

5. ПРОЕКТИРАЊЕ НА РЕГУЛАЦИИТЕ НА РЕКИ

Регулацијата на водотеците како градежен објект е многу едноставен, меѓутоа многу комплицирано е правилното определување на основните параметри на објектот (падот на реката, попречниот и подолжниот профил). Со оглед на режимот на протекот и наносот во речното корито, ако правилно се определуваат параметрите и диспозицијата на објектот, тогаш регулацијата претставува економски оптимално решение и временски траен објект.

Студијата за уредување на водотекот ги има следните задачи:

- да ја проучи врската на регулацијата со другите водостопански објекти во речниот слив и да дефинира оптимален меѓусебен однос,
- да го проучи хидролошкиот режим на протекот и можностите за негово регулирање,
- да го проучи движењето на водата и наносот во речното корито,
- да ги проучи морфолошките процеси на реката и ја дефинира најповолната траса,
- да согледа повеќе варијантни решенија и да избере најповолна варијанта за уредување на водотекот,
- да го дефинира попречниот профил и висинската диспозиција на регулацијата, главните објекти и укрепувањето,
- да изврши економска анализа за чинењето и добивката од регулацијата.

5.1 Потребни подлоги за уредување на водотеците

За изработка на претходната студија се потребни следните подлоги:

- Топографски подлоги,
- Хидролошки подлоги,
- Морфолошки подлоги,
- Псалмолошки подлоги,
- Хидраулички подлоги,
- Податоци за вегетацијата во речното корито
- Податоци за позајмишта на материјали за изградба на регулацијата

Топографски подлоги, преставуваат основни подлоги при проектирањето и истите треба да бидат прегледни и детални. Поширокото запознавање со водотекот кој е предмет на уредувањето ќе се оствари од прегледна карта во размер $1:25000$ ($1:50000$ до $1:100000$), од каде можат да се согледаат карактеристиките на сливот (местоположба, форма, големина, висинска застапеност и др.). За превземање на конкретни активности на уредувањето на водотекот потребни се ситуации во размер од $1:1000$ до $1:5000$ со доволен број податоци за дефинирање на комплетната висинска престава. Не секогаш овие подлоги (постојните ситуации) се идентични со стварната состојба, па е неопходно истите да се потврдат на терен, и ако има потреба да се дополнат со теренски снимања (геодетски). Дополнителните теренски геодетски снимања се неопходни за утврдување на основните елементи на природното речно корито (широчина, длабочина, форма на попречниот пресек, надолжен пад и др.). Со овие снимања треба да се опфатат и вливовите на помалите водотеци (потоци,

поројници, суводолици), но и на сите други објекти кои се среќаваат долж регулацијата. Детални снимања се спроведуваат и во делови од водотекот каде се предвидени идните објекти на регулацијата како што се каскадните прагови, слапишта, праговите за зацврстување на текот, евентуални зафатни градби, а посебно во зоните околу мостовските столбови. Врз основа на снимените податоци се изготвуваат детални ситуации кои се основа за успешно решение. Во зависност од зачестените промени во природниот водотек се врши снимање на попречни пресеци на растојанија од 25 m, 50 m или 100 m. Сите горе спомнати геодетски мерења се врзани на основната геодетска мрежа.

Хидролошки подлоги, Врз основа на податоците добиени со долгогодишни следења на водотеците и нивна обработка, добиени се основните показатели кои ќе бидат меродавни при определување на елементите и формите на регулираното речно корито. Критериумите за избор на меродавните хидролошки параметри при проектирањето на регулацијата, односно изборот на максимална голема вода, се во директна зависност од степенот на заштитата која се предвидува. Степенот на заштита пак е во непосредна зависност од видот на заштитата која се спроведува, односно што е цел на заштитата-населено место, индустриски комплекс, земјоделски површини и др., а за кои ориентациони показатели се дадени во Табела 5.1.

Табела 5.1

| Објект | период на повторување T [години] | веројатност на појавата p [%] |
|--|--|--|
| Ободни канали | 10 | 10 |
| Притоки на главни водотеци | 20 | 5 |
| за делници при помали населби и индустрија | 100 | 1 |
| за делници при поголеми населби и индустрија | 1000 | 0.1 |

Морфолошки подлоги, претставуваат снимените речните профили во разни фази од развојот на речното корито. Со овие снимања треба да биде опфатен што е можно подолг временски период и за различни хидролошки услови, а особено екстремните (период на поплави). Морфолошките проучувања треба да ги опфатат процесите на проширувања во речното корито, процесите на меандрирања на текот, како и процесите на формирање на ракавци во текот. Истите се неопходни при дефинирање на новопроектираната траса на водотекот, изборот на попречниот пресек и надолжниот пад.

Псалмолошки подлоги. Успешно изведена регулација не е остварлива без познавање на режимот на наносот, како на влечениот така и на суспендираниот нанос во речниот тек. Истите треба да бидат утврдени (мерени) за повеќе промени на протечните количини во водотекот, како би се добиле зависностите за протекот на влечениот нанос ($G_s = G_s(Q)$) и за суспендираниот нанос ($P_s = P_s(Q)$) во зависност од промените на протекот.

Хидраулички подлоги. Формата и димензиите на регулираното корито ќе се добијат врз основа на хидраулички пресметки за чие извршување секако се

неопходни подлоги, од кои како најважни можеме да ги земеме меродавниот протек, геометријата и формата на природното речно корито, рапавината, наносот. Меродавниот протек кој е основа при дефинирање на максималниот капацитет на регулираното корито се определува од линијата на обезбеденост, а е во функција од предвидениот степен на заштита. За определување на димензиите на минор коритото податоците за протекот кој треба да се евакуира ќе ги обезбедиме исто така од линијата на обезбеденост, но за помал степен на заштита, а потврдени од линијата на траење на протеките (хидролошки подлоги).

Формата на природното речно корито ќе биде обезбедена како дел од топографските подлоги, во форма и обем неопходни за детална хидрауличка анализа (попречни и подолжни пресеци, пад на нивото на водата и др).

Правилно дефинираната рапавина на речното корито е секако клучен фактор во коректната анализа на текот, а истата е изразена преку коефициентот на рапавина (n) или (k_s). Определувањето на коефициентите на рапавина може да биде извршено со непосредни мерења на протечните количини или пак со проценка добиена со перспекција на терен. Непосредните мерења подразбираат добивање на податоци за протечните количини со познати хидрометрички постапка (регистрирање на брзините и пресметка на протечните количини) и определување на коефициентот на рапавина применувајќи соодветна хидрауличка постапка (рамномерно или нерамномерно течење).

Рапавината дефинирана со проценка од терен содржи многу субјективности од проценителот, заради што истиот е неопходно да биде со доволна стручност и искуство. Добиените сознанија од перспекцијата на водотекот се споредуваат и изнаоѓаат слични од литературата објавени во форма на фотографии, а за кои е дефинирана рапавината. Во недостаток на сликовит приказ од литературата, за проценка на рапавината може да користат податоците изнесени во Табела 5.2. Проценката на рапавината може да се изврши и врз основа на анализа на големината и формата на наносот во речното корито преставени во Табела 5.3.

Табела 5.2

| Тип на речно корито | Коеф. на рапавина | |
|--|-------------------|------------|
| | n_{\min} | n_{\max} |
| 1. Рамничарски текови | | |
| - чиста права делница | 0.025 | 0.033 |
| - релативно чиста закривена делница | 0.033 | 0.045 |
| - обрасната делница со кривина | 0.050 | 0.080 |
| - делница со слабо струење со отпори од дрва и корења | 0.075 | 0.150 |
| 2. Планински текови | | |
| - без вегетација, со стрмни брегови и чакал по дното | 0.030 | 0.050 |
| - без вегетација, со стрмни брегови и крупен чакал и камења на дното | 0.040 | 0.070 |
| 3. Големи речни текови | | |
| - чиста права делница | 0.025 | 0.060 |
| - неправилна делница | 0.035 | 0.100 |

| | | |
|--------------------------------|-------|-------|
| 4. Текови со инундација | | |
| - ниска трева | 0.025 | 0.035 |
| - висока трева | 0.030 | 0.050 |
| - ретки грмушки и дрва во зима | 0.035 | 0.060 |
| - ретки грмушки и дрва во лето | 0.040 | 0.080 |
| - густы грмушки во зима | 0.045 | 0.110 |
| - густы грмушки во лето | 0.070 | 0.160 |
| - густа шума | 0.110 | 0.200 |

Табела 5.3

| Услови и форми на речното корито | коефициентот (K_c) |
|---|------------------------|
| Природно и правилно речно корито со цврсто дно | 40 |
| Природно корито со умерен нанос | 33-35 |
| Природно корито обраснато со коров | 33-35 |
| Природно и неправилно речно корито со дно од чакал | 30 |
| природно речно корито со силен пронос на нанос | 28 |
| буици со крупен чакал (20-30 μ m) и мирна состојба на нанос | 25-28 |
| буици со крупен чакал и нанос во движење | 19-22 |

Податоци за вегетацијата во речното корито, вегетацијата има големо влијание врз хидродинамичката слика на текот и стабилноста на речното корито како во минор коритото така и во инундациите. Согледувањата, проценка и опис на вегетацијата во многу ќе помогне при проценка на коефициентот на рапавоста. Правилниот распоред на крупната вегетација делува како моќен зацврстувачки фактор на речното корито, спречувајќи хоризонтални промени на текот-меандрирање. Во зависност од видот, формата и големината, истата може да преставува значаен извор на материјал кој ќе се користи при превземање зафати за заштита на бреговите како во минор така и во мајор коритото.

Податоци за позајмишта на материјали за изградба на регулацијата, Градбите во склоп на уредувањето на водотеците спаѓаат меѓу најголемите и најскапите хидротехнички објекти. Карактеристика на градбите при уредувањето на водотеците е што истите зафаќаат голем обем при изведба на работит, при што се јавува потреба за вградување на големи количини на материјали, било од локално потекло или пак да се донесуваат од друго место. За таа цел неопходно е да се дефинираат идните позајмишта на материјали кои треба да ги задоволат потребните конструктивни и јакосни карактеристики, естетските барања, а при тоа имајќи го во преден план економскиот фактор, односно потребно е да постои економска оправданост за нивната примена.

5.2 Избор на елементи на регулацијата

5.2.1 Водење на трасата

Трасирањето, односно водењето на трасата е основен чекор во секое проектирање на регулација на река. Со оваа постапка се определува линија на новото речно корито и не претставува произволен процес туку постојат одредени правила и ограничувања. Користејќи ги сите податоци за основните морфолошки карактеристики на природното речно корито и секако претходните искуства може да се изведе солидна траса на речното корито.

При тоа треба да се води сметка на следното:

- Водењето на трасата секогаш е врзана со изборот на попречниот профил и надолжниот пад на речното корито,
- Правилното водење на трасата е основен предуслов за добро регулиран водотек и за стабилноста на идното регулирано корито,
- Правилата за водење на трасата на мали водотеци ($B < 20\text{ m}$) се различни од правилата за водење на траса на реки ($B > 20\text{ m}$),
- Водењето на трасата го ограничуваат т.н. фиксни точки во кои можеме да ги вброиме: населените места, постоечките патни или железнички премини–мостови, вливови во поголеми водотеци, водниот сообраќај и други.

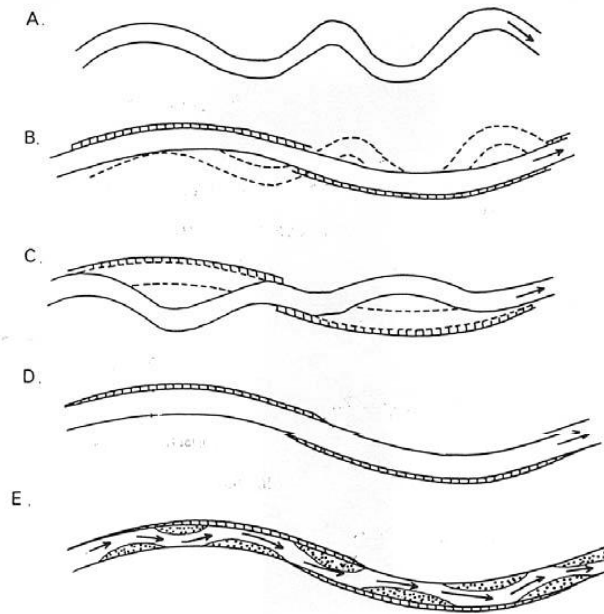
Кога сакаме да направиме регулација на водотек заради одредена намена и цел, не треба да бидеме слепо водени од основната намена, а да се занемарат правилата кои произлегуваат од основните морфолошки карактеристики. Имено ако сакаме да проектираме пловен пат, најповолно е да истрасираме водотек кој ќе биде цело време во правец. Јасно е дека такво решение не е прифатливо од аспект на регулацијата.

Кога се наогаме во ситуација да треба да повлечеме траса на речното корито треба секогаш да имаме во предвид дека природата направила добра работа, односно дека во минатото се создале услови за динамичка и хидрауличка рамнотежа според кои се формирало речното корито на водотекот. Новата траса треба максимално да се прилагоди на постојното корито на водотекот и при тоа да се постигне рамнотежна состојба на наносот како во услови на маловодие така и при максимални протечи. Секое поместување и отстапување од природната состојба може да направи проблеми во периодот на експлоатација. Пример за тоа е покажан на Сликата 5.1.

Во продолжение се дадени основните правила за водење на трасата на речните корита. Треба да се знае дека овие препораки служат за прелиминарни и идејни решенија, додека на ниво на идеен проект треба со математички пресметки и/или на физички модел да се покаже дека избраната траса нема да предизвика несакани промени.

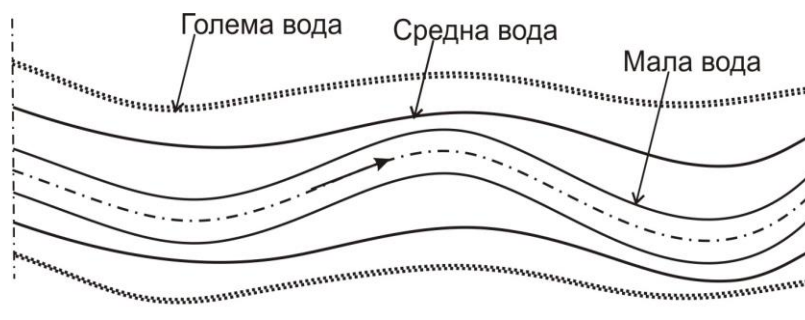
Кај водењето на трасата потребно е да се определат три (односно пет) линии:

- 1) Оска на водотекот,
- 2) Линии на бреговите на водотекот (минор корито и инундации),
- 3) Линии на осовините на насипот.



Слика 5.1- Промени во речното корито како резултат на промена на трасата на природното речно корито, А-природно речно корито, В-регулирано речно корито, С-водотекот создал сопствено корито, D- регулирано корито со нова заштита на бреговите, Е-појава на местимични спрудови, текот формира кривини внатре во речното корито

Уредувањето на водотеците со големи варијации во протечните количини и променливи карактеристики во однос на транспортот на нанос, можат да се изведат со различни регулациони линии (асиметрична форма на мајор во однос на минор коритото), за мали, средни и големи води, (Слика 5.2).



Слика 5.2-Регулациони линии за мали, средни и големи води

Кај малите водотеци (ширина на дното до 20 m) основните правила се сведуваат на следното:

- 1) Трасата на водотекот се поставува во кривини и спротивни кривини со постепена промена на закривеноста и што помали делници во правец,
- 2) Радиусот на кривините (се конструираат претежно кружни кривини) треба да биде $R_{\min} = 5B$,
- 3) Две соседни кривини не смеат да имаат драстично различни радиуси,

- 4) Бреговите се трасираат паралелно на оската на речното корито,
- 5) Оските на насипот се поставуваат така да радиусот на закривеност се зголемува (се ублажуваат кривините).

Водењето на трасата на реки(ширина на дното над 20 m) е нешто посложено, а потребно е да се води сметка на следните препораки:

- 1) Трасата на водотекот се поставува во кривини и спротивни кривини,
- 2) Кривините се конструираат како клотоида и кружна кривина, со тоа што клотоидите се поставуваат на почетокот и на крајот на кривината, а централниот дел се трасира со кружница (кружниот дел не е неопходен),
- 3) Минималниот радиус на кривината е $R_{min} = 5B$,
- 4) Раздалеченоста на кривините треба да биде $8 \div 10 B$,
- 5) Помеѓу две кривини со различна закривеност се вметнува меѓуправец со должина од $2B$.
- 6) Помеѓу две кривини со иста закривеност не се поставува меѓуправец,
- 7) Бреговите на реката се трасираат така да во кривина ширината на речното корито се зголеми за 30% кон надворешната страна на закривеноста. Конкавниот брег од почетокот на меѓуправецот, меѓуправецот и клотоидата линеарно се одалечува од оската се до кружниот дел на кривината. Од внатрешната страна брегот се трасира паралелно на оската.
- 8) Насипот се трасира на начин да се ублажат кривините.

5.2.2 Надолжен профил на регулацијата

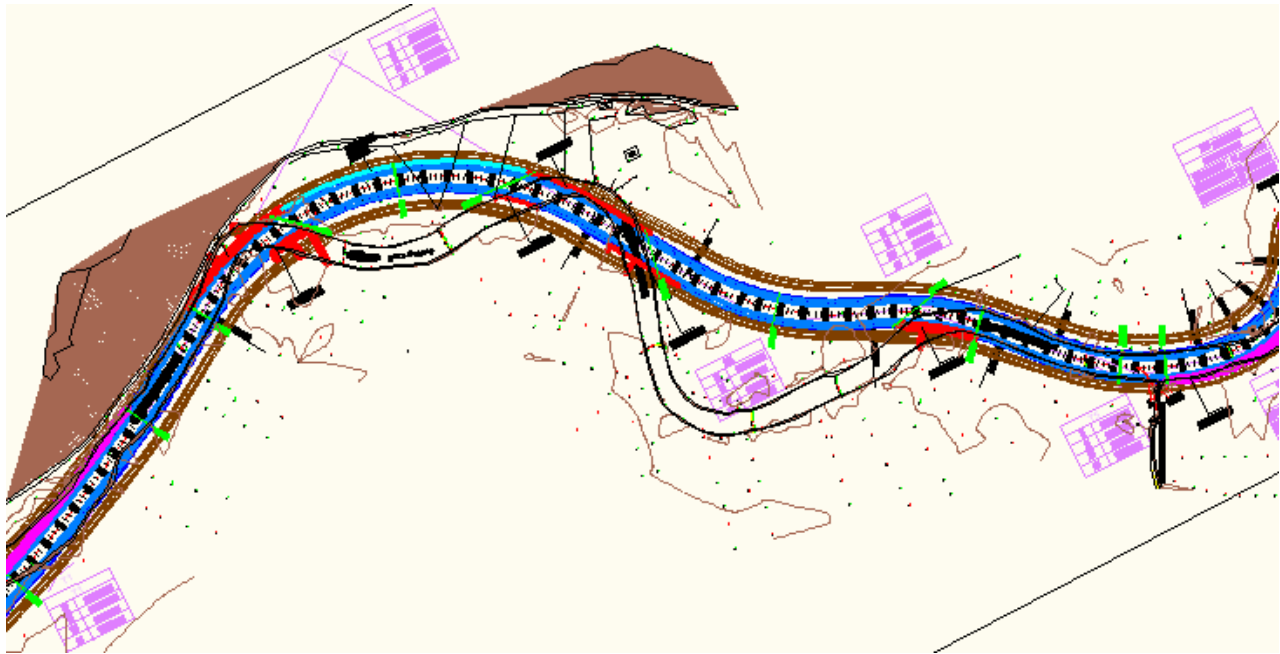
Со надолжниот профил на регулацијата се дефинира падот на реката и висинската диспозиција на објектите во речното корито. Падот на реката ја определува енергијата на водниот ток од која зависи брзината на водата и големината на влечната сила. Со зголемување на падот се зголемува влечната сила поради што се бара и поскапо укрепување на коритото. Истовремено со зголемување на падот се зголемува брзината на водниот ток и се смалува попречниот профил и земјаните работи од формирање на коритото. Од тука произлегува постоењето на оптимален пад од економска гледна точка.

Надолжниот пад на реката зависи од:

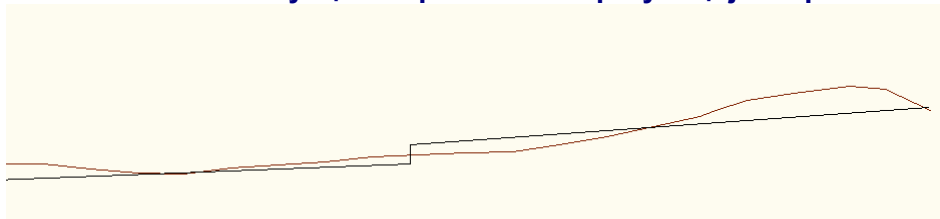
- 1) постојниот пад на речното корито и речна долина,
- 2) составот на материјалот во кој е оформено коритото и од движење на наносот,
- 3) од количината на вода која треба да ја пропушти речното корито.

Зголемувањето на падот може да се постигне со скратување на должината (корекција на меандри), додека намалувањето на падот може да се постигне со конструирање на каскадни прагови.

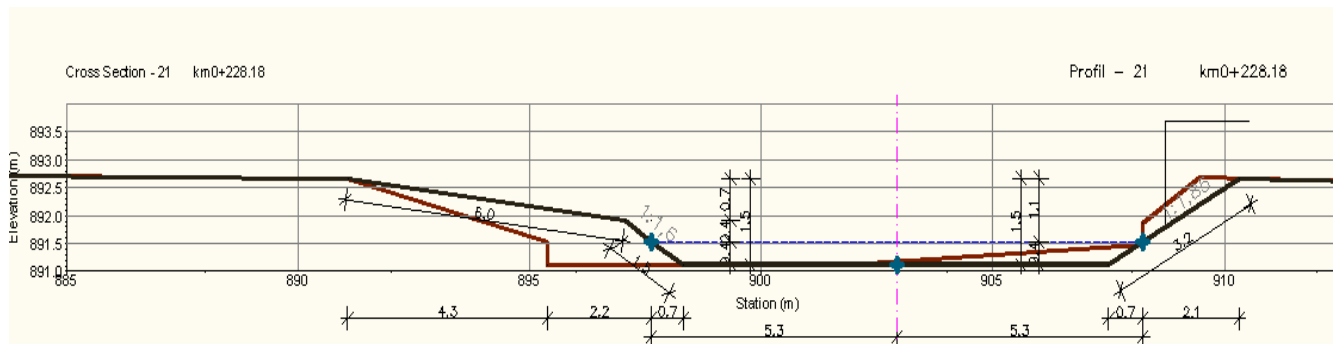
Намалување на падот се постигнува со изградба на ниски преливни брани и каскади.



Слика 5.3-Ситуационо решение на регулација на река



Слика 5.4-Надолжен профил



Слика 5.5- Попречен пресек

5.2.3 Попречен профил

Изборот на попречниот профил при регулирањето на водотекот зависи од повеќе фактори, односно, истиот мора да задоволи повеќе услови:

- 1) да е во состојба без појава на штетни влијанија по околината и речното корито да ги спроведе меродавната голема вода, наносот и мразот,
- 2) при појава на минимални протечи да се овозможи концентрација на текот и поголеми длабочини,

- 3) да се избераат такви форми и димензии на попречниот пресек за да не дојде до појава на ерозија,
- 4) нивото на водата во водотекот да не придонесе до несакани колебања на подземните вода, од аспект на нормален развој на вегетацијата и да овозможи природно одводнување на површинските води,
- 5) со својата форма и димензии да обезбеди услови да при течењето во кривина на конкавните делови не се предизвика ерозија, а на конвексните насипување на коритото,
- 6) при пловни водотеци да се обезбеди во континуитет минималната потребна длабочина при маловоди, како и при полноводие максималната брзина да не ја премине максимално дозволената за нормално одвивање на пловидбата,
- 7) добро да се прилагоди на топографските услови во смисол да се сведат на најмало можно ниво земјените работи при изведување на регулацијата,
- 8) да се настојува при изведбата да се применуваат локални материјали,
- 9) да ги задоволи естетските форми, како и хармонично да се вклопи во околината,
- 10) решението да е економски оправдано и да е економично одржувањето на речното корито.

Повеќето од овие критериуми не би можеле да се исполнат во изборот на еден ист профил. Меѓутоа треба да се настојува со изборот за формата и големината на попречниот профил да се задоволат повеќето од барањата.

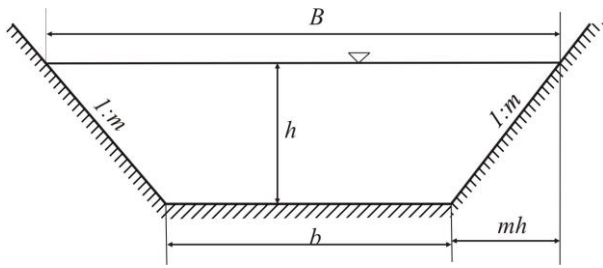
Ако основна задача е евакуирањето на протечното количество (Q), чија големина е дефинирана со хидролошки пресметки и степенот на заштита на подрачјето за кое се прави регулацијата неопходно е да се обезбеди проточен (пресек кој ќе биде во можност да го пропушти тој максимален протек.

Развојот на формата на попречниот пресек на природен водотек е во зависност од протекот кој се евакуира, надолжниот пад и секако од материјалот на дното и бреговите на коритото.

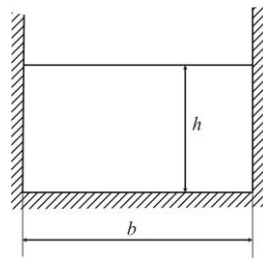
Условот со кој се обезбедува да не дојде до придвижување на наносот во дното на регулираниот водотек е да максималната брзина биде помала од граничната која одговара за материјалот од дното од водотекот, ($V_{gr} < V_{max}$).

При изборот на форма и димензии на попречниот пресек на регулираното корито, често пати за препорака е критериумот за примена на хидраулички најповолен пресек, од причини што во тој случај се добиваат минимални димензии на натопениот обем за иста површина на жив пресек. Применувајќи го овој критериум можно е постигнување на големи заштеди, особено ако се врши целосна заштита на речното корито (дното и бреговите) со цврст материјал.

Најчесто применувана форма на уреден водотек е трапезната форма која е и најблиска до формата на природните водотеци. Формата и елементите на трапезниот пресек преставени се на Слика 5.6. Попречен профил со правоаголната форма најчесто е во употреба во помали урбани средини при водотеци со суперкритичен тек, а кои во целост се заштитуваат. Често правоаголните пресеци се забележуваат и при објекти поврзани со пловидбата, (Слика 5.7).



Слика 5.6-Трапезен пресек

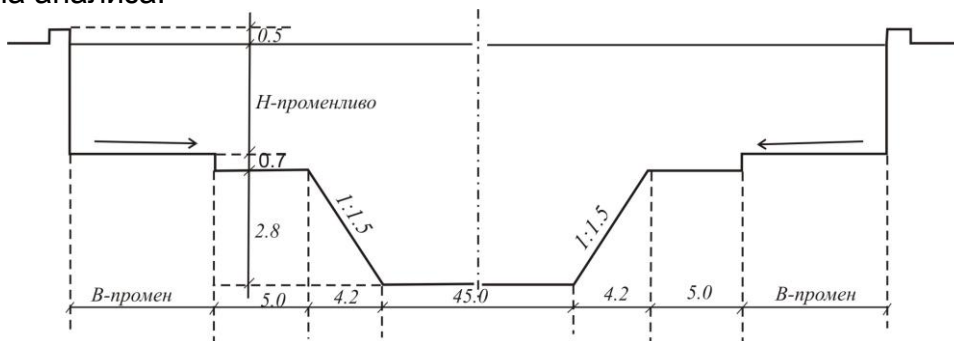


Слика 5.7-Правоаголен пресек

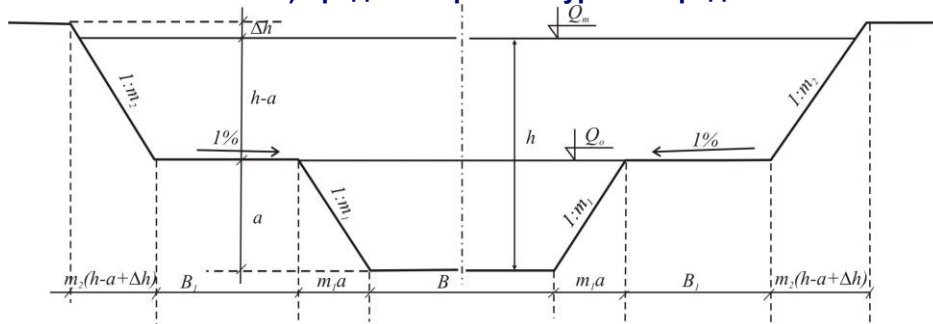
Елементи на трапезниот попречниот пресек се: (b) - широчина на коритото на дното, (h) - длабочина на водата, (B) - широчина на водното огледало, ($m = \text{ctg} \alpha$ - наклон на косината.

Уредувањето на водотеците се изведува за заштита од големи води со поретка веројатност на појава (p), односно со период на повторливост (T)-20,50, 100, 200, 500, 1000, 5000 до 10000 години.

Евакуацијата на големите води се овозможува со изведба на корито со сложен попречен пресек со што се остварува бараната заштита на луѓето и материјалните добра. Најчесто истиот се изведува како комбинација од трапезно минор корито во комбинација со правоаголно или трапезно мајор корито, Слика 28. Мајор коритото може да биде изведено како симетрично или асиметрично, што зависи од начинот на регулирањето на малите, средните и големите води или пак од топографските услови. Вообичаено е димензиите на минор коритото да се изберат такви да пропуштаат голема вода со веројатност на појава на една до две години. За димензиите на мајор коритото меродавни се водите со веројатност на појава еднаш на 50 до 100 години. При уредување на водотеци за заштита на поголеми урбани средини, критериумите за дефинирање на меродавните води за димензионирање на минор и мајор коритото се построги и истите се дефинираат со посебна анализа.



а) Уредено корито во урбана средина



б) Уредено корито во и надвор од урбана средина

Слика 5.8-Форми на уреден водотек

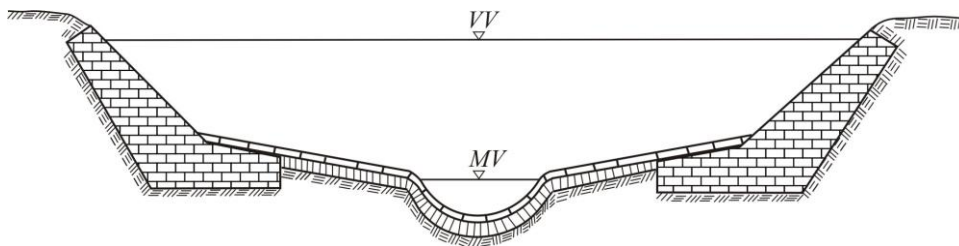
Во многу земји постојат задолжителни норми за избор на меродавни големи води при димензионирање на хидротехничките објекти. Во недостиг на такви норми во Македонија, изборот на меродавни големи води се препорачува да се врши според Табела 5.

Изборот на формата на попречниот профил и начинот на уредување на водотекот во градски средини секако зависи и од амбиентот на средината каде се изведува и освен хидрауличко техничка заштитна мерка, уредениот водотек може да преставува и естетско културна и рекреативна целина.

При уредувањето на водотеците кои се одликуваат со големи варијации на протечните количини во текот на сезоната, се применуваат форми на попречни профили во чиј состав е сместено канализирано корито за мали води, Слика 29

Табела 5.4

| Опис на регулацијата на водотекот | ρ [%] | Т [години] |
|--|-------|------------|
| Регулација на мали реки кои во услови на плавење не предизвикува големи штети (без насипи) | 33-20 | 3-5 |
| Регулација на мали реки кои во услови на плавење загрозуваат земјоделски површини со мелиоративни системи, интензивно земјоделство (со насипи) | 10-3 | 10-33 |
| Регулација на мали реки кои во услови на плавење загрозуваат населби и објекти (со насипи) | 2-1 | 50-100 |
| Регулација на големи реки кои во услови на плавење загрозуваат големи подрачја, населби и објекти од големо економско значење (со насипи) | 1-0.2 | 100-500 |
| Пропусти и мостови на главни и магистрални патишта | 2-0.5 | 50-200 |
| Пропусти и мостови на патишта со локално значење | 3-2 | 33-50 |



Слика 5.9-Уредување за големи и мали води

6 МАТРИЈАЛИ КОИ СЕ УПОТРЕБУВААТ ЗА РЕГУЛИРАЊЕ НА ВОДОТЕЦИТЕ

При уредување на водотеците се користат разновидни материјали; тревни, дрво во разни форми и облици, камен, чакал, песок, земја, бетон, армиран бетон и железо. На прво место се користат материјали кои може да се најдат во близина на објектот, за да се избегнат големите транспортни трошоци.

Затревувањето се врши на површини кои се повремени изложени на дејство на влечната сила. Треба да се има во предвид дека тревата може да издржи 20-25 дена под вода и тоа непрекинато. Затревувањето се врши со сеене во хумусен слој или со обложување на површините со бусен кој веднаш ја превзема улогата на заштита.

Дрвото има широка примена во речната хидротехника. Се користи дрво како садници за укрепување на речните брегови и постигнување убав естетски изглед

на водотекот или се користи како градежен материјал, за изградба на разновидни објекти, прагови успорни градби, укрепување на бреговите, објекти за концентрација и усмерување на водата во речното корито. Дрвото како градежен материјал, временски е скоро трајно ако е стално во вода или стално на суво. Во променливи услови, вода-суво, дрвото брзо подлегнува на трулење.

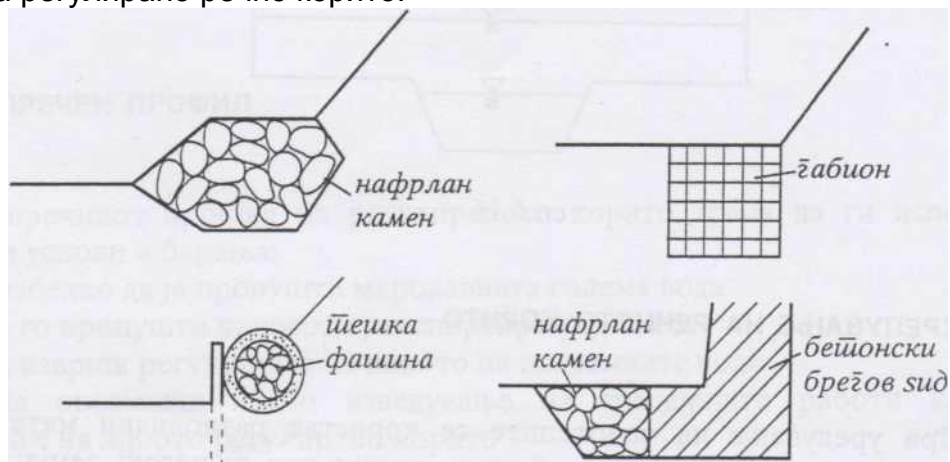
Каменот како локален материјал многу често се користи во речната хидротехника. Причина за неговата поширока примена е неговата временска истрајност на атмосферските прилики. Каменот се употребува за укрепување на бреговите, фундаирање на разни објекти, изградба на успорни објекти и прагови, изградба на објекти за концентрација и насочување на водниот тек.

Бетонот се употребува наместо каменот само ако има економско оправдување. Бетонот се користи со вградување на лице место или со монтирање на фабрикувани бетонски елементи. Кај бетонските елементи постои опасност од абеење.

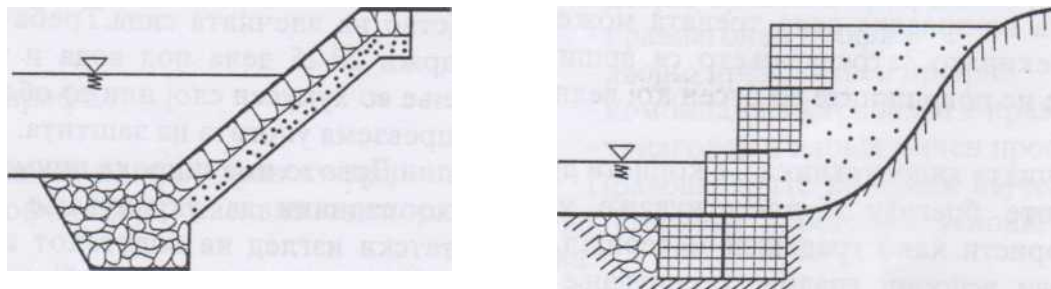
Чакалот и песокот се употребуваат како бетонски агрегат, во насипите, за филтри и подлоги за калдрми.

Земјата во поголеми количини се употребува за изградба на насипи, исполнување на напуштените корита и за изградба на пристапни патишта.

На следните скици се прикажани карактеристични укрепувања на попречниот профил на регулирано речно корито.



Слика 6.1-Зацврстување на пети на речниот брег



Слика 6.2-Зацврстување на бреговите