



„УАСГ- ЦНИП“ЕООД

София 1164,
ул.„Добри Войников “№ 2,
тел. 02 9633259
e-mail: uacg_cnip@abv.bg
uacg-cnip@uacg.bg



Сертификат
№ BG002409

Указания за планиране и прилагане
на възможни технически решения за
зелени мерки за укрепване на
речното корито, включително
биологично укрепване, с цел защита
от вредното въздействие на водите

Гр. София

2024 г.

УАСГ - ЦНИП ЕООД

Авторски колектив:

Име:	Подпис:
1. Проф. д-р инж. Николай Лисев	
2. Д-р инж. Владимир Кукурин	
3. Д-р инж. Петър Тодоров	
4. Д-р инж. Сава Тачев	
5. инж. Ангел Рангелов	

Съдържание

1	<u>ВЪВЕДЕНИЕ</u>	1
1.1	ОСНОВАНИЕ, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НА ДОКЛАДА	2
1.2	ЗЕЛЕНА ИНФРАСТРУКТУРА	3
1.3	ПЛАНОВЕ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА РИСКА ОТ НАВОДНЕНИЯ (ПУРН) И ПЛАНОВЕ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА РЕЧНИТЕ БАСЕЙНИ (ПУРБ) В БЪЛГАРИЯ	5
2	<u>АНАЛИЗ НА СЪЩЕСТВУВАЩИЯ МЕЖДУНАРОДЕН И БЪЛГАРСКИ ОПИТ ПО ПРИДАГАНЕ НА ЗЕЛЕНИ МЕРКИ ЗА УКРЕПВАНЕ НА РЕЧНОТО КОРИТО, ВКЛ. БИОЛОГИЧНО УКРЕПВАНЕ, С ЦЕЛ ЗАЩИТА ОТ ВРЕДНОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА ВОДИТЕ</u>	6
2.1	МЕЖДУНАРОДНИ ПРАКТИКИ	6
2.2	НАЦИОНАЛНИ ПРАКТИКИ	9
2.3	ЗАКЛЮЧЕНИЯ	12
2.3.1	ПРЕДИМСТВА	13
2.3.2	НЕДОСТАТЪЦИ	14
2.3.3	ОБЩИ НАСОКИ КЪМ ПРОЕКТИРАНЕТО НА БИОИНЖЕНЕРНИ БРЕГОУКРЕПИТЕЛНИ РЕШЕНИЯ	14
3	<u>АНАЛИЗ НА ФАКТОРИТЕ, ВЛИЯЕЩИ НА ЕРОЗИЯТА И ОТЛАГАНЕТО НА НАНОСИ В РЕЧНИТЕ КОРИТА</u>	16
3.1	РУСЛОВИ ПРОЦЕСИ	19

4 ДЕФИНИРАНЕ НА НЕОБХОДИМИТЕ ДЕЙНОСТИ ЗА ПЛАНИРАНЕ И ПРИЛАГАНЕ НА ВЪЗМОЖНИ ТЕХНИЧЕСКИ РЕШЕНИЯ ЗА ЗЕЛЕНИ МЕРКИ ЗА УКРЕПВАНЕ НА РЕЧНОТО КОРИТО, ВКЛ. БИОЛОГИЧНО УКРЕПВАНЕ, С ЦЕЛ ЗАЩИТА ОТ ВРЕДНОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА ВОДИТЕ

32

4.1 ВЗИМАНЕ НА РЕШЕНИЕ НА УПРАВЛЕНСКО НИВО 33

СТЪПКА 1: УСТАНОВЯВАНЕ НА ДВИЖЕЩИТЕ СИЛИ (ИЗТОЧНИЦИТЕ НА НАТИСК) И ПОСТАВЯНЕ НА ЦЕЛИ 34

СТЪПКА 2: ОЧЕРТАВАНЕ НА ВЪЗМОЖНИ РЕШЕНИЯ ЗА ПОСТИГАНЕ НА ЦЕЛИТЕ И ОЦЕНКА НА ОЧАКВАНИЯ ЕФЕКТ ОТ ТЯХНОТО ПРИЛОЖЕНИЕ 38

СТЪПКА 3: ОЧЕРТАВАНЕ И ОЦЕНКА НА ВАРИАНТНИ РЕШЕНИЯ 38

4.2 ВЗЕМАНЕ НА РЕШЕНИЕ НА ТЕХНИЧЕСКО НИВО 43

СТЪПКА 1: УСТАНОВЯВАНЕ НА ДВИЖЕЩИТЕ СИЛИ (ИЗТОЧНИЦИТЕ НА НАТИСК) И ПОСТАВЯНЕ НА ЦЕЛИ 43

Плитко хлъзгане на брега 44

Плоско хлъзгане на брега 44

Плоско хлъзгане/отцепване 45

Хлъзгане по криволинейна повърхнина 45

Хлъзгане по криволинейна повърхнина със слаба зона 46

Хлъзгане по криволинейна повърхнина на голям масив / свлачище 46

Обрушване на нехомогенни брегове (отънно разрушение / откъсване) 47

Обрушване на нехомогенни брегове (срязване) 47

Обрушване на нехомогенни брегове вследствие възникването на суфозия 48

СТЪПКА 2: ОЧЕРТАВАНЕ НА ВЪЗМОЖНИ РЕШЕНИЯ ЗА ПОСТИГАНЕ НА ЦЕЛИТЕ И ОЦЕНКА НА ОЧАКВАНИЯ ЕФЕКТ ОТ ТЯХНОТО ПРИЛОЖЕНИЕ 48

СТЪПКА 3: ОЧЕРТАВАНЕ И ОЦЕНКА НА ВАРИАНТНИ РЕШЕНИЯ 48

4.2.1 СТРОИТЕЛНИ МАТЕРИАЛИ 51

4.2.1.1 Неживи строителни материали 51

4.2.1.1.1 Дърво 52

4.2.1.1.2 Камък 53

4.2.1.1.3 Метал 53

4.2.1.1.4 Геотекстил и геомрежи 54

4.2.1.2 Живи строителни материали 54

4.2.1.2.1 Тръстикови растения 59

4.2.1.2.2 Треви 66

4.2.1.2.3 Дървесни видове 69

4.2.2 УКРЕПВАНЕ С ЖИВИ СТРОИТЕЛНИ МАТЕРИАЛИ – ИЖЕНЕРНО-БИОЛОГИЧНИ СТРОИТЕЛНИ МЕТОДИ И КОНСТРУКЦИИ 72

4.2.2.1 Укрепване на петата на откоса 73

4.2.2.1.1	Засаждане на водна растителност (зелена мярка)	73
4.2.2.1.2	Заскалявка (сива мярка)	73
4.2.2.1.3	Заскалявка, комбинирана с растителност (сиво-зелена мярка)	75
4.2.2.2	Укрепване на откоса	78
4.2.2.2.1	Затревяване и/или друга растителност (зелена мярка)	78
4.2.2.2.2	Органични рогозки или матраци в комбинация с растителност (зелена мярка)	86
4.2.2.2.3	Укрепване с колове (зелена мярка)	88
4.2.2.2.4	Плетове от върбови клони (зелена мярка)	90
4.2.2.2.5	Бетонови блокове, комбинирани с растителност (сиво-зелена мярка)	92
4.2.2.2.6	Гео-клетъчни системи (сиво – зелена мярка)	93
4.2.2.2.7	Армирана пръст, комбинирана с растителност (сиво-зелена мярка)	94
4.2.2.2.8	Матраци, комбинирани с растителност (сиво-зелена мярка)	97
4.2.2.3	Укрепване на петата и откоса	98
4.2.2.3.1	Органични валяци (зелена мярка)	98
4.2.2.3.2	Снопове от клони/ Фашины/ Клони и храсти (зелена мярка)	98
4.2.2.3.3	Дървен материал / коренища (зелена мярка)	101
4.2.2.3.4	Габioni, в комбинация с растителност (сиво-зелена мярка)	102
4.2.2.3.5	Заскалявка, в комбинация с растителност (сиво-зелена мярка)	103
4.2.2.3.6	Геотекстил (сива мярка)	103
4.2.2.4	Изменение на формата на реката	105
	СТЪПКА 4: ИЗБОР НА ВАРИАНТ И РАЗРАБОТВАНЕ НА ПРОЕКТНО РЕШЕНИЕ	105
	СТЪПКА 5: ПРИЛАГАНЕ/ИЗПЪЛНЕНИЕ НА РАЗРАБОТЕНОТО ПРОЕКТНО РЕШЕНИЕ	109
	СТЪПКА 6: ЕСКПЛОАТАЦИЯ, ПОДДРЪЖКА И МОНИТОРИНГ	109

5 НАСОКИ И ДОБРИ ПРАКТИКИ ПРИ ПЛАНИРАНЕТО, ПРОЕКТИРАНЕТО И ИЗПЪЛНЕНИЕТО НА ДЕЙНОСТИ ПО УКРЕПВАНЕТО НА РЕЧНИТЕ КОРИТА **109**

5.1	УКАЗАНИЯ ЗА ЕТАПА НА ПРОУЧВАНЕ	111
5.2	УКАЗАНИЯ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ И ДОБРИ ПРАКТИКИ	111
5.2.1	ЧАСТ ГЕОДЕЗИЯ	111
5.2.2	ЧАСТ ХИДРОЛОГИЯ	112
5.2.3	ЧАСТ ХИДРАВЛИЧНИ И ХИДРОМОРФОЛОГИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ	113
5.2.4	ЧАСТ ХИДРОТЕХНИЧЕСКА	114

6 ПРИМЕРИ **115**

6.1	РЕКА МАЛЪК ИСКЪР, С. ВИДРАРЕ	115
6.2	РЕКА ЕНЧОВА, ГР. ШУМЕН	117
6.3	РЕКА МАРИЦА/ ГР. СВИЛЕНГРАД	119
6.4	РЕКА БОТУНЯ, ГР. ВЪРШЕЦ	122

Списък на фигурите

Фигура 1.1 Нов меандриращ байпасен канал на река Glaven, Bayfield, Източник: Norfolk Rivers Trust https://norfolkriverstrust.org/job-vacancy-river-restoration-project-manager-maternity-cover/	2
Фигура 2.1 Препоръчителни био-технически мерки за брегоукрепване на плавателни реки съгласно DWA-M519(B. Söhngen, P. Fleischer & H. Liebenstein - German guidelines for designing alternative bank protection measures)	9
Фигура 3.1 Река Видима, гр. Априлци. Скално легло (Източник: Личен архив)	16
Фигура 3.2 Фониас, о-в Самотраки (Източник: Личен архив)	17
Фигура 3.3 Река Стряма, с. Ръжево Конаре. Модифицирано легло (Източник: Личен архив)	17
Фигура 3.4 Река Черна, гр. Смолян. Модифицирано легло (Източник: Личен архив)	18
Фигура 3.5 Динамика на русловите процеси	22
Фигура 3.6 Класификация на основните планови форми на речните легла във връзка с преобладаващата форма наносен транспорт, източник Nugget 2007	23
Фигура 3.7 Руслоформиращи фактори (Ro Charlton 2007)	28
Фигура 3.8 Баланс на Lane – връзка между руслоформиращите фактори	29
Фигура 3.9 Блок схема, изобразяваща връзката между русловите процеси и руслоформиращите фактори	31
Фигура 4.1 Обща схема на процеса на взимане на решение (1)	33
Фигура 4.2 Характеризиране на речните типове – опростена типология (1)	37
Фигура 4.3 Приложимост на типовете мерки според характеристиките на реката (1)	40
Фигура 4.4 Допълнителни ползи от прилагането на зелена инфраструктура (1)	41
Фигура 4.5 Плитко хлъзгане на брега (5)	44
Фигура 4.6 Плоско хлъзгане на брега (5)	44
Фигура 4.7 Плоско хлъзгане / отцепване (5)	45
Фигура 4.8 Хлъзгане по криволинейна повърхнина (5)	45
Фигура 4.9 Устойчивост на откоса при изменение на водното ниво в реката и нивото на подпочвените води (6)	45
Фигура 4.10 Хлъзгане по криволинейна повърхнина със слаба зона (5)	46
Фигура 4.11 Хлъзгане по криволинейна повърхнина на голям масив / свлачище (5)	46
Фигура 4.12 Обрушване на нехомогенни брегове (опънно разрушение) (5)	47
Фигура 4.13 Обрушване на нехомогенни брегове (опънно разрушение) (5)	47
Фигура 4.14 Обрушване на нехомогенни брегове поради суфозия (6)	48
Фигура 4.15 Зони с различни типове растителност по речните брегове и откоси в зависимост от водните нива (7)	50
Фигура 4.16 Зони с различни типове растителност по речните брегове и откоси в зависимост от водните нива и трайността им (7)	51
Фигура 4.17 Укрепване на петата на откоса със скални валяци (13)	74
Фигура 4.18 Тръстикова валяци върху подложка от снопове клони или фашины (7)	75
Фигура 4.19 Тръстикова валяци върху подложка от скален насип или едри скални блокове (7)	76

Фигура 4.20 Скален ваяк с върбови клонки (14)	77
Фигура 4.21 Методи за затревяване на откоси	78
Фигура 4.22 Засаждане на стъбла от тръстика за укрепване на откосите (7)	80
Фигура 4.23 Засаждане на тръстиките под наклон (7)	81
Фигура 4.24 Образуване на издънки, корени и коренища (7)	81
Фигура 4.25 Засаждане на широколистни дървета по откоса (7)	82
Фигура 4.26 Укрепване на откоса с върбови колове (7)	83
Фигура 4.27 Засаждане на върбови пръчки (7)	83
Фигура 4.28 Пласт от върбови клони с укрепване на петата от фашины и защита от подравяне от снопове клони (7)	84
Фигура 4.29 Изглед към откос, укрепен с пластове от върбови клони (представен с последващото развити на растителността) (7)	85
Фигура 4.30 Изглед към откос, укрепен с пластове от върбови клони и защита на петата със скални ваяци (14)	85
Фигура 4.31 Кокосова рогозка преди полагането ѝ и след развитие на растителността (14)	87
Фигура 4.32 Полагане на кокосова рогозка върху откоса (14)	87
Фигура 4.33 Настъпалена стена (7)	88
Фигура 4.34 Вертикална стена (7)	88
Фигура 4.35 Ситуация, изглед и напречен разрез на плет от върбови клони (7)	90
Фигура 4.36 Новоизградени плетове от върбови клони (14)	91
Фигура 4.37 Върбови плетове след започване на развити на растителността (14)	91
Фигура 4.38 Бетонкови блокове, комбинирани с растителност	92
Фигура 4.39 Гео-клетъчна система за укрепване на откоси	94
Фигура 4.40 Укрепване на брега с армирана пръст	95
Фигура 4.41 Укрепване на брега с армирана пръст – общ изглед (15)	96
Фигура 4.42 Габионен матрак, комбиниран с растителност (16)	97
Фигура 4.43 Кокосови ваяци с тръстикова растителност (14)	98
Фигура 4.44 Фашины(14)	99
Фигура 4.45 Върбови фашины и снопове храсти (7)	100
Фигура 4.46 Стена от фашины (7)	100
Фигура 4.47 Изглед и разрез на потъваща фашина (7)	101
Фигура 4.48 Примерна блок схема за избор на конструкция за укрепване на откоса (1)	106
Фигура 4.49 Примерна блок схема за избор на конструкция за укрепване на петата на откоса (1)	107
Фигура 4.50 Примерна блок схема за избор на вариант за изменение на формата на реката (1)	108
Фигура 5.1 Последствия от частични мерки и изместване на проблема (14)	110
Фигура 5.2 Ходограф на средногодишните плаващи наносни количества за р. Марица при гр. Пловдив	113
Фигура 5.3 Ходограф на средногодишната мътност на р. Марица при Пловдив	113
Фигура 5.4 Крива на устойчивост на р. Марица при Пловдив при преминаване на $Q_{50\%} = 172 \text{ m}^3/\text{s}$	114

1 Въведение

Реките и речните системи играят ключова роля в поддържането на екологичното равновесие и човешкото общество, осигурявайки жизненоважни ресурси като прясна вода, храна и енергия и същевременно оформяйки непрекъснато ландшафта, през който протичат. В исторически план речните долини са се обособили като зони от най-високо социално-икономическо значение, осигуряващи условия за земеделие, градско развитие, рекреация и хабитат за различни животински и растителни видове. Въпреки това, тези зони често са уязвими на природни процеси като наводнения, ерозия и отлагане на седименти, които могат да представляват значителни рискове както за околната среда, така и за урбанизираните райони, инженерната инфраструктура и културно-историческото наследство.

В борбата с тези предизвикателства в последните години все по-съществено значение придобиват природно-базирани или т.нар. „зелени“ решения, продукт на съвременните политики за стимулираните на „зелена инфраструктура“. Стремещът към увеличаване на дела на зелените мерки за смекчаване или ограничаване на вредното въздействие на водите, в това число за намаляване риска от наводнения, борба с ерозията и осигуряване на брегозащита, за сметка на конвенционалните инженерни техники, е повсеместен.



Фигура 1.1 Нов меандриращ байпасен канал на река Glaven, Bayfield, Източник: *Norfolk Rivers Trust*
<https://norfolkriverstrust.org/job-vacancy-river-restoration-project-manager-maternity-cover/>

1.1 Основание, цели и задачи на доклада

Традиционно за стабилизиране на речните корита и брегоукрепване в страната са утвърдени инженерни методи и практики, основани на т.нар „твърди“ или „сиви“ решения, включваща изграждане на инженерни системи и съоръжения, в това число диги и бетонни, стоманобетонни, геокмпозитни облицовки, брегозащитни и брегоукрепителни стени, прагове и др. Използването на природно базирани способности или още „зелени решения“, като например засаждане на растителност, комбинирани „сиво-зелени“ мерки, като био-инженерни решения, или т.нар. „меки мерки“, свързани с планиране на земеползването или др., намират (понастоящем и в миналото) ограничено приложение. Това в голяма степен се обуславя от липсата на законодателна рамка, нормативна база и методическа основа, регламентиращи планирането, изпълнението и поддържането на такива съоръжения и системи. В този смисъл опитът на местните специалисти по отношение прилагането на зелена инфраструктура в областта на речното

строителство и в частност защитата от вредното въздействие на водите е относително оскъден.

Редица институции изпитват затруднения при обосновката на избор на зелени решения поради недостатъчни наблюдения върху експлоатационните разходи в средно- и дългосрочен план!

Целта на настоящия документ е да подпомогне процедурите по подбор, планиране, прилагане и контрол на изпълнението на природно-базирани решения за защита от ерозионното действие на речните води, въз основа обзор и анализ на международни и местни добри практики в областта на речното инженерство. При разработването на доклада са поставени следните основни задачи:

- Дефиниране на вредните последици, породени от естествени и изкуствено генерирани руслови процеси;
- Обзор на международния и местен опит в прилагането на зелени решения за борба с вредното въздействие на водите и в частност противоерозионна защита на речните корита;
- Систематизиране на подходящи за условията на страната природно базирани решения за брегозащита;
- Очертаване на методически стъпки за проучване, планиране, изпълнение и мониторинг на природно-базирани решения за брегозащита;
- Изготвяне на илюстративни примери за прилагане на предложения подход.

Този документ не представлява техническо ръководство и не следва да се използва безкритично! Всички инженерни дейности, свързани с проектирането и изпълнението на дейности в речните корита следва да се извършват от правоспособни инженери, съобразно националното законодателство.

1.2 Зелена инфраструктура

Зелената инфраструктура е концепция за планиране и проектиране, съчетаваща екологични, социални и икономически ползи чрез използване на природосъобразни елементи и процеси в градска и извънградска среда. Съгласно възприетата от Европейската комисия (ЕК) дефиниция, зелената инфраструктура представлява „стратегически планирана мрежа от природни и полуестествени зони с екологични характеристики, които предоставят широк спектър от екосистемни услуги, включително чиста вода, опазване на биоразнообразието, регулиране на климатичните условия и други“ (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Green Infrastructure (GI) – Enhancing Europe’s Natural Capital, 2013).

Други дефиниции

Световната банка (МБВР) определя зелената инфраструктура като „система от природни и изкуствено създадени екологични елементи, които допринасят за съхранение на водните ресурси, намаляване на рисковете от наводнения, регулиране на температурите и подобряване на качеството на въздуха“ (Integrating Green and Gray: Creating Next Generation Infrastructure, 2019).

Агенция за защита на околната среда на САЩ (EPA) определя зелената инфраструктура като „естествени решения за управление на водите, които използват почва и растителност за подобряване на екологичното здраве, предотвратяване на ерозия и защита на водните ресурси чрез естествени методи“ (Green Infrastructure for Stormwater Management, 2020) с основен акцент върху прилагането ѝ в контекста на управление на дъждовните води в градска среда.

Национална инициатива за зелена инфраструктура (NGIA): Според NGIA, зелената инфраструктура е „мрежа от зелени площи, водни басейни и други екосистеми, които се интегрират в застроената среда за предоставяне на екологични, социални и икономически ползи“. NGIA подчертава необходимостта от интегриране на тази мрежа в процесите на градско планиране и развитието на устойчиви градски пространства.

Международен съюз за опазване на природата (IUCN): IUCN дефинира зелената инфраструктура като „интегриран и природосъобразен подход за създаване и управление на ландшафта, който комбинира природни и изкуствено създадени елементи за постигане на устойчиви ползи“. Те включват в понятието всички елементи, които намаляват натиска върху природата, като възстановяване на реки, градски зелени площи, както и растителни покриви на сгради.

Зелената инфраструктура не е просто зелено пространство, а съвкупност от стратегически разположени елементи, които играят ключова роля в постигането на екологична устойчивост, подобряване на качеството на живот и защита на екосистемите.

Зелената инфраструктура е разпозната от Европейския съюз (ЕС) като средство за устойчиво развитие, подобряване на биоразнообразието и повишаване на климатичната устойчивост, което стои в основата на разработването на редица стратегически документи

на съюза (Green Infrastructure (GI) – Enhancing Europe’s Natural Capital, 2013; European Green Deal, 2019; EU Biodiversity Strategy for 2030 – Bringing nature back into our lives, 2020; EU Strategy on Adaptation to Climate Change, 2021, Water Framework Directive и Floods Directive), както и редица фондове и програми за подпомагане на проекти в областта на околната среда и климата, включително зелена инфраструктура (Европейският фонд за регионално развитие (ЕФРР), програма LIFE, Horizon Europe и др.). Тези политики и стратегии са интегрирани в европейското законодателство и финансиране, за да се гарантира, че страните членки прилагат и поддържат зелени инфраструктурни проекти, насочени към подобряване на околната среда, климата и качеството на живот на гражданите.

1.3 Планове за управление на риска от наводнения (ПУРН) и планове за управление на речните басейни (ПУРБ) в България

В рамките на втория цикъл по прилагане на Директива 2007/60/ЕО в България е извършена актуализация на националния каталог от мерки за целите на Плановите за управление на риска от наводнения (ПУРН) 2022-2027, като освен традиционно утвърдените инженерни решения за защита от вредното въздействие на водите са включени и приоритизирани редица „зелени“ и „сиво-зелени“ мерки. Възприетият подход е продиктуван от съвременните схващания за интегрирано управление на водите сред страните членки на ЕС и нарастващият дял на тази група мерки, предоставящи множество ползи, както във връзка с управлението на риска от наводнения, така и по отношение постигане на екологичните цели, обект на редица директиви като Рамковата директива за водите (РДВ), Директива 92/43/ЕИО и редица национални стратегии и планове.

Съгласно методиката за избор на мерки в ПУРН е възприето прилагането на зелени подходи и природно базирани решения за намаляване на заплахата от наводнения да се разглеждат с най-висок приоритет, като по-устойчиви и адаптивни решения. На следващо място се поставят традиционните структурни инженерни мерки и неструктурни решения, които обикновено са по-малко адаптивни, а на последно място се разглеждат мерките за управление на остатъчния риск.

Сред програмите от мерки в ПУРН 2022-2027 от категорията „зелени мерки“ най-широко приложение намират мероприятията, осигуряващи водозадържане и забавяне на оттока. Широко застъпени са още т.нар. устойчиви отводнителни системи в градска среда, в обхвата на които попадат редица „зелени“ техники за осигуряване на ретензия и стабилизиране корита.

С оглед значителния брой на изградените в миналото корекции на речни корита с основно предназначение защита от високи води е установено като целесъобразно същите да бъдат запазени и поддържани. С цел смекчаване на ефекта от сивата инфраструктура в ПУРН 2022-2027 е възприето при необходимост от рехабилитация и реконструкция да се приоритизира влагането на зелен елемент – мярка с код М33-В22а: Рехабилитация или надграждане на съществуващи защитни стени или диги с допълнителни елементи на зелена инфраструктура (сиво-зелена). В рамките на тази мярка могат да се приложат редица био-инженерни/биотехнически решения за брегоукрепване и стабилизиране на речното корито.

2 Анализ на съществуващия международен и български опит по прилагане на зелени мерки за укрепване на речното корито, вкл. биологично укрепване, с цел защита от вредното въздействие на водите

2.1 Международни практики

Въпреки че биологичните или още „зелени“ средства и техники за укрепване на речни легла са известни от далечни времена с технологичния прогрес същите биват изместени от по-устойчиви на времето материали и конструкции, осигуряващи трайна и често относително бързо сработваща защита и стабилизация. Първите известни разработки в областта на противоерозионната защита и брегоукрепването на реки не поставят граница между стандартните „твърди“ и „щадящи/чувствителни към околната среда“ техники.

В годините са разработвани редица ръководства и указания за прилагане на природно базирани или „**чувствителни към околната среда**“ мерки за брегоукрепване. За нуждите на различни институции и организации, предимно в по-напреднали икономики са разработени ръководства, указания и нормативни регламенти за прилагане на биоинженерни/щадящи околната среда техники за брегоукрепване (1).

Налагането на политики за приоритизиране на зелени и биобазирани техники през последните десетилетия е основание за разработване на по-подробни проучвания. В Европа основна движеща сила е прилагането на Директива 2000/60/ЕО (Рамковата директива за водите от 2000 г.). Предходни трудове обобщаващи опита и добри биоинженерни практики в Европа са обобщени в Schiechl (1980) and Schiechl and Stern (1994). В Обединеното кралство подобни трудове са представени от Bache and Coppin (1989) за САЩ - Henderson and Shields (1984) и Henderson (1986). Мащабни изследвания са предприети в края на 70-те и началото на 80-те години на миналия век от корпуса на

военните инженери в САЩ (USACE) във връзка с прилагането на брегозащитни мерки в областта на речното инженерство.

Основен извод от прегледа на горните трудове преди 1990 сочи липса на научно обосновани критерии за проектиране на „щадящи природата“ противоерозионни мерки. Данни от лабораторни изследвания предоставят стойности на допустимите скорости и влачеши сили за различни гъвкави облицовки, но информацията за биоинженерни укрепвания е оскъдна. За подобен тип техники са налични предимно общи указания, базирани на експертен опит.

След 1990 г. се констатира засилен интерес към чувствителни/щадящи околната среда техники за брегоукрепване и защита.

Обстоен обзор на предходни трудове основно в САЩ и Обединеното кралство е представен в (1). През 2016 г NCHRP публикува доклад, съдържащ подробни указания за проектиране, изпълнение, мониторинг и поддръжка на „**чувствителни към околната среда**“ мерки за брегоукрепване. Указанията надграждат предходна разработка на NCHRP от 2005, предлагайки актуализирани практически насоки, подпомагащи подбора, сравнението и оценката на подходящи **чувствителни към околната среда** мерки, като алтернатива или в комбинация с конвенционални „**твърди**“ технически решения.

В изследването се посочва, че едва след 2005 г. се бележи по-значителен прогрес в разбирането на биологията на крайбрежната растителност и подобряване на технологиите за нейното устойчиво завъждане. Други области, в които е отбелязан относително малък, но значим напредък в познанието, са хидравличното моделиране на течения в контакт с растителност и методи за оценка на стабилитета на откоси с отчитане приноса на кореновата система.

Заключенията от разработките преди 2005 г. сочат нуждата от едновременно отразяване на хидравличните и геотехнически процеси в различен пространствен мащаб, т.е. както на локално ниво, така и на ниво речно течение или водосбор. Друг основен извод от извършения обзор, включително след 2005 г., е, че натурните наблюдения върху изпълнени проекти са със значително по-висока стойност от лабораторни изследвания, но поради специфичните локални условия и относително краткия период с наблюдения не позволяват обобщаване и генерализиране на резултатите.

В резултат от подробно проучване на местния и международен опит NCHRP 2016 (САЩ) констатира, че голяма част от инженерите проявяват нежелание да използват биотехнически подходи за стабилизация на речните легла частично поради липса на техническо обучение, опит и ясни технически указания към хидравличното оразмеряване и проектиране. Това е обусловено от липсата на достатъчно познание на свойствата на растителните материали и тяхното поведение при генерирани от течението силови въздействия. Установено е, че наличните указания към разработване на хидротехническите проекти са базирани на разнородни източници, вариращи по качество от най-общи принципни правила до подробни измервания на разпределението на хидравличните характеристики, но в специфични локални условия. С оглед горепосочените ограничения редица институции биват принудени да разчитат на експертен опит или да приемат по-високи нива на риск.

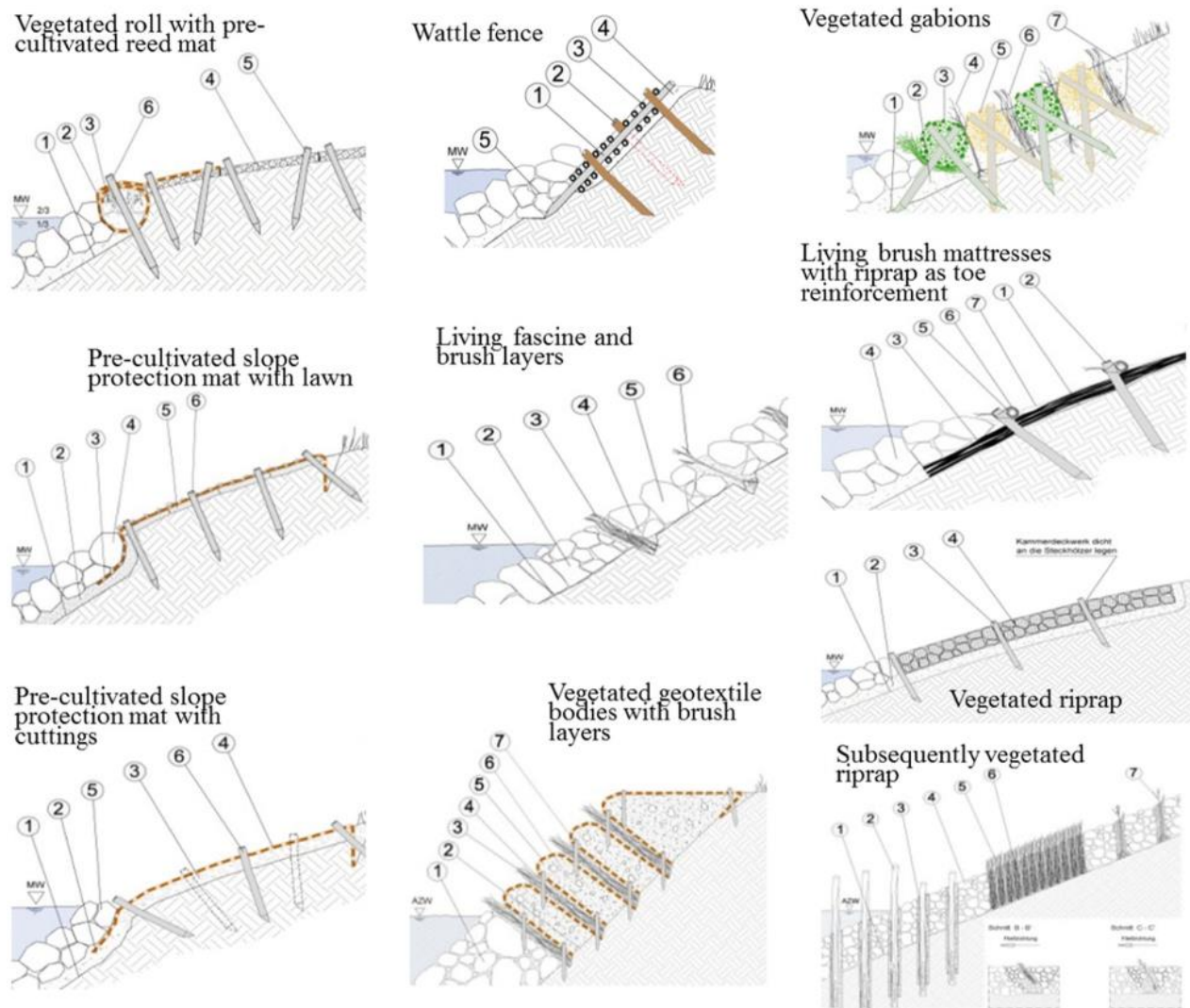
Показателно за несигурността при проектирането на „чувствителни към околната среда мерки“ е, че в рамките на около едно десетилетие възниква необходимост от ново задълбочено изследване на проблема и разработване на нови указания и ръководства към практикуващите специалисти.

За оценка на различни брегоукрепителни техники са разработени изчислителни листи/програми, в които хидравличните съпротивления, предизвикани от надземна растителност, както и задържащия ефект от кореновата система биват взети под внимание. В доклада са систематизирани различни видове противоерозионни техники и са представени допустимите условия на работа съгласно литературни данни – скорости и/или влачеци сили. Обзорът отчита над 40 бр. различни техники за противоерозионна защита на речните брегове – от затревяване с различни тревни породи, дървени плетове и огради, фашины, тръстика и тръстикови валяци, залесяване, комбинации от резници и заскаляване, геосинтетични покрития и модули в комбинация с растителност, почво-циментови покрития и др.

Сред по-актуалните разработки, третиращи прилагането на зелени мерки в Европа, следва да се посочат ръководства, добри практики и указания в Обединеното кралство – SEPA 2008 (2), EA/HR Wallingford 2017 (3).

Специфичният опит в областта на биоинженерните техники за брегоукрепване в Австрия е обобщен в Drobir/Honsowitz (4). Разгледани са редица правила и техники за проектиране, изпълнение и мониторинг на зелени, сиво-зелени и сиви мерки за стабилизиране на речните легла и брегоукрепване. В голяма степен представената информация се препокрива с други изследвания в областта на речната хидравлика и брегоукрепване.

В Германия осигуряване на противоерозионна защита на бреговете са разработени кодове за проектиране, в които са регламентирани изискванията към т.нар. био-технически мерки.



Фигура 2.1 Препоръчителни био-технически мерки за брегоукрепване на плавателни реки съгласно DWA-M519 (B. Söhngen, P. Fleischer & H. Liebenstein - German guidelines for designing alternative bank protection measures)

2.2 Национални практики

Прилагането на биотехнически методи за брегозащита е известно в нашата хидротехническа и хидромелиоративна практика от дълги години. Указания към приложението на такива техники в областта на речното инженерство и брегозащита са представени в Радославов 1963 (5), Радев 1981 (6), Велев 1984 (7) и др. По подобие на международните практики към периода на горесцитираните разработки не се прави разграничение между твърдите инженерни решения и щадящите околната среда такива.

В горепосочените трудове не се посочва специфичен местен опит и видно от представените примери се използват известни в западната 8и съветска практика материали и техники за укрепване на речното дъно и брегове. Сред използваните строителни елементи, попадащи в категорията био-технически могат да се посочат фашины, снопове и плетове от клони и колове, геокомпозитни материали, дървени трупи и др.

Понастоящем не са известни локации, където може да се наблюдават такива решения и тяхното поведение. Преобладаващата част от корекциите на реки и брегоукрепителни мероприятия в населени места попадат в категорията твърди инженерни решения. Това в голяма степен е обосновано, както посочва и международния опит, с оглед по-високия риск, характерен за урбанизирани територии.

Дейностите по протежение на речните течения извън населени места са обусловени предимно от мелиоративни практики. Понастоящем за поддръжката на корекциите на реки извън населени места е отговорност на структурите на Напоителни системи към МЗХ.

Защитата на горските територии от ерозия и порои е нормативно регламентирана чрез ЗГ и наредбите към него и в частност *НАРЕДБА № 4 от 19.02.2013 г. за защита на горските територии срещу ерозия и порои и строеж на укрепителни съоръжения*, Издадена от министъра на земеделието и храните (МЗХ). Наредбата указва реда за осигуряване на защитата от ерозия на водосборите в това число и на поройни течения и реки, техниките и съоръженията, утвърдени в практиката и правилата за проектиране, изпълнение и контрол на противоерозионните дейности и технико-укрепителните съоръжения.

През последните години все по голямо значение се отдава на крайбрежната растителност и опазването и възстановяването на крайречните гори, както и възстановяването и ренатурализиране на реките. В това направление особено голяма роля имат редица неправителствени организации, сред които водещо място заема WWF. Михов и Христов 2010 (8) резюмират основите на русловите процеси и съвременните тенденции, акцентиращи върху множеството ползи от естествените речни биокоридори и ефекта от тяхното нарушаване. В документа е представено кратко описание на опита на организацията във връзка с изпълнението на проекти за възстановяване или ренатурализиране на реки в България. Примерите включват:

- възстановяване на връзката на влажните зони на остров Персин край Белене с р. Дунав.
- възстановяване на меандър на р. Веселина край село Миндя и
- възстановяване на р. Русенски Лом при Ивановските скални манастири

Горепосочените примери поставят акцент върху осигуряването на оводняване и създаването/възстановяването на хабитати, като практически липсват техническа обосновка и ясно очертани критерии за избор на решения и подход към тяхното изпълнение. Не е представена прогноза за необходими бъдещи дейности и оценка на дългосрочните ефекти от предприетите мероприятия. Проблемът с осигуряване на брегоукрепване и стабилизиране не е засегнат.

Други разработки, базирани на проучване на международния опит, добри практики и изследване на местно включват Узунова и колектив 2017 (9), Дунчев и колектив 2017 (10), Хинков 2023 (11). Последните предоставят информация за подходящите дървесни видове,

Информация относно противоерозионния ефект на крайречните гори, наред с други ползи, е представена в Дунчев 2017. Документът предоставя полезна информация относно спецификите на характерни за страната дървесни видове, подходящи за разполагане в крайречните зони. Въпреки това брошурата не може да служи като наръчник за биологично укрепване и стабилизиране на речни брегове.

По подобие на международния опит и у нас акцентът върху ползите от естествените речни коридори набира популярност едва през последните години. Това е причината за относително оскъдния известен брой речни участъци, обект на приложение на зелени или сиво-зелени или още щадящи природата техники за брегоукрепване и стабилизация.

Сред примерите, които могат да бъдат посочени е р. Тунджа в гр. Ямбол, където в съществуващата корекция на реката е оформена своеобразна паркова зона. Този случай илюстрира възможността за оформяне на зелена зона в съществуващ изкуствено оформен речен участък в градска среда. Поради равнинния характер на реката и значителните размери на корекцията, включваща андигиране, профилиране и изправяне на коритото, всъщност ерозионното действие на течението е относително малко и с изразен локален характер. При тези условия наличието на тревно покритие може да се счита за удачно за осигуряване на противоерозионна защита в нормални условия. При високи води съществуващата корекция предлага необходимата защита в основата на предпазните диги, изпълнена под формата на бетонова облицовка.



Линеен парк в коритото на р. Тунджам, гр. Ямбол (Източник: БТА, <https://www.bta.bg/bg/news/bulgaria/579500-lineyniyat-park-v-praznoto-korito-na-reka-tundzha-v-yambol-e-otlichen-s-europeys>)

Река Блато, гр. Костинброд

Друг пример за прилагане на биотехническо укрепване са реките Блато и Белица в гр. Костинброд. При тях е възприет подход за непрекъснато укрепване на бреговете чрез габионни стени и модулни системи, в комбинация с дънна стабилизация чрез хидравлични и дънни прагове. Предложеното решение позволява в петата на стените и в горната част на откоса да се развие местна растителност във времето, която съдейства за стабилизиране на бреговете.

Брегоукрепване на р. Блато, гр. Костинброд (Източник: <https://vjf.bg/vjf-project/korektsiya-na-rekite-blato-i-belitsa-kostinbrod/>)



2.3 Заключение

Извършеният обзор на международния и местен опит сочи наличие на редица ползи от прилагане на биоинженерни или „щадящи/чувствителни към околната среда“

брегоукрепителни решени. Тяхното приложение обаче следва да бъде съобразено с конкретните условия към всеки отделен случай, при взимане под внимание на съответните ограничаващи фактори.

В заключение на така проведеното проучване основните предимства и недостатъци на биоинженерните техники биха могли да се обобщят както следва:

2.3.1 Предимства

1	Кореновата система има стабилизиращо действие като следствие от механичното обединяване почвените частици
2	Подводната надземна част на растенията увеличава хидравличните съпротивления и съдейства за забавяне на течението, чрез което се редуцират и транспортиращата способност на течението и влачещите сили, като същевременно се подпомага утаяването на наноси в бреговата зона
3	Разположената в надводната част растителност подпомага погасяването на кинетичната енергия на дъждовните капки и намаляват почвената влага чрез абсорбция и транспирация.
4	Растителността спомага за намаляване на повърхностния отток чрез намаляване скоростта на оттичането и респективно увеличаване на инфилтрацията
5	Растителността отдалечава високоскоростната област от течението от повърхността на брега и служи като буфер срещу абразивното действие на транспортирани от материали
6	Наличието на растителност води до подобряване качеството на водата и условията за живот на риби и диви животни.

Обичайно стойността на биоинженерните мерки е по-ниска от необходимата за прилагане и поддръжка на конвенционални структурни (сиви) решения.

Критично за успешното прилагане на подобни решения е адекватната оценка на речния участък, проектирането и изпълнението на мерките и тяхната поддръжка, особено необходима след преминаване на високи води или периоди на засушаване.

2.3.2 Недостатъци

1	Недостатъчни проектни критерии за оразмеряване и познания относно характеристиките на растителността и нейното поведение в разнородни условия
2	Липса на дългосрочни измервания и наблюдения върху поведението на зелени брегоукрепителни мерки
3	Нехомогенни резултати от прилагането на биоинженерни решения
4	Възможно несработване на мярката поради незахващане на растителността и уязвимост към засушаване
5	Унищожаване на растителността от животни
6	Необходимост от значителна поддръжка

Изборът на подходящи растителни видове, които имат свойството да оцеляват в условия на променливи водни нива е определящ за успешното проектиране и изпълнение на биоинженерни решения.

Прилагането на биологично укрепване в комбинация със заскаляване се счита за нецелесъобразно в случаите, в които хидравличната проводимост е силно ограничена, както е например случаят при корита с ограничена ширина.

2.3.3 Общи насоки към проектирането на биоинженерни брегоукрепителни решения

Преди преглед на конкретни решения за брегоукрепване следва да се установи общата устойчивост на речния участък и характера на русловите процеси. Това се обуславя от факта, че бреговата ерозия обичайно е в тясна връзка с общата стабилност на речното корито в разглеждания участък. За да се премине към локални укрепителни мероприятия следва да се гарантира общата стабилност на речния участък.

Имайки предвид, че най-широко разпространеният механизъм на нарушаване на брега е общата дънна ерозия и подкопаване на основата на откоса, то най-често прилаганите биоинженерни мерки включват твърда стабилизация на петата на откоса посредством заскаляване, габионни кошове или пък полагане на дървени трупи с или без анкерирание, фашины и др. подобни. Укрепването на петата или още блокаж следва да се положи до нива под очакваната максимална дълбочина на развитие на ерозионните процеси в

легло за предвидения експлоатационен период. Закотвяне на биоинженерните настилки/покрития е необходимо и в началото и края на участъка. Нерядко приложения намират и конструкции за отклоняване на течението от засегнатия бряг като тирета и буни или шпори известни още като струенаправляващи съоръжения. Същите могат да се изпълнят от скален материал, фашины, геокмпозити със скален запълнител, дървени трупи, плетове и др.

Изборът на подходящи мерки изисква установяване на климатичните и хидроложки условия в района, вид на почвеното покритие, геометрия на леглото, наклон на откосите и наличие на достатъчно пространство за реализация на мярката, вариация на дълбочините и скоростите на течението. Тъй като изборът на решение зависи изключително от хидравличните условия, т.е. дълбочини и скорости на течението, то следва да се изследват поне няколко различни режими – характерни ниски, средни и високи води. От водещо значение се счита коритооформящото водно количество или това, което запълва изцяло основното корито, предвид факта, че при тези условия се реализират максималните скорости и влачеци сили в бреговата зона.

В криволинейни участъци е препоръчително да се вземат предвид местните скорости, а не осреднените по сечение такива. Самото укрепване следва да се продължи на известно разстояние надолу по течението, особено при изпъкналия бряг на криволинейните участъци, тъй като максималните скорости на течението по правило се концентрират в долната половина на вдлъбнатия бряг, както и в и след края на кривата при отсрещния бряг.

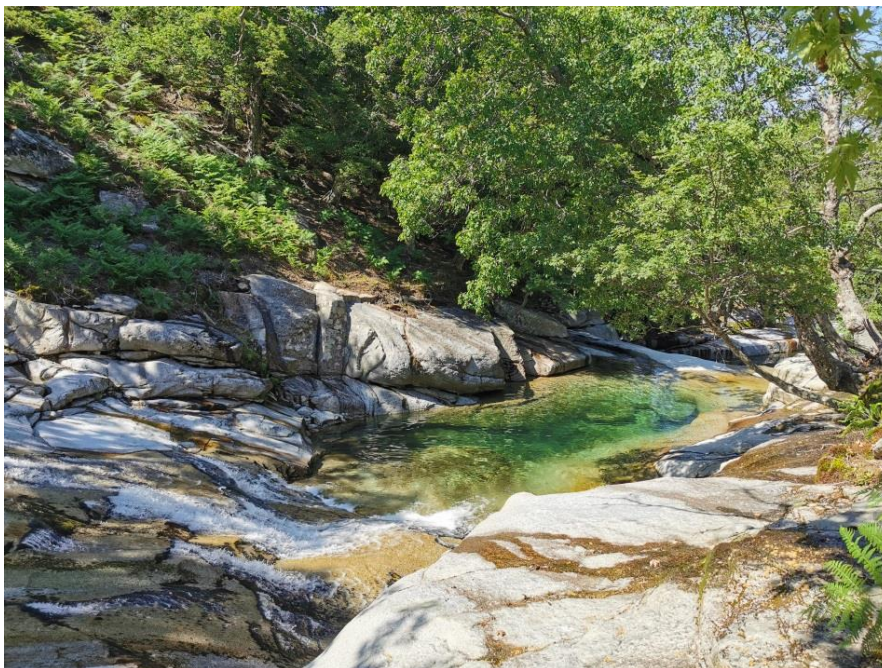
Въпреки че биоинженерните решения се очертават като полезни и икономически ефективни средства за брегоукрепване, които подобряват естетическия вид и биоразнообразието на средата, трябва да се подчертае, че самостоятелното използване на растителност не следва да се разглежда като опция в случай на по-значителна ерозия в зоната на отговорни съоръжения и критична инфраструктура. При подобни обстоятелства биологично укрепване може да се прилага единствено като съпътстваща други по трайни и устойчиви на ерозия техники. Ако отказът на дадена противоерозионна мярка може да доведе до авария на мостово съоръжение, магистрала, път или ЖП-трасе като единствено възможно решение в непосредствена близост до съоръжението е прието да се прилагат традиционни „твърди“ инженерни мерки.

3 Анализ на факторите, влияещи на ерозията и отлагането на наноси в речните корита

Речните корита могат да се категоризират в три основни групи – скални (относително устойчиви и недеформируеми), алувиални (деформируеми) и модифицирани или коригирани (12), (13). Скалните легла се срещат относително по-рядко и предимно във високите области от речното течение. Същите се характеризират със сравнително стабилен във времето профил и висока устойчивост на ерозионното действие на течението. В надлъжно направление скалните легла се характеризират с по-изразена неравномерност в сравнение с алувиалните. Това се дължи на разнородния състав на скалната основа в отделни участъци и различна скорост на развитие на ерозионните процеси. Типични за такива легла са редуване на естествени стръмни или отвесни падове (водопади), формирани в резултат обрушване на по-едри скални масиви, срутване на скални маси и др. процеси, полегати или хоризонтални участъци, бързеи и вировете и др.



Фигура 3.1 Река Видима, гр. Априлци. Скално легло (Източник: Личен архив)



Фигура 3.2 Фониас, о-в Самотраки (Източник: Личен архив)

Модифицираните/коригирани легла често са изкуствено стабилизирани с цел ограничаване на вертикалните и/или странични движения. Тези укрепителни мероприятия намират място преди всичко в урбанизирани зони и в близост до инфраструктура, чиято защита оправдава направата на съответните инвестиции.



Фигура 3.3 Река Стряма, с. Ръжево Конаре. Модифицирано легло (Източник: Личен архив)



Фигура 3.4 Река Черна, гр.Смолян. Модифицирано легло (Източник: Личен архив)

Характерно за речните легла във всички обособени области на течението (горно, средно и долно) е наличието на отложения от алувиален характер, които се срещат под формата на несвързан по-едро или по-дребнозърнест субстрат (от фини пясъци до едри валуни и скални блокове) до фини сбити отложения и органична материя (прахови и глинести), проявяващи кохезионни свойства. Същите са продукт на хилядолетни изветрителни, транспортни и седиментационни процеси, като част от общия скален цикъл, биогенни и техногенни процеси. Тези особености на речните легла в комбинация с непостоянството на речния отток във времето и пространството обуславят динамиката в положението, формата и размерите на леглата или тяхната т.нар. „мобилност“. Деформациите на речните легла под въздействието на естествени или техногенни процеси у нас са обобщават чрез понятието „руслови процеси“.

Наблюденията върху природата на естествените руслови процеси водят до формулиране на следните основни закономерности (М. А. Великанов):

1.	Речното течение и речното легло се намират в непрекъснато взаимодействие, формирайки една саморегулираща се динамична система (Vanoni). При запазване на тези условия в достатъчно продължителен период от време постепенно се достига до затихване на деформациите и постигане на едно устойчиво (равновесно) състояние на леглото. Това състояние се запазва до момента в който настъпи изменение в условията, т.е. речния отток;
2.	Русловите процеси се подчиняват на една постоянна тенденция за свеждане на сумарното съпротивление на речното легло към минимум, т.е. до постигане на максимална проводимост на реката съобразно конкретните (моментни) условия.

3.	<p>Развитието на процесите зависи от <i>хидроложкия режим, изразен чрез динамиката на водните количества, средният надлъжен наклон, характеристиките на дънния субстрат, изразен чрез представителен диаметър на зърната и геометрията на леглото, представена чрез средна ширина и дълбочина.</i></p> <p><i>При известни три от тези величини за даден речен участък могат да бъдат определени останалите две, посредством примерни емпирични зависимости.</i></p>
----	---

Развитието на русловите процеси се обуславя от силовото въздействие на водното течение, способността му да размива дъното и бреговете, да транспортира така усвоените маси като твърд отток и да ги отлага след съответни изменения на условията. Постигането на едно относително устойчиво състояние на равновесие може да настъпи тогава, когато динамичното въздействие на течението (често изразено чрез кинематичните параметри – скорости и ускорения) не надвишават едни критични стойности, определящи началото на движение на дънния субстрат и не по-ниски от тези, при които транспортираните плаващи наноси започват да се отлагат. *На практика може да се говори само за относително равновесие, защото протичащото водно количество е различно по време, а следователно и средните скорости на течението не са постоянни.*

3.1 Руслови процеси

Русловите процеси се характеризират със специфично пространствено и времево измерение. По отношение на пространственото развитие деформациите на речните легла биват хоризонтални и вертикални. В отделни участъци от речното течение преобладават едните или другите. В следната таблица са обобщени основните особености на пространствените деформации и характерни области на проявление:

Вид на деформациите	Описание
Пространствени	
хоризонтални (плани)	<p>характеризират изменението на речното корито в план в резултат на странична брегова ерозия и акумулация на наносен материал. Към тази категория се отнасят процесите на изменение на ширината на речното корито, меандрирането и разклоняването на реките.</p> <p><i>Плановите деформации са по-изразени в средното и долно течение</i></p>

Вид на деформациите	Описание
	<i>на реките, където надлъжните наклони са по-ниски и речната долина, ограничаваща странично коритото има по-голяма ширина.</i>
вертикални	<p>изразяват се в понижаване (вкопаване) на речното дъно вследствие ерозия на дънния субстрат (отрицателни деформации) или повишаване на нивото на дъното в резултат на наносно-аккумуляционни процеси и отлагане на наносен материал (положителни деформации).</p> <p><i>Отрицателни вертикалните деформации са най-силно изразени в горното течение на реките и в участъци, където надлъжният наклон е по-голям. С редуциране на надлъжния наклон се засилват положителните наносно-аккумуляционни процеси. Последните са най-силно изразени в долното течение.</i></p>
<p>Забележка: <i>Естествените руслови процеси в отделни участъци биват силно повлияни от изграждането на инженерни съоръжения или др. вид човешка намеса, свързана с изкуствено модифициране на геометрията или нарушаване на естествения твърд отток. Подобни вмешателства създават предпоставки за проява на нетипични в нормални условия руслови процеси, засягащи участъци с по-малка или по-значителна дължина.</i></p>	
Времеви	
обратими	<p>характеризират се с потенциал за възстановяване на изходното положение на речното корито. Обратими деформационни процеси се наблюдават и при формирането на бреговете (хоризонтални деформации или планова миграция на леглото), но в преобладаваща степен те се развиват по дъното на реката под формата на ерозионно-аккумуляционни процеси. Обратимост на тези процеси се наблюдава предимно в горното течение, докато в равнинните участъци се осъществява в по-голяма степен акумулация на част от транспортирания твърд отток.</p>
необратими	<p><i>характерни за равнинните участъци, където по-изразен дял имат акумулационните процеси на част от транспортирания твърд отток.</i></p>
<p><i>Преобладаващи са обратимите деформации. На тази основа, в случаите когато необратимите</i></p>	

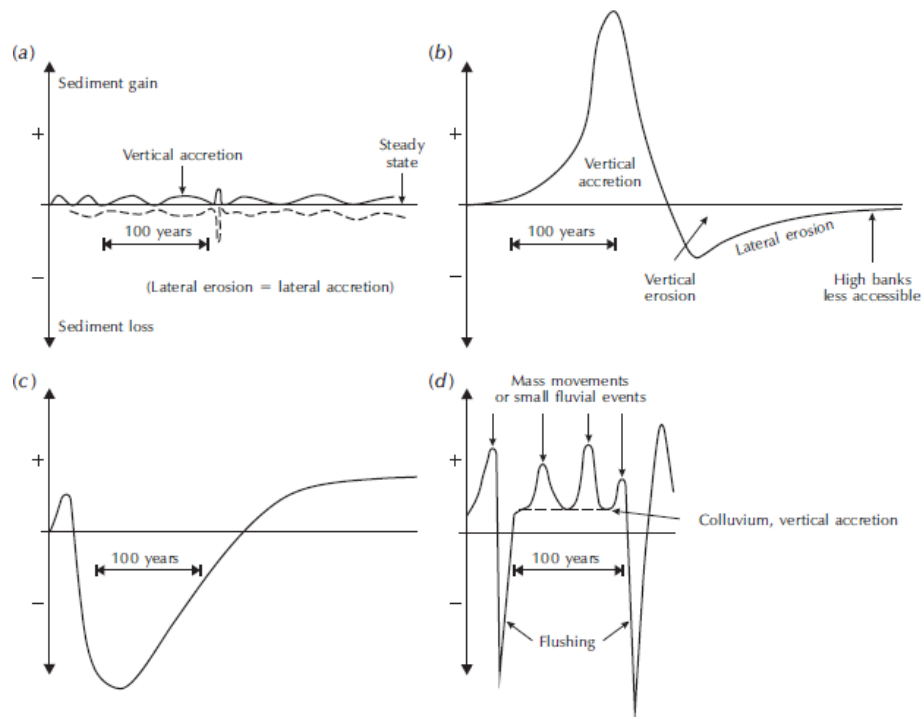
Вид на деформациите	Описание
<p><i>процеси за даден участък са пренебрежимо малки, е възприето да се счита, че в този участък от реката съществува динамично равновесие от гледна точка на формирането на речното легло.</i></p>	

Планови деформации

Плановите деформации на речните легла, оформили се върху несвързана основа, могат да се класифицират според основния белег на тяхното проявление. Реките предимно се разширяват, меандрират, а при определени условия те блуждаят. Меандрирането на реките съществено зависи не само от състава на речната основа, но и от контурите на речната долина.

Динамиката на русловите процеси следва най-общо една от следните четири основни закономерности:

1. квази-равновесно състояние, при което съществува динамичен баланс между процесите на отлагане и ерозия/изравяне на леглото - **Фигура 3.5 (a)**;
2. повишаване на речното дъно и заливаемите тераси в резултат отлагане на седимент **Фигура 3.5 (b)**;
3. врязване на речната долина **Фигура 3.5 (c)**;
4. циклично/епизодично отлагане и отнемане на значителни количества наносен материал, съпътствано с изразени изменения в геометрията на леглото (характерно за планински реки и пресъхващи потоци **Фигура 3.5 (d)**);



Фигура 3.5 Динамика на русловите процеси

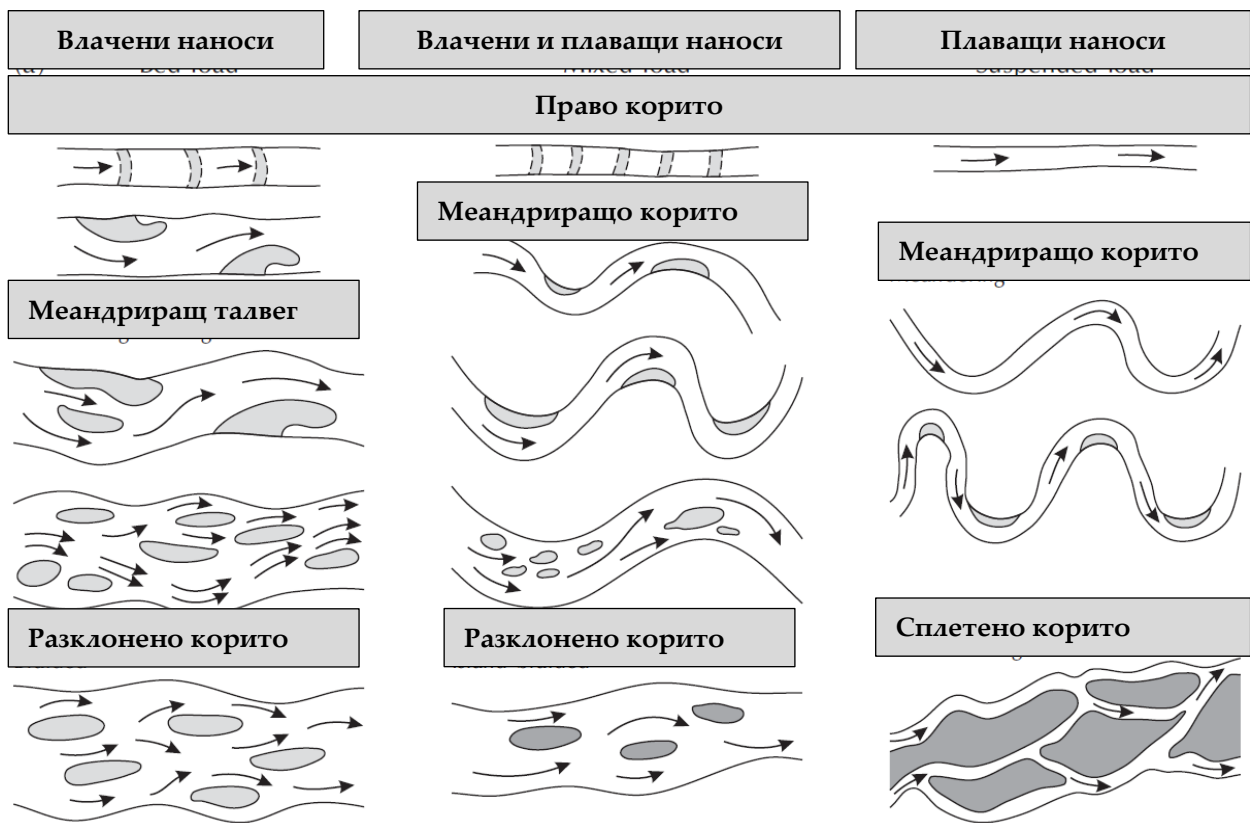
Форми на алувиалните легла

Формите на речните корита в план и разрез варират в широки граници в зависимост от хидроложкия режим, характеристиките на дънния субстрат и подхранването с наноси, както и редица други фактори.

Въз основа формата на леглото в план алувиалните реки спадат към една от следните групи:

Прави	наблюдават се рядко в естествени природни условия, в случаи на неразмиваеми устойчиви брегове. Характеризират се с v-образна форма на долината. Въпреки праволинейния характер на коритото, обичайно продиктувано от човешка намеса, талвегът следва криволинейна/лъкатушна траектория, наподобяваща меандриращо или сплетено корито
Меандриращи	широко разпространени и характерно за широките речни долини. Характеризират се с редуващи се разнопосочни хоризонтални криви. Вдлъбнатият бряг е обект на подкопаване/ерозия, а вдлъбнатият – на отлагане.

Разклонени	формират се при относително по-големи надлъжни наклони, в сравнение с типичните за меандриращи корита, и сравнително по-едър дънен материал. Принципно могат да се разглеждат като продукт на процесите на отлагане и обособяване на наносни острови и наносни коси между отделни речни ръкави (при по-ниски води). Островите способстват развитието на растителност, която стабилизира така образуваните форми, поради което същите биват по устойчиви във времето в сравнение с наносните коси.
Сплетени	комбинация между меандриращи и разклонени корита. Сплетените корита са форма на разклонени корита, при които разстоянието между разделянето и събирането на отделните ръкави е достатъчно голяма, за да се осигурят условия за меандриране на единичните ръкави.



Фигура 3.6 Класификация на основните планови форми на речните легла във връзка с преобладаващата форма наносен транспорт, източник Hugget 2007

Меандриращи корита

Естественият стремеж към меандриране на речните легла няма еднозначна обосновка, но е възприето да се счита, че е резултат от присъщите за турбулентните течения нестабилност в условия на деформируеми брегове.



Долно течение на река Искър – пример за меандриращо корито (Източник: Bing Maps Hybrid)

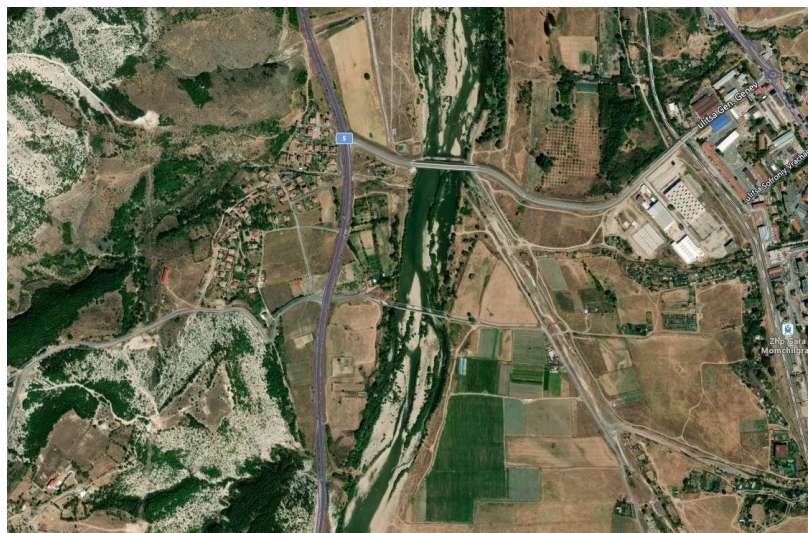


Източник: Тихомир Иванов <https://photo-forum.net/i/2093032>

Сплетени корита

Разклоняването и образуването на по-малки и или по-големи ръкави в едно общо речно корито е характерно за 1. течения с висок енергиен потенциал, 2. голям надлъжен наклон,

3. подхранване с големи количества седименти от околните склонове, притоци, с високо съдържание на едрозърнест материал, транспортиран под формата на влачени наноси, 4. силно деформируеми брегове, позволяващи странични движения на леглото. Обичайно такива форми на речните легла се наблюдават в по-високите части от речните течения и при едрозърнест чакълест и песъклив субстрат.



Река Върбица, гр. Момчилград – пример за силтено корито (Източник: Bing Maps Hybrid)



Източник: <https://opoznai.bg/view/vajeniia-most-nad-r-varbitza>

Разклонени/анастомозни корита

Разклонените корита в известна степен наподобяват сплетените, предвид факта, че се състоят от различен брой разклонения (ръкави), които се събират и разделят. Основната разлика се състои в това, че сплетените корита формират едно общо речно корито, разделено от относително неустойчиви наносни форми и острови, докато разклонените корита се състоят от самостоятелни ръкави, разделени от по-устойчиви алувиални или скални форми. Образоването на такива корита е характерно за течения с по-изразен дял на плаващите наноси и при наличие на относително устойчиви на странични деформации брегове. Срещат се сравнително по-рядко.



*Разклонения/ръкави на река Дунав след гр. Силистра
(Източник: Bing Maps Hybrid)*

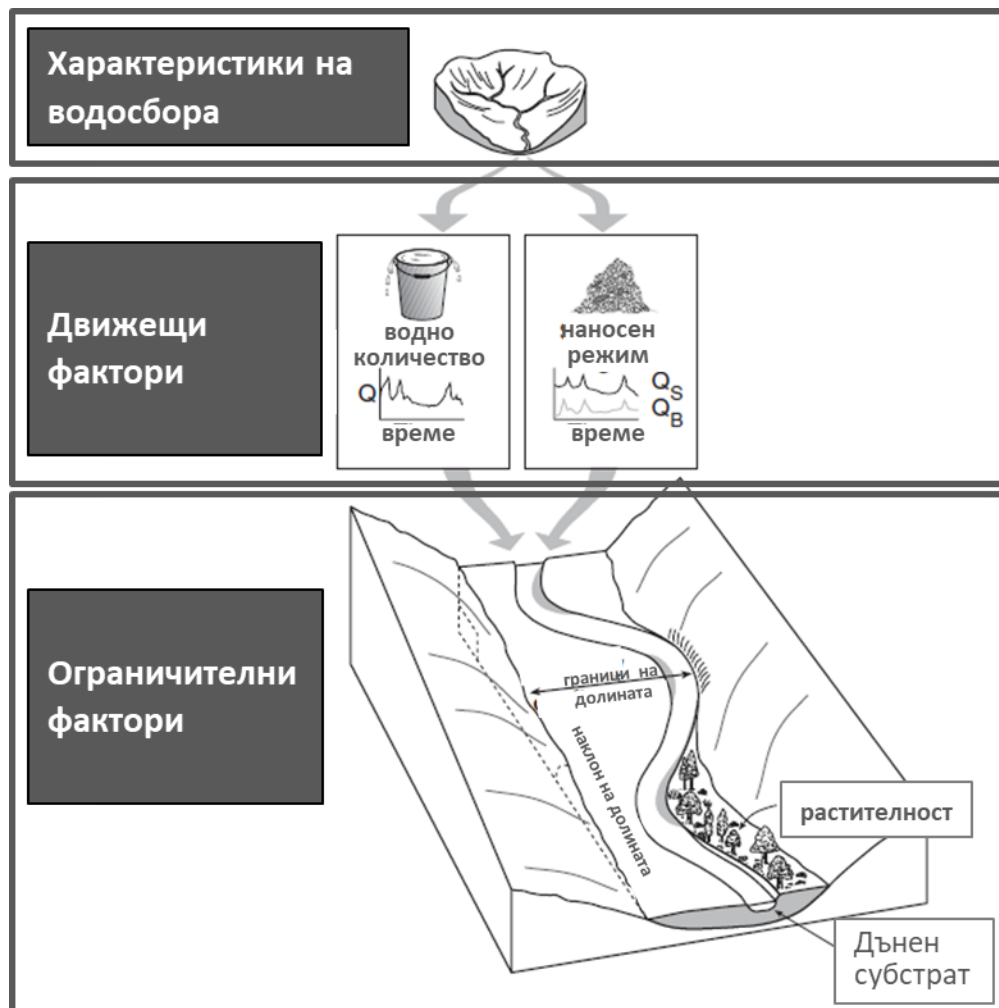


Делта на река Дунав, Източник: Rewilding Danube Delta, <https://rewilding-europe.com/news/rewilding-danube-delta-website-goes-live/>

Развитието на плановете форми би могло да бъде неограничено (свободно) или странично ограничено от склоновете на долината.

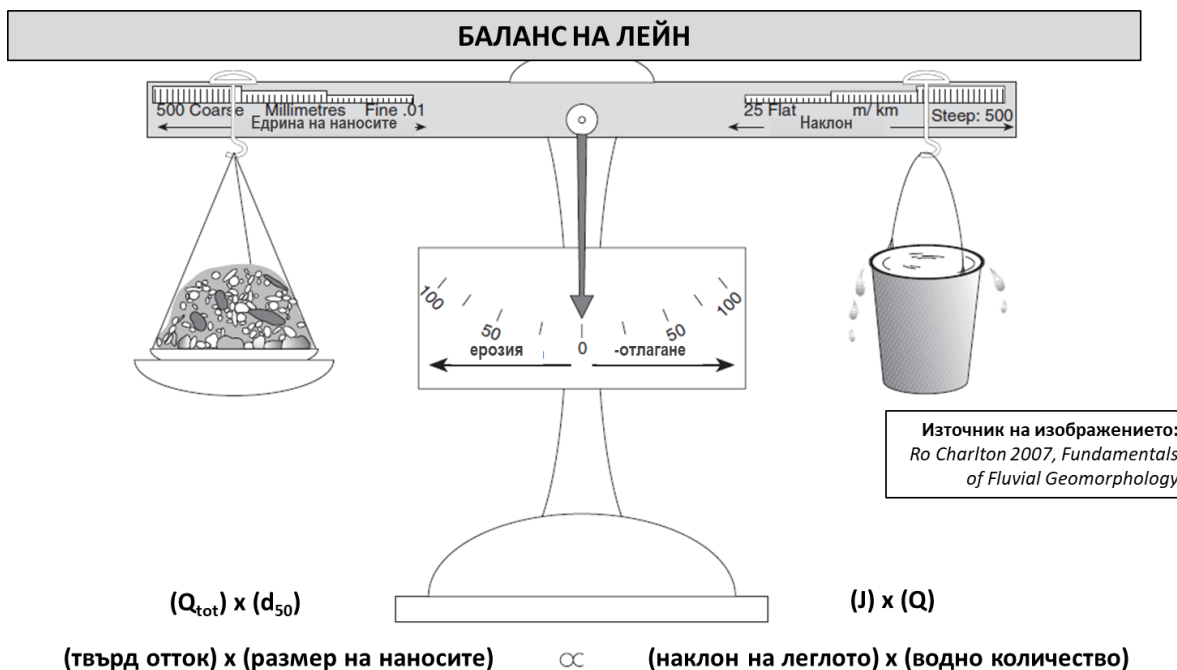
3.2 Руслофирмираци/коритообразуващи фактори

Факторите, които определят характера на русловите процеси могат да бъдат обособени в две групи – движещи фактори и ограничаващи фактори. Към първата група принадлежат водният и твърд отток, които в естествени условия се характеризират с по-малки или големи колебания във времето и пространството. Факторите, които възпират или ограничават развитието на русловите процеси включват геометричните характеристики на речното корито и долината, както и съпротивителните свойства на повърхността, изразени чрез характеристиките на дънния субстрат, наличието на растителност, инженерни съоръжения и др. **Фигура 3.7** илюстрира схематично основните фактори, определящи характера на русловите процеси:



Фигура 3.7 Руслоформиращи фактори (Ro Charlton 2007)

Въз основа на наблюдения и анализи е установена генерална зависимост между процесите на ерозия или отлагане и горепосочените фактори, изразени посредством водното количество (Q), общото количество транспортирани наноси ($Q_{tot}=Q_{BL}+Q_{SL}$), надлъжния наклон и представителен диаметър на зърната, съставлящи дънния субстрат (d_i). Тази връзка се онагледява посредством популярната диаграма на Лейн,



Фигура 3.8 Баланс на Lane – връзка между руслоформиращите фактори

Диаграмата демонстрира наличието на много тънко равновесие в геометрията на едно речно легло, обусловено от равенство между мощността на течението, изразена чрез произведението ($Q \cdot J$), устойчивостта на дънния субстрат, представена посредством d_{50} и подхранването на наносен материал от горе. За конкретни условия ако наличната мощност на течението е достатъчна за транспортиране на постъпващия в горния край на участъка седимент това равновесие се запазва. При промяна на условията, най-често изменение във водния и/или твърд оттока, балансът се нарушава и в зависимост от посоката на изменение, при увеличаване на мощността възниква ерозия, а при намаляване – отлагане. Тенденцията се запазва до достигане на следващо равновесно състояние.

Съществува един закономерен стремеж на речното легло да се адаптира към външните условия така, че енергийните загуби да бъдат сведени до минимум.

Важна характеристика на русловите процеси е различната скорост на изменение на движещите и ограничителните фактори, т.е. геометрията на леглото. Ако първите се характеризират с относително по голям интензитет на колебанията, то измененията в геометрията обичайно се развиват с относително по-бавен темп. Така например при преминаване на високи води, често се развиват най-значителни деформации в речните корита, но поради недостатъчната продължителност на въздействието не се достига до

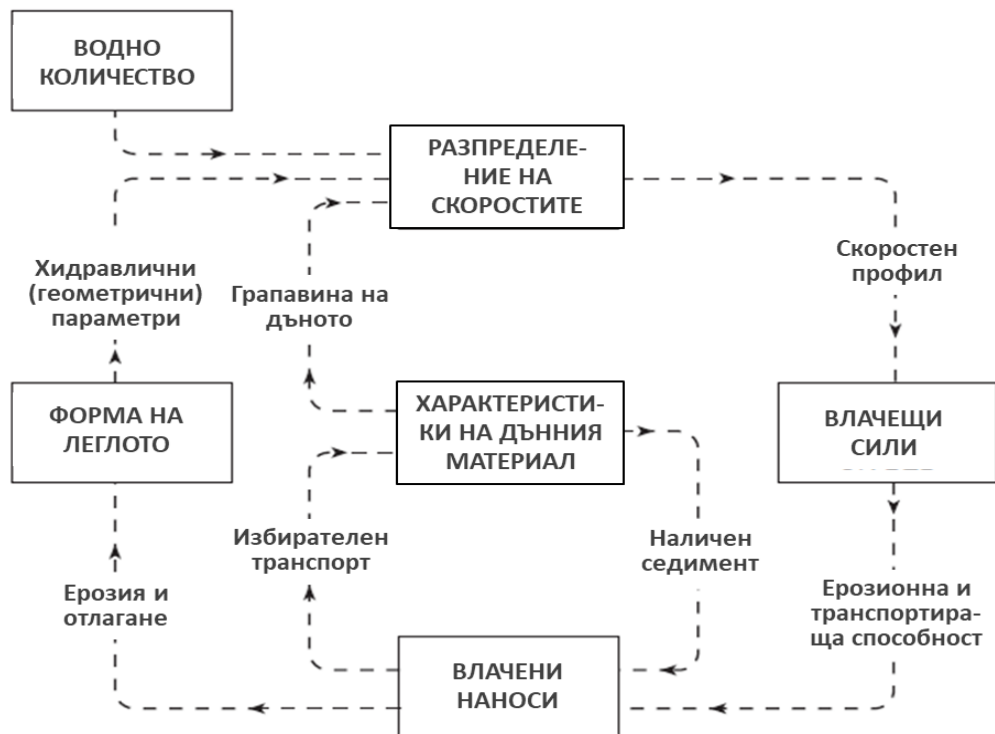
ново равновесно състояние. Високите води се оттеглят и леглото се адаптира към новите условия.

Тази особеност е причина за формулиране на т.нар руслооформящо или коритооформящо водно количество, което характеризира трайното равновесно състояние за даден речен участък. Определянето на представително водно количество, към което да се адаптира леглото, т.нар руслофирмиращо, не подлежи на еднозначна дефиниция. За такова често се приема водното количество, което запълва коритото до нивото на заливната/ите равнини или т.нар. активна част на коритото (кюнето). В литературата са възприети следните основни схващания:

1. водното количество, при което в рамките на една средно **представителна хидроложка година** по реката се транспортира **моментен най-голям наносен отток**;
2. ако по реката целогодишно би протичало това **фиктивно водно количество**, биха се създали онези форми и размери на речното легло, както и от естественото речно течение;
3. водното количество с определена обезпеченост, например 3-10 % (рускоезична литература) или 1-5% (западна литература).

Особено значение за практиката има изменението на геометрията на леглото, представени чрез надлъжния наклон, който в общия случай би могъл да се приведе към средния хидравличен наклон J и характерните размери на леглото в напречен профил – $V_{ср}$ и $H_{ср}$. По правило с придвижване на едно течение от извора към устието надлъжният наклон намалява, а отношението ширина към дълбочина B/H – нараства. Ако се използват добре познатите хидравлични зависимости – 1. уравнение за непрекъснатост и 2. уравнение на Шези, може да бъдат получени общи зависимости между геометрията на леглото и водното количество. Тези функции са решени в условия на недеформируеми легла. **Деформируемите легла от своя страна имат склонност да се адаптират към условията чрез промени във формата си, напр. разширяване или удълбочаване в резултат на ерозионни процеси**, което от своя страна води и до промени в надлъжния наклон.

Взаимовръзките между горепосочените фактори и генерираните процеси може да се илюстрира чрез блок-схемата на [Фигура 3.9](#)



Фигура 3.9 Блок схема, изобразяваща връзката между русловите процеси и руслоформиращите фактори

От практическа гледна точка установяването на хода на изменение на геометрията на леглото с промяна на скоростта е нерешима при наличие на 3 неизвестни и 2 уравнения. Друг съществен проблем представлява различната скорост на изменение на отделните параметри, т.е. скорост на течението и ширина/дълбочина на коритото с промяна на водното количество. Следва да се отбележи, че формата на леглото и отношението ширината към дълбочината се адаптират по-лесно към промените в условията (Q) отколкото надлъжния наклон.

4 Дефиниране на необходимите дейности за планиране и прилагане на възможни технически решения за зелени мерки за укрепване на речното корито, вкл. биологично укрепване, с цел защита от вредното въздействие на водите

В исторически аспект водните течения винаги са били подложени на сериозен антропогенен натиск, като териториите, в които естествено са се развивали тези системи и са поддържали динамичното си равновесие се използват все по-интензивно и често са гъсто населени. Поради тази причина водните течения не са оставени в естествения си вид, а са модифицирани и коригирани. Тъй като в настоящия момент коригирането на теченията в населените места няма алтернатива, то поне трябва да се стремим да поддържаме речните легла в състояние, възможно най-близко до естественото им.

Извършеният анализ на международния и национален опит в прилагането на зелени мерки за укрепване на речното корито дава основание с оглед съвременните условия в България, да бъде предложен двуфазен процес за вземане на решение за прилагане на дадена мярка или комбинация от мерки, представен подробно в разработката „Green approaches in river engineering. Supporting implementation of Green Infrastructure” (3), разработен от екип, ръководен от HR Wallingford Ltd. и включващ Environmental Policy Consulting, River Restoration Centre, CIRIA, The University of Liverpool and The University of Nottingham.

Според публикацията (3), взимането на решение за прилагане на дадена мярка или комбинация от мерки следва да се разглежда на две нива:

- **Управленско (високо) ниво** – следва да даде отговор на въпроса дали изобщо е необходимо предприемане на действия и ако да, то какви са потенциално възможните решения, оценка на очакваните разходи и ефект от тяхното прилагане;
- **Техническо ниво** – следва да предостави по-задълбочен анализ на избраното на високо ниво концептуално решение и сравнение на различни варианти, въз основа на които да се разработи окончателно проектно решение.

Една от основните разлики между двете нива при прилагане на цикъла на вземане на решения е типът на идентифицирани и оценени опции: докато на управленско ниво, разглежданите опции са на високо ниво, то на техническо ниво, това са специфични мерки или решения.



Фигура 4.1 Обща схема на процеса на взимане на решение (3)

4.1 Взимане на решение на управленско ниво

Рамката за взимане на решения на управленско ниво, следва да гарантира включване и адекватна оценка на зелени и сиво-зелени опции при очертаване на алтернативни решения при разработването на концептуални решения. Ако такива мерки бъдат избрани за оценка на следващото техническо ниво към тях се прилага рамката за взимане на решения на техническо ниво, чиято функция е да предостави допълнителна информация и да подпомогне подбора на най-подходящо решение/мярка или комбинация от мерки.

1. **Установяване на движещите сили (източниците на натиск) и поставяне на цели** – разбирането на русловите процеси и установяването на движещите сили е жизнено важно за очертаване на адекватен подход за решаване на даден проблем и респективно за постигане на поставените цели. Това налага да се вземат под внимание както локалните характеристики на участъка от течението, така и особеностите на водосборната област и общо геоморфоложките специфики на поречието.
2. **Очертаване на възможни решения за постигане на целите и оценка на очаквания ефект от тяхното приложение** – оценяват се потенциалните последици при условие, че се запазят съществуващите условия, напр. дънна или брегова ерозия или др., както и възможни решения за подобряване на настоящото състояние в участъка. Следва да се разгледат концептуални решения, включително намеса на ниво водосбор, в

резултат на което биха могли да се набележат специфични мерки и тяхната приоритизация.

3. **Очертаване и оценка на вариантни решения** – следва да се разгледат и оценят различни потенциални решения, чрез сравнение на които да се постави солидна основа за обосноваване на избора на най-адекватно концептуално решение.
4. **Избор на вариант и разработване на проектно решение** – въз основа на предходната стъпка следва да се избере решение, което в най-висока степен удовлетворява поставените (в стъпка 1) цели;
5. **Прилагане/Изпълнение на разработеното проектно решение** – в зависимост от конкретния контекст, приложението на предпочитано решение може да изисква осигуряване на финансови ресурси, въвличане на заинтересовани страни или разработване на инвестиционен проект;
6. **Експлоатация - наблюдения, инспектиране, поддръжка и оценка на резултатите от приложеното решение** – с цел установяване степента на удовлетворяване на поставените цели и с оглед подобряване на механизма за взимане на решения е необходимо да се наблюдава приложената мярка.

Целта на предпроектната фаза (разработване на концепция) е да подпомогне оценката на дадени инвестиционни намерения чрез осигуряване на обективна обосновка за целесъобразността от предприемане на определени действия и чрез създаване на основа за разработване на инвестиционен проект за тяхното изпълнение.

Стъпка 1: Установяване на движещите сили (източниците на натиск) и поставяне на цели

Опознаването и разбирането на русловите процеси и произхождащите проблеми, чието решение изисква намеса, напр. осигуряване на брегозащита, предпазване от високи води или друго, представлява първа стъпка към определяне на целите очертаването на адекватни подходи за тяхното решаване.

В случай че се предвижда модификация/корекция на геометрията на речното легло в във връзка с:

- Установяване динамика на дъното и бреговете във времето и прогнозиране на потенциални бъдещи изменения, които биха настъпили при предприемане на планираните дейности, засягащи леглото;
- Установяване на типа седимент/и, които могат да се считат за представителни за речното дъно и брегове.

На този етап анализът следва да отразява процесите както на ниво водосбор, така и на местно ниво, в това число по-широк речен участък и конкретно за подучастъка, обект на интервенция. *Пример: корекция в даден речен участък, свързана с промяна на геометрията на леглото във всеки случай ще повлияе върху естествения наносен транспорт и русловите процеси в поречието.*

За целите на хидроморфоложкия анализ е препоръчително да се въведе/възприеме подходяща типология на реките, с помощта на която могат да се оценят историческите, настоящи и потенциални бъдещи руслови процеси. Такава понастоящем е въведена в страната (ПУРБ-методици). Тази типология, макар да отразява и хидроморфологичните особености, поставя акцент върху екосистемните характеристики (или биологичните елементи за качество съгласно РДВ) и е значително по-комплексна от необходимото за конкретното приложение. В този смисъл приложимостта ѝ към анализ на русловите процеси е относително ограничена.

Геоморфоложките особености на дадено поречие определят в най-висока степен естественото поведение на леглото и потенциалната реакция на външни въздействия, в това число инженерна намеса. Типизирането на реките се базира основно на хидроложки, седиментоложки и (гео)морфоложки особености на поречието. Класификацията позволява установяване на взаимовръзките между русловите (морфоложки) форми и русловите процеси, което е от ключово значение за изясняване динамиката на речното легло в миналото и понастоящем и респективно за намиране на причините за възникване на проблема, чието решение се търси. Имайки тази информация на следващ етап е възможно да се предвиди как речната система би реагирала на определено инженерно решение. Това обуславя необходимостта в първоначалния етап на разработване на концепция да се определи типът на речното течение, въз основа на който да очертаят най-подходящите мерки с оглед очакваната реакция на речната система.

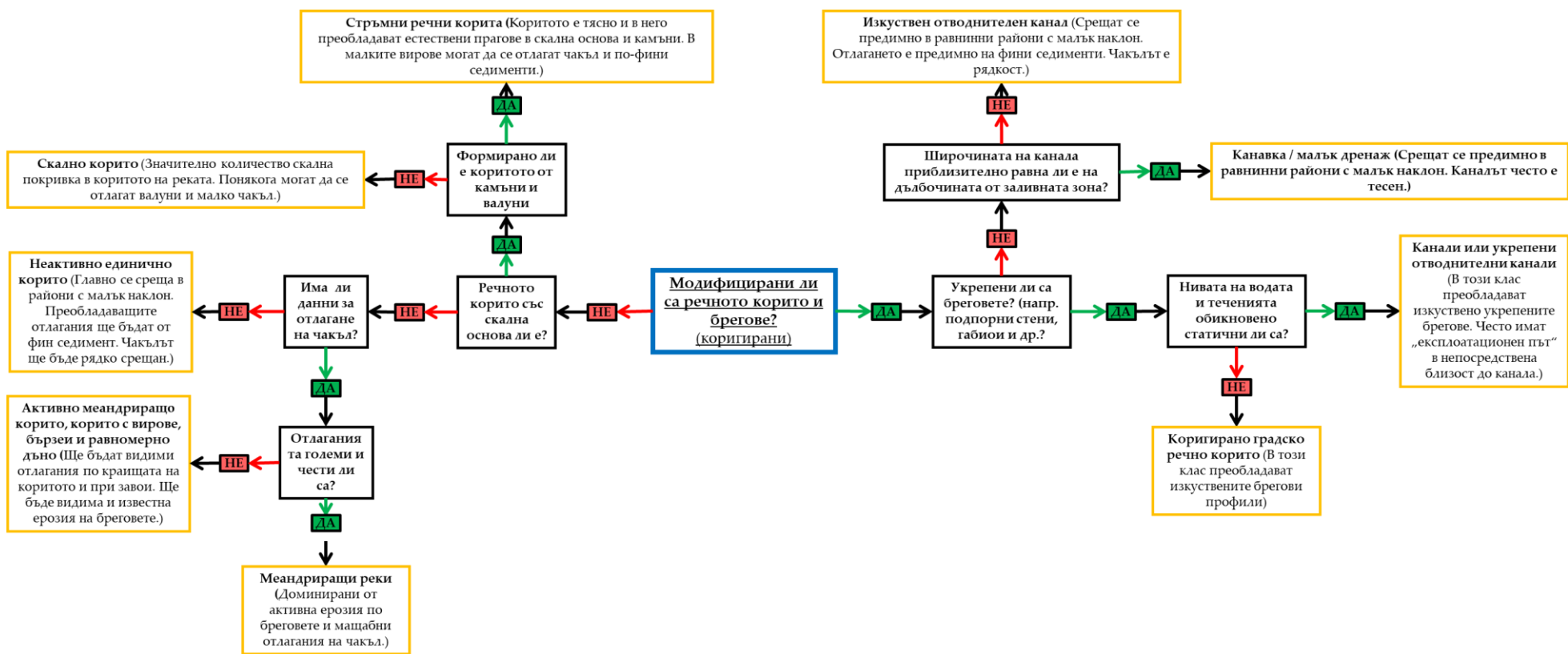
Пример: биологична стабилизация в основата/петата на речните брегове, подложени на ерозия посредством засаждане на храстовидна или др. растителност е неподходяща за речни корита, които се класифицират като блуждаещи, предвид значителната динамика в транспорта на седименти. Такъв тип реки са обект на непрекъснати ерозионни и седиментационни процеси и планова миграция на коритото, поради което приетото биологично укрепване в петата на брега може да бъде компрометирано в резултат на изравяне или пък поради отлагане на значителни обеми наносен материал. Ако речното корито се класифицира като блуждаещо, то категорично следва да се търси решение под формата на сиво-зелена или сива мярка, при която освен това е необходимо да се подберат растителни видове, които имат ниска чувствителност към динамика на седимента, т.е. коренова система, устойчива на изравяне и надземна част,

устойчива на отлагане на наноси. Освен това изборът на подходяща растителност във всеки случай следва да бъде съобразен с хидроложкия режим и вариацията на водните нива.

Ако даден речен участък е обект на странична (брегова) ерозия за целите на планирането на устойчива брегозащитна мярка е необходимо да се установи източникът на проблема – дали нарушаването на брега е продукт на външни въздействия, като човешка или животинска дейност или е резултат от естествени руслови процеси като меандриране, обща дънна ерозия или е комбинация от външни за речната система и естествени речни процеси. Така например ако в резултат от анализа на процесите се установи, че причина за нарушения по брега е човешка дейност, в това число животновъдство, то ненамесата е малко вероятно да бъде удачно решение. Като правило при установяване на деформации на речното дъно или брегове в резултат на антропогенна дейност решението следва да се търси в посока управление на източника на проблема, вместо да се инициират мероприятия за третиране на симптомите, в случая укрепване на дъното или бреговете.

В редица случаи е необходимо да се търси решение за укрепване на брега или дъното или защита от високи води в места, където е налице компрометирана или неизпълняваща пълноценно предназначението си „сива инфраструктура“. В такива случаи при предпроектните проучвания следва да се разгледа решение за рехабилитация/реконструкция на съществуващата защита чрез прилагане на „сиво-зелени“ мерки, които да предоставят едно по-устойчиво и дълготрайно решение.

За характеризирание на речните типове е удобно да се използва следната опростена типология, включваща естествени и модифицирани легла:



Фигура 4.2 Характеризиране на речните типове – опростена типология (3)

Стъпка 2: Очертаване на възможни решения за постигане на целите и оценка на очаквания ефект от тяхното приложение

Приложението на „зелени“ мерки за укрепване на речните брегове и дъно се основава на т.нар. множествени ползи, касаещи както основното предназначение (брегоукрепване), така и приносите по отношение на околна среда, социални, културни и други сфери.

Категоризация на проблеми/последичите, породени от дънна и брегова ерозия на речните корита:

Последичи/щети за	Описание
жилищна и нежилищна собственост	Загуба или щета на собственост, в това число градини и прилежащи площи
съоръжения от критичната инфраструктура	Загуба или щета на мостове, баражи/прагове, шлюзове, помпени станции и др.
Транспортна инфраструктура	Загуба или щета на пешеходни алеи, пътни и железопътни трасета, навигация и др.
Селско стопанство	Загуба на гори, пасища и обработваеми земи
Използване на бреговете и заливните тераси	Нарушаване на условия за къпане, лодкостоянки.....
Околна среда	Влошаване на естетическата стойност на средата, биоразнообразието и качеството на водите
Културно-историческо наследство	Загуба на безценни активи и обществени

Стъпка 3: Очертаване и оценка на вариантни решения

При анализа на високо ниво се разглеждат следните основни опции:

Ненамеса	Ненамеса в естествените процеси може да бъде удачна, в случаите, когато може да се оцени, че под влияние на естествените процеси наблюдаваният проблем ще затихне или ще се нормализира. Подобна опция е възможна само тогава, когато наблюдаваните процеси се развиват изцяло в речния коридор/легло и динамиката на русловите процеси предполага възстановяване дъното или бреговата зона в обзримо бъдеще.
Управление на процесите	Чрез управление на процесите, водещи до проявление на нарушения в речното легло (дъно брегове) е възможно да се минимизират или преустановят вредните въздействия, особено в случаите, когато същите са породени от човешка дейност. В горепосочените случаи тази мярка следва да бъде предпочетена пред пряка инженерна намеса под формата на брегозащита или укрепване, тъй като предполага по-малко негативно въздействие върху околната среда и екосистемите. По правило подобни мерки биват многократно по икономични в

	сравнение с класически инженерни решения. В тази категория мерки попадат широк набор от дейности, като например организиране на обучителни кампании и взаимодействие с местната общественост, направа на заграждения за ограничаване на достъпа, въвеждане на ограничения за движение на техника, преместване на дейности, имащи негативно въздействие и др.
Използване на естествени природни процеси	В тази категория попадат мерки за регулиране на оттока от типа на външни водозадържателни зони, поддържане на растителността във водосборите и в заливните зони с цел подобряване на отточните характеристики, възстановяване на естествените речни легла (ревитализация) и др.
Зелени мерки	
Сиво-зелени мерки	
Сиви мерки	Включват инженерни мерки, при които в речните легла се влагат едроломен скален или синтетични материали като бетон, стомана или полимерни и композитни материали, позволяващи направата на защитен повърхностен слой или корави защитни съоръжения, ограничавачи деформациите на брега. Мерките от тази категория непо правило не предлагат ползи за околната среда или др. освен основните ползи, като същевременно се считат за неустойчиви решения и с ниска адаптивност към климатични промени.

Подборът на подходящи концептуални решения на даден речен проблем изисква да се разгледат и оценят опциите, въз основа на следните основни принципи:

- Доколко решението позволява постигане на дефинираните/определените цели?
- Дали решението влияе на източника на проблема или засяга единствено формите на проявление на проблема, т.е. симптомите?
- Какви биха били прогнозните последици при ненамеса?
- Оценка на риска и анализ разходите и ползите при прилагане на всяка една от опциите (в това число ненамеса).

Забележка: Непознаването на възможни зелени мерки като методи за противоерозионна защита и наличието на богат опит с утвърдени конвенционални техники се отбелязва като основна причина за пренебрегването и неприоритизирането на зелени и сиво-зелени мерки. Налагането на такъв тип мерки изисква твърди политики, предвид липсата на утвърдена законодателна рамка за тяхното прилагане.

При набелязването на концептуални решения следва да се вземат под внимание следните ползи от прилагане на зелена инфраструктура в речното инженерство:

- Прилагането на зелена инфраструктура за брегозащита може да бъде ефективна алтернатива на конвенционалните средства, но при определено съчетание на фактори. Зелената инфраструктура спомага за редуциране на скоростите на течението и респективно подобрява ретензионната способност на леглото, което я прави подходяща в случай, че е необходимо забавяне скоростта на оттичането на високите води;
- Зелени мерки могат да се прилагат като спомагателни към съществуващи брегозащитни системи и съоръжения;
- С течение на времето е възможно да се очаква повишаване на ефективността на зелените мерки, като същевременно се увеличават и ползите за околната среда.



Фигура 4.3 Приложимост на типовете мерки според характеристиките на реката (3)

Необходимост от поддръжка – прилагането на зелени и сиво-зелени мерки изисква известна поддръжка, което следва да се има предвид при сравнението на варианти. Имайки предвид, че в действителност тези мерки представляват живи системи, които се променят във времето, то по правило се изисква определено ниво на поддръжка, за да се

запази ефективността и основната функция на системата. Основни предимства, които зелената инфраструктура предлага в това отношение включват:

- Тези системи са почти напълно или частично самоподдържащи се;
- Широката общественост би могла да участва в поддръжката, когато не са необходими специфични знания и умения.

По-широките ползи от зелената инфраструктура са систематизирани в следната таблица (3):

	Зелени мерки	Сиво - зелени мерки		Сиви мерки	
	Растителност	Почва, подсилена с растителност	Матраци, подсилени с трева	Заскалявка	Шпунтови стени
Достъп на диви животни					
Комплексност на водния хабитат					
Комплексност на растителните хабитати					
Засенчване, температура					
Подслон, убежище					
Отстраняване на замърсявания					
Задържане на седименти					

Легенда:	Полезно	Полезно до неутрално	Неутрално	Неутрално до вредно	Вредно
----------	---------	----------------------	-----------	---------------------	--------

Фигура 4.4 Допълнителни ползи от прилагането на зелена инфраструктура (3)

Цена:

Мярка	Разходи
Живи колове	ниски
Живи фапини	средни
Матрачни плетове	средни
Затревяване/залесяване	ниски
Заскалявка	средни-високи

Рискове:

Фактор за успех	Несигурност/риск
Мотивация	<ul style="list-style-type: none"> - Неизяснени отговорности на институции и заинтересовани страни (напр. по отношение на изпълнение и поддръжка - Затруднения при съгласуване и получаване на разрешителни за прилагане на мерките - Липса на ангажираност на обществеността в резултат на липса на яснота по отношение на множествените ползи
Инженерна функция	<ul style="list-style-type: none"> - Наличните сведения за ефекта от зелени мерки се свеждат до конкретни локални условия, поради което генерализирането на ползите не е обосновано - Практикуващите инженери в областта на речното инженерство имат ограничен или никакъв опит с планиране/проектиране на зелени мерки - Функционирането на зелени мерки в течения, характеризиращи се с висок енергиен потенциал и респективно скорости на течението, както и при екстремни климатични условия, обичайно не е задоволително. Тяхното прилагане може да бъде приемливо единствено в отделни участъци от такива течения, подложени на по-благоприятни условия; - Развитието на висока растителност може да затруднява инспекцията на прилежащи съоръжения, изискващи наблюдение и поддръжка (напр. диги, мостове, шлюзове и др.), което предполага необходимост от поддръжка на растителността; - Времето за постигане на надеждна и ефективна брегозащита може да достигне няколко години, т.е. мярката влиза в действие с отложен старт.
Цена	<ul style="list-style-type: none"> - Понастоящем оценката на общите разходи по прилагане на мерки от този вид, в това число първоначални инвестиционни и разходи за експлоатация, е затруднена поради липса на наблюдения с достатъчна продължителност

Ползи	Общи	<ul style="list-style-type: none"> - Оценката на екосистемните услуги и тяхното подобряване понастоящем все още е трудно за остойностяване при извършване на технико-икономическите анализи - липсват правила и норми за планиране и проектиране на екосистемни услуги
	Околна среда	<ul style="list-style-type: none"> - не се изключват негативни последици за местната флора в резултат развитието на инвазивни видове
	Социални	<ul style="list-style-type: none"> - обществеността може да приема зелените мерки като недостатъчно надеждни в осигуряването на защита в сравнение с конвенционалните сиви мерки

Тъй като следващите три стъпки, свързани с процеса на вземане на решение, неговото прилагане и последваща експлоатация са твърде специфични за всяка институция или организация, навлизането в прекалена специфика на етапа на концептуално вземане на решение на управленско ниво не е целесъобразно, поради което не се разглежда подробно и в настоящия документ. Следва да се отбележи, че документите, даващи точни и ясни насоки за тези стъпки са детайлни ръководства на отделни институции, използващи се за специфични цели при конкретни условия (2), (14), (15) и др.

4.2 Вземане на решение на техническо ниво

Обобщена схема за взимане на решения на техническо ниво

Стъпка 1: Установяване на движещите сили (източниците на натиск) и поставяне на цели

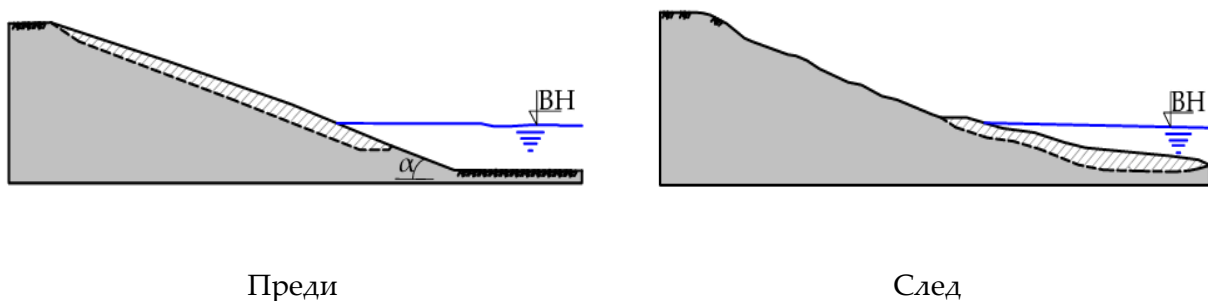
Разбирането на русловите процеси и установяването на движещите сили е жизнено важно за очертаване на адекватен подход за решаване на даден проблем и респективно за постигане на поставените цели. Това налага да се вземат под внимание както локалните характеристики на участъка от течението, така и особеностите на водосборната област и общо геоморфоложките специфики на поречието. На етап техническо решение (идеен или технически проект) е необходимо да се набере допълнителна информация от проучвания.

Пример: при необходимост от брегозащита е необходимо да се установи механизмът на нарушаване на брега. В редица случаи проблемът може да има преобладаващо геотехнически характер, което предполага, че осигуряването на противоерозионна защита не би довело до очакваните

результати и следва да се предвидят допълнителни геотехнически проучвания и мерки.

Най-често срещаните механизми на нарушаване на брега са:

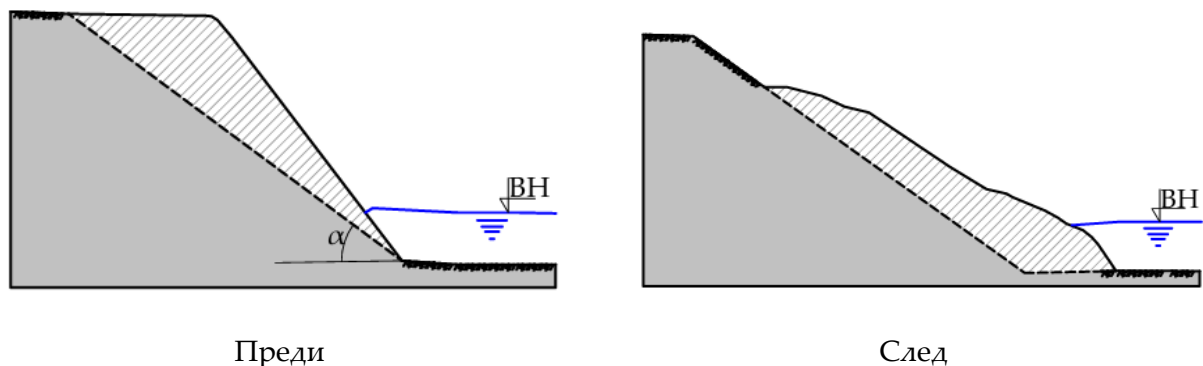
Плитко хлъзгане на брега



Фигура 4.5 Плитко хлъзгане на брега (16)

Плиткото хлъзгане на брега се наблюдава при полегати откоси и е характерно при несвързани почви. Равнината на хлъзгане е приблизително успоредна на наклона на откоса ($\alpha \approx \varphi'$). Филтрационни води от брега към реката могат значително да намалят наклона на устойчивия откос. Растителността по откоса обикновено спомага неговото стабилизиране.

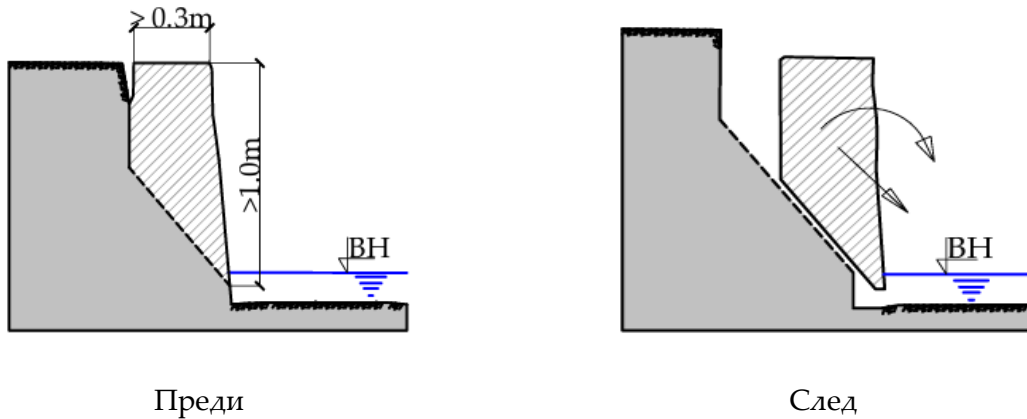
Плоско хлъзгане на брега



Фигура 4.6 Плоско хлъзгане на брега (16)

Характерно е при стръмни или вертикални откоси и обикновено се наблюдава при несвързани почви, но не само. Равнината на хлъзгане е приблизително успоредна на наклона на откоса ($\alpha \approx \varphi'$). Обичайно се случва при високи брегове и относително ниски водни нива.

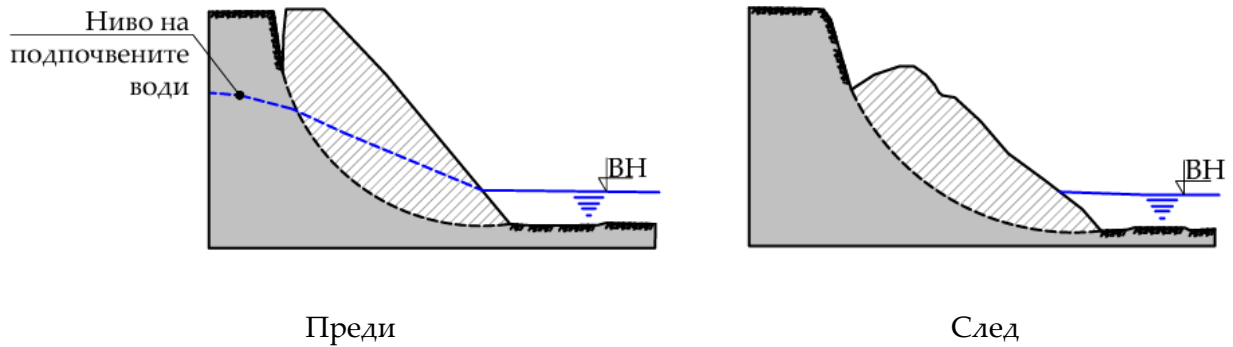
Плоско хлъзгане/отцепване



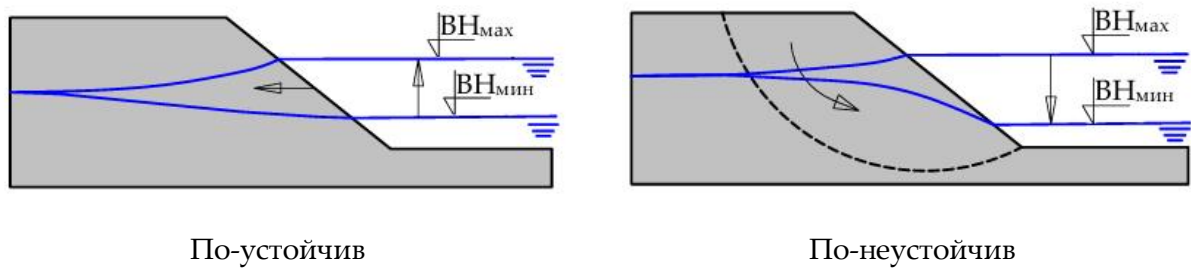
Фигура 4.7 Плоско хлъзгане / отцепване (16)

Отцепването обикновено се случва при много стръмни или вертикални откоси. Характерна е появата на дълбоки надлъжнобрегови пукнатини. Разрушаването се осъществява чрез хлъзгане на част от масива и/или преобръщане и значително се подпомага от наличието на вода в пукнатините. Този тип разрушаване е относително по-слабо повлияно от нивото на подземните води.

Хлъзгане по криволинейна повърхнина



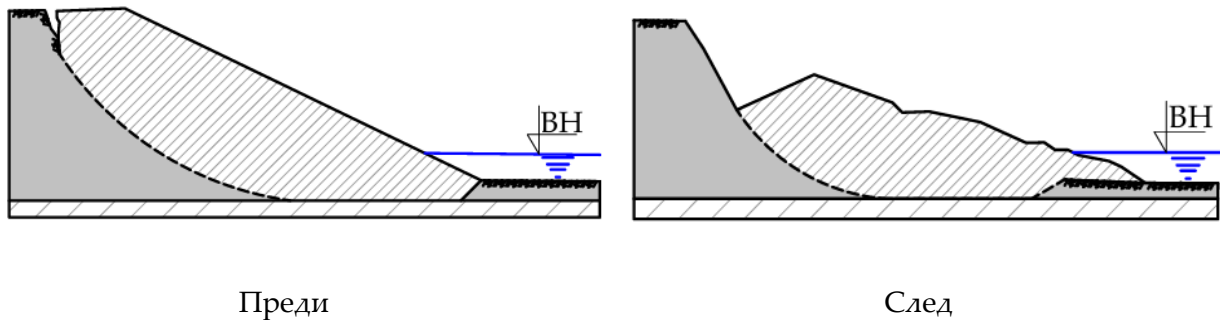
Фигура 4.8 Хлъзгане по криволинейна повърхнина (16)



Фигура 4.9 Устойчивост на откоса при изменение на водното ниво в реката и нивото на подпочвените води (17)

Характерно е за хомогенни свързани материали при средно високи стръмни откоси. Разрушаването се подпомага при наличие на вода в надлъжнобреговите пукнатини, които се формират в началния етап на загуба на устойчивост. Процесът се влияе силно от нивото на подземните води. Както се вижда на [Фигура 4.9 Устойчивост на откоса при изменение на водното ниво в реката и нивото на подпочвените води](#) при повишаване на водното ниво в реката, респ. повишаване на нивото на депресионната крива на подпочвените води в откоса, устойчивостта му е сравнително висока. При понижаване на водните нива в реката, депресионната крива също започва да се понижава, което води до филтрация на подпочвени води към реката, което намалява устойчивостта на откоса. Разрушението може да обхване масива до нива под петата на откоса.

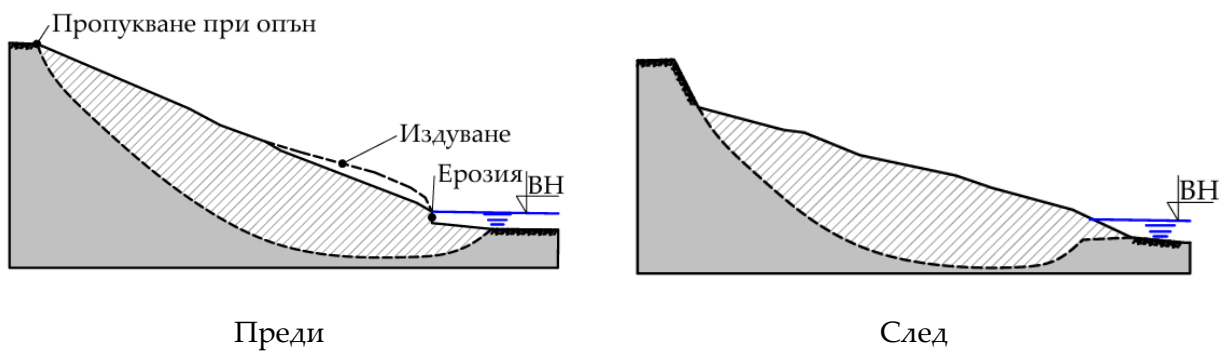
Хлъзгане по криволинейна повърхнина със слаба зона



Фигура 4.10 Хлъзгане по криволинейна повърхнина със слаба зона (16)

Хлъзгателната повърхнина се определя от положението на някакъв вид разнороден материал, обикновено с по-висока устойчивост, по който по-слабият материал се хлъзга. Този тип разрушаване е характерно за средно високи стръмни откоси. В първоначалната фаза обикновено се образуват надлъжнобрегови пукнатини. Наличието на вода в тях значително подпомага разрушаването. Процесът се влияе силно от нивото на подземните води. Разрушението може да обхване масива до нива под петата на откоса.

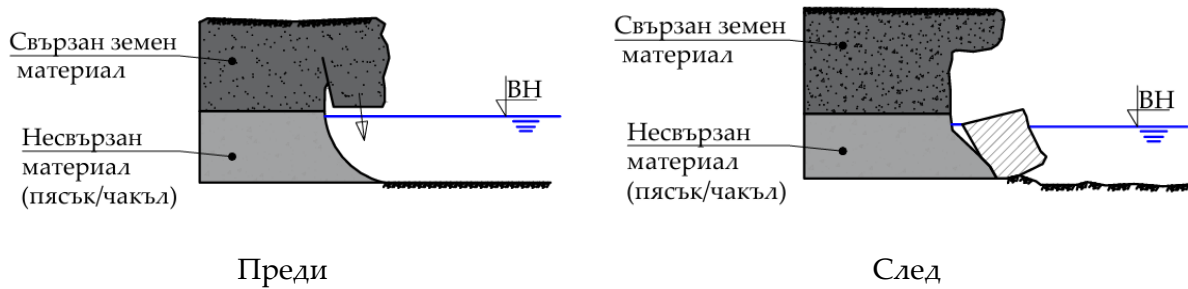
Хлъзгане по криволинейна повърхнина на голям масив / свлачище



Фигура 4.11 Хлъзгане по криволинейна повърхнина на голям масив / свлачище (16)

Обичайно е резултат от бреговата ерозия, предизвикана от водното течение, при което се свлича голяма област от склона на речната долина. Този тип хлъзгане обикновено е причина за придвижване на значителен обем земни маси. Индикатори за процеса на разрушение са появата на надлъжнобрегови пукнатини в горната част на склона, издуване в петата на откоса или други видими деформации.

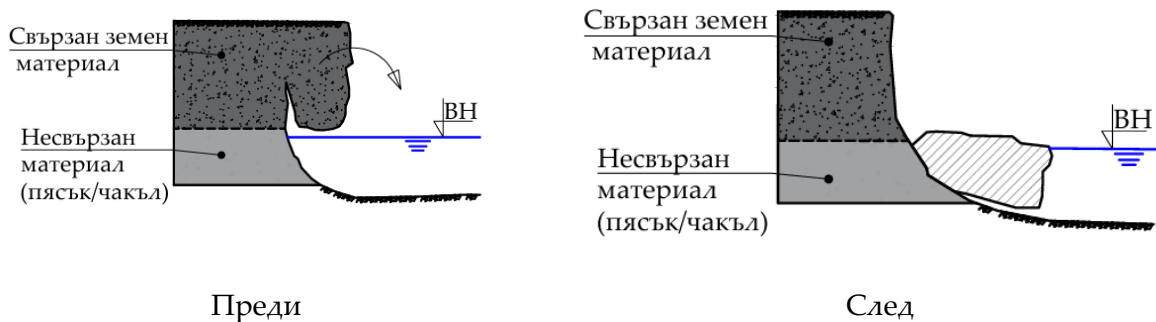
Обрушване на нехомогенни брегове (отгънно разрушение / откъсване)



Фигура 4.12 Обрушване на нехомогенни брегове (отгънно разрушение) (16)

Наблюдава се, когато пласт от свързан материал лежи върху несвързан материал. Разрушаването е под формата на отцепване на подкопан къс от масива.

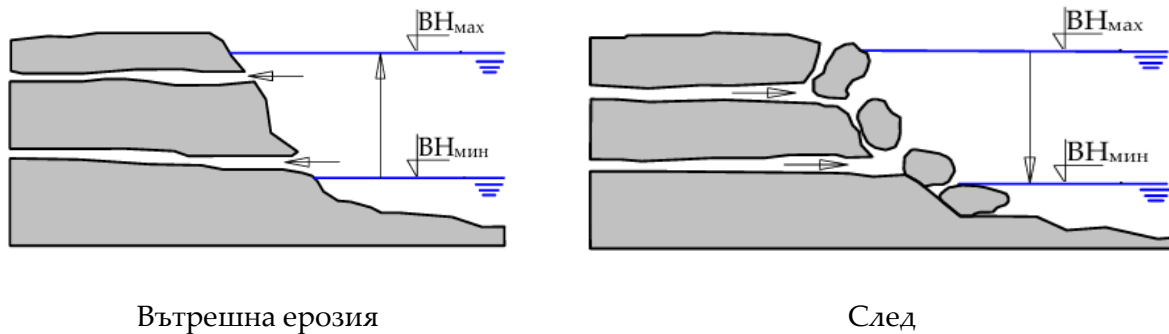
Обрушване на нехомогенни брегове (срязване)



Фигура 4.13 Обрушване на нехомогенни брегове (срязване) (16)

Механизмът на разрушение е подобен на този при откъсването. Подкопан къс от масива обикновено се отцепва и преобръща. Механизмът може да бъде и в резултат превишаване на якостта на срязване.

Обрушване на нехомогенни брегове вследствие възникването на суфозия



Фигура 4.14 Обрушване на нехомогенни брегове поради суфозия (17)

При наличие на пластове с различни физико-механични и филтрационни характеристики, при колебания на нивата в речното корито се наблюдава водонасищане при повишаване на нивата, след което при обратното понижаване се формира голям напорен градиент, водещ до възникването на суфозия и вътрешна ерозия. При цикличност на този процес постепенно се извлича все повече материал, което води до обрушване на целия откос.

На ниво разработване на техническо решение са необходими по-задълбочени хидроложки анализи и хидравлични/хидродинамични изчисления за установяване на хидравличната картина по отношение на водни нива/стоежи, скорости на течението, колебания на подземните води и др. С тяхна помощ е възможно да се направи обективна оценка на алтернативни технически решения (стъпка 2). По-подробни насоки към добри практики, прилагани в отделните проектни части могат да бъдат видени в т. 5 на настоящия доклад.

Стъпка 2: Очертаване на възможни решения за постигане на целите и оценка на очаквания ефект от тяхното приложение

Оценяват се потенциалните последици при условие, че се запазят съществуващите условия, напр. дънна или брегова ерозия или др., както и възможни решения за подобряване на настоящото състояние в участъка. Следва да се разгледат концептуални решения, включително намеса на ниво водосбор, в резултат на което биха могли да се набележат специфични мерки и тяхната приоритизация.

Стъпка 3: Очертаване и оценка на вариантни решения

Следва да се разгледат и оценят различни потенциални решения, чрез сравнение на които да се постави солидна основа за обосноваване на избора на най-адекватно концептуално решение.

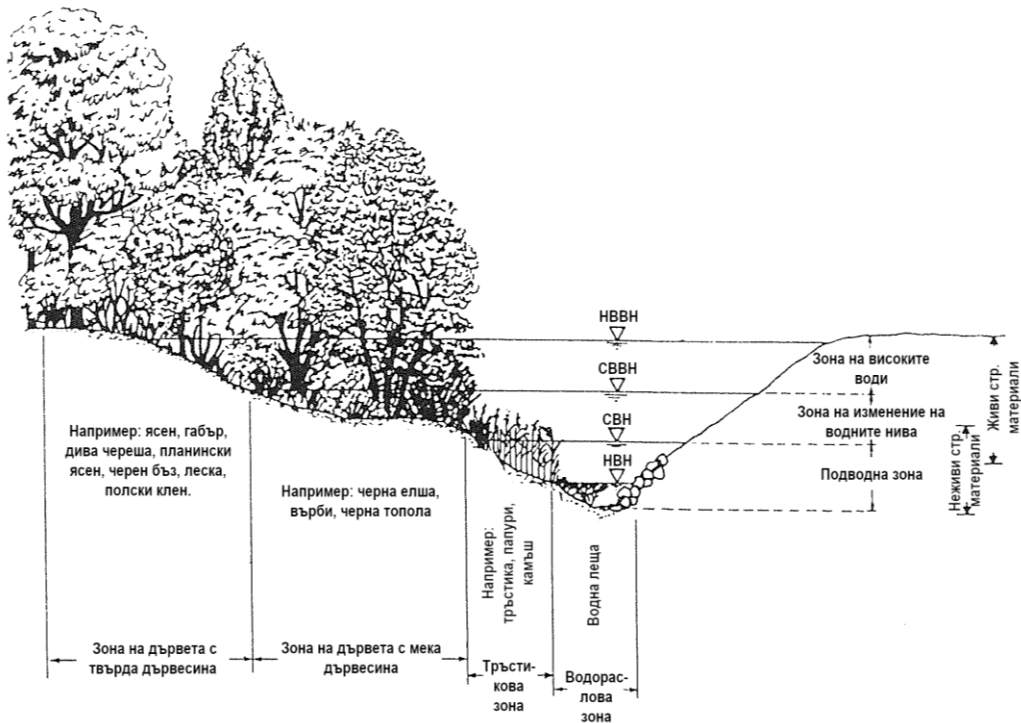
В литературата могат да бъдат открити множество предписания и препоръки за извършване на строителни работи в хармония с ландшафта, които могат да бъдат обобщени както следва:

- По принцип мерките трябва да се оценяват от гледна точка на тяхната екологична целесъобразност и да се прецени дали не трябва да се предпочете естествената сукцесия;
- Избор и използване на строителни машини и оборудване, които да са технически подходящи и съобразени с условията на терена;
- Оформяне на откосите така, че да се запази устойчивата им форма, което се постига чрез избягване на стръмни откоси, заобляне на ръбовете и краищата на откоса;
- Избягване използването на естествени строителни материали, които не се срещат в района на проекта, напр. използване на ломен камък в алувиуми с фини седименти;
- Избягване на строителни материали, които не са естествени, като стомана, бетон, пластмаси, напр. за облицовка или уплътняване на речното корито;
- Широко използване на живи строителни материали;
- Набавяне на подходящи дървета и храсти от района на строителната площадка или от еквивалентни естествени местообитания, намиращи се колкото е възможно по-близо;
- Запазване на тръстиковите масиви и водните растения в коригирания или укрепен участък;
- Запазване на растителността, растяща в зоната на строителната площадка извън регулирания участък след периода на строителство чрез внимателно използване на строителната техника;
- Преместване, временно съхранение и презасаждане (трансплантация) на растителността;
- Избор на подходящ сезон за извършване на работите, като се отчита спецификата на съществуващата фауна;
- Изсичането или разчистването на заливните зони трябва да се сведе до минимум или да се избягва.

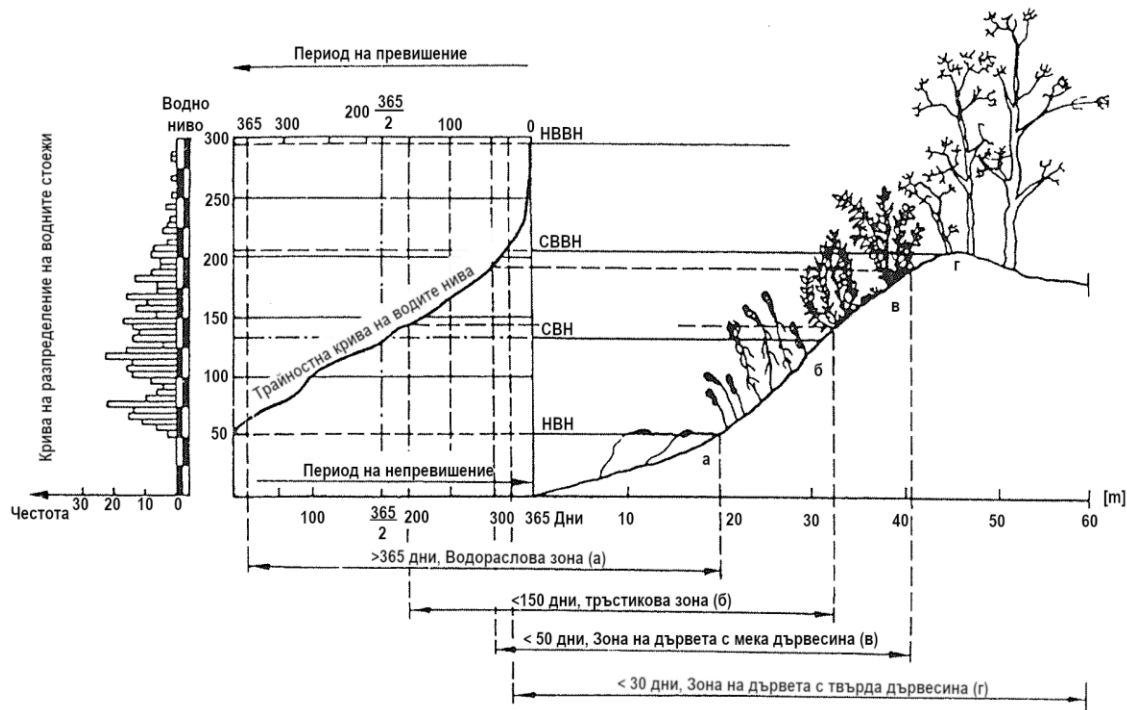
За постигане на тази цел е най-удачно да се използват строителни материали, които биха могли да се срещнат и естествено във водното течение – камък, чакъл, фини и много фини почви и пръст, дърво).

Изборът дали да се използват мъртви или живи строителни материали обаче не зависи само от интензитета на хидродинамичното натоварване, причинено от течението и

влачените от него тела, но и от продължителността на заливане на съответните територии. В зависимост от продължителността на превишаване на определени водни нива профилът на реката се разделя на зони с различни периоди на заливане. Въз основа на това, в зависимост от характерните особености на различните видове растения и растителни съобщества, се формират типични за водното тяло граници на растителността.



Фигура 4.15 Зони с различни типове растителност по речните брегове и откоси в зависимост от водните нива (4)



Фигура 4.16 Зони с различни типове растителност по речните брегове и откоси в зависимост от водните нива и трайността им (4)

4.2.1 Строителни материали

Поради все по-гъстото заселване и интензивно използване на речните долини, реките, като динамична система, не могат да бъдат оставени да следват собствената си динамика. Въпреки това, стремежът трябва да бъде към осигуряване на състояние, възможно най-близко до естественото им. За постигането на тази цел приложение намират строителни материали, които биха могли да се срещат на това място и в естественото му състояние, напр. камък, чакъл, фини или много фини почви и земни маси, дърво и др.

Изборът между използването на живи и неживи строителни материали зависи не само от интензитета на хидродинамичното натоварване, предизвикано от речното течение, но и от продължителността на заливане.

В зависимост от продължителността на превишение или непревишение на определени водни стоежи, речният профил се разделя на зони с различна вероятност на заливане. По този начин се получават граници на различните типове растителност, характерни за водния обект (Фигура 4.15, Фигура 4.16).

4.2.1.1 Неживи строителни материали

Неживите строителни материали като дърво, скален материал, бетон, стомана (напр. колове, тел, телени мрежи, въжета, анкери и др.), пластмаси (тъкани, нетъкани

геотекстили, структурни рогозки, ленти) се използват главно като спомагателни строителни материали в биоинженерните строителни методи.

От гледна точка на т.нар. биоинженерни строителни методи, тяхното самостоятелно използване за укрепване на речното корито и речните брегове е оправдано само на места, на които възникват екстремни хидродинамични натоварвания или екстремни натоварвания от земен натиск. Пример за удачното им прилагане е при заскаляване с едри скални късове на дъната на водостоци или зоните около мостови опори, изграждането на бетонови подпорни стени в стръмни участъци и др.

4.2.1.1.1 Дърво

„Мъртвата“ дървесина, която може да бъде под формата на цели отсечени или паднали дървета или нарязана дървесина (дънери, дъски, колове, талпи), се използва като строителен материал за изграждане на живи подпори. Използването на дървесина е ограничено от нейната дълготрайност, като химическо импрегниране не може да се използва за компоненти, контактуващи с водни течения.

Дълготрайност на дървесината

Заразяването с гъбички води до биологично разлагане на дървесината (гниене). По принцип развитието на гъбичките започва с отсичането на дървесината, като някои видове се развиват и в жива дървесина. Гъбичната инфекция практически може да бъде овладяна само чрез влошаване на условията за живот на гъбите - чрез лишаване от кислород (постоянно наситена с вода дървесина) или чрез липса на вода (силно изсъхване на дървесината). Редуващи се овлажняване и изсъхване, както и прекия контакт между дървесината и почвата благоприятстват заразяването с гъбички и по-нататъшното им развитие.

Нараняването на дървесината по време на обработката трябва да се избягва на всяка цена, тъй като това се явяват места, на които се образуват огнища на гъбични инфекции.

Трайност на дървесните видове, растящи в Европа	
по-малко от 5 години	елша, бук, габър, бреза, клен, върба
5 – 10 години	смърч, ела, ясен, бряст, топола
15 – 25 години	лиственица, дугласка, бор
повече от 25 години	тис, салкъм (лъжеакация)

Мъртвата дървесина може да се използва и за подобряване на екологичната функционалност на течението (напр. чрез коренища, закрепени с живи върбови колове). Мъртви клони, клонки или паднали дървета, лежащи в речното корито или по бреговете

обогащават структурното разнообразие на течението, а от друга страна дървесината е източник на храна и местообитание за различни гъби, насекоми и птици и осигурява укритие и убежище за раци, риби и други водни организми.

Поради тези причини дървото е много подходящ материал за прилагане при строителни методи, близки до естествените.

4.2.1.1.2 Камък

Камъкът е най-подходящият строителен материал при водни течения, оказващи значително хидродинамично натоварване на коритото. Материалът трябва да е мразоустойчив, устойчив на разрушаване при удар и достатъчно устойчиви на изветряне.

При избора на камък е важно да се съобрази дали е подходящ за конкретния водосбор, тъй като всяко водно течение в зависимост от геоложкия строеж на водосбора съдържа различни разтворени вещества.

В райони с преобладаващи кристалинни скали или пясъчници с ниско съдържание на варовик, количеството на разтворените вещества ще бъде ниско. В райони с варовикови скали или гипсови отложения, количеството на разтворени вещества рязко се увеличава.

От решаващо значение е съдържанието на въглеродна киселина във водата, която в този случай разтваря както варовик (CaCO_3), така и доломит ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

4.2.1.1.3 Метал

Стоманата и желязото се използват най-често под формата на пилоти и колчета за стабилизиране на близки до естествените напречни съоръжения. Често за целта се ползват стари железопътни релси, които се забиват на гъсто и по този начин задържат камъните, от които се изграждат рампи или прагове, без да влияят сериозно на самото течение, за разлика от шпунтовите стени, които са плътен площен елемент на конструкцията.

Металните мрежи се използват при изграждането на телени валове, пълни с чакъл или под формата на габиони и матраци за укрепване на откоси. Също така под формата на габиони могат да бъдат използвани и като строителен елемент за изграждане на подпорни стени. При влагането на телени мрежи в конструкцията следва да се имат предвид възможната абразия, причинена от плаващи или влачени наноси и последствията върху общата устойчивост на конструкцията от евентуално разкъсване и компрометиране на мрежата.

Въжетата са друга често използвана форма, под която стоманата и други метали (най-често алуминий или мед, макар и по-скоро по изключение) се прилагат в укрепването на речните корита.

Стоманените въжета се използват предимно за застопоряване, връзване или окачване на различни елементи на конструкцията, а телта се ползва главно при оформянето на фашины или закрепването на дребни елементи от конструкцията.

4.2.1.1.4 Геотекстил и геомрежи

Текстилните тъкани, нетъканите геотекстили и текстурираните рогозки се използват като площни конструктивни елементи за близки до естествените строителни методи. Тъкани, изработени от юта, кокосови или памучни влакна, предпазват от ерозия по време на фазата на първоначално захващане и развитие на растенията и се разграждат с времето. Тъкани от изкуствени влакна се използват като разделителни слоеве и филтри (напр. между скалния материал, използван за оформяне на рампи и фините седименти на дъното). Трябва да се обръща сериозно внимание на факта, че все още голяма част от синтетичните тъкани са чувствителни към ултравиолетова радиация и механично въздействие от страна на влачените и плаващи наноси, следователно могат да се използват само за части от конструкцията, които не са в директен досег с течението и не са изложени на слънчева светлина.

4.2.1.2 Живи строителни материали

Живите строителни материали, използвани в хидротехническото строителство са различни видове растения или части от тях, имащи способността да се вкореняват (вегетативно размножаване) и по този начин да водят до развитието на ново растение.

В българската хидротехническа практика използването на растения за постигането на различни цели има дълбоки исторически корени. Вероятно поради социално-икономически причини през последните години този тип строителство отстъпва място на инженерните методи, използващи неживи строителни материали. В настоящия документ до голяма степен в систематично отношение е възприет богатия австрийски опит в използването на живи строителни материали, описан подробно в (4) поради сходството в климатичните и географски характеристики между Австрия и България, като са отчетени и характерните местни специфични особености.

Чрез кореновите си системи растенията са развили ефективни защитни механизми срещу почвената ерозия и влиянието на физическите процеси, които я предизвикват – гравитация, вятър, влачеща сила на водата и др.).

Растенията се стремят да използват почвата като източник на хранителни вещества колкото е възможно по-ефективно чрез кореновата си система. В същото време, погледната от конструктивна гледна точка, кореновата система може да се разглежда като фундамент на растението и закотвяща система, придържаща надземните му части.

Предаването на сили от надземните части на растението към почвата се осъществява чрез еластичната, приспособяваща се коренова система, често с голям пространствен обхват.

Именно тези способности на растенията са предпоставка за тяхното използване като строителни елементи в инженерно-биологичните мероприятия за стабилизиране на коритото.

Широко залегнал и превърнал се, може би, в слоган на съвременните „зелени“ строителни методи и цитиран във всяка една съвременна разработка е изразът *„Правилното растение на правилното място“*. Спазването именно на този принцип позволява влагането на растенията като строителни материали по най-добрия възможен начин. Познаването на разнообразните им свойства и качества е най-важната предпоставка за успешното им използване.

В допълнение към избора на подходящи видове, произходът на материала също е от решаващо значение за успешното прилагане на живите строителни материали. В много случаи видовете са склонни да развиват екотипове, които се развиват оптимално само при определени местни условия, затова, когато е възможно, трябва да се използва местен материал, който може да бъде отглеждан в местни разсадници.

От екологични и икономически съображения, при използването на видове, можещи да се размножават вегетативно, е най-удачно посадъчен материал да се взема директно от съществуващата (естествена) крайречна растителност.

В случай, че такъв местен материал липсва, следва да се търси посадъчен материал от местни разсадници.

С особено внимание трябва да се подхожда при използването на върба и топола и почти без изключение трябва да се търсят местни резници, тъй като като посадъчен материал се предлагат предимно неопределени хибридни видове. Важно е при изпълнението на конструкции с растителни елементи да се изисква доказателство за произхода на посадъчния материал от изпълнителя и в общия случай да не се допуска влагане на материал с чужд произход, а когато това е неизбежно – да бъде внимателно съобразено и обосновано.

Технически свойства и стабилизиращо действие

Защита от ерозия (покриване на дъното)

- Намаляване на въздействието на дъждовните капки и зърната град върху почвата от надземните части на растенията;
- Забавяне на оттичането на валежа чрез задържане върху листата (интерцепция);
- Увеличаване на водозадържащия капацитет на почвата заради подобряване на структурата ѝ и забавяне на попиването;
- Намаляване на повърхностния отток и скоростта му.

Регулиране на водния баланс на почвата (чрез изпарение и образуване на почва)

- В зависимост от видовия състав, възрастта и структурата растителните масиви изпаряват много вода и по този начин отводняват почвата, което увеличава сцеплението между почвените частици (увеличаване на кохезията).
- Растенията създават структурираната почва с биоорганичния слой, хумусния слой и преходния слой хоризонт. Те подобряват състоянието на почвата, като подпомагат развитието на почвените организми.
- Микроорганизмите, които се нуждаят от мъртви растителни остатъци като хранителни вещества, стабилизират почвата, разлагайки тези остатъци и запълвайки кухините, създаващи се при разлагането на мъртвите корени. При разлагането на корените се образуват и почвени агрегати, които също увеличават сцеплението на почвените частици. Висшите почвени организми (като дъждовните червеи и т.н.), които са зависими от растителната покривка, чрез своята дейност правят почвата по-водо и въздухопропуслива. Това намалява възможността за образуването на преовлажнени зони в почвата, които са потенциални плъзгателни повърхнини.

Вкореняване в почвата (форма на корена и съотношение между корен и издънка (филиз))

Чрез корените си растенията се закрепват към почвата и се задържат към нея, като в същото време закрепват и поддържат почвата към себе си. При подбора на различни растителни видове във водното строителство, трябва да се внимава за смесването и редуването на плитко и дълбоко (дървета) вкореняващи се растения, респ. на интензивно и екстензивно вкореняващи се (триви), за да се гарантира, че ще има равномерно вкореняване в почвата.

- Екстензивни коренища: широки и дълбоки коренови системи; напр. върби, борове
- Интензивни коренища: къси, силно разклонени корени

Коренови издънки: вегетативно (безполово) размножаване, при което от странично разпространяващите се корени израстват надземни части на растенията. Този тип размножаване е много подходящ за някои видове, напр. трънка, но при други трябва да се избягва, напр. при осиката (трепетлика), които могат да станат толкова големи, че да застрашат устойчивостта на откосите.

„Живи помпи“: отводняване на влажни откоси, например чрез засаждане на върбови видове. Важно е да се има предвид, че този метод не работи извън периода на активна вегетация (през зимата).

Особено важна е способността на растенията (почти без изключение върбата и черната елша) да се вкореняват в зоната на ниските и средните води.

Защита срещу хидродинамичното въздействие на течението върху земната повърхност

Младите издънки намаляват скоростта на течението и по този начин намаляват и влачещата сила на водата. Трябва обаче да се има предвид, че по този начин се намалява пропускната способност на речното корито и следва да се очаква формиране на по-високи водни нива.

Еластичните части от растенията (напр. младите върбови клони) или цели еластични растения (напр. тревни) се накланят от водата при преминаване на големи водни количества и по този начин предпазват дъното и бреговете от изравяне.

Частите от растенията с по-голяма коравина не се огъват толкова лесно и течението минава покрай тях, обтичайки ги.

Биологични свойства и способности

Способност за регенерация

Много широколистни дървета са способни да израстват отново в основата на ствола, ако са огънати или счупени от наводнения, сняг или влачени камъни.

Чрез съответната поддръжка и подходящо подрязване в основа, тази способност на дървесните растения може да бъде използвана за подмладяване и запазване на устойчивостта и еластичността им.

Устойчивост на заливане

Различни дървесни видове като върба (*Salix cinerea*), лаврова върба (*S. pentandra*), черна върба (*S. myrsinifolia*), крехка върба (*S. fragilis*) и сребърна върба (*S. alba*), сребриста топола

(Populus alba), черна елша (Alnus glutinosa) и ясен (Fraxinus angustifolia) могат да понесат заливане до 2/3 от височината си в продължение на 1 до 2 седмици по време на периода на активна вегетация без да получат увреждания.

Възможност за вегетативно (безполово) размножаване

Различни растения могат да се размножават чрез резници (издънки, коренови и коренищни резници), пъпки или чрез разделяне, което означава, че части от издънки или корени могат да бъдат използвани за размножаване в разсадник или за директно засаждане на обекта.

Провентивните издънки или коренови системи се развиват от т.нар. спящи пъпки, които вече са налични върху младия стрък, но остават неактивни по време на по-нататъшното развитие на растението. Тези части са свързани със сърцевината на растението.

Адвентивните (добавъчни) издънки или коренови системи се развиват при определен стимул от камбия или от калуса в областта на нараняването, след предизвикването на такова. Те не са свързани със сърцевината на растението и са разположени много по-неравномерно върху резниците или другите части на растението, от които се развиват.

Способност за генеративно (полово) размножаване

Размножаването чрез семена е най-разпространеният метод за размножаване на тревни растения. След засяване на семена в много кратки срокове се получава растителна покривна на почвата. При дървесните растения размножаването чрез семена в разсадник се използва за размножаване на диворастващи дървета и храсти. Засяване на дървета върху брегове и откоси на практика не се прави заради бавния растеж на дърветата, тъй като фините седименти (а следователно и семената) се отмиват много бързо.

Способност за образуване на добавъчни корени

Някои вкоренени растения имат способността, в допълнение към съществуващата коренова система в засипаната и покрита с почва част на стъблото да образуват адвентивни или провентивни добавъчни корени.

Такива растения понасят затрупване на стъблото без да получават увреждания и са подходящи за често използваното в био-инженерните методи хоризонтално полагане или засаждане.

В обобщение може да се каже, че най-подходящи за използване в инженерно-биологичното укрепване на речните корита са растения, които могат да се размножават вегетативно (безполово) и/или да образуват добавъчни корени.

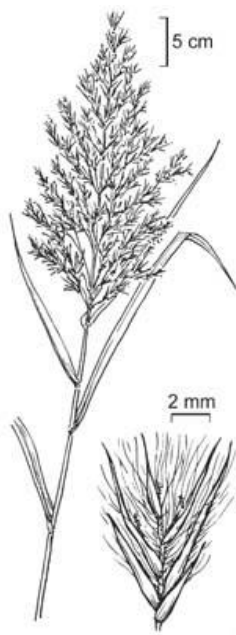
4.2.1.2.1 Тръстикови растения

В настоящата точка са представени специфичните характеристики на основните тръстикови растения за инженерно-биологично укрепване на речните брегове в зоната на средните води.

1. Тръстика, камъш (*Phragmites australis*, синоним: *Phragmites communis*)

Тръстиката, наричана и камъш, е многогодишно тревисто растение с височина до 2.5 m. Коренищата ѝ са пълзящи, като образуват дълги издънки. Листата са твърди, плоски, по краищата остро грапави. Езичето се състои от едни ред власинки. Метлицата е едра. Класчетата са тъмнокафяви или слабо виолетови. Цъфти в месеците юли-септември.

В България е разпространена на територията на цялата страна на надморска височина до 1500 m. Обитава реки, езера, блата и други влажни места.



Phragmites australis

Ботаническа илюстрация
(18)



Общ вид

Местоположение/Растеж:

- понася значителни течения, тъй като е здраво закрепена с плътно преплетени коренища в почвата под и над водата;
- силно устойчива на вълни;
- има голяма екологична амплитуда, която варира от олиготрофни до еутрофни, от основни до кисели среди;

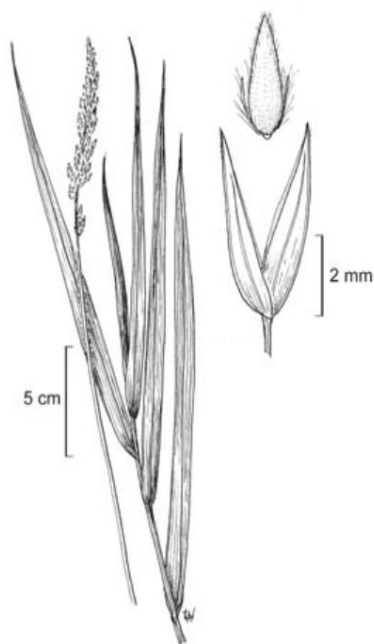
- прониква до дълбочина от 1,50 м във водата;
- расте и на места над нивото на водата;

Приложение:

- Растение за укрепване на бреговете на реки, потоци, канали;
- Не е подходяща за укрепване на бреговете на малки водоеми;

2. Тръстиковиден фаларис (*Phalaris arundinacea*)

Тръстиководният фаларис е многогодишно тревисто растение от сем. Житни. На височина достига до 50-60 см. Разполага с хоризонтално, плитко разклонено и даващо многобройни издънки коренище. Много бързо се разраства вегетативно, особено на по-влажни места и образува гъсти събщества. Листата са линейно ланцетни, надлъжно изпъстрени с бели ивици, с дължина до 30-40 см. Дивият зеленолистен вид е повсеместно разпространен край реки, канали, блата, мочурливи места в България, в цяла Средна Европа и Северна Америка. Растението е зимостойчиво в нашите условия.



Phalaris arundinacea

Ботаническа илюстрация
(19)



Общ вид

Местоположение/Растеж:

- образува високи, плътни и доминиращи насаждения;
- дълбока и широко разпространяваща се коренова система;

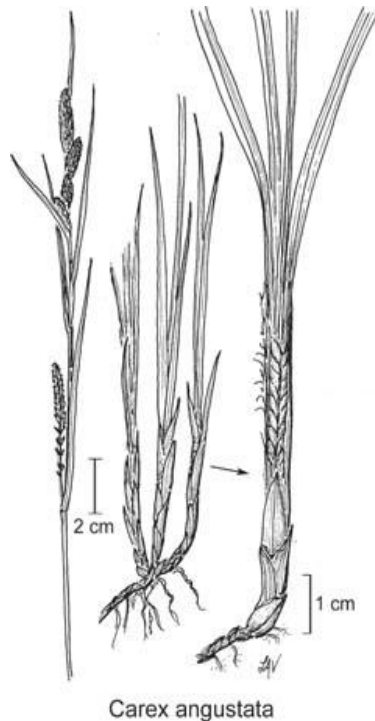
- ясно изразен реофил (обича бързо течаща вода);
- почти не прониква във водни дълбочини над 0,3 м (остава главно в крайбрежната зона);
- понася значителни колебания във водните нива;
- устойчива на полусенчести условия (за разлика от повечето други тръстикови видове) и добре се комбинира с укрепени с дървесна растителност брегове;

Приложение:

- подходяща за укрепване на малки водни басейни, тъй като е единственото растение от тръстиковия пояс, което не позволява заблатяване;
- за брегови зони между 1,10 м над и 0,3 м под средното водно ниво;
- възможна е комбинация с каменна настилка.

3. Възостра острица (*Carex acutiformis*), наричана също блатна острица

Блатната острица е многогодишно сиво зелено растение със силно развито коренище и подземни, дълги, груби издънки. Стъблата са тристенни, с остри ръбове, грапави. Височината на растението е между 30 и 120 (150) см



Ботаническа илюстрация на *Carex angustata*
– Широкоплодна острица, родственик на
блатната острица (20)

Общ вид

Местоположение/Растеж:

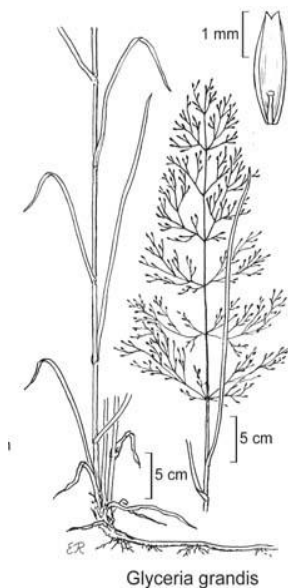
- Расте върху чакълести и каменни почви;
- Поносимост към колебания във водното ниво, частично устойчива на вълново въздействие;
- До известна степен понася изяждане от диви животни;
- Предпочита застояли до бавно течащи води, както и стари водни басейни;
- Силно издръжлива при рязане.

Приложение:

- Поради своята издръжливост, нечувствителност и скромни изисквания към местоположението, този вид острица е идеален заместител на тръстиката на места, където тя не расте добре.

4. Пъстролистна глицерия, Росица (*Glyceria maxima*)

Многогодишно тревисто житно растение с дълго подземно и разклонено коренище. На височина достига до 50-60 см. Видът е разпространен у нас, както и в цяла Европа и Азия. Среща се по бреговете на водоеми и блата, където образува растителни съобщества. Растението е напълно зимоустойчиво растение. Глицерията расте добре на влажни и плитко заливаеми места. Развива се добре на слънце или полусянка, на плодородна почва.



Ботаническа илюстрация
(21)



Общ вид

Местоположение/Растеж:

- Високорастящ вид с плитка коренова система
- Среща се в стоящи или течащи води, толерира колебания в нивото на водата
- Прониква във водни дълбочини до 0,5 м
- Толерира замърсяване на водата до известна степен
- Образува гъсти съобщества върху тиня или почви с високо съдържание на хумус
- Понякога понася бързотечащи води и силни колебания в нивото на водата

Приложение:

Този вид растение често се използва за стабилизация на бреговете във влажни зони, благодарение на способността си да се развива както в стоящи, така и в течащи води.

5. Езерен камъш (*Schoenoplectus lacustris*, синоним: *Scirpus lacustris*)

Езерният камъш е многогодишно тревисто растение с пълзящо, разклонено коренище. На височина достига до ок. 100 см, а на ширина до 50-60 см. Стъблата са цилиндрични и кухи. Расте на мокри и заблатени участъци, както и на плитко в периферията на блата, езера, канали, реки. Дивата форма е разпространена както у нас, така и в Северна Америка, Европа и Азия. Растението е зимоустойчиво и непретенциозно. Расте добре на слънце и неутрална или слабо кисела почва, като може да бъде силно инвазивно. Напълно зимоустойчиво растение.



Ботаническа илюстрация



Общ вид

Местоположение/Развитие:

- Обитава стоящи или бавно течащи води
- Предпочита зоните, в които се отлагат наноси (зони на затлачване)
- Закрепва бреговете бързо и трайно чрез коренищата си
- Расте във води с дълбочина до 4 метра
- Расте през цялата година, включително през зимата

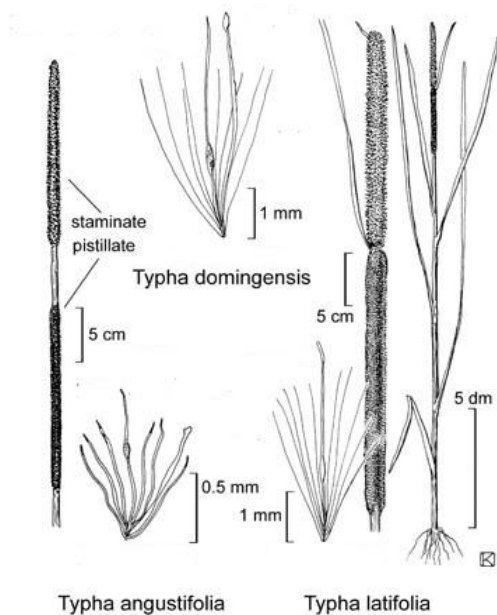
Приложение:

- Не е подходящ за малки водоеми, тъй като расте настрани и води до значително разширяване на засадените площи
- Благоприятен от гледна точка на поддръжката на водоемите, тъй като отрязаните или мъртви стъбла изплуват на повърхността и лесно могат да бъдат отстранени

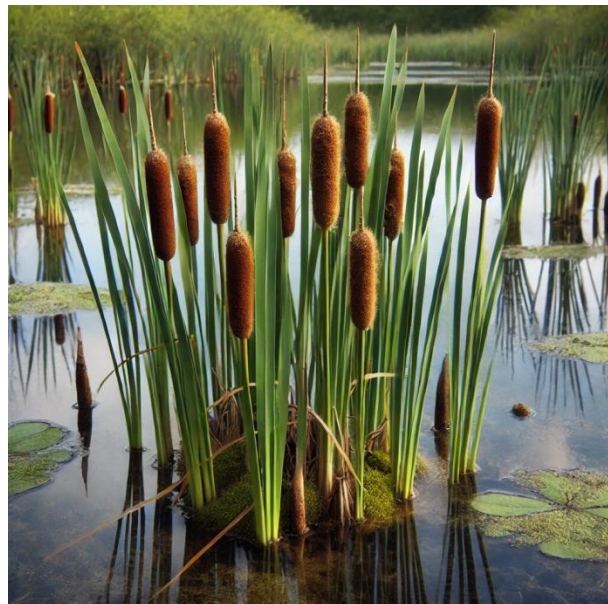
Забележка:

От всички видове тръстики, езерният камъш има особена способност да обогатява водоемите с кислород и да извлича и отстранява както органични, така и неорганични съединения (като минерални соли) от водата.

6. Папур (*Typha latifolia* = широколистен папур, *Typha angustifolia* = теснолистен папур)



Ботаническа илюстрация (22)



Общ вид

Широколистният папур е многогодишно тревисто растение. Коренището е пълзящо. Стъблото достига височина до 1 - 2(2,5)м и цилиндрично. Листата са широки до ок. 2 см, плоски, и стигат до върха на съцветието или стърчат над него. Обитава най-често блата, периферията на езера, бавно течащи и застояли води, канавки. Растението е широко разпространено в умерените области на северното полукълбо. В България се среща най-често в равнините и предпланините на цялата страна, но има случаи, в които е наблюдавано и на височина над 1000 м.

Местоположение/Развитие:

- Понася дълбочина на водата до 1,5 м (или 2 м)
- Високо растение, което подпомага процеса на затлачване
- Предпочита стоящи води

Употреба:

- Често се засажда в отделни скупчвания пред тръстиката
- Не е подходящ за укрепване на бреговете на малки течения, тъй като растежът му пречи на течението.

Таблица 1 Преглед на биотехнически подходящ растителен материал за инженерно-биологични строителни методи с тръстикови растения - Методи на засаждане (по HILLER) (4)

Растителна част	Растителен материал	Вид тръстиково растение	Инженерно-биологичен метод
Цели растения	Растения с и без коренова бала	Видове острици (<i>Carex</i> spp.), Росица (<i>Glyceria maxima</i>), Блатна перуника (<i>Iris pseudacorus</i>), Тръстиковиден фаларис (<i>Phalaris arundinacea</i>), Тръстика (<i>Phragmites communis</i>), Камъш (<i>Schoenoplectus lacustris</i>) Видове папур (<i>Typha</i> spp.)	Засаждане с коренови бали Снопове от тръстика
Части от растението, които могат да се вкореняват	Стъбла	Росица (<i>Glyceria maxima</i>) Тръстиковиден фаларис (<i>Phalaris arundinacea</i>) Тръстика (<i>Phragmites communis</i>)	Вертикално засаждане на стъбла Хоризонтално засаждане на стъбла (разстилане на тръстика)
	Издънки	Тръстика (<i>Phragmites communis</i>) Камъш (<i>Schoenoplectus lacustris</i>)	Засаждане на издънки
	Резници от коренища	Блатен аир (ароматна тръстика или акорус) (<i>Acorus calamus</i>), Видове острици (<i>Carex</i> spp.),	Засаждане с коренища

		Росица (<i>Glyceria maxima</i>), Тръстиковиден фаларис (<i>Phalaris arundinacea</i>), Тръстика (<i>Phragmites communis</i>), Камъш (<i>Schoenoplectus lacustris</i>)	
Семена	Метлици с кълняеми семена Семенен материал	Тръстиковиден фаларис (<i>Phalaris arundinacea</i>) Тръстика (<i>Phragmites communis</i>) Тръстиковиден фаларис (<i>Phalaris arundinacea</i>)	Засаждане с метлици Засаждане с разпръскване на семена Засаждане на сухи семена

Тръстиките и водните растения с плаващи листа, както и зоните на развитие на водната леща имат важна екологична функция от гледна точка на животинския свят. Те предоставят места за гнездене, храна и защита за различни животни, включително сухоземни, полуводни и водни видове. Те също така намаляват ерозията на почвата и спомагат за производството на кислород, което е жизненоважно за водните екосистеми.

Тръстиковите зони са място за гнездене на сухоземни и полуводни безгръбначни животни, местообитание за полуводни гръбначни животни и зона за почивка, убежище и хранене на полуводната фауна.

Зоните, заети от растения с плаващи листа и водорасли са източник на храна, местообитание, зона за размножаване и убежище за водните безгръбначни и като цяло местообитание за водната фауна.

4.2.1.2.2 Трeви

Тревите се използват в зоните на колебание на средното водно ниво с цел защита на бреговете. Те осигуряват защита срещу повърхностна ерозия чрез намаляване на скоростта на течението на водата в непосредствената зона на брега и чрез вкореняване, което укрепва почвата на брега. Местата, където се засажда трева, трябва предварително да бъдат стабилни сами по себе си. След като тревната покривка се вкорени, тя може да поеме натоварвания до 50 N/m².

В практиката съществува грубо емпирично правило по отношение на максималните допустими скорости на течението - до 1,8 m/s в дългосрочен план, а за кратки периоди от време – до 4,5 m/s.

Тревата намира приложение най-вече върху откосите на диги и насипи, където дървесната растителност не е желана поради инженерно-технически причини, или когато

засаждането на тревата служи като преходен етап преди засаждането на дървета. Тя също така се използва в профили с ограничена проводимост, като например в канали в плътно застроени райони.

Основните **предимства** на използването на трева за брегозащита могат да бъдат обобщени по следния начин:

- Тревата почти не влияе върху провеждането на високите води.
- Натрупването на плаващи отпадъци е по-малко в сравнение с използването на дървета и може лесно да бъде отстранено.
- Създаването на плътна тревна покривка е сравнително лесно, когато се вземат предвид условията на растеж.
- Тревата има дълъг живот при подходяща поддръжка, която като цяло е лесна.
- Разходите за създаване на тревни откоси са по-ниски от тези на други методи за защита на бреговете.

Въпреки тези предимства, тревата има и значителни **недостатъци**. Тя не се вкоренява дълбоко – 75% от корените се намират в горния слой на почвата (на дълбочина до 10 cm), което ограничава защитния ѝ ефект. Въпреки че тревата е сравнително лесна за поддръжка, тя изисква интензивна поддръжка, което води до високи експлоатационни разходи. Освен това, тревата води до намаляване на биологичното разнообразие на ландшафта. Засенчването от дървета може да причини затопляне на водата, което да предизвика екологични проблеми като стимулиране на растежа на подводната флора.

Тревите, подходящи за ползване във водното строителство, трябва да се отличават с ниска необходимост от поддръжка и да не растат твърде бързо, т.е. да не се налага постоянно косене. В някои литературни източници се среща дори препоръка за ползване на треви, които се косят веднъж годишно (4). Тревата трябва да се вкоренява добре в почвата и образувайки плътна тревна покривка да затруднява развитието на плевели. Бързорастящи плевели обикновено потискат развитието на гъстото тречно покритие и по този начин се намалява търсеният ефект. Следва да се има предвид, че по време на периода на вегетационен покой (зимата и ранната пролет), тези площи са склонни към ерозия.

За поддържане на тревата ниска се препоръчва затревяването да става върху основа, бедна на субстрат, съдържащ хумус и органични вещества, като върху нея се поставя тънък слой или липсва напълно горен почвен слой, и се избират нискорастящи тревни видове. Окосената трева не трябва да се оставя върху откосите.

Тревната покривка може да бъде създадена по два начина – чрез зачимяване или чрез засяване на подходящи тревни видове. Зачимяването е подходящо за случаи, когато

откосите трябва да бъдат защитени веднага след тяхната направа. Чимовете обикновено се вадят от намиращи се в близост ливади и са с квадратна форма с размери ок. 30-40 см и дебелина между 7 и 15 см. Полагат се върху хумусен пласт с дебелина от минимум 10 см, начукват се добре и се покриват с тънък пласт (ок. 2 см) хумус. Ако наклонът на откосите е голям, чимовете се анкерират с дървени колчета или се захващат с едра телена мрежа.

Затревяването на откосите е значително по-евтино от зачимяването и се извършва с подходящи тревни смеси.

Вземайки предвид австрийския опит, като се имат предвид близките климатични условия и хидроложки режим на реките между България и Австрия, може да се възприеме използваното от тях основно правило за изготвяне на подходящи тревни смеси (4).

Общото правило гласи, че тревните смеси трябва да се състоят от 5 до 8 тревни вида, като е препоръчително следното съотношение между видовете треви:

- 90-95% житни треви.
- 2-5% детелина и други бобови растения.
- 0-5% билки (например равнец).

Особено значение имат бобовите растения и билките, които, като дълбоковкореняващи се растения, стабилизират тревните площи чрез кореновата си система. Ако няма добро свързване на почвата с тревата, тревата може да бъде измита или „отнесена“ при високи води. Средно за един хектар площ са необходими между 50 и 60 кг семена.

Според стандарта DIN 19.657, раздел 3.5.1.3, тревите се класифицират според изискванията им за влажност и хранителни вещества, като подходящи тревни смеси се подбират в съответствие с местните условия. Най-добре е да се използват, които се срещат естествено в региона. Уместно е да се търси съдействието на местни агрономи.

Важно е да се има предвид, че ефектът от затревяването не може да се очаква по-рано от около 2 години след засяването на тревните смеси!

Поддръжка на тревните площи:

С течение на времето съставът на тревата се променя, като по този начин тревите се приспособяват най-добре към условията на мястото. Опитът показва, че всички растителни видове, които изникват от семената, рано или късно ще се адаптират към естествените растения в околната среда. При неправилна поддръжка тревата ще „буреняса“ (обрасне с плевели), а с времето ще започнат да се развиват храсти и дървета. За да се запази плътната тревна покривка, необходима за защита на откосите, тревата

трябва да се коси редовно през лятото и есента. Отстраняването на издънки и млади дървета също е важна дейност при поддръжката.

Тази форма на поддръжка на тревната площ запазва техническата ефективност на тревните площи, но не и тяхната екологична функция. Ако тревните площи се разделят на по-малки секции, поддръжката става по-лесна, тъй като косенето може да се извършва само веднъж годишно. В тези секции, които се косят веднъж годишно (през лятото), избуяващите треви и билки цъфтят, което привлича насекоми и птици.

Инженерно – биологично действие на тревите

В началния стадий корените „преплитат“ и проникват в горния почвен слой и корените и подземните разклонения преминават през хумусния слой. В следващия етап корените проникват и в преходния слой. Някои растения, като подбелът например, развиват коренови разклонения, които много бързо проникват и се захващат в преходния слой и много бързо се създава механична и органична връзка между хумусния и преходния почвен слой.

Различните видове от род Полевици (*Agrostis*), например, създават мрежообразно свързване чрез разклонения на повърхността на почвата.

Растения като киселецът образуват много дълбок и здрав корен, достигащ при определени условия дълбочина до 2,5 м, като по този начин анкерират хумусния слой към долните слоеве.

4.2.1.2.3 Дървесни видове

Успехът на мерките за укрепване на речните корита с живи дървета и храсти зависи главно от възможността да се осигури естествено за района развитие на растителността. Важно е да бъдат създадени условия, при които растителните съобщества да могат да се развиват правилно и устойчиво.

Първоначалното въвеждане на доминиращи дървесни видове дървета от завършващия етап на горското развитие се счита за най-ефективната мярка за инициране на дървесни съобщества в речните зони. Този подход води до най-бързото установяване на стабилна дървесна растителност.

Въпреки че този процес отнема повече време, при определени обстоятелства може да бъде ефективен и като бърза мярка за защита от ерозия. Създаването на подходящи горски насаждения, които предпазват бреговете, води до развитие на завършващата горска фаза, която осигурява дълготрайна защита.

Подходящите дълготрайни дървесни видове, чиито коренови системи се разпростират дълбоко и широко в речните зони, са от ключово значение за успеха на биологичната защита на бреговете. Съставът на видовете зависи от почвените условия, водните нива и продължителността на наводненията. Изборът на подходящи видове трябва да бъде съобразен с местните растителни съобщества и специфичните условия.

При на речните брегове се препоръчва съотношение от 70% храсти и 30% дървета.

Препоръчва се дървесните видове да притежават следните технически и биологични свойства:

- Способност за регулиране на водния баланс в почвата (растителните съобщества изпаряват вода и „изсушават“ почвата) и проветряване на почвата.
- Намаляване на скоростта на течението, което осигурява защита на склоновете.
- Кореново проникване: плитките и дълбоките корени трябва да проникнат равномерно в почвата.
- Якост на кореновата система: взаимодействие между интензивността на проникването и устойчивостта на корените.
- Регенерационна способност: повредените от наводнения или свличания дървета и клони трябва бързо да се възстановяват.
- Устойчивост на ветрове: дървесните видове трябва да са устойчиви на силен вятър и на повтарящи се водни натоварвания. Тези периодични натоварвания водят до стимулиране на растежа на корените и следователно по-добро закрепване на цялото растение.
- Устойчивост на наводнения: Някои дървесни видове като върби, тополи, черна елша и др. могат да преживеят наводнения с продължителност от 1 до 2 седмици (напр. при високи води) без щети, при условие че са покрити до 2/3 от височината си.
- Способност за образуване на нови добавъчни корени: растенията трябва да могат да образуват нови корени при покриване с наноси.
- Размножаване чрез резници и семена: видове като върби и черни тополи могат да се размножават чрез резници, докато тревите образуват коренови системи чрез разклонения.

Инженерно – биологично действие на дърветата и храстите

В (4) е представен пример на развитието на кореновата система на представителите на семейство Борови при различни условия на средата.

В рохкав пясък:

Борът развива силен централен корен (стълбовиден корен), който образува многобройни силни вторични корени, които проникват през еднородния почвен слой.

При пясъчен слой над глина:

Борът развива двустепенна коренова система. Мощните основни корени с малко странични разклонения проникват през пясъка. В богатата на хранителни вещества и задържаща влага глинеста почва отдолу, борът развива широко разпространена хранителна коренова система, която свързва горния почвен слой с по-дълбоките слоеве.

В блатни почви:

С увеличаване на размера и теглото на бора се развива плитка, но широка повърхностна коренова система, която предотвратява потъването на дървото.

В глинеста почва с уплътнен горен слой:

Борът развива силна и широко разпространена коренова система, която захваща горния почвен слой, като в същото време укрепва дървото.

Най-разпространените и най-често срещани дървесни и храстови видове, живеещи в непосредствена близост до вода могат да се разделят на две групи:

Дървета и храсти, виреещи непосредствено до линията на средните води:

- Черна елша (*Alnus glutinosa*)
- Бяла върба (*Salix alba*)
- Крехка върба (*Salix fragilis*)
- Червена върба (*Salix purpurea*)

Важно е непосредствено до брега (водната линия) да се използват растения, чиито корени проникват в наситената с вода почвена зона и по този начин "закрепват" почвата.

Дървета и храсти, виреещи над линията на средните води:

Дървета:

- Планински ясен (*Fraxinus excelsior*)
- Обикновен явор (*Acer pseudoplatanus*)
- Гроздовидна песькиня (*Prunus padus*)
- Обикновен габър (*Carpinus betulus*)
- Обикновен дъб (*Quercus robur*)

- Полски бряст (*Ulmus carpinifolia*)
- Дребнолистна липа (*Tilia cordata*)

Храсти:

- Глог (*Crataegus laevigata*)
- Европейски чашкодрян (*Euonymus europaeus*)
- Червена калина (*Viburnum opulus*)
- Обикновена леска (*Corylus avellana*)
- Кучи дрян (*Cornus sanguinea*)
- Елшовиден зърнастец (*Rhamnus frangula*)
- Полски клен (*Acer campestre*)
- Черен бъз (*Sambucus nigra*)
- Мъхнат нокът (*Lonicera xylosteum*)
- Обикновена маслинка (*Ligustrum vulgare*)

4.2.2 Укрепване с живи строителни материали – инженерно-биологични строителни методи и конструкции

За разлика от неживите строителни материали, които могат да бъдат използвани навсякъде в профила, живите строителни материали са приложими само на места, подходящи от екологична гледна точка и само в определени зони в речния профил.

Постигането на оптимално укрепване на бреговете и откосите е възможно само чрез подходящ подбор на растения.

От екологични и естетически съображения използването на живи строителни материали във водното течение (дори при екстремни условия на течение) трябва да започне още от зоната на иглолистните дървета.

При брегоукрепването от статическа гледна точка могат да се обособят два основни конструктивни елемента – пета на откоса (фундамент) и укрепване на откоса.

Основните функции на петата (фундамента) са да стабилизира частите от брега, намиращи се под водното ниво и да разпределя натоварването от укрепването на откоса върху естественото дъно, като същевременно предотвратява свличането на откоса.

Укрепването на откоса има задача да предпази брега от влаещите и натискови сили на течащата вода, както и да защити откоса от въздействието на влачени наноси, дънери и лед. Също така възпрепятства и обрушването на откоса в следствие филтрацията на подпочвени води.

От добрите практики на база дългогодишния опит е изведено неписаното емпирично правило, че защитата на бреговете трябва да започва от възможно най-дълбоко под водата, за да има максимален ефект.

Описаните по-долу инженерно-биологични методи и конструкции са примерни и донякъде обобщават добрите практики в областта без да са напълно изчерпателни и детайлни. Хидротехническото строителство е строго специфично при всеки отделен случай, което налага детайлно отчитане на местните дадености и възможности, което може да наложи комбинирането на различни методи или модифициране на конструкциите, така че да изпълняват функцията си безпроблемно. В този смисъл отново се обръща внимание, че проектирането на този тип конструкции трябва да става от компетентни хидроинженери със съответната правоспособност.

В т. 4.2.1 са дадени някои препоръки по отношение на качествата и характеристиките на основните строителни материали, основаващи се на опитът в областта до момента и е препоръчително те да бъдат взети предвид в етапа на проектиране за постигане на по-добри резултати.

4.2.2.1 Укрепване на петата на откоса

4.2.2.1.1 Засаждане на водна растителност (зелена мярка)

Спазвайки правилото за започване на защитата от възможно най-дълбоко под водата, според разделянето на напречното сечение на зони, представено на Фигура 4.15 и Фигура 4.16, би следвало укрепването да започне още от водорасловата зона, намираща се целогодишно под вода. Тази зона е и най-натоварена от хидродинамична гледна точка. Поради тази причина укрепване само с растителност е възможно само в отделни случаи при много ниско натоварване от течението или в комбинация с неживи строителни материали.

4.2.2.1.2 Заскалявка (сива мярка)

Този подход е особено ефективен за предотвратяване на свличане на откоса и предотвратяване на ерозия в петата на откоса. Основните техники за укрепване на петата на откоса чрез заскалявка са:

- Използване на едри скални блокове

Използването на едри скални блокове в петата на откоса е един от най-често срещаните методи за укрепване. Скалните блокове от една страна затежняват петата на откоса, което затруднява дълбокото хлъзгане на целия откос, от друга страна са механична преграда между водното течение и откоса. Едрите скални блокове намаляват енергията на течението и предпазват петата на откоса от размиване.

- Скални валяци

Скалните валяци представляват цилиндрично оформени мрежи от различни материали (геомрежи, текстил, стомана и др.), запълнени със скални фракции. Те се поставят в основата на откоса, надлъжно на течението и осигуряват гъвкава, но устойчива защита срещу ерозия. Подходящи са за укрепване на не много високи и стръмни откоси в участъци с относително спокойно течение.



Фигура 4.17 Укрепване на петата на откоса със скални валяци (23)

- Скален насип

Представлява скален насип, който се полага в основата на откоса. Препоръчително е преди това да се оформи легло, за да се увеличи устойчивостта на насипа. Този метод осигурява естествена стабилизация, като позволява на подпочвените води да се дренират през камъните, без да отмиват почвата. Използва се при откоси с неравна повърхност или при нужда от бърза стабилизация. Важно е зърнометричният състав да бъде съобразен със скоростите на течението в близост до петата на откоса, за да не се допуска компрометирането му.

Предимства на укрепването чрез заскалявка:

Устойчивост на ерозия: Скалните материали са устойчиви на изветряне и на неблагоприятното въздействие на водата и предоставят дълготрайна защита.

Гъвкавост: В зависимост от характеристиките на терена, могат да се използват различни размери и форми на скални материали.

Екологосъобразен метод: Камъкът е естествен материал, срещащ се в реките и може да се интегрира добре в околната среда, като същевременно осигурява подходящ хабитат за растителност и животни.

Ограничения:

В участъци с високи скорости на течението, може да бъде необходима честа поддръжка за възстановяване на повреди по заскалявката.

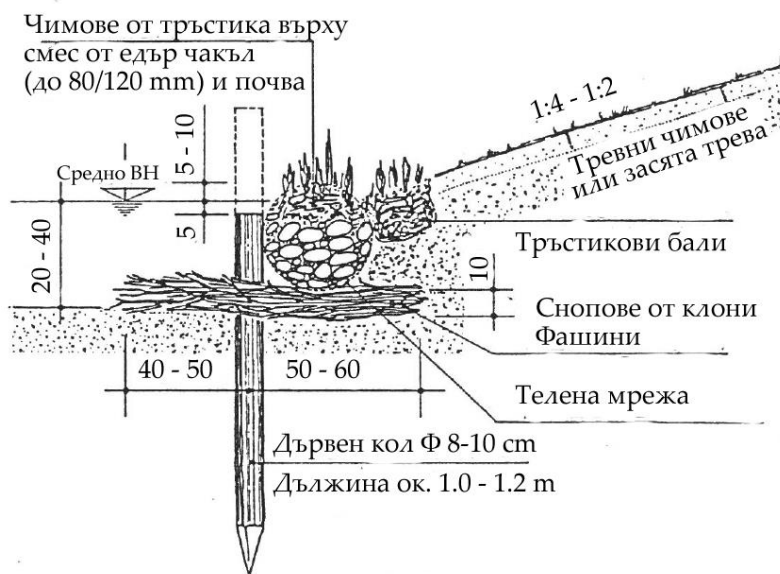
Доставката и полагането на скални материали със специфични характеристики може да бъде трудоемко и скъпо, в зависимост от достъпа до строителния обект.

При прилагането на която и да е от разновидностите за изпълнение на заскалявка трябва да се обърне специално внимание на необходимостта от филтър и да се определят точно параметрите на този филтър, за да се избегне суфозия и потъване на заскалявката.

Този метод често се комбинира с други подходи, като използване на геомрежи или растителност, за постигане на по-голяма ефективност при укрепване на откоса и повече допълнителни ползи.

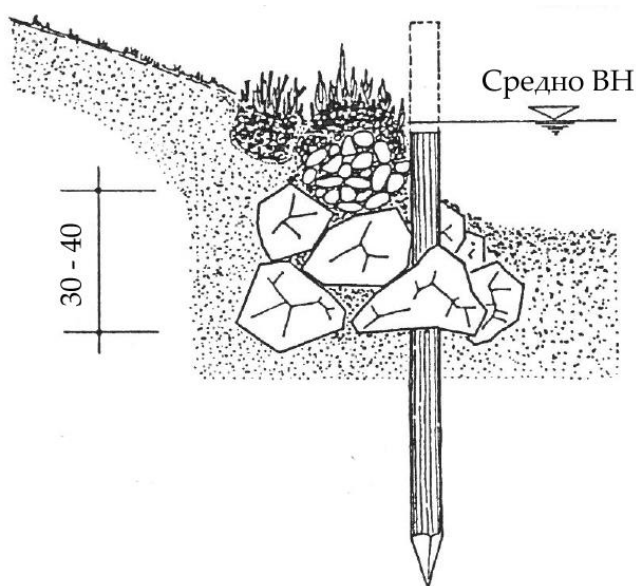
4.2.2.1.3 Заскалявка, комбинирана с растителност (сиво-зелена мярка)

Целта на този метод е да се комбинира защитното действие на заскалявката с благоприятното екологично действие на растителността. Когато се говори за защита на петата на откоса, обикновено най-подходящата растителност е тръстиковата (вж. зоните според Фигура 4.15 и Фигура 4.16). Обикновено растителността се влага в конструкцията като елемент от скалните валежи, които се оформят специфично. В долния край мрежите се запълват със смес от едър чакъл и пръст, а отгоре се слагат чимове или коренища от тръстика.



Фигура 4.18 Тръстикови валежи върху подложка от снопове клони или фашины (4)

Така оформените валяци се полагат върху снопове от клони или фашины (Фигура 4.18) или скален насип/едри скални блокове (Фигура 4.19). При полагане върху едри скални блокове, последните трябва да бъдат затрупани с пръст предварително и да се осигури запълване на празнините между блоковете с пръст. И в двата случая над валяците могат да се положат и тръстикови бали.



Фигура 4.19 Тръстикови валяци върху подложка от скален насип или едри скални блокове (4)

За повечето тръстикови растения (с изключение на тръстиката (камъша)) максималната дълбочина на вода не трябва да надвишава 40 см. Допустимите средни скорости на течението за повечето видове растения са от порядъка на 0,3 – 0,7 m/s, като скорости над 0,8 m/s вече се считат за неблагоприятни (освен за тръстиката, която може да понесе и по-високи скорости).

Използването на този метод в сенчести речни участъци (напр. гори) е неподходящо, тъй като тръстиковите растения се развиват много слабо.

При дълбочини на водата до ок. 30-40 см в стоящи до бавно течащи води и сравнително богати на хранителни вещества почви, изборът на видове обикновено трябва да се съобрази с вида на почвата и субстрата в района, тъй като всеки от изброените в т. 4.2.1.2.1 има специфични изисквания. При по-големи дълбочини (до ок. 1,5 м) в стоящи или бавно течащи води и богати на хранителни вещества почви почти без изключение се използва тръстика (*Phragmites communis*).

При изграждането на конструкцията трябва да се обърне особено внимание върху височинното позициониране на валяците, тъй като ако са прекалено дълбоко под водата,

растенията изгниват, а ако са прекалено високо – изсъхват. Също така валяците трябва да са плътни и стегнато вързани, в противен случай ще бъдат размити.

Полегатите откоси (наклон < 1:4) са по-подходящи за използване на тръстикови валяци, за да могат тръстиките и остриците да се разпространяват. Смесването на различни растителни видове при изграждането позволява по-добра адаптация към малки, често променящи се условия на околната среда. От друга страна прекаленото разпространение при малки дълбочини на водата може да намали проводимостта и да затрудни оттичането при средни и високи води с голяма обезпеченост, което налага по-честа поддръжка и следователно по-високи разходи.

Като голямо предимство на използването на тръстикови валяци може да се изтъкне, че при преминаване на високи води почти не стесняват напречното сечение, тъй като полягват под натиска на водата. Друг плюс е фактът, че осигуряват местообитание на множество организми.

Като недостатък може да се отбележи, че полагането на тръстикови валяци е възможно в сравнително ограничен период – от октомври до май. С оглед завръщането на европейския бобър в България (макар и ограничено на този етап), трябва да се има предвид, че всякакъв вид укрепване на брега с тръстика е податлив на увреждане от него. От друга страна, по този начин, създавайки подходящи местообитания, се стимулира увеличаването на популацията.

Като алтернатива на тръстиковите валяци се ползват и валяци, комбинирани с върбови клонки или клонки от други подходящи дървесни или храстови видове



Фигура 4.20 Скален валяк с върбови клонки (24)

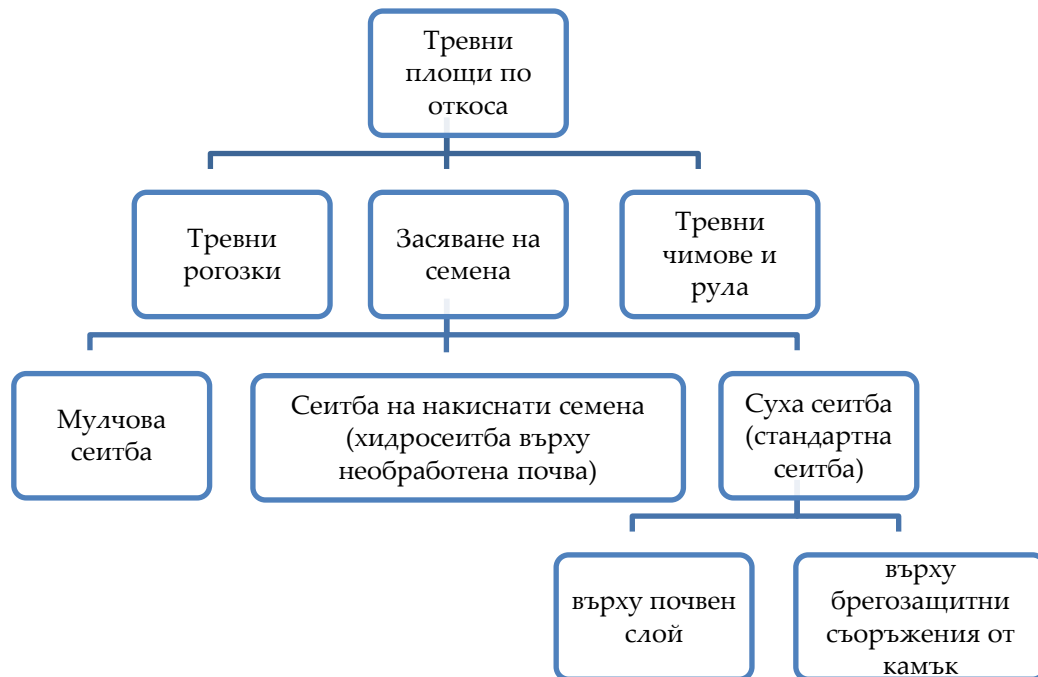
4.2.2.2 Укрепване на откоса

4.2.2.2.1 Затревяване и/или друга растителност (зелена мярка)

Затревяване

За укрепване на откосите чрез затревяване съществуват различни възможности и методи, по-често използваните от които са обобщени на Фигура 4.21.

Всеки един от методите има специфични особености, които го правят подходящ за конкретни условия – наклон на откоса, материал на откоса, засенчване, почва и т.н. Тревните чимове и рулата са отлични за бързи резултати, докато хидросеитбата и мулчовите сеитби са подходящи за по-големи и трудни за достъп откоси. Също така е важно да се поддържа откосът след затревяването, като се извършва редовно напояване и се полага грижа за растенията в ранните стадии на растежа.



Фигура 4.21 Методи за затревяване на откоси

Тревни рогозки

Описание: Тревните рогозки представляват предварително подготвени мрежи със семена, които се поставят върху откоса.

Предимства:

- Лесни за полагане и подходящи за труднодостъпни места.
- Осигуряват защита срещу ерозия и улесняват кълняемостта.

Препоръки:

- Използват се на откоси, където традиционната сеитба е трудно приложима.
- Добре е да се използват заедно с други методи, като хидросеитба или мулчиране.

Тревни чимове и рула

Описание: Това са предварително подготвени тревни чимове, които се разстилат върху откоса. Те могат да покрият цялата площ на откоса веднага след полагането.

Предимства:

- Бързо покритие на повърхността с вече изградена коренова система.
- Мигновен защитен ефект срещу ерозия.
- Подходящо за откоси с висока степен на риск от ерозия, където е необходимо бързо затревяване.

Препоръки:

- Най-добре се полагат върху подготвен почвен слой.
- Подходящо за по-малки участъци или за места, където е важно бързо укрепване.

Сухи сеитби

Описание: Стандартен метод за засяване на тревни смеси, като семената се разпръсват върху подготвената почва. Смесите могат да бъдат най-различни в зависимост от условията. Препоръчва се максимално разнообразие и използване изключително на местни видове

Предимства:

- По-икономичен метод в сравнение с тревните чимове.
- Подходящ за големи площи.

Препоръки:

- Прилагат се върху каменни брегозащитни съоръжения или откоси с по-малък риск от ерозия.
- Необходимо е време за развитие на кореновата система, затова е важно да се полагат грижи за насажденията през първите месеци.

Сеитба на накиснати семена

Описание: При хидросеитбата семената се смесват с вода и често с други свързващи материали, след което се напръскват върху откоса.

Предимства:

- Подходящо за откоси с големи наклони и трудно достъпни места.
- Методът гарантира равномерно разпределение на семената.
- Бързо покритие и ефективна защита срещу ерозия.

Препоръки:

- Подходящо за райони с висока влажност или за откоси с необработена почва.
- Да се използват мулчиращи материали, които задържат влага и осигуряват по-добра кълняемост.

Мулчова сеитба

Описание: Семената се комбинират с мулч (например слама, дървени влакна), който се разстила върху почвата за по-добра защита и задържане на влага.

Предимства:

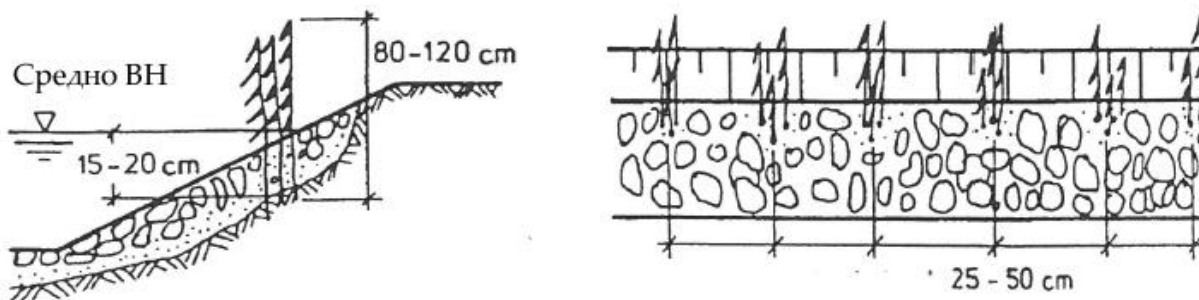
- Мулчът предпазва семената от ерозия и ги защитава от изсушаване.
- Подобрява кълняемостта на семената.

Препоръки:

- Особено подходящо за откоси с по-сухи условия.
- След нанасяне на мулча, е препоръчително да се полива, за да се стимулира растежът.

Укрепване с тръстика

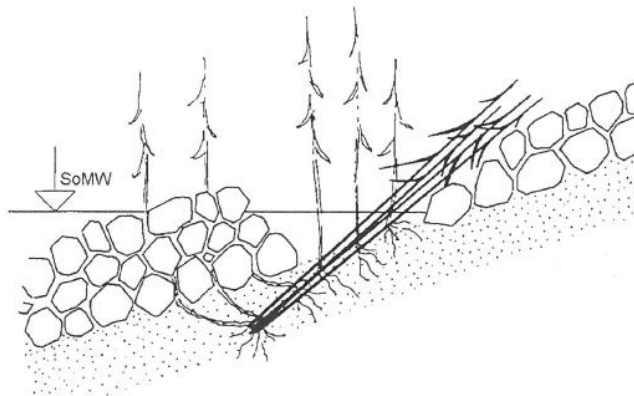
Този метод за на укрепване с тръстика (*Phragmites communis*) се основава на свойството на тръстиката да развива корени и издънки от възлите на стъблата.



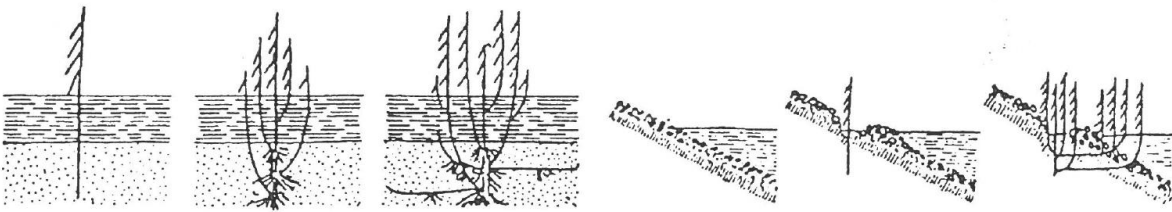
Фигура 4.22 Засаждане на стъбла от тръстика за укрепване на откосите (4)

Изпълнение: Стъблата се засаждат в една или повече редици по 3 до 5 броя, на разстояние от около 0,25 до 0,50 м, като се вкарват до половината от дължината им във влажната почва. Благоприятно е стъблата да се поставят под наклон, така че почти да

лежат върху брега. Това намалява риска от счупване на стъблата поради вълни или вятър и подпомага образуването на издънки и допълнителни корени.



Фигура 4.23 Засаждане на тръстиките под наклон (4)



Фигура 4.24 Образуване на издънки, корени и коренища (4)

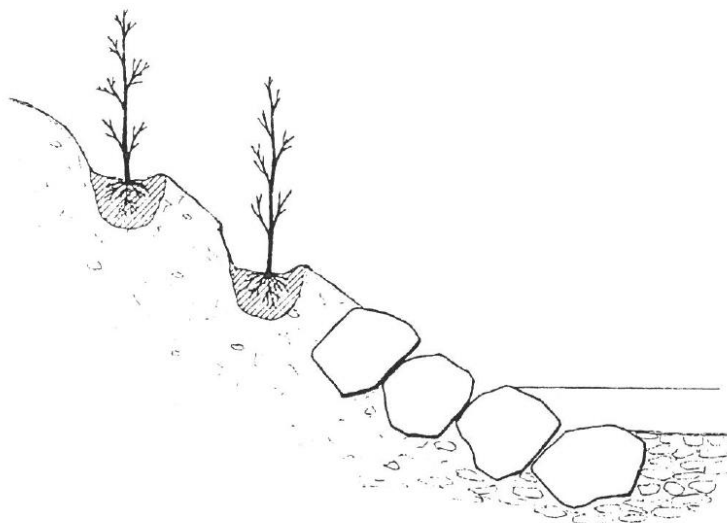
Стъблата се засаждат във вода с дълбочина до глезена или около 10 до 15 см под лятната линия на средното водно ниво. Засаждането на стъбла може да се извърши както на неукрепени, така и на укрепени с камъни брегове. При каменни насипи е необходимо стъблата да се засаждат в изкоп, запълнен с пясък и фин чакъл, като едновременно с това се оформя защитна стена от водната страна.

Укрепване с дървета и храсти

Засаждане на вкоренени дървета

Функция: Засаждането на вкоренени храсти и дървета достига пълния си ефект след 10–20 години. Използването на млади дървесни видове е по-благоприятно за растежа (по-добро съотношение корен-стъбло) и е по-лесно за изпълнение от техническа гледна точка.

Приложение: Подходящо е за речни брегове, които са стабилни и имат подходяща за засаждане почва (не прекалено груба или камениста), за изпълнение на засаждане чрез копаене на дупки.



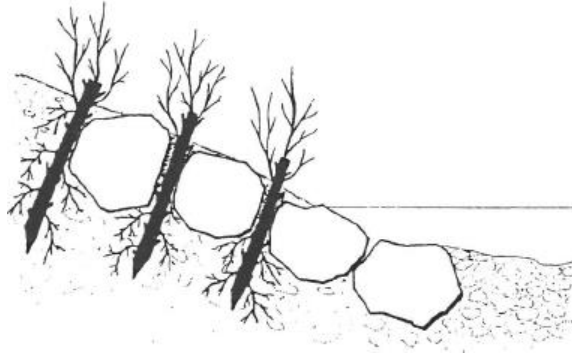
Фигура 4.25 Засаждане на широколистни дървета по откоса (4)

Изпълнение: За засаждането е важно да се подготвят дълбоки и растението да се засади до кореновата шийка, без да се уплътнява почвата чрез стъпване. Растението трябва да се засипва с пръст и да се полива обилно. Ако се използват широколистни дървета с височина над 80–120 см, те трябва да бъдат укрепени с вертикални колове (на 40 см от стъблото, най-добре с двойна подпора). Препоръчва се резитба за оформяне на короната веднага след засаждане, съобразена с вида и функцията на растението. Подходящите видове за българските условия са представени в гл. 4.2.1.2.3.

Поддръжка: Необходимо е поливане на засадените широколистни дървета през първия вегетационен период, отстраняване на плевели, повторно укрепване и регулиране на подпорите на дърветата, резитба за поддържане на дърветата и храстите (ако се желаят специфични характеристики на растежа).

Засаждане чрез колове

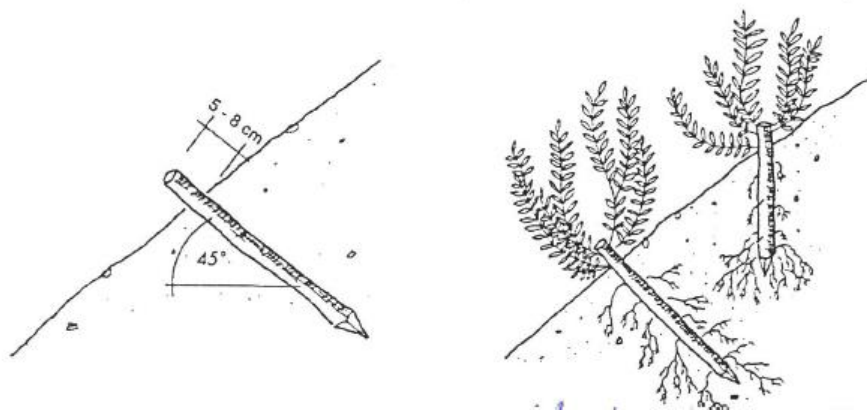
По този начин се засаждат предимно върби, които започват да изпълняват укрепващата си функция едва след 3 до 5 години, следователно откосът трябва да бъде устойчив и до този момент да не е изложен на риск от ерозия.



Фигура 4.26 Укрепване на откоса с върбови колове (4)

Приложение: Върбови пръчки (или пръчки от други вегетативно размножаващи се дървесни видове) се засаждат на брегове, укрепени с камък или на такива с грубо структурирана повърхност на почвата. Храстовидните върби трябва да бъдат засадени в близост до речното дъно поради по-високата им еластичност и гъвкавост, докато дървовидните върби се засаждат над линията на средното водно ниво.

Изпълнение: Върхните пръчки се режат през периода на покой на растителността (ноември – март) от здрави и не твърде стари (напукани) клони и клонки. Дебелината трябва да бъде поне 3 до 8 см, а дължината – между 40 и 120 см, в зависимост от почвените условия. Пръчките се заострят в долния край и се засаждат по посока на растежа, след като предварително е изкопана дупка с железен прът. За да се предотврати изсъхването, само 5–8 см от пръчката трябва да стърчат над земята, а останалата част се подрязва гладко. Пръчките се засаждат възможно най-хоризонтално, а на по-стръмни откоси поне под прав ъгъл спрямо повърхността.



Фигура 4.27 Засаждане на върбови пръчки (4)

Вертикално засадените върхни пръчки развиват по-силна коренова система в основата. Засадените под наклон върхни пръчки развиват по-равномерно разпределена коренова система поради по-добрата циркулация на соковете в дървесината Фигура 4.27.

Поддръжка: По-големи площи, в които пръчките не са се захванали трябва да бъдат запълнени през следващата година. След 8–10 години върбите обикновено трябва да се подрязват до пън, за да могат да бъдат заливани при високи води. Ако се търси смесване с други широколистни дървесни видове, това трябва да се направи скоро след засаждането на връхните пръчки или след първата резитба.

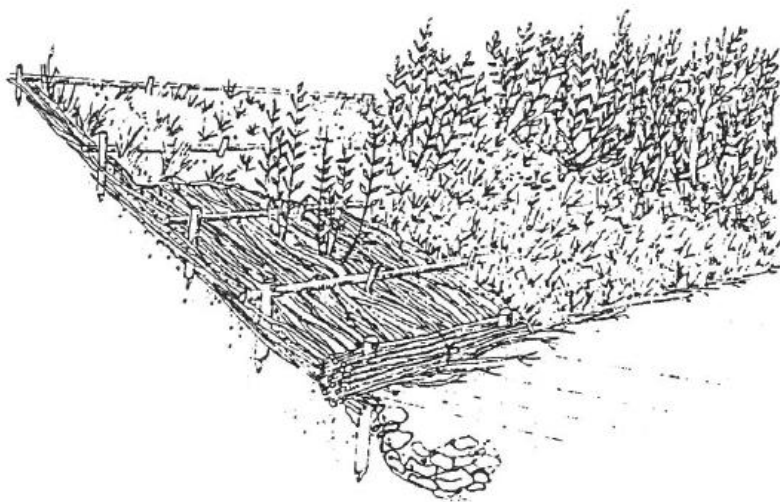
Екологични ползи: Ако връхните пръчки са отрязани от околните естествени горски насаждения, израсналите дървета стават част от развиващата се естествена брегова растителност. Благодарение на бързия растеж новообразуваната брегова зона скоро постига пълна екологична функционалност и допринася за биоразнообразието на дървесната растителност и водните животни.

Пластове разстлани клони за укрепване на брегове

Този метод е доказал ефективността си при преминаване на високи води, тъй като води до бързо развитие на плътна растителност, осигуряваща ефективна защита на откоса. Първоначално пласта разстлани по откоса клони осигурява механична защита веднага след полагането си. Благодарение на бързия растеж на върбите, скоростта на течението, респ. ерозионната способност, бързо намаляват. В литературата се срещат данни, че 1-2 години след полагането си, този вид укрепване може да поеме хидродинамично натоварване до ок. 300 N/m², като се уточнява, че това е само изчислителна стойност, целяща да демонстрира порядъка на поносимо натоварване (4).



Фигура 4.28 Пласт от върбови клони с укрепване на петата от фашины и защита от подравяне от снопове клони (4)



Фигура 4.29 Изглед към откос, укрепен с пластове от върбови клони (представен с последващото развитие на растителността) (4)



Фигура 4.30 Изглед към откос, укрепен с пластове от върбови клони и защита на петата със скални валяци (24)

Приложение: Поради добрата си носимоспособност, този тип конструкция с върби е подходяща за течащи води с по-високо ерозионно въздействие, както и за стръмни речни брегове и свлачища. Наклонът на откоса не трябва да бъде по-стръмен от 1:1. По-полегатите откоси (ок. 1:3) са още по-подходящи, тъй като се улеснява бъдещата поддръжка, включително необходимото подрязване на върбите.

Изпълнение: Върбови клони се полагат плътно и успоредно един на друг върху откоса, напречно на посоката на течението, така че да обхващат целия откос. Местата, където са отрязани, се поставят във водата (по-добре е директно в речното дъно), за да получават вода. Откосът трябва да бъде възможно най-равен, за да осигури оптимален контакт на клоните с почвата. Върбовите клони се закрепват с тел, кокосови въжета или дървени колове, забити предварително в почвата. Рядко се използват и други методи като фиксиране с фашины или върбови плетове. Накрая покритието се засипва с почва с дебелина 3-4 см. Укрепването в долната част на пласта се прави до линията на ниските води чрез заскалявка, габиони, фашины или дървета. Могат да се включат и вкоренени широколистни дървета (като елша или ясен), като техните издънки трябва да стърчат над засипката.

Поддръжка: Необходимо е поддържащо подрязване, за да останат дървесните видове еластични и устойчиви на наводнения. Поради гъстото засаждане на върбите възниква конкуренция, при която се формират по-тънки и високи издънки, което поддържа еластичността им. Ако другите широколистни дървета започнат да се разрастват прекомерно, те трябва да бъдат подрязани или премахнати, за да не доминират над върбите.

Екологични ползи: Чрез плътното покритие на върбовите пластове се намалява скоростта на течението при високи води, което създава зона за прикритие на водни обитатели. През лятото на такива брегове се образуват сенчести, защитени зони. Откоси, покрити с тръстикови слоеве, също предлагат местообитания за много птици и насекоми.

4.2.2.2 Органични рогозки или матраци в комбинация с растителност (зелена мярка)

Органичните рогозки (матраци или валяци, в зависимост от формата) укрепващи конструктивни елементи, които осигуряват контрол на ерозията и способстват бързото развитие на растителност. Те представляват естествено решение за защита на бреговете и се използват за укрепване петите на откоси (валяци) и самите откоси (рогозки, матраци). Различните производители са разработили различни смеси от специфични растителни видове, подходящи за всички видове водни обекти. Най-често съдържат кокосови влакна, които задържат почвата и същевременно осигуряват среда за растеж на растителността. Като материал се ползват още юта, коноп и други материали. Освен че стабилизират почвата и намаляват ерозията, органичните рогозки подобряват биоразнообразието, като създават местообитания за водните и крайбрежни организми.



Фигура 4.31 Кокосова рогозка преди полагането ѝ и след развитие на растителността (24)

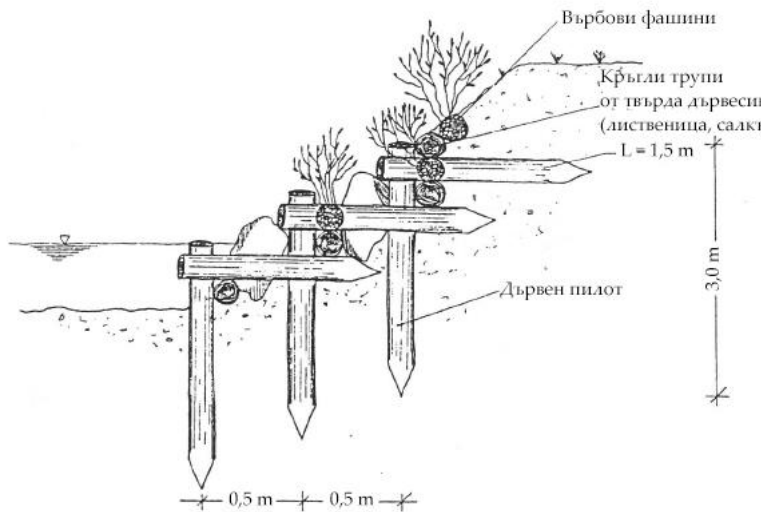


Фигура 4.32 Полагане на кокосова рогозка върху откоса (24)

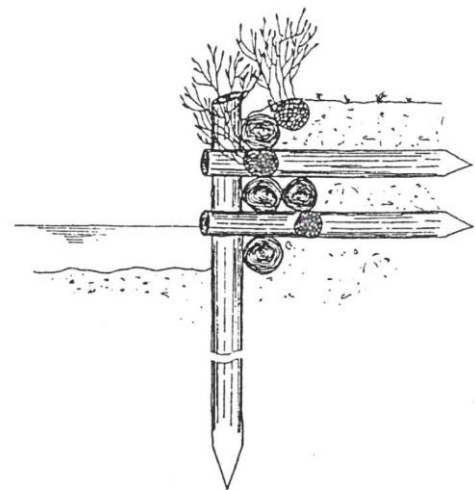
При полагането на рогозки следва да се вземат мерки срещу евентуалното им изплуване, като се препоръчва закрепването с дървени колове.

4.2.2.2.3 Укрепване с колове (зелена мярка)

Изграждането на стени от колове е метод за укрепване на бреговете, използван от много векове. Използва се в райони, където поради липса на пространство е необходимо изграждането на вертикална конструкция. Здравите дървени колове осигуряват достатъчна защита дори при умерени ерозионни въздействия. Ако бреговата стена се засади с растителност, след разлагането на дървените колове растенията поемат функцията за защита на брега. Проблеми възникват поради стръмния наклон на откоса, който има малка дълбочинна ефективност и висока грапавост, което ограничава укрепващата функция.



Фигура 4.33 Настъпалена стена (4)



Фигура 4.34 Вертикална стена (4)

Изпълнение: Вертикално забитите кръгли трупи от лиственица или друга твърда дървесина (вж. 4.2.1.1.1) обикновено са с дължина над 3 метра, като две трети от тях са вкопани в земята. Обковават се с хоризонтални трупи по дължина. Тези хоризонтални трупи се подпират на напречни греди, вкопани в откоса. Пространствата между надлъжно разположените трупи се запълват с върбови фашины, които се покриват леко с почва, така че растителността да може да израсне над водното ниво. Така се формира пояс от храсти, който не само предоставя местообитание за водни организми, но и поема функцията на брегозащита след разлагането на дървесината. Под вода кухините между гредите могат да се запълнят с по-малки камъни или фашины от мъртви растителни материали.

Стръмният наклон на конструкцията с вертикална стена не е благоприятен от екологична гледна точка (Фигура 4.34). Въпреки това, ако обхватът се ограничи в кратки участъци (например вдлъбнатия бряг при завои), където няма застроено дъно, образуването на ерозионни ями може да създаде привлекателно местообитание за възрастни риби. Под нивото на средното водно ниво при подходящо изграждане на стена с колове могат да се развият интересни структури (кучини, убежища за риби и др.), полезни за водните обитатели. Също така, върбовите фашины, които не израстват под вода, играят важна роля за възстановяването на местообитанията на водните животни и растения поради голямата си повърхност.

Като специфична разновидност се използва стена тип Крайнер (с жива дървена конструкция) (4). Тя е подпорен елемент, който може да поема много високи ерозионни натоварвания. Подходяща е дори за планински потоци с променливо водно течение и наноси, както и за стръмни брегове. Изключително полезна е като основа за много натоварени пътища, преминаващи в непосредствена близост до реката (обикновено горски пътища).

За изграждането се използват кръгли трупи с дебелина 18–25 см, които се набиват във формата на кутия. Напречните греди се поставят кръстосано в краищата, а не подравнени. Пространствата между тях, както при бреговите стени с колове, се запълват с върбови фашины или камъни и след това с пръст. Върбовите фашины трябва леко да стърчат над водното ниво, за да могат да поникнат и да поемат укрепващата функция след разлагането на дървесината. В подводната зона бреговите стени тип Крайнер могат да бъдат запълнени с по-малки камъни или фашины от мъртъв растителен материал. Пространствата между напречните греди обаче не се засаждат, освен ако водното течение е слабо, защото растенията биха били отмити от течащата вода.

Поддръжка: В зависимост от растежа на растителността се извършват подмладяващи резитби.

Екологични ползи: Между напречните греди се образуват множество структурни пространства, които в зоната под средното водно ниво са обогатени с мъртва дървесина. Това създава големи повърхности, подходящи за развитие на зообентос (дънни водни организми).

Укрепване с плътно наредени дървени трупи

При този метод на строителство плътно подредените кръгли трупи осигуряват незабавна защита на брега. След разлагането на дървесината, растителността, засадена отгоре, поема брегова защитната функция.

Приложение: Укрепването с дървени трупи се използва само за ниски, стръмни брегове.

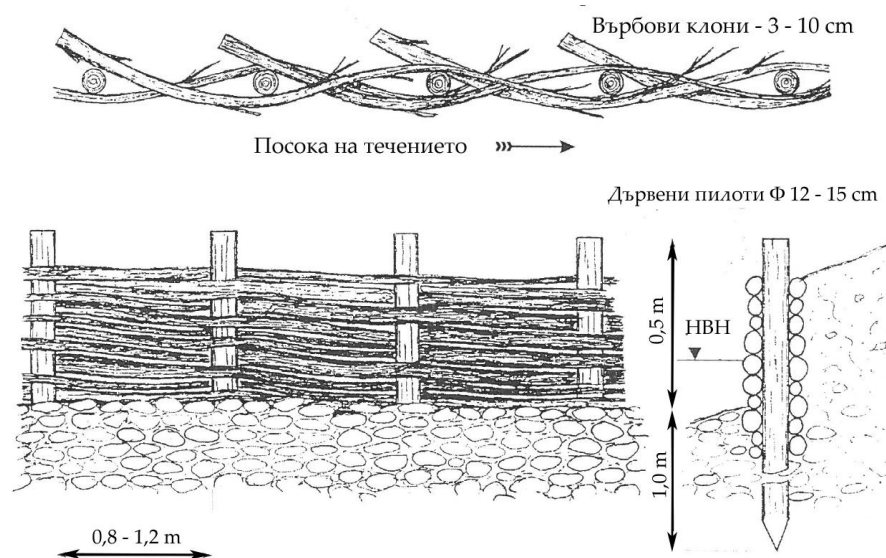
Изпълнение: При този метод, както и при бреговите стени с колове, дървени стълбове се забиват в земята и кръглите трупи се нареждат надлъжно върху тях и се закрепват с пирони. За разлика от стената с колове, при този метод трупите се полагат плътно един до друг, без междини, така че от страната на водата не е възможно засаждане. Вместо трупи могат се използват по-здрави дървени дъски, талпи или греди. След наковаването им, пространството зад тях се запълва с почва. Необходимо е да се засади растителност на брега над укрепването.

4.2.2.2.4 Плетове от върбови клони (зелена мярка)

Плетената ограда от върбови клони се използва за бърза и ефективна защита на вертикални или много стръмни брегове. Тя осигурява незабавна защита на брега заедно с дървените пилоти и бързо се разраства в плътен пояс от върби.

Приложение: При добро изпълнение на конструкцията с дебели върбови клони, плетената ограда може да поеме натоварвания до ок. 100–120 N/m².

Изпълнение: Върху забити дървени пилоти (с диаметър 10–15 см) се оплитат здрави и гъвкави върбови клони, като се започва с по-дебелите клони, поставени от вътрешната страна (откъм откоса). Така клоните от основата винаги получават достатъчно влага и оказват по-малко съпротивление на течението. Клоните трябва да лежат плътно един до друг, за да се избегне подмиване. Когато течението е много слабо, върбовите клони могат да се оплитат и под наклон, така че върховете да достигат водата. Плетената ограда не трябва да бъде по-висока от 50 см.



Фигура 4.35 Ситуация, изглед и напречен разрез на плет от върбови клони (4)



Фигура 4.36 Новоизградени плетове от върбови клони (24)



Фигура 4.37 Върбови плетове след започване на развити на растителността (24)

Поддръжка: При подмиване на основата липсващият материал трябва да бъде възстановен отново, за да се осигури защита на брега.

Екологични ползи: Оптималният растеж започва над средното водно ниво, което позволява образуването на разнообразни структури под него. Многобройните междинни пространства и връзката между водата и почвата са полезни от екологична гледна точка. Добре развитата система от празнини и разнообразните структури до дъното на водоема не само подпомагат динамиката на системата, но също така предоставят отлични микрохабитати за малки организми.

4.2.2.2.5 Бетонни блокове, комбинирани с растителност (сиво-зелена мярка)

Бетонни блоковете, комбинирани с растителност представляват техника за укрепване на брегове и откоси, която съчетава стандартни бетонни блокове с вградена растителност. Тази комбинация предлага механична стабилност, докато същевременно насърчава развитието на растителност, което подобрява екологичните условия в района.



Фигура 4.38 Бетонни блокове, комбинирани с растителност

Основни характеристики на бетонните блокове, комбинирани с растителност:

Механична устойчивост: Бетонните блокове осигуряват здрава и надеждна конструкция за защита на бреговете от ерозия и свличания. Те са проектирани да издържат на силни течения и въздействия на водата.

Интеграция на растителността: В специално проектираните отвори на блоковете се засаждат различни растения, като трева, върби или други местни видове. Растителността укрепва допълнително почвата, като корените задържат почвените частици.

Екологични ползи:

Подобряване на биоразнообразието: Растителността осигурява местообитания за различни видове насекоми, птици и водни организми, като същевременно подобрява местната екосистема.

Регулация на температурата: Засадените растения създават сянка и регулират температурните условия около водните тела, което е от полза за рибите и другите водни обитатели.

Бетоновите блокове, комбинирани с растителност, съчетават здравината на бетона с ползите на растителността, създавайки ефективно и устойчиво решение за укрепване на брегове и склонове. Този подход осигурява не само механична защита, но и значителни екологични предимства, което го прави подходящ за проекти, насочени към дългосрочна стабилност и възстановяване на природната среда.

4.2.2.2.6 Гео-клетъчни системи (сиво – зелена мярка)

Геоклетъчните системи за укрепване на брегове са техника, която се използва за стабилизиране на брегове, откоси и склонове, като същевременно намалява ерозията. Тези системи представляват триизмерни модули, изработени от полиетилен или друг здрав геосинтетичен материал, които се разполагат върху повърхността на почвата и се запълват с различни материали като почва, чакъл, пясък или растителност.

Основни характеристики на геоклетъчните системи:

Триизмерна структура: Геоклетките са съставени от взаимосвързани клетки, които задържат запълващия материал на място, предотвратявайки свличания и ерозия дори при стръмни склонове и високи хидродинамични натоварвания.

Гъвкавост: Тези системи са много гъвкави и могат да се адаптират към различни терени и форми на бреговете, като осигуряват стабилност и конструктивна устойчивост дори в трудни геоложки условия.

Запълване с различни материали: Геоклетъчните системи могат да бъдат запълнени с различни материали в зависимост от нуждите на проекта – почва и растителност за екологични и зелени решения или чакъл и бетон за по-голяма здравина.

Устойчивост на ерозия: Благодарение на стабилизацията, която осигуряват, геоклетките предотвратяват движението на почвените частици и намаляват ерозионните процеси, предизвикани от водни течения или дъждове.

Предимства на геоклетъчните системи:

Лесен монтаж: Геоклетките са леки и лесни за транспортиране и полагане, което ги прави икономично решение за големи площи.

Висока устойчивост: Тези системи предлагат висока устойчивост на хидродинамични натоварвания, като издържат на високи скорости на течението и наводнения.

Комбинация с растителност: Геоклетъчните системи могат да се използват в комбинация с растителност, като по този начин се създават зелени брегови линии, които допринасят за екологичния баланс и подобряват естетиката.

Дълготрайност: Изработени от устойчиви материали, геоклетките предлагат дългосрочна защита и са устойчиви на различни климатични условия и механични натоварвания.

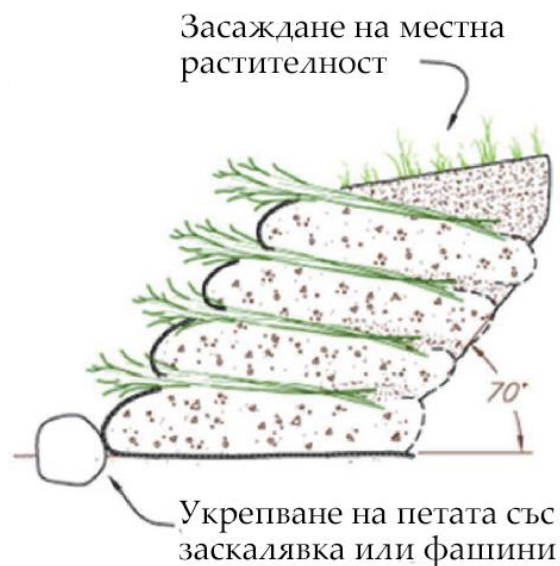


Фигура 4.39 Гео-клетъчна система за укрепване на откоси

4.2.2.2.7 Армирана пръст, комбинирана с растителност (сиво-зелена мярка)

Конструкцията осигурява ефективна защита на брега. Геотекстилят предпазва почвата, увита в него, от ерозия при краткотрайни наводнения. Растенията, прониквайки през почвата и геотекстила, стабилизират откоса и поемат подпорната функция след

разлагането на геотекстила. При по-големи разстояния между редовете от клони, геотекстилт трябва допълнително да бъде защитен чрез засяване или засаждане на върхни пръчки, за да се предотврати ерозия по време на наводнения.



Фигура 4.40 Укрепване на брега с армирана пръст

Приложение: Тази конструкция позволява запълването на странични свлачища дори на относително стръмни откоси. Не е подходяща за реки с висок наносен отток и силно течение, тъй като геотекстилт може да бъде разрушен, а откосът да ерозира. Максималните натоварвания, които конструкцията може да поеме са между 120 и 160 N/m².



Фигура 4.41 Укрепване на брега с армирана пръст – общ изглед (25)

Изпълнение: Обикновено се изпълняват на етапи, като на първи етап се поставя слой геотекстил, върху който се насипва слой пръст с дебелина ок. 50 – 60 см. След това свободният край на геотекстила откъм водата се загъва над пръстта в посока към откоса, като по този начин затваря пръстта в себе си. Върху него се полагат клонки, които се засипват с почва и следва нов слой геотекстил, с което операцията се повтаря необходимия брой пъти, до достигане на желаната височина на конструкцията. Клоните не трябва да стърчат повече от 10–20 см извън откоса, за да не изсъхнат при пряко слънце и за да се избегнат турбулентни завихряния на течението при преминаването на високи води. Укрепването в основата може да се осигури чрез фашины или заскаляване. Наклонът на конструкцията не трябва да надвишава 2:3.

Поддръжка: Редовно подрязване до пън, за да се запази еластичността. Насърчаване на растежа на единични дървета в зоната на билото на дигата.

Екологични ползи: При избора на материал за геотекстил трябва да се предпочете кокосова мрежа, тъй като тя се разлага след няколко години и вече не представлява пречка в ландшафта. Отворените пространства между върбовите клони (фашините) предоставят възможност за развитие на подходяща местна растителност, ако геотекстилен е твърде плътен. Използването на геотекстил за създаване на вал обаче почти не позволява

формирането на структурни елементи, като пространствата между тях се образуват само поради процеси на отмиване.

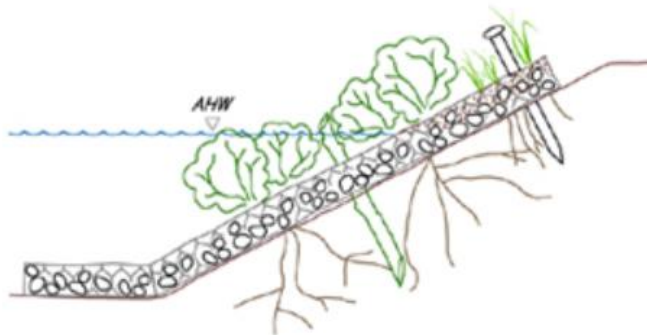
4.2.2.2.8 Матраци, комбинирани с растителност (сиво-зелена мярка)

Габионните матраци са предназначени да защитават дъното и долната част на откоса от ерозия. Те се различават от габионните кошове, които са предназначени за защита на средните до горните части на брега. Основната разлика между габионните матраци и кошове е в дебелината и площта на контейнера. Габионните матраци са по-плитки (с дълбочина от 0.5 до 1.5 м) правоъгълни контейнери, изработени от заварена телена мрежа и запълнени с камъни.

Габионните матраци се ползват, когато наличният скален материал е твърде дребен, за да се положи като заскалявка и да издържи на ерозионното действие на течението. В комбинация с телена мрежа, този материал обаче може да се ползва за стабилизиране на бреговете. Габионните матраци могат да бъдат до три пъти по-тънки от заскалявката и все пак да осигуряват еквивалентна защита. Въпреки това, използването на заскалявка е много по-изгодно икономически, когато и двата метода приложими.

Хидравлично натоварване: Ограничителните скорости за габионни матраци, комбинирани с растителност варират от 4,2 м/сек за 15 см дебелина на матрака до 6,4 м/сек за 30 см дебелина.

Чести причини за повреди: Когато матраците не са адекватно запълнени, това позволява на камъните да се местят, причинявайки износване и умора на телта. Кошове се повреждат от плаващи наноси, износване, корозия или вандализъм. Друга причина за повреди е подкопаване или ерозия на основата поради недостатъчно вкопаване в земята или нестабилни брегове. Липса на филтър под конструкцията също често води до повреди.



Фигура 4.42 Габионен матрак, комбиниран с растителност (26)

Екологични ползи: Габионните матраци с растителност предлагат множество екологични ползи, основно свързани със засаждането на върби или други растителни видове в конструкцията. Върбите осигуряват сянка над течението, което създава хладни места за рибите и други водни обитатели, където да се скрият. Освен това, върбите доставят на реката растителни отпадъци, които са важна част от основата на водната хранителна верига. Птиците, които ловят риба или водни насекоми, също се привличат от увеличените места за кацане край реката. Допълнителна екологична полза е свързана с камъните в габионите; много водни безгръбначни създават местообитания върху тях. Малкият размер на камъните осигурява значителна повърхност за колонизация. Пространствата между камъните също предоставят места за укритие на риби, включително на млади индивиди.

4.2.2.3 Укрепване на петата и откоса

4.2.2.3.1 Органични валяци (зелена мярка)

Органичните валяци са еквивалент на органичните матраци, но са с цилиндрична форма и се прилагат в петата на откоса, като се комбинират с рогозки и матраци.



Фигура 4.43 Кокосови валяци с тръстикова растителност (24)

4.2.2.3.2 Снопове от клони/ Фашины/ Клони и храсти (зелена мярка)

Фашините служат за укрепване на бреговете на течащи води. Те издържат (според изчисления) на ерозионно натоварване от 100 до 150 N/m² веднага след полагането си, в зависимост от дебелината и формата на фашините. Благодарение на израстването на множество тънки издънки, те остават устойчиви на наводнения и по този начин защитават обрасналите с растителност участъци от брега.

Върбовите фашины представляват върбови снопове с дебелина 30–50 см, свързани с тел на няколко места. Те могат да бъдат с произволна дължина (за практичност около 2–4 м). За да се постигне приблизително еднаква дебелина и добра хидродинамична форма, върбовите клони се подреждат с върховете по посока на течението, като се редуват дебели и тънки клони. Здраво завързаната фашина се заравя най-малко до половината или 2/3 в почвата, закрепва се с дървени колове и обикновено се засипва с рохкава пръст на височина 3–4 см.

Фашината се използва като конструктивен елемент в много видове строителни решения, където други строителни материали не могат да бъдат приложени.



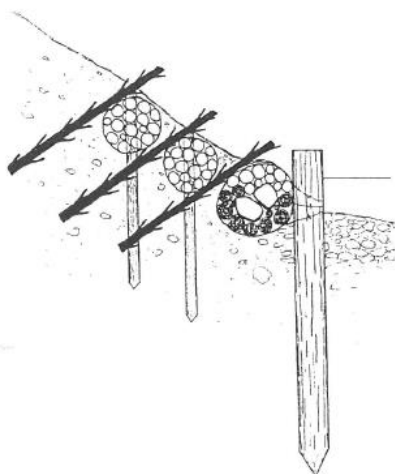
Фигура 4.44 Фашины (24)

Ако върбовите фашины бъдат отмити преди да израснат, трябва отново да се запълнят с почвен материал. Понякога е необходимо повторно забиване на дървените колове. Фашините рядко изискват последваща поддръжка. По-късните резитби зависят от желаната поддръжка и оформление на водното течение.

Фашините, със своите многобройни дебели и тънки клони, осигуряват голяма повърхност като местообитание за животни и други растения.

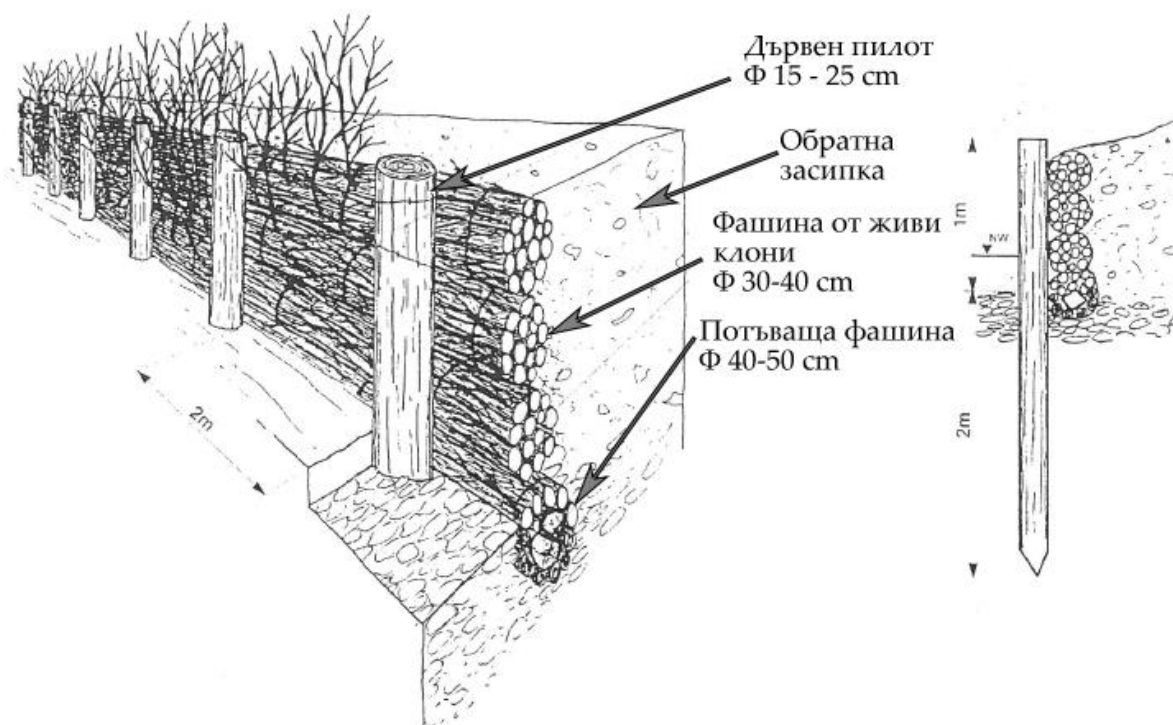
Използват се различни разновидности и конструкции с използването на фашины. Една от най-често прилаганите е полагане на върбова фашина върху храстови снопове. Тази конструкция се използва за укрепване на бреговете при течащи води с ниско до средно ерозионно натоварване (50–100 N/m²). Тя осигурява по-добро свързване на конструкцията чрез храстовите снопове, но има по-висока грапавост и риск от ерозия поради върбовите

клони, разположени напречно на посоката на течението, в сравнение с използването само на върбова фашина.



Фигура 4.45 Върбови фашины и снопове храсти (4)

Друга често прилагана конструкция е стената от фашины. Прилага се при относително прави и стръмни брегове на течащи води, които имат ерозионно натоварване от максимум $180\text{--}240\text{ N/m}^2$.

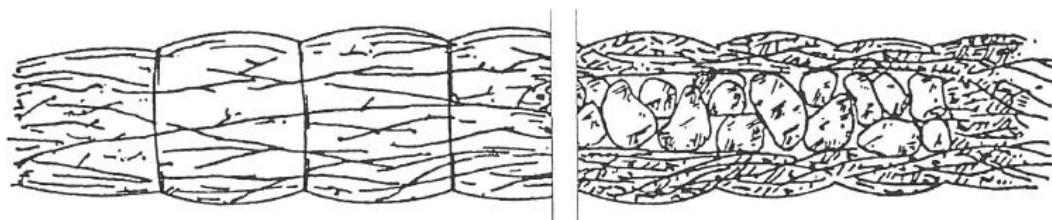


Фигура 4.46 Стена от фашины (4)

Възможно е ефективно и бързо да се укрепят много стръмни или вертикални брегове с височина до 1 метър. Този метод е много подходящ при абсолютен недостиг на пространство, когато не е възможно изграждането на по-полегати брегове.

Тъй като върбите растат добре главно в надводната част, в най-долния край на стената, след разлагането на вложените материали, се образуват множество малки местообитания (кухини, стърчащи корени от горните върби и др.) за водни и земни организми. Рибите често използват тези кухини като убежища.

Потъващите фашины са друг вид конструкция и осигуряват механична защита на основата на откоса (с натоварване от 150–200 N/m²) и служат за укрепване на различни инженерно-биологични конструкции, като стени от фашины или подредени по откоса живи фашины. Те се използват основно там, където няма силни ерозионни натоварвания и не е необходимо укрепване с големи камъни. Потъващите фашины са с форма на цилиндър с дължина 3,5 до 6 м и диаметър (в средата) от 35 до 50 см. Изградени са с плътна обвивка от добре покриващи се клони и вътрешна сърцевина от едър чакъл и валуни. Цялата конструкция се закрепва с тел през около 30 см или с помощта на специални въжета.



Фигура 4.47 Изглед и разрез на потъваща фашина (4)

4.2.2.3.3 Дървен материал / коренища (зелена мярка)

Укрепването на брега с мъртви дървета е много стар метод, познат още от римско време. Използват предимно иглолистни или широколистни дървета с гъвкави клони. Те предпазват брега от директното въздействие на водата и намаляват скоростта на течението, което позволява отлагането на наноси и плаващи материали.

Приложение: Мъртвите дървета се използват главно като спешна мярка след наводнения, за да се предпази наскоро разрушен или подкопан бряг от по-нататъшна ерозия. Този тип укрепване може да се прилага през всяко време на годината, но осигурява само краткосрочна защита.

Изпълнение: Дърветата се полагат с върха по посока на течението към засегнатия бряг и се закрепват с метални въжета за колове или за близко разположени дървета. Когато дървото е поставено под вода в дълбоки ями, то се нарича потъващо дърво. За да се

предотврати изплуването му, то се затрупва с камъни. Потъващото дърво не се вижда след полагането и бързо се вражда в почвата.

Поддръжка: Ако металните въжета бъдат повредени при следващи наводнения, те трябва да бъдат подновени.

Екологични ползи: Тази конструкция създава зони със спокойна вода и разнообразно течение, водните обитатели могат да намерят убежище. Когато е възможно, процесът на сукцесия трябва да бъде оставен на природата.

4.2.2.3.4 Габиони, в комбинация с растителност (сиво-зелена мярка)

Габионите, или още наричани габионни кошове, са аналогични като конструкция на габионните матраци, като се различават по тях единствено по формата и размерите си.

Основни характеристики на габионите в комбинация с растителност:

Конструктивна устойчивост: Габионите осигуряват механична защита срещу ерозионни процеси, като задържат почвата и предпазват бреговете от свличане и разрушаване под въздействието на водните течения.

Интегрирана растителност: При изграждането на тези габиони се засаждат върби, тръстики или други местни растителни видове. Растителността не само укрепва допълнително конструкцията, като кореновата система стабилизира почвата, но също така създава местообитания за водни и сухоземни видове.

Екологични ползи: Осигуряват сянка над водните тела, което помага за регулиране на температурата на водата. Създават естествена среда за различни водни организми и риби.

Корените на растенията абсорбират излишни хранителни вещества, което може да подобри качеството на водата.

Естетична стойност: За разлика от традиционните каменни конструкции, габионите с растителност имат по-природосъобразен и естетичен вид, като допринасят за интегриране на инженерните мерки в ландшафта.

Приложения:

Укрепване на речни брегове: Използват се за защита на бреговете от ерозия, особено в участъци с голямо изменение на водните нива.

Защита на откоси: Подходящи за стабилизиране на откоси и свлачища.

Възстановяване на влажни зони: Често се използват за възстановяване на природни местообитания, като помагат за развитието на биологично разнообразие.

Предимства на габионите в комбинация с растителност:

Дълготрайност: Комбинацията от габиони и растителност осигурява дълготрайна защита на бреговете.

4.2.2.3.5 Заскалявка, в комбинация с растителност (сиво-зелена мярка)

Заскаляване в комбинация с растителност включва укрепващ пласт от камъни или валуни, между които се завъжда растителност, посредством засаждане чрез живи колове, храсти или живи клони. Тази техника комбинира предимствата на добре утвърдените методи за ивично и площно укрепване чрез скален материал и биотехнически средства за осигуряване на укрепване в дълбочина. Наблюденията върху практиката сочат, че преоткосиране до устойчив наклон в комбинация с биологично укрепване без по защита в петата на откоса е ефективна мярка. Установено е, че чисто биологични техники не са в състояние да осигурят стабилитета в петата на брега, поради силно променливите условия, не позволяващи захващане в тази зона от течението.

Това е един от най-прилаганите биотехнически методи за брегоукрепване. Често се комбинира с изпълнение на струенаправляващи шпори. В практиката са утвърдени пет основни метода за изпълнение на заскаляване в комбинация с растителност

- Заскаляване в комбинация с върбови снопове
- Заскаляване с извити живи колове
- Заскаляване в комбинация с снопове от живи клони и живи колове
- Заскалявка в комбинация с почвено покритие и затревяване
- Заскалявка с живи клони

При всеки вариант е необходимо под заскалявката да се предвиди преходен пласт или геотекстил, ограничаващ възможността за механично извличане на основния пласт.

4.2.2.3.6 Геотекстил (сива мярка)

Геотекстилт е широко използван за укрепване на речни брегове, тъй като осигурява стабилизация и предотвратява ерозията на почвата. Това е синтетичен или естествен материал, който се полага между почвата и конструкциите като габиони, заскалявка или укрепване с растителност, като основната му функция е да отделя, укрепва, филтрира или дренира почвата.

Приложение:

Укрепване на почвата: Геотекстилт увеличава устойчивостта на почвата, предотвратява свличания и поддържа устойчивостта на бреговете.

Ерозионна защита: Полага се върху нестабилни брегове, за да предпазва почвата от директното въздействие на течащата вода, особено при високи води и силни течения.

Филтриращ слой: Геотекстилт пропуска вода, но задържа почвени частици, като по този начин намалява риска от суфозия.

Дренаж: Водата може да преминава през геотекстила, като по този начин се понижава нивото на подпочвените води, което ако е високо може да намали устойчивостта на откоса.

Подкрепа на зелената инфраструктура: Геотекстилт се използва като основа за засаждане на растения, като подпомага задържането на почвата и позволява развитието на растителност върху укрепения бряг.

Видове геотекстил:

Нетъкан геотекстил: Подходящ за филтър и дренаж. Използва се при условия с висок риск от ерозия.

Тъкан геотекстил: Здрав и устойчив, използва се за укрепване на почвени насипи и за конструктивна подкрепа, когато се полагат камъни или габиони.

Препоръки за използване: Геотекстилт трябва да бъде правилно положен, така че да обхваща площта на откоса и да бъде надеждно закотвен.

В случаите, когато се използват скални блокове или скален насип, геотекстилт се поставя под тях, за да предотврати изнасянето на почвата между камъните.

За по-добър дренаж е препоръчително да се използва геотекстил в комбинация с чакъл или друг дренажен материал.

При високи натоварвания или силни течения е добре геотекстилт да бъде подсилен допълнително чрез анкериране или с помощта на габиони и други механични средства.

Заклучение:

Геотекстилт е ефективно средство за защита и стабилизиране на речни брегове, като осигурява дългосрочна защита срещу ерозия и подобрява структурната стабилност на

откоса. Комбиниран с подходящи растителни и конструктивни елементи, той може да предложи естествено изглеждащи и устойчиви решения за укрепване на речни брегове.

4.2.2.4 Изменение на формата на реката

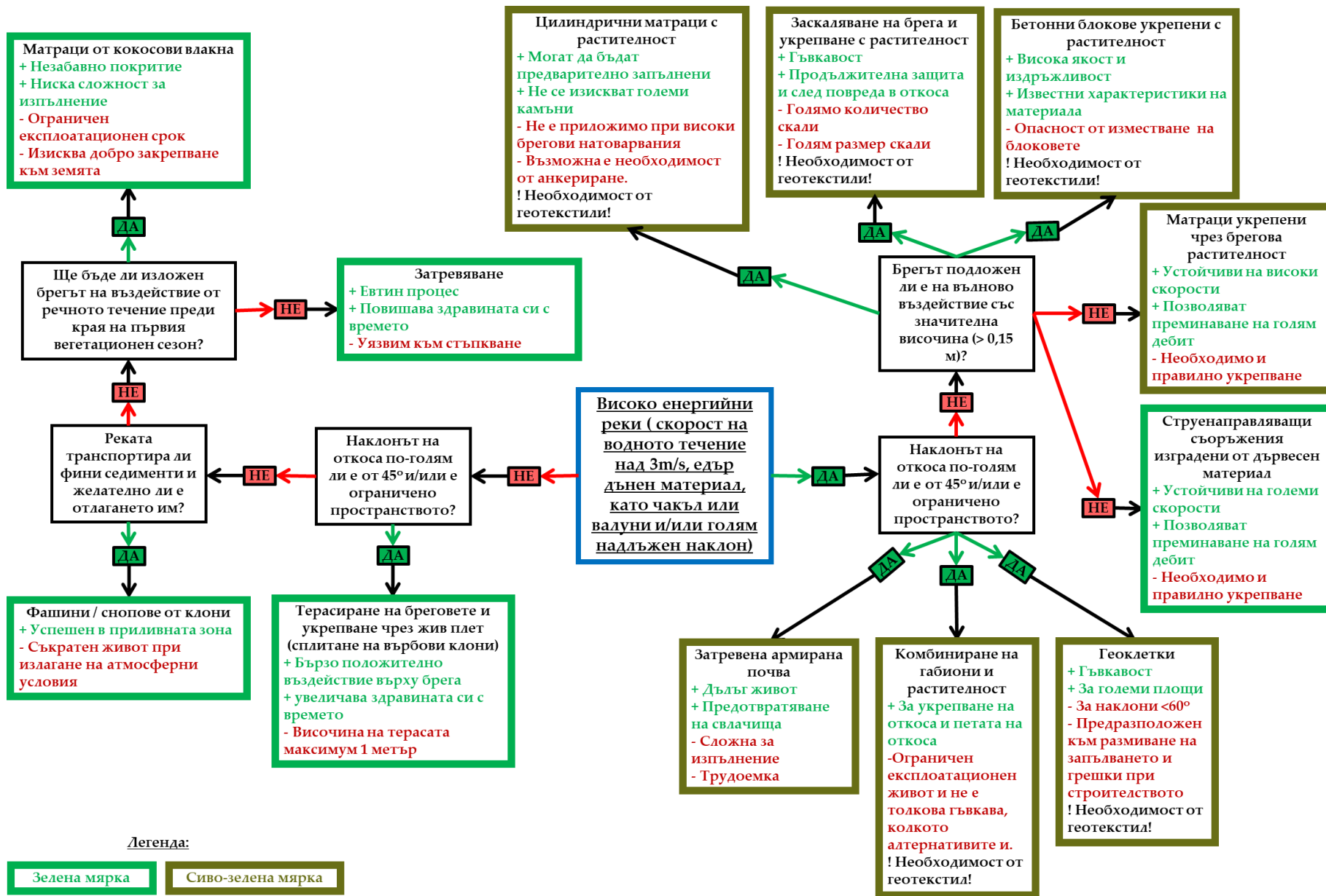
Понякога изброените по-горе мерки не са в състояние да повлияят достатъчно върху руслоформиращите процеси в речното корито, което налага предприемане на по-сериозни мероприятия за прекратяване на процесите на обща ерозия. Такива мероприятия включват преоткосиране на бреговете, премахване/изместване на диги, разширяване/стесняване на коритото, понижаване на дъното на коритото, възстановяване на меандри, понижаване/премахване на бариери и др.

Стъпка 4: Избор на вариант и разработване на проектно решение

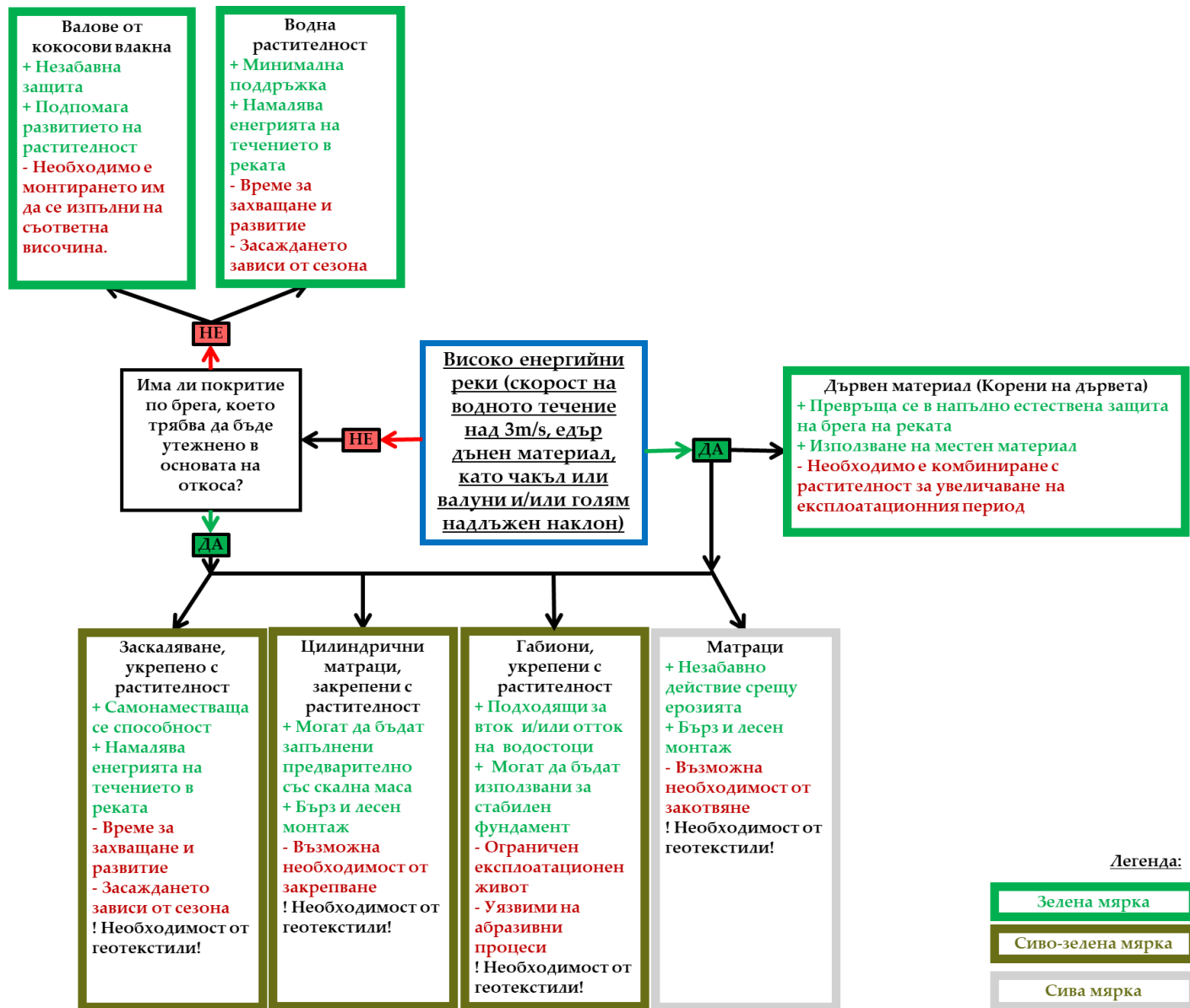
Въз основа на предходната стъпка следва да се избере решение, което в най-висока степен удовлетворява поставените в стъпка 1 цели;

На следващите няколко блок-схеми са представени примерни варианти за избор на отделни мерки или комбинации от мерки за укрепване на откоса или петата на откоса при различни условия според (3), както и за цялостно изменение на формата на реката, като същите са модифицирани за българските условия. **Непременно трябва да се има предвид, че диаграмите са примерни и не са инструмент за вземане на решение. Вземането на решение задължително трябва да става от правоспособен инженер спрямо конкретните условия за всеки един отделен случай и съобразно действащото законодателство!**

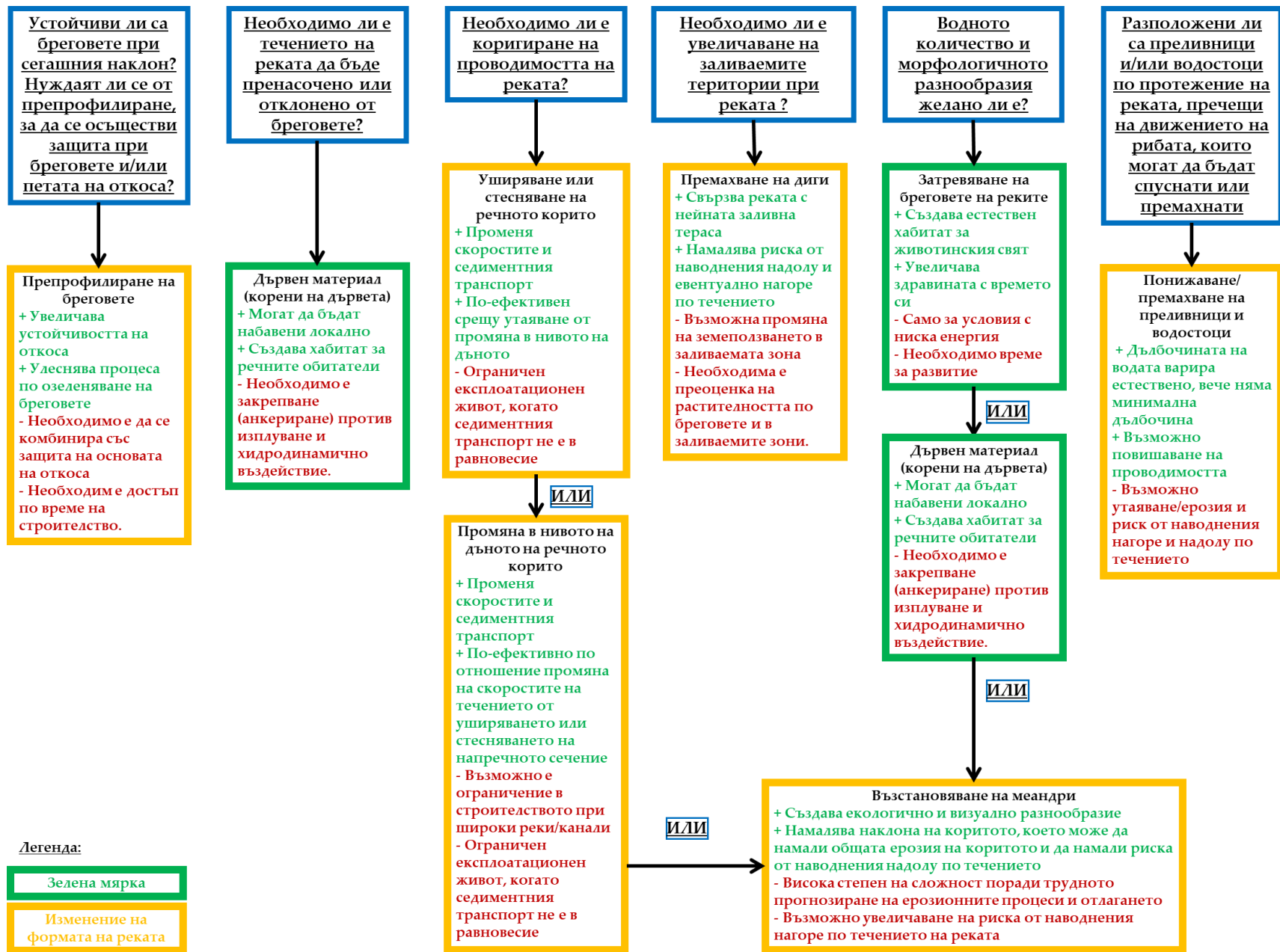
В гл. 5 на настоящия доклад са представени препоръки и добри практики за изпълнение на отделните части на инвестиционния проект.



Фигура 4.48 Примерна блок схема за избор на конструкция за укрепване на откоса (3)



Фигура 4.49 Примерна блок схема за избор на конструкция за укрепване на петата на откоса (3)



Фигура 4.50 Примерна блок схема за избор на вариант за изменение на формата на реката (3)

Стъпка 5: Прилагане/Изпълнение на разработеното проектно решение

В зависимост от конкретния контекст, приложението на предпочитано решение може да изисква осигуряване на финансови ресурси, въвличане на заинтересовани страни или разработване на инвестиционен проект;

Стъпка 6: Експлоатация, поддръжка и мониторинг

В рамките на проекта трябва да се зададат точни указания за извършването на необходимата поддръжка по време на експлоатацията на съоръженията. Трябва да се извършват редовни наблюдения, инспектиране, поддръжка и оценка на резултатите от приложеното решение.

5 Насоки и добри практики при планирането, проектирането и изпълнението на дейности по укрепването на речните корита

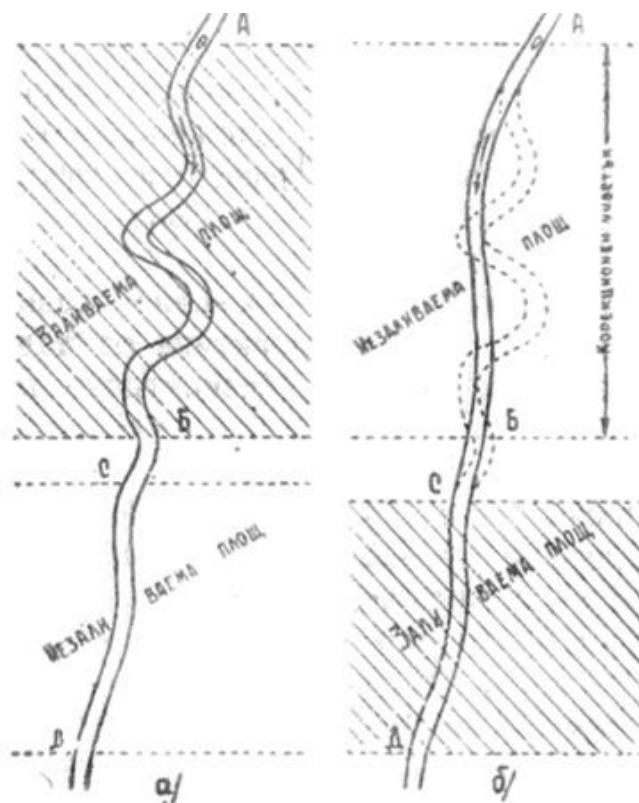
Общоприето е мнението, че дейностите трябва да бъдат внимателно подбрани и обосновани както от хидравлична, така и от хидроморфологична и екологична гледна точка. В теорията и практиката в областта на речното строителство са установени известни основни принципи, които следва да се имат предвид при проучването, проектирането и извършването на корекции и почиствания на реки.

Основно правило във водното строителство е, че събраният опит и практика от даден обект не може да се използва и прилага безкритично при следващите подобни обекти, тъй като теренните, почвените, морфологичните, биологичните и др. условия обикновено са твърде различни едни от други. Поради тази причина при проектиране и извършване на мероприятия в речните легла и крайречните зони се налага да се вземат предвид преди всичко специфичните особености на разглеждания обект. Поради това всички мероприятия да се проектират и изпълняват въз основа на непосредствено събрани данни за самата река (5).

Като **второ основно положение** може да се изтъкне необходимостта от цялостен подход при проектирането и планирането на дейностите. Широко разпространената недобра практика за частично решаване на проблемите на дадено място всъщност води до изместването им нагоре или надолу по течението. Подобни действия обикновено водят до нарушаване в баланса на наносния отток и съответно изравяне или отлагане на наноси в съседните участъци. От друга страна, коригирането на даден участък предизвиква увеличаване на водните количества в участъка след него, което особено при наличие на урбанизирани територии или инфраструктурни съоръжения е крайно нежелателно.

Третият основен принцип е провеждането на детайлни изследвания. Голямата сложност на явленията (скорости на течението, влачещи сили, зърнометрия на дънния материал, механизми на движение и отлагане на наноси) не позволява на този етап да се опишат подробно с помощта на математически изрази и да бъдат еднозначно и просто установени елементите на проекта.

За целта в близкото минало са провеждани хидравлични моделни изследвания в лабораторни условия, които постепенно отстъпват място на числени моделни изследвания с помощта на подходящ софтуер.



Фигура 5.1 Последствия от частични мерки и изместване на проблема (5)

Поради голямата сложност и съответно сравнително висока цена, хидравличните моделни изследвания са били прилагани само за много мащабни проекти, като по този начин в инженерната практиката масово се е установил подход, при който този тип морфологични изследвания не се правят, а оразмеряването на речните участъци се извършва главно по критерии за осигуряване на достатъчна проводимост на речното корито за провеждане на максимални високи води с нормативно определена безопасност (27).

Именно липсата на подробни морфологични изследвания може да се посочи като една от основните причини за сериозните проблеми, които се наблюдават в наши дни в голяма част от българските реки – ерозия на бреговете, вдълбаване на речното корито, затлачване на долните течения и др.

Съвременните изчислителни инструменти правят този тип изследвания достъпни и приложими в инженерната практика дори при малки по мащаб проекти и следователно трябва да бъде обърнато сериозно внимание от страна на институциите и при проектиране на корекционни мерки или мерки по почистване на речните легла да се изисква обосновка от гледна точка повлияването на морфологичните процеси в леглото.

Въпреки ясната нужда от провеждане на конкретни детайлни изследвания за всеки отделен случай, все пак биха могли да се дадат определени насоки и добри практики както в етапа на проектиране, така и при изпълнението на дейностите по почистване.

5.1 Указания за етапа на проучване

Планирането на вида, обхвата и методите за извършване на дейностите по почистване на речните легла с цел подобряване тяхната хидравлична проводимост следва да бъде съобразено с действащото законодателство и нормативна база и да бъде предшествано от съответните проучвателни работи. Последните целят установяване на актуалното състояние на речния участък и прилежащите крайбрежни зони, с отчитане хидрологичните и морфологични характеристики на водосборната област.

5.2 Указания за проектиране и добри практики

Според изискванията на редица нормативни документи, дейностите по почистване или коригиране на речните легла трябва да се изпълняват според одобрен от отговорните институции проект (МОСВ, БД, РИОСВ, МЗХ). Обхватът и съдържанието на отделните проектни части е указан в Наредба 4, но там не са отчетени специфичните изисквания на разисквания в настоящия документ проблем. Поради тази причина се препоръчва извършването на следните дейности, с цел осигуряване на природосъобразно и щадящо околната среда постигане на поставените цели.

5.2.1 Част Геодезия

Наред с необходимите дейности за направата на топографска снимка, която да обхваща дъното, бреговете и заливната тераса на реката, при изпълнението на геодезичните работи трябва да се заснемат подробно и всички дървета с дебелина на дънера, по-голяма от 14 см (мерено на височината на гърдите), като се води и фотодокументация. Необходимо е да се заснемат и по-особени форми на релефа, които биха повлияли на течението (по-големи

скали, коренища на стари дънери и т.н.) и би било добре да се запазят от хидроморфологична и екологична гледна точка.

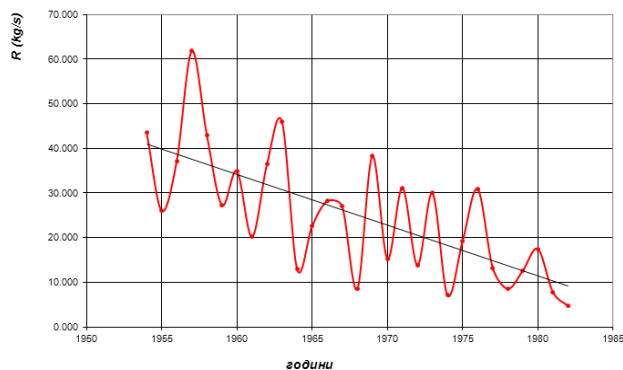
5.2.2 Част Хидрология

Практиката показва, че с оглед постигане на основната цел на почистването и коригирането на речните легла в настоящия момент, а именно осигуряване на достатъчна проводимост на леглото с цел минимизиране на вредното въздействие на водите при преминаване на висока вълна, хидроложките изследвания се концентрират главно върху определянето на максималните оразмерителни водни количества с определена обезпеченост (27).

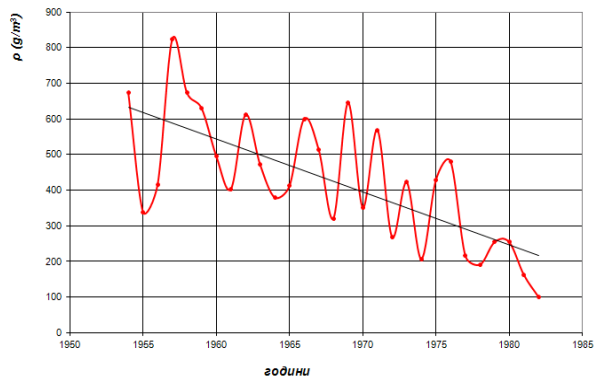
Както бе посочено в по-горните точки, максималната мощност на течението и респективно максималните влачеци сили, водещи до възникването на най-сериозна ерозия на речното корито, обикновено са на лице при преминаването на т.нар. „коритооформящо водно количество“, което е дефинирано в Нормите за проектиране на хидромелиоративни системи (27) като средномаксимално водно количество.

За извършването на адекватно хидравлично и хидроморфологично изследване е необходимо в хидроложкото изследване да бъдат определени:

- Максимални оразмерителни водни количества с нормативно изискуема обезпеченост;
- Средномаксимални водни количества;
- Режим на средния отток (средномесечни и средногодишни водни количества, вътрешногодишно разпределение на оттока, трайностни криви за средна, суха и влажна година);
- Режим на наносния отток – плаващи и влачени наноси.



Фигура 5.2 Ходограф на средногодишните плаващи наносни количества за р. Марица при гр. Пловдив



Фигура 5.3 Ходограф на средногодишната мътност на р. Марица при Пловдив

5.2.3 Част Хидравлични и хидроморфологични изследвания

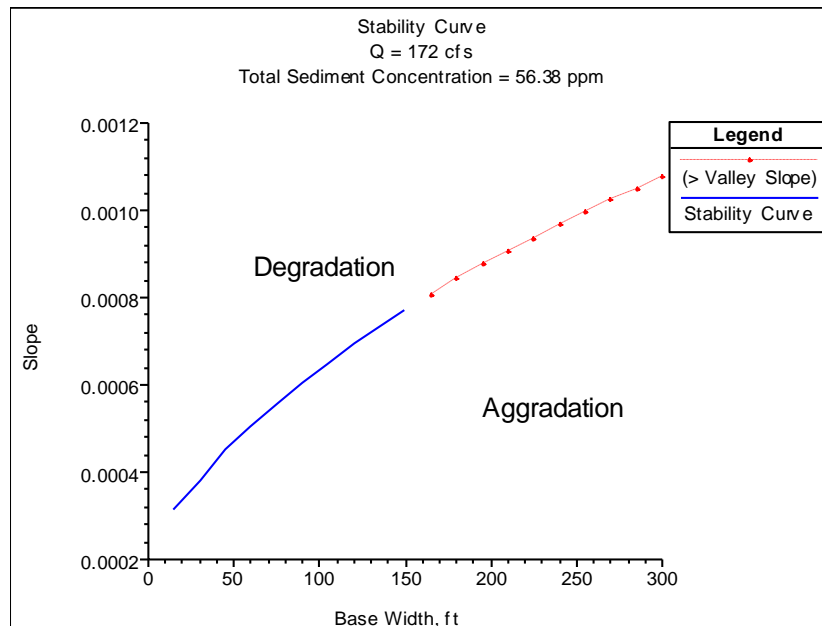
Основната задача на изследването в хидравличните части на настоящите проекти включва определяне на максималните водни нива в реката при преминаване на нормативно определените водни количества.

Хидравличните изчисления трябва да включват и случаи на преминаване на високи вълни с по-голяма обезпеченост – 100%, 50%, 20%, 10%, както и средномаксималните водни количества. Множество изследвания (28) показват, че най-много щети от наводнения на практика се случват не при преминаване на високи води с нормативно определените обезпечености, а при такива с по-голяма. От друга страна бе показано, че при преминаване на такива високи води, динамиката на дъното и бреговете е по-голяма от тази при оразмерителните високи води и на практика те са меродавни за изследването на процесите на ерозия.

За адекватното изпълнение на дейностите по почистване е задължително да се направи хидроморфологично изследване на речния участък, което да даде насоки за адекватното му оформяне, така че почиственият участък, както и съседните на него (горен и долен) участъци да бъдат в равновесие.

За целта са разработени множество инструменти, предимно емпирични, които позволяват да се оцени качествено и количествено динамиката на седиментите в речното легло. Пример за такива са методът на Copeland (29), Методът на влаещите сили, Методът на режимите и т.н. Някои от тях по аналитичен път дават стойностите на основните променливи, от които зависи стабилитета на речното корито – дълбочина, ширина, наклон. Други следят за нетното годишно вдълбаване или затлачване на коритото. В крайна сметка целта на всеки един от методите е да се получи връзка между

наклона, ширината и дълбочината на течението, които осигуряват устойчивост на речното легло при преминаване на характерните меродавни за оформянето му водни количества



Фигура 5.4 Крива на устойчивост на р. Марица при Пловдив при преминаване на $Q_{50\%} = 172 \text{ m}^3/\text{s}$

Пример за това е дадената на Фигура 5.4 крива на устойчивост за коритото на р. Марица при гр. Пловдив, която показва връзката между ширината на речното корито и наклона при зададени водно количество, зърнометрия на дънния субстрат и количество на плаващите наноси и мътността.

5.2.4 Част Хидротехническа

Част Хидротехническа указва конкретните действия, които да се изпълняват в рамките на проекта. Всички мероприятия следва да бъдат добре обосновани от хидравлична и морфологична гледна точка и в същото време да спазват добрите практики, като по този начин се осигурява максимално щадящо околната среда изпълнение.

Спазването на представените по-горе добри практики в световната и национална практика спомага както за по-добрата устойчивост на речното корито и запазването му в равновесно състояние, така и за запазване на доброто му екологично състояние.

6 Примери

6.1 Река Малък Искър, с. Видраре

Описание на речния участък: Р. Малък Искър, с. Видраре, Община Правец, Област София. Средна надморска височина – 300 т. Пример за естествено скално корито, при което вертикалните деформации (вкопаване) са ограничени. Характерно за по-стръмни речни участъци, най-често в планински райони, където отложенията не се задържат трайно по дъното и биват транспортирани надолу по течението.



Характеристики на речната долина: Участъкът попада в долния край на по-широка и равнинна речна долина (котловина), непосредствено преди навлизането на течението в тясна клисура. Трасето на реката лъкатуши в обхвата на котловината, като страничните движения се ограничават от склоновете ѝ.

Наличие на нарушения във водния и твърд отток: Не са налични по-значителни нарушители на естествения отток.

Наличие на корекции, брегозащита или други инженерни съоръжения: Речният участъкът е естествен и ненарушен в преобладаващата си част. Съществува едно премостващо съоръжение непосредствено преди навлизането на течението в тясната речна долина, представляващо каменнозидан сводест мост. Съоръжениято допринася за локално подприщване нагоре по течението, отлагане на наноси, основно в зоната на подходите към моста и пред стълбовете и устоите. Тези отложения създават условия за относително устойчиво развитие на растителност, която от една страна способства за намаляване на хидравличната проводимост чрез задържане на наносен материал и плаващи тела и предмети, от друга затруднява инспекциите и техническата поддръжка на мостовото съоръжение.

С цел локална защита на ниско разположени имоти непосредствено над моста е изградена земнонасиинна дига в зоната на десния бряг, която няма съществено влияние върху хидравличната картина и съдейства за защита на частни имоти и инфраструктура при високи води с относително голяма повтаряемост. Защитата от високи води е затруднена поради наличието на приток, пресичащ дигата, намиращ се в пряка хидравлична връзка с основната река.

Хидравлични характеристики: Средните скорости на течението при високи води са в диапазона 2-4 m/s. Средните дълбочини варират в неголеми граници. Течението в преобладаващата част от участъка е бурно с изключения на зони локални стеснения и над естествени прагове. В преходите възникват хидравлични скокове.

Руслови процеси: Русловите процеси се характеризират със странична миграция на коритото, респективно брегова ерозия в зони с по-слаби брегове и отлагане на седименти в равнинни участъци, в изпъкналите криви и над естествените речни прагове. От ситуационното развитие на трасето може да се установи, че реката се насочва от единия към другия склон на долината, обработвайки петата му и след достигане на стабилна точка от брега, бива пренасочено в срещуположната към срещуположната страна на долината.

Стръмните странични притоци на основната река допринасят за подхранването с наносен материал, който се отлага в речната тераса в зоната на вливане. Натрупванията на по-значителни количества наносен материал влияят върху курса на основното корито в рамките на долината.

Неблагоприятни въздействия: Странично изместване на коритото, брегова ерозия, подкопаване на склоновете на долината, локално отлагане на наносен материал и ограничаване проводимостта на съществуващи мостове

Подходящи мерки: Стабилизиране на брега чрез комбинирани сиво-зелени техники, отстраняване на по-значителни натрупвания на наносни отложения от стеснения на леглото при втока на съществуващи мостове. Примерни мерки: Локално стабилизиране на брега чрез заскаляване на петата в комбинация със засаждане на растителност по брега

Потенциални рискове: Локално укрепване в даден участък е възможно да доведе до развитие на ерозия в съседен участък.

6.2 Река Енчова, гр. Шумен

Описание на речния участък: Р. Енчова, гр. Шумен, Община Шумен, Област Шумен. Средна надморска височина – 220 т. Пример за интензифициране на наносно-аккумуляционните процеси след изграждане на противоерозионно съоръжение в необлицовано, но коригирано/изправено речно корито в градска среда



Покачване на дъното на р. Енчова (гр. Шумен) в резултат от изграждане на бараж надолу по течението
Източник на изображението: личен архив 02.2021 г.



Ерозия на дъното и свличане на десен бряг при заустване на канализационен колектор след преминаване на високи води
Източник на изображението: личен архив 02.2021 г.



Характеристики на речната долина: Коритото на река Енчова е ограничено от ограждащата я градска инфраструктура. Течението е изправено и стеснено. Надлъжният наклон е значителен, средно около 1-3%.

Надолу по течението до вливането ѝ в по-голямата местна отводнителна артерия – р. Поройна (Боклуджадере), реката е коригирана и облицована, а самото заустване се осъществява чрез покрит участък, над който се развива уличната мрежа на града.

Леглото е формирано от глинести и глинесто пясъкливи почви, на места слабо споени. Това обуславя относително стръмни, а на места почти вертикални брегови откоси. Наличието на растителност по високите части на бреговете спомага за стабилизиране на иначе високите и стръмни брегове в участъка.

Наличие на нарушения във водния и твърд отток: Не са налични по-значителни нарушители на естествения отток. Твърдият отток е частично нарушен от налично в участъка напречно съоръжение.

Наличие на корекции, брегозащита или други инженерни съоръжения: Най-долната част от реката е изправена и облицована. Основното корито е необлицовано, но изправено и ограничено странично. От двете страни на коритото се разполагат улици, паркинги, гаражи и частни имоти. Нялични са още редица зауствания на отливни тръби от дъждопреливници на градската канализация със значителен диаметър. В участъка е изградено напречно водоподпорно съоръжение. Същото е изпълнено като

преливаема стоманобетонна конструкция с отвор за пропускане на ниски води и наносен отток.

Течението се премества от пътни и пешеходни мостове, както и множество комуникации на електроразпределителната, водо и газопреносната мрежа, характерно за по-голямата част от реките в населени места. Опорни блокове и крила на бреговите зауставания създават локални стеснения на течението.

Хидравлични характеристики: В резултат изграждането на напречно баражиращо съоръжение в реката се обособяват зона на забавяне – над баража и зона на локално ускорение след него.

Руслови процеси: Русловите процеси в участъка са изразени чрез вертикални движения на леглото и локални странични деформации. В участъка се обособяват 2 зони с принципно различни характеристики – над и под напречното съоръжение (бараж). След съоръжението се наблюдават интензивни ерозионни процеси, изразени в удълбочаване на коритото (вертикални деформации), което от своя страна способства за обрушване на бреговете и уширяване на коритото. Тези процеси водят до подкопаване на съществуващата инфраструктура – улична мрежа с прилежащи ограничителни елементи, зауставания, подземна инфраструктура и др.

Над баража в резултат на забавяне на скоростите на течението се образува зона на значително подприщване, която способства отлагането на наносен материал, постъпващ от водосбора. Така в участъка възниква повдигане на нивото на дъното и по този начин ограничаване деградацията на леглото. Същевременно този процес обаче води до значително редуциране на капацитета на леглото да провежда високи води, което е предпоставка за по-чести разливания на високите води в горния край на участъка. Ограничената дълбочина на коритото и наличието на мост с относително малки светли размери създават предпоставка за пренасочване на естествения отток на реката при високи води към прилежащата улична мрежа и връщането на водите в реката в зоната на незащитен/неукрепен участък.

Подходящи мероприятия: Стабилизиране на брега чрез комбинирани сиво-зелени техники, отстраняване на по-значителни натрупвания на наносни отложения от стеснения на леглото при втока на съществуващи мостове. Армирана пръст, комбинирана с растителност, като стриктно се спазват препоръките за поддръжка, с цел поддържане на достатъчна проводимост

Потенциални рискове: Локално укрепване в даден участък е възможно да доведе до развитие на ерозия в съседен участък.

6.3 Река Марица/ гр. Свиленград



Описание на речния участък: Р. Марица, гр.Свиленград, Община Свиленград, Област Хасково. Средна надморска височина – 90 м. Пример за коригиран участък на голяма равнинна река с динамични ерозионно-аккумуляционни процеси, силно повлияни от човешката дейност.

Характеристики на речната долина: Долината на река Марица в района на гр. Свиленград е част от Тракийската низина.. В тази зона реката тече в широк пролом сред Източнородопските разклонения и Сакар планина. Самата Тракийска низина представлява област на потъване, особено през плиоцена, станало по няколко пъти стъпаловидно т.е. дълбоко хълмнат гребен между Родопите и Средна гора. Основата и е изградена от допалеозойски и палеозойски скали, покрити с терциерни седименти, които са загладили неравностите между разложните блокове на земната кора. По късно седиментите са покрити с дебели кватернерни речни наслаги. Реките са запълнили низината с дебел алувиален тлак и делувиален материал, който образува редица поройни конуси в подножието на Родопите.

Участъкът се разполага в долната зона на средното течение и се характеризира със среден надлъжен наклон от приблизително 0,07-0,08%. В морфологично отношение речното легло се характеризира с образуване на пясъчни острови и едри, средно извити меандри. Дъното на речното корито е покрито с

пясък, а на места и с дребен чакъл. Върху ниските речни тераси на р. Марица и нейните притоци широко разпространение намира влаголюбива растителност, представена от камъши, върби, тополи и елша.

След напускане на страната реката навлиза в Одринското поле, обособявайки долното ѝ течение, където образува множество ръкави и пясъчни острови със значителна дължина и големина. Характеризира се със слабо извити меандри, почти обезлесени долини и надлъжен наклон 0,023%.

Наличие на нарушения във водния и твърд отток: Не са налични по-значителни нарушители на естествения речен отток в средното течение на реката. Твърдият отток е частично нарушен от една страна поради наличието на множество хидравлични прагове в поречието, ограничаващи придвижването на влачените наноси, а от друга от изкуственото изземване на седименти от баластриери.

Наличие на корекции, брегозащита или други инженерни съоръжения: Река Марица в зоната на участъка е цялостно коригирана, като в градските зони и извън тях корекцията приема различен профил и конструкция. Преди навлизане в урбанизираната част на гр. Свиленград речното корито е двустранно андигирано с обособен приблизително двойнотрапецовиден продил. Дигите са земнонаситни и ограничават разливането на високите води върху по-широката речна тераса, върху която се разполагат обработваеми земи, транспортна инфраструктура и редица по-малки населени места.

В регулационните граници на гр. Свиленград са изпълнени вертикални брегозащитни стени по двата бряга на реката, почти по цялото ѝ протежение. В този участък се осъществява стесняване на коригираното легло от приблизително 390-400 m в началото на корекцията до 240-260 m при „Стария мост“ и прага след него, т.е. стеснение от приблизително 37-40% спрямо сечението при моста на Републикански път I-8.

Речното корито се премества от мостове на главни пътни и железопътни артерии.

За стабилизиране на дънната ерозия са изградени няколко хидравлични прага, които обуславят задържането на влачените наноси и отлагане на плаващите при ниски води.

Хидравлични характеристики: Течението се характеризира с относително големи дълбочини. Скоростите над праговете в условия на ниски води, но и при средни и високи води с голяма повтаряемост са много ниски и обуславят седиментационните процеси. При високи води се реализират средни скорости от порядъка 1.5-3 m/s, които са около и над допустимите неизравящи за формиращия леглото седимент. Това предполага развитие на локални ерозионни процеси, в резултат на което отнетият седимент бива задържан в области с по-ниски скорости.

Руслови процеси: Руслови процеси в участъка са силно повлияни от човешката дейност, като тук съществена роля имат както съществуващите корекции и надлъжни съоръжения – брегозащитни стени и диги, така и стабилизиращите дъното напречни съоръжения – хидравлични прагове, но и налични мостове. Нарушаването на естествения твърд отток в резултат наличието на напречни съоръжения, изкуствено изземване на наносен материал от баластриери или дейности по поддържане на хидравличната проходимост е водещият двигател на процесите.

В участъка се установяват динамични наносно-аккумуляционни и ерозионни процеси изразени предимно в локална странична ерозия, т.е. ограничено меандриране и отлагане на наноси под формата на острови, а понякога и разклонения. В зоната на конкавните/вдлъбнати брегове естествено се наблюдава нарушаване на брега, което може да застраши ограничителните брегозащитни съоръжения.

Подходящи мероприятия: *Стабилизиране на брега чрез комбинирани сиво-зелени техники, отстраняване на по-значителни натрупвания на наносни отложения от стеснения на леглото при втока на съществуващи мостове. Геоклетки и затревяване на откоса. Засаждане на единични дървета по откоса.*

Потенциални рискове: *Локално укрепване в даден участък е възможно да доведе до развитие на ерозия в съседен участък.*

6.4 Река Ботуня, гр. Вършец



Описание на речния участък: Р. Ботуня, гр. Вършец, Община Вършец, Област Монтана. Средна надморска височина – 400 м. Пример за коригиран участък на планинска река в прехода от горно към средно течение.

Характеристики на речната долина: В зоната на град Вършец река Ботуня излиза от дълбока залесена долина и навлиза във Вършецката котловина, даващата началото на средното течение на реката. Основното течение приема водите на няколко стръмни планински притока, които се събират в зоната на град Вършец. Речното корито е естествено и ненарушено до навлизането му в гр. Вършец, следвайки лъкатушно движение с относително неголеми меандри. По-изразено ограничено меандриране се наблюдава в участъка след излизане на реката от населеното място. В самия град реката е коригирана и изправена.

Наличие на нарушения във водния и твърд отток: Не са налични по-значителни нарушители на естествения речен и твърд отток на реката.

Наличие на корекции, брегозащита или други инженерни съоръжения: В рамките на град Вършец река Ботуня (Старата река) е коригирана и изправена. Страничните миграции на коритото са ограничени от

брегозащитни стени, а вертикалните – посредством хидравлични прагове, а наместа и площно облицоване на дъното. Корекцията е изпълнявана на различни етапи и е съставена от съоръжения с различна конструкция, възраст и техническо състояние. Преобладаващата част от корекционните работи са изпълнени преди 1989 г. Съоръженията включват вертикални подпорни стени, дънна облицовка, дънни и хидравлични прагове. В обособени участъци са установени стени на две нива и откосиране на брега.

В централната част от населеното място корекционните стени са изпълнени от каменна зидария на разтвор, като дължината им по двата бряга е различна, вероятно поради компрометиране на конструкцията. Дъното е облицовано. Облицовката е изпълнена от реден камък на бетонов разтвор. Няма оформено кюне за ниски или средни води. По дължина на коритото са изпълнени хидравлични прагове с различна височина. Светлата ширина между стените варира между 18 и 20 м.

На следващ етап корекцията е удължена в двете посоки – надолу и нагоре, чрез изграждане на еднотипна конструкция от сглобяеми ъглови подпорни стени върху бетонов ивичен фундамент. Дъното е облицовано, но понастоящем на много места облицовката е нарушена. Не е ясна годината на въвеждане в експлоатация на съоръженията.

Трасето на корекцията в централната и северозападната част на населеното място следва права с няколко незначителни чупки. Нагоре по течението корекцията е развита, следвайки основните меандри на речното корито.

Реката се премества от няколко комбинирани моста и пешеходни пасарелки. Особено неудачно е изпълнението на подхода от естествения речн участък към корекцията, където е изпълнен триотворен пешеходен мост, стесняващ живото сечение приблизително 2 пъти.

Хидравлични характеристики: В резултат на изправянето и стесняването на речното корито се увеличават скоростите и дълбочините на течението при високи води спрямо потенциално ненарушените условия. Състоянието на течението е с изрезено бурен характер, като на места се обособяват бързеи локални вировете.

Особено неблагоприятно в хидравлично отношение е действието на пешеходния мост в горния край на корекцията. Ефектът от съоръжението се изразява в подприщване и увеличаване на водните нива над и локално увеличаване в створа му и след него. Усвоените терени зад дясната подпорна стена са развити на относително ниска кота.

В резултат на високи води през месец юни 2022 г. възниква преливане над подхода към десния устой на пешеходния мост. Това води до концентрация на голяма част от водното количество в реката, както и отток от околните скатове, ерозия на терена и преливане на води обратно в корекцията. Значителен принос към интензифицирането на ерозионните процеси имат транспортираните от течението дървени трупи, клони и листна маса, които се задържат при втока на моста и по металните парпети и ограничават пропускната способност. Това от своя страна води до увеличаване на напорите над съоръженията и до локална ерозия на леглото след моста и в петата на оградните стени. Високите скорости на течението създават условия и за обща дънна ерозия в необлицованите участъци.

Резултатът от преминаването на високите води от 06.2022 г. е пълно компрометиране на съществуващата корекция от стоманобетонови елементи в юдозападната част на града, оголване и подкопаване на брегозащитата в североизточния край отлагане на значителни количества наносен материал и отломки от съоръженията в участъците с по-малък наклон и в криви.

Руслови процеси: Русловите процеси се изразяват предимно във вертикална посока, което е логично следствие от изправянето и стесняването на речното корито. След наводнението от 06.2022г. течението оформя ново легло в зоната на компрометираната корекция, заобикаляйки дясната оградна стена и образувайки нов ръкав.

Зоната на разрушената корекция е била участък с изразени ерозионни общи процеси, докато над пешеходния мост се е обособил участък на отлагане и задържане на наносен материал. Констатирани са локални изравнения, достигаци 1.5 m и общо понижение на речното дъно до 80-100 ст.

Големият надлъжен наклон и високите скорости обуславят задвижването и транспорта на едри отложения, които способстват за нарушаване на съществуващите облицовки в останалата част на корекцията.

Подходящи мероприятия: Стабилизиране на брега чрез комбинирани сиво-зелени техники, отстраняване на по-значителни натрупвания на наносни отложения от стеснения на леглото при втока на съществуващи мостове. Предвид високата скорост на течението и големите количества влачени и плаващи наноси и разположението на участъка в градска среда в близост до критична инфраструктура, е необходимо прилагане на сиви мерки.

Потенциални рискове: Локално укрепване в даден участък е възможно да доведе до развитие на ерозия в съседен участък.

7 Използвана литература

1. **NCHRP.** *Evaluation and Assessment of Environmentally Sensitive Stream Bank Protection Measures.* 2016.
2. **SEPA and Scottish Environmental Protection Agency.** *Engineering in the water environment: Good Practice Guide - Sediment Management.* 2010.
3. **Roca, Marta, и др., и др.** *Green approaches in river engineering.* Wallingford : HR Wallingford Ltd, 2017.
4. **Drobir, H. und Honsowitz, H.** *Flussmorphologie und Flusskorrekturen.* Wien : Technische Universitaet Wien, Institut fuer Wasserbau und Ingenieurhydrologie, 2006.
5. **Радославов, Т.** *Корекции на реки.* София : Държавно издателство "Техника", 1963.

6. **Радев.** *Отводнителни системи и корекции на реки.* 1981.
7. **Велев, Димо.** *Наръчник по хидротехника. Том 2.* 1984.
8. **Христов, Иван и Михов.** *Опазване и възстановяване на речните коридори.* н.м. : WWF, 2010.
9. **Узунова, Румяна и Христов, Иван.** *Подходи за възстановяване на речната непрекъснатост.* 2017.
10. **Дунчев, Александър, Димова, Добромира и Димитров, Мариус.** *Крайречните гори : ползи, състояние, опазване.* 2017.
11. **Хинков.** *Добри практики при възстановяване на крайречните гори в България.* 2023.
12. **Hugget, Richard.** *Fundamentals of Geomorphology.* 2007.
13. **Charlton, Ro.** *Fundamentals of Fluvial Geomorphology.* 2007.
14. **U.S. Army Engineer Engineer and Research and Development Center.** *Channel Rehabilitation: Processes, Design and Implementation.* Vicksburg, Mississippi : s.n., 1999.
15. **Federal Interagency Stream Restoration Working Group.** *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices.* 2001.
16. **Escarameia, Manuela.** *River and Channel Revetments - A Design Manual.* 1998. 9780727726919.
17. **Julien, Pierre Y.** *River mechanics.* н.м. : Cambridge University Press, 2002.
18. **James P. Smith, Jr. & Kelly W. Allred.** *Phragmites australis*, in Jepson Flora Project (eds.) Jepson eFlora. *Jepson Flora Project (eds.) 2024, Jepson eFlora, <https://ucjeps.berkeley.edu/eflora/>.* [Онлайн] https://ucjeps.berkeley.edu/eflora/eflora_display.php?tid=37931.
19. **Baldini, Riccardo M.** *Phalaris arundinacea*, in Jepson Flora Project (eds.) Jepson eFlora. https://ucjeps.berkeley.edu/eflora/eflora_display.php?tid=37604. [Online] Jepson Flora Project (eds.) 2024, Jepson eFlora, <https://ucjeps.berkeley.edu/eflora/>. https://ucjeps.berkeley.edu/eflora/eflora_display.php?tid=37604.
20. **Peter F. Zika, Andrew L. Hipp & Joy Mastrogiuseppe.** *Carex aquatilis var. dives*, in Jepson Flora Project (eds.) Jepson eFlora, Revision 3. *Jepson Flora Project (eds.) 2024, Jepson eFlora, <https://ucjeps.berkeley.edu/eflora/>.* [Онлайн] https://ucjeps.berkeley.edu/eflora/eflora_display.php?tid=55640.

21. **Leppig, Gordon.** *Glyceria grandis*, in Jepson Flora Project (eds.) . *Jepson Flora Project (eds.)* 2024, *Jepson eFlora*, <https://ucjeps.berkeley.edu/eflora/>. [Онлайн] 2012 г. https://ucjeps.berkeley.edu/eflora/eflora_display.php?tid=27076.
22. **Smith, Galen.** *Typha latifolia*, in Jepson Flora Project (eds.) *Jepson eFlora* . *Jepson Flora Project (eds.)* 2024, *Jepson eFlora*, <https://ucjeps.berkeley.edu/eflora/>. [Онлайн] 2012 г. https://ucjeps.berkeley.edu/eflora/eflora_display.php?tid=47466.
23. Hills to Levels - Riverbank Stabilisation #5. [Online] <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=mS87csAFCKI>.
24. **Services, Salix River & Wetland.** Salix River & Wetland Services Limited. <https://www.salixrw.com/>. [Онлайн] <https://www.salixrw.com/>.
25. Advance Landscape Systems. [Онлайн] <https://www.advancelandscape.co.nz/>.
26. Vegetated Gabion Mattresses. [Онлайн] <http://www.extranet.vdot.state.va.us/>.
27. **Младенов, Ал., и др., и др.** Норми за проектиране на хидромелиоративни системи. София : ДФ "Водпроект", 1991 г.
28. **Dep. of Primary Industries, Water and Environment.** *Waterways and Wetlands - Environmental Best Practice Guidelines when undertaking Works on Waterways and Wetlands*. Tasmania : Department of Primary Industries, Water and Environment.
29. **Copeland, Robert.** *Application of channel stability methods : case studies*. Vicksburg : U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1994.
30. A CASE STUDY OF DOWNSTREAM OF ZIARAT RIVER, NORTHERN IRAN. **Borna, M. R., et al., et al.** 16(4), 2018, APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH, pp. 4311-4327.
31. MODELING OF HYDRAULIC CONDUCTIVITY IN THE REGULATED STREAMS OF SOUTHEAST LITHUANIA, ENVIRONMENTAL ENGINEERING. **Barvidienel, Oksana and Saulys, Valentinas.** Vilnius, Lithuania : s.n., 2011. The 8th International Conference, May 19–20.
32. *A Guide to River Corridor Management Plans, The New Hampshire Rivers Management and Protection Program*. New Hampshire : Department of Environmental Services, 1997.
33. RIVER WIDENING OF OVERDIEPSE POLDER. [Online] <https://www.ruimtevoorderivier.nl/river-widening-overdiepse-polder>.

34. Vermont Agency of Natural Resources *River Corridor Planning Guide, to Identify and Develop River Corridor Protection and Restoration Projects River Management Program*. [Online] April 1, 2010. https://dec.vermont.gov/sites/dec/files/wsm/rivers/docs/rv_rivercorridorguide.pdf.
35. **Augustyn, Fay**. A Guide to Sustainable River Recreation Management Planning. [Online] <http://www.bluetrailsguide.org/wp-content/uploads/sites/6/2017/02/AR-Sustainable-Recreation-Management-Report.pdf?1e5620>.
36. *Evaluation of Riverbank Hydraulic Conductivity: Implications for Groundwater Recharge*. **Ayeni, Omotayo**. 21, 2014, Journal of Scientific Research & Reports, Vol. 3, pp. 2784 - 2791.
37. **Delgado-Rodriguez, O. and Peinado-Guevara, H. J.** *Determination of hydraulic conductivity and fines content in soils near an unlined irrigation canal in Guasave, Sinaloa, Mexico*. Sinaloa, Mexico : s.n.
38. **Department of Water Resources, NSW**. *Riverwise Guidelines for Stream Management*. June 1993.
39. **Diem, Samuel**. *Riverbank Filtration within the Context of River Restoration and Climate Change*. s.l. : Faculty of Science of the University of Neuchatel. Centre for Hydrogeology and Geothermics.
40. **Group, Federal Interagency Stream Restoration Working**. *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices*. 1998.
41. **Heath, Ralph C**. Basic groundwater hydrology, U.S. Geological Survey Water-supply Paper 2220. [Online] 1987. <http://pubs.er.usgs.gov/pubs/wsp/wsp2220>.
42. **Huggenberger, Peter and Regli, Christian**. A sedimentological model to characterize braided river deposits for hydrogeological applications. *Braided rivers: process, deposits, ecology and management*. s.l. : Blackwell Publishing Ltd Oxford, 2006, Vol. 36, pp. 51 - 74.
43. **Newbury, Robert and Gaboury, Marc N**. *Stream analysis and fish habitat design: a field manual*. s.l. : Gibsons, BC: Newbury Hydraulics,, 1993.
44. **Pascale M. Biron, Thomas Buffin-Be' langer, Marie Larocque, Gue'nole' Chone', Claude-Andre' Cloutier, Marie-Audray Ouellet, Sylvio Demers, Taylor Olsen, Claude Desjarlais, Joanna Eyquem, et al., et al**. Freedom Space for Rivers: A Sustainable Management Approach to Enhance River Resilience. *Environmental Management*. 2014, pp. 1056 - 1073.

45. **Raine, Allan W and Gardiner, J. N.** *Rivercare : guidelines for ecologically sustainable management of rivers and riparian vegetation* / A.W. Raine and J.N. Gardiner. s.l. : Canberra : Land and Water Resources Research and Development, 1995.
46. **Torre, Antonietta.** *Stream Stabilisation*. 2001.
47. *Holistic Approach to Watershed Management and Freshwater Conservation and Rehabilitation: A Case Study*. **Villela, Rebeca Gonzalez, et al., et al.** 7, s.l. : Academic Star Publishing Company, July 2017, Modern Environmental Science and Engineering, Vol. 3, pp. 451 - 459.
48. **Whelan, Jennifer Laura.** *HYPHOREIC ZONE HYDRAULIC TESTING: RIVER TAME, BIRMINGHAM, UK*. 2007.
49. **Дирекция „Управление на водите“, отдел „Управление на риска от наводнения“, МОСВ.** *Директива за поддържане на водите на Хамбург (Основни професионални водно-стопански и екологични принципи за поддръжка на водите)*.
50. **Михов, С. и Христов, И.** *Опазване и възстановяване на речните коридори*. София : WWF, 2010 г.
51. **Димитров, М., и др., и др.** *Ръководство за възстановяване и управление на крейречни горски местообитания в България*. София : WWF, 2018 г.
- 52.