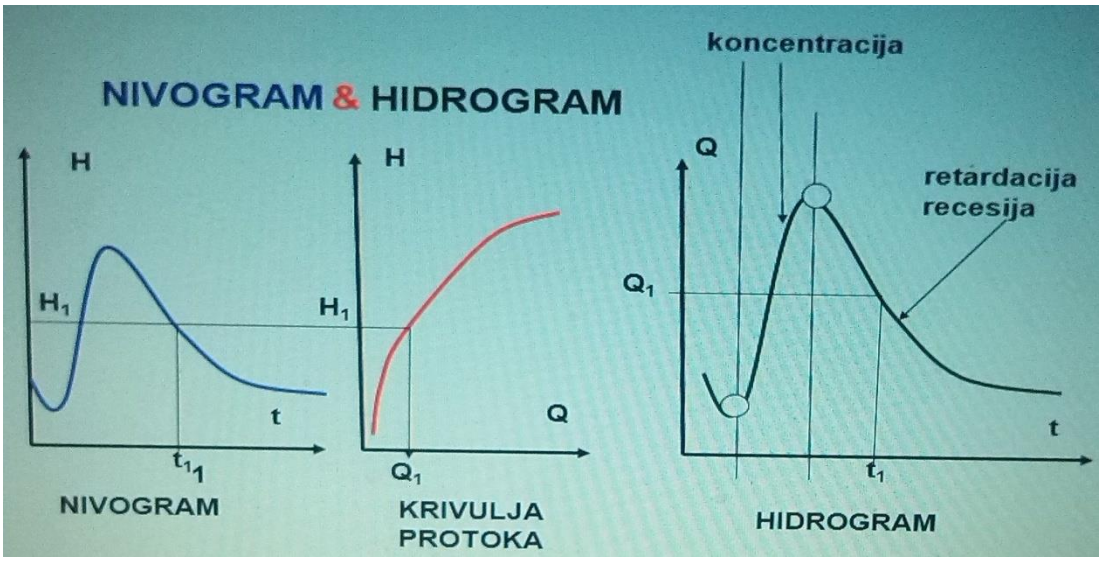
## 4.4 HIDROGRAM

Da bi se dobio hidrogram, to jest dijagram promjene protoka u vremenu Q=Q(t), potrebno je svakodnevno mjeriti protok, što je veoma skupo i prkatično neizvodivo. Zato je neophodno da se na osnovu rezultata povremenih hidrometrijskih mjerenja (istovremenog mjerenja protoka i odgovarajućeg vodostaja), uspostavi ovisnost između mjerenih protoka Q i korespodentnih vodostaja h, tj. formira krivulja protoka Q=Q(h). Preko te ovisnosti određuje se protok Q u vremenu kada on nije mjeren, na osnovu mjerenog vodostaja h. Vodostaji se na vodomjernim stanicama mjere najmanje svakodnevno, obično od strane hidrometeorološke službe, što omogućava poznavanje promjena vodostaja u vremenu, odnosno konstruiranje nivograma h=h(t). Drugačije rečeno , nivogram h=h(t) se preko krivulje protoka Q=Q(h) preslikava u hidrogram Q=Q(t).

Hidrogram je grafički prikaz protoka vode u vremenu. Hidrogram dobije se tako da se na temelju promatranih vodostaja, preko krivulje protoka, odrede odgovarajući protoci. Hidrogramom se može prikazati srednji dnevni, ili mjesečni protoci unutar jedne ili više godina, prosječni mjesečni protoci nekog razdoblja i srednji godišnji protoci unutar nekog razdoblja. Oblik hidrograma uvjetuju klimatski čimbenici nekog sliva i fizičko-geografski čimbenici nekog sliva. Odvajanje glavnih sastavnica hidrograma naziva se razdvajanje ili separacija hidrograma. Uz hidrogram vodnog vala često se prikazuje i hijetogram. Hijetogram je grafički prikaz količina ili inteziteta oborina u vremenu. Hidrogram je sastavljen od jedne od četiriju bitnih komponenata, ovisno o tome kakvi su uvjeti otjecanja na slivu. Komponente hidrograma su : površinski (izravni) dotok, međudotok (potpovršinski), podzemni dotok, oborina pala na korito vodotoka.



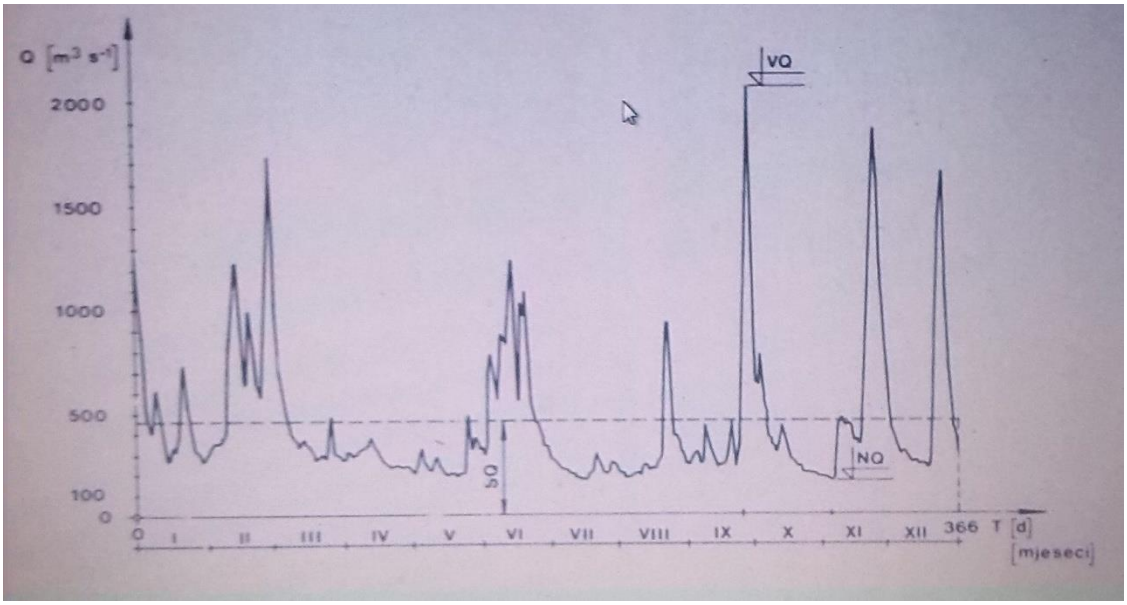

**Slika 6.** Primjer hidrograma




**Slika 7.** Nivogram i hidrogram

Da bi se vidio karakter krivulje protoka , odnosno da li se veza Q=Q(h) može smatrati jednoznačnom u granicama dozvoljenih greški, po cijeloj amplitudi kolebanja vodostaja, najbolje je sve točke mjerenja protoka u funkciji vodostaja prikazati grafički.

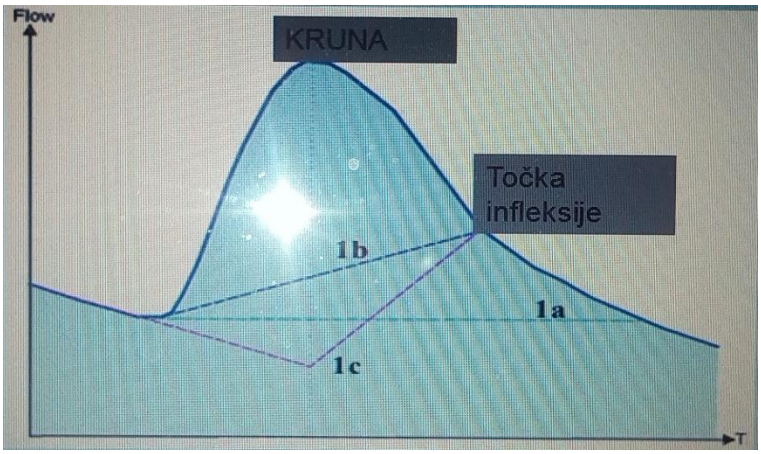
Poželjno je i praktično nephodno, na osnovu podataka hidrometrijskih mjerenja, prije konstrukcije krivulje protoka Q=Q(h), konstruirati ovisnost krivulje A=A(h) i V=V(h).

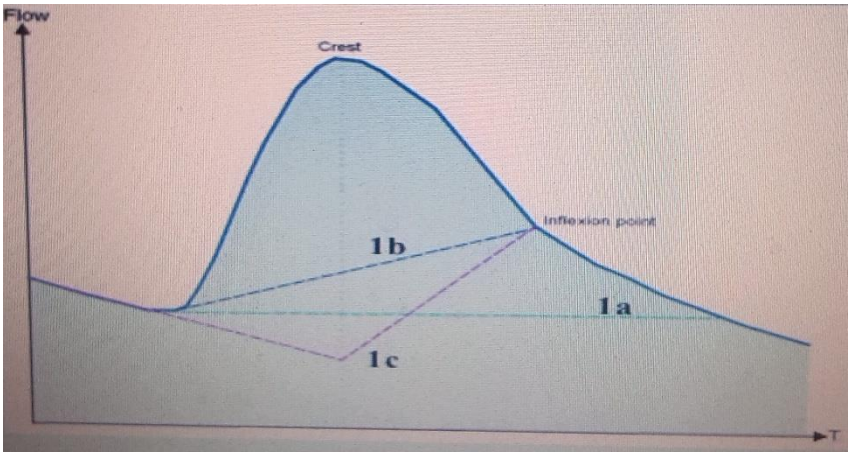



**Slika 8.** Primjer godišnjeg hidrograma

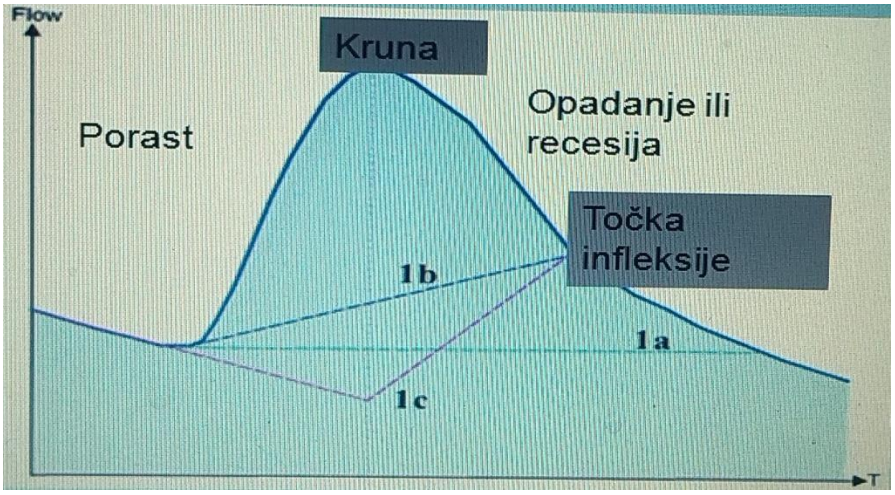
Hidrogramov oblik uvjetuju: -klimatski čimbenici nekog sliva

-fizičko-geografski čimbenici nekog sliva






**Slika 9.** Razdvajanje komponenti hidrograma otjecanja




**Slika 10.** Koncentracija, recesija

Oblik koncentracijske krivulje ovisi o intezitetu i raspodjeli oborina po slivu i topografiji terena te o trajanju. Recesijski dio krivulje je posljedica ocjeđivanja nakon prestanka efektivne oborine. Oblik ovisi o karakteristikama hidrografske mreže i karakteristikama sliva.

Na konkavnost početnog dijela krivulje utječe i kapacitet površinskog zadržavanja na početku pljuska i kapacitet infiltracije.

Oborine- uključuju sve oblike vode koje iz atmosfere dospiju na Zemljinu površinu.

Infiltracija- prijelaz vode s površine pod površinu terena

Kapacitet infiltracije- predstavlja maksimalno mogući iznos infiltracije u određenom trenutku koji ovisi o fizičkim i kemijskim svojstvima tla. Ukoliko je intezitet oborine veći od kapaciteta infiltracije, dolazi do tečenja po terenu.

Transpiracija i evaporacija- prijelaz vode sa nekog sliva u plinovito stanje u atmosferi, a odvija se sa slobodnih vodnih površina, golog tla. Transpiracija je proces prolaženja vode kroz pore na lišću, odvija se tijekom svijetlog dijela dana.

Mogući gubici u slivu:

-evaporacija

-evapotranspiracija

-zadržavanje

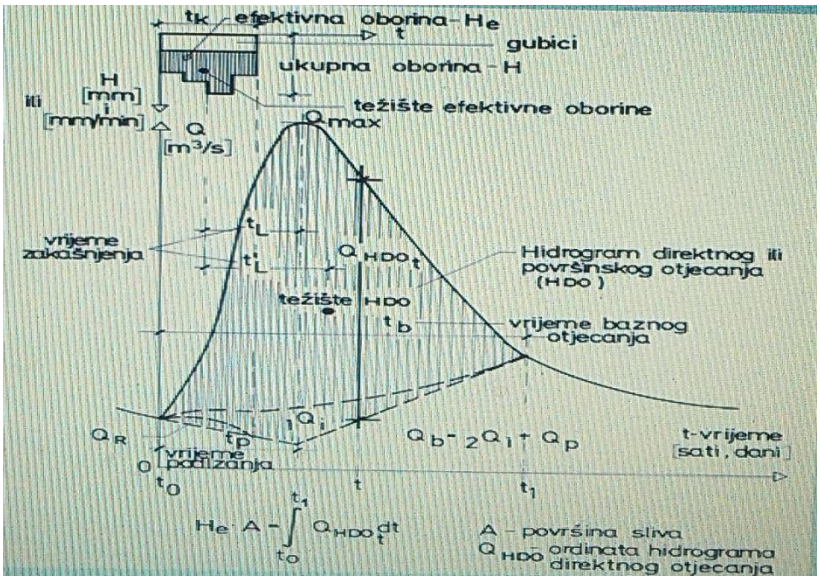
-zapunjavanje depresija

Ukupne oborine – gubici = efektivne oborine

## 4.5. KOMPONENTE OTJECANJA

-U hidrologiji se otjecanje promatra uglavnom kroz dvije različite komponente, a ta podjela je utemeljena upravo na procesu transformacija oborina u otjecanje.

-Formiranje otjecanja je vrlo bitan hidrološki proces, nastaje u slučaju kada oborine premaše infiltracijski kapacitet. Proces transformacije ili prijelaza oborine u otjecanje je izrazito složen dinamički proces.




**Slika 11.** H-gubici=He

Bazno otjecanje- obuhvaća komponentu otjecanja podzemnih voda i komponentu sporog potpovršinskog otjecanja.

Direktno otjecanje- komponenta otjecanja nastala usljed oborine direktno pale na površinu vodotoka, na površinu terena kao i usljed brzog potpovršinskog otjecanja.

Koeficijent otjecanja- jedan od osnovnih pokazatelja procesa transformacije oborina u otjecanje:

C = Pe/P

Pe – efektivna oborina, oborina koja otječe po slivu

P – ukupno pala oborina

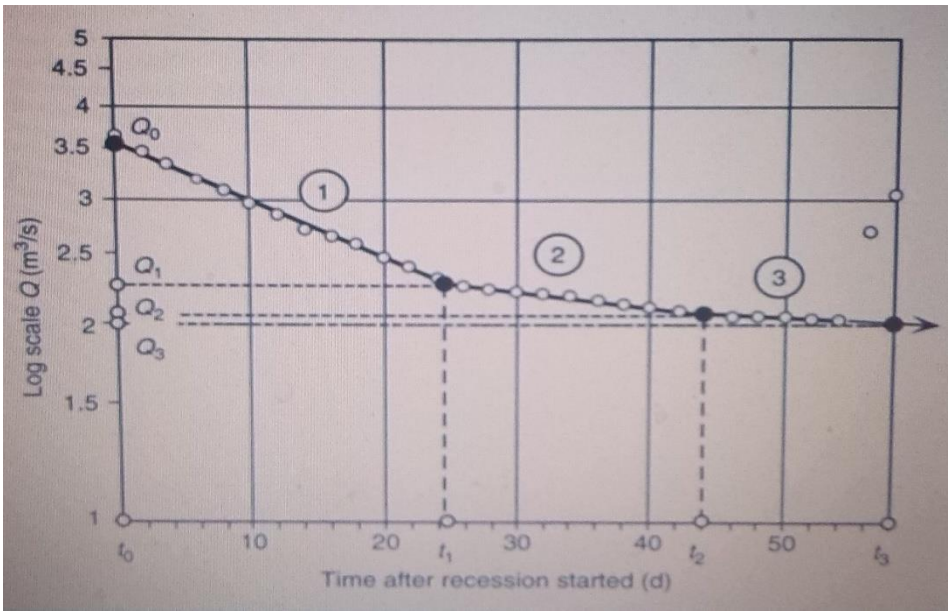
Analiza recesijske krivulje

-Oblik recesijske krivulje ovisi o poroznosti i prihranjivanju iz susjednih slivova.

-Nakon prestanka površinskog otjecanja, dolazi do podzemnog otjecanja koje se može održati kroz dulje ili kraće vremensko razdoblje ovisno o karakteristikama slivnog područja.

-Analiza opadajućeg dijela hidrograma otjecanja koji odgovara bezoborinskom razdoblju zove se analiza recesije

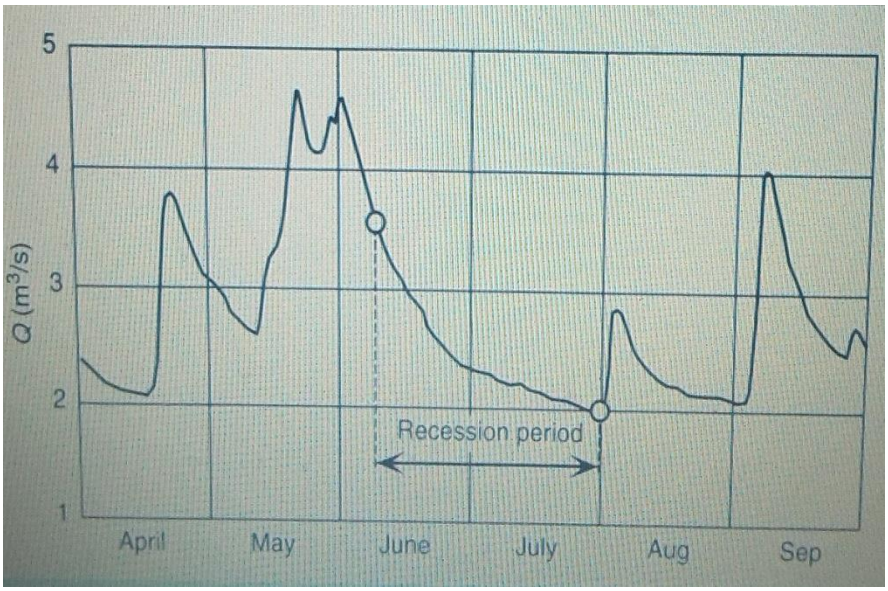
-Uvjeti koji su idealni za analizu krivulje recesije- bezoborinsko razdoblje u trajanju nekoliko mjeseci (rijetka su pojava)




**Slika 12.** Krivulja recesije-polulogaritamsko mjerilo

Bezoborinska razdoblja

-Poželjno je analiziranje što više recesijskih krivulja tijekom određenog razdoblja za svaku godinu pojedinačno. Veći broj krivulja omogućava definiranje zajedničke prosječne recesijske krivulje.




**Slika 13.** Hidrogram izvora

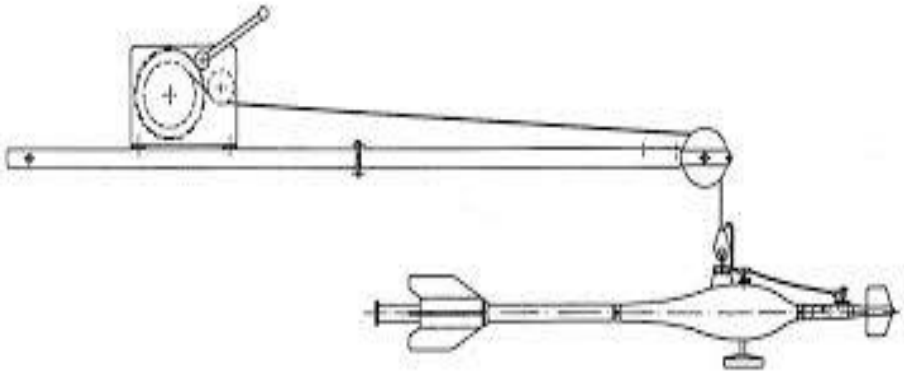
## 4.6. MJERENJE PROTOKA

Mjerenje protoka na vodotocima jedna je od osnovnih i najvažnijih aktivnosti kojima se bavi stručna hidrologija. U kombinaciji s ostalim mjerenjima vodostaja, mjerenje protoka uvijek pruža cjelovitu sliku o stanju voda na nekom vodotoku. Prva prava mjerenja protoka počela su u Americi prije gotovo 130 godina. Ta prva mjerenja među prvima je provodio William Gunn Price na rijeci Ohio, u blizini grada Paducah, Kentucky SAD, oko 1880. godine. On je mjerio brzinu strujanja vode hidrometrijskim krilom kojeg je sam patentirao. Njegovo hidrometrijsko krilo bilo je kroz slijedećih stotinjak godina praktički jedino sredstvo za mjerenje brzine strujanja vode u vodotocima. Iako su za mjerenje brzine strujanja vode tijekom vremena razvili i različiti drugi instrumenti, samo se hidrometrijsko krilo pokazalo dovoljno točan i precizan instrument, za mjerenje brzina strujanja voda u vodotocima.

Početkom sedamdesetih godina prošlog stoljeća počeli su se polako javljati i prvi pokušaji mjerenja brzina strujanja primjenom akustičnih uređaja, ali je takva oprema, u to vrijeme, svoju inicijalnu primjenu ipak našla tek u oceanografskim mjerenjima. Prvi pokušaj mjerenja protoka na rijeci primjenom akustičnog uređaja bio je onaj na rijeci Mississipi, kod grada Baton Rougea, Louisiana, SAD, 1982. godine proveli Christensen i Herrick. Rezultati mjerenja bili su ohrabrujući jer se u odnosu na standardna mjerenja hidrometrijskim krilom nisu razlikovali za više od 5%. Samo mjerenje, međutim nije bilo moguće provesti na način kako se to ADCP uređajima radi danas, tadašnja prateća kompjuterska oprema nije mogla provesti obradu mjerenja u realnom vremenu, obrada mjerenja morala se baš kao i prilikom rada s krilom provesti naknadno. Tijekom slijedećih desetak godina akustična se oprema znatno razvila, pa su devedesetih godina mjerenja protoka akustičnom opremom konačno mogla biti provedena na praktički isti način kako se radi i danas. Zbog svoje jednostavnosti mjerenje protoka primjenom ADCP uređaja uzima danas sve više prostora u praksi mjerenja.

Mjerenja protoka su temelj kako za sve hidrološke kalkulacije tako i za sve aktivnosti u smislu praktičnog gospodarenja vodama. Danas se na svim važnijim rijekama širom svijeta sustavno obavljaju mjerenja protoka. Razlozi mjerenja su isti oni koji su se najprije pojavili u SAD-u, a kasnije se proširili na cijeli svijet : poljoprivreda, ekologija, energetika, vodno gospodarstvo. Razvojem društva potrebe za energijom svakim danom postaju sve veće, slijedom čega kontrola energetskih potencijala vode , s pratećom izgradnjom hidroelektrana, dobiva dodatni značaj. Ovi se pak energetski potencijali vode ne mogu odrediti bez podataka o protocima. U poljoprivredi se sve više javlja potreba za bilansiranjem voda u smislu kontroliranog, intenzivnog, navodnjavanja poljoprivrednih površina. Iako su takve potrebe prisutne već stotinjak godina, u današnje se vrijeme one samo dodatno aktualiziraju. Saznanja o tome koje količine zagađenja rijeka može bez opasnosti primiti u sebe mučila su Amerikance još prije stotinu godina, davno prije nego što su uopće postojali pojmovi poput ekologije i održivog razvoja. Danas su ovi termini naša svakodnevnica. Koliko stvarno opterećenje zagađenjem može podnijeti neki vodotok , može se znati samo ako se poznaju

iznosi protoka vode na tom vodotoku . I konačno, na kraju , ali ne manje važno , obrana od poplava , regulacija vodotoka , izgradnja nasipa i kanala, izgradnja hidrotehničkih građevina , mostova, brana, propusta ili preljeva, nezamisliva je bez poznavanja podataka o protocima ili brzinama strujanja vode na rijekama.



**Slika 14.** Hidrometrijsko krilo primjer 1

## 4.7. MJERENJE PROTOKA ADCP-OM

ADCP (acoustic Doppler current profiler) je hidrometrijski instrument koji pomoću akustičnih emitiranih signala mjeri poprečni presjek analiziranog vodotoka, raspodjelu brzina i protok otvorenog vodotoka, na principu dopplerevog efekta. Instrumenti se kontinuirano poboljšavaju i usavršavaju tako da se vrlo brzo možemo očekivati novosti i poboljšanja. Za određivanje brzine tečenja vode koristi se ultrazvuk. Različiti proizvođači koriste različite frekvencije. Frekvencije uglavnom nisu niže od 35 kHz, najčešći su instrumenti (uređaji) koji rade na frekvencijama od 300, 600 i 1200 kHz. Prvo mjerenje protoka ADCP uređajem izvršeno je 1982. Godine na rijeci Mississipi kod Baton Rougea (SAD). Mjerenje je bilo ručno a razvoj je postignut tek primjenom računalne tehnologije. Mjerenje brzina vode pomoću ADCP-a bazira se na fizikalnom principu koji je oformio Christian Johann Doppler po kome je i dobio ime, a odnosi se na prividnu promjenu frekvencija određenog izvora zvuka koji se giba relativno prema nekom slušaću. Trajanje mjerenja je neusporedivo kraće nego u slučaju mjerenja s hidrometrijskim krilom. Točnost mjerenja ovisi o znanju i iskustvu mjerača. ADCP

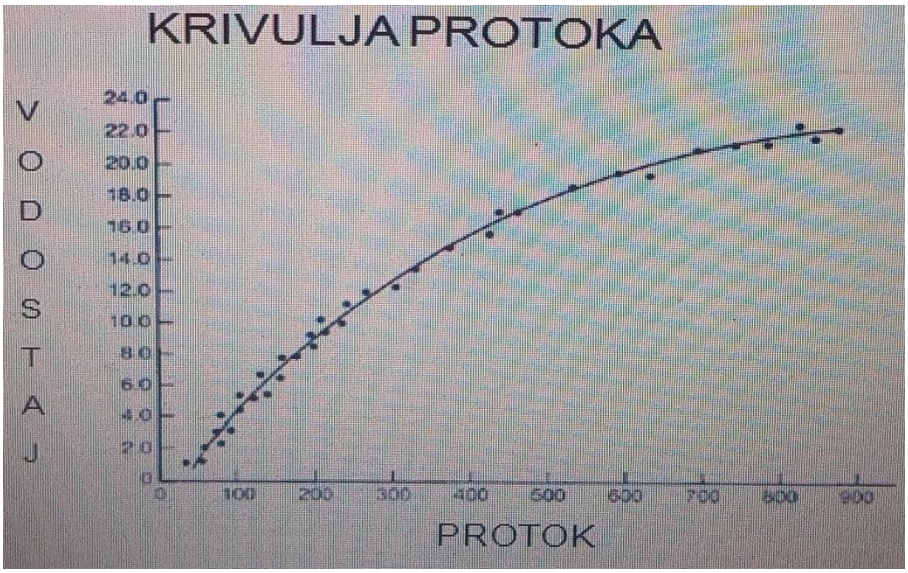
funkcionira tako da preko svog primopredajnika, kroz akustični snop emitira u stupac vode akustični impuls te potom sluša povratni odjek signala koji se reflektira od suspendiranih čestica koje teku istom brzinom i istim smjerom kao voda. ADCP se montira na čamac tako da bude uronjen u vodu i usmjeren prema dnu vodotoka. U kućištu uređaja najčešće su smještene četiri akustička primopredajnika nagnuta pod kutom od 20 do 30 stupnjeva u odnosu na vertikalnu os uređaja, a u horizontalnoj ravnini su međusobno pomaknuta za 90 stupnjeva.




**Slika 15.** Mjerenje protoka ADCP-om

U Hrvatskoj se do 2003. Primjenjivalo isključivo hidrometrijsko krilo, a od 2003. primjenjuje se hidrometrijsko krilo + ACDP.

## 4.8. KRIVULJA PROTOKA




**Slika 16.** Krivulja protoka

Protok je jednoznačna funkcija vodostaja što omogućuje da na temelju zabilježenih vodostaja odredimo protok. Mjerenje vodostaja obavlja se kontinuirano ( svakodnevno se bilježe razine vode uz pomoć različitih mjernih uređaja koji su postavljeni na mjernom profilu). Kontinuirana ( svakodnevna ) mjerenja protoka su poprilično skupa i u praktičnom smislu dosta zahtjevna. Zbog toga je neophodno da se na temelju određenog broja istovremenih mjerenja protoka i vodostaja definira krivulja protoka Q=Q(H).

Krivulja protoka je odnos između vodostaja i protoka u protjecajnom profilu vodotoka, taj se odnos može izraziti u obliku jednadžbe, tablice ili krivulje. Za definiranje krivulje protoka potrebno je poznavati ( izmjeriti) neki minimalni broj protoka pri različitim vodostajima. Opći izraz za određivanje krivulje protoka je : Q=f (H) gdje je H (m) vodostaj, a Q (m3/s) protok. Krivulja protoka je jako važna zakonitost u hidrologiji, na osnovi koje se iz zabilježenih vodostaja određuju odgovarajući protoci vode. O krivulji protoka ovisi realnost srednjih dotoka (godišnjih, mjesečnih, dnevnih) i prosjeka cijeloga razdoblja motrenja vodostaja, te minimalnih i maksimalnih protoka.

Krivulju protoka možemo predočiti grafučki i analitički:

Grafičko određivanje: kada postoji dovoljan broj izmjerenih protoka pri različitim vodostajima (rasipavanje točaka nije veliko) onda se može izvući težišnica između tih točaka. Krivulja se prihvaća ako su mjerenja obuhvatila cijelu amplitudu vodostaja.

Analitičko određivanje: Analitički se krivulja protoka može definirati za dva oblika:

1. Analitički oblik (kvadratna parabola):

   Pretpostavi se da je protok Q funkcija vodostaja H i parametara a,b,c….n:

   Q = f (H, a, b, c, ... n)

   Razvijanjem u red dobije se:

$$Q = a + bH + cH^2 + dH^3 + \cdots + nH^m$$

U ovom izrazu četvrti član i svi ostali članovi iza njega su vrlo mali pa ih se zbog toga može zanemariti. Tako dobijemo prvi oblik krivulje protoka:

Q = a + bH + $cH^2$

2. Analitički oblik ($y = ax^b$):

Općenito se pretpostavi oblik: $Q = a\,V^b$ gdje je V dubina , a i b su parametri

Ako se nula vodokaza poklapa s dnom profila, dubina vode V jednaka je vodostaju H pa u tom slučaju vrijedi oblik: $Q = a\,H^b$

Ukoliko se nula vodokaza ne poklapa s dnom profila nego je od dna udaljena za razmak B, općenito je: $Q = a(H \pm B)^b$

ako je nula vodokaza iznad riječnoga dna:

$$Q = a(H + B)^b$$

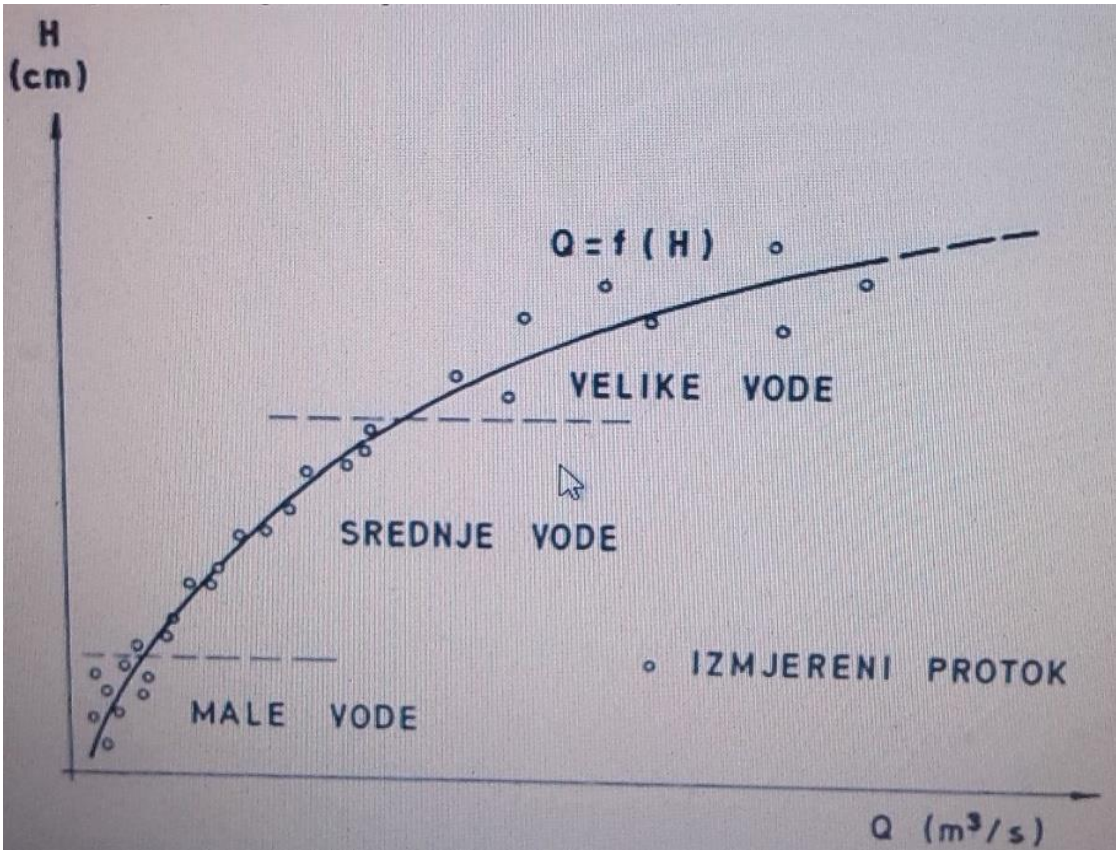
ako je nula vodokaza ispod riječnoga dna:

$$Q = a(H - B)^b$$

Za analitičko određivanje nepoznatih parametara a, b i c protočne krivulje Q = f(H) na osnovi izmjerenih podataka H i Q najčešće se koristi metoda najmanjih kvadrata.

Protočna krivulja Q = a (H ± B)b nacrtana u log-log koordinatnome sustavu, je pravac:

log Q = log a + b log (H ± B)

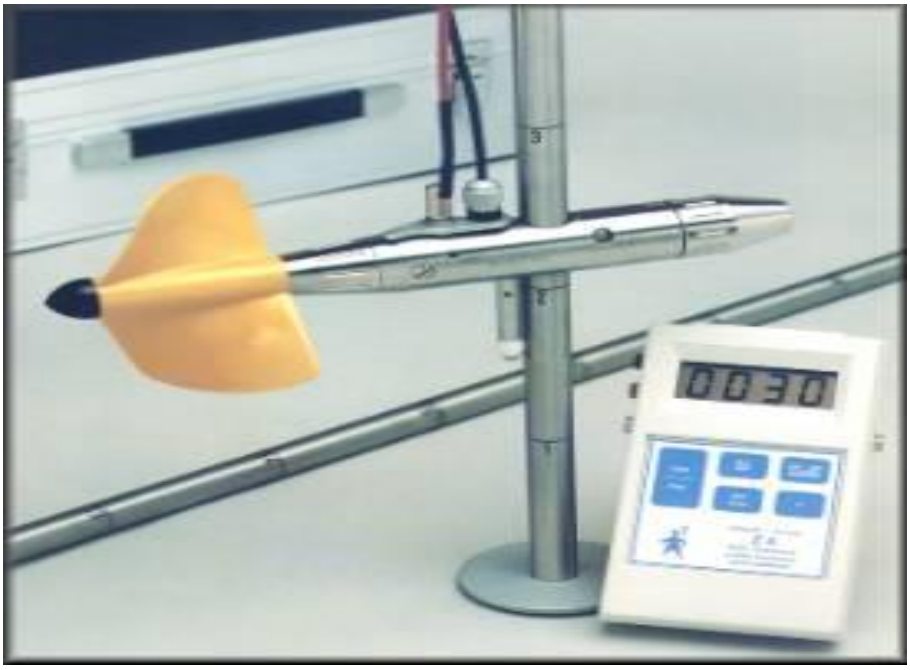



**Slika 17.** Rasipavanje vodomjerenja oko protočne krivulje

Općenito protok vode predstavlja količinu vode koja je protekla kroz neki poprečni presjek vodotoka u jedinici vremena. Protok vode je najvažnija informacija za sve izvedbene i projektantske radove u vezi s vodotokom. Metode mjerenja protoka možemo općenito podjeliti na neposredne metode i posredne metode.

Neposredne metode baziraju se na volumenskim metodama zasnovanim na mjerenjima putem mjernih uređaja što je zapravo primjenjivo samo za manje vodotoke i izvore. Danas

postoje različiti moderni uređaji za mjerenje protoka čija je primjena još uvijek ograničena obučenošću i cijenom. Posredne metode mjerenja protoka se zasnivaju na definiranju na temelju mjerenja nekog drugog elementa vodotoka. Najčešći način određivanja protoka u velikim i srednjim vodotocima vrši se indirektnim načinom preko mjerenja brzina hidrometrijskim krilom u nizu točaka poprečnog presjeka nekog vodotoka.



**Slika 18.** Hidrometrijsko krilo primjer 2

Kada jednom odredimo krivulju protoka , moramo je pratiti i kontrolirati, naročito nakon prolaska velikih voda. Općenito, jednoznačna krivulja protoka se uspostavlja u uvjetima stacionarnog i jednolikog tečenja.

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0 \qquad \frac{\partial_{\mathrm{v}}}{\partial x}=0$$

Za slučaj jednolikog i stacionarnog tečenja, pad vodnog lica je jednak padu dna riječnog korita.

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{Q^2}{C^2 \cdot A^2 \cdot R} = I_d$$

Chezyeva jednadžba: $Q = C \cdot A \cdot \sqrt{RI_d}$

Uvođenjem Chezyevog koeficjenta po Manningu: $Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot I_d^{1/2}$

Gdje je **n** Manningov koeficijent otpora

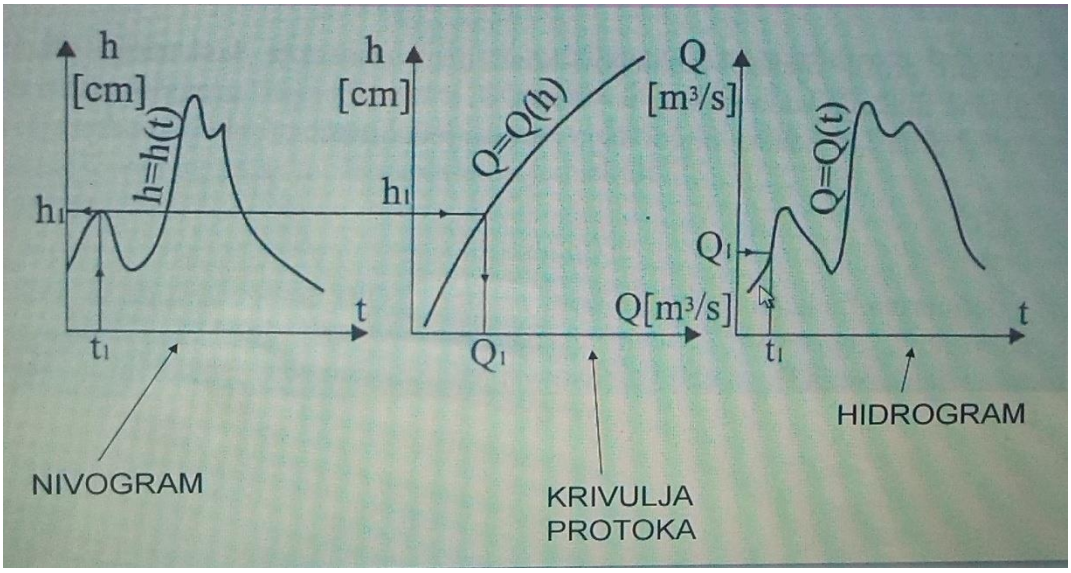
Q=Q(H) se zove krivulja protoka. Pomoću krivulje protoka se putem izmjerenih vodostaja dolazi do ordinata hidrograma otjecanja Q=Q(t). (Nivogram se preko krivulje protoka preslikava u hidrogram)

A=A(H) i O=O(H) za stabilno korito

R=R(H)

Za određeni profil Manningov koeficijent je konstanta ili jednoznačna funkcija vodostaja n=n(H), te pod pretpostavkom da je pad dna korita $I_d$ konstanta slijedi da je protok jednoznačna funkcija vodostaja Q=Q(H)

Zavisnost protoka i vodostaja može se pokazati na tri moguća načina: grafički (krivulja protoka), tablično i analitički.




**Slika 19.** Nivogram,krivulja protoka,hidrogram

Za pronalaženje analitičkog oblika krivulje protoka najčešće se koriste ovi izrazi

Q=a+b·H+c· $H^2$

Q=a·$(\mathrm{H} \pm H_0)^{\,2}$

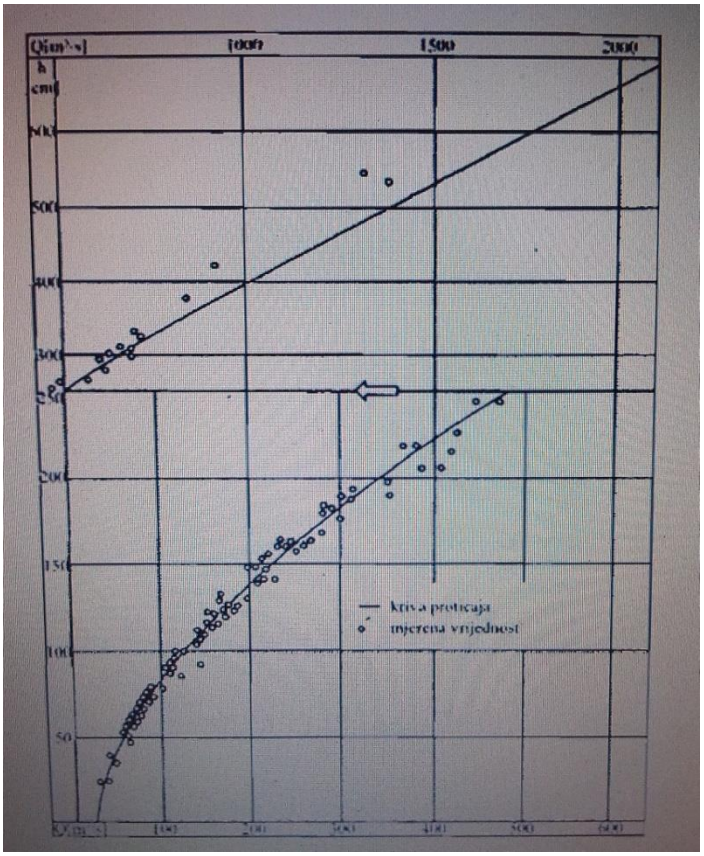
Parametri a, b i c definiraju se prema teoriji najmanjih kvadrata na temelju izmjerenih vrijednosti ( $H_i \; i \; Q_i$)

$\sum_{i=1}^{n}(Q_i - Q_{mj})^2$ = min

n- ukupan broj izmjerenih protoka

Qi- vrijednost izračunatog protoka prema odabranom matematičkom izrazu

Qmj- mjerena vrijednost protoka




**Slika 20.** Krivulja protoka rijeke Neretve

Na ovom primjeru prikazana je krivulja protoka za vodomjernu stanicu Žitomislići, na rijeci Neretvi. Na primjeru može se uočiti neizbježno rasipanje točaka oko srednje krivulje, uglavnom zbog grešaka u mjerenjima i drugim uzrocima.

U hidrološkoj praksi dopustive greške:

- za protoke $\frac{\Delta Q}{Q} \leq 7\%$

- za brzine $\frac{\Delta V}{V} = 3\text{-}4\%$

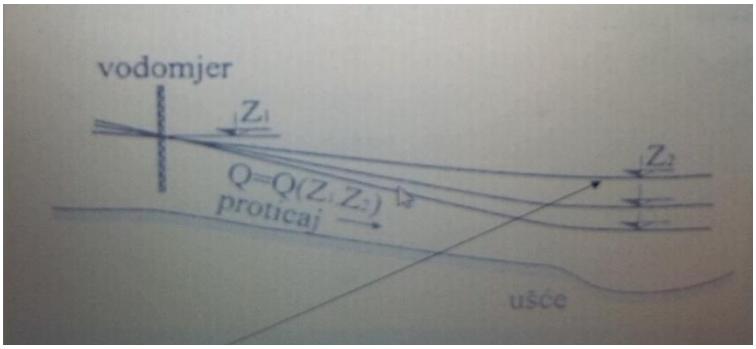
-za površine $\frac{\Delta A}{A} = 2\text{-}3\%$

## 4.9. HIDRAULIČKE OSNOVE NA KOJIMA SE ZASNIVA VEZA IZMEĐU PROTOKA I VODOSTAJA U VODOTOCIMA

Za prirodne vodotoke karakteristično je turbulentno, prostorno trodimenzionalno, a vremenski promjenjivo- neustaljeno tečenje. Zbog lakše analize, prirodni tokovi se osrednjavanjem po dubini svode na ravninske ( u horizontalnoj ravnini dvodimenzionalne) tokove, a oni, daljnim orednjavanjem po širini korita, na linijske (prostorno jednodimenzionalne ) tokove. Dužina riječnog korita je dominantna u odnosu na njegovu dubinu i širinu, pretpostavka o linijskom karakteru tečenja je opravdana u većini problema riječne hidraulike, što znači da se hidraulički proračuni mogu zasnivati na brzinama toka koje su osrednjene po poprečnom presjeku. Neustaljeno „valno“ tečenje vode karakterizira promjenjivost hidrauličkih veličina (brzine, protoka, razina itd.) u vremenu i prostoru. Ako je brzina promjene velika, kažemo da se radi o „naglo promjenjivim“ neustaljenim tokovima. Tipični primjeri su valovi izazvani rušenjem brana ili ispuštanjem vode iz hidroelektrana, kao i poplavni valovi bujičnih vodotoka. Međutim poplavne valove velikih aluvijalnih rijeka karakteriziraju relativno spore promjene, pa kažemo da je riječ o „blago promjenjivim“ neustaljenim tokovima. Osnova za definiranje ovisnosti protoka i vodostaja u prirodnom vodotoku su jednadžbe linijskog neustaljenog tečenja, poznate kao San Venanove jednadžbe ( jednadžba održanja mase i količine kretanja)

## 4.10. NEJEDNOZNAČNE VEZE IZMEĐU PROTOKA I VODOSTAJA

- Veza vodostaj-protok pod utjecajem različitih uvjeta najčešće postaje nejednoznačna .
- Na to mogu utjecati različiti uvjeti u koritu, ali i uvjeti tečenja kako nizvodno tako i uzvodno od samog promatranog mjernog profila.
- Kako se mijenja korito rijeke ( zasipa se ili produbljuje) s vremenom, i krivulja protoka se može mijenjati.
- Tada krivulja protoka nije pouzdana




**Slika 21.** Ovisnost protoka o vodostaju i o koti nivoa vode na ušću

VEZA VODOSTAJ-PROTOK ZA NEDEFORMABILNO RIJEČNO KORITO

- Nedeformabilno riječno korito jest korito koje je u duljem vremenskom periodu stablno i njegov oblik se ne mijenja.

- U takvim uvjetima veza između vodostaja i protoka ne mora biti jednoznačna. Npr. U uvjetima nejednolikog tečenja i nestacionarnog tečenja koji nastaju usljed utjecaja protoka nizvodno od vodomjerne postaje i hidrometrijskog profila.

NEJEDNOZNAČNOST KRIVULJE PROTOKA PRI NAILASKU POPLAVNIH VALOVA

- Prilikom porasta vodnog vala, veličina protoka je veća.

- U takvom slučaju, jedan vodostaj ne rezultira sa istom vrijednošću protoka u razdobljima opadanja i porasta vodnog vala.

Q=C·A·$\sqrt{RI_e}$

Nejednoliko i nestacionarno tečenje

$I_e \neq I \neq I_d \Rightarrow \frac{Q}{\sqrt{I}} = C \cdot A \cdot \sqrt{R}$

K= $C \cdot A \cdot \sqrt{R} \Rightarrow \frac{Q}{\sqrt{I}} = K(H)$

K= $K(H) = \frac{Q}{\sqrt{I}} = f(H)$

$K = K(H) = \frac{Q}{\sqrt{I}} = f(H)$

$Q = K(H)\sqrt{I}$

$Q = Q(H, I)$ => Krivulja protoka definirana na temelju hidrometrijskih mjerenja

Taj postupak se koristi za definiranje protoka pri pojavi uspora i depresija u prirodnim otvorenim tokovima, te u slučaju nailaska poplavnih valova.

Također pri nejednolikom i stacionarnom tečenju koje nastaje kao posljedica depresije i uspora, rezultiralo bi velikim rasipanjem prilikom izrade krivulje protoka.

VEZA PROTOK-VODOSTAJ ZA DEFORMABILNO KORITO

- Promjena poprečnog profila se mijenja u vremenu te vrijedi: A=A(H,t)

- Nestabilnost korita je veliki problem pri definiranju krivulje protoka, a to je najviše izraženo kod prirodnih vodotoka pri pojavi taloženja i erozije.

- Promjene kod korita se mogu registrirati jedino mjerenjem protoka Q i površine poprečnog presjeka A.

- Promjena poprečnog profila je uobičajan prirodan proces koji se odvija u koritu. U donjim dijelovima rijeke se odvija proces taloženja, a u gornjim dijelovima rijeke se odvija proces erozije u ovisnosti o vodotoku.

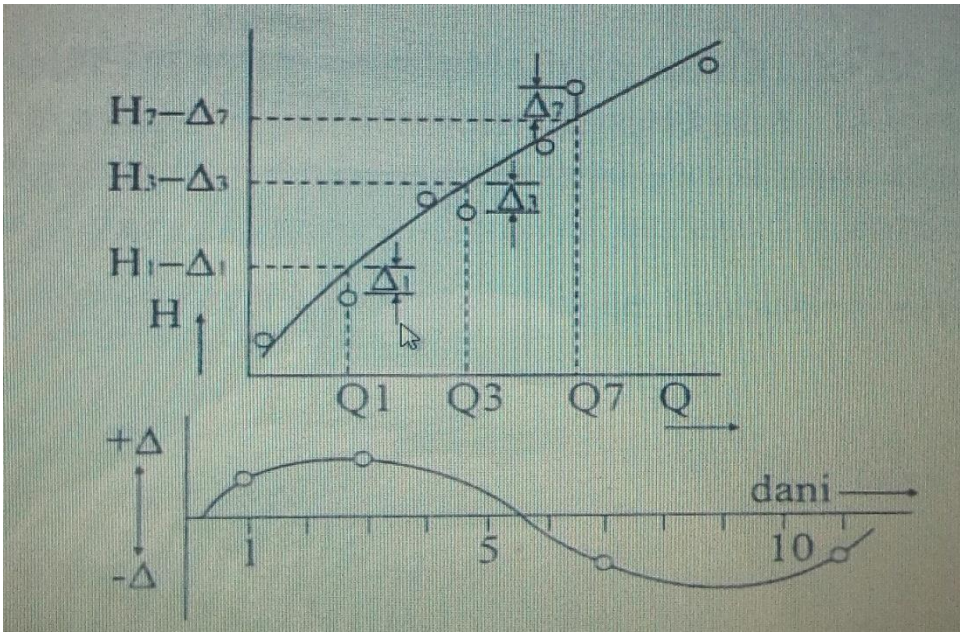
- Promjene poprečnog profila se događaju i utjecajem čovjekovih aktivnosti ( gradnjom različitih hidrotehničkih objekata.

Za definiranje krivulje protoka Q=Q(H) za deformablno riječno korito uglavnom se koriste ove dvije metode:

- Redukcija krivulje protoka na osrednjeni profil

- Metoda Stauta

# 5. METODA STAUTA




**Slika 22.** Metoda Stauta

Metoda za slučaj kad se korito zasipa i produbljuje , za određivanje protoka u danima kad se mjerio samo vodostaj. Pretpostavka je da se točke rasipaju oko krivulje protoka Q=Q(H) koja se ne mijenja u vremenu. Na temelju mjerenja Qi određuju se razlike $\Delta H_j$ i konstruira dijagram $\Delta H = \Delta H(t)$

-Metoda zahtjeva često mjerenje protoka ( 10-15 mjerenja protoka mjesečno) . Ako je točka iznad krivulje razlika je negativna, ako je točka ispod krivulje razlika je pozitiva. Dan za koji nedostaje protok, veličina protoka se određuje na način da se očitanom vodostaju doda razlika očitana sa dijagrama $\Delta H = \Delta H(t)$ , zatim se za takav vodostaj očita protok.

REDUKCIJA KRIVULJE NA OSREDNJENI POPREČNI PROFIL

- Ova metoda se temelji na redukciji krivulje protoka na osrednjeni profil. Primjenjuju se kad deformacije korita imaju vertikalan karakter i kad se pad vodnog lica beznačajno mijenja.

- Temelj procedure je određivanje ovisnosti A=A(H) na temelju velikog broja mjerenja poprečnog profila.

Za svaku izmjerenu točku odredimo veličinu razlike $\Delta H = H_i - H_{očitano}$ pri čemu vodostaj očitavamo s utvrđene krivulje A=A(H)

Na temelju promjena korekcija u vremenu, konstruiramo krivulju protoka preko korigiranih vrijednosti vodostaja.

$$H_{kor} = H_i \pm \Delta H_i$$

$$=> Q = Q(H_{kor})$$

EKSTRAPOLACIJA KRIVULJE PROTOKA

Mjerenje protoka kod visokih vodostaja, bilo da se radi o velikim vodotocima ili da se radi o malim vodotocima predstavljaju značajan problem. Upravo zbog toga se pri definiranju krivulje protoka za određeni profil obično raspolaže s malim brojem mjerenja protoka u području velikih voda.

Upravo to dovodi do potrebe ekstrapolacije krivulje protoka , naročito u slučajevima kad se male ili velike vode nalaze ispod ili iznad vrijednosti za koje su krivulje definirane.

VEZA VODOSTAJA I PROTOKA ZA KORITA S PROMJENJIVOM HRAPAVOŠĆU

Kod prirodnih vodotoka u uvjetima stacionarnog i jednolikog tečenja nejednoznačnost krivulje protoka može se pojaviti kao posljedica promjene hrapavosti korita tijekom određenog vremena. Uglavnom se to dešava zbog pojave bujne vegetacije u vegetacijskom razdoblju. Kada je vegetacijsko razdoblje povećavaju se hidraulički otpori , a time se smanjuje ukupna propusna sposobnost. Kada imamo takav slučaj, potrebno je napraviti dvije krivulje protoka na bazi izvršenih hidrometrijskih mjerenja, jednu za razdoblje vegetacije a drugu za vanvegetacijsko razdoblje.

# 6. STEVENSOVA METODA

Stevensova metoda temelji se na empiriskoj formuli Chezy-a za proračunavanje protoka u uvjetima stacionarnog i jednolikog tečenja.

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

U uvjetima širokog prirodnog korita

$$\frac{h_{sr}}{B} \leq 0{,}1 => R \approx h_{sr}$$

$$h_{sr} = \frac{A}{B}$$

B- širina korita

$H_{sr}$-srednja profilska dubina

Metoda polazi od pretpostavke da je izraz : $C\sqrt{I} \cong const => Q = f\left(A\sqrt{h_{sr}}\right)$

a koja je prema Stevensovoj pretpostavci u području velikih voda linearna funkcija.

POSTUPAK EKSTRAPOLACIJE PO STEVENSOVOJ METODI

Na istom grafičkom prikazu formiraju se tri funkcijske ovisnosti na temelju hidrometrijskih mjerenja. Prvo se konstruira krivulja protoka Q=f(H).

Onda se određuje funkcija: $A\sqrt{h_{sr}} = f(H)$

Koja se definira do maksimalnog opaženog vodostaja $H_{max}$ .

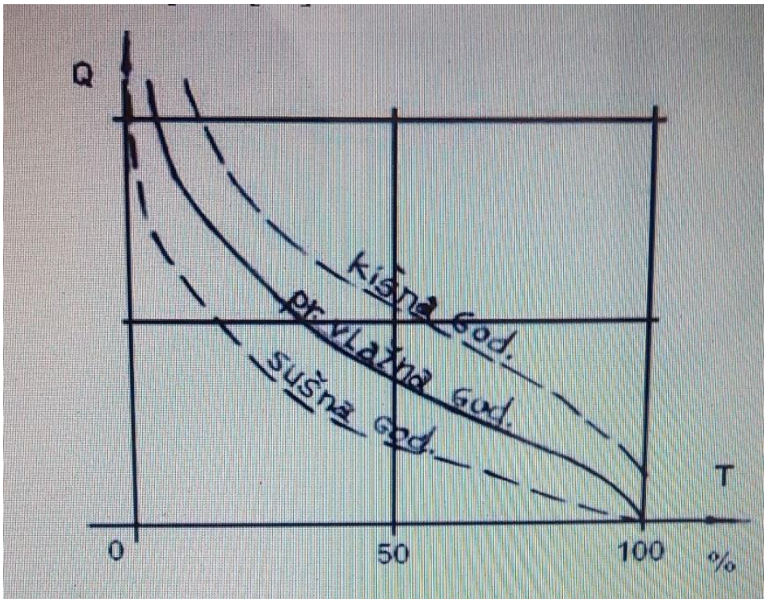
Kao treća ovisnost konstruira se funkcija: $Q = f\left(A\sqrt{h_{sr}}\right)$

Koja se ekstrapolira linearno do vrijednosti maksimalnog vodostaja $H_{max}$ .

# 7. KRIVULJA TRAJANJA PROTOKA

Krivulja trajanja protoka pokazuje broj dana u godini ili postotak vremena, tijekom kojih je protok ili vodostaj jednak danim količinama ili veći od njih bez obzira na kronologiju. Da bi konstruirali krivulju trajanja protoka prvo treba krenuti od kumulativne ili zbrojne učestalosti neke vrijednosti. Krivulja trajanja protoka predstavlja zbroj učestalosti svih vrijednosti manjih ili jednakih toj vrijednosti ili obrnuto. Krivuljom trajanja protoka grafički prikazujemo kumulativnu učestalost koja predstavlja trajnost. Krivulja trajanja protoka pripada osnovnim grafičkim prikazima u hidrologiji.

Krivulja trajanja protoka jedna je od najvažnijih hidroloških podloga. Ali postoje i određene mane krivulja trajanja protoka kao hidroloških podloga, zbog neobjektivnih rezultata ukoliko je razdoblje obrade hidroloških podataka kratko. Te mane se mogu donekle ublažiti. Postoji jednostavni postupak kojim se krivulja trajanja protoka iz kraćeg razdoblja raspoloživih podataka svodi na oblik kojim se objektivno prikazuje krivulja koja vrijedi za duže razdoblje.




**Slika 23.** Teorijske krivulje trajanja protoka za sušnu, približno vlažnu i kišnu godinu

Krivulje trajanja protoka u modulnim koeficijentima:

Krivulje trajanja protoka u različitim hidrološkim profilima međusobno je moguće uspoređivati ako se protoci svedu na modulne koeficijente. Pretvaraju se tako da se njihove vrijednosti podjele s prosjekom razdoblja.

Konstrukcija krivulje trajanja protoka:

Osim što je krivulje trajanja protoka u modulnim koeficijentima moguće međusobno uspoređivati, od takvog se oblika redovito polazi radi njihova konstruiranja u profilima vodotoka u kojima nema podataka o protocima od hidroloških mjerenja. Pritom je poželjno da postoje krivulje trajanja protoka u barem dva hidrometrijska profila, po mogućnosti nizvodno i uzvodno od razmatranog profila. Ako nema dovoljno podataka za vodotok s profilom za koji treba odrediti krivulju trajanja protoka, onda se u razmatranje mogu uzeti podaci prikupljeni na vodotocima uže regije.

# 8. ZAKLJUČAK

Tečenje u otvorenim koritima je najčešći hidrotehnički problem s kojim se susreću hidrotehničari, a obuhvaća tečenje u prirodnim vodotocima. U inženjerskoj hidrotehničkoj praksi se tečenje u otvorenim koritima promatra obzirom na promjenu oblika vodnog lica i promjenu parametra toka u vremenu. S obzirom na oblik vodnog lica tečenje dijelimo na nejednoliko i jednoliko. S obzirom na promjenu parametara u vremenu razlikujemo stacionarna i nestacionarna tečenja s postepenim promjenama te nestacionarna tečenja s naglim promjenama. U vodotocima se mjeri razina vode kao najjednostavnije mjerenje. Da bi se odredio odnos protoka i dubine vode u vodotoku se provode hidrometrijska mjerenja sa ciljem određivanja krivulje protoka koja je nužna za ostale hidrološke analize. Krivulja protoka se određuje tako da se za nekoliko dubina vode u koritu izmjeri protok te se interpolira (i ekstrapolira). Da bi dobili jako pouzdane podatke o prosječnom protoku kroz određeni vodotok potrebno je mjeriti protok svaki dan kroz preporučljivo najmanje deset godina. Zbog toga individualno mjerenje na svakoj poziciji ne dolazi u obzir, pa se srednji dnevni protoci na mjernim stanicama zbrajaju i tako iz takvih dobivenih podataka se dobiva srednji godišnji protok za određenu poziciju u određenom razdoblju.

# 9. PRIMJER (KRIVULJA PROTOKA)

**Na temelju zadanih vodomjerenja potrebno je definirati krivulju protoka:**

Zadano:

| R.br. | H(cm) | Q($m^3/s$) |
|---|---|---|
| 1 | 30 | 1 |
| 2 | 40 | 2 |
| 3 | 50 | 3,5 |
| 4 | 60 | 5 |
| 5 | 70 | 7,5 |
| 6 | 80 | 9,7 |
| 7 | 90 | 12,7 |
| | | |
| | 420 | 41,4 |

**Tablica 1.**

Pretpostavljeno je da je protok Q funkcija vodostaja H i parametara a, b, c, ... n :

Q = f (H, a, b, c, ... n) razvijanjem u red dobije se:

$$Q = a + bH + cH^2 + dH^3 + \cdots + nH^m$$

Četvrti član je vrlo mali i ostali iza njega pa se mogu zanemariti, tako se dobije prvi oblik krivulje protoka: Q = a + bH + $cH^2$

| $HixQi^{mj}$ | $Hi^2xQi^{mj}$ | $Hi^2$ | $Hi^3$ | $Hi^4$ |
|---|---|---|---|---|
| 30 | 900 | 900 | 27000 | 810000 |
| 80 | 3200 | 1600 | 64000 | 2560000 |
| 175 | 8750 | 2500 | 125000 | 6250000 |
| 300 | 18000 | 3600 | 216000 | 12960000 |
| 525 | 36750 | 4900 | 343000 | 24010000 |
| 776 | 62080 | 6400 | 512000 | 40960000 |
| 1143 | 102870 | 8100 | 729000 | 65610000 |
| | | | | |
| 3029 | 232550 | 28000 | 2016000 | 153160000 |

**Tablica 2.**

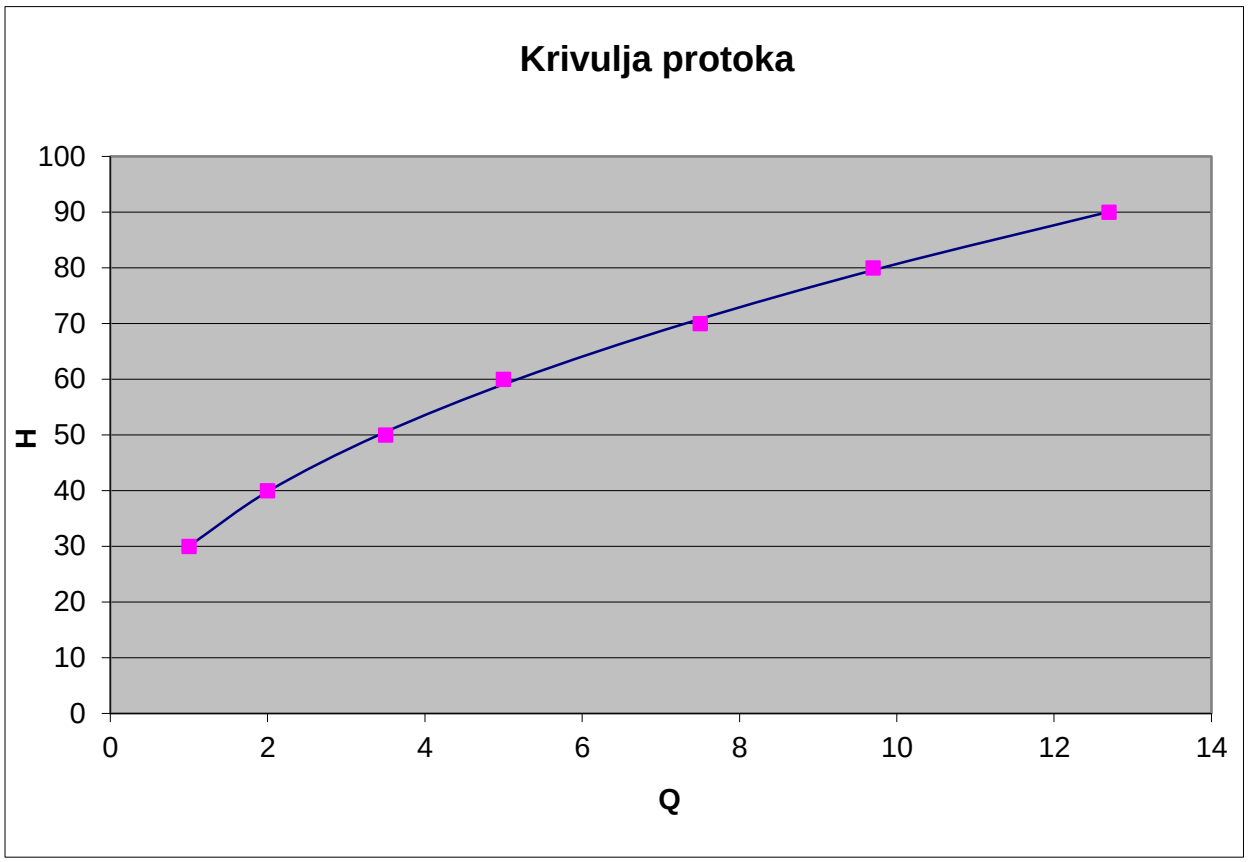
| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $Qi^{mj}(m^3/s)$ | | n | | | Hi(cm) | | | $Hi^2$ | |
| 1) | 41,4 | = | 7 | a | + | 420 | b | + | 28000 | c |
| | $HixQi^{mj}$ | | Hi(cm) | | | $Hi^2$ | | | $Hi^3$ | |
| 2) | 3029 | = | 420 | a | + | 28000 | b | + | 2016000 | c |
| | $Hi^2xQi^{mj}$ | | $Hi^2$ | | | $Hi^3$ | | | $Hi^4$ | |
| 3) | 232550 | = | 28000 | a | + | 2016000 | b | + | 153160000 | c |

| a | b | c | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | -1 |
| 7 | 420 | 28000 | | |
| 420 | 28000 | 2016000 | | |
| 28000 | 2016000 | 153160000 | | |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13,61904762 | -0,478571429 | 0,003809524 | | 41,4 | = | a | 0,14047619 |
| -0,478571429 | 0,0175 | -0,000142857 | x | 3029 | = | b | -0,02678571 |
| 0,003809524 | -0,000142857 | 1,19048E-06 | | 232550 | = | c | 0,00184523 |

| R.br. | H(cm) | Q($m^3/s$) | $Qi_{zracunato}$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 30 | 1 | 0,997619048 |
| 2 | 40 | 2 | 2,021428571 |
| 3 | 50 | 3,5 | 3,414285714 |
| 4 | 60 | 5 | 5,176190476 |
| 5 | 70 | 7,5 | 7,307142857 |
| 6 | 80 | 9,7 | 9,807142857 |
| 7 | 90 | 12,7 | 12,67619048 |
| | | | |
| | | | |

**Tablica 3.**


Krivulja protoka
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
H
0
2
4
6
8
10
12
14
Q

# 10. LITERATURA


(1) https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidrolo%C5%A1ki_ciklus

(2) https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidrologija

(3) https://www.google.hr/search?q=NILOMETAR&biw=1455&bih=726&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMI4LnH_ICxxwIVy7gUCh3p_QkY#imgrc=zQZAEVCuUmqO0M%3A

(4) https://www.google.hr/search?q=hidrometrijsko+krilo&biw=1455&bih=726&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMI763dnYGxxwIVR1YUCh3S-AWP#imgrc=Z5kjSXf4HeIvyM%3A

(5) http://gradst.unist.hr/Portals/9/docs/katedre/Hidrologija/HIDROMETRIJA%20NASTAVA%20(1.%20dio).pdf

(6) https://www.google.hr/?gws_rd=ssl#q=vodostaj

(7) https://www.google.hr/search?q=hidrogram&biw=1455&bih=726&source=lnms&tbm=isch&sa=X&sqi=2&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMIjv263YGxxwIVxO8UCh3RHwHJ

(8) https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/HG_2014_pred1.pdf

(9) H. Hrelja, Inženjerska HIDROLOGIJA, Sarajevo, 2007.

(10) P. Stojić, Hidrotehničke građevine, Split 1995.

(11) R. Žugaj Hidrologija za agroekologe, Zagreb 2009.