



УНИВЕРЗИТЕТ “СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ“
ГРАДЕЖЕН ФАКУЛТЕТ-СКОПЈЕ
КАТЕДРА ЗА ХИДРАУЛИКА, ХИДРОЛОГИЈА И УРЕДУВАЊЕ НА ВОДОТЕЦИТЕ



ОСНОВИ НА ХИДРОТЕХНИКА ДЕЛ 6 УРЕДУВАЊЕ НА ВОДОТЕЦИТЕ

Библиографија

Проф. Д-р. Ж. Шоклевски,
Уредување на водотеците,
Универзитет “Св.Кирил и Методиј”,
Скопје, 1986

СОДРЖИНА

1. ЗАДАЧА И ЦЕЛ
2. НАЧИН НА УРЕДУВАЊЕ НА ВОДОТЕЦИТЕ
3. РЕЧНА МОРФОЛОГИЈА
 - 3.1 Основни поими и дефиниции
 - 3.2 Формирање на речно корито и речна долина
4. ХИДРОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА РЕЧНИОТ СЛИВ
 - 4.1 Воден режим на природните водотеци
 - 4.2 Режим на наносот
5. ПРОЕКТИРАЊЕ НА РЕГУЛАЦИИТЕ НА РЕКИ
 - 5.1 Потребни подлоги за уредување на водотеците
 - 5.2 Избор на елементи на регулацијата
 - 5.2.1 Водење на трасата
 - 5.2.2 Надолжен профил на регулацијата
 - 5.2.3 Попречен профил
- 6 МАТРИЈАЛИ КОИ СЕ УПОТРЕБУВААТ ЗА РЕГУЛИРАЊЕ НА ВОДОТЕЦИТЕ

1. ЗАДАЧА И ЦЕЛ

Луѓето од секогаш тежнеле водата да ја прилагодат до своите потреби. Со изградбата на првите населени места кои главно се градени покрај водотеците, датираат и првите градби за користење на водата и за одбрана од агресивното и неповолно влијание на водата. Со напредокот на човештвото и појавата на поголеми населби и индустриски комплекси, расте и потребата за водата, но и потребата за заштита на луѓето и на материјалните добра од негативното влијание на водата.

Целта на уредување на речните корита е да ги проучи негативните и позитивните влијанија на реките врз својата околина и да превзема такви водостопански мерки со кои во максимална мера би се користеле позитивните својства на водотеците и истовремено би се ограничиле или елиминирале негативните влијанија на реките.

Со уредување на речните корита се постигнува следното:

- 1) стабилизирање на речното корито, спречување или намалување на ерозивните процеси,
- 2) заштита на околните површини од поплавување,
- 3) регулирање на нивото на подземните води,
- 4) концентрација на малите води во речното корито со што се подобруваат еколошките и естетските услови,
- 5) користење на речното корито за пловидба,
- 6) користење на реката за енергетски цели.

Уредувањето на водотеците мора да водат кон единствена цел, а тоа е да со комплексно и единствено решение се постигнат максимални придобивки за луѓето и стопанството. Со парцијални решенија можат да се донесат подобрувања во речното корито и добивки во зоната на регулираната делница, но со тоа и да се појават или зголемат негативните влијанија во поширокото подрачје, што секако не е конечна цел.

Уредувањето на водотеците се вбројува во поголемите зафати во градежништвото, како по обемот на работите така и по чинењето. Нивната реализација ќе најде економска оправданост само доколку објектот е со повеќенаменски карактер (заштита од големи води, енергетско искористување, мелиорации, пловност и др.).

2. НАЧИН НА УРЕДУВАЊЕ НА ВОДОТЕЦИТЕ

Техничките мерки кои се превземаат со цел да се намалат негативните влијанија на водотеците може да се поделат во два дела:

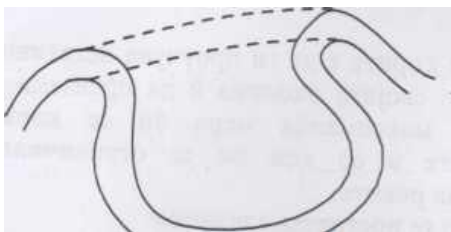
- Технички мерки (интервенции) кои се превземаат во сливот на реката,
- Технички мерки со речното корито.

Со техничките мерки кои се изведуваат во речното корито се врши регулирање на речното корито (морфолошки) и се подобруваат хидрауличките карактеристики на текот. Генерално овие мерки се насочени кон следниве активности:

- Исправување на трасата со цел да се избегнат меандрите и да се зголеми падот на реката,
- Продлабочување и проширување на речното корито (прочистување на

речното корито и дефинирање на надолжниот пад и форма и димензии на попречниот профил), со што се намалуваат енергетските загуби, се зголемува брзината и пропусната способност на реката,

- Стабилизирање на дното и косините на коритото, се постигнува со изградба на стабилизациони прагови и успорни објекти. Со помош на таквите објекти се концентрира кинетичката енергија на реката и се заштитува речното корито од ерозија,
- Заштита од големи води, изградба на заштитни насипи со цел да се заштити одредено подрачје.



Слика 2.1-Исправање на трасата



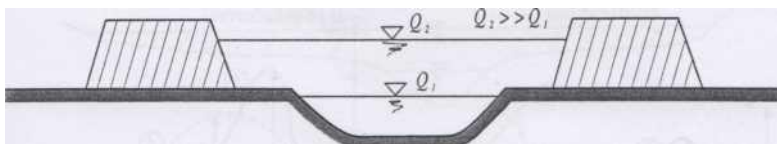
Слика 2.2-Дефинирање на наклон на реката



Слика 2.3-Дефинирање на форма и големина на попречниот профил на реката



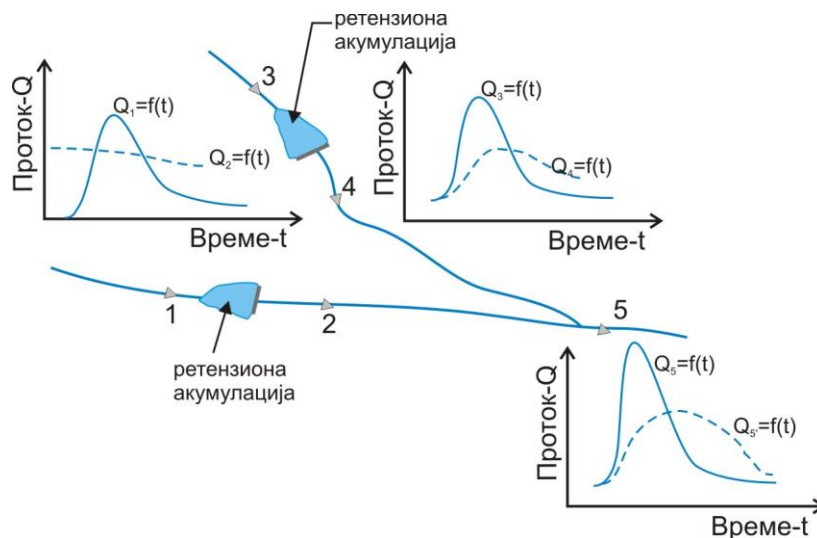
Слика 2.4-Стабилизационен праг и успорен објект



Слика 2.5-Заштитни насипи

Со техничките мерки во речниот слив може да се изврши регулирање на водниот режим во речното корито (намалување на големите води, зголемување на малите води, намалување на продукцијата и транспортирањето на наносот). Мерки кои се превземаат во сливот се:

- Пошумување на сливот. Со пошумувањето се задржува количина од паднатата вода, се продолжува времето на истекување и значително се намалуваат големите води. Вегетацијата ја заштитува почвата од ерозија и на тој начин се намалуваат количините на нанос во речното корито.
- Уредување на поројните реки и ерозивни површини во сливот.
- Изградба на повеќенаменски акумулации и посебно акумулации со намена за заштита од големите води. Акумулациите го менуваат режимот на протекот во речните корита и на тој начин многу допринесуваат за стабилизација на речните корита и за заштита од големите води.



Слика 2.6-Влијание на акумулациите врз хидрограмот на истекување

3. РЕЧНА МОРФОЛОГИЈА

3.1 Основни поими и дефиниции

Речна мрежа е систем на природни корита низ кои се врши одведување на површинската вода и се транспортира еродираниот материјал од сливот на реката.

Речно корито е простор ограничен со речните брегови и речното дно.

Минор корито (основно корито) е основното корито во кое постојано тече вода.

Инундацијата е странично поставено корито (лево и/или десно од минор коритото) и е дел од речното корито кое во најголемиот дел од годината не тече вода. Имено истото се користи за прифаќање на големите води за да не дојде до поплавување на околниот терен.

Лев/десен брег е брегот кој ни останува на лева односно десна страна ако гледаме во правец на течението на реката.

Површина на живиот пресек- A [m^2] е површината на попречниот пресек на речното корито исполнето со вода.

Надолжен пад на речното корито- S [m/m] е висинската разлика на дното на речното корито по единица должина ($\Delta H/L$).

Длабочина - h [m] е вертикално растојание меѓу речното дно и нивото на водата.

Средна длабочина - h_{sr} [m] на профилот е длабочината која би имала правоаголно корито со ширина еднаква на широчината на водното огледало и иста површина A .

3.2 Формирање на речно корито и речна долина

Течењето на водата по земјината површина, настанува под влијание на земјината гравитација, а се одвива по најниските места на теренот, односно каде има најголем пад.

Надолжниот профил на реката под влијание на ерозијата, транспортирањето и таложењето на материјалот постојано се менува и тежи кон воспоставување рамнотежа меѓу енергијата на водата изразена преку падот и

кличината на протечната вода, отпорот на средината и количината на транспортираниот нанос. За следење на промените на речното корито, треба да се вршат геодетски снимања и тоа ситуациони и висински во определени временски интервали. Преку компарации на надолжниот профил и попречните пресеци во две или повеќе последователни мерења може да се согледаат настанатите промени во речното корито.

Тенденцијата на промените на надолжниот профил на една река е покажана на Слика 3.1. Истите може да се разгледуваат како промени во горниот, средниот и долниот дел од реката.

I Горен дел - Поради големиот пад на теренот и големата енергија, во горниот дел од реката е присутна интензивна длабинска ерозија. Попречниот пресек на коритото ќе се развива како што е покажано на Слика 3.2. По достигнување на одредена длабочина, престанува длабинската ерозија и се активира страничната ерозија и речната долина се проширува. Со таложење на наносот во дното во долината се формираат тераси.

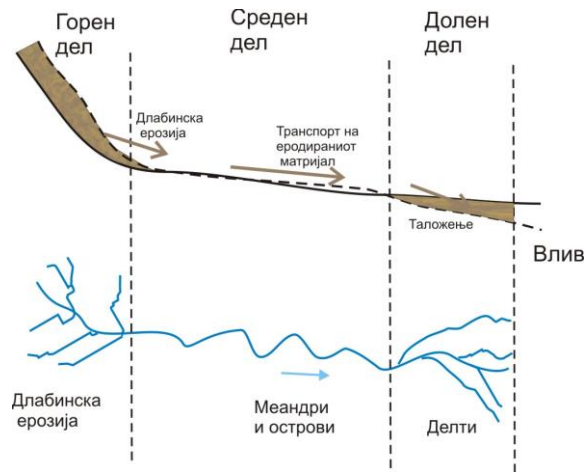
II Среден дел - Овде преовладува транспортирање на наносот и странична ерозија на реката и се јавува меандрирање на речното корито.

Водата под влијание на центрифугалните сили во кривините се движи кон надворешниот брег каде се “одбива” и низводно се враќа кон спротивниот брег. Ваквиот начин на течењето предизвикува ерозија кај надворешниот брег и таложење кај внатрешниот брег. Реката има тенденција хоризонтално да го менува коритото, Слика 3.3. Како во самата меандра така и при преминот во нова меандра попречниот пресек добива специфични форми кои се во функција од неговата локација. Во средината на меандрата попречниот пресекот А-А е со неправилна форма, со продлабочено корито и стрмен брег на конкавниот дел од меандрата и релативно мала длабочина и брег со благ наклон на конвексниот дел. Одејќи кон крајот на меандрата попречниот пресек постепено ја менува својата форма, намалувајќи ја длабочината на конкавниот брег, а продлабочувајќи го конвексниот дел од пресекот прикажана во пресек Б-Б, за да на крајот се формира приближно симетрична форма В-В. При оформувањето на наредната меандра процесот постепено се поместува на спротивната страна од речното корито, со постепен премин Г-Г и со слични форми во средината на меандрата како и на претходната, но од спротивната страна.

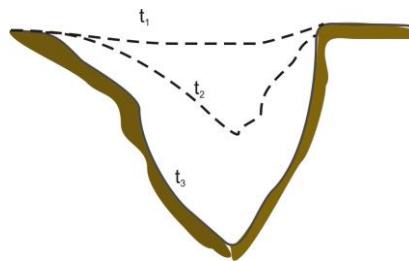
III Долен дел - Поради малиот пад на реката настанува интензивно таложење на наносот по големина. Реките кои носат големи количества на нанос при вливот во морињата или езерата формираат делти. Плимата и осеката на морето, придонесува наносот од реките да навлегува длабоко во морето.

Формите на попречните пресеци опишани погоре се од променлив карактер и се во зависност од севкупните промени во текот. Во различе временски интервал еден ист профил постојано ги менува своите димензии (длабочината, ширината и обликот).

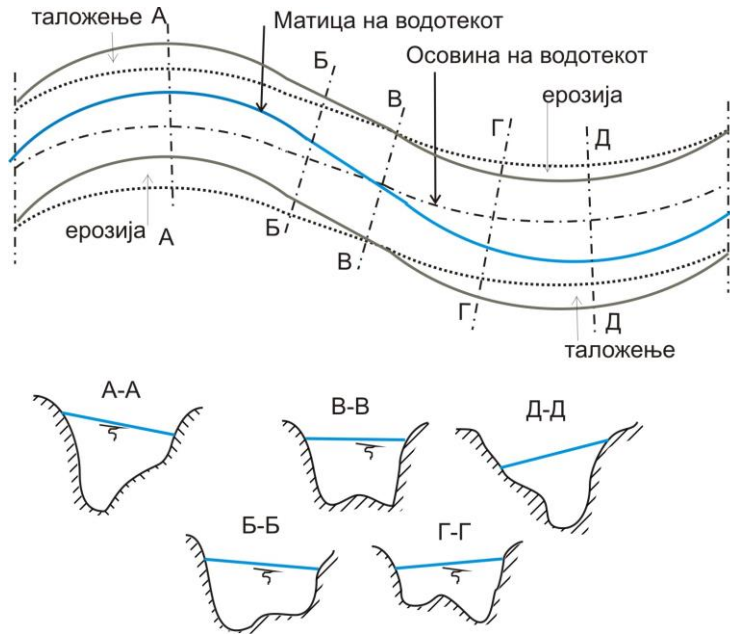
За следење на промените на речното корито, треба да се вршат геодетски снимања и тоа ситуациони и висински во определени временски интервали. Преку компарации на надолжниот профил и попречните пресеци во две или повеќе последователни мерења може да се согледаат настанатите промени во речното корито, Слика 3.4.



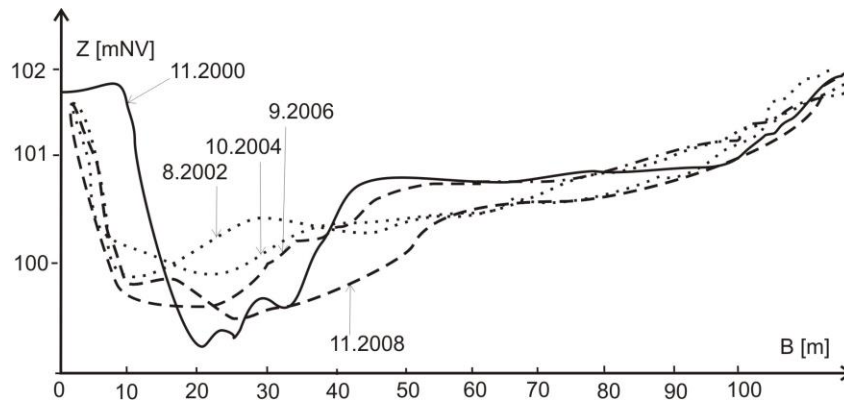
Слика 3.1-Промени на речното корито во надолжен профил



Слика 3.2-Промени на речното корито во горниот дел во попречни пресеци



Слика 3.3-Хоризонтални промени на речното корито во ситуација и во попречни пресеци



Слика 3.4-Следење на промените на попречен профил

4. ХИДРОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА РЕЧНИОТ СЛИВ

Во овој дел ќе се споменат основните делови од хидрологијата кои се битни за уредување на водотеците, без да се навлегува во проблемите, дефиниции и методологии кои се изучуваат во Хидрологијата.

Целта и задачата на Хидрологијата е да ги собира и обработува хидролошките податоци (со набљудување и мерење на истите), да врши анализа на хидролошките податоци и да ги прикаже резултатите од таа анализа на соодветен начин, да истите се искористат во инженерството и во праксата.

Во текот на проектирање на регулација на речното корито потребни се информации за водниот режим на природниот водотек и податоци за режимот на наносот во речното корито и во речниот слив.

4.1 Воден режим на природните водотеци

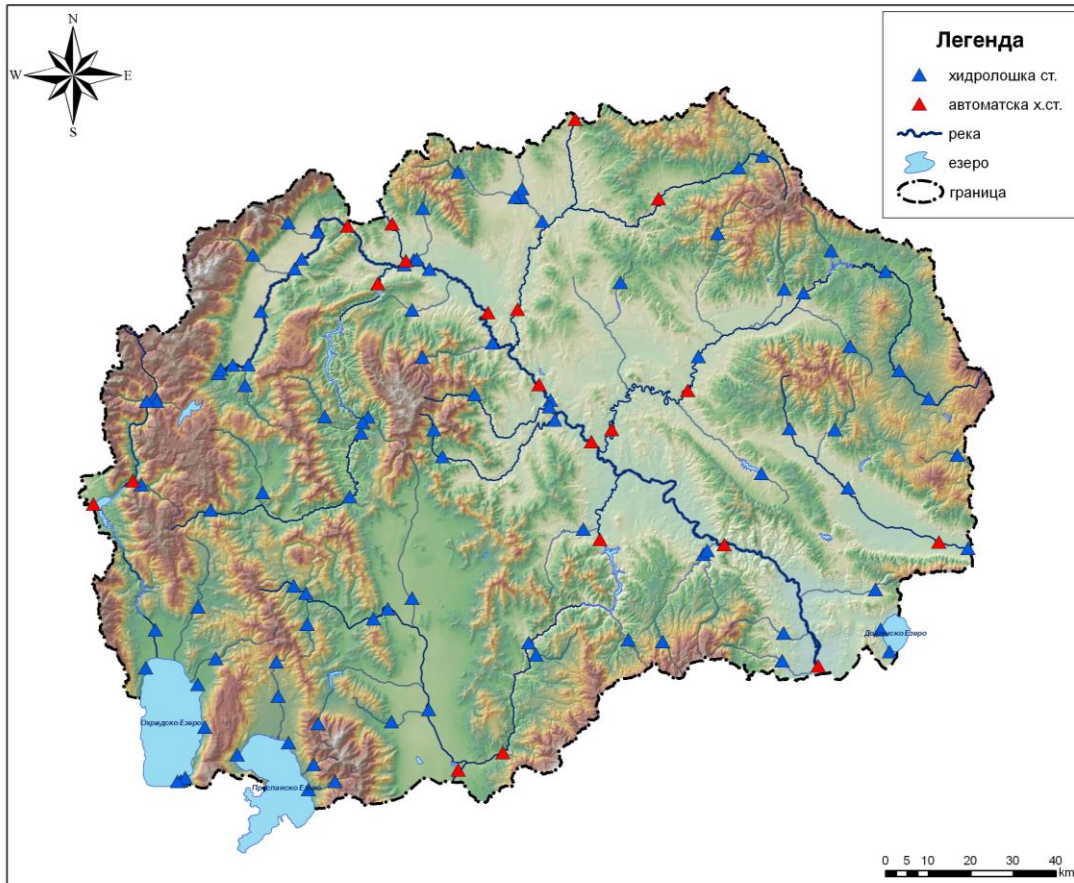
Под режим на водотеците се подразбира процесот на формирање и истекување на водата низ речната мрежа, односно претставува временска и просторна распределба на водата. Истиот се опишува со податоци за промената на количината на вода $Q=f(x,y,t)$ и со промената на нивото/водостојот h [cm] на водата во речното корито $h=f(x,y,t)$.

Ако станува збор за изучен речен слив и речно корито, податоците за водниот режим на речното корито се добиваат со мерења на водомерна станица (хидрограм $Q=f(x,y,t)$ и нивограм $h=f(x,y,t)$).

Кај неизучените речни сливови податоци за водниот режим се добиваат индиректно од мерени податоци за врнежите и податоци за физичките карактеристики на сливот (за определување на хидрограмот на истекување $Q=f(x,y,t)$) и користење на хидраулички пресметки за определување на нивограмот на речното корито ($h=f(x,y,t)$). Методите кои се користат за определување на потребните податоци се дискутирани во дисциплините Хидрологија (методи за определување на хидрограмот на истекување- Рационална метода, метод на синтетички хидрограм, SCS метод и сл.) и Хидрауликата (за определување на нивограмот – дефинирање на нивото на водата во стационарни и нестационарни услови на текот и формирање на крива на протек за речното корито со примена на добро познатите методи од хидрауликата)

Изучен речен слив

Кај изучените сливови со воспоставени мерни места како дел од постојната мерна мрежа постојат доволен број на податоци за да може да се анализира водниот режим на водотеците. По правило водомерните станици се поставуваат на сите поголеми водотеци и на помалите каде има потреба од нив. На сликата 4.1 е прикажана мрежата од водомерни станици опремени со водомерни летви и лимнографи и распоредот на автоматски станици во Р.Македонија.



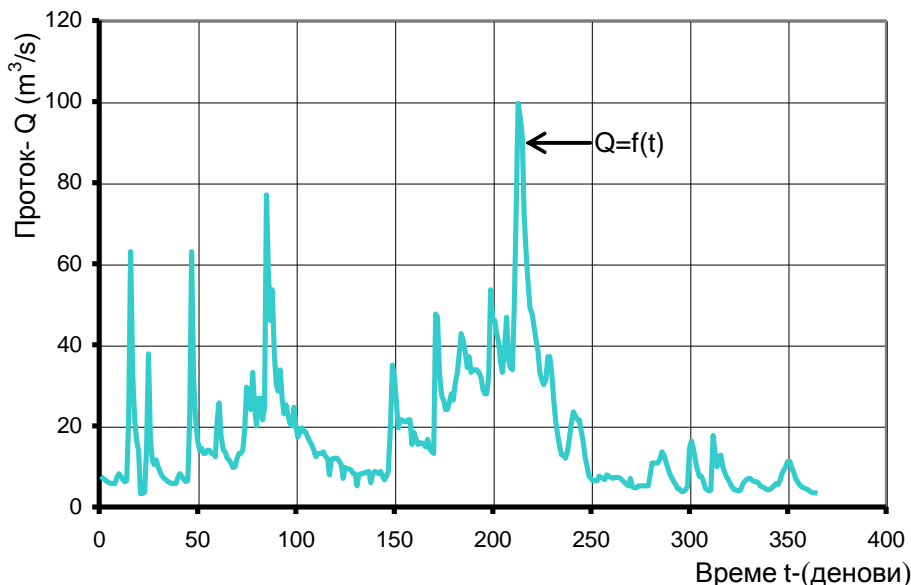
Слика 4.1- Мрежа од водомерни станици во Р. Македонија

Врз основа на измерените податоци за водостојот и протокот и со нивна обработка може да се добијат следните типови на податоци:

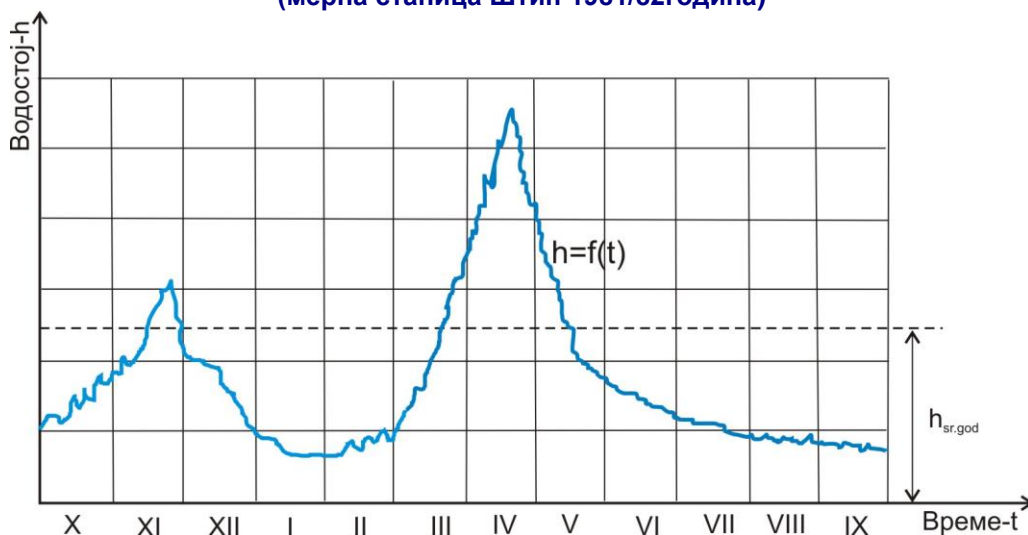
- Мерени вредности,
- Статистички обработени податоци (основна хидролошка анализа) и
- Прогнозирани податоци.

Кога станува збор за **мерените податоци** како карактеристични големи се издвојуваат и анализираат само оние податоци кои ја карактеризираат водомерната станица или податоци кои се од интерес на истражувањата, на пример: најмала измерена вредност на водостојот/протекот во одреден временски период или највисока измерена вредност на водостојот/протекот во одреден временски период. На сликата 4.2 е прикажан хидрограм на среднодневни протекувања во реката Бреѓалица формиран од мерени вредности во период од 1981/82 година. На сликата 4.3 е прикажан теоретски облик на нивограм $h=f(t)$, од

кој може да се забележат промените на нивото на водата во реката, може да се определат периодите на голема вода, периодот на суша, средната вредност на нивото на водата во реката и сл..

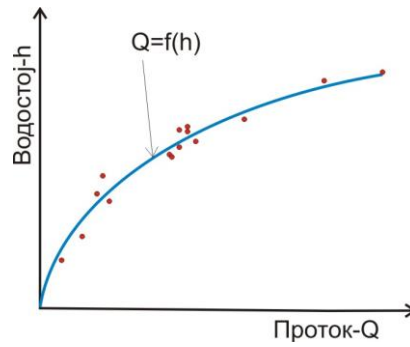


Слика 4.2-Хидрограм на среднодневни протекувања за река Брегалница (мерна станица Штип 1981/82година)



Слика 4.3-Нивограм $h=f(t)$

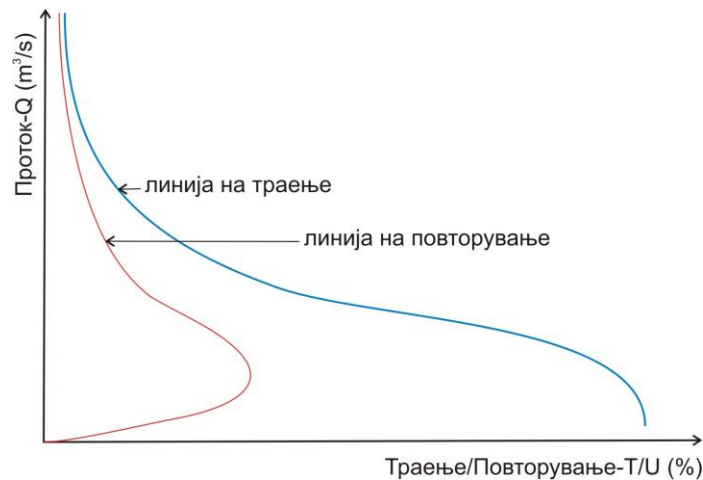
Од нивограмот со помош на кривата на протек се конструира хидрограмот. Кривата на протек или консумпционата крива (слика 4.4) се формира за воспоставениот мерен профил врз основа на мерени вредности на нивото и протекот. Кривата на протек од практични причини се користи за формирање на хидрограмот како помошен график, бидејќи поедноставно е да се измерат водостоите во речното корито (отчитување на мерна летва) за разлика од протекот. Имено мерењето на протекот се спроведува само во одредени периоди, при различни водостои и се добиваат поголем број на точки (црвените точки) кои служат за да се повлече теоретска крива на протек која ја дефинира зависноста на нивото и протекот $Q=f(h)$.



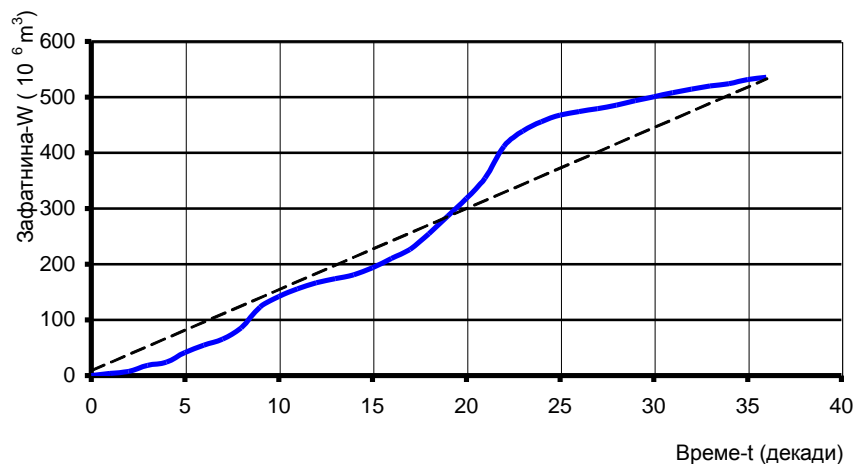
Слика 4.4-Крива на протек

Статистичката обработка на податоците дава важни параметри врз основа на кои се отценува хидролошката слика на водотекот, врз основа на која пак во иднина ќе се проектираат објектите од регулацијата на реката. Статистичките податоци може да се поделат во три групи:

- Карактеристични вредности на водостојот/протокот (средни вредности, екстремни вредности-максимални или минимални),
- Крива на траење и повторување на водостојот и протокот,
- Сумарна крива на волуменот.



Слика 4.5-Крива на траење/повторување



Слика 4.6-Сумарна крива на волуменот

Неизучени сливови

Во сливовите каде нема воспоставени мерни станици за мерење водостојот и/или протекот на водотеците се употребуваат соодветни методи за определување на максималниот проток со одреден повратен период врз основа на мерените вредности на врнежите во сливот и физичко географските карактеристики на сливот. Мрежата на дождемерни станици е погуста за разлика од мрежата на водомерните станици. Главно станува збор за помали сливови со површина до 50 km².

Методите кои се користат за определување на максималниот проток со одреден повратен период се дискутирани во дисциплината Хидрологија. Кај нас начесто се употребуваат следните методи:

- Рационална метода,
- Метод на синтетички хидрограм,
- SCS метод.

Меродавни големи води

Големината на меродавната вода од која треба да се заштитува одредено подрачје или објект, зависи од хидролошкиот режим на протекот, од вредноста на подрачјето кое треба да се штити, од височината на инвестициите кои се вложуваат во проектот за уредување на водотекот и од степенот на сигурност односно превземениот ризик.

Меродавните големи води кои се усвојуваат за димензионирање на објектите и заштита од големите води се наведени во Табела 4.1.

Табела 4.1

Тип на површината која се штити од голема вода	Повратен период на максимални води Т [години]
големи населби (загрозени човечки животи)	500÷10000
населби од помал значај	100÷200
значајни индустриски објекти	100÷500
објекти со помало значење	50÷100
земјоделски површини со интензивно користење	20÷50
земјоделски површини со нормално користење	10÷15
ливади и пасишта	1

4.2 Режим на наносот

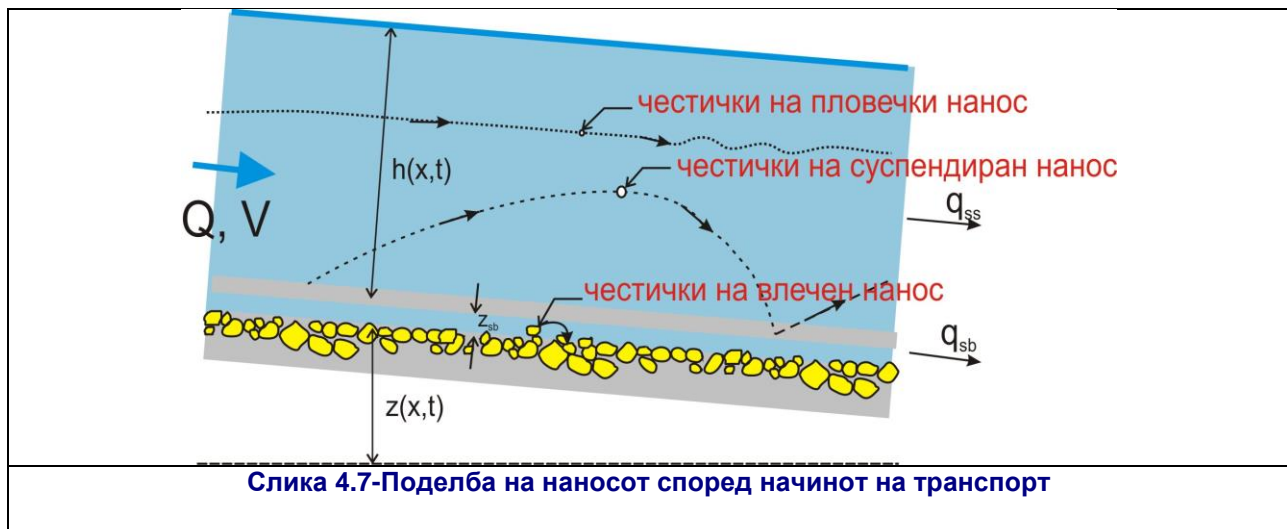
Режим на наносот претставува просторна и временска распределба на наносот, земајќи во предвид начинот на настанување, проносот на нанос и неговото исталожување. Наносот во речните корита е продукт на површинската ерозија во целиот слив и во самото речно корито. После распаѓање на земјината површина (под влијание на надворешните дејства: вода, ветер, мраз или живи организми), одделни честици поради гравитацијата се транспортираат прво во малите потоци, поројни реки и најпосле во речното корито. Според начинот на создавање може да се дискутира за механичка и хемиска ерозија. Механичката

ерозија опфаќа вода, ветер, сонце, мраз, природни катастрофи како земјотрес и ерозија на бреговите од дејство на бранови. Хемиската ерозија настанува како резултат на киселите дождови, употреба на ѓубрива и сл.

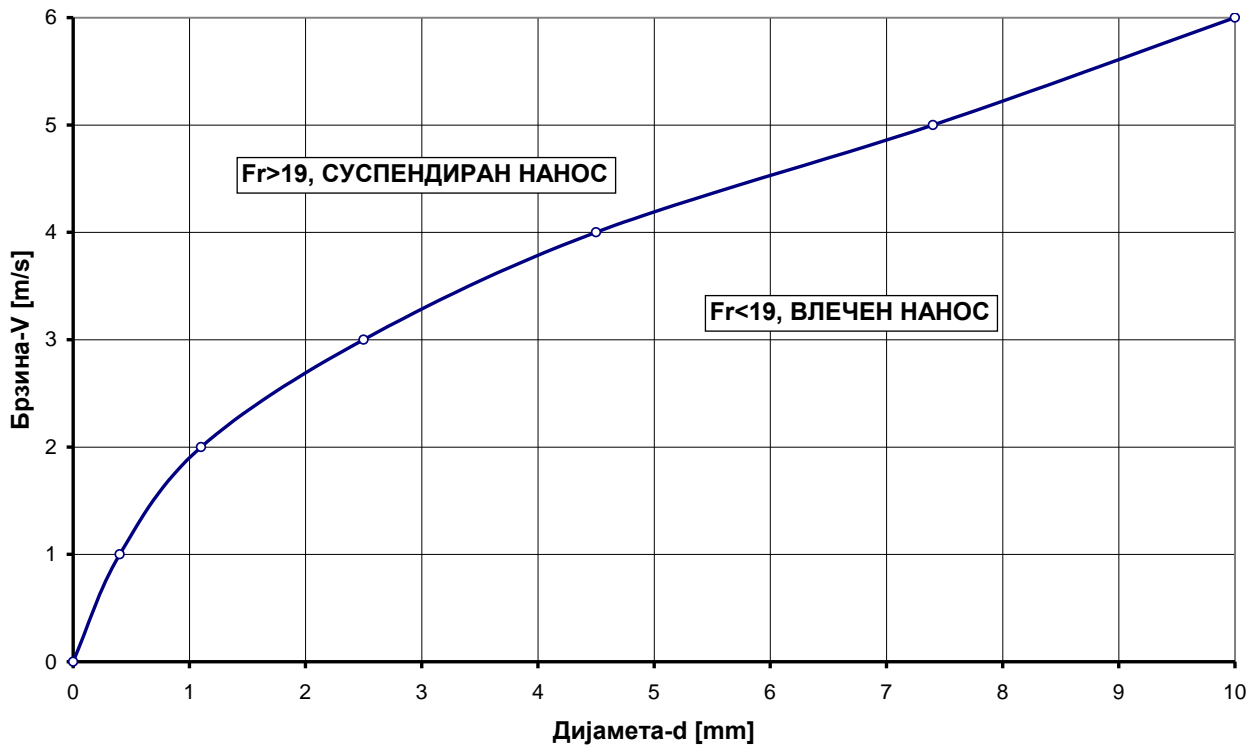
Ерозијата во речниот слив е природен процес, но често истиот е зголемен заради користење на земјиштето од страна на човекот. Лоши практики на управување со природните ресурси и користење на земјиштето доведуваат до зголемување на процесот на ерозија, пр. неконтролирање сечење на шумите, прекумерно искористување на пасиштата, неконтролирани градежни работи и сл.. Под дејство на влечната сила на водата, наносот се транспортира низ речните корита и се врши при тоа природна селекција. Познавањето на законитоста на движењето на наносот во речните корита е основен услов за морфолошки проучувања на реките и за формирање на стабилно речно корито.

Во зависност од начинот на транспортирање наносот може да се подели на:

- **Влечен нанос**-покрупни честички кои при транспортот остануваат во контакт со дното на речното коритом,
- **Суспендиран нанос**-помали честички кои повремено се во контакт со дното на речното корито, а се транспортираат правејќи поголеми скокови. Овде може да се вклучи и **лебдечкиот или пловечки нанос**- фини честички кои скоро никогаш не се во контакт со дното и трајно остануваат да пловат во текот.



Поделбата на честичките кои се транспортираат како суспендирани или влечен нанос е тешко да се направи според големината на честичките, бидејќи зависно од транспортната моќ на речниот тек исти честички во различни услови може да бидат суспендиран нанос или влечен нанос. Критериум за оваа поделба се зема вредноста на Фрудовиот број. Имено ако $Fr > 19$ станува збор за суспендиран нанос, а ако $Fr \leq 19$ наносот е влечен. На слика 18 е графички прикажана оваа поделба во ϕ -ја од брзината на текот и дијаметарот на честичките. Така на пример ако брзината на текот е 2 m/s честичка со дијаметар 2 mm е влечен нанос, но ако брзината на текот е 3 m/s истата честичка ќе биде суспендиран нанос.



Слика 4.8-Поделба на наносот според транспортната моќ на речниот тек

Суспендиран нанос

Овој вид на нанос е составен од цврсти честици со многу мал дијаметар на зрната и истиот се движи заедно со водата во суспендирана-лебдечка состојба. Мерило за количината на суспендираниот нанос е матноста на водата, која се дефинира како тежинска количина на цврсти честици во единица волумен на водата:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{gr}/\text{m}^3; \text{kg}/\text{m}^3] \quad 4.1$$

Суспендираниот нанос со своето таложеење на несакани места претставува сериозни проблеми особено кај акумулациите, зафатите за вода за водоснабдување и наводнување и кај другите хидротехнички објекти. Суспендираниот нанос се користи за колмација (насипување) на ниските површини покрај реките.

Потеклото на суспендираниот нанос е претежно од испирање на речниот слив и е мерило за ерозивните процеси и состојбата во речниот слив.

Влечен нанос

Поради крутоста на зрната на наносот, неговото движење се одвива по речното дно. Мерењето на влечниот нанос е прилично тешко и комплицирано, но постои функционална зависност меѓу карактеристиките на наносот, водниот ток и количината на транспортираниот нанос.

Потеклото на влечниот нанос е претежно од речните корита и поради тоа има големо значење како показател за состојбите и промените во речното корито. Влечниот нанос е од посебно интересирање во врска со изградба на регулациите, изградба на хидротехнички објекти, премостување на водотеците и друго.

Основни карактеристики на наносот се:

- големина на зрната, се карактеризира со $d_{50\%}$,
- гранулометриски состав на наносот се карактеризира со гранулометриска крива,
- форма на зрната,
- специфична односно зафатнинска тежина.

Според големината на средниот дијаметар разликуваме:

- Мил: $5 \cdot 10^{-3} \text{ mm} < d < 64 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$
- Песок: $64 \cdot 10^{-3} \text{ mm} < d < 2,0 \text{ mm}$
- Чакал: $d > 2,0 \text{ mm}$

Специфична зафатнинска тежина на наносот се движи $22000 < \gamma_s < 2800$. Најчесто се зема како средна вредност 26500 N/m^3 .

Движењето на наносот настанува под дејство на влечните сили на водниот тек која преставува компонента од сопствената тежина. Големината на влечната сила зависи од падот на водното ниво и од длабочината на водата:

$$\tau = \rho_v \cdot g \cdot h \cdot S_f \quad [\text{N/m}^3] \quad 4.2$$

За да се воведо наносот во движење, потребно е да се совладаат отпорите. Влечната сила при која почнува движењето на наносот ја дефинира граничната влечна сила. Соодветните длабочина и брзина на водата при тие услови се викаат гранична длабочина и гранична брзина. Големината на граничната влечна сила зависи само од карактеристиките на наносот и според Шилдс таа изнесува:

$$\tau_{gr} = 0.054 \cdot (\rho_s - \rho_v) \cdot g \cdot d_{50\%} \quad [\text{N/m}^3] \quad 4.3$$

Ако се споредат меѓу себе граничната влечна сила и влечната сила на водниот тек може да настанат следните случаи:

$\tau < \tau_{gr}$ -наносот мирува, речното корито е стабилно,

$\tau = \tau_{gr}$ -наносот е во лабилна состојба,

$\tau > \tau_{gr}$ -наносот е во движење, речното корито не е стабилно.

Со зголемување на разликата $\tau - \tau_{gr}$ -се зголемува опасноста од ерозија на речното корито.

Ерозија на речното корито

Ерозија на речното корито настанува заради големата влечна сила и заради промена на правецот на течењето. Со пораст на влечната сила најзагрозени места се речните брегови и речното дно. Речните брегови се обезбедуваат со укрепувања или со засад на вегетацијата. Речното дно се обезбедува со прагови, каскади или во исклучителни случаи со целосна заштита од калдрма, бетон или нафрлан камен.

Ерозијата од промените на правецот на течењето настануваат во кривините и кај препреките во речното корито. Локалните ерозии можат да достигнат големи вредности и претставуваат голема опасност особено за објектите.

Ерозија во кривините - Длабочината на ерозијата кај надворешниот брег зависи многу од големината на радиусот на кривината. Со смалување на радиусот треба да се зголемува длабочината на фундаирањето на укрепувањето на брегот.

Ерозија на објектите - Под влијание на турбуленцијата или вртложни течења, кај објектите кои се наоѓаат во речното корито настанува локална ерозија која може да достигне големи размери. Од овој вид на ерозија се браниме со

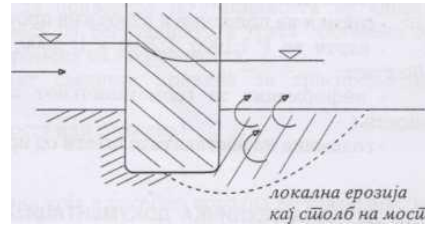
масивна заштита на речното дно и со оформување на поволен хидраулички облик на препреките.



Слика 4.9-Ерозија на речното корито кај кривини



Слика 4.10-Ерозија низводно од каскада



Слика 4.11-Локална ерозија кај столб на мост