УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

РУДАРСКО - ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

Предраг Р. Пајић

# ЕВАЛУАЦИЈА УТИЦАЈА УСПОРА ХЕ ,,ЂЕРДАП 1" НА ФОРМИРАЊЕ РЕЖИМА ПОДЗЕМНИХ ВОДА У ПРИОБАЉУ ДУНАВА

докторска дисертација

Београд, 2016.

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Predrag R. Pajic

# EVALUATION OF HPP "DJERDAP 1" BACKWATER IMPACT ON THE FORMATION OF GROUNDWATER REGIME IN COASTAL AREAS OF DANUBE

Ph. D. thesis

Belgrade, 2016.

**МЕНТОР:** **Проф. др Душан Поломчић**, редовни професор
ужа научна област: хидрогеологија
Универзитет у Београду, Рударско - геолошки факултет

_____

**ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:** **Проф. др Веселин Драгишић,** , редовни професор
ужа научна област: хидрогеологија
Универзитет у Београду, Рударско - геолошки факултет

_____

**Проф. др Ненад Јаћимовић,** , доцент
ужа научна област: механика флуида, хидраулика и еколошко инжерество
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

_____

**Проф. др Стеван Прохаска,** виши научни саветник
ужа научна област: хидрологија
Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ Београд

_____

датум одбране докторске дисертације:

_____

## ИЗРАЗИ ЗАХВАЛНОСТИ

Завршавајући докторску дисертацију, хтео бих да се захвалим колегама из Института за водопривреду „Јарослав Черни“ из Београда на сарадњи и разумевању током деценије и по заједничког рада. Посебну захвалност изражавам Милану Радовановићу, дипл. инж. геол., директору Завода за хидрогеологију и изучавање режима подземних вода, Божидару Љумовићу, дипл. инж. геол., заменику директора и водећем инжењеру Завода за хидрогеологију и изучавање режима подземних вода на дугогодишњим сарадњи и корисним саветима из из области хидрогеологије и хидродинамике. Захвалност дугујем и Урошу Урошевићу, главном инжењеру Сектора развоја ЈКП БВК на сугестијама приликом израде докторског рада. Захваљујем се и Александру Томићу, инж. маш. и Дејану Станковићу, техн. на техничкој помоћи приликом обраде великог броја података у оквиру овог рада. Захваљујем се и свим осталим колегама из Завода за хидрогеологију и изучавање режима подземних вода Института за водопривреду „Јарослав Черни“ на свакодневној дугогодишњој сарадњи и унапређењу знања из изучаване области.

Посебну захвалност исказујем проф. Др. Душану Поломчићу, ментору, као и проф. Др. Веселину Драгишићу са Рударско - геолошког факултета Универзитета у Београду, Департман за хидрогеологију, проф. Др. Ненаду Јаћимовићу, дипл. инж. грађ. са Грађевинског факултета Универзитета у Београду и проф. Др. Стевану Прохаски, председнику Научног већа Института за водопривреду „Јарослав Черни“ из Београда, на подршци и корисним саветима приликом израде докторске дисертације.

**ЕВАЛУАЦИЈА УТИЦАЈА УСПОРА ХЕ „ЂЕРДАП 1" НА ФОРМИРАЊЕ РЕЖИМА ПОДЗЕМНИХ ВОДА У ПРИОБАЉУ ДУНАВА**


**Резиме**

Један од негативних ефеката рада акумулационих хидроелектрана представља њен утицај на издизање и продужење трајања водостаја површинских токова у насталој акумулацији, чиме се проузрокује измена режима подземних вода и повећана угроженост приобалних подручја различите намене. У циљу сагледавања овог значајног проблема, анализиран је утицај експлоатације хидроелектране „Ђердап 1“, као једне од највећих и најважнијих европских хидроелектрана, на формирање режима подземних вода у приобаљу њене акумулације .

Хидроелектрана је изграђена 1970. год. на заједничком југословенско - румунском сектору међународне реке Дунав. Пуштањем у рад 1972. год. формирана је акумулација запремине 3500 милиона $m^3$ у просечним хидролошким условима, што је представљало повећање за око 2100 милиона $m^3$ у односу на запремину природног корита Дунава. Даљим преласцима хидроелектране на више режиме успора („69.5/63“, „69.5 и више“), величина акумулације значајно се повећавала., да би се данас, у актуелном режиму успора, при малим водама, („до коте 70.30 mnm код ушћа Нере“) простирала дуж укупно близу 500 km речних токова Дунава, Саве, В. Мораве, Тисе и мањих притока.

Међународна искуства везана за проблематику утицаја успора речних акумулација, насталих услед изградња хидроелектрана, публикована су од стране различитих аутора широм света углавном за потребе анализе и прогнозе режима подземних вода у приобаљу у фази изградње и експлоатације хидроелектрана широм света или за потребе решавања различитих конкретних проблема. Методологије изучавања утицаја успора биле су конципиране или на директном поређењу резултата елемената режима подземних вода пре и након формирања успора или на компарацији режима подземних вода добијених симулацијама на хидродинамичким моделима у условима постојеће и прогнозиране (будуће) експлоатације хидроелектране.

Примењена методологија у оквиру дисертације базирана је на упоредној анализи више важних и узајамно посматраних елемената негативног утицаја рада хидроелектране ,,Ђердап 1“ на целокупно приобаље Дунава и притока, кроз симулације на хидродинамичким моделима. Поред анализе промене режима подземних вода (повишење нивоа и продужетак њиховог трајања) у приобаљу и анализу угрожености знатно већих подручја и продужетак угрожености претходно угрожених подручја у актуелном (успореном) у односу на природни (неуспорени) режим водотока, приказана методологија прорачуна обухватила је и анализу значајно већих трошкова експлоатације система заштите, као последице повећања дотицаја дренажних подземних вода на црпне станице и повећања утрошка енергије на препумпавање ових дренажних вода у реципијент.

Давање посебног, може се рећи и примарног значаја, анализи и компарацији ових измењених параметара режима представља допунски аспект проучавању утицаја успора на измену режима подземних вода у приобалним подручјима и представља Ауторов научни допринос овој тематици.

Ова методологија је детаљно доказана за седам мелиоративних подручја у приобаљу Дунава и притоке Тисе, обухватајући подручја површине 55 000 ha (половине укупне површине свих приобалних подручја), а затим је примењена и за сва остала мелиоративна подручја у приобаљу ђердапске акумулације.

Сагледавање разматране проблематике поред научног доприноса, има и изузетно важан практичан значај. Он се огледа у препознавању значаја заштите ових подручја и потребе евентуалне реконструкције (и/или додатне изградње) постојећих система заштите, уз учешће ХЕ ,,Ђердап 1“ и корисника подручја према предложеном процентуалном уделу евалуације утицаја успора.

***Кључне речи:*** *хидроелектрана, ,,Ђердап 1", успор, режим подземних вода, математички модел*

***научна област:*** *геолошко инжењерство*

***ужа научна област:*** *хидрогеологија*

***УДК број:*** *621.311.21:532.5:556.3(043.3)*
*556.388:627.43(043.3)*
*556.18/.3(043.3)*
*556.3:627.81(043.3)*

**EVALUATION OF HPP "DJERDAP 1" BACKWATER IMPACT ON THE FORMATION OF GROUNDWATER REGIME IN COASTAL AREAS OF DANUBE**


**Abstract**

One of the negative impacts of Hydropower plants (HPP) operation is their influence on the rise of water levels and prolongation of surface flows in the resulting accumulation, which causes a modification of the groundwater regime and increases vulnerability of coastal areas of different purposes.

In order to evaluate this important problem, influence of “Hydropower plant Djerdap 1", as one of the largest and most important European hydropower plants, on the groundwater regime in the coastal areas of its accumulation was analised.

The HPP was built in 1970. on the joint Yugoslav - Romanian sector of the international river Danube. Setting into operation in 1972. accumulation volume of 3500 million $m^3$ in average hydrological conditions was formed, which represented an increase of about 2,100 million $m^3$ compared to the volume of the natural Danube riverbed. The size of the acumulation was significantly increased with HPP “Djerdap 1“ further transitions to the higher backwater regimes ("69.5 / 63", "69.5 and more").

Presently, at the current lower backwater regime ("up to the level 70.30 masl at the mouth of the Nera") the acumulation extendes along a total of nearly 500 km of Danube, Sava , Velika Morava, Tisa and smaller tributaries river flow.

International experiences related to the topic were carried out by different authors around the world mainly for the purpose of analysis and forecasts of the groundwater regime in the coastal area during construction and operation of hydroelectric power plants around the world, or for the purpose of solving various concrete problems.

Studying methodologies of the backwater impact were designed or on direct comparison of results of elements of the groundwater regime before and after the formation of backwater, or on comparison of groundwater regime obtained by the hydrodynamic simulations models in terms of existing and forecasted (future) exploitation of hydroelectric power.

Applied methodology used within the thesis is based on a comparative analysis of a number of important and mutually observed elements of the negative impact of operation HPP "Djerdap 1" on the entire coastal area of the Danube and its tributaries, through the hydrodynamic models simulations.

In addition to the analysis of changes in groundwater regime (raising the extension of their lifetime) in the coastal areas of vulnerability and analysis of vulnerability of much larger areas and extension of previously affected areas in the current (slow) in relation to the natural (non - retarded) backwater regime, displayed calculation methodology included the analysis of considerably higher operating costs of the system of protection and as a repercussion increasing outflow of groundwater on the pumping stations and an increase in energy consumption because of the pumping of the drained water into the recipient.

Giving particular, or primary consideration, analysis and comparison of these changed regime parameters represents an additional aspect to the study of the backwater impact on the regime of groundwater in coastal areas and represents the author's scientific contribution to this subject.

This methodology is proved in detail for seven reclamation areas in the coastal region of the Danube and Tisa tributary, including the area of 55 000 ha (half the total area of all coastal areas), and then applied to all the other reclamation areas in the coastal of Djerdap accumulation.

Overview of the considered issues in addition to scientific contribution, has extremely important practical significance. It is reflected in recognizing the importance of protecting these areas and the need of the eventual reconstruction (and/or additional construction) of the existing protection systems, with the participation of HPP "Djerdap 1" and the users of the area according to the suggested percentage share.


| | |
|---|---|
| ***Keywords:*** | *HPP,"Djerdap 1", backwater, groundwater regime, hydrodinamic, mathematical model* |
| ***Scientific area:*** | *geological engineering* |
| ***Special topic:*** | *hydrogeology* |
| ***UDC number*** | *621.311.21:532.5:556.3(043.3)*<br>*556.388:627.43(043.3)*<br>*556.18/.3(043.3)*<br>*556.3:627.81(043.3)* |

## САДРЖАЈ:


**1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА** ..... 1

**I ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ**

**2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ СТРУЈАЊА ПОДЗЕМНИХ ВОДА** ..... .4

2.1. Основне једначине неустаљеног струјања подземних вода у порозној средини ..... .5

2.2. Основне једначине раванског неустаљеног струјања подземних вода ..... .7

2.2.1. Основе хидруличке теорије струјања ..... .7

2.2.2. Математички приказ раванског струјања подземних вода (основна диференцијална једначина Бусинеска) ..... .8

2.3. Нумеричке методе решавања једначина нестационарног струјања подземних вода ..... .9

2.4. Основне једначине неустаљеног струјања подземних вода у условима двослојевите порозне средине ..... 12

**3. ПРОУЧАВАЊЕ И ПРОГНОЗА РЕЖИМА ПОДЗЕМНИХ ВОДА** ..... 15

3.1. Проучавање режима подземних вода ..... 16

3.2. Прогноза режима подземних вода ..... 19

**4. ПРОУЧАВАЊЕ БИЛАНСА ПОДЗЕМНИХ ВОДА** ..... 21

4.1. ОСНОВЕ ПРОУЧАВАЊА БИЛАНСА ПОДЗЕМНИХ ВОДА ..... 25

4.2. ПРОУЧАВАЊЕ БИЛАНСА ПОДЗЕМНИХ ВОДА У ПРИОБАЛНИМ ПОДРУЧЈИМА ..... 28

**5. ОДВОДЊАВАЊЕ ПОДЗЕМНИХ ВОДА** ..... 30

5.1. ХИДРОГЕОЛОШКА КЛАСИФИКАЦИЈА ОДВОДЊАВАНИХ ТЕРЕНА ..... 31

5.2. УСЛОВИ ОДВОДЊАВАЊА ПОДЗЕМНИХ ВОДА ..... 33

5.2.1. *Узроци угрожености терена високим нивоима подземних вода* ..... 33

5.2.2. *Основни фактори утврђивања дозвољених нивоа подземних вода* ..... 34

5.3. ОБЈЕКТИ И СИСТЕМИ ЗА ОДВОДЊАВАЊЕ ПОДЗЕМНИХ ВОДА ..... 39

5.3.1. Објекти за одводњавање подземних вода ..... 39
5.3.2. Дренажни системи за одводњавање подземних вода ..... 44
**6. ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧКОГ МОДЕЛИРАЊА РЕЖИМА ПОДЗЕМНИХ ВОДА** ..... 47
6.1. ПОЈАМ МАТЕМАТИЧКОГ МОДЕЛА СТРУЈАЊА ПОДЗЕМНИХ ВОДА ..... 47
6.2. КЛАСИФИКАЦИЈА И ВРСТЕ МАТЕМАТИЧКИХ МОДЕЛА ПОДЗЕМНИХ ВОДА ..... 50
6.3. ТРОДИМЕНЗИОНАЛНИ ХИДРОДИНАМИЧКИ МОДЕЛ СТРУЈАЊА ПОДЗЕМНИХ ВОДА ..... 52
6.3.1. Израда концептуалног модела и његово превођење у хидродинамички модел ..... 53
6.3.2. Израда математичког модела ..... 56
6.3.2.1. Анализа и избор улазних података и неопходне подлоге ..... 56
6.3.2.2. Одређивање геометрије издани, шематизација и дискретизација у простору и времену ..... 56
6.3.2.3. Почетни и гранични услови ..... 57
6.3.2.4. Еталонирање (калибрација) математичког модела ..... 59
6.3.2.5. Анализа осетљивости математичког модела ..... 60
6.3.2.6. Анализа степена грешке математичког модела ..... 61
6.3.2.7. Верификација математичког модела и идентификација репрезентативних параметара ..... 61
6.3.3. Експлоатација математичког модела ..... 62
6.3.3.1. Израда прогнозних варијантних решења ..... 62
6.3.3.2. Новелирање хидродинамичког модела ..... 62
6.4. ДВОДИМЕНЗИОНАЛНИ МОДЕЛ СТРУЈАЊА ПОДЗЕМНИХ ВОДА (СПЕЦИЈАЛИЗОВАНИ ПРОГРАМСКИ ПАКЕТ ЗА СИМУЛАЦИЈУ СТРУЈАЊА ПОДЗЕМНИХ ВОДА ПО ПРОРАЧУНСКИМ ПРОФИЛИМА) ..... 63
6.4.1. Методологија прорачуна струјања подземних вода ..... 63
6.4.2. Практична примена приказане методологије ..... 66

**II ОПШТИ ДЕО**

**7. МЕЂУНАРОДНА ИСКУСТВА ВЕЗАНА ЗА ФОРМИРАЊЕ И УТИЦАЈ УСПОРА ХИДРОЕЛЕКТРАНА** ..... 70

**8. ХИДРОЕНЕРГЕТСКИ И ПЛОВИДБЕНИ СИСТЕМ ХИДРОЕЛЕКТРАНЕ „ЂЕРДАП 1"** ..... 80

8.1. Приказ система ХЕПС ,,Ђердап 1" ..... 81

8.1.1. Развој и намена система ..... 81

8.1.2. Делови система и његови утицаји ..... 82

8.2. Експлоатација система ..... 83

8.3. Истраживања осматрања утицаја успора и ефеката заштите система ..... 85

**9. МЕЛИОРАТИВНА ПОДРУЧЈА, НАСЕЉА И ИНДУСТРИЈСКЕ ЗОНЕ У ПРИОБАЉУ ХИДРОЕЛЕКТРАНЕ „ЂЕРДАП 1" И ЊИХОВЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ** ..... 88

9.1. Приказ мелиоративних подручја, насеља и индустријских зона у приобаљу хидроелектране Х,,Ђердап 1“ ..... 88

9.2. Карактеристике брањених мелиоративних подручја, насеља и индустријских зона у приобаљу ХЕ ,,Ђердап 1" ..... 94

9.2.1. Географско - физичке карактеристике ..... 94

9.2.1.1. Географске карактеристике ..... 94

9.2.1.2. Становништво и намена коришћења подручја ..... 95

9.2.2. Климатске карактеристика подручја ..... .98

9.2.2.1. Температура ваздуха ..... .99

9.2.2.2. Падавине ..... 104

9.2.2.3. Остали климатски елементи ..... 108

9.2.3. Геоморфолошке карактеристике ..... 114

9.2.4. Хидрографске и хидролошке карактеристике ..... 117

9.2.5. Геолошке карактеристике ..... 127

9.2.6. Хидрогеолошке карактеристике ..... 134

9.2.6.1. Степен истражености и сложеност хидрогеолошке проблематике изучаваног подручја ..... 137

9.2.6.2. Распрострањење издани у плани и у профилу и филтрационе карактеристике стенских маса ..... 139

9.2.6.3. Режим подземних вода и актуелно стање заштите приобалних подручја од утицаја успора ХЕ ,,Ђердап 1“ ..... 143

**III ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО, РЕЗУЛТАТИ, ДИСКУСИЈА**

**10. ПРОУЧАВАЊЕ УТИЦАЈА УСПОРА ХИДРОЕЛЕКТРАНЕ „ЂЕРДАП 1“ НА ПОЈАВУ ШТЕТА УСЛЕД ВИСОКИХ НИВОА ПОДЗЕМНИХ ВОДА НА БРАЊЕНИМ ПРИОБАЛНИМ МЕЛИОРАТИВНИМ ПОДРУЧЈИМА ДУНАВА И ПРИТОКА** ..... 164

10.1. Математички модели струјања подземних вода у брањеним мелиоративним подручјима Дунава и притока ..... 164

10.2. Хидродинамички прорачун режима подземних вода на брањеним мелиоративним подручјима Дунава и притока ..... 165

10.2.1. Подручја обухваћена моделом и дискретизација и шематизација струјног поља ..... 166

10.2.2. Гранични услови и филтрационе карактеристике ..... 171

10.2.3. Еталонирање и верификација математичког модела ..... 173

**11. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ХИДРОДИНАМИЧКИХ ПРОРАЧУНА РЕЖИМА ПОДЗЕМНИХ ВОДА ПО ПРОРАЧУНСКИМ ПРОФИЛИМА ЗА РАЗЛИЧИТЕ УСЛОВЕ ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ ХИДРОЕЛЕКТРАНЕ „ЂЕРДАП 1"** ..... 185

11.1. Анализа режима подземних вода на мелиоративним подручјима за различите услове експлоатације ХЕ „Ђердап 1“ ..... 193

11.2. Положај границе распростирања утицаја успора на нивое подземних вода на мелиоративним подручјима ..... 203

11.3. Анализа делова подручја на којимаје дошло до издизања нивоа подземних вода у односу на природни режим ..... 207

11.4. Анализа зона у којима се у условима пројектованог рада ХЕ „Ђердап 1“ и дренажних система заштите елиминише штетно дејство успорених водостаја Дунава и притока ..... 209

11.5. Анализа зона у којима су осмотрени нивои подземних вода виши од пројектом предвиђених ..... 211

11.6. Анализа повећања дотока подземних вода у подручје као последица формирања успора у односу на природни режим ..... 220

11.7. Анализа повећања утрошка енергије неопходне за препумпавање повећаних количина прикупљених подземних вода на више (успорене) нивое воде у акумулацији ..... 244

**12. ЕВАЛУАЦИЈА УТИЦАЈА УСПОРА ХИДРОЕЛЕКТРАНЕ „ЂЕРДАП 1" НА ФОРМИРАЊЕ РЕЖИМА ПОДЗЕМНИХ ВОДА У ПРИОБАЉУ ДУНАВА И ПРИТОКА** ..... 285

**IV ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА**

**13. МЕСТО ПРИМЕЊЕНЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ У ПРОУЧАВАЊУ УТИЦАЈА УСПОРА НА ПРИОБАЉА РЕЧНИХ АКУМУЛАЦИЈА У СВЕТУ** ..... 293

**14. ЗАКЉУЧАК** ..... 296

**ЛИТЕРАТУРА** ..... 299

**БИОГРАФИЈА** ..... 310

# 1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Хидроенергија представља најстарији (обновљиви) извор енергије и од давнина се користи за добијање механичке, а од 19. века и електричне енергије. Представља један од најраширенијих извора енергије, а удео произведене електричне енергије у протеклој деценији износи најмање 20% од укупно произведене у свету. Удео хидроенергије међу обновљивим („чистим“) изворима енергије данас у свету износи 85 - 90%.

Хидроелектране представљају електрична постројења за производњу електричне енергије на основу искоришћења кинетичке енергије површинског тока. Њиховом изградњом и експлоатацијом настају бројни различити позитивни, али и негативни утицаји на животну средину, а природне карактеристике средине, односно карактер и режим рада објекта утичу на њихов међусобни однос. Позитивни утицаји експлоатације хидроелектрана односе се углавном на области водоснабдевања, хидротехничких мелиорација (одводњавања и наводњавања), регулацију речних токова, туризам, рекреацију и др. Негативни утицаји односе се на квалитет воде (измену физичко - хемијских карактеристика), промену микроклиме, флоре и фауне у акумулацији, депоновање наноса и органског материјала, утицај на приобална (пољопривредна) земљишта плављењем или угроженошћу услед високих нивоа подземних вода.

Задатак докторске дисертације управо представља анализу једног од значајних негативних ефеката рада акумулационих хидроелектрана: њен утицај на измену режима подземних вода у приобалним подручјима. Ауторова методологија изучавања овог утицаја спроведена је на примеру ХЕ „Ђердап 1“, једне од највећих и најважнијих европских хидроелектрана, изграђене на међународној реци Дунав *(Димкић и др., 2007).*

Хидроенергетски и пловидбени систем (ХЕПС) „Ђердап 1" је изграђен 1970. године, на заједничком југословенско -румунском сектору реке Дунав. Сачињен је од главног објекта -хидроелектране (ХЕ) „Ђердап 1", акумулације (дела речних токова који се налазе под успором) и приобаља (мелиоративних подручја у приобаљу речних токова која се налазе под утицајем успора). Цео објекат је пуштен у експлоатацију 16. маја 1972. године, а на узводном делу реке Дунав, формиран је успор са радним режимом „68/63“. Изградњом бране ХЕПС „Ђердап 1" формирана је акумулација

запремине 3500 милиона $m^3$ у просечним хидролошким условима, што је представљало повећање за око 2100 милиона $m^3$ у односу на запремину природног корита Дунава. Величина акумулације, а самим тим и угроженог приобаља акумулације, повећавали су се упоредо са преласком хидроелектране на више режиме (коте) успора („69.5/63“, „69.5 и више“), да би се у актуелним условима („до коте 70.30 mnm код ушћа Нере“), при малим водама, простирала на укупно близу 500 km приобалних површина Дунава и притока Саве, В. Мораве, Тисе и мањих притока, проузрокујући неповољнији режим подземних вода на приобалним подручјима, које је неопходно додатно заштитити.

Међународна искуства везана за проблематику утицаја успора речних акумулација, насталих услед изградња хидроелектрана, приказана су од стране различитих аутора широм света. Истраживања су обављана углавном за потребе анализе и прогнозе режима подземних вода у приобаљу у фази изградње и експлоатације хидроелектрана широм света или за потребе решавања различитих конкретних проблема. Примењене методологије анализе и прорачуна утицаја успора биле су конципиране или на директном поређењу резултата елемената режима подземних вода пре и након формирања успора или на компарацији режима подземних вода добијених симулацијама на хидродинамичким моделима у условима постојеће и прогнозиране (будуће) експлоатације хидроелектране.

Методологија примењена у оквиру докторске дисертације није базирана само на комплексној анализи измењеног режима подземних вода успора у приобаљу ђердапске акумулације, симулацијом на хидродинамичким моделима.

Примењена методологија приказана у дисертацији базирана је на упоредној анализи више важних и узајамно посматраних елемената негативног утицаја рада хидроелектране „Ђердап 1“ на целокупно приобаље Дунава и притока:

- промена режима подземних вода у актуелном (успореном) у односу на природни (неуспорени) режим водотока кроз повишење нивоа подземних вода у приобаљу, за средње и ниске водостаје (и протицаје) површинских токова.

  Ове анализе присутне су у различитим истраживањима утицаја хидроелектрана на приобаља широм света.

- угроженост знатно већих мелиоративних подручја у приобаљу, односно продужетак угрожености претходно угрожених подручја у приобаљу Дунава и притока (у зависности од намене подручја, може проузроковати значајне штете у пољопривредној производњи на небрањеним или недовољно брањеним подручјима, односно угроженост стамбених и других објеката у насељима и градовима и индустријских зона).

  Ове анализе спроведене су у оквиру магистарског рада Аутора, на примеру утицаја успора ђердапске акумулације на проузроковање штета у пољопривредној производњи на подручју Великоселског рита.
- значајно веће трошкове експлоатације система заштите, као последица повећања дотицаја дренажних подземних вода на црпне станице и повећања утрошка енергије на препумпавање ових дренажних вода у реципијент.

  Давање посебног, може се рећи и примарног значаја, анализи и компарацији ових измењених параметара режима представља допунски аспект проучавању утицаја успора на измену режима подземних вода у приобалним подручјима и представља Ауторов научни допринос овој тематици.

Ова методологија је детаљно доказана за седам мелиоративних подручја у приобаљу Дунава и притоке Тисе, обухватајући подручја површине 55 000 ha (половине укупне површине свих приобалних подручја).

Крајњи циљ докторске дисертације је реонизација и евалуација утицаја експлоатације хидроелектране „Ђердап 1“ на угроженост приобалних мелиоративних подручја, на основу примењене методологије.

Сагледавање разматране проблематике поред несумњивог научног доприноса, има и изузетно важан практичан значај. Он се огледа у препознавању значаја континуалне заштите ових приобалних подручја и евентуалне потребе реконструкције (и/или додатне изградње) постојећих система система заштите ових подручја, уз могуће учешће овог субјекта и корисника подручја према предложеном процентуалном уделу евалуације утицаја успора.

# I ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

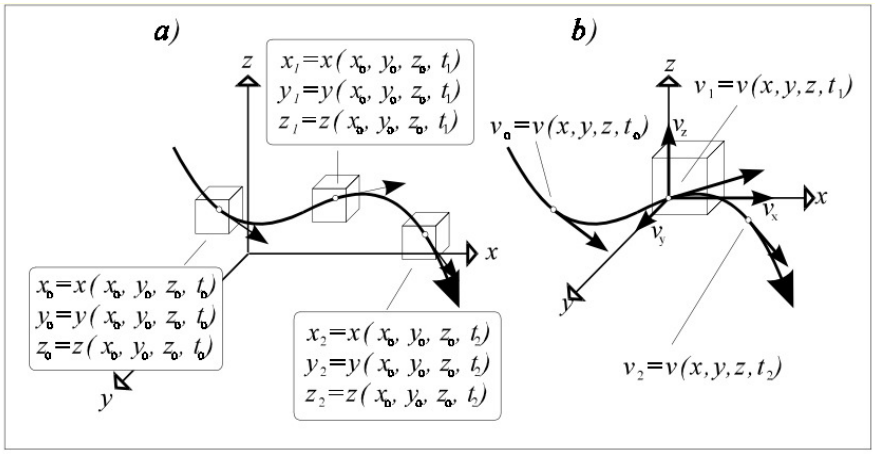
## 2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ СТРУЈАЊА ПОДЗЕМНИХ ВОДА

Познавање врсте, карактера и специфичности струјања (кретања) подземних вода представља основу за дефинисање најразличитијих проблема и хидрогеологији и хидродинамици. Струјање флуида, а самим тим и подземних вода, у хидродинамици, засновано је на два основна приступа: Lagrange-овј и Euler-ов (слика 1) *(Пушић, 2003)*. Lagrange-ов приступ базира се на кретању бесконачно мале, елементарне запремине течности у струјном току, где је свака честица течности дефинисана координатама x, y, z и у функцији времена t:

$$x=x(x_0,y_0,z_0,t),\ y=y(x_0,y_0,z_0,t),\ z=z(x_0,y_0,z_0,t) \quad (1)$$

Ојлеров приступ заснован је на кретању течности кроз посматрану елементарну запремину, где је брзина кретања течности у функцији координата и времена:

$$v_x= v_x(x,y,z,t),\ v_y= v_y(x,y,z,t),\ v_z= v_z(x,y,z,t) \quad (2)$$




*Слика 1: Струјање флуида (подземних вода) према методи Lagrange-а и Euler-а (Пушић, 2003)*

Струјање, у зависности од карактеристика струјног поља, може бити: једнодимензионално (одвија се у правцу паралено са једном од оса координатног система), дводимензионално (одвија се у једној равни, у плану или профилу),

тродимензионално (одвија се у простору, дуж све три осе координатног система) и радијално.

Струјање подземних вода може да се обавља у стационарним (устаљеним) условима, када густина течности *(ρ)*, хидростатички притисак *(p)* и брзина кретања *(v)* не зависе од времена:

$$\rho=f_1(x,y,z),\ p=f_2(x,y,z),\ v=f_3(x,y,z); \tag{3}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}=0\ ;\ \frac{\partial p}{\partial t}=0\ ;\ \frac{\partial v}{\partial t}=0 \tag{4}$$

или у нестационарним (неустаљеним) условима, када се ове величине мењају кроз време:

$$\rho=f_1(x,y,z,t),\ p=f_2(x,y,z,t),\ v=f_3(x,y,z,t); \tag{5}$$

## 2.1. ОСНОВНЕ ЈЕДНАЧИНЕ НЕУСТАЉЕНОГ СТРУЈАЊА ПОДЗЕМНИХ ВОДА У ПОРОЗНОЈ СРЕДИНИ

У основи математичког приказа струјања подземних вода налазе се различите физичке законитости попут једначине стања, једначине континуитета и једначине кретања течности *(Вуковић и Соро, 1984).*

Једначина стања одражава промену (стање) физичких својстава воде и порозне средине током процеса филтрације. У општем случају, једначина стања порозне средине може се представити као однос:

$$n=f\,(p,T) \tag{6}$$

где је: *n - порозност, p - притисак, T – температура.*

При анализи услова филтрације подземних вода могу се узети у обзир и еластична својства средине и течности и тада се примењује закон Hooke-а којим се дефинише зависност промене запремине од хидростатичког притиска.

Једначина континуитета представља кинематску једначину закона очувања масе струјног тока. Добија се анализом биланса масе течности у елементарној запремини порозне средине. Разлика промене масе воде која уђе и изађе из елементарне запремине порозне средине у временском интервалу *(dt)* једнака је промени масе воде у елементарној запремини и приказана је једначином континуитета :

$$\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z}=-\frac{\partial(\rho n)}{\partial t} \tag{7}$$

Једначина кретања идеалне (савршене) течности (без сила унутрашњег трења - вискозитета, стишљивости и температурног ширења) представља динамичку једначину која описује струјање течности, као последицу дејства сила које на њу делују.

Динамичке једначине за идеалну течност описане су диференцијалним једначинама Euler-a, који је за извођење ових једначина посматрао струјање течности кроз призму елементарне запремине. Опште диференцијалне једначине Euler-a за струјање идеалне течности имају облик:

$$X-\frac{dp}{\rho\partial x}=\frac{\partial v_x}{\partial x}v_x+\frac{\partial v_x}{\partial y}v_y+\frac{\partial v_x}{\partial z}v_z \tag{8}$$

$$Y-\frac{dp}{\rho\partial y}=\frac{\partial v_y}{\partial x}v_x+\frac{\partial v_y}{\partial y}v_y+\frac{\partial v_y}{\partial z}v_z \tag{9}$$

$$Z-\frac{dp}{\rho\partial z}=\frac{\partial v_z}{\partial x}v_x+\frac{\partial v_z}{\partial y}v_y+\frac{\partial v_z}{\partial z}v_z \tag{10}$$

где су: *X, Y, Z- компоненте кретања течности дуж координатне осе x, y, z.*

У једначину струјања реалне течности, у које спадају и подземне воде, поред сила хидростатичког притиска, земљине теже и инерцијалних сила, инкорпориране су и силе отпора њиховом кретању.

Брзина струјања подземних вода кроз порозну средину изражава се Darcy-јевом *(Darcy, 1856),* односно филтрационом брзином:

$$v_x=-K\frac{\partial\Pi}{\partial x};\ v_y=-K\frac{\partial\Pi}{\partial y};\ \ v_z=-K\frac{\partial\Pi}{\partial z} \tag{11}$$

где је: $K$ - *коефицијент филтрације* ($LT^{-1}$)

$\frac{\partial\Pi}{\partial x}$ - *градијент (пад пијезометарског нивоа) филтрационог тока у правцу ds (-).*

Увођењем ових једначина у једначину континуитета, која се односи на устаљено струјање, за нехомогену и анзотропну средину, добија се израз:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_x\frac{\partial\Pi}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_y\frac{\partial\Pi}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_z\frac{\partial\Pi}{\partial z}\right)=0 \tag{12'}$$

док се за хомогену изотропну средину једначина континуитета редукује у облик, познат као једначина Laplace-а (*Harr, 2007)*:

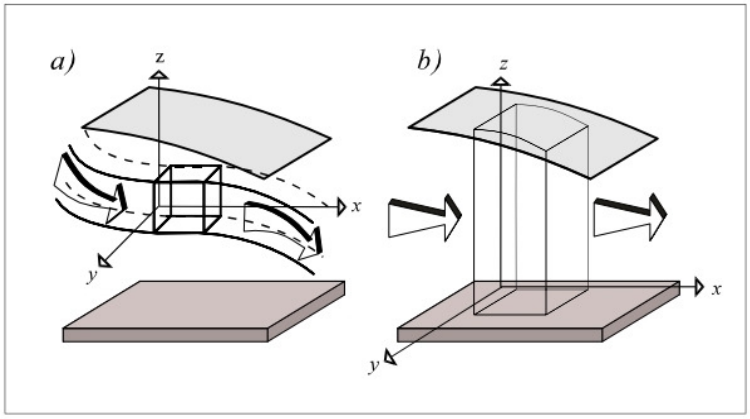
$$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Pi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Pi}{\partial z^2} = 0 \qquad (12")$$

Иако ове једначине немају решење у општем облику, примена хидродинамичке теорије струјања подземних вода има широку примену у решавању различитих практичних задатака у области струјања подземних вода.

## 2.2. ОСНОВЕ ЈЕДНАЧИНЕ РАВАНСКОГ НЕУСТАЉЕНОГ СТРУЈАЊА ПОДЗЕМНИХ ВОДА

### 2.2.1. Основе хидруличке теорије струјања подземних вода

Хидродинамичком теоријом струјања подземних вода се путем математичких једначина дефинише величина струјања у тачки струјног тока, док се хидрауличком теоријом струјања подземних вода дефинише величина струјања на коначној запремини струјног тока (слика 2).




*Слика 2: Анализа струјања применом једначине раванског струјања: а - хидрауличка теорија, б - хидродинамичка теорија (Dimkic et al, 2008)*

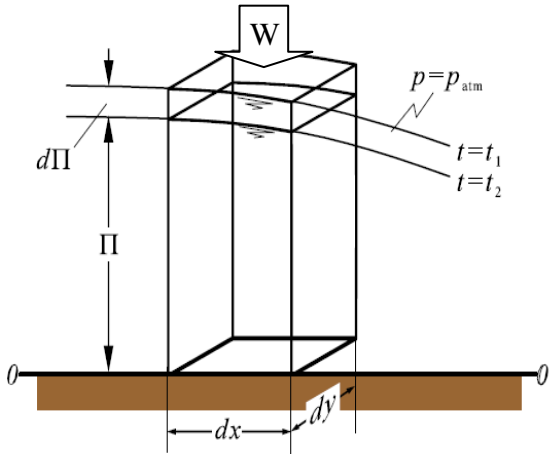
На основу хипотезе Dipuit-а о хоризонталном струјању подземних вода обавља се хидрауличка апроксимација. У општем случају, код тродимензионалног струјања подземних вода, пијезометарски ниво је променљив у простору и времену (П=П(x,y,z,t)). Како је код водоносних слојева израженија хоризонтална у односу на

вертикалну компоненту, спроводи се апроксимација хоризонталним струјањем (уз занемаривање вертикалне компоненте струјања). Ова хипотеза је прихватљива у условима струјања подземних вода под притиском или са слободним нивоом у хоризонталном, хомогеном, изотропном слоју константне дебљине.

### 2.2.2. Математички приказ раванског струјања подземних вода (основна диференцијална једначина Boussinesq-a)

Основне диференцијалне једначине струјања подземних вода добијају се на основу билансне методе (извођењем водног биланса за елементарну запремину колектора) или на основу једначина кретања подземних вода, континуитета струјног тока и стања течности и порозне средине.

Основна диференцијална једначина неустаљеног кретања подземних вода је дефинисана једначином Boussinesq-a. На слици 3 приказана је елементарна призма (основе dxdz и висине h) у којој се струјање обавља под притиском.




*Слика 3: Елементарна призма тока филтрације (прорачунска шема) (Пушић, 1996)*

Основна диференцијална једначина неустаљеног кретања Boussinesq-a дефинисана је на основу биланса подземних вода у условима хомогене и изотропне порозне средине неограниченог распрострањења (шематизованој моделом континуума), у издани константне дебљине у којој је струјање са слободним нивоом, које се покорава хипотези Dipuit -a. Једначина Boussinesq-a гласи:

$$\varepsilon \frac{\partial \Pi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left( Kh \frac{\partial \Pi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y}\left( Kh \frac{\partial \Pi}{\partial y} \right) + W \qquad (13)$$

где је: $\varepsilon$ - *специфична издашност издани са слободним нивоом (-),*

*W - јединична инфилтрација (инфилтрација по јединици површине хоризонталног распрострањења струјног тока ($LT^{-1}$).*

Ова једначина нема решење у општем облику, већ се спроводи њена линеаризација заменом промењљиве (h=h(x,t)) средње дебљине изданског тока ($h_{sr}$) константном у времену и простору.

Увођењем средње дебљине изданског тока $h_{sr}$ и коефицијента водопроводности T, линеаризована једначина Boussinesq -а (за случај без инфилтрације W), има облик:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = a \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \qquad (14)$$

односно за дводимензионално струјање:

$$\frac{1}{a}\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \qquad (15)$$

где је: *a - коефицијент пијезопроводности ($L^2T^{-1}$); изражава способност пропагације промене нивоа подземних вода код струјања под притиском*

За услове стационарног струјања ($\partial$h/$\partial$t) и одсуства инфилтрације W, линераизацијом једначине Boussinesq-а за једнодимензионално струјање добија се основна диференцијална једначина Laplace-а:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = 0 \qquad (16)$$

## 2.3. НУМЕРИЧКЕ МЕТОДЕ РЕШАВАЊА ЈЕДНАЧИНА НЕСТАЦИОНАРНОГ СТРУЈАЊА ПОДЗЕМНИХ ВОДА

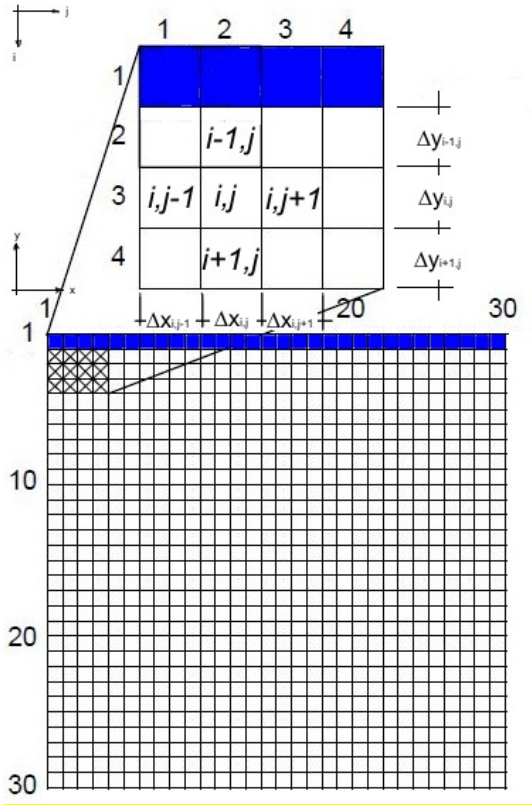
Нумеричке методе користе се код сложенијих услова струјања, када није могуће одређеним упрошћавањима и шематизацијом решити једначину нестационарног струјања подземних вода Boussinesq-а неком од аналитичких метода. Нумеричке методе засноване су на различитим врстама прорачуна у зависности од типова дискретизације и задавања улазних параметара (методе коначних разлика

(прираштаја), коначних елемената, коначних запремина и др.). Нумеричка метода коначних разлика (прираштаја) заступљена је у самој дисертацији у процесу моделирања режима подземних вода и њене основе биће овде приказане.

Код решавања проблема раванског струјања подземних вода методом коначних разлика свако поље шематизује се као хомогено са својим репрезентативним параметрима, а анализирано дискретизовано струјно поље представља се системом линеарних једначина Boussinesq -а (колико има и дискретизованих поља) у форми коначних разлика. Увођењем хипотезе Dipuit-а омогућава се једноставније решавање струјања подземних вода итеративним путем.

При решавању једначине раванског нестационарног струјања подземних вода уводи се апроксимација Dipuit - Forcheimer-а (или линеаризација Жуковског).

Мрежа дискретизације и нумерички систем приказани су на слици 4.




*Слика 4: Мрежа дискретизације, координатни и нумерички систем код раванског струјања*

Изводи се једначина за протицај између два суседна поља (i,j -1 и i,j) у правцу x осе:

$$Q_{i,j-1/2} = C_{i,j}\left(\Pi^{n}_{i,j-1} - \Pi^{n}_{i,j}\right) \tag{17}$$

Изводи се и једначина за протицај између два суседна поља (i -1,j и i,j) у правцу у осе:

$$Q_{i-1/2,j} = A_{i,j}\left(\Pi^{n}_{i-1,j} - \Pi^{n}_{i,j}\right) \tag{18}$$

где су A и C коефицијенти којима се множи разлика нивоа.

Како је брзина промене запремине воде у пољу i,j у временском интервалу Δt:

$$\frac{\Delta V_{i,j}}{\Delta t} = E_{i,j}\left(\Pi^{t+\Delta t}_{i,j} - \Pi^{t}_{i,j}\right) + Q^{t}_{i,j} \tag{19}$$

на основу биланса протицаја за поље i,j где је разлика улаза и излаза једнака брзини промене запремине воде, добија се једначина:

$$C_{i,j}\left(\Pi^{n}_{i-1,j} - \Pi^{n}_{i,j}\right) - D_{i,j}\left(\Pi^{n}_{i,j} - \Pi^{n}_{i+1,j}\right) + A_{i,j}\left(\Pi^{n}_{i,j-1} - \Pi^{n}_{i,j}\right) - B_{i,j}\left(\Pi^{n}_{i,j} - \Pi^{n}_{i,j+1}\right) = E_{i,j}\left(\Pi^{t+\Delta t}_{i,j} - \Pi^{t}_{i,j}\right) + Q^{t}_{i,j} \tag{20}$$

Ако је у овој једначини n = t (садашња, позната вредност) ради се о експлицитној форми диференцијалне једначине, а ако је n = t+Δt (будућа, рачунска вредност) ради се о имплицитној форми диференцијалне једначине.

Експлицитна форма решавања, назива се и метода решавања диференцијалне једначине унапред. Решење једначине може се једнозначно одредити за свако дискретизовано поље на основу познатих вредности нивоа $\Pi^{t}_{i,j}$ и протицаја $Q^{t}_{i,j}$ у пољу и у суседним пољима на крају временског корака t:

$$\Pi^{t+\Delta t}_{i,j} = \frac{C_{i,j}\left(\Pi^{t}_{i,j-1} - \Pi^{t}_{i,j}\right) - D_{i,j}\left(\Pi^{t}_{i,j} - \Pi^{t}_{i,j+1}\right)}{E_{i,j}} + \frac{A_{i,j}\left(\Pi^{t}_{i-1,j} - \Pi^{t}_{i,j}\right) - B_{i,j}\left(\Pi^{t}_{i,j} - \Pi^{t}_{i+1,j}\right)}{E_{i,j}} - \frac{Q^{t}_{i,j}}{E_{i,j}} - \Pi^{t}_{i,j} \tag{21}$$

Ова метода може се применити у нестационарним условима струјања уз одређене проблеме са нестабилношћу рачуна.

Имплицитна форма решавања, назива се још и метода решавања диференцијалне једначине уназад. Једначина за има облик:

$$\Pi^{t+\Delta t}_{i,j} = \frac{A_{i,j}\Pi^{t+\Delta t}_{i-1,j} + B_{i+1,j}\Pi^{t+\Delta t}_{i,j} + C_{i,j}\Pi^{t+\Delta t}_{i,j-1} + D_{i,j}\Pi^{t+\Delta t}_{i,j+1} + E_{i,j}\Pi^{t}_{i,j} - Q^{t}_{i,j}}{A_{i,j} + B_{i,j} + C_{i,j} + D_{i,j} + E_{i,j}} \tag{22}$$

Имплицитна метода решавања је релативно једноставна и комплетно стабилна, а непознате вредности нивоа добијају се рачуном у итеративном поступку.

## 2.4. ОСНОВНЕ ДИФЕРЕНЦИЈАЛНЕ ЈЕДНАЧИНЕ НЕУСТАЉЕНОГ СТРУЈАЊА ПОДЗЕМНИХ ВОДА У УСЛОВИМА ДВОСЛОЈЕВИТЕ ПОРОЗНЕ СРЕДИНЕ

Посебан случај струјања подземних вода представља струјање у условима двослојевите порозне средине. Ово је од посебног значаја јер се у дисертацији управо обрађују издани формиране у двослојевитим порозним срединама у приобалним алувијалним појасевима река Дунава, Саве, Велике Мораве, Тисе и мањих притока.

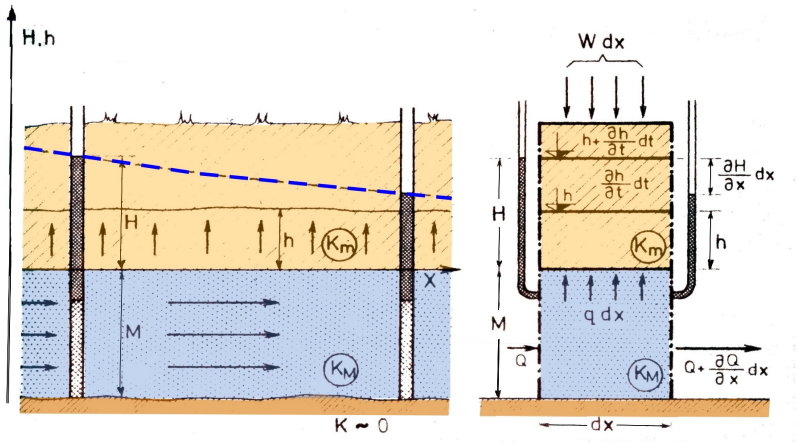
Под двослојевитом средином се подразумева интергрануларна порозна средина сачињена из два хоризонтална слоја: водоносног, повољних филтрационих карактеристика и повлатног (који лежи испод површине терена, а изнад водоносног слоја) слабијих филтрационих карактеристика. Подину водоносног слоја чини водонепропусна површ. Струјање подземних вода је под притиском.

На основу принципа граничне анизотропије, може се усвојити да се струјање у водоносном слоју обавља у хоризонталном правцу (вертикална компонента струјања се занемарује), а у слабијепропусном слоју у вертикалном правцу (хоризонтална компонента струјања се занемарује).

Да би резултати прорачуна били задовољавајући потребно је да коефицијент филтрације водоносног слоја $K_M$ буде најмање 50 пута већи од коефицијента филтрације површинског слабијепропусног слоја $K_m$ *(Dimkic et al, 2008)*.

Струјање је у складу са Darcy-јевим законом филтрације и покорава се хипотези Dipuit-a.

Извођење једначина нестационарног струјања у условима двослојевите порозне средине спроводи се на основу биланса вода елементарне призме, дужине dx и јединичне ширине струјног тока (слика 5) *(Вуковић, 1966)*.




*Слика 5: Прорачунска шема нестационарног струјања подземних вода у условима двослојевите порозне средине (Борели, 1984)*

У доњем, водоносном слоју на основу динамичке једначине протицај подземних вода једнак је:

$$Q = -MK_m \frac{\partial H}{\partial x} \tag{23}$$

На основу једначине континуитета важи претпоставка да нема промене пијезометарског нивоа у временском интервалу dt и да су промене хоризонталног протицаја и дотицаја у равнотежи:

$$q = \frac{\partial Q}{\partial x} \tag{24}$$

У површинском, слабијепропусном слоју, струјање је условљено разликом између пијезометарског нивоа и нивоа слободне водене површине:

$$q = K_m \frac{H - h}{h} \tag{25}$$

Уводи се и величина инфилтрације са површине терена, те промена запремине воде у површинском слоју зависи од дотицаја из водоносног слоја и са површине терена. Промена нивоа слободне водене површине има облик:

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = q + W \tag{26}$$

Сређивањем претходне четири једначине (23 - 26) добија се систем једначина који описује нестационарно струјање подземних вода у условима двослојевите порозне средине:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} = \frac{K_m}{K_M \cdot M} \frac{H-h}{h} \tag{27}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{K_m}{\mu} \frac{H-h}{h} + \frac{W}{\mu} \tag{28}$$

где су:

$K_M$ - коефицијент филтрације водоносног слоја ($LT^{-1}$)

$K_m$ - коефицијент филтрације површинског слоја ($LT^{-1}$)

M - дебљина водоносног слоја (L)

H - пијезометарски ниво водоносном слоју (L)

h - ниво слободне водене површине у површинском слоју (L)

μ - специфична издашност површинског слоја ( -)

W - инфилтрација са површине терена ($LT^{-1}$)

Решење система диференцијалних једначина струјања у условима двослојевите порозне средине своди се на апроксимацију на низ стационарних струјања, са коначним временским интервалима Δt, тако да парцијална диференцијална једначина прелази у диференцијалну једначину:

$$\frac{d^2 H}{dx^2} = \frac{K_m}{K_M \cdot M} \frac{H-h}{h} \tag{29}$$

Једначина нема аналитичко решење у општем облику и неопходно ју је решити за конкретне почетне и граничне услове.

Парцијална диференцијална једначина струјања кроз површински слој решава се методом коначних разлика. За x= const. има облик:

$$\frac{h_{t+\Delta t} - h_t}{\Delta t} = \frac{K_m}{\mu} \frac{H-h_t}{h_t} + \frac{W}{\mu} \tag{30}$$

Задатак се решава као равански дводимензионални проблем у профилу.

На основу ове две једначине, решавањем једне једначине добијају се резулатати за решавање друге једначине и тако укруг, за коначни временски интервал Δt.

# 3. ПРОУЧАВАЊЕ И ПРОГНОЗА РЕЖИМА ПОДЗЕМНИХ ВОДА

,,Режим подземних вода представља динамички процес условљен утицајем низа природних и вештачких фактора који узајамно делују“ *(Коматина, 1984)*.

Под појмом режима подземних вода подразумева се ,,процес измене нивоа, протицаја, издашности, нивоа, хидрауличког градијента, брзине, температуре, вискозитета, хемијског, радиолошког, микробиолошког и гасног састава изданских вода у времену и простору, под утицајем природних и антропогених фактора“ *(Драгишић и Поломчић, 2009).*

Проучавање режима подземних вода често представља сложен хидрогеолошки процес, а методолошки приступ условљен је многобројношћу и разноврсношћу фактора који утичу на формирање режима подземних вода. Циљ хидрогеолошких истраживања при проучавању и сагледавању режима подземних вода у различитим геолошким срединама представља примењивање познатих теоријских основа на резултате доступних практичних сазнања.

Проучавање и прогноза режима подземних вода имају немерљив значај у савременој хидрогеологији и представљају обавезан корак у хидрогеолошким истраживањима за решавање најразличитијих хидрогеолошких задатака и проблема попут ,,сагледавања закономерности промена (од тренутних и дневних до вишегодишњих) нивоа, издашности, хемијског састава и других хидрогеолошких параметара, по површини и дубини распростирањења водоносног слоја, како у природним, тако и у вештачки нарушеним условима формирања, сагледавања међусобне повезаности параметара режима подземних вода, али и природних и вештачких фактора који на режим делују, услова и карактера међусобне повезаности различитих водоносних слојева, услова, карактера и величина прихрањивања и пражњења подземних изданских вода, процена загађења и транспорта полутаната у хидрогеолошкој средини и др.“ *(Пајић, 2012а).*

Савремена хидрогеологија изискује примену рачунара при проучавања репрезентативних параметара режима подземних вода. Практично су незамислива хидрогеолошка истраживања без коришћења развијених компјутерских софтвера и савремених метода у хидрогеологији. Једна од заступљенијух метода за сагледавање и

прогнозу режима подземних вода је математичко моделирање, који у великој мери утиче на само повећавање поузданости прогнозе режима подземних вода, односно на експанзивнију примену резултата прогнозе у времену и простору. Поред несумњивог научног значаја, такве прогнозе имају и велики практични значај и могу бити искоришћене у различитим областима човекове делатности (области мелиорације, хидротехнике, водоснабдевања, регулације површинских и подземних вода, одводњававања лежишта минералних сировина, санирања клизишта и др.).

## 3.1. ПРОУЧАВАЊЕ РЕЖИМА ПОДЗЕМНИХ ВОДА

Према усвојеним класификацијама, режим подземних вода се, у односу на услове формирања, може поделити на различите типове: вододелнички, приобални, сложени и режим у оквиру издани у затвореним, полузатвореним и полуотвореним хидрогеолошким структурама, у условима отежане водозамене *(Domenico* и *Schwartz, 2006).*

Режим подземних вода представља динамички процес условљен утицајем низа природних и вештачких фактора који узајамно, али и различито, делују мењајући се у времену и простору. Анализом тих промена у одређеним хидрогеолошким условима, могу се стећи битна сазнања о условима формирања и режиму подземних вода у оквиру њих. Познавање и утврђивање основних фактора који условљавају режим подземних вода у одређеним хидрогеолошким срединама, као и трајања њихових дејства има важан утицај на стварање основних карактеристика режима подземних вода.

Према генези, основни фактори режима подземних вода могу да се поделе на: геолошке, климатске, биогено - земљишне, хидролошке и вештачке факторе.

Геолошки фактори, као што су познавање литолошког састава и параметара водоносне средине, геолошког састава терена у зони аерације, геоморфолошких одлика и тектонике терена и друго представљају факторе који делују на режим подземних вода у дугом времену и нису лако променљиви.

Климатски фактори (инфилтрација атмосферских падавина (утиче на прихрањивање подземних вода), температура ваздуха (утиче на промену физичко - хемијских особина подземних вода), испаравање (утиче на пражњење подземних вода)

и други климатски параметри су најдинамичнији и имају посебан значај у формирању режима подземних вода поготову у плићим водоносним срединама.

Хидролошки фактори имају доминантну улогу на формирање режима подземних вода у приобалним зонама река, језера и мора. Познавање активности хидрауличких веза између ових спољашњих токова и хидрогеолошке средине неопходно је за сагледавање, на тај начин насталих, квантитативних (степен и величина прихрањивања, односно истицања изданских, подземних вода) и квалитативних промена подземних вода (промена физичко - хемијских својстава подземних вода).

Биогене факторе чини утицај вегетације на промену режима подземних вода. На прихрањивање подземних вода може утицати висина снежног покривача који се задржава на вегетационом покривачу и интензитет његовог отапања, влажност атмосфере, величина испаравања влаге са шумског покривача, задржавање одређене количине падавина на крошњама дрвећа и др., а на пражњење издани може утицати дренирање подземних вода путем транспирације воде из зоне аерације и водоносног хоризонта и др.

Вештачки фактори попут изградње различитих хидротехничких објеката (водозахвати), наводњавање и одводњавање и други фактори којима човек ремети природне услове, имају веома битан утицај на промену режима подземних вода. Праћење режима подземних вода обавља се у циљу прогнозе режима подземних вода насталих у новим, вештачким условима, у односу на природно стање.

Сви ови наведени фактори анализирани су у процесу израде докторске дисертације, односно при анализи и моделирању режима подземних вода у приобалним подручјима ђердапске акумулације.

Подела основних фактора режима подземних може се обавити и према дужини трајања *(Филиповић, 1980*). Ова подела приказана је у табели 1.

*Табела 1: Подела основних фактора режима подземних вода по дужини трајања*

| **Генетске групе фактора** | **Фактори који утичу на подземне воде** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Веома споро (геолошко време) | У вишегодишњем периоду | У току године | У току дана | периодично |
| Климатска група фак тора | Различити типови климата | Метеоролошки елементи (атм.талози, температура ваздуха, испаравање и др.) | Метеоролошки елементи (атм.талози, температура ваздуха, испаравање и др.) | Метеоролошки елементи (атм.притисак и падавине, температура ваздуха, испаравање и др.). утицај привлачења Месеца и Сунца | Брзе промене атмосферског притиска, температура ваздуха (отопљавања), пљускови и др. |
| Геолошка група фактора | Епирогена колебања земљине коре. Промена литолошког састава и водопропусности стена . Геоморфолошке промеитационог поља земљене. Промене температурног и гравитационог поља | Неотектонска кретања. Измена литолошког састава и водопропусности стена (карстни процеси). Физичко - геолошки процеси: ерозија, суфозија. Физичко - хемијски процеси у зони аерације | Карстни, ерозиони и суфозиони процеси, хидротермички процеси који се јављају у зони аерације | | Земљотреси, вулканизам, клизишта |
| Хидролошка група фактора | Режим хидросфере | Режим река, језера и блатишта | Режим река, језера и блатишта | Режим река које се хране на рачун ледника, протицај, отицај и др. | Буре и остале непогоде |
| Билошко - земљушна група фактора | Процеси у образовању земљишта | Процеси у образовању земљишта | Утицај живих организама (везаних за живот у земљи). Евапотранспирација | Евапотранспирација | |
| Вештачка група фактора | | Испаравање, одводњавање рудника, дренаже, асфалтни покривач у градовима, водозахвати и др. Наводњавање: потапање и успор вештачким језерима, избацивање отпадних вода, иригација | Периодична исушивања и наводњавања територија (мелиорација и иригација), пошумљавање. Измена структура земљишта у току орања | Наводњавање | Одводњавање, исушивање, израда канализационе мреже. Спуштање терена у вези са извођењем рударских радова и др. |

Основни задаци у проучавању режима подземних вода представљају утврђивање најбитнијих елемената режима подземних вода као што су резултати континуалног осматрања нивоа подземних вода и дубина до нивоа подземних вода, одређивање основних хидрогеолошких параметара водоносне средине и стицање сазнања о основним законитостима режима подземних вода ради решавања конкретних задатака. Проучавањем режима подземних вода стичу се квантитативни и квалитативни подаци о променама нивоа, издашности, хемијском саставу и другим хидрогеолошким параметрима у плану и простору у природним и вештачки нарушеним условима формирања, природним и вештачким факторима који делују на режим подземних вода, условима, карактеру и величини прихрањивања и пражњења подземних вода и другим бројним хидрогеолошким параметрима.

## 3.2. ПРОГНОЗА РЕЖИМА ПОДЗЕМНИХ ВОДА

Прогноза режима подземних вода подразумева научно засновано предвиђање могућих квантитативних и квалитативних промена различитих елемената режима подземних вода или њихових карактеристичних параметара у времену и простору. Прогноза режима подземних вода заузима значајно место у савременој хидрогеологији, а примена рачунара, најновијих софтвера и других савремених хидрогеолошких метода омогућава повећавање поузданости прорачуна и експанзивнију примену резултата прогнозе режима подземних вода у времену и простору *(Elango u Jayakumar, 2001; Крешић, 2007; Yang, 2008).*

Према генентским особеностима режима подземних вода разликују се прогноза режима подземних вода у природним условима и прогноза режима подземних вода у вештачки насталим условима *(Коматина, 1984).* Код прогнозе режима подземних вода у природним условима најважнију улогу имају природни фактори режима (климатски, хидролошки, хидрогеолошки и други фактори), док код прогнозе режима подземних вода у вештачки насталим условима неопходно је, поред природних, познавати и вештачке факторе који утичу једни на друге.

Методе прогнозе режима подземних вода се према врсти могу сврстати у четири основне групе: хидродинамичке, статистичке, билансне и хидрогеолошке

аналогије и екстраполације. Дат је кратак осврт на наведене методе прогнозе режима подземних вода.

**Хидродинамичке методе** прогнозе режима подземних вода могу се поделити на аналитичке и нумеричке методе. Аналитичке метода прогнозе режима подземних вода заснивају се на одређеним претпоставкама где се природни хидрогеолошки услови своде у типске рачунске шеме. Заснивају се на аналитичким решењима диференцијалних једначина које описују нестационарно струјање подземних вода, на решењима једначина нестационарног кретања подземних вода и моделирању хидрогеолошких процеса у изучаваној средини. Користе се углавном у срединама у којима су параметри водоносне средине углавном познати или се релативно лако могу одредити..

Нумеричке методе прогнозе режима подземних вода базирају се на решавању диференцијалних једначина, које описују струјање подземних вода у посматраној, дискретизованој струјној области у зависности од начина дискретизације и примењеног математичког поступка користе се следеће нумеричке методе: метода коначних прираштаја, коначних елемената, граничних елемената и др. Практична примена ових метода налази место у моделирању подземних вода коришћењем модерних компјутерских софтвера.

**Статистичке методе** прогнозе режима подземних вода се могу применити и у условима у којима је режим подземних вода у директној зависности од разних променљивих фактора (падавине, температура ваздуха, водостаји и др.). Ове методе се заснивају на корелационој (крос -корелационој, аутокорелационој, хармонијској) анализи, екстраполацији и примени теорије вероватноће режима подземних вода. Највећу примену у савременој хидрогеологији ипак имају корелационе методе анализе које су засноване на утврђивању корелационих веза између прогнозираног режима подземних вода и фактора који га одређују, графичким или аналитичким путем (прорачун коефицијента корелације). Облик везе може бити линеаран (описује се једначином регресије, тачке леже на правој линији) или нелинеаран (логаритамска, параболична, експоненцијална и др.), односно двострук (зависност једне променљиве од друге) или вишеструк (зависност једне прогнозиране променљиве од низа утицајних параметара). Крос -

корелациона (узајамно корелациона) анализа се састоји у серији прорачуна двоструких корелационих веза између два низа са померањем времена t, које се стално увећава. Одређивањем корелационих коефицијената дефинише се постојећа цикличност. Квалитет саме прогнозе се може оценити помоћу комплекса различитих статистичких критеријума. Аутокорелациона анализа одражава степен зависности међу пресецима случајне функције, за разне периоде времена t (нпр. откривање цикличности и утврђивањем степена везе између нивоа омогућава се прогнозирање нивоа подземних вода у низу од више година) *(Прохаска, 2003).*

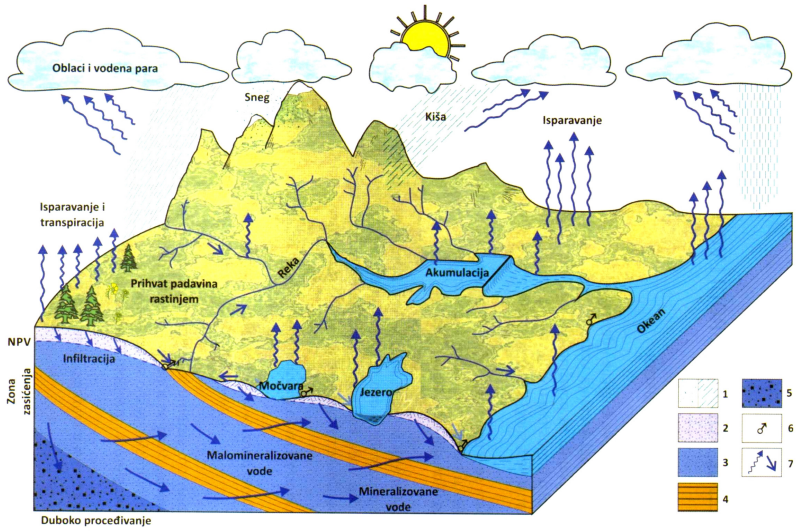
**Билансне методе** базирају су на решавању једначина општег водног биланса. Билансне једначине одређују се путем експерименталног одређивања издвојених елемената режима подземних вода или на основу биланса подземних вода на основу хидродинамичке анализе режима. Примена билансних метода је релативно лимитирана, првенствено због потешкоћа обезбеђивања података о основним елементима биланса, те се углавном користе као методе за састављање приближних прогноза режима подземних вода.

**Методе хидрогеолошке аналогије и екстраполације** засноване су на успостављању одређене аналогије и на екстраполацији параметара режима подземних вода у времену и/или простору. Користе се када није могуће прогнозирати режим подземних вода применом неком од претходно наведених метода веће тачности (нпр. екстраполација колебања нивоа подземних вода хомогене средине на основу података осматрања нивоа подземних вода).

## 4. ПРОУЧАВАЊЕ БИЛАНСА ПОДЗЕМНИХ ВОДА

Водни ресурси представљају саставни део животне средине и човековог окружења и карактерише их способност непрекидног обнављања и велика варијабилност у времену и простору. Подземне воде чине елемент процеса кружења воде у природи и не могу се одвојити од површинских вода и атмосферских падавина, те се при билансирању и процени резерви морају посматрати целовито.

Кружење воде у природи или хидролошки циклус представља „свеукупни процес циркулације и расподеле воде у атмосфери и литосфери“ (*Драгишић и Живановић, 2014).* Кружење воде у природи шематски је приказано на слици 6.




*Слика 6: Кретање воде у природи (Драгишић и Живановић, 2014)*
*Легенда: 1 - падавине, 2 - зона аерације, 3 - зона засићења подземним водама, 4 - слабије пропусне стене, 5 - зона дубоке циркулације, 6 - извор, 7 - правац кретања воде и воденепаре*

„Количинско изражавање хидролошког циклуса речних, морских и океанских сливова, у границама одређених региона или за Земљу као планету, за одређени временски период, назива се водни биланс или биланс вода“ *(Драгишић 1997).* Водни биланс се заснива на закону одржања масе и карактерише процес кружења воде у природи. „У најширем смислу подразумева анализу, одређивање и упоређивање квантитативних показатеља прихода, расхода и промене залихе влаге на утврђеном ограниченом простору за задати интервал времена″ *(Прохаска, 2003).*

Једначином биланса дефинишу се све основне компоненте хидролошког циклуса и изражава се биланс вода за конкретно подручје. Да би се воде сливног подручја могле квалитетно билансирати неопходно је познавање механизама и

закономерности који владају на њему како би се овладало тим процесима и учинили управљивим.

Основне компоненте водног биланса представљају приходне, расходне и резултујуће компоненте, које се мењају у простору и времену. Приходне компоненте водног биланса су атмосферске падавине, дотоци из других сливова (површински или подземни) и сви видови атмосферског талога, а расходне компоненте су отицај са слива (површински или подземни) и сви видови испаравања *(Cheng-Haw et al, 2006).* Резултујућу компоненту водног биланса, односно резултат разлике између прве две компоненте, чини величина промене влаге у сливу.

Прорачун водног биланса заснива се на постављању и решавању водно - билансних једначина којима се дефинише веза између појединих компоненти биланса за одређене делове анализираног подручја или слива за задати временски период *(Борели, 1968).* Према закону о одржању масе, укупна маса воде која уђе у хидролошки систем једнака је маси воде која из њега изађе и промени стања система, за изабрани простор и у анализираном временском периоду. Полазна једначина водног биланса је:

$$U(\Delta t) - I(\Delta t) = \pm \Delta V(\Delta t) \tag{31}$$

где су:

*U(Δt) - сви облици воде која улази у задати простор за временски интервал Δt,*

*I(Δt) - сви облици воде која излази са задатог простора за временски интервал Δt,*

*ΔV(Δt) - резултујуће повећање или смањење залиха воде у разматраном простору за временски интервал Δt.*

Биланс подземних вода представља ,,квантитативни израз свих природних фактора који доводе до формирања тих вода и у одређеном временском периоду условљавају њихов режим“ *(Коматина и Џаковић, 1975).* Како подземне воде представљају део укупних водних маса одређеног подручја, тако и биланс подземних вода представља део одговарајућег општег водног биланса.

Општа једначина водног биланса у развијеном облику материјализована на постулату одржања масе, уколико се улазне и излазне величине разложе на више саставних компоненти гласи:

$$(P+K) + (D_1+D_2+D_3) + R - (E_1+E_2) - (Q_1+Q_2+Q_3) - (Q_4+Q_5) = \Delta V \qquad (32)$$

где су:

*P - укупне атмосферске падавине,*

*K - количина воде која се кондензовала на површини терена или подземљу,*

*$D_1$- површински дотицај воде,*

*$D_2$- подземни дотицај воде кроз порозну средину,*

*$D_3$ - дотицај воде подземним токовима,*

*R - вештачки дотицај,*

*$E_1$ - испаравање са свих видова површина на анализираном простору,*

*$E_2$ - укупно испаравање са терена и испаравање кроз биљни покривач,*

*$Q_1$ - површински отицај,*

*$Q_2$ - отицај кроз подземну порозну средину,*

*$Q_3$ - отицај подземним токовима,*

*$Q_4$ - вештачко одвођење воде,*

*$Q_5$ - утрошена (везана) количина воде.*

*$\Delta V$- промена почетне укупне запремине водне масе у одређеном времену и простору.*

Сви чланови билансне једначине односе се на елементарни део (елемент) билансног подручја подземних вода. Приказана општа једначина представља полазну основу за састављање билансне једначине разматраног хидролошког система.

За потребе анализе режима подземних вода на изучаваним мелиоративним подручјима, дефинисане су квантитативне везе формираног режима подземних вода са природним и вештачким факторима који условљавају њихово формирање, режим, распоред у простору и времену, прихрањивање и дренирање.

Познавање биланса подземних вода неопходно је ради решавања практичног задатка - спровођења математичког моделирања струјања подземних вода за различите граничне услове и услове унутар брањених подручја.

## 4.1 ОСНОВЕ ПРОУЧАВАЊА БИЛАНСА ПОДЗЕМНИХ ВОДА

На квалитет билансирања подземних вода утиче многобројност, разноврсност и динамичност фактора који условљавају поједине елементе биланса. Променљивост појединих фактора у времену и простору и променљивост значаја утицаја тих фактора на одређивање биланса подземних вода доводи до непостојања универзалне методологије израчунавања биланса, већ се методологије разликују и примењују у широком распону у зависности од промене самих услова на подручју истраживања.

Методологија изучавања биланса подземних вода проучавана је од стране различитих аутора, а даље је дат приказ само неких од њих. Позната је школа совјетских аутора, који представљају зачетнике ове методологије (Плотников, Лебедев, Великанов, Куделин, Костјуков, Крилов, Фаворин, Сијадоњев, Ткачук и други). Поменунити су само неки од њих.

Н. А. Плотников је врло детаљно рашчланио општу једначину водног биланса, посебно једначине биланса подземних вода, кружења и миграције влаге у надизданској зони и површинских вода:

$$W_{2z}-W_{1z}=\pm mh=\left(W_1+W_{1d}-W_2-W_{2d}\right)+\left(\left(W_{1a}-W_{2a}\right)-W_{2t}\right)+\left(W_{1p}-\left(W_{2ok}+W_{2pk}\right)\right) \quad (33)$$

где је: *$(W_2 - W_{1Z}) = \pm mh$ - разлика између прихода и расхода резерви подземних вода као производ висине измене слоја подземних вода (h) и коефицијента водообилности при снижавању подземних вода, односно дефицита засићености при подизању нивоа (m).*

Са десне стране једначине налазе се елементи груписани према генетским карактеристикама. Први члан збира представља збир разлика прихода и расхода у друге делове тог хоризонтата и расхода у друге водоносне хоризонте и одређује се путем прорачуна протицаја на границама посматраног дела водоносног хоризонта. Други члан збира представља разлику између прихода и расхода кроз надизданску зону и расхода на транспирацију. Трећи члан збира представља директну водозамену са површинским водама и приказан је кроз разлику између инфилтрације површинских вода и извирања површинских вода на површину (откривеним и подземним изворима).

А. В. Лебедев је поделио методе прорачуна биланса подземних вода на:

- методе засноване на претходном састављању општег водног биланса, при чему се поједини елементи одређују експериментално, осматрањем или срачунавају по емпиријским формулама.
- метода хидродинамичке анализе режима подземних вода.

У прву групу спада теорија М. А. Великанова који општи водни биланс изражава једначином:

$$\mathrm{N} + K_1 + \sum_{n1} Y_1 + Q_1 = V - \sum_{n2} Y_2 + Q_2 + (m - n')..... \quad (34)$$

где лева страна представља приход, састављен од следећих чланова:

*N - падавине, $K_1$ - кондензација водене паре, $\Sigma Y_1$ - дотицај површинским токовима и $Q_1$ - подземни дотицај, а десна расход, у који улазе: V - сумарно испаравање са површине земљишта, воде, снега и транспирацијом, $\Sigma Y_2$ - отицај површинским токовима и $Q_2$ - подземни отицај. Величина (m -n΄) изражава разлику између повећања и смањења укупних резерви влаге.*

Методе хидродинамичке анализе режима подземних вода засноване су на решењу једначине биланса подземних вода у одређеним случајевима путем израчунавања подземног дотицаја и инфилтрације. Т. Н. Каменски, зачетник хидродинамичке методе, а касније и А. В. Лебедев приказују зависност једног од најважнијих елемената биланса подземних вода, инфилтрационог прихрањивања од хидрометеоролошких фактора.

$$W\Delta t = N - V + K_1 + \frac{P_1 - P_2}{F} 1000 \Delta t (D_1 - D_2)..... \quad (35)$$

Увођењем WΔt у једначину, добија се скраћена једначина биланса:

$$S\Delta H = 1000 \frac{Q_1 - Q_2}{F} \Delta t + W\Delta t..... \quad (36)$$

где су:

*N - падавине (mm)*

*V - евапотранспирација (mm)*

*$K_1$ - кондензација водене паре (mm)*

*$P_1$ і $P_2$- дотицај и отицај површинских вода ($m^3$/dan)*

*$Q_1$ і $Q_2$- дотицај и отицај подземних вода ($m^3$/dan)*

*F - површина билансног подручја ($m^2$)*

*T - период рачунања биланса (dan)*

*S - коефицијент водообилности водоносног хоризонта (при спуштању нивоа подземних вода) или дефицит засићености (при подизању нивоа)*

*ΔH - измена нивоа подземних вода за период Δt (mm)*

Величина SΔH одражава утицај режима издани на резерве подземних вода.

У свету су још познате и хидролошке методе, базиране искључиво на статистичкој обради резултата дугогодишњих осматрања пијезометара и на стварању корелативних веза са хидролошким и метеоролошким величинама.

Код различитих савремених аутора биланс подземних вода приказан је на различит начин, извођењем из основне једначине биланса вода (31). Рашчлањивањем опште једначине, у складу са различитим компонентама улаза и излаза, добија се основна једначина биланса подземних вода за један неограничени аквифер:

$$R_i + R_c + R_r + R_t + S_i + I_g = E_t + T_p + S_e + O_g + \Delta W \qquad (37)$$

где је:

$R_i$ - *прихрањивање од падавина,*

$R_c$ - *прихрањивање из канала,*

$R_T$ - *прихрањивање услед наводњавања,*

$R_t$ - *прихрањивање из различитих врста резервоара,*

$S_i$ - *подземни дотицај из реке,*

$I_g$ - *подземни дотицај из других околних издани,*

$E_t$ - *евапотранспирација,*

$T_p$ - *претакање подземних вода (у хипсометријски ниже издани),*

$S_e$ - *подземни отицај у реку,*

$O_g$ - *подземни отицај у друге издани,*

$\Delta W$ - *промена запремине воде у издани.*

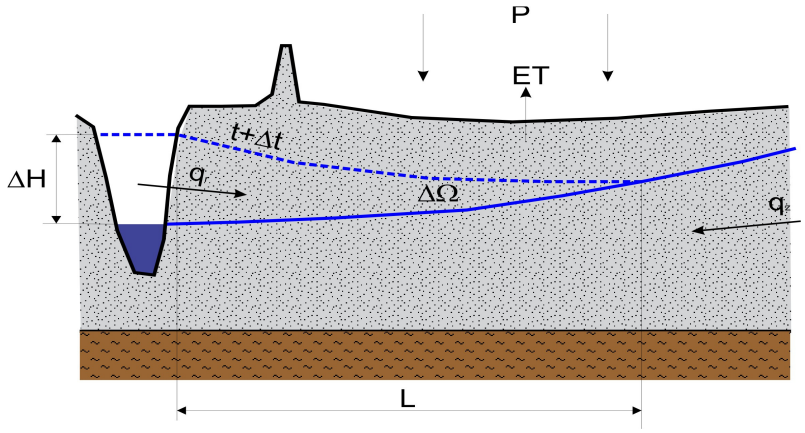
Биланс подземних вода може се израчунати за било који временски интервал. Како би горња једначина правилно приказала биланс подземних вода једне издани, неопходно је да област и период за који се оцењује стање буду пажљиво одабрани. Све компоненте једначине биланса подземних вода, могу се одредити експерименталнo или на основу одређених математичких релација. Одређивање ових компоненти проучавано је од странебројних аутора и као такво познато је инжењерској јавности.

## 4.2 ПРОУЧАВАЊЕ БИЛАНСА ПОДЗЕМНИХ ВОДА У ПРИОБАЛНИМ ПОДРУЧЈИМА

У оквиру дисертације од посебног значаја је прочавање и анализа биланса подземних вода у приобалним подручјима, конкретно реке Дунава и њених притока.

При проучавању биланса подземних вода у приобалним подручјима, примаран значај за његово формирање има утицај површинског тока, са којим је водоносни слој у хидрауличкој вези. У зависности од осцилација водостаја површинског тока, формира се правац кретања подземних вода из правца водотока (при високим водостајима река храни издан) или ка водотоку (при ниским водостајима издан храни реку). У зависности од контакта дна корита водотока и водоносног слоја и остварене хидрауличке везе зависи и величина прихрањивања или дренирања издани. У приобалном појасу доминантни параметри биланса подземних вода су дотицај или отицај подземних вода из површинског тока, док је утицај параметара вертикалног биланса секундарног карактера. Одаљавањем од линије контакта површинског водотока и водоносног слоја, овај утицај се смањује, а утицај параметара вертикалног биланса и осталих елемената (утицај параметара вертикалног биланса, ефекти рада дренаажних система, подземни дотицај из суседних водоносних слојева и др.) преузимају доминантну улогу у формирању биланса подземних вода. Ова граница заправо представља границу утицаја површинског тока на формирање режима подземних вода на приобалном подручју.

Шематски приказ струјања подземних вода у приобалним подручјима приказана је на слици 7.




*Слика 7: Шематски приказ струјања подземних вода у приобалним подручјима*

При анализи су изузети антропогени фактори: регулација (заштита) сливног подручја или регулација реке.

Једначина биланса подземних вода у приобалним подручјима гласи:

$$(q_z + q_r)\Delta t + \Sigma V = \mu \Delta F \qquad (38)$$

где је:

$q_z$ - *подземни дотицај из залеђа* ($L^2T^{-1}$)

$q_r$ - *подземни дотицај из реке* ($L^2T^{-1}$)

$\Delta t$ - *временски интервал* ($T$)

$\sum V$ - *збир вертикалних и осталих параметара биланса* ($L^2$)

$$\Sigma V = \Sigma(P - ET + D - O \pm \Delta R)L \qquad (39)$$

$P$ - *падавине* ($L$)

$ET$ - *евапотранспирација* ($L$)

$D$ - *површински дотицај, наводњавање* ($L$)

$O$ - *површински дотицај, одводњавање* ($L$)

$\Delta R$ - *промена влаге у надизданској зони* ($L$)

$L$ - *ширина приобалног појаса под утицајем реке* ($L$)

$\mu$ - *специфична издашност издани* (-)

$\Delta F$ - *површина између две линије слободне водене површине, у тренуцима* $t$ *и* $t+\Delta t$ ($L^2$).

Ако се занемаре $O$ и $D$ и за члан једначине $ET + \Delta R = C_0$ (представља део падавина које не стижу до нивоа подземних вода, одлазе на евапотранспирацију или на влагу у надизданској зони) добија се:

$$\Sigma V = \Sigma(P - C_0)L \qquad (40)$$

За познату или процењену вредност подземног дотицаја из залеђа $q_z$ добија се једначина подземног дотицаја из правца реке:

$$q_r = \frac{\mu \Delta F - \Sigma V}{\Delta t} - q_z \qquad (41)$$

## 5. ОДВОДЊАВАЊЕ И ЗАШТИТА ОД ПОДЗЕМНИХ ВОДА

Под појмом одводњавање изданских вода подразумева се вештачко одстрањивање прекомерних (сувишних) количина подземних вода у тлу, на одређеном подручју ради оптималног коришћења земљишта у пољопривредне или друге сврхе. Регулацијом режима подземних вода утиче се на њихово спуштање на потребне дубине (тзв. ,,критичне дубине“) и омогућава се успостављање оптималног водног и ваздушног режима тла *(Авакумовић, 1991).*

Основни задаци хидрогеолошких истраживања у циљу одводњавања изданских вода су:

- изучавање законитости режима и биланса изданских вода, односно дефинисање зона прихрањивања и дренирања превлажених подручја и сагледавање утицаја граничних услова у различитим хидрогеолошким срединама,
- категоризација превлажених делова терена према величини и начину прихрањивања, а затим и према условима примене објеката за одводњавање изданских вода,
- изучавање хидрауличке везе површинских и подземних вода на подручју одводњавања, прорачун прилива воде у дренажни систем и утицај регулације површинских токова на режим и биланс изданских вода,
- сагледавање хидрогеолошких и хидродинамичких услова изградње вертикалних и хоризонталних дренажних објеката,

- могућност примене метода математичког моделирања за потребе дугорочне и краткорочне прогнозе величине и начина одводњавања и утицај на измену режима и биланса подземних вода.

Основни циљ хидрогеолошких истраживања у циљу одводњавања подземних вода је побољшање хидрогеолошких услова на подручју истраживања ради обезбеђивања превасходне намене самог подручја (пољопривредна, мелиоративна подручја, насеља, градови), односно израда подлога за пројектовање дренажних система за одводњавање терена у различитим хидрогеолошким условима прихрањивања и дренирања подземних вода *(Рудић, 2006).*

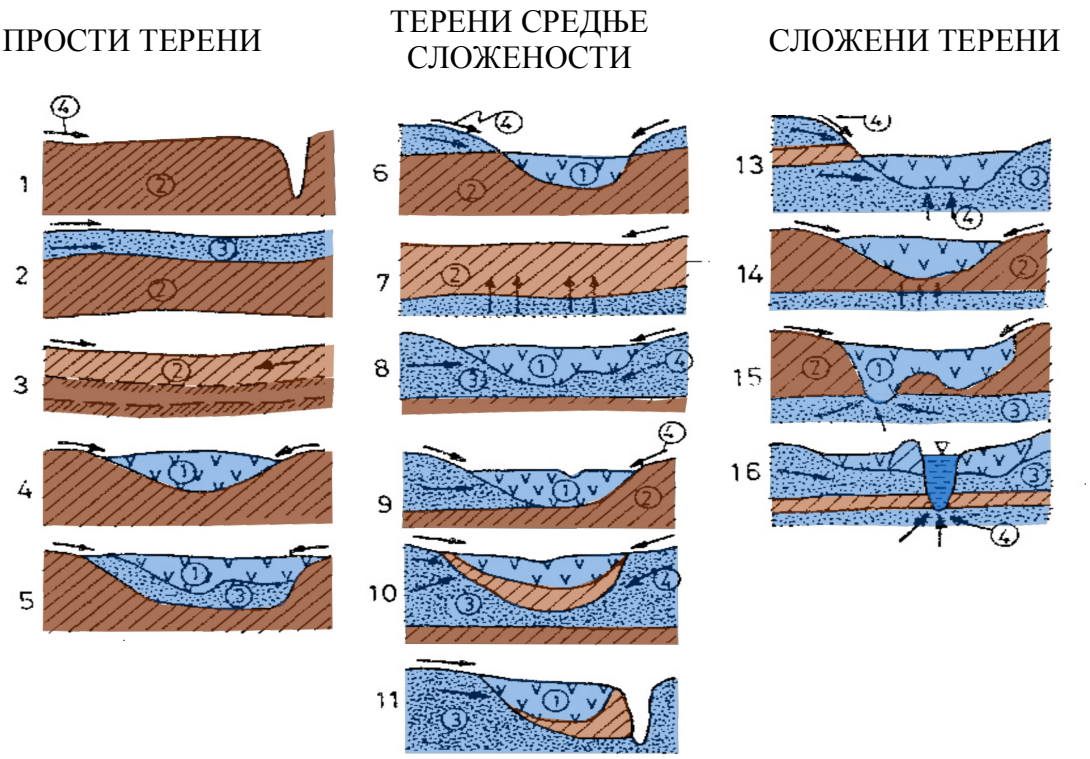
## 5.1 ХИДРОГЕОЛОШКА КЛАСИФИКАЦИЈА ОДВОДЊАВАНИХ ТЕРЕНА

Одводњавани терени се са аспекта свих природних (геоморфолошких, климатских, хидролошких хидрогеолошких и других) услова који директно или индиректно утичу на превлаживање могу поделити на просте терене, терене средње сложености и сложене терене *(Цветковић - Мркић, 1995).* Приказ сложености хидрогеолошких услова одводњаваних терена (по Б. С. Маслову, 1972.год.) дат је у табели 2. Приказане три битне групе обухватају више врста терена различитих по сложености хидрогеолошких услова, по Б. С. Маслову.

*Табела 2: Приказ сложености хидрогеолошких услова одводњаваних терена (Лазић, 1990)*

| ОЦЕНА СЛОЖЕНОСТИ | ГЕОМОРФОЛОШКИ УСЛОВИ | ОСНОВНА СХЕМА ГЕОЛОШКЕ ГРАЂЕ | УЛОГА ПОДЗЕМНИХ ВОДА |
|---|---|---|---|
| ПРОСТИ ТЕРЕНИ | замочварени терени у зонама вододелница, флувијоглацијалних наслага и језерских тераса | једнородна средина | хидрогеолошко развође без нагативног утицаја |
| ТЕРЕНИ СРЕДЊЕ СЛОЖЕНОСТИ | наносне лепезе, ободни делови флувијоглацијалних и моренских наслага | двослојевита средина | под утицајем подземних вода са слободним нивоом |
| СЛОЖЕНИ ТЕРЕНИ | алувијалне равни, делте, приморски терени, терени у дубоким депресијама и старим речним коритима | трослојевита средина | под утицајем подземних вода са слободним нивоом и нивоом под притиском |

На слици 8 дат је схематски приказ више типова хидрогеолошких услова одводњавања терена. Код прве групе - прости терени, подземне воде не утичу на превлаживање земљишта, већ је вишак воде условљен неповољним режимом падавина или изливањем површинских токова. Превлаживање је сезонског карактера. Код друге групе - терени средње сложености, у превлаживању земљишта учествују подземне воде из првог водоносног хоризонта, најчешће са слободним нивоом, а ређе и под притиском, као и подземне воде са обода одводњаваног терена. Код треће групе - сложени терени, подземне воде значајно утичу на превлажавање терена из водоносних хоризоната било са слободним нивоом или нивоом под притиском.




*Слика 8: Схематски приказ различитих типова хидрогеолошких услова одводњавања терена (Лазић, 1990- модификовано)*

*Легенда: 1 - трестет, 2 - глиновита земљишта, 3 - песковита земљишта и пукотинске стене, 4 - смер кретања површинских и подземних вода*

## 5.2 УСЛОВИ ОДВОДЊАВАЊА ИЗДАНСКИХ ВОДА

За регулисање режима подземних вода на мелиоративним подручјима и омогућавања интензивне пољопривредне производње на њима, неопходно је обезбедити потребну количину воде и влаге у земљишту. Када се нивои подземних вода налазе близу површине терена, изнад критичног нивоа, долази до засићења земљишта водом, а самим тим и нарушавања односа чврсте, течне и гасовите компоненте. Погоршавање физичких, хемијских и микробиолошких услова у тлу, негативно се реперкутује на развој биљног корена и смањење усева и прихода *(Гогић, 2003)*.

У насељима и градским зонама, повишени нивои изданских вода утичу на влажење подземних и неких површинских објеката, као и темеља стамбених објеката, чиме се може проузроковати њихово слегање и зарушавање.

Одводњавањем терена различитим системима за снижавају се нивои изданских вода до дозвољених граница и спречавају се нежељени ефекти које могу да проузрокују високи нивои изданских вода. Подела објеката и система за одводњавање изданских вода дата је у наредним поглављима.

### 5.2.1 Узроци угрожености терена високим нивоима подземних вода

Превлажавање, као термин у мелиоративној хидрогеологији, подразумева вишак воде у земљишту који се манифестује смањивањем приноса услед засићења пора водом и истискивања ваздуха из њих. Настаје најчешће услед утицаја неповољног режима падавина, изливањем површинских токова и подизањем нивоа подземних вода. Превлажавање мелиоративних подручја се најчешће јавља на заравњеним теренима са површинским слојевима слабих филтрационих карактеристика у којима је смањен површински отицај или инфилтрација у подземље и где долази до превлаживања земљишта. Регулација режима подземних вода обавља се изградњом дренажних објеката, најчешће отворених канала са црпним станицама. Њихова густина и димензије зависе од низа фактора, а пре свих, количина подземних вода, степена одводњавања, интензитета кише, геоморфолошких, литолошких и других услова.

Одбрана од поплава може бити пасивна или активна. Пасивна одбрана од поплава подразумева директну заштиту плавног подручја изградњом објеката за заштиту од поплава на одбрамбеној линији око поплавног подручја и одбрамбеним радовима у току проласка поплавних вода. Активном одбраном од поплава утиче се на промену протицаја поплавних вода, у циљу делимичне или потпуне заштите угроженог подручја.

Уређење слива подразумева заштиту земљишта од ерозије бујичних вода, задржавање вода у циљу коришћења за енергетику или за водоснабдевање, заштиту од поплава, заштиту квалитета и сл. Спровођење одбране од поплава на одређеном сливу обухвата осматрање падавина и температурног режима, прогнозу поплавних вода, манипулисање (предпражњење) акумулација, регулацију отицаја вода из акумулације и спровођење оперативне одбране од поплава на објектима и линијама за заштиту од поплава.

Превлажавање земљишта подземним водама изражено је у приобалним подручјима већих река где долази до издизања нивоа подземних вода, услед остварене активне хидрауличке везе са површинским водотоцима или као последица инфилтрације вода пореклом од падавина. Штете у пољопривредој производњи постају знатно веће уколико се подземне воде одликују неповољним хемијским саставом, јер тада може да дође до засољавања земљишта. Ако су осцилације нивоа подземних вода са израженим амплитудама, може доћи до додатног испирања земљишног слоја.

Као објекти за одводњавање најчешће се граде дренажне системи сачињени од дренажне каналске мреже са црпним станицама, хоризонталних отворених или покривених дренова, бушених бунара и комбиноване дренаже.

### 5.2.2 Основни фактори утврђивања дозвољених нивоа подземних вода

Дозвољено залегање подземних вода (дубина у односу на површину терена) у земљишту зависи од различитих фактора. Код мелиоратививних подручја она зависи од дубине корена биљака и њихове реакције на вишак воде. У одређеним условима могу да изазову сушење биљака и изразито смањење приноса

или потпуно онемогућавање пољопривредне производње, а у другим условима могу да буду врло корисни и да представљају оптимум за исхрану биљака.

У литератури се могу срести различите емпиријске формуле за прорачун толерантне или критичне дубине нивоа подземних вода. А. В. Ковда је довео у везу дубину нивоа подземних вода u (cm) са средње годишњом температуром ваздуха t ($^oC$).

$$u = 170 + 8t \pm 15 \tag{42}$$

У табели 3 приказане су дозвољене дубине до нивоа подземних вода од висине њихове минерализације (по А. В. Ковди).

*Табела 3 - Дозвољене дубине до нивоа подземних вода у зависности висине њихове минерализације (по А. В. Ковди) (Лазић, 1990).*

| минерализација (g/l) | дубина до нивоа (m) |
|---|---|
| до 2.0 | до 2.0 |
| до 4.0 | до 2.5 |
| до 6.0 | до 3.0 |
| до 10.0 | до 3.3 |

У литератури се може срести и формула:

$$Z = \int \frac{\Delta\psi}{1 + \frac{V_m}{k}} \tag{43}$$

где је:

$Z$ - критична дубина на којој не постоји опасност од заслањивања земљишта(cm),

$\Psi$ - капиларни потенцијал (cm),

$k$ - капиларни кондуктивитет (cm)

$V_m$ - критична брзина капиларног пењања (cm/dan); добија се из односа $Vm=10Q/C_sT$, где је $Q$ критична количина растворљивих соли у води (t/ha), $Cs$ просечна концентрација флуида који се капиларно пење (g/l), а $T$ трајање капиларног пењања (dan).

При одређивању критичне дубине нивоа подземних вода неопходно је познавати различите значајне факторе за њихово утврђивање. Са аспекта анализе особина земљишта важно је сагледати, поред врста земљишта и сложених процеса који се у њима одигравају и хидродинамичке параметре земљишта (порозност, величине вертикалне и хоризонталне филтрације и др.), Утврђивањем тзв. „критичног нивоа" подземних предупређује се превлаживање или промена физичко - хемијског састава земљишта.

На основу бројних истраживања на Институту за водопривреду „Јарослав Черни" дошло се до закључка да је ниво изданских вода, у зависности од њихових хемијских карактеристика, потребно одржавати на максималним дубинама приказаним у табели 4.

*Табела 4 - Дозвољене дубине минерализованих изданских вода према истраживањима на Институту „Јарослав Черни" - Београд, у ст*

| тип земљишта | минерализација (g/l) | | |
|---|---|---|---|
| | 800 -1200 | 1200 -2000 | преко 2000 |
| пескови и иловасти пескови | 160 | 175 | 190 |
| песковите иловаче | 160 | 175 | 190 |
| иловача | 220 | 240 | 260 |
| глина и глиновита иловача | 260 | 280 | 300 |

Са аспекта дубине обрађивања земљишта, у циљу обезбеђивања довољног слоја сувог земљишта, дозвољена дубина нивоа подземних вода треба да износи између 50 и 80 cm.

Анализа конфигурације терена, важна је приликом пројектовања система за одводњавање. Неповољна конфигурација терена може утицати на појављивање делова терена у којима се или погоршати или побољшати стање на подручју.

Са аспекта дубине биљног корена, неопходно је да он буде у вези са дубинама подземних вода како се коренска маса не би смањивала (како корен напредује и расте, ниво подземних вода треба да се спушта). Дубина допирања главног дела кореновог система се назива и хидраулички активни слој или

ефективна дубина. На основу практичних истраживања аутор Д. Стојићевић наводи следеће ефективне дубине корена у табели 5 *(Лазић, 1990).*

*Табела 5 - Приказ ефективних дубина корена биљака по Д. Стојићевићу*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| луцерка | 120 | жита | 90 | траве | 60 |
| парадајз | 90 | пасуљ | 60 | винова лоза | 150 |
| кукуруз | 90 | шећерна репа | 120 | кромпир | 60 |
| грашак | 90 | лук | 45 | воће | 150 |

Најчешће дозвољена дубина нивоа подземних вода треба да износи око половине максималне дубине кореновог система.

За дефинисање дозвољене дубине до нивоа подземних вода неопходно је познавати литологију терена, која је битна за познавање и формирање типа земљишта и његовог водног режима.

Неопходно је познавати и хидрогеолошке услове мелиоративних терена, затим начин прихрањивања, дренирања и режима издани, физичких особина и хемијског састава вода. Оптималне дубине до нивоа изданских вода, у зависности од врсте културе, типа земљишта и стадијума развоја биљака *по С. Тошовићу* су приказане у табели 6 *(Лазић, 1990).*

*Табела 6. Дозвољене дубине до нивоа подземних вода за развој биљака (у ст) по С. Тошовићу*

| месеци | песак и иловасти песак | песковита иловача | иловача | глина и глиновита иловача |
|---|---|---|---|---|
| I | 55 | 65 | 75 | 85 |
| II | 55 | 65 | 70 | 80 |
| III | 60 | 70 | 85 | 90 |
| IV | 65 | 75 | 85 | 95 |
| V | 75 | 85 | 95 | 100 |
| VI | 85 | 95 | 105 | 110 |
| VII | 100 | 10 | 115 | 125 |
| VIII | 95 | 105 | 110 | 120 |
| IX | 80 | 90 | 100 | 110 |
| X | 75 | 85 | 95 | 100 |
| XI | 60 | 70 | 80 | 90 |
| XII | 55 | 65 | 90 | 100 |
| просечно | 70 | 80 | 90 | 100 |

Након свега наведеног, на основу обављених детаљних хидрогеолошких и других истраживања, утврђени су критеријуми залегања нивоа подземних вода за подручја у приобаљу ХЕ „Ђердап 1“ различите намене. Овај критеријум може се срести у било којој студији, анализи или пројекту неке од реномираних институција (*Институт "Јарослав Черни", „Енергопројект“, „Грађевински факултет“ у Београду, „Рударско - геолошки факултет“ у Београду*) чији задатак је регулација режима подземних вода и заштита ових мелиоративних подручја. Приказ дозвољених критеријума залегања нивоа подземних вода дат је у табели 7.

*Табела 7 - Приказ дозвољених критеријума залегања нивоа подземних вода у приобаљу ХЕ „Ђердап 1“, према истраживањима реномираних институција, у m*

| намена коришћења подручја | | критеријум залегања (m) |
|---|---|---|
| пољопривредна подручја | | 0.8 - 1.0 |
| стамбена подручја | насеља | 2.0 |
| | градови | 3.0 |

## 5.3 ОБЈЕКТИ И СИСТЕМИ ЗА ОДВОДЊАВАЊЕ ИЗДАНСКИХ ВОДА

Регулција режима подземних вода и одвођење вишка вода са угрожених мелиоративних подручја може се спровести применом различитих видова водозахвата, у складу са низом природних фактора који владају на подручју и захтева савремене пољопривредне производње која се на подручју примењује.

Важне елементи за избор места водозахвата и врсте каптаже чине критеријум за обарање нивоа подземних вода, хидрогеолошки услови, водни биланс, физичко - хемијске и друге карактеристике подземних вода, могућност успостављања довољно простране заштитне зоне, могућност уклапања у водопривредне и друге планове *(Рудић, 1999).*

### 5.3.1 Објекти за одводњавање изданских вода

Објекти за одводњавање изданских вода могу се генерално поделити на:

- хоризонталне,
- вертикалне и
- комбиноване водозахватне објекте.

**Хоризонтални водозахватни објекти.** У ову групу објеката убрајају се: инфилтрацоне галерије, каналска мрежа, хоризонтални бунари и плитки дренажни ровови, дренажни колектори и др. *(Weight, 2004).* Најчешће примењивани хоризонтални објекти за одводњавање мелиоративних подручја су отворени канали или покривена хоризонтална дренажа.

Отворени хоризонтални дренови или канали изводе се за потребе одводњавања пољопривредног земљишта, за дренирање вишка воде са дела

мелиоративног подручја, без обзира на порекло и услове превлажавања пољопривредног земљишта (падавине, површинске или подземне воде). Отворени хоризонтални дренови или канали се најчешће граде на заравњеним или благо нагнутим теренима, а димензије зависе од намене (магистрални канали I, II и III реда). Уколико су услови на подручју неповољни, могу се по потреби облагати, бетонском облогом или неким другим материјалима. Ови објекти, по сложености и начину израде, могу бити савршени (дренирају цео водоносни слој) и несавршени. Према функцији они могу бити транспортни или дренирајући. У зависности од услова превлаживања и пољопривредних захтева, ови објекти могу бити стални и повремени.

Каналска мрежа се често гради са осталим типовима дренаже (покривена, вертикални дренажни објекти). У складу са микрорељефом терена, каналска мрежа се гради у одговарајућем распореду, као што су ,,рибља кост“, ,,чешаљ“, у пругастом распореду и др. У односу на пад терена и правац кретања изданских вода изводи се усправна (управна на пад терена и ниво подземних вода; за превлаживање терена од падавина), попречна (паралелно хидроизохипсама терена; за превлаживање терена од подземних вода), коса (под одређеним углом на терен) и комбинована дренажна мрежа.

Хоризонтална дренажа или дренажни ровови представљају тип водозахватног објекта код којег је водопријемни део хоризонталан у односу на површину терена. Примењују се за захватање подземних вода формираних у издани интергрануларне порозности, које се налазе на малој дубини од површине терена *(Brassington, 2007).* Код покривене хоризонталне дренаже се у ископане савршене или несавршене ровове постављају дренажне цеви од различитих материјала (метала, пластике, бетона, керамике) кружног или овалног облика, преко којих се уграђује, засип од песковитог или сличног крупнозрног материјала. Дренажне цеви морају имати одређени пад према главним реципијентима. Грубозрни материјал омогућава несметано дренирање вишка воде из земљишта и отицај истих кроз перфориране дренажне цеви. Најчешће се изводе управно на смер кретања подземних вода , односно паралелно са речним током. Прикупљене

воде одводе се гравитационо до сабирног шахта, одакле се препумпавају у реципијент.

Позитивну страну изградње и експлоатације отворених канала у односу на покривену хоризонталну дренажу представља: омогућавање одвођења воде са водолежних површина, ефикасност и при врло малом паду (0.0003), јефтина и брза градња, остваривање добре аерисаности земљишта и др. Негативне карактеристике отворене каналске мреже у односу на покривену хоризонталну дренажу су: трошење земљишног фонда изградњом канала, могућност зарушавања зидова, косина и дна канала услед повећаних градијената и филтрационе нестабилности, отежано одвођење воде у зимском периоду, изградња великог броја пропуста, мостова и сл. и неопходност редовног чишћења.

Поред ових водозахватних објеката значајну примену имају и хоризонтални бунари. Изграђују се на деловима подручја где је могуће извести водпријемни део објекта испод минималних нивоа подземних вода. Различити аутори дали су сличан шематски приказ најчешћих случајева израде хоризонталних бунара *(Todd, 1980; Driscoll, 2003; Todd и Mays, 2005; Драгишић и Живановић, 2002)*. Ови објекти су изводе се у условима где су захватају велике количине подземних вода, реда преко 50 l/s, не на великим дубинама (20 - 40 m) и због своје сложености и економске оправданости имају већу примену у водоснабдевању *(Јов, 2010)*. За изградњу хоризонталних бунара најчешће се користе три методе: Ranney, Felhmann и Preussag метода.

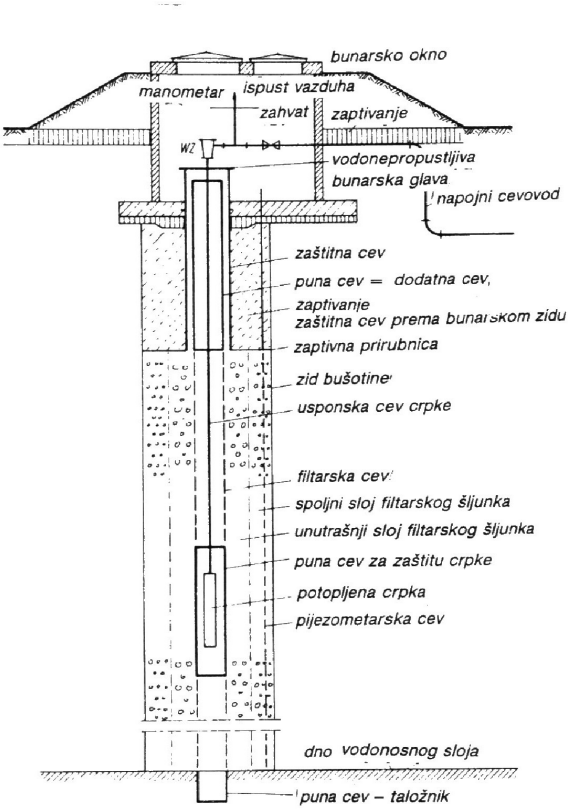
**Вертикални водозахватни објекти.** То су углавном системи савршених и несавршених бунара, који су међусобно повезани помоћу цевовода путем којих се обавља одводњавање вишка подземних вода. Представљају највише примењивану групу објеката за захватање подземних вода. Обични (класични) бунари се изводе као копани и бушени, са различитим типовима и пречницима бунарске конструкције. Копани (шахтни) бунари представљају најпростији тип објеката и све ређе се граде, углавном као појединачни објекти (пречника 1.0 -1.5 m) у растреситом материјалу са високим подземним водама. Граде се делом у отвореној

грађевинској јами или спуштањем бунарских прстенова, а доток воде обавља се кроз дно и бочне прорезе.

Бунари извођени ударном методом (побијени бунари (Нортонов, филтерски бунар)) раније су често грађени за снабдевање појединачних потрошача извлачењем воде помоћу ручних црпки. Данас се овакви бунари изводе у специјалним хидрогеолошким условима тј, у шљунковито -песковитим срединама са високим нивоима подземних вода (*Поломчић и Пушић,1997)*. Малих су пречника и капацитета и данас се све чешће замењују бушеним бунарима малог пречника.

Бушени бунари представљају данас најзаступљеније и примељиваније типове водозахвата. Имају широку примену и изводе се за различите потребе: за грађење односно испитивање темеља објеката, за истражно (испитивање хидрогеолошке структуре) и огледно бушење (утврђивање хидрогеолошких података), у циљу осматрања режима подземних вода (пијезометри), за водоснабдевање и дренирање подземних вода и др. Изграђују се у свим водоносним срединама. Састоје се из филтарске цеви, цеви са пуним зидовима са носећим цевима, усисне цеви и дна цеви, шљунчаног филтарског слоја, заптивача зидова бушотина, бунарске главе и бунарског окна са захватним и мерним уређајима. Водопријемни део бунара представља најважнији део конструкције бунара; неопходно је обавити оптималан избор бунарског филтра и бунарског засипа. Филтерска конструкција, као перфорирани део бунарске конструкције кроз који вода доспева у сам бунар, треба да буде отпорна на механичка оштећења и корозију. Користе се различити материјали (метал, пластичне цеви и др.) са отворима, прорезима, ситом, мостичави, жичани, шљунчани и др. *(Питрару, 1989, Лазић, 1993).* Шљунчани гранулат се уграђује између зида бушотине и конструкције, као мера обезбеђења филтрационе стабилности прифилтарске зоне. На дну се налази таложник за скупљање финих честица седимената.

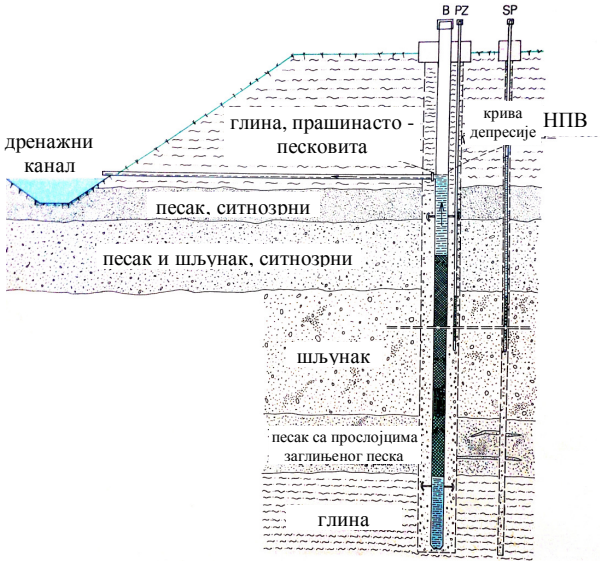
У жељи да се не преоптерети сам рад, овде је дат само најкраћи могући приказ, те неће бити детаљније сагледан процес извођења и карактеристике бушених бунара. На слици 9 представљен је један карактеристични бушени бунар са шљунчаним филтром.




*Слика 9: Карактеристични бушени бунар са шљунчаним филтром (Коматина, 1984)*

Поред основне намене бунара да се њима црпе изданске воде и на тај начин врши снижење нивоа издани често се користе упојни бунари којима се може постићи исушивање терена у специјалним хидрогеолошким условима.

**Комбиновани водозахватни објекти**. Изводе се имају на подручјима код којих се на површини терена налазе слабопропусне стене које условљавају ниво издани под притиском. У том случају се граде у самим каналима и рововима, којима се дренирају воде са површине терена. Растерећивање високих пијезометарских притисака на мелиоративним земљиштима у пракси се најчешће обавља путем самоизливних дренажних бунара (слика 10), а врло се често комбинује и уз изградњу хоризонталне дренажне мреже. Експлоатацијом ових дренажних објеката обавља се успешно одводњавање превлаженог пољопривредног земљишта.




*Слика 10: Приказ типског самоизливног бунара*

Један од видова заштите превлаженог пољопривредног земљишта представљају и галерије подземних вода. Граде се у условима где подземне воде малих количина и са слободним нивоом. Изводе се управно на правац кретања подземних вода ископавњем упојног рова у који се полажу водопријемни цевоводи са перфорацијама (пречника у зависности од пројектованих количина дренажних вода). Перфориране цеви се облажу филтерским шљунком, слично као код бунара са шљунчаним засипом. Преко упојног цевовода се, за заштиту од продора површинских вода у подручје нарушено ископом, наноси слој непропусног материјала на који се затим полаже дренажни цевовод. Галерије подземних вода представљају скупље објекте од вертикалних бушених бунара и граде се само у изузетним приликама, када вода њима не може да се одведе.

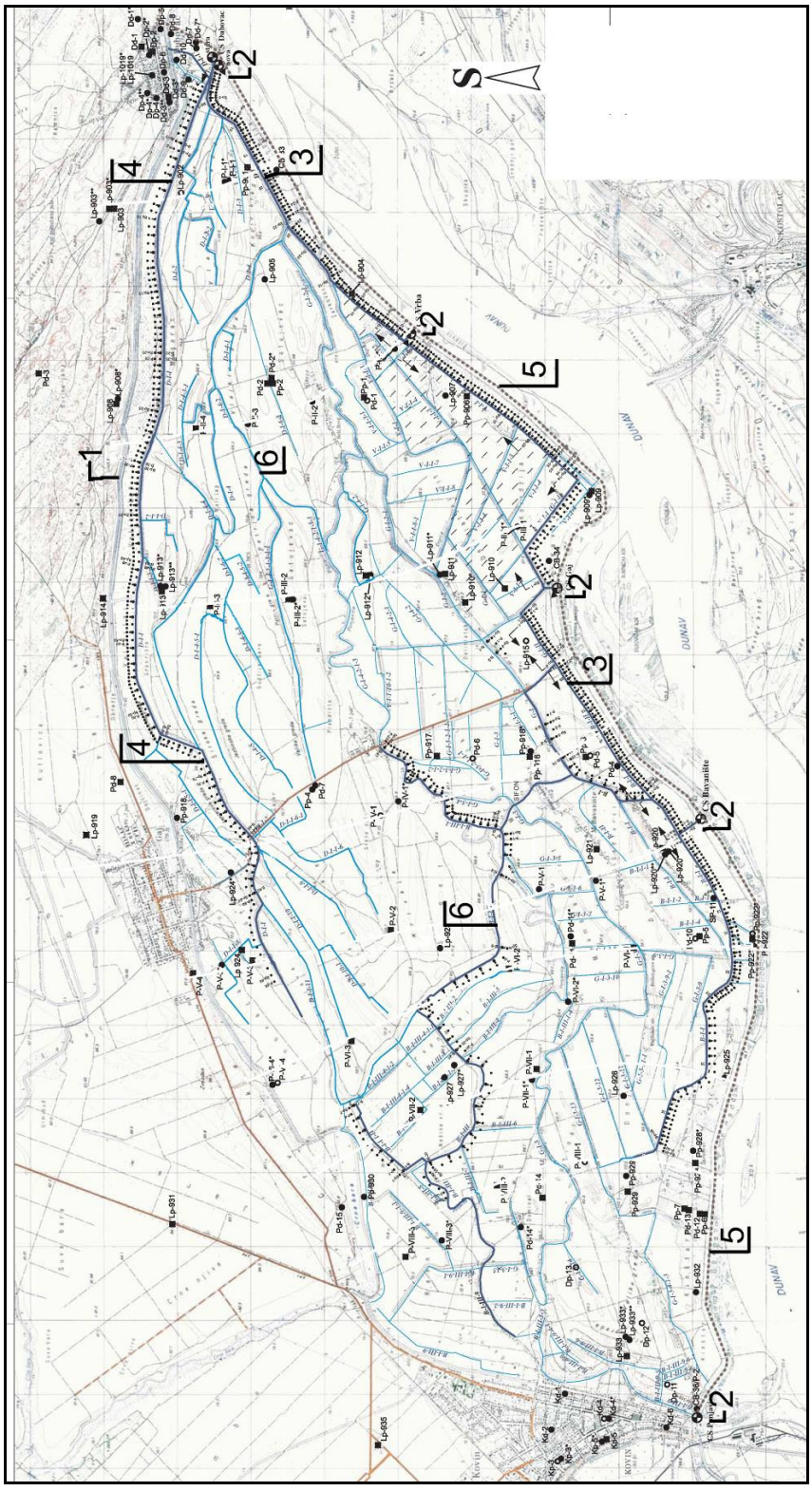
### 5.3.2 Дренажни системи за одводњавање подземних вода

Дренажни систем представља скуп свих природних и вештачких објеката којима се одводњавања мелиоративно земљиште. Дренажни систем сачињен је од дренажне мреже коју чине различити природни и вештачки објекти (природни водотоци, канали, покривена дренажа, бунари, црпне станице и др.).

Дренажни систем може бити, у зависности од положаја и функције коју обавља, приобална, ободна и дренажа по пољу. Приобална (чеона) дренажа штити

приобалне терене од високих нивоа подземних вода повезаних добром хидрауличком везом са реком. У овај тип дренаже спадају отворени канали, покривена дренажа, вертикални, хоризонтални или комбиновани водозахвати савршеног или несавршеног типа, а у пракси се најчешће изводе канали или покривени дренови и/или хоризонтална цевна дренажа. Подземне воде се, у зависности од нагиба пијезометарске линије, из правца реке или из одводњаваног подручја, сливају у чеону дренажу, а затим се дрениране воде евакуишу у реку као реципијент, путем црпних станица. Радом црпних станица се регулише ниво у дренажном систему, а посредно и на одводњаваном подручју. Ободна дренажа се гради уз ободне делове одводњаваних површина са циљем превентивног прихватања воде која се слива са обода (бујични токови) или површинским отицањем (услед утицаја падавина). Све воде које се захвате одводе се гравитационим путем до црпне станице или директно у реку. У пракси се најчешће граде канали, а ређе покривена дренажа и бунари. Дренаже "по пољу" или објекту имају за циљ сакупљање и одвођење вода са мелиоративног подручја, било да се ради о падавинама, било о површинским или подземним водама. Прикупљене воде се са мелиоративних подручја одводе до црпне станице или директно у реку. У пракси се најчешће изграђује каналска мрежа, покривена дренажа, као и систем бунара за одводњавање.

У пракси постоји подела на каналску мрежу вишег и нижег реда. Под каналом (дренажом) I реда најчешће се подразумева регулисани главни дрен (канал) сливног подручја одводњавања. Димензионисање канала I реда, условљено је величином протицаја и сливног подручја, односно величине хидромодула одводњавања, те режима падавина и карактера слива. Мелиорациони канали II реда су канали за одводњавање одређених делова пољопривредних површина или сливног подручја. Мелиорациони канали III реда су сабирни (скупљајући) канали. Мелиорациони канали IV реда су парцелни или детаљни канали. Канали нижег IV реда могу да буду у комбинацији са системом покривене дренаже. На слици 11 приказан је сложени дренажни систем за одводњавање подземних вода на подручју Дубовац - Ковин, анализираном у оквиру дисертације.




*Слика 11: Пример дренажног система за одводњавање ,,по пољу" (подручје Ковин - Дубовац) (из фонда Института ,,Ј.Черни")*
*Легенда:1 -граница дренажне јединице, 2 -црпна станица, 3 -приобални канал, 4 -ободни канал, 5 -насип, 6 -систем канала за одводњавање (по пољу)*

# 6. ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧКОГ МОДЕЛИРАЊА РЕЖИМА ПОДЗЕМНИХ ВОДА

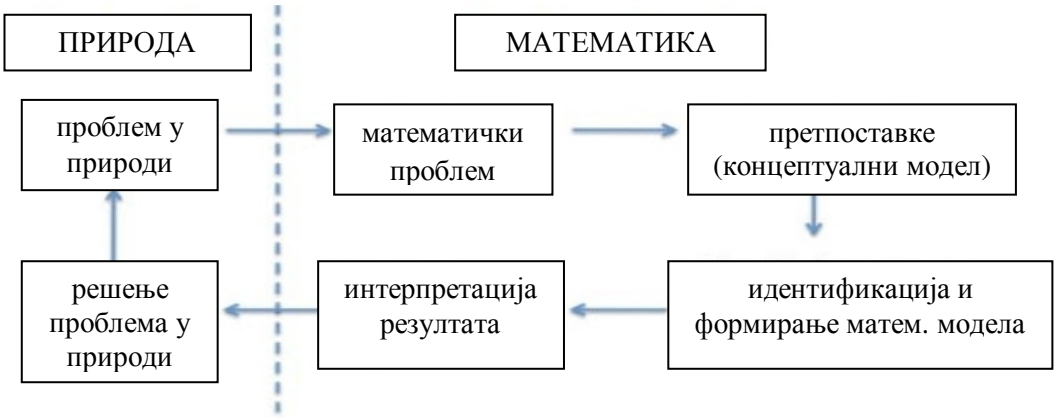
При изради докторске дисертације симулиран је режим подземних вода на анализираним мелиоративним подручјима у приобаљу ђердапске акумулације израдом математичких модела струјања подземних вода. У зависности од обима улазних података коришћени су тродимензионални хидродинамички модели (софтвер Modflow) и дводимензионални (квази) хидродинамички модели (специјализовани наменски програмски пакет за симулацију струјања подземних вода по прорачунским профилима).

Основе математичког моделирања и примењени математички модели режима подземних вода у оквиру дисертације приказани су у овом поглављу.

## 6.1 ПОЈАМ МАТЕМАТИЧКОГ МОДЕЛА СТРУЈАЊА ПОДЗЕМНИХ ВОДА

Модел у основи представља вештачки приказ објекта, процеса или система. Модели се генерално могу поделити на физичке и апстрактне. Физички модели представљају физичке конструкције, обично мањих димензија, изграђене тако да на одређени начин имитирају неку реалну средину. Апстрактни или математички модели представљају физичке процесе у природи, описане математичким релацијама.

Математичко моделирање у основи представља савремени поступак описивања математичким релацијама (једначинама) особина, понашања и веза између појединих физичких величина у посматраном процесу са циљем коришћења добијених резултата за даље анализе, пројектовање и оптимизирање физичког система за који је модел израђен. Математички модел представља упрошћену представу стварних веза између величина које карактеришу неки физички процес и одражава најважније карактеристике процеса *(слика 12)*.




*Слика 12: Однос физичког система и математичких решења у процесу моделирања*

Процеси, стање и услови унутар физичког система у основи се описују парцијалним диференцијалним једначинама, а решавање постављеног проблема који се моделира решава се одређеним нумеричким методама. Добрим математичким моделом сматра се онај који одступа од реалне слике у границама дозвољене толеранције.

Постоји неколико основних приступа којима се прибегава при математичком моделирању:

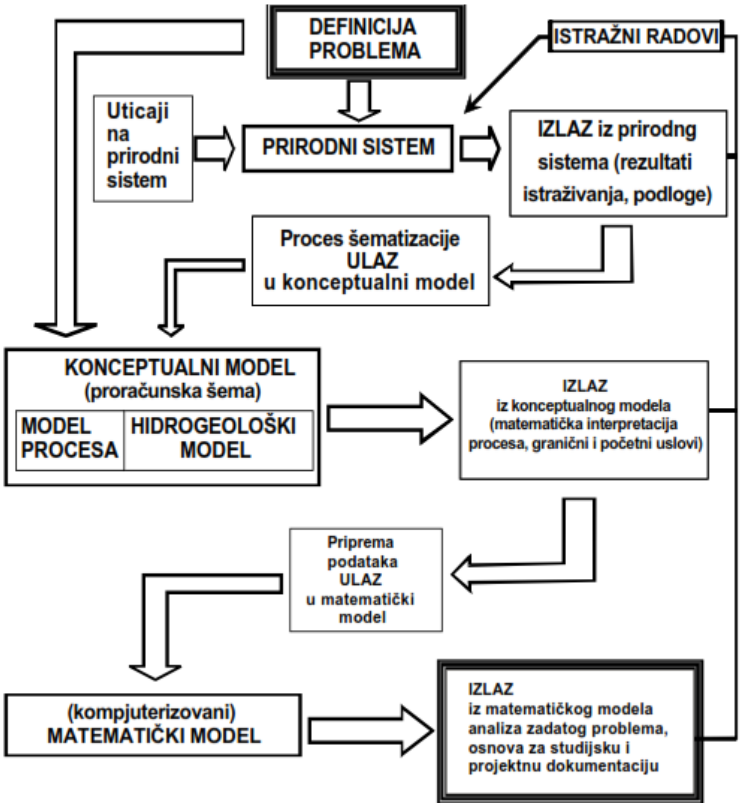
- Емпиријско моделирање - подразумева испитивање података везаних за проблем формирањем математичких зависности између променљивих уз коришћење свих расположивих података.
- Симулацијско моделирање - подразумева упоредбу резултата на основу рачунарских (софтверских) програма или других технолошких алата.
- Детерминистичко моделирање - подразумева упоредбу једначине или скупа једначина за моделирање или предвидање излазних вреднсоти физичког система.
- Стохастичко моделирање – подразумева и одређену случајност и вероватноћу да ће се неки догађај остварити.

Основни принципи код математичког моделирања су: именовање познатих и непознатих вредности променљивих које описују проблем који се решава, идентификоваање и описивање односа између познатих и непознатих

променљивих у моделу (односи одређени законима физике, а затим и знањем, искуством и интуицијом моделара), процена утицаја одређених претпоставки уграђених у математички модел о узајамном односу између променљивих и решење постављеног проблема.

Примена ових принципа представља основу моделирања и може бити подељена на неколико корака *(слика 13*):

- опис проблема који треба бити решен,
- именовање познатих и непознатих променљивих које се појављују у физичком систему који се моделира,
- описивање веза између променљивих у физичком систему,
- унос претпоставки уграђених у модел и опис математичког проблема који треба бити решен (концептуални модел),
- решавање математичког проблема,
- изношење резултата модела и дискусија.




*Слика 13: Основни принципи и релације код математичког моделирања (Pusic i Dimkic, 2008)*

## 6.2 КЛАСИФИКАЦИЈА И ВРСТЕ МАТЕМАТИЧКИХ МОДЕЛА ПОДЗЕМНИХ ВОДА

Код математичких модела подземних вода постоје различите класификације у зависности од усвојених критеријума поделе.

У односу на линеарност променљивих, математички модели могу бити линеарни и нелинеарни. Линеарни модели су они код којих постоји линеарност у промени варијабле, док код нелинеарних не постоји линеарност (могу се линеаризовати, али тада губе у одређеној мери на тачности).

Математички модели подземних вода могу бити: детерминистички и стохастички. Детерминистички модел дефинише функционалне везе природних процеса и параметара, док стохастички дефинише функционалне везе улаза и излаза из система, не улазећи у суштину процеса. Предност детерминистичких модела је у поузданој симулацији процеса и изван калибрисаног опсега, док је код стохастичких модела ова експлоатација непоуздана. Детерминистички модели су сложенији, а стохастички једноставнији.

Математички модели подземних вода могу бити: дедуктивни, индуктивни и пливајући. Индуктивни модели базирају се на резултатима конкретних мерења и доказа, док су дедуктивни утемељени на теорији и логичном закључивању. Пливајући модели се темеље на процени очекиваних односа међу променљивима.

У односу на врсту физичког поља која се анализира деле се на модел тока, модел транспорта маса, модел трансфера топлотне енергије и комбиновани модели. Код модела тока анализира се поље потенцијала, код модела транспорта маса анализира се поље концентрација, код модела трансфера топлотне енергије анализира се поље температуре, а код комбинованих модела анализира се више различитих поља.

У односу на особине и заступљеност флуида модели се деле на моделе монофазног и моделе вишефазног флуида. Модел монофазног флуида везан је искључиво за подземне воде, обично на релативно малим дубинама, док код модела вишефазног флуида разматрају се уз подземну воду и други флуиди (нафтна поља, бочатне воде и др.)

У односу на тип модела који се користи за моделирање природне средине модели се могу поделити на модел континуума, модел пукотинске филтрације и комбиновани модел. Модел континуума представља моделирање у непрекидној (углавном интергрануларној) средини у којој струјање подлеже Дарсијевом закону, модел пукотинске филтрације обухвата струјање дуж система привилегованих праваца пукотинско - карстних система (приближава се условима струјања у цевима), а комбиновани модел представља комбинацију претходне две врсте модела. ОСновни проблени код модела континуума је при конвергенцији резултата код нелинеарних проблема, а код модела пукотинског течења у дефинисању геометрије и хидрауличких параметара путева филтрације.

У односу на променљивост граничних услова модели се могу поделити на статичке и динамичке. Статички модели су математички описи физичког система у стационарноом стању, где су вредности улазних и излазних променљивих константне, а њихова деривација је једнака нули (не зависе од времена):

$$\forall X, \frac{\partial X}{\partial t} \equiv 0 \tag{44}$$

где X означава променљиву у моделу, а t време.

Динамички модели су математички описи физичког система у нестационарноом стању. За разлику од статичких модела, зависе од времена, па се све или неке од променљивих мењају у току времена:

$$\exists X, \frac{\partial X}{\partial t} \neq 0 \tag{45}$$

Према распоређености параметара модели могу бити: униформни и неуниформни. Код униформних или модела са нераспоређеним параметрима при описивању система могу се занемарити просторне варијације променљивих (њихове вредности сматрају се униформним по целој запремини система):

$$\forall X, x, \frac{\partial X}{\partial x} \equiv 0 \tag{46}$$

где x означава просторну координату.

Код модела са нераспоређеним параметрима присутне је неуниформност, односно промене појединих промењљивих дуж једне или више просторних координата:

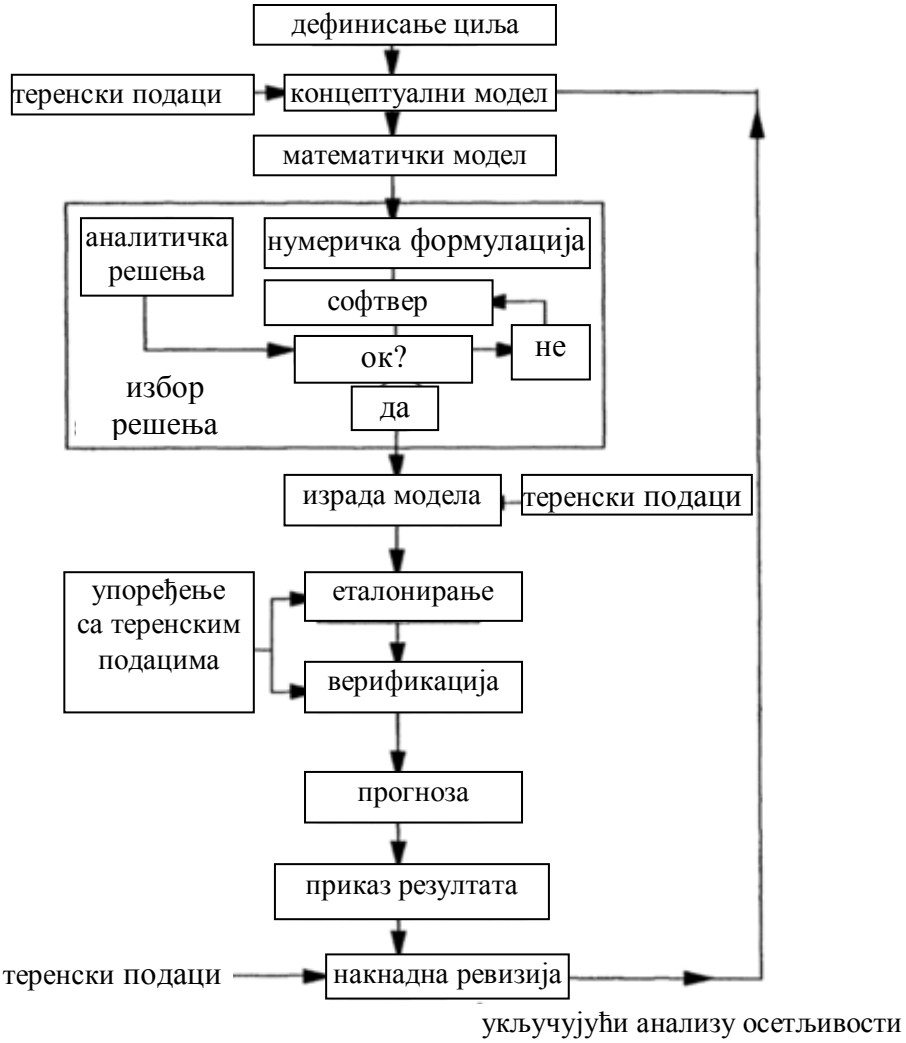
$$\exists X, x, \frac{\partial X}{\partial x} \neq 0 \tag{47}$$

У односу на димензионалност модела могу се поделити на једнодимензионалне, дводимензионалне и тродимензионалне моделе. Једнодимензионални модели користе се углавном за аналитичка решења поједностављених струјања, дводимензионални модели користе се за струјања у плану или дуж линије струјног тока, а тродимензионални за струјања у простору. Једнодимензионални модели служе код прелиминарних анализа, дводимензионални имају специфичну намену, користе се за анализе углавном регионалног, понекад и локалног карактера, док се тродимензионални модели користе код сложених струјања са израженом детаљношћу у моделирању.

## 6.3 ТРОДИМЕНЗИОНАЛНИ ХИДРОДИНАМИЧКИ МОДЕЛ СТРУЈАЊА ПОДЗЕМНИХ ВОДА

Тродимензионални хидродинамички модел представља математичку форму описа одређеног хидродинамичког стања у природи, у којој су релације и односи између њих посматране у простору. У савременој хидроегеологији тродимензионални модели имају широку примену код анализе сложенијих струјања у простору.

При изради математичког модела струјања подземних вода, у основи могу се издвојити три основне фазе: фаза израде концептуалног модела, фаза израде математичког модела и фаза експлоатације модела (симулације и прогнозе режима подземних вода) *(слика 14).*



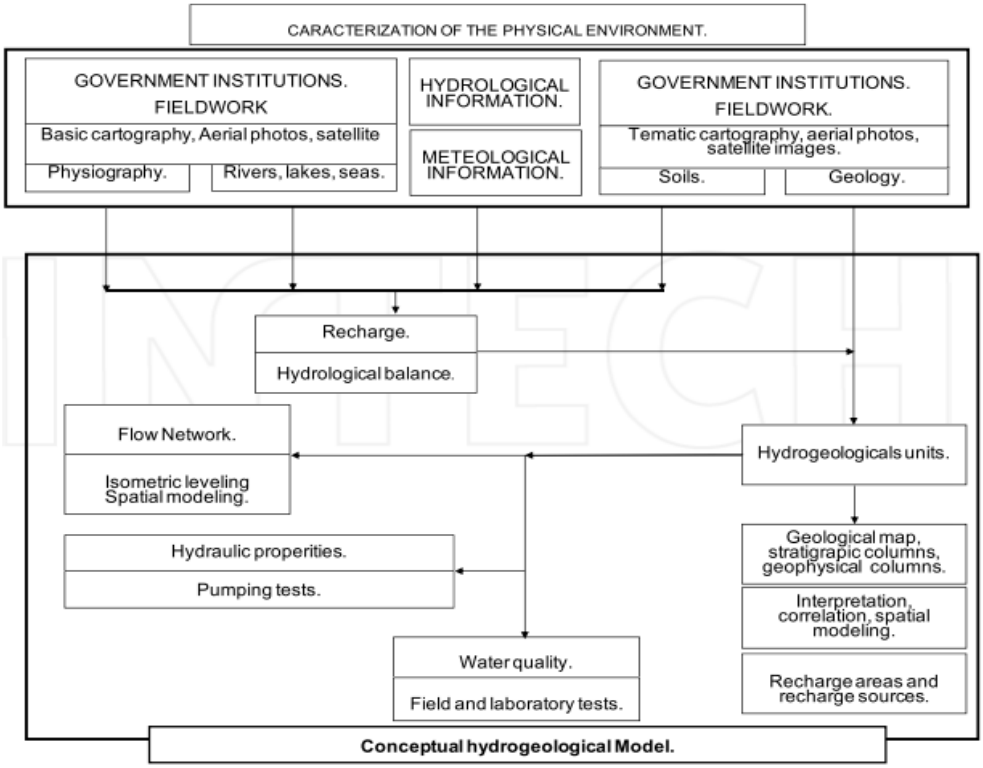

*Слика 14: Фазе израде математичког модела (Anderson и Woessner, 2002)*

### 6.3.1 Израда концептуалног модела и његово превођење у хидродинамички модел

Први корак у процесу израде математичког модела представља формирање концептуалног модела Концептуални модел у основи представља опис релевантних физичких процеса који се моделирају, односно конкретно шематизацију природне средине и дефинисање прорачунске шеме на коју се може применити концептуални модел процеса струјања. При изради концептуалног модела неопходно је обавити избор (селекцију) битних процеса, а занемарити мање важне имају минималан утицај на његово решење а могу значајно компликовати израду модела. Добрим концептуалним моделом остварује се

рационална веза између услова и процеса у природној средини и модела. При изради концептуалног модела обављају се одређена упрошћавања; задржавају се доминантни и утицајни параметри на излаз из система, а одбацују они мање важни.

Израда концептуалног модела сачињена је из два основна дела: хидрогеолошког и процесног. Хидрогеолошки модел у основи представља шематизацију природне средине, и дефинисање прорачунске шеме на коју ће се применити концептуални математички модел процеса *(слика 15).*




*Слика 15: Схема процеса при изради концептуалноог модела (Betancur et al, 2012)*

Процес превођења концептуалног хидрогеолошког у хидродинамички модел захтева познавање и селекцију битних елемената за његову правилну поставку.

Важан елемент при концепцији модела представља дефинисање просторности струјања. Код тзв. “flow“ модела специфичне намене, најчешће код регионалних анализа, струјање подземних вода може се апроксимирати углавном

као хоризонтално занемарујући при томе вертикалну компоненту брзине филтрације (хипотеза Dipuita). Ова хипотеза може бити прихватљива ,,за струјање у аквиферу са слободним нивоом или под притиском, када зона сатурације, односно дебљина водоносног слоја, не одступа много од просечне“ *(Димкић et al, 2007).* При решавању сложенијих проблема, у савременој хидрогеологији приступа се анализи просторног струјања подземних вода.

При концепцији модела неопходно је определити се, у зависности од задатка који треба да се реши, као и других елемената (бројност и разноврсност улазних података, карактера граничних услова, хомогености и изотропности водоносне средине и др.), да ли ће се струјање апроксимирати у плану или простору. Дводимензионални модели струјања, углавном у хоризонталној равни, погодни су за регионална разматрања, када се природна средина шематизује као јединствени хидрогеолошки комплекс. Тродимензионални модели имају примену код анализе сложенијих струјања, када је потребна детаљност у истраживању струјања подземних вода (на локалном нивоу) и за анализу филтрације у близини хидрогеолошких и хидротехничких објеката.

Модел континуума се може успешно применити у одређеној размери посматрања, тако да је процес струјања одговара реалним условима у природи. Унутар репрезентативног елементарног волумена неопходно је обавити одређена осредњавања како би параметри тока остали непромењени. Степен осредњавања зависи од различитих чинилаца попут основних карактеристика средине, процеса који се симулирају моделом, величине области обухваћене моделом и сл.

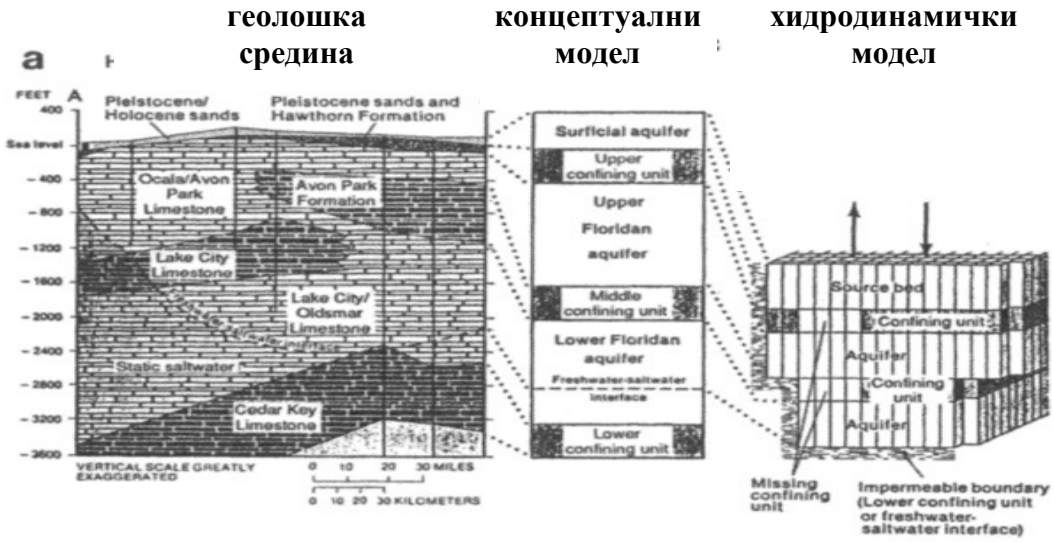
При изради концептуалног модела треба се определити за начин решавања модела. Решавање аналитичким путем обавља се само у ретким случајевима и носи са собом велика поједностављења. При решавању математичких (диференцијалних) једначина струјања подземних вода нумеричким путем потребно је се определити за једну од метода. Свака од нумеричких метода има своје законитости од којих ће, у крајњем случају и зависити решење које конвергира ка тачном решењу математичког модела. У различитим софтверским пакетима најчешће се користе методе коначних разлика, коначних елемената, коначних запремина и др. (најчешће коришћени софтвер у хидрогеологији за

нумеричко решавање методом коначних разлика је MODFLOW, изграђен од стране US Geological Survey).




*Слика 16: Нумеричко решење путем метода коначних разлика и коначних елемената*

Након израде хидрогеолошког модела и дефинисања битних елемената за његову правилну поставку приступа се процесу конверзије (превођења) концептуалног хидрогеолошког у хидродинамички модел *(слика 17).*




*Слика 17: Конверзија геолошког у концептуални модел (Anderson и Woessner, 1992)*

### 6.3.2 Израда математичког модела

#### 6.3.2.1 Анализа и избор улазних података и неопходне подлоге

При изради математичког модела користе се различите подлоге. Оне представљају резултате претходно изведених хидрогеолошких и свих других истраживања на анализираном подручју битних за израду самог модела. Ови

подаци користе се за дефинисање геометрије подручја истраживања (распрострањење и просторни положај области струјања) и средине (коте повлате и подине, површине терена, дебљине водоносног слоја), распореда и величине филтрационих карактеристика (коефицијенти филтрације, трансмисибилности, специфичне издашности, ефективне порозности и др.) и почетних и граничних услова.

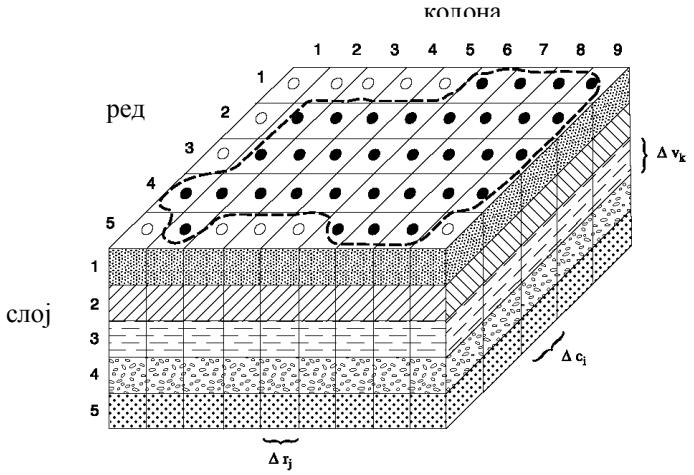
Анализа и избор улазних података представља један од најважнијих сегмента израде математичког модела. Правилан избор улазних регистрованих података трасира и израду самог модела и од великог је значаја за реалност и сврсисходност добијених резултата прорачуна.

При анализи улазних података значајни су њихов број, квалитет и промена у простору и времену. Да би се улазни подаци могли одабрати, неопходно је познавање режима подземних вода у анализираном периоду. Чест је проблем недостатака неоподних података који отежавају у потпуности сагледавање режима, а некада се поставља проблем и њиховог превеликог броја, када је потребно извршити њихову селекцију.

#### 6.3.2.2 Одређивање геометрије издани, шематизација и дискретизација у простору и времену

У зависности од обима и квалитета улазних података и постављеног проблема који треба решити, приступа се шематизацији карактеристика порозне средине. Избор прорачунске шеме представља веома деликатан задатак, јер се директно одражава на квалитет самог модела и репрезентативност и реалност добијених резултата.

Дискретизацијом струјног подручја издвајају се целине са сличним (хомогеним) својствима. Поља могу бити различитих облика у зависности од примењене нумеричке методе рачунања (паралелограм, троугао у плану, односно призме у простору). При дискретизацији треба обратити пажњу на димензионалност модела. Код одабира крупније размере модел је детаљнији, па се моделирање обавља у простору, док је код ситније размере моделирање погодније у плану.




*Слика 18: Приказ дискретизације струјног поља код тродимензионалног моделирања*

Затим се за свако поље поставља карактеристична једначина струјања, на основу параметара средине. Модел се састоји од система једначина који описују струјно поље и које се касније решавају неком од одабраних нумеричких метода.

При изради математичког модела неопходно је дефинисање временског периода и временског корака. У зависности од квалитета и просторног распреда улазних података и задатка који моделом треба симулирати, изваја се један или више карактеристичних временских пресека, уколико се струјање посматра у стационарним условима, односно карактеристични временски период (интервал) уколико се струјање посматра у нестационарним условима. Код нестационарног струјања, битан је и временски корак, у оквиру временског периода, који се задаје такође у складу са разноврсношћу улазних података и потребе решавања постављеног задатка. Одабир крупнијег временског корака повлачи по правилу са собом и крупнију грешку и погоднији је за регионалне анализе у слабо променљивим или непроменљивим условима на границама модела. Уколико се се обављају детаљније анализе струјања, користи се краћи временски корак и модел је самим тим прецизнији.

6.3.2.3 Почетни и гранични услови

При решавању модела потребно је правилно задати почетне и граничне услове, од чијег избора ће и зависити квалитет резултата модела. Ови услови задају се на основу података добијених експерименталним путем - мерењима на терену и на основу инжењерских знања и претпоставки. Почетни услов приказује се математичком формулом *(Дотлић, 2015)*:

$$h|_{t=0} = h_0 \text{ (па домену (површини) } \Omega) \quad (48)$$

При анализи граничних услова струјања подземних вода задају се различити типови граничних услова:

- Гранични услови са задатом (дефинисаном) вредности пијезометарског нивоа (услов Dirichle-a, H= const.)
- Гранични услови са задатим (дефинисаним) протицајем (услов Neumann-a, Q= const.)
- Мешовити услов (услов Cauchy-a односно Robin-a)

Dirichle-ов гранични услов $g_D$ представља гранични услов прве врсте (H= const.). Њиме се симулирају границе где је позната вредност пијезометарског нивоа (потенцијала), а приказан је следећом математичком релацијом:

$$h = g_D \text{ (на } \Gamma_D \subseteq \partial\Omega) \quad (49)$$

Овим граничним условом моделирају се границе које представљају водене токове (реке, језера, канали) и бунаре када је познат хидраулички потенцијал у њима.

Neumann-ов гранични услов $g_N$ представља гранични услов друге врсте (Q= const.). Њиме се симулирају границе где је позната вредност протицаја, а приказан је следећом математичком релацијом:

$$u \cdot n = g_N \text{ (на } \Gamma_N \subseteq \partial\Omega) \quad (50)$$

при чему је n спољашња јединична нормала на $\Gamma_N$. Овим граничним условом моделирају се бунари код којих је позната издашност, падавине ($g_N < 0$), евапотранспирација ($g_N > 0$) и део границе где нема течења ($g_N = 0$).

Мешовити услов или услов треће врсте представља комбинацију предходна два услова. Cauchy-јевим условом се симулирају границе код којих је познат протицај дефинисан разликом пијезометараских нивоа и пропусношћу

порозне средине. Robin-овим граничним условом $g_R$ могу се моделирати полупропусне границе. Пример за овај гранични услов може бити симулација речног дна:

$$u \cdot n = \Psi(h - g_R) \text{ (на } \Gamma_R \subseteq \partial\Omega) \quad (51)$$

при чему је коефицијент $\Psi$ задат формулом $\Psi = K/d$, где је $K$ коефицијент филтрације колмираног полупропусног слоја, а d његова дебљина.

#### 6.3.2.4 Еталонирање (калибрација) математичког модела

Након нумеричког решавања система линеарних једначина који описују задати проблем, добијају се резултати који треба да се у одређеној мери подударају са резултатима мерења у природи.

Еталонирање математичког модела представља скуп поступака којима се, за усвојену шематизацију природних услова на моделу, добијају резултати модела који у прихватљивој мери одговарају анализираним условима у природи. Резултат обављеног еталонирања математичког модела представљају репрезентативни и поуздани параметри датог изучаваног система.

Процес еталонирања математичког модела спроводи се кроз поступак решавања инверзног задатка. Основу за калибрацију модела представљају резултати истражних радова спроведених у фази ранијих ненаменских истраживања, резултати наменских истраживања за потребе израде модела и напослетку резултати праћења ефеката постојеће експлоатације подземних вода или примене хидротехничких мера.

При еталонирању модела не треба водити рачуна само о формалном преклапању осмотрених (природних) и рачунских података, већ и реалности добијених резултата и суштини проблема који се решава

Знање и искуство моделара битни су за одлуку о коначној калибрацији модела. Ова одлука је важна, јер еталониран, а касније и верификован модел представља основу за спровођење наменских варијантних прорачуна и прогноза.

#### 6.3.2.5 Анализа осетљивости математичког модела

У оквиру процеса калибрације пожељно је, али не и неопходно, спровести анализу осетљивости резултата прорачуна и доминатних параметара модела (параметарска анализа). Заснива се на одабиру доминантних параметара који највише утичу на промену резултата модела и дефинисању њихове промене на реалности резултата самог математичког модела.

Сви процеси у природи могу се на одређени начин ускладити са резулатима прорачуна у процесу тарирања математичког модела. Идеално слагање при еталонирању не мора да обезбеђује реалност модела. Спровођењем параметарске анализе, односно дефинисањем утицаја доминантних параметара на промену симулираног режима подземних вода, постиже се виши квалитет и тачност резултата спроведеног модела.

#### 6.3.2.6 Анализа степена грешке математичког модела

Након свих обављених процеса и изради математичког модела, а пре његовог пуштања у експлоатацију, неопходно је обавити и анализу степена грешке модела. Овај корак у моделирању заснива се на упоредби природних података и рачунски добијених резултата. Дозвољену величину степена одступања (грешке) одређује моделар на основу искуства и свог субјективног мишљења.

Процес анализе степена грешке обавља се упоредо са процесом еталонирања самог модела и уколико су оба услова задовољена, модел се може сматрати да у великој мери одговара природним условима.

#### 6.3.2.7 Верификација математичког модела и идентификација репрезентативних параметара

Након свих успешно обављених анализа модел се сматра верификованим, односно усвојеним и спреман је за даље варијантне хидродинамичке прорачуне и решавање конкретног постављеног проблема.

Након верификације математичког модела обавља се идентификација репрезентативних параметара изучаваног простора струјања подземних вода. У

овом процесу се, на основу обављених прорачуна по усвојеним прорачунским шемама, анализирају добијени резултати и упоређују са осматрањима у природи (еталонирање модела), а затим и усвајају репрезентативне вредности параметара средине. Овај процес је у тесној вези са расположивим фондом улазних података, па што су они обимнији и ниво поузданости треба да буде већи. Идентификација, по правилу треба да представља сталан процес у коме се увођењем нових података, математички модел све више приближава природним условима.

### 6.3.3 **Експлоатација математичког модела**

#### 6.3.3.1 Израда прогнозних варијантних решења

Верификован и усвојен математички модел служи за симулацију експлоатације самог система у задатим условима и остваривање прогнозе експлоатације у наредном периоду. Математички модел представља најнапреднију (итеративну) инжењерску методу за израду и прогнозу варијантних решења сложених проблема. Одликују га једноставно задавање и промена улазних параметара, брзина прорачуна и конфоран рад у складу са савременом рачунарском техником (софтверима) и елегантност и ефектност приказивања резултата прорачуна.

На верификованим математичким моделима могу се симулирати најразличитија варијантна решења у складу са задатком који се решава. Симулација и прогноза ефеката рада предложеног решења у различитим задатим (симулираним) граничним условима помаже у одабиру оптималне мере за решавање постављеног хидродинамичког проблема или прогнозу рада анализираног система у наредном периоду.

#### 6.3.3.2 Новелирање хидродинамичког модела

Треба имати у виду да се и у фази експлоатације модела могу појавити одређени проблеми. Степен поузданости прогнозе зависи од периода за који се спроводи; са повећавањем прогнозираног периода може доћи до смањења репрезентативности резултата прогнозе. Прогноза експлоатације је поузданија уколико је екстраполација улазних параметара мања.

Након изналажења коначне варијанте решења постављеног проблема, обезбеђивање поузданости решења остварује се додатним мониторингом и укључивањем нових улазних података у модел. Прорачуни на математичком моделу са новим улазним подацима (врло често и у фази пројектовања и израде решења) могу довести до додатне верификације израђеног модела или до евентуалних корекција на самом моделу.

## 6.4 ДВОДИМЕНЗИОНАЛНИ МОДЕЛ СТРУЈАЊА ПОДЗЕМНИХ ВОДА (СПЕЦИЈАЛИЗОВАНИ ПРОГРАМСКИ ПАКЕТ ЗА СИМУЛАЦИЈУ СТРУЈАЊА ПОДЗЕМНИХ ВОДА ПО ПРОРАЧУНСКИМ ПРОФИЛИМА)

### 6.4.1 Методологија прорачуна струјања подземних вода

Методологија се базира на нумеричком решењу система парцијалних диференцијалних једначина (напред дате једначине 27 - 28) које дефинишу струјање у двослојевитој порозној средини. Постављени систем парцијалних диференцијалних једначина се не може решити у општем облику.

Решење диференцијалних једначина нестационарног струјања своди се на апроксимацију нестационарности процеса струјања серијом стационарних кретања са коначним временских интервалом $\Delta t$. Нумеричко решење примењено у овом моделу приказано је у претходном поглављу о решавању једначина неустаљеног струјања подземних вода у условима двослојевите порозне средине *(Вуковић, 1966)*.

Код прорачуна осцилација подземне воде прорачунски профили се по струјним линијама добијених на основу претходне анализе режима подземних вода (базиране на подацима континуалних осматрања) и израде хидроизохипси нивоа подземних вода. Анализа параметара биланса који учествују у формирању одговарајућег режима и утврђивање законитости њихових промена могу да утичу на верификацију или евентуалну коректуру претходно извршене шематизације хидрогеолошких параметара посматраног прорачунског профила, како би она била најближа природним условима.

Методологија прорачуна базирана је на промени пијезометарских нивоа у доњем водоносном слоју који интегрира све факторе биланса који делују на овој површини. Ови параметри се у великој мери мењају од једне до друге тачке у зависности од локалних услова (ниво подземних вода, испаравање, транспирација, инфилтрација итд). Анализа једначина (27) и (28) показује да је функција H (x,t) једнозначна и у процесу тарирања модела срачунати распоред нивоа у доњем водоносном слоју треба да одговара резултатима осматрања у природи (ако су правилно одабрани сви параметри који дефинишу струјање). Ови параметри се код тарирања мењајући величине мењају у простору и времену док се нивои у доњем водоносном слоју не поклопе са подацима осматрања нивоа са задовољавајућом тачношћу.

Прорачун по изложеној методологији се спроводи као равански - дводимензионални проблем дуж струјне линије, а како су у приобаљу струјне линије практично управне на речни ток, дуж истих је одређен положај појединачног прорачунског профила. Шематизација дуж прорачунског профила се спроводи на основу података геолошких и хидрогеолошких истражних радова и исти се дели на одређени број деоница карактеристичних репрезентативних параметара (коефицијената филтрације, моћности слоја, коте терена, повлате и подине, нивое подземних вода и др.). Полазећи од диференцијалне једначине (27) и претпостављајући да се дуж једне деонице ниво подземних вода у површинском слоју може апроксимирати хоризонталном линијом, поставља се систем диференцијалних једначиина (за сваку деоницу по једна диференцијална једначина) *(Вуковић, 1967):*

$$\frac{d^2 H_i}{dx^2} = \frac{K_{mi}}{K_{Mi} M_i} \cdot \left(\frac{H_i - h_i}{h_i}\right) \qquad (52)$$

Диференцијалне једначине карактеришу нивое у доњем водоносном слоју H= H(x) у зависности од геолошких карактеристика терена и нивоа подземних вода. Веза између диференцијалних једначина постиже се постављањем контурних услова на граници сваке деонице, изједначавањем протицаја и притисака на граници деоница. На основу ових диференцијалних једначина и услова на граници

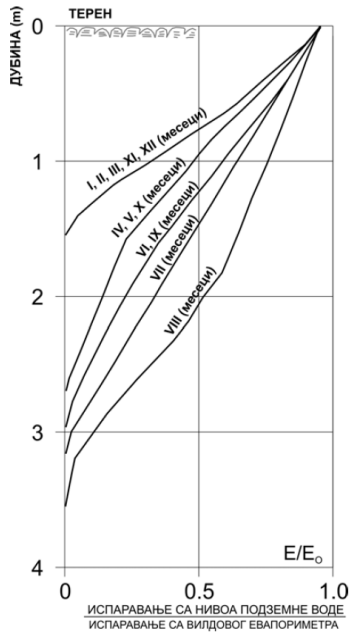
добија се систем од 2n једначина (при чему је n број деоница), са 2n непознатих. Решење ових једначина је сложено и изводи се помоћу софтверског пакета.

Решењем система ових једначина добија се распоред нивоа у доњем водоносном слоју, који се даље примењује у једначини (28) на тај начин што се у свакој деоници врши билансирање по вертикали. Један од фактора биланса представља и количина воде која дотиче из доњег водоносног слоја под разликом притисака (H -h), где је:

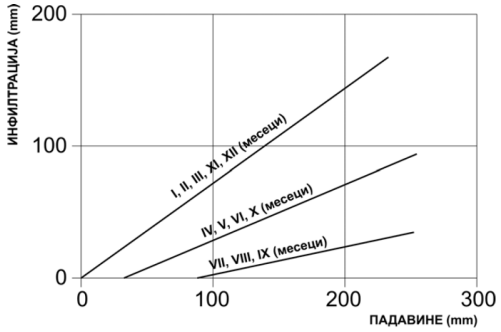
$$H = \frac{H_n + H_{n+1}}{2} \tag{53}$$

Поред овога, код прорачуна биланса површинског слоја узима се и билансна величина W. Билансна величина W представља суму фактора биланса који делују на режим подземних вода, при чему су најчешће предоминантни следећи фактори: инфилтрација воде са површине терена, испаравање и транспирација. На основу података из литературе и анализом режима подземних вода на пољопривредним подручјима одређене су зависности промена инфилтрације и евапотранспирације (испаравање са нивоа подземне воде и транспирација узете су као сумарна величина) по времену и по дубини. Ове зависности су дате на сликама 19 и 20.

Датим зависностима нису обухваћени следећи параметри: интензитет падавина, почетна влажност земљишта пре падавина, стање земљишта пре снега, испаравање са снежног покривача, отицање у функцији времена, степен изграђености каналске мреже... Не може се рећи да су ови параметри занемарени, јер су имплицитно садржани у зависностима које су добијене за инфилтрацију и евапотранспирацију. Познато је да испаравање и транспирација зависе од више параметара, од којих је велики број обухваћен кроз податке о испаравању са слободне водне површине.




*Слика 19: Зависност E/Eo од дубине залегања подземне воде (коришћена за математичке моделе) (Вуковић, 1967)*



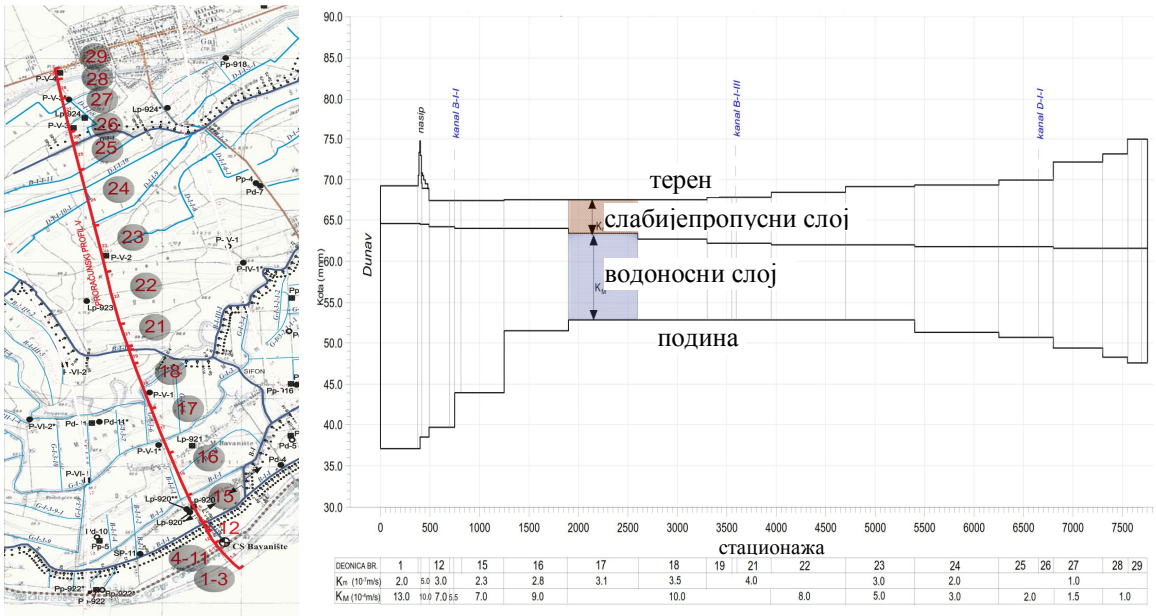

*Слика 20: Зависност падавина и инфилтрације (коришћена за математичке моделе) (Вуковић, 1967)*

### 6.4.2 **Практична примена приказане методологије**

За изучавање режима подземних вода предложеном методом развијен је, у фази изградње и пуштања у рад хидроелектране „Ђердап 1“ специјализовани компјутерски програм *(аутори Вуковић и Матић, 1973. год.).* Дводимензионални модел је наменски изграђен за потребе симулације режима подземних вода у приобаљу ђердапске акумулације и до данас је више пута дограђиван и усавршаван. Струјање се одвија у двослојевитој порозној средини (повлатни слабијепропусни изнад водоносног слоја, који лежи на водонепропусној подлози).

У посебним случајевима могуће је задати и трећи, површински насути слој. Шематизовани прорачунски профил, који се поставља дуж струјне линије, управно на речни ток, подељен је на деонице репрезентативних карактеристика.

За потребе прорачуна целокупног биланса дуж једног профила уносе се и задају следећи улазни подаци: број деоница на профилу, дебљина доњег водоносног слоја, коефицијенти филтрације доњег водоносног и горњег слабије пропустљивог слоја, дужина деоница, средња кота терена дуж деонице, кота контакта између водоносног и површинског слоја, ефективна порозност површинског слоја, период времена за који се врши прорачун, подаци о контурним условима (водостај реке, ниво у доњем водоносном слоју или дотицај из залеђа) у датом периоду времена, величине падавина и испаравања у прорачунском периоду времена мерене на најближој метеоролошкој станици. Величина инфилтрације добија се на основу зависности између величине падавина и периода године *(слика 19),* а величина испаравања са нивоа подземних вода на основу зависности између величине испаравања (са Wild -овог евапориметра), дубине залегања нивоа подземних вода и периода године *(слика 20).*

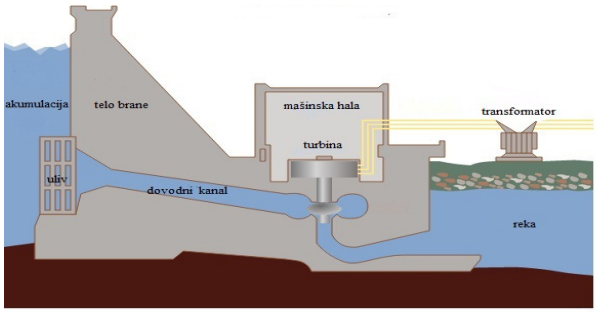



*Слика 21: Приказ положаја модела (прорачунског профила) и његова шематизација (мелиоративно подручје Дубовац - Ковин)*

Применом овог модела може се, дуж посматраног прорачунског профила, спровести анализа и прогноза режима подземних вода при различитим грничним условима и различитим хидротехничким уређењем подручја (одбрамбени насипи, каналска мрежа, дренаже и др.). Конкретно, на основу познавања улазних података пре и након изградње (за различите режиме успора) може се пратити њена експлоатација и ефекти рада изведених дренажних система кроз формирани и измењени режим подземних вода у приобаљу. Задавањем већег и довољног броја прорачунских профила може се у значајној мери сагледати и режим подземних вода на целокупном подручју и/или дати његова прогноза.

# II ОПШТИ ДЕО

Хидроелектране или хидроелектричне централе представљају врсту електрана које потенцијалну енергију воде претварају у кинетичку и механичку, а затим путем генератора у електричну енергију (слика 24 - схема хидроелектране). Хидроелектране представљају најраширенији облик искоришћења обновљивих извора енергије са уделом од 85 - 90%, првенствено због стабилности протицаја речних токова који омогућавају поузданост производње електричне енергије. Процењује се да у данашњим условима близу 20% укупне светске потрошње електричне енергије је пореклом из хидроелектрана *(WCD, 2000).*




*Слика 22: Схема хидроелектране у пресеку дуж речног тока*

Хидроелектране својим радом изазивају мноштво позитивних, али и негативних утицаја на животну средину. Позитивни ефекти односе се првенствено на контролу поплавних таласа, иригацију и водоснабдевање. Доприносе у великој мери економском и индустријском развоју руралних области омогућавајући обновљиву производњу електричне енергије, сигурне водне путеве, повећавају туристичке капацитете и сл. Негативни ефекти се односе на стварање успора речног тока и подизања нивоа подземних вода, сакупљање речног наноса, промене у протицају низводних делова речног тока, утицај на биљни (*Tealdi et al., 2011*; *Alldredge u Moore, 2012)* и животињски свет и друге организме - екосистеме у узводним екосистемима., немогућност миграције риба и др. *(LaMoreaux, 2008; Lin, 2011).* Негативни утицаји на хидролошке карактеристике и динамику протицаја реке, физичко - хемијске циклусе, земљиште, квалитет подземних вода, загађеност животне средине, речне екосистеме само су неки од последица изградње и рада хидроелектрана *(Wildi, 2010).*

# 7. МЕЂУНАРОДНА ИСКУСТВА ВЕЗАНА ЗА ФОРМИРАЊЕ И УТИЦАЈ УСПОРА ХИДРОЕЛЕКТРАНА

Један од битних негативних ефекта хидроелектрана јесте стварање акумулације речног тока, односно повишење нивоа подземних вода у њиховим приобалним подручјима. Велике хидроелектране у свету проузрокују и велико издизање нивоа речних токова, односно формирање великих акумулација услед успора. У табели 8 дат је приказ десет највећих акумулација према запремени воде које су хидроелектране произвеле својом изградњом и експлоатацијом.

*Табела 8 : Приказ десет највећих акумулација хидроелектрана према запремени воде (извор: http://www.water -technology.net/features/feature -ten -largest -dams -in -the -world -reservoirs/)*

| бр. | назив хидроелектране | држава | река | запр.воде у акумул. (милиј. $м^3$) | површина акумул. ($km^2$) | период изградње (год) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Кариба | Зимбабве | Замбези | 185 | 5,580 | 1955 -59 |
| 2 | Братск | Русија | Ангара | 169 | 5,540 | 1954 -64 |
| 3 | Акосомбо | Гана | Волта | 144 | 8,500 | 1961 -66 |
| 4 | Данијел Џонсон | Канада | Маникуаган | 140 | 1,973 | 1959 -68 |
| 5 | Гури | Венецуела | Цароса | 135 | 4,000 | 1963 -86 |
| 6 | Асуан високи | Египат | Нил | 132 | 6,000 | 1960 -68 |
| 7 | В. Бенет | Канада | Пис (Мир) | 74 | 1773 | 1961 -67 |
| 8 | Краснојарск | Русија | Јенисеј | 73 | 2,000 | 1956 -72 |
| 9 | Зеја | Русија | Зеја | 68 | 2,419 | 1964 -75 |
| 10 | Роберт - Бураса | Канада | Ла Гранде | 62 | 2,815 | 1974 -81 |

По дужини формиране акумулације међу највећим су хидроелектране Три клисуре у Кини (око 660 км тока), Асуан у Египту (око 500 км тока), Акосомбо (око 400 км тока), Братск и Краснојарск (око 380 км тока) у Русији. О површини мелиоративних подручја у приобаљу ових великих акумулација мало је прецизних и доступних података. Ипак познато је да велике реке на којима су изграђене хидроелектране имају и значајне дренажне системе. Део ових дренажних система дуж формираних дугачких акумулација услед успора (пример хидроелектрана Асуана, Краснојарска, Кариба, Меконга...) служе поред регулисања режима

подземних вода и за отклањање проузрокованих негативних ефеката утицаја успора.

Истраживања везана за утицај формираних акумулација на животну средину, углавном се могу поделити на анализе промене режима подземних вода (квантитета и квалитета) и анализу утицаја на животну средину у приобалним подручјима (овде би посебан значај могао да има утицај подземних вода на пољопривредну производњу *(Пајић, 2012b)*).

Хидрогеолошка истраживања утицаја успора акумулације су спроведена од стране различитих аутора широм света, углавном у фази изградње и експлоатације хидроелектрана широм света (прогноза ефеката рада хидроелектране за потребе изградње хидроелектране, прогноза ефеката пројектоване (будуће) експлоатације) или за потребе решавања конкретних проблема (прогноза режима подземних вода за потребе измештања бране услед загађења подземних вода у акумулације и др.).

Анализе утицаја успора акумулације на режим подземних вода у приобалним подручјима приказане су за три одабрана примера: хидроелектране Badush у Ираку, хидроелектране Nathan у Аустралији и хидроелектране Milltown у Сједињеним америчким државама.

- **хидроелектрана Badush - Ирак**

Хидродинамичка анализа утицаја успора на приобална подручја обављена је за потребе прогнозе рада хидроелектране Badush у Ираку *(Al -Adili et al, 2014).* Ова хидроелектрана представља незавршени објекат, у фази изградње, на Tigris реци и лоцирана је 16 km северозападно од града Mosul -a. Хидроелектрана је пројектована од стране „Енергпројекта“ са циљем да, поред производње електричне енергије, обезбеди заштиту од негативних ефеката узводне Mosul бране.

Хидродинамичка анализа спроведена је у циљу прогнозе ефеката рада хидроелектране у наредних 10 - 20 година. Истраживања су обухватила израду хидродинамичког модела струјања подземних вода у приобаљу акумулације. Режим подземних вода је, због ограничености улазних података и сврхе њене израде (прогнозе), симулиран у стационарним условима, за период пре изградње

и будући период (након 10 и 20 година). Струјно подручје је шематизовано као једнослојевита порозна средина.

Након обављеног еталонирања модела спроведена су симулација различитих варијантних решења. Обухваћена су карактеристична стања у акумулацији: ниво пре изградње хидроелектране 228.0 mnm и прогнозирани ниво експлоатације - просечни ниво 245.5 mnm и максимални ниво 307.0 mnm.

Резултати спроведене симулације режима подземних вода у осмотреним и пројектованим условима показали су да се би се, након 10 година рада хидроелектране, запремина аквифера повећала за 52.4% (просечан ниво у акумулацији) и 79.5% (максималан ниво у акумулацији), а након 20 година за 93.5% (просечан ниво у акумулацији) и 97.2% (максималан ниво у акумулацији) у односу на осмотрене услове пре изградње хидроелектране *(табела 9).*

*Табела 9: Запремина аквифера при експлоатацији хидроелектране у приородним и рачунским пројектованим условима*

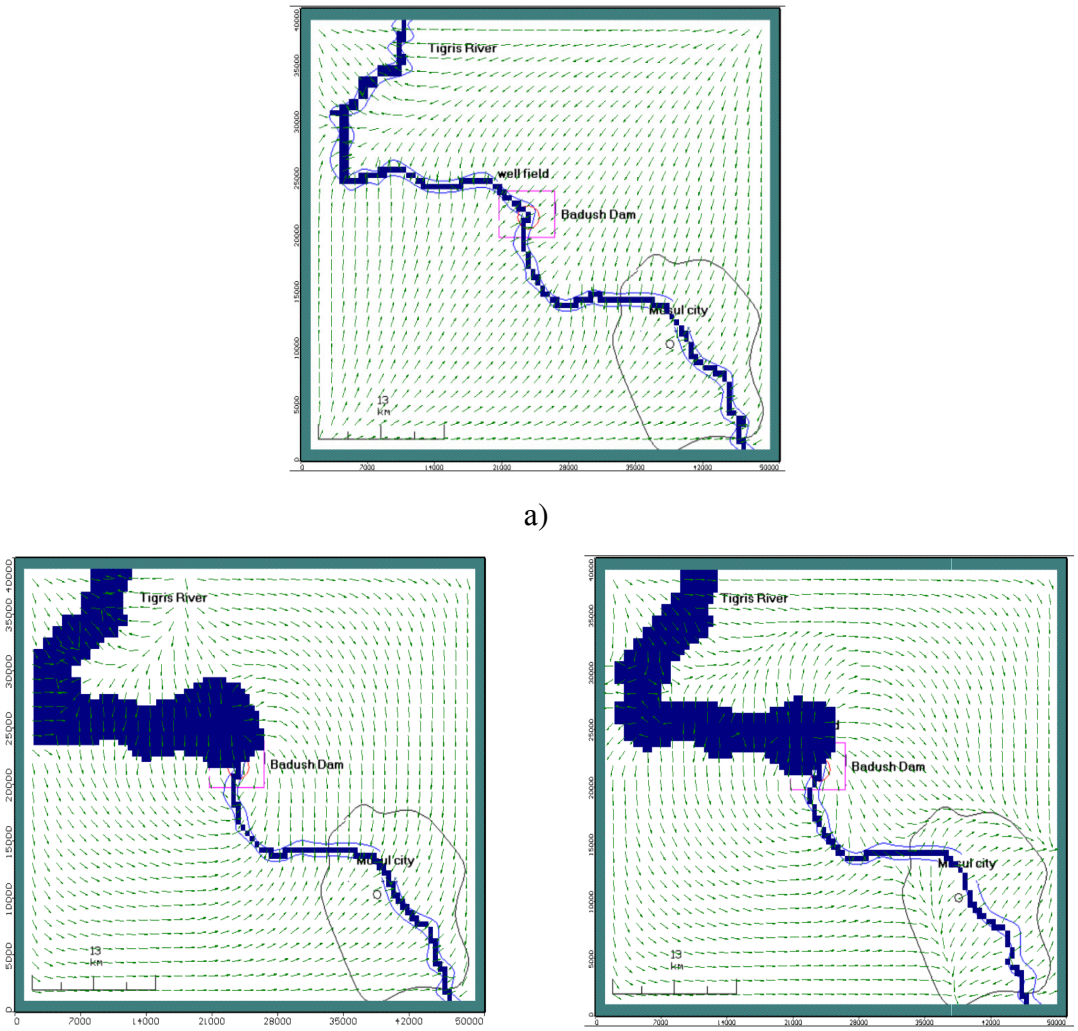
| | пре изградње хидроелектране | 10 год. експлоатације | | 20 год. експлоатације | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | просечни | максимални | просечни | максимални |
| ниво у акумул.(mnm) | 228.0 | 245.5 | 307.0 | 245.5 | 307.0 |
| укупна запремина ($*10^8 m^3$) | 1.00 | 2.10 | 4.88 | 15.4 | 35.8 |

Резултати спроведене симулације режима подземних вода у осмотреним и пројектованим условима показали су да би, након 10 година рада хидроелектране, дошло до повећаних дотицаја/отицаја подземних вода из акумулације у водоносну средину, а затим и до повишења нивоа подземних вода. Вредности подземног дотицаја/отицаја повећали би се већ након 10 година око два пута (просечан ниво у акумулацији) и око пет пута (максималан ниво у акумулацији) у односу на осмотрене услове пре изградње хидроелектране.

*Табела 10: Промена рачунских дотицај и отицај подземних вода из акумулације у водоносну средину при експлоатацији хидроелектране у приородним и рачунским пројектованим условима*

| | пре изградње хидроелектране | | 10 год. експлоатације | | | | 20 год. експлоатације | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | просечни | | максимални | | просечни | | максимални | |
| ниво у акумул.(mnm) | 228.0 | | 245.5 | | 307.0 | | 245.5 | | 307.0 | |
| | дотицај/отицај (*$10^3$ $m^3$/d) | | | | | | | | | |
| отицај из реке | | 95.4 | 110.4 | 204.8 | 388.1 | 162.8 | 124.8 | 219.5 | 405.0 | 172.4 |
| инфилтрација од падавина | 99.9 | | 99.9 | | 99.9 | | 99.9 | | 99.9 | |
| евапотранспирација | | 4.5 | | 5.3 | | 325.1 | | 5.0 | | 332.3 |
| укупно | 99.9 | 99.9 | 210.3 | 210.2 | 488.0 | 487.9 | 224.7 | 224.5 | 504.9 | 504.7 |

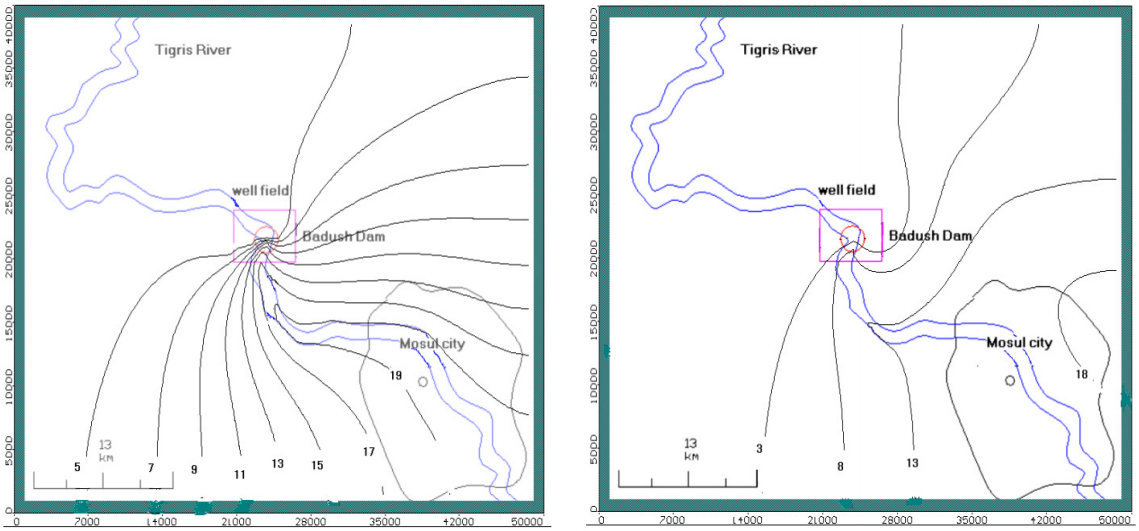
Резултати спроведених варијантних прорачунана математичком моделу показали су да би се експлоатацијом хидроелектране у потпуности променио режим подземних вода у приобаљу. Пре изградње хидроелектране издан је хранила реку, а при симулацији експлоатације промењен је правац кретања подземних вода и издан храни реку. На сликама _ приказани су вектори брзине филтрације подземних вода у издани пре изградње (а) и 10 година након изградње бране, за просечне (б) и максималне (в) нивое воде у акумулацији.




*Слика 23: Вектори брзине филтрације подземних вода у издани пре изградње (а) и након 10 година експлоатације, за просечне (б) и максималне (в) нивое воде у акумулацији (Al -Adili et al, 2014)*

На основу резултата симулације утврђено је да би експлоатација хидроелектране довела би до издизања нивоа подземних вода у приобалним подручјима. На слици приказане су карте дубине до нивоа подземних вода након 20 година експлоатације хидроелектране,з а просечне (а) и максималне (б) нивое воде у акумулацији.

Упоредбом са одговарајућим дубинама до нивоа подземних вода пре изградње хидоелектране утврђено је да су нивои издигли и то за 2 m у зони првих насеља у предграђу Mosul -a.




*Слика 24: Карте дубине до нивоа подземних вода након 20 година експлоатације хидроелектране,за просечне (а) и максималне (б) нивое у акумулацији (Al -Adili et al, 2014)*

- **хидроелектрана Nathan - Аустралија**

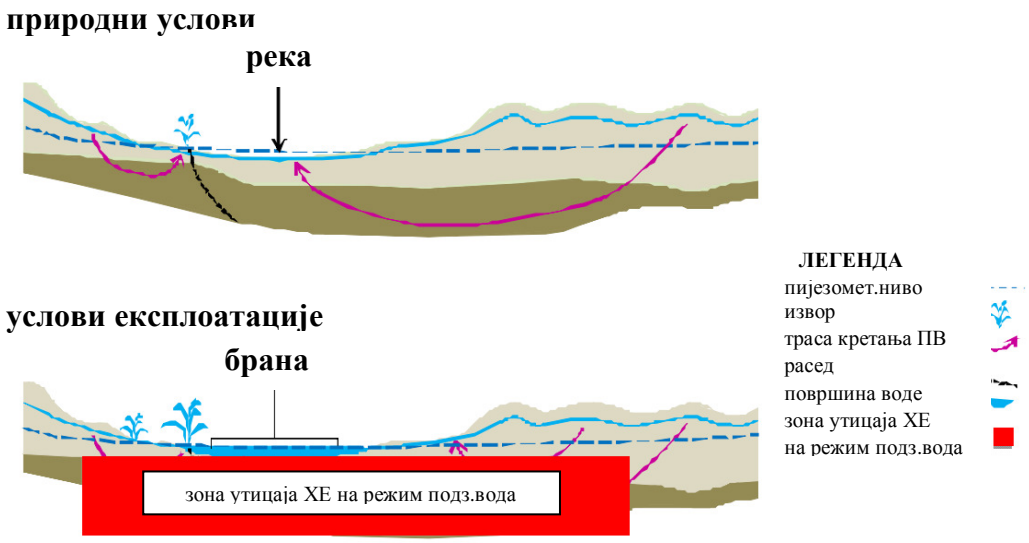
Анализа утицаја успора на приобаље обављена је и за потребе пројектовања и прогнозе рада хидроелектране Nathan на Dawson реци, у Queensland -у, Аустралија *(Sunwater, 2015)*.

Хидродинамичка анализа обављена је израдом тродимензионалног модела у нестационарним условима. Коришћен је софтвер Feflow, чије нумеричко решавање је базирано на методи коначних елемената. Еталонирање математичког модела обављено је у нестационарним условима, за 15 -годишњи период (1969 - 1984. год.).

Методологија прорачуна је базирана на симулацији и упоређењу резултата за природне услове, пре изградње хидроелектране и три различита сценарија (варијанте): у фази изградње хидроелектране (ниво воде у акумулацији на коти

142.0 mnm) и у фази експлоатације хидроелектране (за нивое воде у акумулацији на котама 181.7 mnm и 183.5 mnm).

Резултати прорачуна односе се на промену нивоа подземних вода у водоносном слоју (и издашности извора) у приобаљу и приказани су у оквиру посебних анекса. На слици _ дат је шематски попречни пресек струјног поља са приказом утицаја успора у акумулацији хидроелектране на режим подземних вода.




*Слика 25: Шематски попречни пресек на математичком моделу са приказом утицаја успора на режим подземних вода (Sunwater, 2015)*

У анексу 15G пројекта приказани су резултати симулираних нивоа подземних вода на око 200 осматрачких објеката (пијезометара и бунара), а у анексу 15H пројекта промене на изворима, у природним условма и за просечне и максималне нивое у акумулацији. Резултати прорачуна приказани су у скраћеном облику у табели 11.

Узводно од бране, анализирана је промена издашности извора који се прихрањују на основу подземних вода из горњих водоносних слојева. Резултати прорачуна показали су повећање издашности извора у приобаљу за 0% (узводно подручје Cockatoo Creek) - 851% (подручје Taroom) за максималне услове у акумулацији.

*Табела 11: Промена нивоа подземних вода на осматрачким објектима по секторима*

| подручје | сектор | максимални ниво у акумулацији - 183.5 mnm | | просечни ниво у акумулацији - 181.7 mnm | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $\Delta H_{MIN}$(m) | $\Delta H_{MAX}$(m) | $\Delta H_{MIN}$(m) | $\Delta H_{MAX}$(m) |
| Dowson River | 4 | 2.74 | 9.46 | 2.74 | 8.73 |
| | 6 | -3.54 | 4.00 | -3.80 | 2.20 |
| | 7 | 0.49 | 0.49 | 0.49 | 0.49 |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Boggomoss | | 0 | 14.28 | -1.15 | 12.48 |
| CockatooCrk | | 0 | 0 | 0 | 0 |

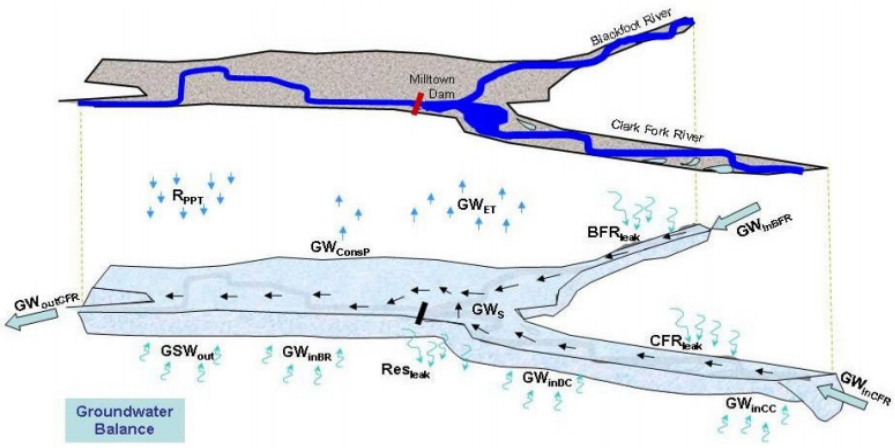
На основу свих спроведених прорачуна на математичком моделу и анализи симулиране промене нивоа подземних вода на осматрачким објектима на анализираном подручју, дефинисана је граница утицаја успора хидроелектране и квантификована величина промене режима подземних вода, за симулиране услове експлоатације у односу на природне услове, пре изградње хидроелектране.

- **хидроелектрана Milltown - Сједињене америчке државе**

Сагледавање утицаја успора на приобална подручја обављено је на случају хидроелектране Milltown у држави Монтани, у Сједињеним америчким државама. Детаљне анализе утицаја успора обављене су за обрнути задатак - за потребе прогнозе уклањања хидроелектране која је својом формираном акумулацијом и неповољним условима у њој, негативно променила хемијски састав подземних вода у своме приобаљу (загађење великог броја бунара арсеном, цинком и другим елементима).

Хидроелектрана Milltown изграђена је 1908. год. на ушћу река Clark Fork и Blackfoot. У претходних 10 -15 год. регистрован је проблем загађења подземних вода приобаља и приступило се детаљних истраживања за потребе уклањања хидроелектране. Истраживања су се, поред претходно изведених, базирала на хидродинамичкој анализи утицаја успора на приобаље.

У првој фази израде хидродинамичког модела пројектован је хидрогеолошки концептуални модел




*Слика 26: Приказ концептуалног модела приобаља хидроелектране Milltown*

Изради математичког модела претходила су ненаменска истраживања осматрања нивоа подземних вода на 78 бунара и 150 пијезометара у приобалном подручју (укључујући 1 805 дана у којима су обављена мерења нивоа подземних вода) и осматрања хидролошких услова у речним токовима (укључујући 1 276 дана у којима су обављена мерења водостаја), у периоду од 1982 -2010. год. Сва мерења улазних података спроведена су најсавременијим електронским мерним уређајима.

За спровођење хидродинамичке анализе коришћен је математички софтвер USGS MODFLOW и графички интерфејс Ground Water Vistas. Након еталонирања за одређени временски период и верификације математичког модела, спроведене су три различите групе варијантних решења (Y1, Y2, Y3) за прогнозу нивоа подземних вода у осмотреним условима и пројектованим условима измештања бране (близу природних услова у речном току пре изградње бране). Симулација струјања подземних вода је обављена у стационарним и нестационарним условима.

Резулати основних елемената биланса подземних вода на математичком моделу и упоредба резултата у осмотреном временском периоду и одабраним рачунским временским пресецима (31.март 2006.и 21.април 2007.год.), за прво варијантно решење (Y1), приказана је у табели 12. Остала варијантна решења (Y2, Y3) представљају одређену надоградњу на прво варијантно решење (Y1). Анализом биланса подземних вода за прво варијантно решење (Y1) утврђено је знатно смањење укупног дотицаја подземних вода у симулираним условима.

*Табела 12: Приказ основних елемената биланса подземних вода на математичком моделу (према варијантном решењу Y1)*

| | почетне вредности - природни услови ($*10^3$ $m^3$/dan) | симулиране вредности према *Y1*($*10^3$ $m^3$/dan) | |
|---|---|---|---|
| | | 31/03/06 | 21/04/07 |
| дотицај подземних вода | | | |
| дотицај у модел из реке Clark Fork | 12 -45 | 37 | 34 |
| дотицај у модел из реке Black Foot | 1.6 -20 | 1.7 | 5.1 |
| дотицај у модел са подручја | 0.002 -5.1 | 2.5 | 2.5 |
| дотицај у модел са подручја | 0.3 -14 | 8.8 | 8.8 |
| дотицај у аквифер из реке Clark Fork | 14 -99 | 57 | 42 |
| дотицај у аквифер из реке Black Foot | 31 -510 | 91 | 120 |
| дотицај у аквифер из акумулације | 0.24 -140 | 54 | 28 |
| УКУПНО | 160 -1200 | 250 | 240 |
| отицај подземних вода | | | |
| отицај из модела из реке Clark Fork | 60 -570 | 230 | 200 |
| отицај из модела | 20 -910 | 20 | 24 |
| УКУПНО | 260 -600 | 250 | 224 |

Резултати симулације дефинисали су део речног тока - акумулације у чијем приобаљу се дешавају промене режима подземних вода (2 km узводно и 6 km низводно од бране), као и границу утицаја режима подземних вода на приобалне површине. У оквиру границе утицаја успора угрожено је 115 од укупног броја изведених бунара, а чак 80 постојећих мораће бити замењено новим бунарима.

# 8. ХИДРОЕНЕРГЕТСКИ И ПЛОВИДБЕНИ СИСТЕМ ХЕ „ЂЕРДАП 1"

Хидроенергетски и пловидбени систем „Ђердап 1", који је по својој величини највећи у нашој земљи и други по величини у Европи, у експлоатацији је више од четрдесет година.

Изграђен је у циљу трајног искоришћења хидроенергетског потенцијала, са једне и обезбеђења услова пловидбе на ђердапском сектору Дунава, са друге стране. Производња хидроенергије у систему ХЕПС „Ђердап 1" износила је, до данас на нашем делу хидроелектране "Ђердап 1" нешто више од 250.000 GWh. По питању пловидбених услова постигнуто је вишеструко повећање пловидбе током целе године и уклоњени све раније препреке и опасности.

## 8.1 ПРИКАЗ СИСТЕМА ХЕПС „ЂЕРДАП 1"

### 8.1.1 **Развој и намена система**

Идеја о коришћењу хидроенергетског потенцијала и побољшању услова пловидбе на заједничком југословенско -румунском сектору Дунава је веома стара. После другог светског рата потписана је Заједничка декларација Југославије и Румуније о проучавању најповољније могућности изградње хидроелектрана у сектору Ђердапа (Букурешт, 26.06.1956. године), а већ у октобру исте године Заједничка декларација о оснивању Мешовите комисије за руковођење и координацију радова.

Од 1957. до 1960. године урађени су обимни теренски и лабораторијски истражни радови и студије, из којих је проистекао проширени Техничко - економски меморандум, којим је предложено да се заједнички сектор Дунава користи изградњом два хидроенергетска и пловидбена система - на km 943 (ХЕ „Ђердап 1“, којим се искоришћава 80 % укупног потенцијала и решавају у потпуности сви проблеми пловидбе) и на km 853 (ХЕ „Ђердап 2“). Овај Меморандум су 1960. године усвојиле две Владе. У даљем периоду склопљени су бројни Споразуми, Конвенције, Статути и Протоколи везани за изградњу и будућу експлоатацију система. Споразум о изградњи и експлоатацији ХЕПС Ђердап потписан је 30.11.1963. године, заједно са Конвенцијом и осталим документима, у којима су промовисана следећа начела: једнако учешће обе

стране у инвестицијама и трошковима експлоатације, подела искоришћеног потенцијала на једнаке делове и објекти система су власништво оне стране на чијој се територији налазе. Југословенски инвеститор за изградњу, управљање, експлоатацију и одржавање објеката и уређаја система било је Предузеће у оснивању Хидроелектрана Ђердап (данас Електропривреда Србије - Огранак „ХЕ „Ђердап".

Након обављених детаљних хидролошких, геолошких, геотехничких, морфолошких, хидрауличких, псамолошких и других истраживања и израде идејних и главних пројеката започела је, септембра 1964. године, изградња система. 1970. године пуштени су у погон први хидроагрегат, док је цео објекат пуштен у експлоатацију 16. маја 1972. године, са радним режимом 68/63. Током експлоатације систем је у више наврата прелазио на више режиме експлоатације.

### 8.1.2. Делови система и његови утицаји

У ширем смислу, систем ХЕПС „Ђердап 1" чине: главни објекат (брана), акумулација и приобаље.

Главни објекат - брана ХЕПС „Ђердап 1″ (слика 27) изграђена је на заједничком југословенско - румунском сектору Дунава (на km 943).




*Слика 27: Брана ХЕПС „Ђердап 1"*

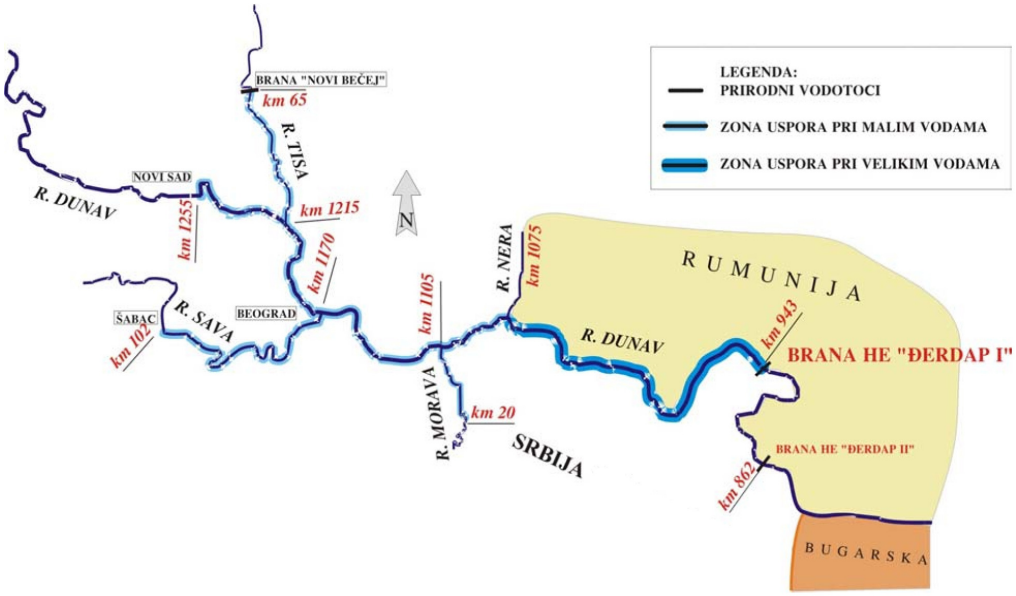
Објекат дужине 1280 m симетрично је подељен на југословенски и румунски део, од којих се сваки састоји од: бродске преводнице, земљане непреливне бране, електране (са 6 турбина) и дела бетонске преливне бране (са 14 преливних поља, ширине по 25 m) са двоструким затварачима. Укупан инсталисани протицај је 8.700 $m^3/s$, а инсталисана снага 2.050MW.

У обе електране, југословенској и румунској, истих димензија, уграђено је по шест хидроагрегата са вертикалним Капланови турбинама, инсталисане снаге 190 MW. Укупна инсталисана снага свих 6 хидроагрегата је 1140 MW, односно 2280 MW за обе електране. У време изградње то су биле највеће јединице те врсте у свету, са пречником од 9,5 m и инсталисаним протоком од 850 $m^3/s$.

Остали параметри електране су:

- Максимални пад 34,5 m
- Рачунски пад 27,16 m
- Минимални пад 21,90 m
- Инсталисани протицај 10.000 $m^3/s$
- Номинална снага 180 MW
- Просечна годишња производња 5,75 *$10^9$ kWh
- Највиши ниво успора код бране 69,50 mnm, а најнижи 63,00 mnm
- ХЕ „Ђердап 1“ даје ЕЕС Србије 18% електричне енергије.

Акумулација ХЕПС „Ђердап 1″ формирана је на сложеном речном систему, који чине Дунав и његове притоке (слика 26). Површина слива Дунава до профила бране је 577 000 $km^2$. На потезу акумулације, у Дунав се уливају реке Тиса (површина слива 157 200 $km^2$), Сава (96 400 $km^2$) и Велика Морава (37 400 $km^2$), као и неколико мањих притока (чије су површине слива мање од 2 000 $km^2$). Акумулације ХЕПС „Ђердап 1" је променљива, а дужина простирања, као и величина успора и запремина, у функцији је протицаја и режима рада хидроелектране. При великим водама, успор исклињава до ушћа Нере (km 1075), док се при малим водама успор простире на дужини од 282 km на Дунаву, 102 km на Сави, 65 km на Тиси и 20 km на В. Морави *(слика 28)*. Изградњом бране ХЕПС „Ђердап 1" формирана је акумулација запремине 3.500 милиона $m^3$ у просечним хидролошким условима, што је представљало повећање за око 2.100 милиона $m^3$ у односу на запремину природног корита Дунава.




*Слика 28: Акумулација ХЕПС "Ђердап 1"*

Приобаље акумулације ХЕПС „Ђердап 1″ има различите карактеристике, које одређују и величину утицаја и начин заштите. Низводни део акумулације на Дунаву је у Ђердапској клисури, где нема негативног утицаја успора на приобаље. Узводно од Голупца акумулација се простире кроз равничарска мелиоративна подручја, у којима режим рада хидроелектране има утицаја на површинске воде и подземне воде унутар брањених подручја. Заштита приобаља спровођена је још од фазе пројектовања и изградње ХЕПС ″Ђердап 1″ (извођењем или реконструкцијом преко 400 km одбрамбених насипа и 20 km обалоутврда, дренажних система на око 110.000 ha површине), а затим у периоду експлоатације самог система, за различите режиме успора.

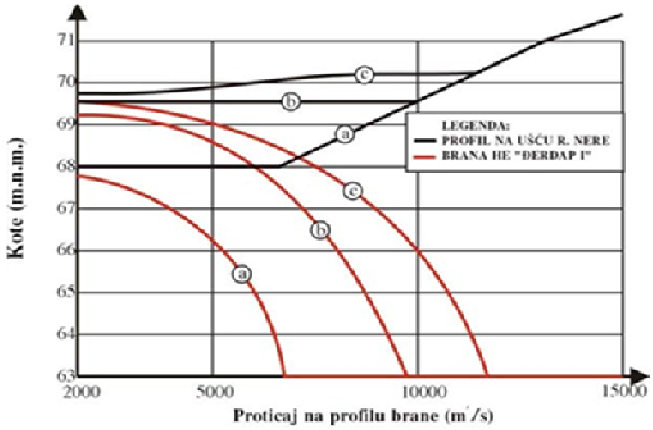
## 8.2. ЕКСПЛОАТАЦИЈА СИСТЕМА

У случају ђердапске акумулације меродаван профил за дефинисање режима нивоа је профил код ушћа Нере (km 1075 Дунава), који се налази 132 km узводно од бране, на узводном крају заједничког југословенско - румунског сектора Дунава. Режим рада хидроелектране утврђиван је билатералним споразумима између југословенске и румунске стране. Првим споразумом између СФР Југославије и НР Румуније (из 1963. године) утврђен је радни режим „68/63“,

а експлоатација је започела 1972. године. Већ 1974. године потписан је нови Споразум, којим је дефинисана трајна експлоатација ХЕПС „Ђердап 1" у режиму „69,5/63", која је започела 1977. године. У циљу повећања хидроенергетског потенцијала ХЕПС, од 1985. Године, започела је, у почетку у експерименталном режиму, експлоатација ХЕПС „Ђердап 1" у режиму „69,5 и више".

Сви режими дефинисани су кривама протицаја у дијапазону од малих до екстремно великих вода на контролним профилима код ушћа Нере на Дунаву (km 1076+650) и на брани (km 943+000). У режиму „68/63" („а" на слици 29) хидроелектрана је радила од 1972. до 1976. године. Овај режим подразумева да се за протицаје Дунава мање од 7350 $m^3/s$ на брани одржавају нивои горње воде тако да се на ушћу Нере реализује ниво воде на коти 68,00 mnm, док се при већим протицајима на брани одржава ниво горње воде 63,00 mnm, а на ушћу Нере успоставља природни режим нивоа воде. У режиму „69,5/63" („б" на слици 29) хидроелектрана је радила од 1977. до 1985. године. У овом режиму се за протицаје Дунава мање од 9.750 $m^3/s$ на брани одржавају нивои горње воде тако да се на ушћу Нере реализује ниво воде на коти 69,50 mnm, док се при већим протицајима на брани одржава ниво горње воде 63,00 mnm, а на ушћу Нере успоставља природни режим нивоа воде. У режиму „69,5 и више" („ц" на слици 29) експлоатација је почела 1985. године. Овај режим подразумева одржавање таквих нивоа горње воде на брани да се на ушћу Нере остваре пројектовани нивои и прецизно је дефинисан у Конвенцији из 1998. године.

При реду хидроелектране „Ђердап 1" са нижим котама успора (режими „68/63" и „69.5/63"), негативни утицај успорених водостаја пропагирао се искључиво у приобаљу Дунава, низводно од Београда, да би током даље експлоатације, преласком хидроелектране „Ђердап 1" на више коте успора („69.5 и више") овај негативни утицај обухватио целокупно приобаље Дунава - до Новог Сада, приобаље Саве - до Шапца, приобаље В. Мораве - до Пожаревца и приобаље Тисе до Новог Бечеја.




*Слика 29: Криве протицаја за различите режиме успора на брани и профилу ушћа Нере*

## 8.3. ИСТРАЖИВАЊА ОСМАТРАЊА УТИЦАЈА УСПОРА И ЕФЕКАТА СИСТЕМА ЗАШТИТЕ

Сложена истраживања праћења утицаја успора ХЕ „Ђердап 1" и ефеката рада система заштите представља обавезу дефинисану у добијеној водопривредној сагласности. Још од периода пре изградње ХЕПС „Ђердап 1", а затим и током експлоатације система континуално се обављају детаљна истраживања, мерења и прорачуни утицаја успора ђердапске акумулације, која се могу се поделити на неколико целина:

- **Режим површинских вода.** Истраживања, мерења и прорачуни успорених нивоа вода у акумулацији су вршени континуално од самог почетка експлоатације система. Режим успора Дунава и притока под утицајем успора ХЕ „Ђердап 1" описан је у претходном поглављу. Резултати истраживања режима површинских вода су коришћени као основне подлоге за дефинисање режима експлоатације хидроелектране, анализе утицаја режима експлоатације на режим подземних вода, дренажне системе, привредне објекте и насеља, пловидбу, изграђене системе за одбрану од поплава и леда, енергетске ефекте, временске и просторне варијације нивоа дуж акумулације, високе обале у акумулацији, шуме у форландима и др.

- **Режим подземних вода и рада дренажних система.** Истраживања режима подземних вода обављају се кроз континуално праћење пијезометарских нивоа, још од периода пре успостављања успора ХЕПС „Ђердап 1″. На приобаљу ХЕПС „Ђердап 1″ данас се редовно на око 850 пијезометара прати режим у доњем водоносном слоју у широј зони потенцијално угрожених ниских приобалних подручја (осматрања на 15 дана), док се на око 1.000 пијезометара (изведених дуж заштитних дренажних линија) осматрања врше 4 пута годишње, ради контроле ефикасности дренажних система. Праћење режима подземних вода обавља се и кроз осматрање рада црпних агрегата и нивоа воде у доводним каналима црпних станица. Резултати дугогодишњег осматрања режима подземних вода представљају основну подлогу са анализу утицаја успора хидроелектране на измену режима подземних вода у приобалним мелиоративним подручјима.
- **Режим наноса и морфолошке промене.** Истраживања се спроводе у циљу благовременог предвиђања ефеката засипања акумулације који могу да негативно утичу на производњу енергије, пловидбу, заштиту приобаља и речни екосистем. Последице засипања најнизводнијег сектора акумулације (87 % исталоженог материјала налази се на сектору Дунава између ушћа Нере и бране) су значајне и одликују се кроз повишење нивоа воде - „допунски успор" (за велике воде од 0,8 - 0,9 m на в.с. Голубац и Велико Градиште до 0,4 m у зони ушћа Саве).
- **Утицај успора на квалитет воде и екосредине**. Ова истраживања обављана су пре и након изградње бране ХЕПС „Ђердап 1″, а формирањем успора „69.5 и више“ 1985. започела су систематска истраживања - мерења физичко -хемијских, хидробиолошких и радиолошких параметара воде и наноса четири пута годишње, на пет профила у акумулацији ХЕПС „Ђердап 1″. Истраживања показују да је вода захваљујући великој способности самопречишћавања доброг квалитета (I и II класа вода), уз повремена одступања. Закључено је и да постоји загађење седимената органским и неорганским полутантима

(већина тешко разградљивих). промена природе станишта, опадања кисеоничне сатурације, прозирности воде, промене у саставу и структури ихтиофауне и др.

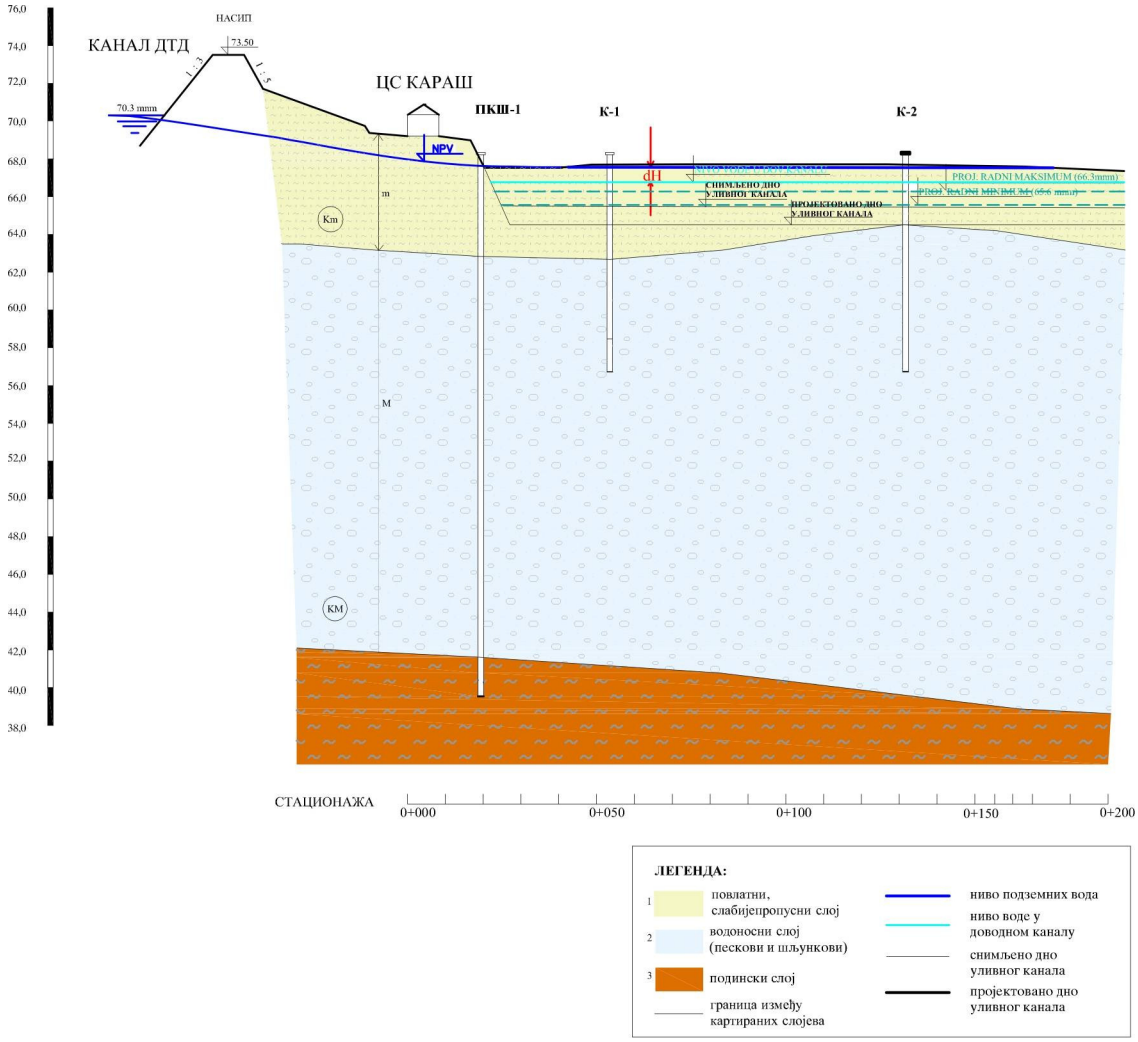
- **Стабилност падина и косина.** Ова истраживања систематски се обављају тек у последњој деценији и по, а резултати истраживања показују да измена режима рада ХЕПС „Ђердап 1", генерално позитивно утиче на стабилност падина (стабилност десне обале може угрозити нагло спуштање нивоа у акумулацији, јер би могло доћи до активирања процеса клизања и одроњавања).
- **Утицај успора на стабилност насипа.** Истраживања се спроводе у циљу праћења актуелног стања насипа, систематизације уочених проблема, измене/допуне критеријума заштите и припреме подлога за успешно спровођења интервентних, санационих и радова на реконструкцији насипа и др.
- **Водно -сони режим и утицај успора на пољопривредну производњу.** Ова истраживања започела су још пре изградње ХЕПС „Ђердап 1″ (1962. године), а резултати показују величину утицаја успора на појаву засољавања земљишта приобаља услед минерализованих подземних вода у активном делу земљишта, односно позитивне ефекте рада изграђених дренажних система за заштиту од успора.
- **Режим леда**. Истраживања везана за одбрану од леда на рекама представљају сегмент укупне одбране од поплава. Систематска осматрања ледених појава и изучавање режима леда на Дунаву и притокама (локалитети рачвања тока, сужења корита, зоне ушћа притока, оштре кривине) обављају се у циљу сагледавања измењених природних услова ледног режима.
- **Утицај успора на шуме у форланду.** Ова истраживања обављају се на 6 сектора акумулације узводно од Панчева, кроз сагледавање промена у шумама тополе и врбе.

# 9. МЕЛИОРАТИВНА ПОДРУЧЈА, НАСЕЉА И ИНДУСТРИЈСКЕ ЗОНЕ У ПРИОБАЉУ ХЕ „ЂЕРДАП 1" И ЊИХОВЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ

## 9.1. ПРИКАЗ МЕЛИОРАТИВНИХ ПОДРУЧЈА, НАСЕЉА И ИНДУСТРИЈСКИХ ЗОНА У ПРИОБАЉУ ХЕ „ЂЕРДАП 1"

Заштита приобалних подручја спровођена је већ у фази пројектовања и изградње ХЕ „Ђердап 1″, углавном за режим успора „68/63". Преласком самог система током експлоатације на више коте успора, обављана је изградња, доградњу и/или реконструкција одбрамбених насипа и обалоутврда и дренажних система за заштиту подручја. До данас, ови системи се непрестано одржавају и по потреби догрђују и реконструишу како би у целини, а не само за актуелни режим успора, обезбедили и деловима других водотока) са црпним станицама (подручја са површинским слабијепропусним слојем мање дебљине, где каналска мрежа својим дном задире у водоносни слој), отворене каналске мреже са самоизливним дренажним бунарима и црпним станицама (подручја са моћним површинским слабијепропусним слојем, где се контакт са водоносним слојем остварује путем самоизливних дренажних бунара) и појединачних специјалних система заштите (хоризонтална цевна дренажа, дренажни колектори, експлоатациони бунари изворишта и др.).

Типски приказ приказ заступљенијих система заштите мелиоративних подручја у приобаљу ХЕ „Ђердап 1" дат је за пример мелиоративног подручја Нера - Канал ДТД на слици 30 .




*Слика 30: Типски приказ система заштите мелиоративних подручја у приобаљу ХЕ „Ђердап 1“ (пример: заштита мелиоративног подручја Нера - Канал ДТД)*

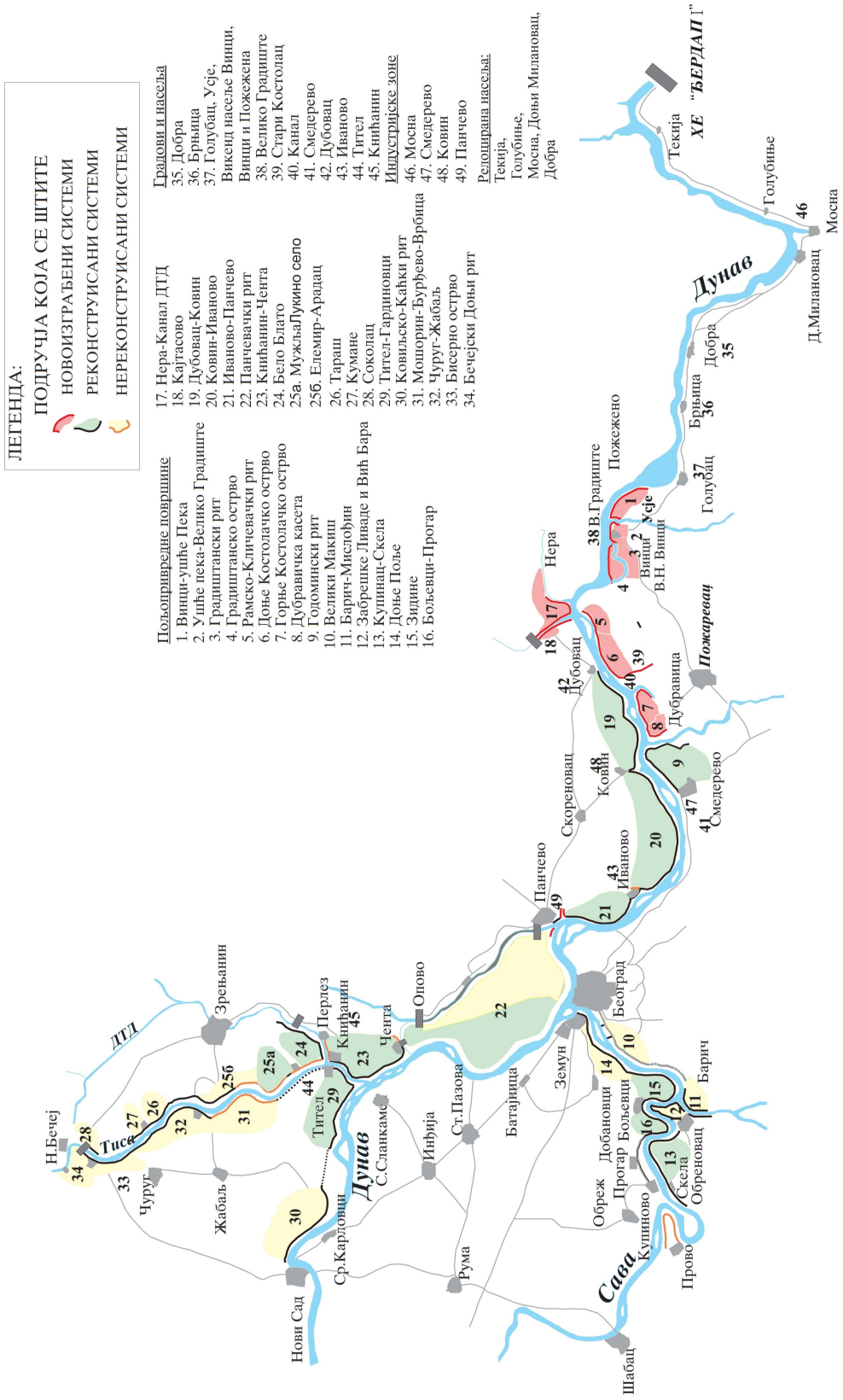
За заштиту мелиоративних подручја у приобаљу ХЕ „Ђердап 1“ усвојен је критеријум залегања нивоа подземних вода од 0,8 - 1,0 m од површине терена.

Примењене хидротехничке мере за заштиту насеља и градова у приобаљу, односно индустријских зона, обухватају углавном израду дренажних бунара са потопљеним пумпама и дренажних колектора са црпним станицама. За заштиту насеља и индустрије у приобаљу усвојен је критеријум залегања нивоа подземних вода од 2.0 m за мања насеља, односно 3.0 m за градове и индустријске зоне.

Системи за заштиту од утицаја успора ХЕ "Ђердап 1" на режим подземних вода, изведени су на следећим деловима приобаља:

- приобаље Дунава:
    - дуж десне обале Дунава (подручја низводно од Београда),
    - дуж леве обале Дунава (подручја низводно од Новог Сада, до ушћа Нере),
- приобаље Саве:
    - дуж десне обале Саве (подручја узводно од Београда),
    - дуж леве обале Саве (подручја узводно од Новог Београда),
- приобаље Тисе:
    - дуж десне обале Тисе (подручја узводно од ушћа у Саву до уставе Нови Бечеј),
    - дуж леве обале Тисе (подручја узводно од ушћа у Саву до уставе Нови Бечеј),
- приобаље В. Мораве:
    - подручја уз ушће у Дунав.

Приказ мелиоративних подручја, насеља и индустријских зона у приобаљу ђердапске акумулације дат је на слици 31 и у табели 13.




*Слика 31: Приказ брањених подручја у приобаљу ђердапске акумулације*

*Табела 13: Приказ брањених мелиоративних подручја, насеља/градова и индустријских зона у приобаљу ХЕ „Ђердап 1“ (у загради дат је редни број подручја са слике 31)*

| река | обала | брањено мелиоративно подручје/ насеље/ индустријска зона | део брањеног мелиоративног подручја/насеља/ индуст. зоне |
|---|---|---|---|
| ДУНАВ | лева | м.п. Нера - Дубовац - Ковин | м.п. Нера - Канал ДТД (17) |
| | | | м.п. Канал ДТД - Дубовац ( -) |
| | | | м.п. Дубовац - Ковин (19) |
| | | м.п. Ковин - Иваново | м.п. Ковин - Иваново (20) |
| | | | индустријска зона Ковин (48) |
| | | м.п. Иваново – Панчево | м.п. Иваново – Панчево (21) |
| | | | насеље Иваново (43) |
| | | | индустријска зона Панчево (49) |
| | | | м.п. Мали Рит (21) |
| | | | насеље Панчево (49) |
| | | м.п. Панчевачки рит (22) | |
| | | м.п. Книћанин - Чента (23) | |
| | | м.п. Тителско - Гардиновачки рит (29) | |
| | | м.п. Ковиљско - Кађки рит (30) | |
| | десна | Насеља низводно од Голупца | Насеље Мосна (46) |
| | | | Насеље Доњи Милановац ( -) |
| | | | Насеље Добра (35) |
| | | | Насеље Брњица (36) |
| | | м.п. Голубац - Велико Градиште са Градиштанским острвом и ритом | Насеље Голубац (37) |
| | | | Насеље Усје (37) |
| | | | Викенд насеље Винци (37) |
| | | | Насеље Винци (37) |
| | | | Насеље Пожежено (37) |
| | | | м.п. Винци - ушће Пека(1) |
| | | | м.п. ушће Пека - В.Градиште(2) |
| | | | Насеље Велико Градиште (38) |
| | | | м.п. Градиштански рит(3) |
| | | | м.п. Градиштанско острво(4) |

| река | обала | брањено мелиоративно подручје/ насеље/ индустријска зона | део брањеног мелиоративног подручја/насеља/ индуст. зоне |
|---|---|---|---|
| ДУНАВ | десна | м.п. Рам - Велика Морава | м.п. Рамско - Кличевачки рит(5) |
| | | | Насеље Кличевац ( -) |
| | | | м.п. Доње Костолачко острво(6) |
| | | | м.п. Десна обала Млаве (39) |
| | | | Насеље Стари Костолац (39) |
| | | | м.п. Ново Насеље Канал (40) |
| | | | м.п. Горње Костолачко острво(7) |
| | | | м.п. Дубравичка касета(8) |
| | | м.п. Смедерево са Годоминским ритом | Насеља Кулич и Шалинац (47) |
| | | | м.п. Годомински Рит (9) |
| | | | Индустријска зона (47) |
| | | | Насеље Смедерево (41) |
| | | | Насеља Гроцка и Винча ( -) |
| САВА | лева | Град Београд(Нови Београд и Земун)( -) | |
| | | м.п. Доње поље - Јаково (14) | |
| | | м.п. Зидине (15) | |
| | | м.п. Бољевци -Прогар (16) | |
| | | м.п. Прогар -Купиново ( -) | |
| | десна | м.п. Великоселски рит ( -) | |
| | | Град Београд ( -) | |
| | | м.п. Велики Макиш (10) | |
| | | Насеље Остружница( 10) | |
| | | м.п. Мали Макиш и насеље Умка (10) | |
| | | м.п. Барич -Мислођин (11) | |
| | | м.п. Вић Бара (12) | |
| | | м.п. Забрешке ливаде са Забрежјем(12) | |
| | | Насеље Обреновац (13) | |
| | | м.п. Бело Поље и Велико Поље(13) | |
| | | м.п. Скела -Бреска (13) | |
| | | м.п. Вукићевица (13) | |

| река | обала | брањено мелиоративно подручје/ насеље/ индустријска зона | део брањеног мелиоративног подручја/насеља/ индуст. зоне |
|---|---|---|---|
| ТИСА | лева | м.п. Книћанин – Чента (23) | Насеље Книћанин (45) |
| | | м.п. Бело Блато (24) | |
| | | м.п. Мужља - Лукино село (25а) | |
| | | м.п. Елемир – Арадац (25б) | |
| | | м.п. Тараш – Кумане (26,27) | |
| | | м.п. Соколац (28) | |
| | десна | Насеље Тител (44) | |
| | | м.п. Тителски Брег - Јегричка (31) | |
| | | м.п. Жабаљско - Чурушки рит (32) | |
| | | м.п. Бисерно Острво (33) | |
| | | м.п. Бечејски Доњи рит (34) | |

У даљем тексту, приказане су карактеристике (географске, геоморфолошке, климатске, хидрографске, хидролошке, геолошке, хидрогеолошке...) и специфичности наведених брањених подручја у приобаљу ХЕ „Ђердап 1“.

## 9.2. КАРАКТЕРИСТИКЕ БРАЊЕНИХ МЕЛИОРАТИВНИХ ПОДРУЧЈА, НАСЕЉА И ИНДУСТРИЈСКИХ ЗОНА У ПРИОБАЉУ ХЕ „ЂЕРДАП 1”

### 9.2.1. Географско - физичке карактеристике подручја

#### 9.2.1.1. Географске карактеристике подручја

Подручје истраживања обухвата приобаље реке Дунав и његових притока Саве, Тисе, Велике Мораве, Тамиша и других мањих притока. При малим водама, проузроковани успор Дунава обухвата приобална подручја на Дунаву до Новог Сада, на Сави од Београда до Шапца на В. Морави 20 km од ушћа у Дунав и на Тиси од Тителa до Новог Бечеја. Изучавана подручја обухватају површину од укупно 1 100 $km^2$. Положај акумулације успора хидроелектране „Ђердап 1“ и брањених подручја у приобаљу приказан је на слици 32.

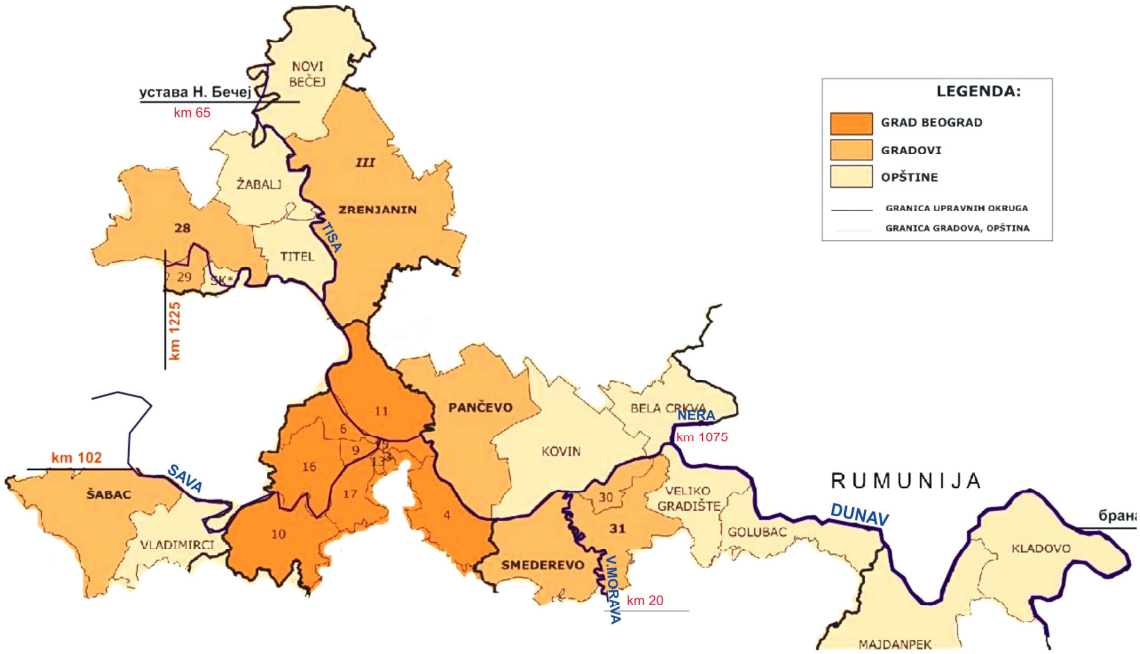



*Слика 32: Положај акумулације успора ХЕ „Ђердап 1“ и брањених подручја у приобаљу*

9.2.1.2. Становништво и намена коришћења подручја

**Становништво.** Приобаље успора хидроелектране „Ђердап 1“ заузима мелиоративна подручја која се простиру на око 30 општина и насеља и градова Републике Србије. Положај приобаља ХЕ „Ђердап 1“ по општинама Републике Србије приказан је на слици 33.

У општинама које се налазе у приобаљу егзистира, према Попису становника из 2011. год., више од 2 милиона људи *(табела 14).* Трећина становништва од овог броја живи у београдским општинама, а две трећине у насељима. Укупан број становника који живи у приобаљу ХЕ „Ђердап 1“, по општинама (према Попису становника из 2011. год.) дат је у табели 10 *(Републички завод за статистику, 2012).*




*Слика 33: Положај приобаља ХЕ „Ђердап 1“ по општинама Републике Србије*

Укупна насељеност у Србији износи 92.6 становника/km$^2$. У Војводини је регистрована већа насељеност (89.4 становника/km$^2$) у односу на регион источне Србије (59.6 становника/km$^2$). Изузетак представља регион Београда где је забележена насељеност од 513.1 становника/km$^2$.

Са друге стране, са демографског аспекта, анализирајући претходна три пописа становништва, регистровано је за две деценије опадање укупног броја становништва у Србији за 7 %. Најмање опадање укупног броја становништва евидентирано је у Војводини (5%), а највеће у региону источне Србије (око 20%). Изузетак представља регион Београда где је забележен пораст укупног броја становништва у Србији од 13% *(Републички завод за статистику, 2012).*

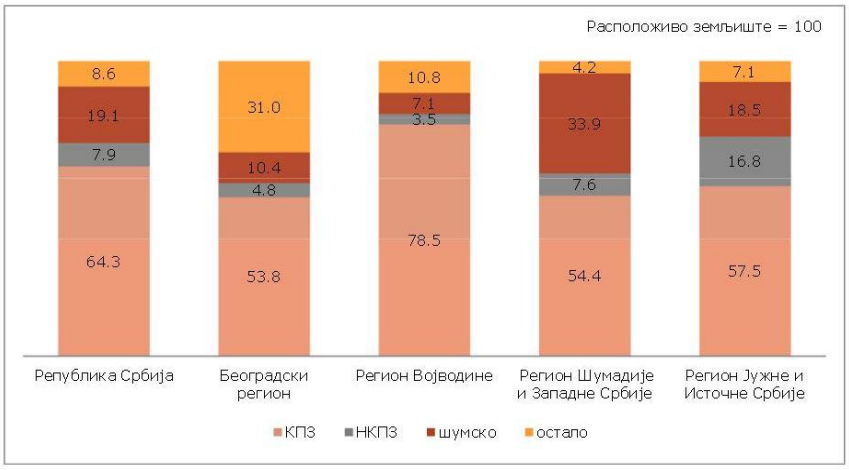
*Табела 14: Укупан број становника у приобаљу ХЕ „Ђердап 1“, по општинама (према Попису становника из 2011. год.)*

| **општина** | | **број становн.** | |
|---|---|---|---|
| **слив Дунава (са Тисом, Тамишем и В. Моравом)** | | | |
| десна обала | | лева обала | |
| Кладово | 20.635 | Бела Црква | 17.367 |
| Мајданпек | 18.686 | Ковин | 33.722 |
| Голубац | 8.331 | Панчево | 123.414 |
| Велико Градиште | 17.610 | Палилула | 173.521 |
| Пожаревац | 61.697 | Зрењанин | 123.362 |
| Костолац | 13.637 | Нови Бечеј | 23.925 |
| Смедерево | 108.209 | Тител | 15.738 |
| Гроцка | 83.907 | Жабаљ | 26.134 |
| Савски венац | 39.122 | Нови Сад | 307.760 |
| Стари град | 48.450 | | |
| Земун | 168.170 | | |
| Сремски Карловци | 8.750 | | |
| Петроварадин | 33.865 | | |
| **слив Саве** | | | |
| десна обала | | лева обала | |
| Нови Београд | 214.506 | Чукарица | 181.231 |
| Сурчин | 43.819 | Обреновац | 72.524 |
| | | Владимирци | 17.462 |
| | | Шабац | 115.884 |
| **УКУПНО** | | **2.121.438** | |

**Намена коришћења подручја.** У приобаљу акумулације Дунава и притока услед утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“ налази се подручје површине 110.000 ha, што представља 1.4% укупне територије Републике Србије Расположиво земљиште у Србији износи 5.346.597 ha, што чини 68.9 % укупне територије Србије (7.759.200 ha). У Војводини расположивост земљишта износи 94.8%, док у региону источне Србије расположивост земљишта износи 44.9%. У региону града Београда расположивост земљишта износи 78.3%. 85 - 90 % овог земљишта представља властито земљиште, док остатак представља закупљено земљиште (узето/дато у закуп). Од укупног расположивог земљишта Републике

Србије 64.3% представља укупно пољопривредно земљиште. У региону Војводине заступљеност укупног пољопривредног земљишта износи 78,5%, а у региону источне Србије 57.5%. У региону Београда ова заступљеност износи 53,8%, уз изузетно мале вредности у самом градском језгру.

Структура коришћења расположивог земљишта у Србији и по регионима, у 2012. год. приказана је на слици 35 *(Шеварлић, 2015)*




*Слика 35: Структура коришћења расположивог земљишта у Србији и по регионима, у 2012.год. (КПЗ - корисно пољопривредно земљиште)*

У приобаљу акумулације Дунава и притока услед утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“ коришћење земљишта је првенствено пољопривредне намене, а свега 15% представљају земљишта стамбене намене (насеља и градови) и индустријске зоне. С тим у вези, критеријум залегања нивоа подземних вода на највећем делу подручја у приобаљу износи 1.0 m , док мањи део подручја у насељима и градовима карактерише критеријум залегања нивоа подземних вода од 2.0 m (насеља), односно 3.0 m од површине терена (градска језгра).

### 9.2.2. Климатске карактеристике подручја

Утицај климатских фактора на формирање режима подземних вода истраживали су бројни аутори, а о њиховом утицају на приобална подручја ђердапске акумулације могу се издвојити истраживања аутора Димкић Д. са

различитим коауторима у којима је овај утицај анализирао на алувијону реке Пек и дао смернице за остала алувијална подручја *(Димкић и др., 2011- 2015).*

Подручје истраживања се одликује умерено континенталним типом климата са мање израженим локалним карактеристикама. Климатске карактеристике су диктиране изложеношћу подручја планинама Србије, Карпата и омеђаним делом Панонније. Локалне специфичности разматраног подручја изазивају три групе утицаја: утицај топографије (вертикални градијенти), утицај подлоге (реке, копно, вегетација) и утицај структуре града (топлотно острво града). За анализу климатских карактеристика изучаваног подручја коришћени су подаци најважнијих званичних метеоролошких станица Хидрометеоролошког завода Србије. Наведеним елементима климе биће у оквиру овог поглавља посвећена посебна пажња, јер ће одређени анализирани параметри даље бити инволвирани у математичке, хидродинамичке моделе којима ће се симулирати струјање подземних вода на подручјима истраживања.

#### 9.2.2.1. Температура ваздуха

Температура ваздуха на подручју истраживања анализирана је према подацима РХМЗ -а са метеоролошких станица Неготин, В. Градиште, Београд, Н. Сад и Зрењанин, за период од 1990 - 2013. год. *(Савезни хидрометеоролошки завод 1985 -1989, Републички хидрометеоролошки завод, 1990 -2013).* Средње месечне и средње годишње температуре ваздуха на метеоролошким станицама Неготин, В. Градиште, Београд, Н. Сад и Зрењанин у табелама 15 - 19.

*Табела 15: Средње месечне и средње годишње температуре ваздуха на метеоролошкој станици Неготин, за период од 1990 - 2013. год.*

| м.с.Неготин | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1990 | -1 | 5.4 | 10.6 | 11.8 | 17 | 20.7 | 23.6 | 22.0 | 16.2 | 11.5 | 7.1 | 0.5 |
| 1991 | 1.6 | -1.6 | 5.6 | 11.2 | 14.6 | 21.4 | 22.6 | 20.8 | 17.3 | 11.3 | 5.3 | -0.7 |
| 1992 | 2.3 | 3.5 | 7.4 | 12.7 | 16.9 | 20.5 | 22.8 | 26.1 | 17.0 | 11.9 | 7.5 | -0.6 |
| 1993 | 0.6 | 0.2 | 5.3 | 11.4 | 18.7 | 22.0 | 23.6 | 23.9 | 17.3 | 13.2 | 0.4 | 0.6 |
| 1994 | 3.0 | 1.7 | 9.3 | 12.6 | 18.0 | 21.2 | 23.9 | 23.4 | 21.0 | 11.0 | 6.9 | 2.1 |
| 1995 | -1.6 | 5.8 | 6.7 | 12.1 | 16.2 | 21.1 | 24.3 | 21.8 | 16.4 | 11.5 | 2.6 | -1.0 |
| 1996 | -2.6 | -2.8 | 1.1 | 11.7 | 19.5 | 22.5 | 23.2 | 23.0 | 14.6 | 12.0 | 7.3 | 0.4 |
| 1997 | -0.9 | 4.5 | 6.6 | 8.5 | 18.0 | 21.5 | 22.2 | 21.5 | 16.2 | 9.5 | 5.3 | 1.5 |
| 1998 | 1.7 | 5.9 | 5.7 | 13.7 | 16.8 | 22.1 | 23.5 | 23.2 | 16.2 | 12.4 | 3.3 | -2.7 |
| 1999 | 1.2 | 2.6 | 8.0 | 12.9 | 17.2 | 21.5 | 23.7 | 23.1 | 19.2 | 12.7 | 4.7 | 1.7 |
| 2000 | -1.1 | 4.6 | 7.9 | 15.0 | 18.8 | 22.8 | 24.0 | 24.7 | 17.1 | 11.9 | 8.0 | 3.2 |
| 2001 | 1.4 | 3.6 | 9.0 | 11.5 | 17.9 | 19.7 | 24.4 | 24.9 | 17.2 | 13.9 | 4.9 | -1.7 |
| 2002 | 1.7 | 7.1 | 9.7 | 11.4 | 19.9 | 23.8 | 25.2 | 22.2 | 17.1 | 11.4 | 6.8 | -1.9 |
| 2003 | -0.1 | -2.6 | 5.5 | 11.1 | 20.3 | 24.2 | 23.9 | 26.0 | 17.0 | 10.1 | 7.1 | 1.5 |
| 2004 | -1.6 | 3.7 | 7.9 | 12.5 | 16.3 | 20.9 | 23.4 | 22.8 | 17.5 | 12.9 | 7.4 | 2.6 |
| 2005 | 2.6 | -2.8 | 5.2 | 11.8 | 18.3 | 20.7 | 23.1 | 21.5 | 17.8 | 11.9 | 4.1 | 2.8 |
| 2006 | -2.3 | 0.2 | 5.9 | 13.2 | 18.2 | 21.2 | 23.8 | 21.9 | 18.4 | 13.1 | 8.2 | 4.1 |
| 2007 | 7.1 | 5.5 | 8.9 | 14.8 | 19.5 | 24.3 | 26.5 | 23.9 | 16.4 | 11.6 | 4.3 | -0.4 |
| 2008 | -1.6 | 4.5 | 9.4 | 13.4 | 18.7 | 22.6 | 23.7 | 24.1 | 16.8 | 12.9 | 7.0 | 2.5 |
| 2009 | -0.3 | 2.1 | 7.4 | 13.2 | 19.4 | 21.7 | 24.4 | 23.5 | 18.8 | 12.4 | 8.3 | 1.6 |
| 2010 | -1.8 | 1.3 | 7.1 | 13.2 | 17.9 | 21.9 | 24.5 | 24.9 | 18.3 | 9.3 | 9.9 | -0.5 |
| 2011 | 0.0 | 0.6 | 4.9 | 12.9 | 17.7 | 22.5 | 23.6 | 24.1 | 21.8 | 11.8 | 2.9 | 3.8 |
| 2012 | 0.7 | -4.2 | 9.6 | 14.4 | 18.1 | 24.4 | 27.2 | 25.7 | 20.8 | 13.7 | 7.9 | -0.7 |
| 2013 | 1.2 | 3.5 | 5.2 | 14.0 | 19.4 | 22.2 | 24.5 | 25.2 | 17.5 | 11.8 | 8.0 | 1.3 |
| Tsr | **0,4** | **2,2** | **7,1** | **12,5** | **18,1** | **22,0** | **24,0** | **23,5** | **17,7** | **11,9** | **6,1** | **0,8** |

*Табела 16: Средње месечне и средње годишње температуре ваздуха на метеоролошкој станици В. Градиште, за период од 1991 - 2013. год.*

| м.с.В. Градиште | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1991 | 0.4 | -1.5 | 7.8 | 10.2 | 13.1 | 19.9 | 21.6 | 19.6 | 17.4 | 11.1 | 6.6 | -2.4 |
| 1992 | -0.7 | 2.0 | 6.7 | 11.6 | 16.7 | 19.6 | 21.3 | 24.8 | 16.6 | 12.0 | 6.5 | -0.1 |
| 1993 | -1.1 | -2.2 | 3.8 | 11.3 | 18.6 | 20.4 | 21.5 | 21.7 | 16.6 | 13.7 | 3.2 | 2.9 |
| 1994 | 3.7 | 2.0 | 8.6 | 12.3 | 17.2 | 19.5 | 22.6 | 22.6 | 20.6 | 10.4 | 5.8 | 1.6 |
| 1995 | -0.8 | 5.2 | 5.9 | 11.2 | 15.6 | 19.4 | 22.9 | 20.2 | 15.2 | 10.4 | 2.6 | 1.1 |
| 1996 | -0.5 | -1.1 | 1.8 | 11.8 | 18.2 | 20.6 | 21.4 | 21.6 | 13.4 | 11.5 | 8.0 | 1.1 |
| 1997 | 0.3 | 2.8 | 4.6 | 7.2 | 17.1 | 20.6 | 20.2 | 19.8 | 14.6 | 8.1 | 7.3 | 2.6 |
| 1998 | 2.4 | 4.2 | 3.8 | 12.9 | 16.0 | 21.3 | 21.9 | 22.0 | 16.1 | 12.5 | 4.0 | -2.8 |
| 1999 | 0.7 | 0.4 | 7.3 | 12.4 | 16.4 | 19.8 | 21.8 | 21.4 | 18.6 | 11.3 | 4.7 | 1.5 |
| 2000 | -2.3 | 3.1 | 6.2 | 15.1 | 17.9 | 21.2 | 22.8 | 24.0 | 17.0 | 13.5 | 10.1 | 3.7 |
| 2001 | 3.1 | 3.8 | 9.9 | 11.3 | 17.8 | 18.2 | 22.6 | 22.9 | 16.0 | 13.7 | 4.0 | -2.6 |
| 2002 | -0.9 | 6.0 | 8.9 | 11.3 | 19.2 | 21.7 | 23.5 | 21.4 | 16.1 | 11.6 | 9.0 | 0.1 |
| 2003 | -0.5 | -2.7 | 5.5 | 10.7 | 20.2 | 23.9 | 22.5 | 24.2 | 16.8 | 9.7 | 8.0 | 2.1 |
| 2004 | -1.9 | 1.3 | 6.6 | 12.9 | 14.8 | 19.8 | 22.3 | 21.2 | 16.1 | 14.0 | 6.5 | 2.7 |
| 2005 | 0.8 | -2.4 | 3.8 | 11.6 | 16.8 | 18.8 | 21.7 | 20.1 | 17.2 | 11.5 | 5.5 | 2.1 |
| 2006 | -1.5 | 0.7 | 5.4 | 12.7 | 16.5 | 19.3 | 23.0 | 20.2 | 17.4 | 12.8 | 7.1 | 2.4 |
| 2007 | 4.7 | 5.5 | 9.0 | 12.1 | 18.3 | 22.3 | 24.5 | 23.1 | 15.1 | 10.9 | 4.9 | 0.6 |
| 2008 | 0.9 | 3.8 | 7.9 | 12.6 | 17.8 | 21.9 | 22.4 | 22.7 | 15.7 | 12.9 | 7.6 | 3.9 |
| 2009 | -0.1 | 1.3 | 6.6 | 14.3 | 17.9 | 20.4 | 22.6 | 22.5 | 18.4 | 11.8 | 8.0 | 3.3 |
| 2010 | 0.4 | 2.9 | 6.8 | 12.5 | 16.9 | 20.6 | 23.0 | 22.4 | 16.8 | 9.8 | 10.8 | 0.6 |
| 2011 | 0.2 | -0.8 | 6.3 | 12.9 | 16.7 | 21.2 | 22.6 | 22.7 | 20.5 | 10.4 | 2.6 | 3.4 |
| 2012 | 0.7 | -4.2 | 7.4 | 13.2 | 16.5 | 22.7 | 25.3 | 22.2 | 19.3 | 12.5 | 9.2 | 0.7 |
| 2013 | 1.9 | 4.0 | 5.4 | 13.2 | 18.5 | 20.3 | 22.8 | 23.7 | 15.5 | 13.4 | 9.4 | 1.9 |
| Tsr | **0,4** | **1,5** | **6,3** | **12,1** | **17,2** | **20,6** | **22,5** | **22,0** | **16,8** | **11,7** | **6,6** | **1,3** |

*Табела 17: Средње месечне и средње годишње температуре ваздуха на метеоролошкој станици Београд, за период од 1990 - 2013. год.*

| м.с.Београд | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1990 | 1.2 | 7.5 | 11.1 | 11.7 | 17.7 | 20.1 | 21.7 | 22.7 | 16.4 | 14.0 | 8.3 | 1.9 |
| 1991 | 1.9 | -0.2 | 9.2 | 11.0 | 13.6 | 21.1 | 22.6 | 21.1 | 18.9 | 11.4 | 7.7 | -1.1 |
| 1992 | 1.7 | 4.2 | 8.2 | 13.0 | 17.9 | 20.6 | 22.8 | 26.8 | 18.6 | 13.1 | 8.2 | 1.2 |
| 1993 | 1.5 | -0.6 | 5.0 | 12.6 | 20.0 | 21.7 | 22.5 | 23.4 | 18.1 | 14.5 | 3.0 | 4.7 |
| 1994 | 4.3 | 3.5 | 10.4 | 12.8 | 18.5 | 21.0 | 24.3 | 24.1 | 21.7 | 11.2 | 7.5 | 3.4 |
| 1995 | 0.6 | 7.9 | 7.1 | 12.6 | 16.8 | 20.5 | 24.8 | 21.6 | 16.6 | 13.4 | 4.2 | 2.2 |
| 1996 | -0.2 | -0.6 | 2.6 | 12.6 | 19.3 | 21.9 | 22.0 | 22.1 | 14.0 | 12.6 | 10.0 | 1.7 |
| 1997 | 0.3 | 5.3 | 6.7 | 8.2 | 18.6 | 21.9 | 21.1 | 20.8 | 17.1 | 9.7 | 7.8 | 4.1 |
| 1998 | 4.6 | 7.0 | 5.4 | 14.4 | 16.8 | 22.8 | 23.7 | 23.5 | 16.8 | 13.7 | 4.9 | -1.6 |
| 1999 | 1.9 | 2.5 | 9.2 | 13.4 | 17.5 | 20.3 | 21.9 | 22.7 | 19.6 | 12.4 | 5.2 | 2.6 |
| 2000 | -1.0 | 5.2 | 8.1 | 16.2 | 19.6 | 23.0 | 23.5 | 25.7 | 17.9 | 14.6 | 11.9 | 5.3 |
| 2001 | 4.2 | 5.4 | 11.8 | 12.0 | 18.3 | 19.0 | 23.0 | 24.0 | 16.1 | 14.8 | 4.7 | -1.9 |
| 2002 | 1.2 | 8.5 | 10.3 | 12.1 | 20.1 | 22.9 | 24.3 | 22.2 | 17.4 | 13.2 | 10.6 | 1.3 |
| 2003 | 0.3 | -2.1 | 7.1 | 12.1 | 21.5 | 25.0 | 23.1 | 25.6 | 17.8 | 10.8 | 9.2 | 2.8 |
| 2004 | -0.3 | 3.6 | 7.7 | 13.1 | 16.0 | 20.6 | 23.1 | 22.0 | 17.2 | 15.1 | 7.6 | 3.7 |
| 2005 | 1.7 | -1.3 | 5.8 | 12.7 | 17.7 | 20.3 | 22.6 | 20.6 | 18.4 | 12.8 | 6.7 | 3.4 |
| 2006 | -0.5 | 1.9 | 6.5 | 13.7 | 17.4 | 20.2 | 24.7 | 20.9 | 19.2 | 15.2 | 8.9 | 4.3 |
| 2007 | 7.6 | 7.2 | 10.2 | 14.9 | 19.5 | 23.8 | 25.8 | 24.2 | 16.2 | 11.8 | 5.2 | 1.1 |
| 2008 | 3.2 | 6.3 | 9.1 | 13.8 | 19.3 | 23.0 | 23.7 | 24.0 | 17.0 | 14.8 | 9.1 | 4.6 |
| 2009 | -0.2 | 2.9 | 7.9 | 15.8 | 19.9 | 21.0 | 24.1 | 24.1 | 20.6 | 13.1 | 9.9 | 4.7 |
| 2010 | 0.6 | 3.7 | 8.2 | 13.5 | 18.1 | 21.3 | 24.4 | 24.1 | 17.8 | 10.6 | 12.2 | 2.5 |
| 2011 | 1.6 | 1.0 | 8.0 | 14.4 | 17.5 | 22.2 | 24.0 | 24.7 | 22.6 | 12.1 | 4.4 | 5.5 |
| 2012 | 2.1 | -3.0 | 10.1 | 14.5 | 17.9 | 24.9 | 27.0 | 26.3 | 21.5 | 14.7 | 10.5 | 2.0 |
| 2013 | 3.3 | 4.6 | 6.6 | 15.0 | 19.1 | 21.4 | 24.5 | 25.3 | 17.2 | 15.3 | 10.1 | 3.2 |
| Tsr | **1,7** | **3,4** | **8,0** | **13,2** | **18,3** | **21,7** | **23,6** | **23,4** | **18,1** | **13,1** | **7,8** | **2,6** |

*Табела 18: Средње месечне и средње годишње температуре ваздуха на метеоролошкој станици Нови Сад, за период од 1991 - 2013. год.*

| м.с.Нови Сад | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1991 | 1.0 | -2.6 | 8.1 | 9.6 | 12.8 | 19.9 | 21.8 | 20.1 | 17.7 | 10.2 | 6.6 | -1.7 |
| 1992 | 1.1 | 3.2 | 6.7 | 12.6 | 17.2 | 20.1 | 22.0 | 25.9 | 17.3 | 11.6 | 7.1 | 0.5 |
| 1993 | -0.2 | -1.9 | 4.3 | 11.2 | 19.0 | 19.9 | 21.5 | 22.0 | 16.6 | 13.1 | 2.3 | 3.3 |
| 1994 | 2.7 | 2.1 | 8.8 | 11.7 | 17.0 | 20.1 | 23.5 | 23.0 | 20.2 | 9.9 | 6.5 | 2.1 |
| 1995 | -0.1 | 6.4 | 5.7 | 11.1 | 15.8 | 19.0 | 23.2 | 20.3 | 15.4 | 12.0 | 3.2 | 1.7 |
| 1996 | -1.1 | -2.4 | 2.2 | 11.6 | 18.1 | 20.6 | 20.0 | 20.7 | 13.0 | 11.6 | 8.5 | 0.5 |
| 1997 | -1.4 | 3.2 | 5.5 | 7.5 | 17.7 | 20.7 | 20.1 | 20.1 | 16.0 | 8.5 | 6.5 | 3.0 |
| 1998 | 3.2 | 5.2 | 4.0 | 13.2 | 16.1 | 21.5 | 21.6 | 21.7 | 15.7 | 12.7 | 4.2 | -3.8 |
| 1999 | 0.8 | 1.7 | 8.0 | 12.7 | 16.9 | 20.1 | 21.2 | 21.3 | 18.9 | 11.6 | 4.1 | 1.1 |
| 2000 | -1.8 | 3.9 | 6.8 | 14.7 | 18.5 | 22.0 | 22.2 | 24.3 | 17.2 | 13.9 | 10.4 | 3.3 |
| 2001 | 3.0 | 4.1 | 10.2 | 10.9 | 17.8 | 18.0 | 21.8 | 22.4 | 15.1 | 14.1 | 3.6 | -3.4 |
| 2002 | 0.2 | 6.7 | 8.6 | 11.1 | 19.1 | 22.0 | 23.5 | 21.5 | 16.4 | 12.1 | 9.5 | 0.5 |
| 2003 | -1.9 | -4.5 | 5.6 | 11.3 | 20.6 | 24.2 | 22.4 | 24.3 | 16.6 | 9.8 | 7.7 | 2.1 |
| 2004 | -1.2 | 2.4 | 6.4 | 12.0 | 15.0 | 19.5 | 22.1 | 21.4 | 15.9 | 13.5 | 6.5 | 2.6 |
| 2005 | 0.1 | -3.7 | 4.3 | 11.8 | 17.2 | 19.4 | 21.4 | 19.5 | 17.3 | 11.6 | 5.3 | 2.1 |
| 2006 | -1.3 | 0.9 | 5.7 | 12.7 | 16.5 | 19.7 | 23.6 | 19.7 | 18.0 | 13.3 | 7.6 | 2.8 |
| 2007 | 6.1 | 5.8 | 8.9 | 13.4 | 18.5 | 22.1 | 23.3 | 22.7 | 14.6 | 10.6 | 3.9 | 0.0 |
| 2008 | 1.9 | 4.8 | 7.9 | 13.0 | 18.4 | 21.9 | 21.7 | 22.2 | 15.7 | 13.2 | 7.9 | 3.7 |
| 2009 | -1.5 | 2.2 | 6.8 | 14.6 | 18.6 | 19.6 | 22.8 | 23.0 | 19.3 | 11.7 | 8.3 | 3.5 |
| 2010 | -0.6 | 1.9 | 6.8 | 12.3 | 17.0 | 20.2 | 23.1 | 21.9 | 16.1 | 9.1 | 9.5 | 0.8 |
| 2011 | 0.1 | -0.2 | 6.0 | 13.2 | 16.8 | 20.9 | 22.1 | 23.0 | 20.4 | 10.7 | 2.8 | 4.2 |
| 2012 | 1.7 | -4.9 | 8.1 | 13.0 | 17.5 | 23.0 | 25.2 | 24.6 | 19.8 | 12.7 | 9.1 | 0.3 |
| 2013 | 2.3 | 3.6 | 5.4 | 13.4 | 17.4 | 20.2 | 22.3 | 22.9 | 15.7 | 13.6 | 8.4 | 1.6 |
| Tsr | **0,6** | **1,6** | **6,6** | **12,1** | **17,4** | **20,6** | **22,3** | **22,1** | **16,9** | **11,8** | **6,5** | **1,3** |

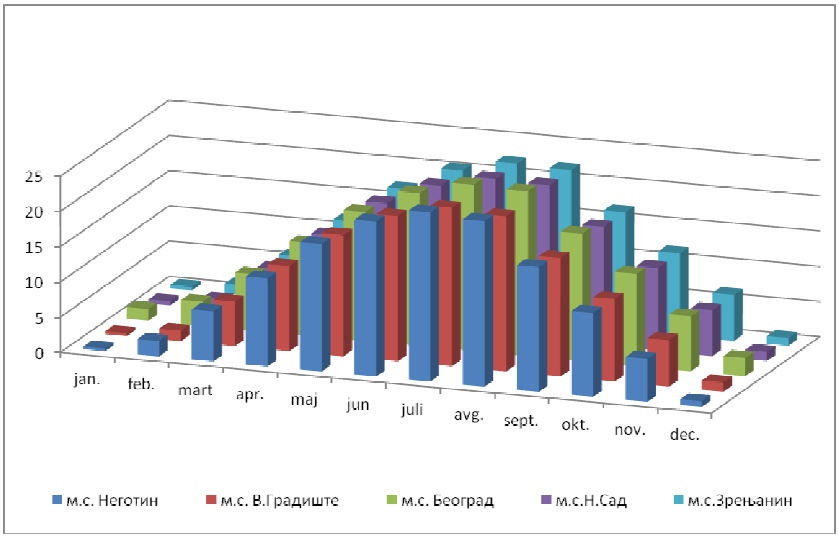
*Табела 19: Средње месечне и средње годишње температуре ваздуха на метеоролошкој станици Зрењанин, за период од 1991 - 2013. год.*

| м.с.Зрењанин | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1991 | 0.8 | -2.0 | 8.3 | 9.9 | 13.2 | 20.3 | 22.1 | 20.0 | 17.5 | 10.6 | 6.9 | -2.1 |
| 1992 | 0.7 | 3.1 | 7.0 | 12.8 | 17.2 | 20.7 | 22.4 | 26.2 | 17.7 | 11.7 | 6.9 | 0.3 |
| 1993 | -0.4 | -2.4 | 4.1 | 11.4 | 19.1 | 20.4 | 21.9 | 22.4 | 15.8 | 13.6 | 2.7 | 3.4 |
| 1994 | 3.2 | 2.6 | 9.0 | 11.9 | 17.4 | 20.5 | 23.6 | 23.1 | 20.7 | 10.3 | 6.1 | 1.8 |
| 1995 | -0.4 | 6.4 | 5.9 | 11.3 | 16.2 | 19.4 | 23.6 | 20.6 | 15.6 | 12.0 | 3.1 | 1.7 |
| 1996 | -2.1 | -3.9 | -2.5 | 7.0 | 13.2 | 16.2 | 16.5 | 16.8 | 9.2 | 7.3 | 5.7 | -1.9 |
| 1997 | -1.2 | 3.1 | 5.1 | 7.6 | 17.4 | 20.7 | 20.2 | 20.2 | 16.0 | 8.7 | 7.0 | 3.2 |
| 1998 | 3.3 | 5.2 | 4.0 | 13.2 | 16.3 | 22.0 | 22.0 | 21.7 | 16.0 | 12.9 | 3.9 | -3.9 |
| 1999 | -0.3 | -2.6 | 3.4 | 8.0 | 12.9 | 15.6 | 17.1 | 17.9 | 14.8 | 8.9 | 2.2 | -0.4 |
| 2000 | -1.8 | 3.9 | 6.8 | 15.1 | 19.0 | 22.1 | 22.3 | 24.5 | 17.3 | 14.4 | 10.7 | 3.5 |
| 2001 | 2.9 | 3.9 | 10.2 | 11.3 | 17.7 | 18.4 | 22.3 | 23.5 | 15.7 | 14.2 | 3.6 | -3.1 |
| 2002 | 0.5 | 6.8 | 8.7 | 11.4 | 20.0 | 22.3 | 24.2 | 22.0 | 16.5 | 12.0 | 9.6 | 0.3 |
| 2003 | -2.0 | -4.3 | 5.6 | 11.2 | 21.0 | 24.4 | 22.8 | 24.8 | 17.0 | 9.5 | 7.8 | 2.0 |
| 2004 | -1.4 | 2.1 | 6.5 | 12.3 | 15.4 | 19.7 | 22.4 | 21.5 | 16.0 | 13.9 | 6.5 | 2.6 |
| 2005 | 0.6 | -3.7 | 4.2 | 11.9 | 17.3 | 19.6 | 22.0 | 19.9 | 17.6 | 11.8 | 5.4 | 2.0 |
| 2006 | -1.3 | 0.6 | 5.7 | 13.1 | 16.6 | 19.9 | 23.7 | 20.1 | 18.3 | 13.7 | 7.8 | 2.9 |
| 2007 | 6.2 | 5.9 | 9.1 | 12.9 | 18.7 | 22.7 | 24.0 | 23.5 | 14.9 | 10.7 | 4.7 | 0.2 |
| 2008 | 1.6 | 5.0 | 7.9 | 13.1 | 18.4 | 22.3 | 22.5 | 23.1 | 16.6 | 13.4 | 8.1 | 3.7 |
| 2009 | -1.4 | 2.3 | 6.9 | 15.0 | 18.8 | 20.2 | 23.3 | 23.2 | 19.7 | 12.0 | 8.5 | 3.4 |
| 2010 | -0.3 | 2.4 | 7.0 | 12.5 | 17.1 | 20.8 | 23.5 | 22.2 | 16.4 | 9.4 | 10.3 | 0.9 |
| 2011 | -0.1 | -0.2 | 6.2 | 13.1 | 16.9 | 21.3 | 22.5 | 23.3 | 20.7 | 10.5 | 2.9 | 3.7 |
| 2012 | 1.5 | -5.0 | 7.6 | 13.3 | 17.2 | 23.3 | 25.5 | 24.4 | 20.3 | 12.9 | 9.2 | 0.2 |
| 2013 | 2.0 | 3.7 | 5.4 | 13.4 | 17.8 | 20.4 | 22.7 | 23.5 | 15.7 | 13.9 | 8.8 | 2.0 |
| Tsr | **0,5** | **1,4** | **6,2** | **11,9** | **17,2** | **20,6** | **22,3** | **22,1** | **16,8** | **11,7** | **6,5** | **1,1** |

Просечна годишња температура ваздуха измерена на метеоролошким станицама с Неготин, В. Градиште, Београд, Н. Сад и Зрењанин износила је 12.2°C, 11.6°C, 12.9°C, 11.7°C, 11.5°C, за период 1990 - 2013. год. Најхладнији је месец јануар са просечним температурама од 0,4°C (Неготин), 0,4°C (В. Градиште), 1,7°C (Београд), 0,6°C (Н. Сад) и 0,5°C (Зрењанин), а најтоплији месец је месец јул са 24.0°C (Неготин), 22,5°C (В. Градиште), 23.6°C (Београд), 22,3°C (Н. Сад) и 22,3°C (Зрењанин). Средње месечне температуре ваздуха са метеоролошких станица Неготин, В. Градиште, Београд, Н. Сад и Зрењанин приказане су у табели 20 и на слици 36.

*Табела 20: Просечне месечне температуре на м.с Неготин, В. Градиште, Београд, Н. Сад и Зрењанин (1990 - 2013. год.)*

| | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | **просечна годишња** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **температура ваздуха (°C)** | м.с. Неготин | 0,4 | 2,2 | 7,1 | 12,5 | 18,1 | 22,0 | 24,0 | 23,5 | 17,7 | 11,9 | 6,1 | 0,8 | **12,2** |
| | м.с. В.Градиште | 0,4 | 1,5 | 6,3 | 12,1 | 17,2 | 20,6 | 22,5 | 22,0 | 16,8 | 11,7 | 6,6 | 1,3 | **11,6** |
| | м.с. Београд | 1,7 | 3,4 | 8,0 | 13,2 | 18,3 | 21,7 | 23,6 | 23,4 | 18,1 | 13,1 | 7,8 | 2,6 | **12,9** |
| | м.с. Н.Сад | 0,6 | 1,6 | 6,6 | 12,1 | 17,4 | 20,6 | 22,3 | 22,1 | 16,9 | 11,8 | 6,5 | 1,3 | **11,7** |
| | м.с. Зрењанин | 0,5 | 1,4 | 6,2 | 11,9 | 17,2 | 20,6 | 22,3 | 22,1 | 16,8 | 11,7 | 6,5 | 1,1 | **11,5** |




*Слика 36: Упоредни приказ просечних месечних температура температуре на м.с Неготин, В. Градиште, Београд, Н. Сад и Зрењанин (1990 - 2013. год.)*

#### 9.2.2.2. Падавине

Падавине су климатски елемент чије се вредности могу изразито мењати на малом растојању, а такође и јако варирају од године до године. Са друге стране, утицај топографије је врло јасан - количине падавина се повећавају са надморском висином услед уздизања ваздушних струја, хлађења ваздуха и кондензације водене паре *(Bonacci, 1994).* Подручје истраживања се налази углавном на заравњеном подручју, са котама терена у интервалу око 70 -75 mnm.

Количина падавина на подручју истраживања је анализирана према подацима РХМЗ -а са метеоролошких станица Неготин, В. Градиште, Београд, Н. Сад и Зрењанин, за период од 1990 - 2013. год. *(СХМЗ, 1985 -1989, РХМЗ, 1990 - 2013).* Средње месечне и средње годишње суме падавина на овим метеоролошким станицама дате су у табелама 21 - 25, а просечне месечне суме падавина приказане су у табели 26 и на слици 37.

*Табела 21: Средње месечне и средње суме падавина на метеоролошкој станици Неготин, за период од 1990 - 2013. год.*

| м.с.Неготин | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1990 | 8.7 | 31.5 | 16.4 | 67.0 | 43.4 | 17.8 | 12.3 | 38.8 | 13.5 | 47.0 | 7.8 | 175.0 |
| 1991 | 12.1 | 73.4 | 66.4 | 52.4 | 66.0 | 77.8 | 110.8 | 65.8 | 2.1 | 39.0 | 61.9 | 25.4 |
| 1992 | 9.7 | 7.5 | 3.5 | 65.0 | 36.8 | 76.7 | 19.9 | 0.4 | 5.5 | 53.5 | 24.3 | 64.9 |
| 1993 | 25.4 | 8.1 | 76.8 | 26.0 | 46.3 | 28.2 | 3.1 | 33.1 | 39.1 | 20.1 | 123.8 | 47.8 |
| 1994 | 41.9 | 23.6 | 3.2 | 68.3 | 41.4 | 49.3 | 68.2 | 21.1 | 35.3 | 76.5 | 28.9 | 71.1 |
| 1995 | 66.6 | 16.6 | 31.4 | 39.8 | 57.5 | 139.8 | 51.1 | 28.1 | 64.5 | 5.3 | 16.7 | 136.6 |
| 1996 | 61.2 | 47.3 | 82.6 | 20.3 | 58.7 | 2.6 | 2.1 | 35.6 | 100.5 | 6.1 | 70.6 | 121.4 |
| 1997 | 37.7 | 12.7 | 49.5 | 55.3 | 23.5 | 55.1 | 63.6 | 73.5 | 15.7 | 66.5 | 15.8 | 102.9 |
| 1998 | 97.9 | 20.0 | 4.8 | 69.1 | 65.8 | 32.0 | 41.4 | 32.2 | 123.4 | 68.9 | 74.7 | 12.2 |
| 1999 | 29.6 | 9.5 | 22.0 | 87.1 | 45.1 | 90.8 | 89.4 | 7.0 | 33.0 | 64.0 | 104.7 | 76.7 |
| 2000 | 34.2 | 14.1 | 5.6 | 62.1 | 37.3 | 9.8 | 63.2 | 3.2 | 75.7 | 2.9 | 21.1 | 21.4 |
| 2001 | 20.8 | 30.9 | 61.5 | 55.4 | 43.5 | 84.8 | 41.5 | 26.0 | 86.5 | 9.0 | 36.6 | 6.3 |
| 2002 | 9.7 | 1.8 | 6.1 | 45.8 | 37.7 | 55.9 | 112.3 | 117.0 | 99.5 | 95.9 | 32.8 | 137.3 |
| 2003 | 71.7 | 23.7 | 5.2 | 86.6 | 142.0 | 15.2 | 51.4 | 0.3 | 64.7 | 111.1 | 46.4 | 47.5 |
| 2004 | 83.6 | 71.2 | 34.1 | 37.2 | 35.8 | 154.8 | 12.4 | 30.2 | 32.7 | 53.0 | 72.3 | 23.9 |
| 2005 | 81.7 | 73.7 | 31.3 | 75.6 | 62.7 | 17.3 | 114.7 | 187.5 | 49.9 | 32.1 | 71.6 | 69.2 |
| 2006 | 50.4 | 88.1 | 79.9 | 51.6 | 9.2 | 131.7 | 83.5 | 77.7 | 20.1 | 11.1 | 13.5 | 40.6 |
| 2007 | 24.4 | 33.9 | 41.8 | 0.0 | 67.4 | 22.6 | 2.3 | 89.3 | 25.9 | 150.6 | 124.4 | 27.8 |
| 2008 | 45.0 | 8.0 | 30.0 | 40.8 | 19.2 | 71.3 | 84.5 | 12.1 | 98.7 | 37.1 | 26.9 | 163.4 |
| 2009 | 63.1 | 56.4 | 58.4 | 10.8 | 21.1 | 108.7 | 43.3 | 61.9 | 22.7 | 91.7 | 110.1 | 131.6 |
| 2010 | 52.6 | 104.2 | 62.9 | 68.3 | 31.6 | 95.0 | 19.8 | 12.7 | 28.6 | 141.5 | 35.9 | 84.0 |
| 2011 | 39.6 | 82.9 | 44.6 | 9.2 | 24.2 | 27.6 | 79.0 | 3.2 | 4.7 | 15.0 | 1.0 | 21.4 |
| 2012 | 57.2 | 63.7 | 0.5 | 64.8 | 108.3 | 31.0 | 27.0 | 1.2 | 6.8 | 45.3 | 37.0 | 89.7 |
| 2013 | 37.3 | 171.3 | 72.9 | 37.5 | 75.2 | 43.9 | 23.3 | 18.0 | 82.6 | 63.9 | 70.8 | 3.4 |
| ∑P | 44.3 | 44.8 | 37.1 | 49.8 | 50.0 | 60.0 | 50.8 | 40.7 | 47.2 | 54.5 | 51.2 | 70.9 |

*Табела 22: Средње месечне и средње суме падавина на метеоролошкој станици Велико Градиште, за период од 1991 - 2013. год.*

| м.с.В. Градиште | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1991 | 9.0 | 23.5 | 38.4 | 36.4 | 84.6 | 76.1 | 123.1 | 136.1 | 16.6 | 78.7 | 44.5 | 34.1 |
| 1992 | 16.7 | 34.9 | 15.0 | 64.9 | 15.3 | 144.5 | 49.9 | 13.2 | 66.9 | 134.4 | 77.6 | 18.2 |
| 1993 | 15.6 | 17.0 | 58.4 | 37.4 | 22.4 | 32.4 | 27.0 | 55.4 | 69.4 | 10.9 | 45.5 | 78.8 |
| 1994 | 31.3 | 8.2 | 16.8 | 57.8 | 45.7 | 102.4 | 63.9 | 51.5 | 35.1 | 64.5 | 10.0 | 34.4 |
| 1995 | 68.3 | 34.2 | 27.8 | 72.4 | 64.5 | 111.3 | 43.9 | 67.1 | 90.6 | 2.3 | 54.8 | 76.1 |
| 1996 | 34.4 | 50.7 | 38.1 | 42.8 | 130.0 | 19.8 | 20.4 | 66.3 | 111.8 | 21.3 | 32.6 | 66.1 |
| 1997 | 24.1 | 41.2 | 18.6 | 97.8 | 45.1 | 54.5 | 228.2 | 100.6 | 46.2 | 105.1 | 19.2 | 56.4 |
| 1998 | 39.1 | 2.9 | 10.0 | 58.9 | 62.7 | 74.4 | 50.7 | 32.9 | 95.2 | 78.2 | 53.2 | 20.7 |
| 1999 | 39.3 | 116.6 | 20.9 | 84.5 | 79.2 | 91.2 | 139.0 | 7.2 | 48.3 | 17.8 | 34.0 | 117.6 |
| 2000 | 36.6 | 33.5 | 36.2 | 70.1 | 61.7 | 12.9 | 10.9 | 16.5 | 55.3 | 2.1 | 12.9 | 42.2 |
| 2001 | 34.4 | 21.1 | 71.7 | 108.0 | 54.2 | 225.7 | 31.4 | 43.8 | 199.9 | 14.1 | 60.1 | 16.8 |
| 2002 | 16.6 | 9.0 | 21.8 | 24.2 | 44.1 | 122.5 | 100.7 | 43.2 | 69.4 | 66.7 | 48.6 | 46.5 |
| 2003 | 58.0 | 18.6 | 10.9 | 44.3 | 27.5 | 14.0 | 109.7 | 0.2 | 67.2 | 158.2 | 27.9 | 22.2 |
| 2004 | 74.1 | 56.9 | 19.8 | 55.4 | 38.3 | 63.0 | 51.0 | 54.8 | 49.6 | 36.0 | 159.7 | 33.2 |
| 2005 | 38.6 | 89.2 | 40.7 | 122.7 | 65.9 | 55.3 | 96.7 | 132.7 | 38.7 | 31.6 | 27.1 | 83.7 |
| 2006 | 30.7 | 52.9 | 72.9 | 93.0 | 21.4 | 107.6 | 41.0 | 125.9 | 21.8 | 12.3 | 54.5 | 53.7 |
| 2007 | 87.5 | 59.2 | 68.9 | 6.0 | 104.4 | 40.7 | 12.8 | 47.2 | 74.7 | 84.9 | 82.2 | 30.5 |
| 2008 | 47.0 | 13.9 | 70.5 | 60.9 | 15.6 | 30.1 | 46.5 | 43.4 | 73.9 | 47.7 | 36.3 | 60.1 |
| 2009 | 67.5 | 104.4 | 63.4 | 11.7 | 57.9 | 100.8 | 23.1 | 42.3 | 42.4 | 117.7 | 90.5 | 75.2 |
| 2010 | 57.0 | 90.0 | 24.3 | 61.8 | 119.3 | 96.4 | 50.7 | 29.4 | 35.9 | 45.6 | 35.5 | 62.4 |
| 2011 | 44.8 | 36.1 | 21.1 | 28.1 | 29.5 | 26.6 | 102.5 | 6.7 | 18.0 | 20.0 | 0.0 | 54.2 |
| 2012 | 71.7 | 61.7 | 16.0 | 104.4 | 144.2 | 8.3 | 186.8 | 5.0 | 29.3 | 61.4 | 27.3 | 75.7 |
| 2013 | 65.7 | 39.3 | 123.7 | 49.1 | 86.3 | 32.8 | 35.6 | 27.6 | 69.1 | 43.5 | 63.1 | 13.7 |
| ∑P | 43.8 | 44.1 | 39.4 | 60.5 | 61.7 | 71.4 | 71.5 | 50.0 | 62.0 | 54.6 | 47.7 | 51.0 |

*Табела 23: Средње месечне и средње суме падавина на метеоролошкој станици Београд, за период од 1990 - 2013. год.*

| м.с.Београд | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1990 | 4.6 | 43.5 | 25.9 | 60.5 | 13.9 | 96.5 | 24.9 | 16.4 | 29.5 | 59.0 | 34.3 | 86.2 |
| 1991 | 20.2 | 11.2 | 63.7 | 51.3 | 94.9 | 86.3 | 143.1 | 32.8 | 25.8 | 84.2 | 62.7 | 31.7 |
| 1992 | 7.6 | 33.8 | 6.9 | 58.8 | 19.4 | 180.0 | 43.8 | 24.3 | 28.2 | 90.5 | 61.7 | 34.8 |
| 1993 | 21.9 | 31.8 | 77.1 | 26.7 | 12.8 | 50.4 | 56.9 | 24.5 | 51.5 | 18.8 | 77.8 | 88.9 |
| 1994 | 40.4 | 23.0 | 27.7 | 64.6 | 41.4 | 212.2 | 46.1 | 90.5 | 29.5 | 37.9 | 25.9 | 34.4 |
| 1995 | 82.2 | 45.9 | 43.9 | 61.0 | 83.6 | 64.7 | 33.7 | 69.2 | 92.6 | 0.3 | 57.0 | 67.1 |
| 1996 | 42.6 | 62.2 | 41.2 | 52.3 | 108.0 | 57.1 | 35.5 | 66.6 | 107.7 | 37.1 | 77.7 | 100.8 |
| 1997 | 31.7 | 49.2 | 11.4 | 88.1 | 51.6 | 31.7 | 126.1 | 108.4 | 30.4 | 106.7 | 30.8 | 80.6 |
| 1998 | 70.6 | 2.3 | 19.3 | 30.7 | 55.2 | 63.4 | 32.2 | 45.4 | 92.6 | 89.6 | 52.2 | 31.0 |
| 1999 | 51.1 | 63.3 | 16.9 | 73.2 | 60.9 | 142.4 | 262.5 | 12.9 | 85.4 | 56.2 | 73.2 | 153.2 |
| 2000 | 27.3 | 28.3 | 30.3 | 41.9 | 34.5 | 19.1 | 29.3 | 7.8 | 70.7 | 16.6 | 20.7 | 41.2 |
| 2001 | 35.3 | 27.2 | 65.6 | 157.9 | 47.0 | 186.0 | 19.7 | 56.7 | 183.7 | 16.7 | 63.4 | 33.9 |
| 2002 | 15.1 | 14.0 | 14.8 | 53.7 | 20.9 | 79.6 | 60.7 | 106.8 | 51.9 | 88.3 | 35.8 | 52.8 |
| 2003 | 62.9 | 26.5 | 11.4 | 23.1 | 39.5 | 33.4 | 111.8 | 6.4 | 57.6 | 115.2 | 23.4 | 36.7 |
| 2004 | 93.5 | 29.4 | 18.9 | 71.7 | 63.3 | 113.8 | 94.6 | 89.3 | 45.0 | 32.9 | 129.5 | 50.3 |
| 2005 | 52.2 | 84.2 | 33.9 | 54.7 | 47.4 | 95.1 | 91.4 | 144.3 | 54.1 | 28.6 | 23.5 | 78.8 |
| 2006 | 43.2 | 59.1 | 104.4 | 97.0 | 42.3 | 137.8 | 23.3 | 120.6 | 24.3 | 20.9 | 24.5 | 51.9 |
| 2007 | 49.3 | 56.0 | 99.6 | 3.8 | 79.0 | 107.6 | 17.5 | 72.5 | 84.1 | 103.6 | 131.5 | |
| 2008 | 44.6 | 8.3 | 79.7 | 34.9 | 60.6 | 43.3 | 53.0 | 45.6 | 68.5 | 18.4 | 51.0 | 79.0 |
| 2009 | 55.1 | 85.2 | 64.9 | 6.1 | 34.7 | 151.0 | 80.0 | 44.5 | 3.9 | 98.9 | 59.5 | 120.6 |
| 2010 | 91.6 | 112.8 | 47.2 | 43.7 | 86.4 | 181.7 | 41.4 | 53.5 | 51.8 | 48.8 | 45.2 | 61.4 |
| 2011 | 47.8 | 55.6 | 27.9 | 14.1 | 66.8 | 41.1 | 95.0 | 14.0 | 47.7 | 36.1 | 5.0 | 48.0 |
| 2012 | 87.2 | 61.5 | 2.4 | 66.9 | 127.9 | 16.0 | 39.0 | 4.5 | 30.7 | 44.9 | 28.1 | 55.1 |
| 2013 | 76.9 | 53.4 | 95.4 | 21.3 | 104.4 | 50.1 | 2.9 | 44.3 | 58.7 | 52.0 | 40.0 | 7.9 |
| ∑P | 48.1 | 44.5 | 42.9 | 52.4 | 58.2 | 93.3 | 65.2 | 54.2 | 58.6 | 54.3 | 51.4 | 59.4 |

*Табела 24: Средње месечне и средње суме падавина на метеоролошкој станици Нови Сад, за период од 1991 - 2013. год.*

| м.с.Нови Сад | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1991 | 15.1 | 23.3 | 46.9 | 46.9 | 76.5 | 71.5 | 192.9 | 47.4 | 35.7 | 110.7 | 75.4 | 20.7 |
| 1992 | 7 | 22.2 | 4.5 | 30.9 | 39.0 | 106.1 | 21.6 | 0.2 | 32.1 | 142.6 | 84.9 | 43.9 |
| 1993 | 15.3 | 5.3 | 52.9 | 30.1 | 39.4 | 40.2 | 41.6 | 35.7 | 38.2 | 19.6 | 68.2 | 87.4 |
| 1994 | 41.4 | 33.6 | 31.8 | 53.5 | 71.1 | 101.4 | 31.8 | 44.7 | 42.6 | 58.5 | 25.4 | 33.5 |
| 1995 | 75.1 | 51.3 | 42.8 | 54.0 | 85.0 | 108.8 | 40.5 | 75.9 | 101.8 | 0.6 | 39.6 | 64.2 |
| 1996 | 46.3 | 34.5 | 29.8 | 25.2 | 90.0 | 79.1 | 83.9 | 112.8 | 119.2 | 33.1 | 94.5 | 65.9 |
| 1997 | 44.1 | 46.6 | 32.2 | 75.2 | 17.7 | 62.0 | 123.2 | 124.6 | 30.3 | 92.2 | 34.6 | 81.7 |
| 1998 | 67.5 | 0.9 | 22.6 | 39.8 | 64.1 | 103.7 | 123.8 | 82.3 | 76.9 | 79.0 | 66.5 | 27.9 |
| 1999 | 42.2 | 47.8 | 11.1 | 61.2 | 76.2 | 91.0 | 209.1 | 28.2 | 76.9 | 52.4 | 103.8 | 138.5 |
| 2000 | 15.7 | 8.1 | 31.7 | 24.6 | 40.4 | 31.5 | 29.7 | 6.4 | 15.5 | 6.9 | 23.4 | 53.9 |
| 2001 | 38.4 | 28.6 | 75.9 | 156.0 | 78.6 | 237.4 | 80.4 | 29.5 | 160.1 | 14.7 | 71.4 | 27.6 |
| 2002 | 7.5 | 28.4 | 10.1 | 30.4 | 84.7 | 27.5 | 35.0 | 53.8 | 47.5 | 91.7 | 23.7 | 41.6 |
| 2003 | 49.2 | 21.5 | 8.9 | 9.2 | 21.9 | 30.7 | 61.5 | 30.4 | 83.3 | 142.3 | 29.0 | 21.3 |
| 2004 | 53.4 | 43.3 | 17.8 | 118.6 | 87.9 | 97.4 | 65.1 | 39.3 | 50.1 | 86.1 | 142.9 | 33.8 |
| 2005 | 30.2 | 41.6 | 40.1 | 33.0 | 38.1 | 135.8 | 122.5 | 133.9 | 67.0 | 7.1 | 19.6 | 66.5 |
| 2006 | 30.5 | 43.5 | 72.5 | 66.0 | 70.1 | 104.3 | 30.9 | 124.9 | 23.8 | 17.6 | 17.1 | 39.8 |
| 2007 | 47.7 | 50.7 | 78.8 | 0.0 | 99.4 | 71.1 | 38.8 | 79.6 | 78.8 | 101.4 | 119.5 | 32.8 |
| 2008 | 25.4 | 7.6 | 42.8 | 21.9 | 46.2 | 115.9 | 41.6 | 14.0 | 93.6 | 18.4 | 57.5 | 43.1 |
| 2009 | 81.6 | 47.3 | 34.6 | 3.6 | 50.4 | 127.2 | 116.2 | 19.1 | 13.1 | 81.9 | 126.2 | 97.4 |
| 2010 | 76.0 | 65.7 | 38.7 | 63.7 | 113.7 | 171.8 | 99.0 | 168.5 | 67.7 | 66.6 | 46.5 | 64.0 |
| 2011 | 25.2 | 36.7 | 26.2 | 22.8 | 63.0 | 36.9 | 61.5 | 1.5 | 25.4 | 34.5 | 1.5 | 49.4 |
| 2012 | 44.9 | 66.3 | 4.1 | 82.8 | 52.2 | 27.5 | 47.7 | 3.5 | 13.1 | 51.4 | 35.3 | 56.3 |
| 2013 | 60.5 | 47.2 | 73.0 | 35.8 | 118.1 | 125.7 | 34.1 | 26.7 | 107.8 | 66.2 | 41.0 | 1.3 |
| ∑P | 40.9 | 34.9 | 36.1 | 47.2 | 66.2 | 91.5 | 75.3 | 55.8 | 60.9 | 59.8 | 58.6 | 51.8 |

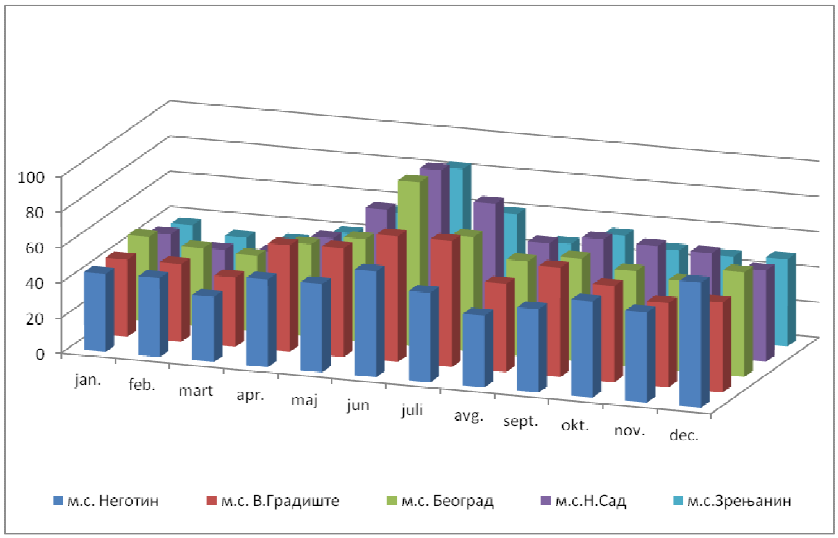
*Табела 25: Средње месечне и средње суме падавина на метеоролошкој станици Зрењанин, за период од 1991 - 2013. год.*

| м.с.Зрењанин | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1991 | 12.5 | 15.5 | 41.8 | 52.5 | 101.5 | 72.9 | 150.2 | 77.0 | 23.8 | 86.0 | 68.6 | 13.6 |
| 1992 | 5 | 18.7 | 1.8 | 25.1 | 26.0 | 85.4 | 19.8 | 16.7 | 31.7 | 138.4 | 66.1 | 46.9 |
| 1993 | 12.4 | 7.2 | 51.5 | 26.6 | 22.9 | 44.1 | 28.1 | 29.7 | 26.1 | 16.3 | 51.9 | 69.0 |
| 1994 | 40.5 | 29.8 | 15.8 | 54.9 | 31.3 | 78.5 | 38.5 | 52.8 | 27.8 | 42.2 | 16.7 | 37.7 |
| 1995 | 61.6 | 43.9 | 40.0 | 56.1 | 80.3 | 162.1 | 58.9 | 37.0 | 101.4 | 0.8 | 29.2 | 69.1 |
| 1996 | 45.0 | 31.7 | 29.7 | 33.5 | 97.1 | 104.9 | 30.1 | 72.8 | 92.6 | 27.7 | 92.0 | 87.5 |
| 1997 | 42.3 | 30.8 | 29.4 | 75.6 | 38.5 | 66.8 | 89.3 | 82.0 | 25.2 | 71.9 | 19.7 | 63.1 |
| 1998 | 58.9 | 0.8 | 12.0 | 37.9 | 53.8 | 47.8 | 114.9 | 30.7 | 63.4 | 63.2 | 47.9 | 13.8 |
| 1999 | 43.6 | 55.8 | 9.6 | 46.1 | 55.4 | 154.7 | 188.5 | 30.5 | 57.8 | 32.8 | 85.6 | 124.2 |
| 2000 | 18.4 | 6.5 | 42.9 | 28.7 | 23.1 | 49.1 | 13.6 | 0.6 | 29.3 | 3.7 | 18.5 | 44.1 |
| 2001 | 32.7 | 22.2 | 52.0 | 97.0 | 58.8 | 131.0 | 27.2 | 14.8 | 185.3 | 11.5 | 58.5 | 16.4 |
| 2002 | 5.4 | 16.9 | 3.7 | 14.5 | 42.4 | 37.3 | 34.3 | 70.9 | 44.6 | 67.8 | 16.6 | 56.0 |
| 2003 | 55.5 | 13.5 | 9.6 | 19.1 | 19.0 | 32.3 | 74.1 | 4.2 | 117.8 | 97.0 | 33.0 | 21.5 |
| 2004 | 46.1 | 44.7 | 24.9 | 75.1 | 63.6 | 80.1 | 64.2 | 31.0 | 43.4 | 61.3 | 134.6 | 42.6 |
| 2005 | 30.6 | 57.9 | 27.8 | 52.7 | 38.7 | 81.3 | 101.7 | 146.2 | 50.7 | 13.2 | 17.1 | 67.0 |
| 2006 | 40.1 | 50.9 | 58.4 | 62.0 | 40.3 | 94.5 | 31.1 | 99.9 | 10.2 | 27.9 | 26.5 | 35.6 |
| 2007 | 28.7 | 56.3 | 98.2 | 9.8 | 72.1 | 92.6 | 30.6 | 38.9 | 64.3 | 95.3 | 102.1 | 23.9 |
| 2008 | 16.7 | 5.2 | 53.1 | 26.9 | 30.9 | 66.9 | 27.2 | 10.9 | 65.2 | 13.3 | 53.7 | 50.5 |
| 2009 | 50.9 | 36.9 | 34.9 | 2.5 | 46.6 | 124.5 | 79.1 | 24.7 | 11.2 | 68.0 | 65.2 | 86.1 |
| 2010 | 66.2 | 69.6 | 26.5 | 43.2 | 162.1 | 139.6 | 45.4 | 155.1 | 57.7 | 47.4 | 40.6 | 56.9 |
| 2011 | 24.6 | 32.3 | 30.6 | 16.5 | 45.1 | 41.4 | 83.2 | 8.0 | 31.2 | 36.4 | 1.4 | 39.4 |
| 2012 | 58.0 | 65.7 | 5.2 | 60.6 | 44.4 | 53.1 | 47.3 | 1.0 | 30.3 | 52.0 | 21.6 | 72.6 |
| 2013 | 61.8 | 50.9 | 83.3 | 27.9 | 77.9 | 79.6 | 17.9 | 40.3 | 58.2 | 47.5 | 37.7 | 2.1 |
| ∑P | 37.3 | 33.2 | 34.0 | 41.1 | 55.3 | 83.5 | 60.7 | 46.8 | 54.3 | 48.8 | 48.0 | 49.5 |

Просечна годишња сума падавина измерена на метеоролошким станицама Неготин, В. Градиште, Београд, Н. Сад и Зрењанин износи 601.3 mm, 657.7 mm, 682.5 mm, 679.0 mm, односно 592.5 mm воденог стуба. Годишњи ток количина падавина има претежне карактеристике континенталног типа.

*Табела 26: Просечне месечне суме падавина на м.с Неготин, В. Градиште, Београд, Н. Сад и Зрењанин (1990 - 2013. год.)*

| | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | **сума годишња** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **сума падавина (°C)** | м.с. Неготин | 44,3 | 44,8 | 37,1 | 49,8 | 50,0 | 60,0 | 50,8 | 40,7 | 47,2 | 54,5 | 51,2 | 70,9 | **601.3** |
| | м.с. В.Градиште | 43,8 | 44,1 | 39,4 | 60,5 | 61,7 | 71,4 | 71,5 | 50,0 | 62,0 | 54,6 | 47,7 | 51,0 | **657.7** |
| | м.с. Београд | 48,1 | 44,5 | 42,9 | 52,4 | 58,2 | 93,3 | 65,2 | 54,2 | 58,6 | 54,3 | 51,4 | 59,4 | **682.5** |
| | м.с. Н.Сад | 40,9 | 34,9 | 36,1 | 47,2 | 66,2 | 91,5 | 75,3 | 55,8 | 60,9 | 59,8 | 58,6 | 51,8 | **679.0** |
| | м.с. Зрењанин | 37,3 | 33,2 | 34,0 | 41,1 | 55,3 | 83,5 | 60,7 | 46,8 | 54,3 | 48,8 | 48,0 | 49,5 | **592.5** |




*Слика 37:Упоредни приказ месечних сума падавина на м.с Неготин, В. Градиште, Београд, Н. Сад и Зрењанин (1990 - 2013. год.)*

### 9.2.2.3. Остали климатски елементи

- **Евапотранспирација**

Испаравање је на подручју истраживања значајно изражено због близине нивоа изданских вода површини терена.

Испаравање је анализирано према подацима РХМЗ -а са метеоролошких станица Београд и Панчево за период од 1985 - 2011. год. (табеле 27 - 28) и из фондовске документације Института за водопривреду „Јарослав Черни". Средње месечне вредности евапотранспирације са метеоролошких станица Београд и Зрењанин приказане су у табели 29 и на слици 38.

*Табела 27: Средње месечно и средње годишње испаравање са метеоролошке станице Београд 1985 - 2011. год.*

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1985 | 13 | 16 | 39 | 68 | 86 | 66 | 112 | 104 | 74 | 42 | 26 | 32 |
| 1986 | 26 | 14 | 31 | 85 | 73 | 70 | 64 | 101 | 86 | 61 | 30 | 21 |
| 1987 | 15 | 30 | 29 | 71 | 62 | 89 | 119 | 94 | 105 | 64 | 29 | 19 |
| 1988 | 24 | 34 | 38 | 62 | 91 | 85 | 116 | 117 | 71 | 57 | 19 | 23 |
| 1989 | 11 | 37 | 58 | 77 | 65 | 63 | 103 | 80 | 60 | 49 | 32 | 31 |
| 1990 | 20 | 48 | 78 | 63 | 97 | 91 | 104 | 119 | 72 | 71 | 34 | 18 |
| 1991 | 22 | 20 | 54 | 59 | 54 | 94 | 77 | 71 | 78 | 43 | 31 | 13 |
| 1992 | 23 | 31 | 65 | 76 | 105 | 75 | 103 | 146 | 98 | 48 | 35 | 17 |
| 1993 | 25 | 20 | 34 | 73 | 105 | 109 | 109 | 117 | 75 | 60 | 25 | 27 |
| 1994 | 23 | 37 | 61 | 54 | 89 | 88 | 97 | 112 | 92 | 42 | 30 | 23 |
| 1995 | 18 | 47 | 41 | 67 | 72 | 77 | 106 | 87 | 59 | 57 | 22 | 20 |
| 1996 | 15 | 16 | 31 | 64 | 76 | 95 | 105 | 83 | 41 | 47 | 42 | 16 |
| 1997 | 11 | 41 | 52 | 53 | 101 | 97 | 76 | 68 | 70 | 43 | 33 | 24 |
| 1998 | 26 | 51 | 53 | 77 | 72 | 98 | 105 | 112 | 51 | 47 | 24 | 11 |
| 1999 | 15 | 26 | 59 | 59 | 69 | 62 | 63 | 82 | 66 | 41 | 19 | 17 |
| 2000 | 15 | 38 | 53 | 86 | 102 | 133 | 125 | 150 | 73 | 62 | 54 | 26 |
| 2001 | 28 | 38 | 65 | 59 | 80 | 71 | 73 | 98 | 46 | 48 | 24 | 12 |
| 2002 | 21 | 53 | 70 | 63 | 99 | 108 | 99 | 79 | 63 | 50 | 51 | 20 |
| 2003 | 15 | 15 | 56 | 74 | 106 | 125 | 93 | 136 | 77 | 42 | 34 | 23 |
| 2004 | 21 | 53 | 70 | 63 | 99 | 108 | 99 | 79 | 63 | 50 | 51 | 20 |
| 2005 | 15 | 15 | 56 | 74 | 106 | 125 | 93 | 136 | 77 | 42 | 34 | 23 |
| 2006 | 11 | 10 | 23 | 42 | 64 | 45 | 78 | 41 | 50 | 44 | 25 | 9 |
| 2007 | 19 | 21 | 40 | 75 | 66 | 76 | 100 | 73 | 42 | 21 | 16 | 5 |
| 2008 | 11 | 21 | 30 | 34 | 53 | 62 | 75 | 90 | 49 | 37 | 26 | 16 |
| 2009 | 5 | 13 | 34 | 82 | 75 | 60 | 69 | 79 | 80 | 35 | 18 | 11 |
| 2010 | 17 | 32 | 40 | 52 | 79 | 78 | 88 | 109 | 65 | 47 | 37 | 24 |
| 2011 | 11 | 17 | 38 | 81 | 84 | 64 | 89 | 93 | 87 | 39 | 25 | 19 |
| **Isr** | **17,6** | **29,4** | **48,1** | **66,4** | **82,6** | **85,7** | **94,1** | **98,4** | **69,3** | **47,7** | **30,6** | **19,3** |

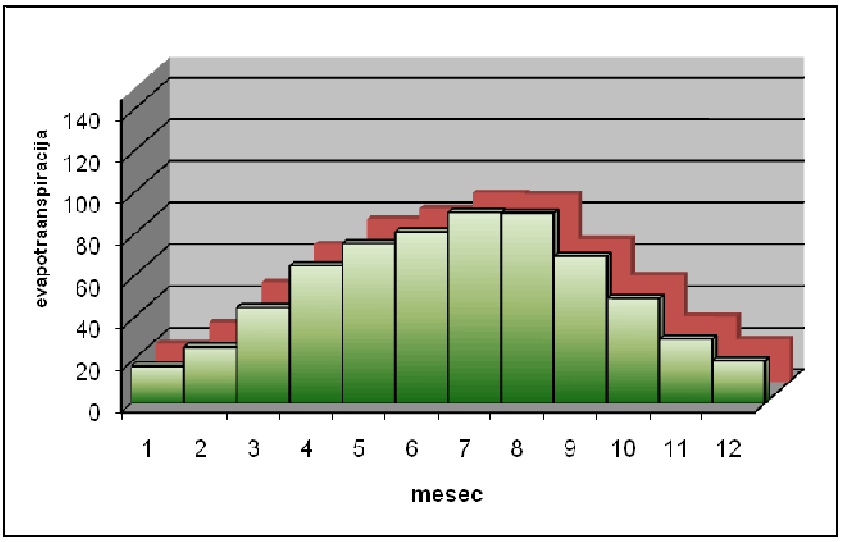
*Табела 28: Средње месечно и средње годишње испаравање са метеоролошке станице Зрењанин 1985 - 2011. год.*

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1985 | 13 | 16 | 39 | 68 | 86 | 66 | 112 | 104 | 74 | 42 | 26 | 32 |
| 1986 | 26 | 14 | 31 | 85 | 73 | 70 | 64 | 101 | 86 | 61 | 30 | 21 |
| 1987 | 15 | 30 | 29 | 71 | 62 | 89 | 119 | 94 | 105 | 63 | 29 | 19 |
| 1988 | 24 | 34 | 38 | 62 | 91 | 85 | 116 | 117 | 71 | 57 | 19 | 23 |
| 1989 | 10 | 37 | 58 | 77 | 65 | 62 | 103 | 80 | 60 | 49 | 32 | 31 |
| 1990 | 20 | 48 | 78 | 63 | 97 | 91 | 104 | 119 | 72 | 71 | 34 | 18 |
| 1991 | 15 | 13 | 45 | 49 | 52 | 86 | 64 | 50 | 61 | 36 | 27 | 8 |
| 1992 | 16 | 26 | 57 | 75 | 102 | 77 | 104 | 141 | 95 | 40 | 27 | 12 |
| 1993 | 15 | 11 | 23 | 54 | 91 | 95 | 105 | 104 | 61 | 51 | 24 | 17 |
| 1994 | 16 | 27 | 50 | 47 | 78 | 84 | 95 | 96 | 80 | 36 | 21 | 14 |
| 1995 | 13 | 33 | 34 | 56 | 66 | 63 | 92 | 70 | 45 | 46 | 14 | 13 |
| 1996 | 11 | 12 | 28 | 56 | 70 | 72 | 73 | 68 | 32 | 38 | 33 | 9 |
| 1997 | 6 | 23 | 40 | 49 | 82 | 80 | 60 | 62 | 64 | 36 | 26 | 16 |
| 1998 | 18 | 41 | 44 | 62 | 68 | 90 | 81 | 85 | 46 | 42 | 15 | 7 |
| 1999 | 12 | 21 | 48 | 54 | 65 | 57 | 58 | 67 | 62 | 38 | 14 | 11 |
| 2000 | 11 | 28 | 40 | 75 | 100 | 122 | 113 | 142 | 71 | 69 | 46 | 19 |
| 2001 | 19 | 30 | 48 | 49 | 74 | 59 | 76 | 100 | 43 | 43 | 18 | 8 |
| 2002 | 14 | 36 | 58 | 61 | 101 | 96 | 99 | 78 | 55 | 41 | 38 | 15 |
| 2003 | 9 | 8 | 41 | 65 | 102 | 121 | 93 | 130 | 66 | 33 | 25 | 16 |
| 2004 | 11 | 19 | 37 | 48 | 60 | 64 | 86 | 72 | 58 | 42 | 23 | 14 |
| 2005 | 14 | 7 | 29 | 57 | 63 | 72 | 66 | 43 | 42 | 42 | 21 | 10 |
| 2006 | 11 | 13 | 28 | 44 | 61 | 53 | 90 | 53 | 61 | 51 | 30 | 12 |
| 2007 | 26 | 26 | 43 | 70 | 66 | 75 | 109 | 87 | 46 | 25 | 19 | 8 |
| 2008 | 15 | 29 | 35 | 50 | 74 | 76 | 84 | 103 | 57 | 41 | 32 | 17 |
| 2009 | 6 | 15 | 34 | 75 | 79 | 62 | 84 | 91 | 82 | 37 | 21 | 13 |
| 2010 | 10 | 4 | 37 | 43 | 41 | 73 | 82 | 71 | 80 | 37 | 43 | 12 |
| 2011 | 12 | 16 | 23 | 48 | 63 | 46 | 72 | 77 | 41 | 41 | 27 | 13 |
| **Isr** | **13,7** | **22,1** | **39,7** | **58,7** | **74,3** | **76,2** | **88,3** | **87,7** | **62,7** | **44,3** | **25,8** | **14,2** |

Просечне годишња вредност испаравања измерене на метеоролошким станицама износе за Београд 57,4 mm, односно за Зрењанин 50,6 mm. Највећа вредност евапотранспирације је регистрована у месецу августу са просечном вредношћу од 98,4 mm на метеороошкој станици Београд, односно 88,3 mm на метеоролошкој станици Зрењанин. Месец са најмањом вредности испаравања је јануар са просечном вредношћу од 17,6 mm на метеороошкој станици Београд, односно 13,7 mm, на метеоролошкој станици Зрењанин.

*Табела 29: Просечне месечне суме падавина на м.с Београд и Панчево (1990 - 2011.год.)*

| | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | **просечна годишња** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **испаравање (mm)** | м.с. Београд | 17,6 | 29,4 | 48,1 | 66,4 | 82,6 | 85,7 | 94,1 | 98,4 | 69,3 | 47,7 | 30,6 | 19,3 | **57.4** |
| | м.с. Зрењанин | 13,7 | 22,1 | 39,7 | 58,7 | 74,3 | 76,2 | 88,3 | 87,7 | 62,7 | 44,3 | 25,8 | 14,2 | **50.6** |




*Слика 39: Упоредни приказ просечног месечног испаравања на м.с. Београд и м.с. Панчево (1985– 2011. год.)*

- **Релативна влажност ваздуха**

Релативна влажност ваздуха анализирана је према подацима РХМЗ -а са метеоролошких станица Неготин, В. Градиште, Београд, Н. Сад и Зрењанин, за период од 1990 - 2013. год. *(табеле 29 -33) (СХМЗ, 1985 -1989, РХМЗ, 1990 - 2013).* Средње месечне вредности релативне влажности ваздуха на метеоролошким станицама Неготин, В. Градиште, Београд, Н. Сад и Зрењанин у табелама 29 - 33.

*Табела 29: Средња месечна релативна влажност ваздуха на метеоролошкој станици Неготин, за 1990 - 2013. г.*

| м.с.Неготин | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1990 | 82 | 75 | 58 | 72 | 66 | 61 | 51 | 56 | 62 | 72 | 79 | 88 |
| 1991 | 75 | 79 | 84 | 70 | 67 | 65 | 72 | 73 | 72 | 75 | 85 | 77 |
| 1992 | 68 | 64 | 57 | 61 | 57 | 70 | 60 | 49 | 55 | 77 | 69 | 82 |
| 1993 | 69 | 68 | 69 | 64 | 65 | 53 | 49 | 52 | 63 | 75 | 86 | 85 |
| 1994 | 82 | 79 | 62 | 72 | 67 | 59 | 65 | 59 | 65 | 78 | 72 | 77 |
| 1995 | 84 | 74 | 66 | 59 | 69 | 66 | 62 | 62 | 72 | 75 | 81 | 93 |
| 1996 | 89 | 83 | 81 | 62 | 65 | 59 | 51 | 59 | 75 | 75 | 79 | 90 |
| 1997 | 87 | 70 | 70 | 71 | 66 | 70 | 63 | 68 | 69 | 76 | 87 | 86 |
| 1998 | 85 | 69 | 56 | 64 | 69 | 64 | 61 | 59 | 79 | 79 | 84 | 80 |
| 1999 | 85 | 71 | 71 | 71 | 70 | 70 | 67 | 64 | 70 | 73 | 82 | 83 |
| 2000 | 79 | 73 | 61 | 65 | 63 | 50 | 51 | 50 | 71 | 77 | 89 | 85 |
| 2001 | 89 | 75 | 75 | 73 | 68 | 65 | 60 | 56 | 72 | 75 | 77 | 80 |
| 2002 | 71 | 61 | 54 | 65 | 54 | 54 | 58 | 71 | 72 | 77 | 83 | 85 |
| 2003 | 84 | 76 | 65 | 62 | 62 | 60 | 59 | 50 | 70 | 79 | 85 | 80 |
| 2004 | 82 | 67 | 66 | 68 | 65 | 67 | 61 | 63 | 67 | 81 | 77 | 83 |
| 2005 | 72 | 83 | 67 | 64 | 66 | 59 | 67 | 74 | 79 | 75 | 84 | 82 |
| 2006 | 81 | 80 | 72 | 68 | 61 | 66 | 63 | 67 | 68 | 75 | 71 | 77 |
| 2007 | 63 | 71 | 65 | 47 | 64 | 56 | 44 | 64 | 67 | 78 | 78 | 81 |
| 2008 | 80 | 67 | 59 | 67 | 61 | 63 | 55 | 55 | 66 | 75 | 81 | 82 |
| 2009 | 83 | 78 | 66 | 66 | 59 | 64 | 59 | 64 | 66 | 78 | 82 | 86 |
| 2010 | 84 | 81 | 67 | 68 | 68 | 67 | 63 | 59 | 65 | 80 | 80 | 82 |
| 2011 | 83 | 73 | 75 | 59 | 65 | 57 | 63 | 56 | 56 | 64 | 74 | 76 |
| 2012 | 71 | 77 | 49 | 62 | 68 | 58 | 50 | 46 | 53 | 70 | 86 | 82 |
| 2013 | 80 | 84 | 75 | 66 | 61 | 64 | 55 | 55 | 65 | 82 | 87 | 81 |
| Rsr | 79,5 | 74,1 | 66,3 | 65,3 | 64,4 | 62,0 | 58,7 | 59,6 | 67,5 | 75,9 | 80,8 | 82,6 |

*Табела 30: Средња месечна релативна влажност ваздуха на метеоролошкој станици Велико Градиште, за 1991 - 2013. г.*

| м.с.В. Градиште | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1991 | 82 | 78 | 66 | 69 | 74 | 68 | 76 | 79 | 70 | 74 | 78 | 88 |
| 1992 | 83 | 80 | 59 | 67 | 56 | 76 | 67 | 53 | 60 | 76 | 77 | 79 |
| 1993 | 78 | 79 | 77 | 64 | 61 | 60 | 58 | 59 | 69 | 71 | 71 | 82 |
| 1994 | 84 | 73 | 66 | 71 | 67 | 69 | 69 | 62 | 65 | 77 | 78 | 83 |
| 1995 | 84 | 76 | 68 | 66 | 71 | 73 | 67 | 71 | 75 | 74 | 82 | 82 |
| 1996 | 79 | 76 | 70 | 61 | 71 | 68 | 59 | 65 | 79 | 74 | 74 | 85 |
| 1997 | 86 | 70 | 64 | 68 | 62 | 68 | 77 | 78 | 72 | 77 | 74 | 81 |
| 1998 | 81 | 69 | 62 | 65 | 72 | 69 | 68 | 63 | 75 | 74 | 80 | 82 |
| 1999 | 86 | 81 | 68 | 72 | 72 | 76 | 75 | 70 | 71 | 77 | 80 | 86 |
| 2000 | 83 | 75 | 69 | 60 | 63 | 54 | 52 | 51 | 68 | 63 | 74 | 81 |
| 2001 | 76 | 73 | 67 | 70 | 67 | 74 | 69 | 66 | 77 | 75 | 83 | 85 |
| 2002 | 86 | 71 | 60 | 67 | 57 | 66 | 68 | 71 | 76 | 75 | 73 | 75 |
| 2003 | 82 | 76 | 66 | 65 | 63 | 59 | 67 | 57 | 69 | 77 | 74 | 76 |
| 2004 | 83 | 80 | 70 | 67 | 71 | 73 | 66 | 75 | 72 | 77 | 82 | 85 |
| 2005 | 85 | 84 | 77 | 71 | 76 | 75 | 77 | 82 | 82 | 76 | 80 | 88 |
| 2006 | 76 | 83 | 77 | 72 | 69 | 78 | 67 | 76 | 72 | 77 | 82 | 87 |
| 2007 | 81 | 78 | 69 | 62 | 73 | 68 | 59 | 68 | 76 | 82 | 79 | 87 |
| 2008 | 79 | 74 | 71 | 74 | 69 | 66 | 61 | 60 | 73 | 76 | 76 | 80 |
| 2009 | 87 | 82 | 72 | 61 | 68 | 70 | 66 | 65 | 68 | 78 | 82 | 81 |
| 2010 | 79 | 80 | 67 | 69 | 76 | 77 | 76 | 72 | 76 | 74 | 73 | 85 |
| 2011 | 85 | 82 | 72 | 61 | 69 | 65 | 66 | 63 | 63 | 70 | 75 | 83 |
| 2012 | 81 | 76 | 61 | 70 | 74 | 64 | 58 | 64 | 63 | 78 | 77 | 82 |
| 2013 | 83 | 80 | 74 | 70 | 65 | 75 | 63 | 63 | 75 | 75 | 81 | 83 |
| Rsr | 82,1 | 77,2 | 68,3 | 67,0 | 68,1 | 69,2 | 66,6 | 66,7 | 71,6 | 75,1 | 77,6 | 82,9 |

*Табела 31: Средња месечна релативна влажност ваздуха на метеоролошкој станици Београд, за 1990 - 2013. г.*

| м.с.Београд | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1990 | 79 | 64 | 53 | 64 | 56 | 62 | 53 | 48 | 61 | 61 | 78 | 83 |
| 1991 | 75 | 74 | 64 | 63 | 70 | 60 | 69 | 71 | 65 | 74 | 76 | 81 |
| 1992 | 75 | 72 | 54 | 57 | 51 | 68 | 59 | 48 | 55 | 73 | 75 | 81 |
| 1993 | 72 | 73 | 71 | 67 | 52 | 54 | 55 | 53 | 65 | 67 | 76 | 74 |
| 1994 | 79 | 65 | 61 | 69 | 59 | 63 | 63 | 57 | 62 | 74 | 78 | 78 |
| 1995 | 79 | 66 | 67 | 61 | 65 | 67 | 60 | 64 | 71 | 68 | 80 | 79 |
| 1996 | 80 | 78 | 69 | 63 | 66 | 61 | 57 | 66 | 78 | 73 | 73 | 83 |
| 1997 | 87 | 67 | 60 | 62 | 54 | 60 | 68 | 71 | 66 | 72 | 76 | 78 |
| 1998 | 77 | 61 | 56 | 59 | 65 | 61 | 59 | 56 | 75 | 74 | 79 | 84 |
| 1999 | 84 | 73 | 60 | 67 | 67 | 73 | 74 | 67 | 71 | 76 | 84 | 83 |
| 2000 | 79 | 67 | 62 | 57 | 54 | 47 | 51 | 45 | 66 | 67 | 68 | 78 |
| 2001 | 75 | 68 | 61 | 65 | 63 | 67 | 67 | 62 | 77 | 75 | 80 | 81 |
| 2002 | 76 | 63 | 55 | 63 | 57 | 57 | 62 | 68 | 70 | 72 | 68 | 77 |
| 2003 | 82 | 77 | 58 | 56 | 56 | 53 | 63 | 50 | 64 | 74 | 77 | 78 |
| 2004 | 80 | 74 | 64 | 67 | 65 | 68 | 62 | 69 | 70 | 75 | 76 | 81 |
| 2005 | 78 | 83 | 68 | 61 | 65 | 62 | 68 | 75 | 75 | 71 | 76 | 81 |
| 2006 | 74 | 78 | 68 | 66 | 61 | 69 | 56 | 71 | 65 | 65 | 70 | 81 |
| 2007 | 66 | 69 | 61 | 44 | 62 | 58 | 46 | 59 | 68 | 78 | 76 | 83 |
| 2008 | 75 | 64 | 63 | 63 | 58 | 61 | 57 | 55 | 67 | 69 | 69 | 76 |
| 2009 | 85 | 75 | 65 | 53 | 57 | 67 | 60 | 61 | 59 | 73 | 78 | 81 |
| 2010 | 80 | 76 | 63 | 67 | 67 | 73 | 66 | 61 | 70 | 73 | 68 | 79 |
| 2011 | 82 | 77 | 63 | 54 | 66 | 61 | 59 | 55 | 55 | 67 | 78 | 76 |
| 2012 | 76 | 75 | 50 | 59 | 66 | 52 | 50 | 41 | 53 | 69 | 72 | 78 |
| 2013 | 78 | 76 | 70 | 58 | 59 | 66 | 52 | 54 | 66 | 68 | 76 | 79 |
| Rsr | 78,0 | 71,5 | 61,9 | 61,0 | 60,9 | 62,1 | 59,8 | 59,5 | 66,4 | 71,2 | 75,3 | 79,7 |

*Табела 32: Средња месечна релативна влажност ваздуха на метеоролошкој станици Нови Сад, за 1990 - 2013. г.*

| м.с.Нови Сад | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1991 | 80 | 81 | 70 | 69 | 73 | 64 | 74 | 76 | 69 | 77 | 79 | 81 |
| 1992 | 82 | 78 | 59 | 58 | 53 | 71 | 62 | 50 | 58 | 78 | 81 | 86 |
| 1993* | 80 | 82 | 78 | 66 | 58 | 64 | 61 | 58 | 71 | 73 | 80 | 83 |
| 1994* | 86 | 74 | 70 | 74 | 66 | 68 | 64 | 62 | 68 | 78 | 83 | 84 |
| 1995* | 84 | 75 | 75 | 68 | 70 | 76 | 66 | 71 | 78 | 73 | 86 | 86 |
| 1996* | 85 | 84 | 73 | 68 | 71 | 68 | 69 | 75 | 83 | 78 | 79 | 89 |
| 1997* | 93 | 79 | 67 | 64 | 59 | 68 | 76 | 76 | 71 | 78 | 83 | 87 |
| 1998 | 86 | 70 | 63 | 67 | 71 | 70 | 71 | 68 | 79 | 78 | 86 | 89 |
| 1999 | 89 | 80 | 68 | 73 | 72 | 76 | 79 | 74 | 75 | 79 | 89 | 88 |
| 2000 | 86 | 76 | 70 | 64 | 61 | 54 | 57 | 51 | 68 | 67 | 73 | 86 |
| 2001 | 84 | 73 | 70 | 71 | 67 | 76 | 74 | 71 | 82 | 77 | 85 | 88 |
| 2002 | 84 | 74 | 62 | 69 | 66 | 63 | 66 | 72 | 74 | 77 | 76 | 83 |
| 2003 | 89 | 87 | 68 | 59 | 59 | 59 | 68 | 58 | 70 | 80 | 84 | 82 |
| 2004 | 85 | 81 | 72 | 75 | 72 | 75 | 68 | 72 | 75 | 80 | 82 | 86 |
| 2005 | 84 | 88 | 74 | 66 | 68 | 68 | 78 | 83 | 81 | 76 | 81 | 88 |
| 2006 | 83 | 82 | 76 | 73 | 69 | 75 | 66 | 79 | 72 | 72 | 78 | 90 |
| 2007 | 78 | 79 | 70 | 53 | 68 | 71 | 62 | 69 | 77 | 82 | 84 | 89 |
| 2008 | 84 | 71 | 71 | 68 | 64 | 71 | 69 | 63 | 74 | 76 | 77 | 82 |
| 2009 | 89 | 81 | 71 | 59 | 64 | 75 | 67 | 65 | 65 | 79 | 86 | 87 |
| 2010 | 88 | 85 | 73 | 74 | 74 | 78 | 76 | 75 | 80 | 81 | 82 | 86 |
| 2011 | 89 | 87 | 77 | 63 | 71 | 69 | 70 | 64 | 66 | 75 | 87 | 87 |
| 2012 | 85 | 87 | 61 | 70 | 71 | 63 | 61 | 51 | 62 | 78 | 82 | 88 |
| 2013 | 87 | 85 | 80 | 68 | 71 | 75 | 67 | 65 | 74 | 77 | 84 | 88 |
| Rsr | 85,2 | 80,0 | 70,3 | 66,9 | 66,9 | 69,4 | 68,3 | 67,3 | 72,7 | 76,9 | 82,0 | 86,2 |

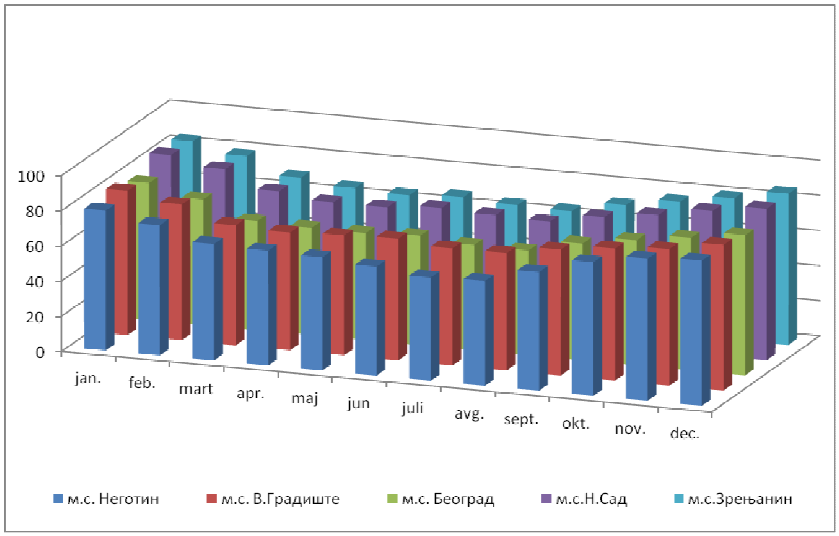
*Табела 33: Средња месечна релативна влажност ваздуха на метеоролошкој станици Зрењанин, за 1991 - 2013. г.*

| м.с.Зрењанин | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1991 | 82 | 80 | 68 | 68 | 71 | 63 | 74 | 78 | 71 | 77 | 79 | 87 |
| 1992 | 81 | 75 | 57 | 57 | 51 | 67 | 58 | 49 | 55 | 76 | 79 | 85 |
| 1993 | 80 | 82 | 79 | 67 | 59 | 59 | 57 | 58 | 70 | 72 | 76 | 84 |
| 1994 | 84 | 73 | 66 | 72 | 63 | 64 | 63 | 62 | 66 | 77 | 83 | 85 |
| 1995 | 83 | 74 | 72 | 66 | 67 | 72 | 64 | 70 | 77 | 73 | 86 | 86 |
| 1996 | 84 | 81 | 71 | 67 | 68 | 69 | 68 | 71 | 82 | 77 | 77 | 89 |
| 1997 | 91 | 77 | 66 | 64 | 61 | 66 | 74 | 73 | 68 | 75 | 80 | 84 |
| 1998 | 83 | 65 | 60 | 65 | 66 | 63 | 67 | 65 | 77 | 76 | 86 | 85 |
| 1999 | 86 | 77 | 65 | 69 | 68 | 75 | 76 | 72 | 72 | 77 | 87 | 88 |
| 2000 | 83 | 74 | 69 | 61 | 55 | 50 | 54 | 46 | 66 | 63 | 71 | 82 |
| 2001 | 81 | 72 | 69 | 70 | 65 | 73 | 69 | 61 | 78 | 77 | 83 | 86 |
| 2002 | 83 | 72 | 60 | 63 | 56 | 61 | 62 | 68 | 73 | 76 | 75 | 82 |
| 2003 | 86 | 83 | 66 | 60 | 57 | 54 | 63 | 51 | 68 | 78 | 82 | 83 |
| 2004 | 84 | 80 | 71 | 72 | 69 | 72 | 65 | 70 | 71 | 77 | 82 | 86 |
| 2005 | 83 | 86 | 74 | 66 | 70 | 68 | 73 | 81 | 80 | 75 | 82 | 89 |
| 2006 | 84 | 85 | 77 | 75 | 70 | 77 | 65 | 77 | 72 | 72 | 78 | 88 |
| 2007 | 79 | 79 | 71 | 60 | 70 | 70 | 58 | 66 | 76 | 84 | 83 | 90 |
| 2008 | 84 | 75 | 75 | 72 | 66 | 69 | 66 | 59 | 72 | 77 | 77 | 84 |
| 2009 | 91 | 84 | 74 | 61 | 64 | 73 | 67 | 64 | 64 | 78 | 85 | 88 |
| 2010 | 89 | 86 | 72 | 74 | 77 | 77 | 73 | 75 | 78 | 79 | 80 | 88 |
| 2011 | 91 | 87 | 77 | 64 | 70 | 67 | 68 | 64 | 66 | 78 | 83 | 87 |
| 2012 | 81 | 83 | 61 | 67 | 68 | 57 | 56 | 47 | 58 | 74 | 78 | 85 |
| 2013 | 85 | 82 | 78 | 68 | 67 | 73 | 60 | 59 | 70 | 72 | 82 | 86 |
| Rsr | 84,3 | 78,8 | 69,5 | 66,4 | 65,1 | 66,9 | 65,2 | 64,6 | 70,9 | 75,7 | 80,6 | 86,0 |

Просечна годишња релативна влажност ваздуха измерена на метеоролошким станицама Неготин, В. Градиште, Београд, Н. Сад и Зрењанин износи 69,7%, 72,7%, 67,3%, 74,3%, односно 72,8%. Највећа релативна влажност ваздуха региструје се у месецу децембру са просечним вредностима око 80 - 86%, док је месец са најмањом релативном влажношћу ваздуха август са просечним вредностима око 60 - 67%. Просечне годишње релативна влажности ваздуха на метеоролошким станицама Неготин, В. Градиште, Београд, Н. Сад и Зрењанин у периоду 1990 - 2013. год. приказане су у табели 34 и на слици 39.

*Табела 34: Просечна месечна релативна влажност ваздуха на м.с Неготин, В. Градиште, Београд, Н. Сад и Зрењанин (1990 - 2013. год.)*

| | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | **прос. год.** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **релативна влажност ваздуха (%)** | м.с. Неготин | 79,5 | 74,1 | 66,3 | 65,3 | 64,4 | 62,0 | 58,7 | 59,6 | 67,5 | 75,9 | 80,8 | 82,6 | **69,7** |
| | м.с. В.Градиште | 82,1 | 77,2 | 68,3 | 67,0 | 68,1 | 69,2 | 66,6 | 66,7 | 71,6 | 75,1 | 77,6 | 82,9 | **72,7** |
| | м.с. Београд | 78,0 | 71,5 | 61,9 | 61,0 | 60,9 | 62,1 | 59,8 | 59,5 | 66,4 | 71,2 | 75,3 | 79,7 | **67,3** |
| | м.с. Н.Сад | 85,2 | 80,0 | 70,3 | 66,9 | 66,9 | 69,4 | 68,3 | 67,3 | 72,7 | 76,9 | 82,0 | 86,2 | **74,3** |
| | м.с. Зрењанин | 84,3 | 78,8 | 69,5 | 66,4 | 65,1 | 66,9 | 65,2 | 64,6 | 70,9 | 75,7 | 80,6 | 86,0 | **72,8** |




*Слика 39: Просечна месечна релативна влажност ваздуха на м.с Неготин, В. Градиште, Београд, Н. Сад и Зрењанин (1990 - 2013. год.)*

### 9.2.3. Геоморфолошке карактеристике

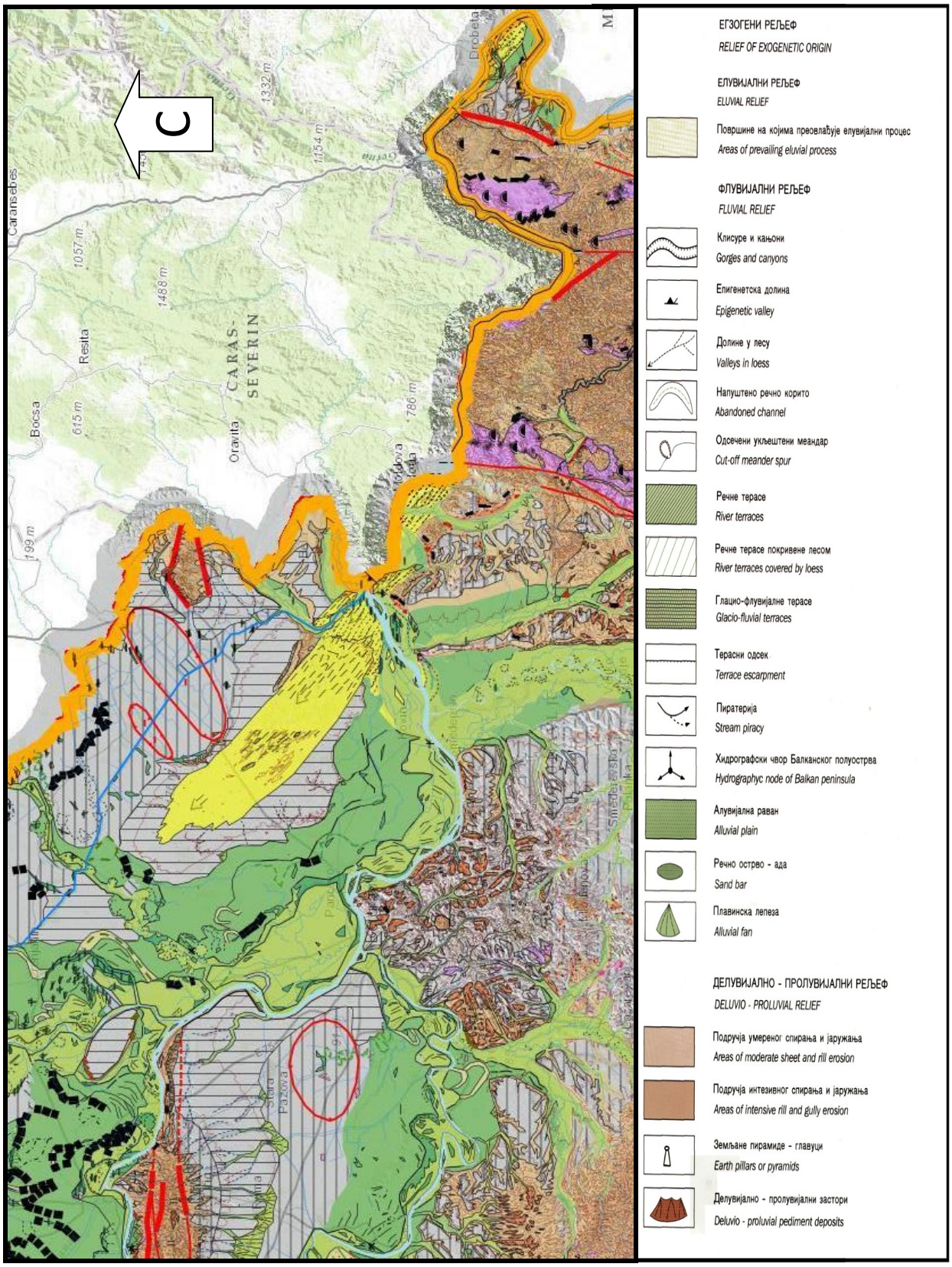
Подручје истраживања се налази у централном делу Балканског полуострва и сачињавају га четири региона Србије (Београдски регион, Регион Војводине, Регион Шумадије и Регион источне Србије) са градом Београдом као посебном територијалном јединицом. Северни део Србије, Војводина, претежно је

равничарски, док су централни делови брдовити и планински. Равничарски делови се налазе у Панонској низији и њеним ободним деловима: Мачва, Посавина, Поморавље и Неготинској крајини у источној Србији.

Геоморфолошке карактеристике истражног подручја приказане су на геоморфолошкој карти Србије *(слика 40)*. Карта садржи пет битних категорија података, а то су: подаци о геолошкој грађи (литологија и склоп), морфогенетски, морфографски, морфометријски и морфохронолошки подаци.

У оквиру приказа података о геолошкој грађи, презентован је литолошки састав подручја, као и тектонски склоп. У литолошком саставу картираног терена учествују разноврсне стене, од најстаријих, протерозојских метаморфита до најмлађих квартарних творевина. Најмлађе квартарне творевине лоциране су уз речне токове и као такве представљају предмет истраживања *(Никић и Павловић, 2012)*. Литолошки састав подручја приказан је, у краћем обиму, у оквиру поглавља о геолошком саставу изучаваног подручја.

Генетски типови рељефа дефинисани су према процесима који су имали доминантни учинак у морфолошком обликовању терена. Како доминантну морфолошку улогу у њиховом обликовању имају речни токови, може се констатовати да подручје истраживања карактерише флувијални тип рељефа. Облици флувијалног рељефа су генетски везани искључиво за речне токове који су непосредним дејством фомирали разноврсне ерозионе и акумулационе облике флувијалног рељефа. Акумулациони облици флувијалног рељефа су представљени алувијалним равнима и плавинским лепезама. Алувијалне равни, изграђене претежно од шљункова и пескова, издвојене су, око већих речних токова и имају Њихово највеће просторно развиће износи и до неколико километара у ширину. Плавинске лепезе се, по правилу, формирају при ушћима мањих притока у већи речни ток. Речне терасе су констатоване практично око свих већих речних токова. Састављене су, углавном, од шљунковито - песковитих седимената. Јављају се у виду испрекиданих терасних заравни, са једне или обе стране речног тока. Развијене су у више,најчешће један или два нивоа.




*Слика 40: Геоморфолошка карта Србије (извор ГеолИСС) (Геозавод, 2003)*

### 9.2.4. Хидрографске и хидролошке карактеристике

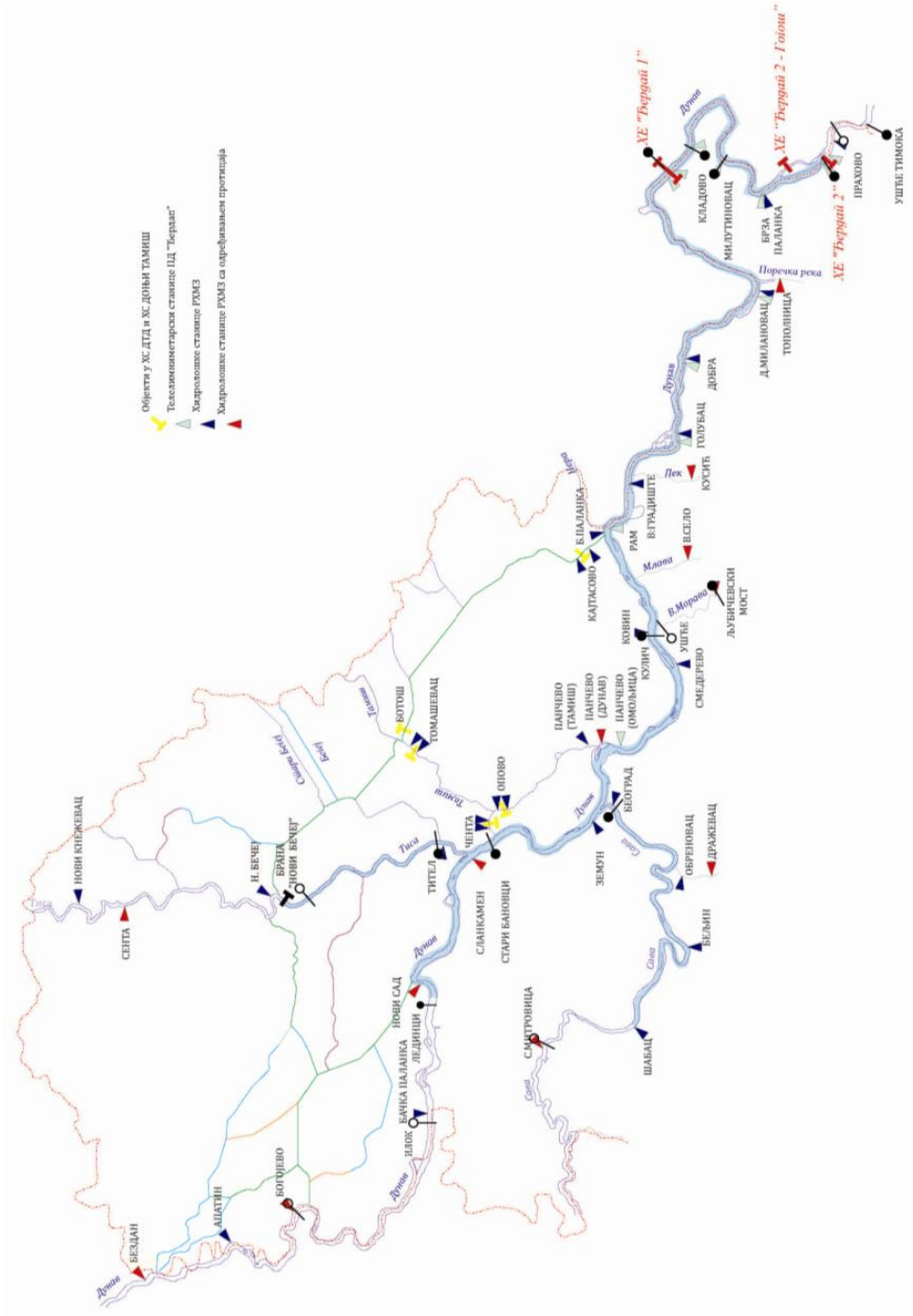
Утицај успора проузокован радом хидроелектране „Ђердап 1“ региструје се кроз промене водостаја површинских токова Дунава и притока. Од важнијих речних токова поред реке Дунав егзистирају реке Сава, Тиса, В. Морава, Колубара, Тамиш, Млава, Пек, Нера и др., односно вештачки водни ток канал Дунав - Тиса, Дунав. Овом поглављу посвећена је нешто већа пажња, јер осмотрени водостаји, а затим и рачунски - у природном режиму, представљају улазне податке за прорачун режима подземних вода и основу за њихову даљу анализу и упоредбу.

Праћење режима површинских вода базира се на континуалном осматрању водостаја и протицаја на постојећој мрежи хидролошких и телелимниметарских станица. Ова мерења обављају се у Републичком хидрометеоролошком заводу. Резултати обраде података осматрања и мерења представљају подлогу за: прорачун биланса воде и наноса, прорачун просечних нивоа на прорачунским профилима за подземне воде, дефинисање утицаја режима експлоатације на режим наноса у акумулацији, режим подземних вода, дренажне системе, привредне објекте и насеља, пловидбу, изграђене системе за одбрану од поплава и леда, енергетске ефекте, временске и просторне варијације нивоа дуж акумулације, високе обале у акумулацији, шуме у форландима и др. и за примену математичког модела за хидроенергетске прорачуне и управљање експлоатацијом система „Ђердап 1“ у реалном времену. У табели 35 приказан је списак станица које припадају мрежама станица РХМЗ (и ПД „Хидроелектране Ђердап“) са којих су прикупљени расположиви подаци за потребе анализе режима водостаја дуж акумулације.

*Табела 35: Списак мрежа осматрачких станица РХМЗ и ПД „ХЕ Ђердап“*

| рб | назив водомера | стац.(km) | поч.рада | "0" | начин осматрања | извор података |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Река Дунав** | | | | | | |
| 1. | Бездан | 1425+500 | 1856 | 80,64 | дигитално | РХМЗ Србије |
| 2. | Апатин | 1401+400 | 1876 | 78,84 | летва | РХМЗ Србије |
| 3. | Богојево | 1367+400 | 1871 | 77,46 | дигитално | РХМЗ Србије |
| 4. | Бачка Паланка | 1298+600 | 1920 | 73,97 | летва | РХМЗ Србије |
| 5. | Нови Сад | 1255+100 | 1888 | 71,73 | дигитално | РХМЗ Србије |
| 6. | Сланкамен | 1215+500 | 1888 | 69,68 | летва | РХМЗ Србије |
| 7. | Земун | 1172+900 | 1921 | 67,87 | дигитално | РХМЗ Србије |
| 8. | Панчево (ушће Тамиша) | 1154+600 | 1870 | 67,33 | летва | РХМЗ Србије |
| 9. | Панчево (Омољица ) | 1149+300 | 1972 | - | телелимниметар | ПД„ХЕ Ђердап“ |
| 10. | Смедерево | 1116+000 | 1920 | 65,36 | дигитално | РХМЗ Србије |
| 11. | Банатска Паланка | 1076+600 | 1957 | 62,85 | дигитално | РХМЗ Србије |
| 12. | Рам код Нере | 1074+719 | 1972 | - | телелимниметар | ПД„ХЕ Ђердап“ |
| 13. | Велико Градиште | 1059+800 | 1925 | 62,17 | летва * | РХМЗ Србије |
| 14. | Голубац | 1043+100 | 1972 | - | телелимниметар | ПД„ХЕ Ђердап“ |
| 15. | Голубац | 1042+700 | 1925 | 62,87 | летва * | РХМЗ Србије |
| 16. | Д обра – Кожица | 1017+200 | 1972 | - | телелимниметар | ПД„ХЕ Ђердап“ |
| 17. | Д оњи Милановац | 993+000 | 1946 | 62,24 | летва * | РХМЗ Србије |
| 18. | Д оњи Милановац | 990+000 | 1972 | - | телелимниметар | ПД„ХЕ Ђердап“ |
| 19. | „Ђ ердап 1“ ГВ | 943+000 | 1972 | - | телелимниметар | ПД„ХЕ Ђердап“ |
| 20. | „Ђердап 1“ ДВ | 942+900 | 1972 | - | телелимниметар | ПД „ХЕ Ђердап |
| **река Сава** | | | | | | |
| 21. | Сремска Митровица | 136+000 | 1878 | 72,22 | дигитално | РХМЗ Србије |
| 22. | Шабац | 102+600 | 1921 | 72,61 | летва * | РХМЗ Србије |
| 23. | Бељин | 64+000 | 1948 | 69,99 | летва * | РХМЗ Србије |
| 24. | Београд | 2+000 | 1920 | 68,28 | дигитално | РХМЗ Србије |
| **река В. Морава** | | | | | | |
| 25. | Љубичевски мост | 21+750 | 1923 | 73,42 | дигитално | РХМЗ Србије |
| река Тиса | | | | | | |
| 26. | Сента | 122+000 | 1860 | 72,80 | дигитално | РХМЗ Србије |
| 27. | Нови Бечеј | 65+000 | 1855 | 71,87 | летва | РХМЗ Србије |
| 28. | Нови Беч ј дв | 63+000 | 1974 | 71,00 | летва | РХМЗ Србије |
| 29. | Нови Бечеј гв | 63+000 | 1974 | 71,00 | дигитално | РХМЗ Србије |
| 30. | Тител | 9+480 | 1865 | 69,70 | дигитално | РХМЗ Србије |
| **река Колубара** | | | | | | |
| 31. | Бели Брод | 39+200 | 1950 | 99,32 | дигитално | РХМЗ Србије |
| 32. | Дражевац | 12+000 | 1950 | 71,24 | дигитално | РХМЗ Србије |
| **река Тамиш** | | | | | | |
| 33. | Јаша Томић | 122+700 | 1925 | 73,46 | дигитално | РХМЗ Србије |
| 34. | Панчево | 0+500 | 1976 | 67,33 | летва | РХМЗ Србије |
| **река Млава** | | | | | | |
| 35. | Велико Село | 39+300 | 1986 | 91,46 | дигитално | РХМЗ Србије |
| 36. | Братиначки мост | 14+300 | 1983 | 73,61 | летва * | РХМЗ Србије |
| **река Пек** | | | | | | |
| 37. | Кучево | 44+500 | 1923 | 147,16 | дигиталн | РХМЗ Србије |
| 38. | Кусиће | 6+600 | 1925 | 76,19 | летва * | РХМЗ Србије |
| **река Нера** | | | | | | |
| 39. | Кусић | 21+200 | 1971 | 88,75 | дигитално | РХМЗ Србије |
| **канал ДТД** | | | | | | |
| 40. | Кајтасово гв | 8+700 | 1971 | 62,85 | летва * | РХМЗ Србије |
| 41. | Кајтасово дв | 8+700 | 1971 | 62,85 | летва * | РХМЗ Србије |

На слици 41 приказане су осматрачке станице на површинским токовима (Дунаву и притокама) у зони успора од ХЕ „Ђердап 1“ на којима се обавља континуално праћење промене режима воде (зона успора при малим водама приказана је на слици подебљаном линијом речног тока).




*Слика 41: Осматрачке станице на површинским токовима у зони успора ХЕ „Ђердап 1“*

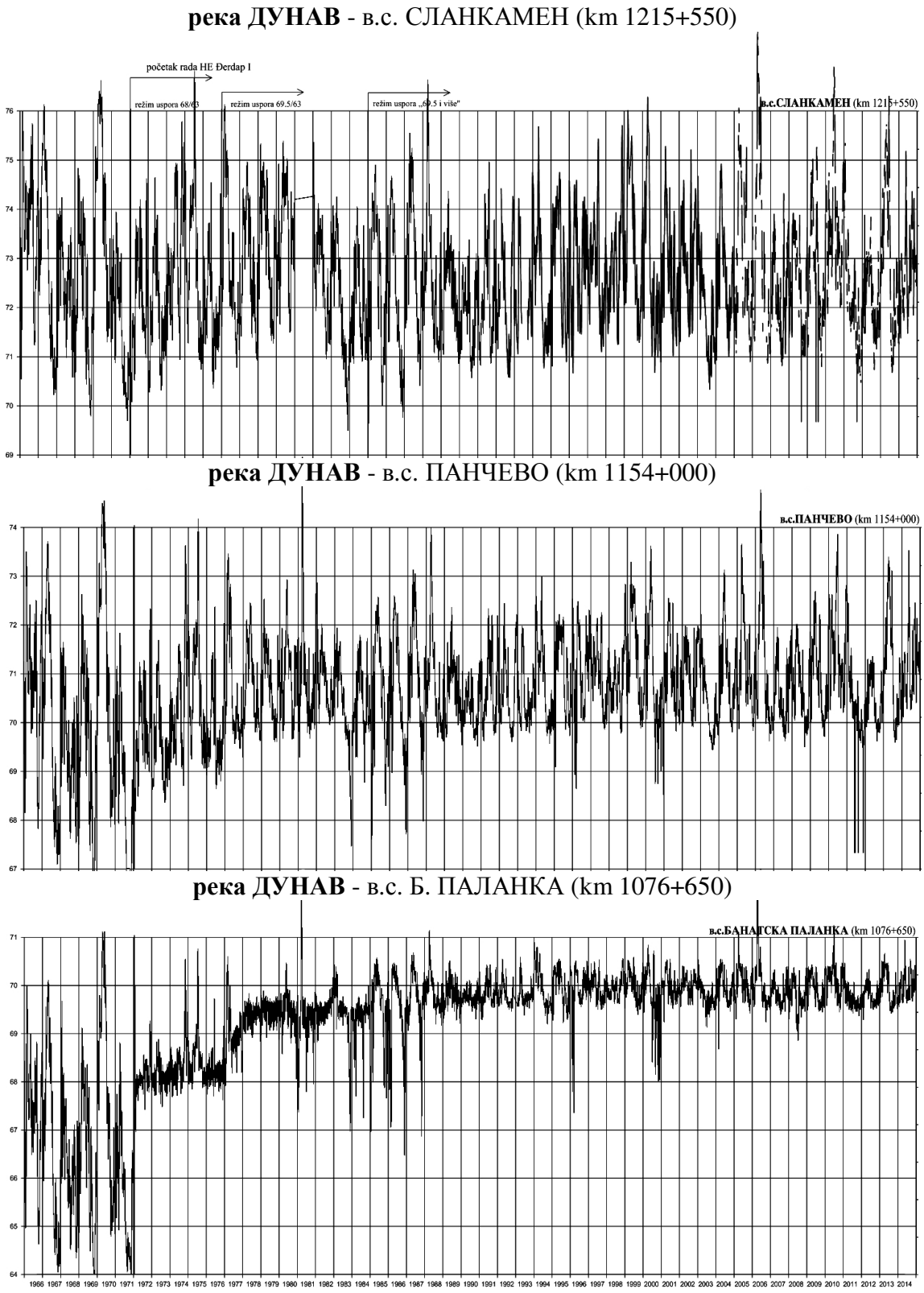
Приказ осцилација нивоа на одабраним водомерним станицама, осмотрених у периоду од 1966 -2013. године дат је на слици 42.

На основу анализе података, може се констатовати да у природном режиму, пре формирања успора, водостаје Дунава подручју карактеришу просечне годишње амплитуде осциловања од 6,5 - 7,0 m na в.с. Банатска Паланка, 4,0 - 4,5 m na в.с. Панчево, 3,5 - 4,0 m na в.с. Сланкамен, а при појави екстремних водостаја и веће. Просечни водостаји на годишњем нивоу су се углавном кретали око кота 66,0 - 66,5 mnm na в.с. Банатска Паланка, 69,2 - 69,8 mnm na в.с. Панчево, око коте 72,0 mnm na в.с. Сланкамен.

У актуелном режиму успора ,,69,5 и више" (,,до коте 70,30 mnm код ушћа Нере") осмотрене водостаје Дунава, у периоду 1985 - 2014. год., карактеришу релативно мале просечне годишње амплитуде осцилација, од 1,0 - 1,5 m na в.с. Банатска Паланка, 2,0 - 2,5 m na в.с. Панчево, 3,0 - 3,5 m na в.с. Сланкамен. Просечни водостаји на годишњем нивоу су се углавном кретали око кота 69,5 - 70,0 mnm na в.с. Банатска Паланка, 70,5 - 71,0 mnm na в.с. Панчево, око коте 72,5 mnm na в.с. Сланкамен.

Максимални водостаји Дунава у осмотреном режиму налазе се на сличним котама као и максимални водостаји у природном режиму, пре формирања успора. Минимални водостаји издигнути су у осмотреном режиму Дунава за око 5,0 m na в.с. Банатска Паланка, око 2,5 m na в.с. Панчево, 0,8 - 1,0 m na в.с. Сланкамен, у односу на природан режим.

*Слика 42: Осцилације нивоа Дунава на одабраним осматрачким станицама у зони успора ХЕ „Ђердап 1“*

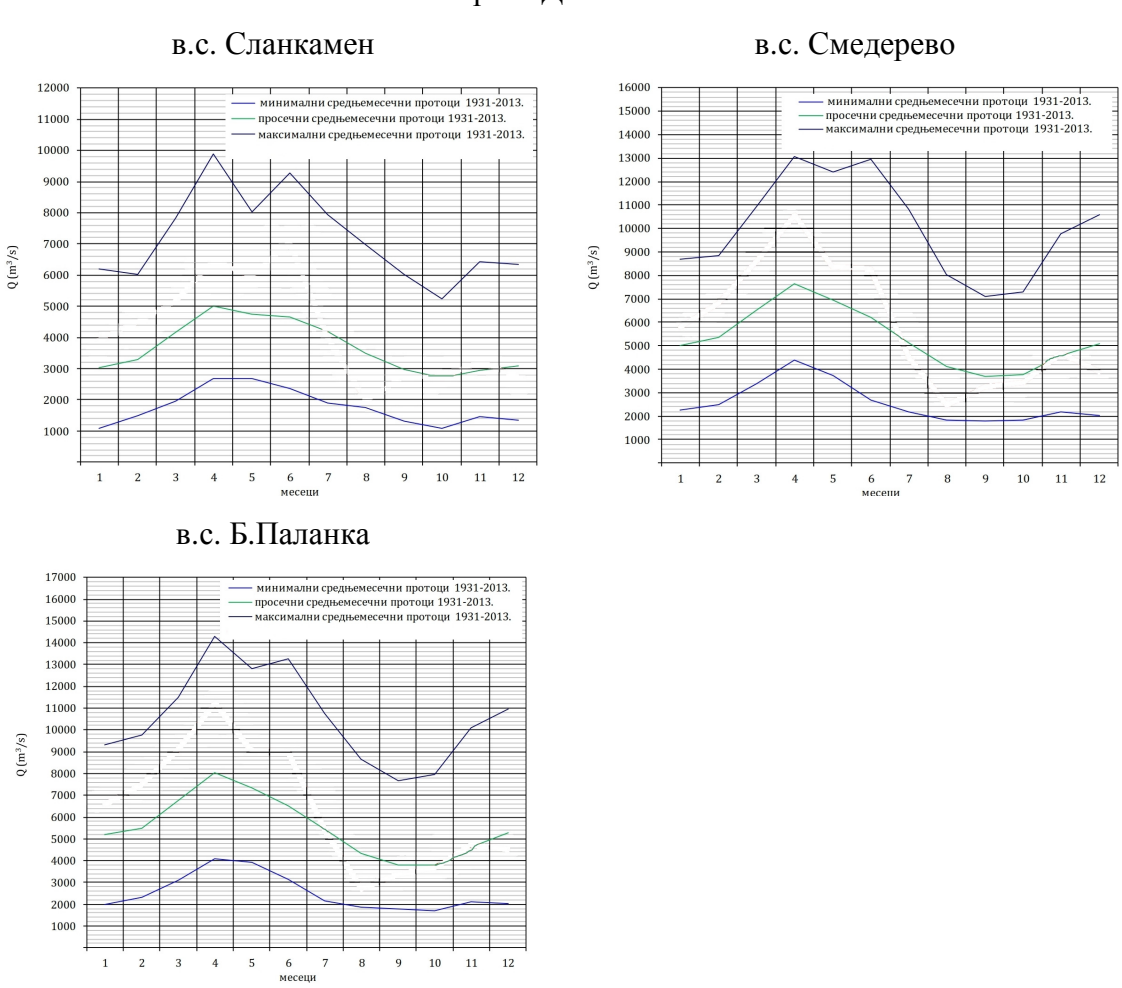


Протоци на улазним и контролним профилима акумулације „Ђердап 1“ одређују се класичним путем, преко података о водостајима и формираних зависности између водостаја и протока које су дефинисане на два начина: преко кривих протока и кривих пропусне моћи. Подаци о протоцијима добијени су од РХМЗ -а, а податке о дотоку у акумулацију и укупном истицању на профилу бране од стране ПД „Хидроелектране Ђердап“.

За анализу нивоа воде коришћене су: часовне вредности водостаја на профилима телелимиметарских станица, средњедневни вредности водостаја на профилима телелимниметара добијени осредњавањем сатних вредности за енергетски дан (од 06 текућег до 06 сати наредног дана). Анализом часовних вредности нивоа дуж акумулације, на бази података са телелимниметарских станица, констатоване су екстремне и просечне разлике часовних вредности нивоа дуж тока Дунава. Екстремне минималне разлике, односно највећи контра пад, углавном је регистрован у вечерњим сатима када се нагло смањује истицање и подиже ниво воде на брани. Средњедневни нивои на профилима телелимниметара одређени су по усвојеној методологији осредњавањем 25 часовних вредности за енергетски дан (06 часова текућег до 06 часова наредног дана).

За потребе билансирања протока дуж Дунава и његових главних притока коришћен је адаптирани модел „Акумулација“,који је у дугогодишњој експлоатацији. Рачунска шема хидролошког модела за прорачун пропагације поплавних таласа, обухвата главни ток Дунава од хидролошке станице Нови Сад до Великог Градишта, реку Тису од бране „Нови Бечеј“ до ушћа у Дунав, реку Саву од хидролошке станице Сремска Митровица до ушћа у Дунав и реку Велику Мораву од хидролошке станице Љубичевски Мост до ушћа у Дунав. Протоци Тамиша, Колубаре, Нере и Млаве узимају се директно као улаз у модел, без претходних прорачуна пропагације дуж корита. Улазни подаци за модел су протоци Дунава код Богојева, Тисе код Сенте, Саве код Сремске Митровице, Велике Мораве код Љубичевског Моста, Тамиша, Колубаре, Нере и Млаве. Контролни профили су хидролошке станице Сланкамен и Смедерево на Дунаву, а излаз из модела су протоци Дунава на профилу хиодролошке станице Велико

Градиште. Применом модела извршен је прорачун пропагације протока од улазних профила акумулације дуж Дунава и притока. Моделом пропагације су срачунати и протоци на свим крајевима карактеристичних деоница и на профилима непосредно после ушћа главних притока у Дунав. Анализа протока на водомерним станицама дуж акумулације приказана је на слици 43.



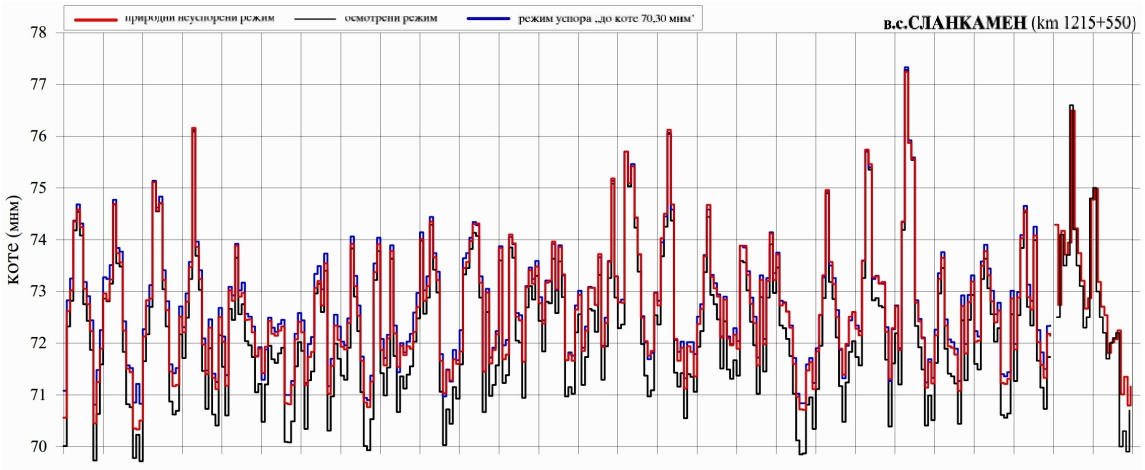

*Слика 43: Осцилације протока на одабраним водом. станицама дуж акумулације*

Полазну основу за даље математичко моделирање струјања подземних вода у циљу утврђивања утицаја успора ХЕ „Ђердап 1" на мелиоративна подручја представљају одговарајући водостаји, односно промене нивоа воде у Дунаву и притокама. У циљу обезбеђења подлога за анализе и прорачуне режима

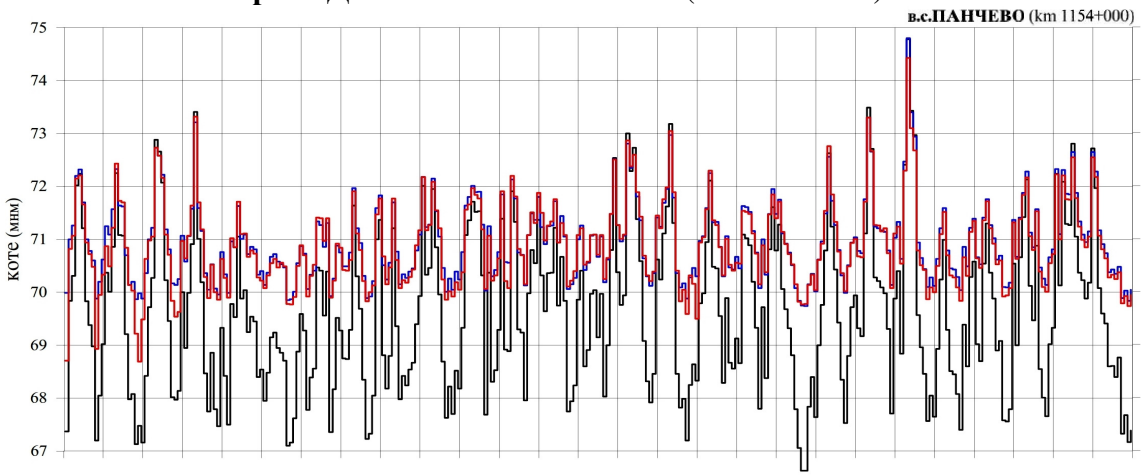
подземних вода на изучаваним подручјима, одређени су нивои воде који би се реализовали у природном (неуспореном) режиму водотока, добијеним рачунским путем и у осмотреном (и пројектованом) режиму успора „69,5 и више", у хидролошким условима забележеним у периоду од 1985 - 2013. године.

Треба напоменути да се наведени - природни, неуспорени и пројектовани водостаји Дунава и притока срачунавају од стране стручњака одговарајућег профила - хидролога и послужили су као улазни подаци за даља хидродинамичка истраживања. Упоредни приказ средњих месечних водостаја Дунава, осмотрених у анализираном периоду и одговарајућих вредности срачунатих за природни - неуспорени режим и пројектовани режим успора, на одабраним водомерним станицама, дат је на слици 44.

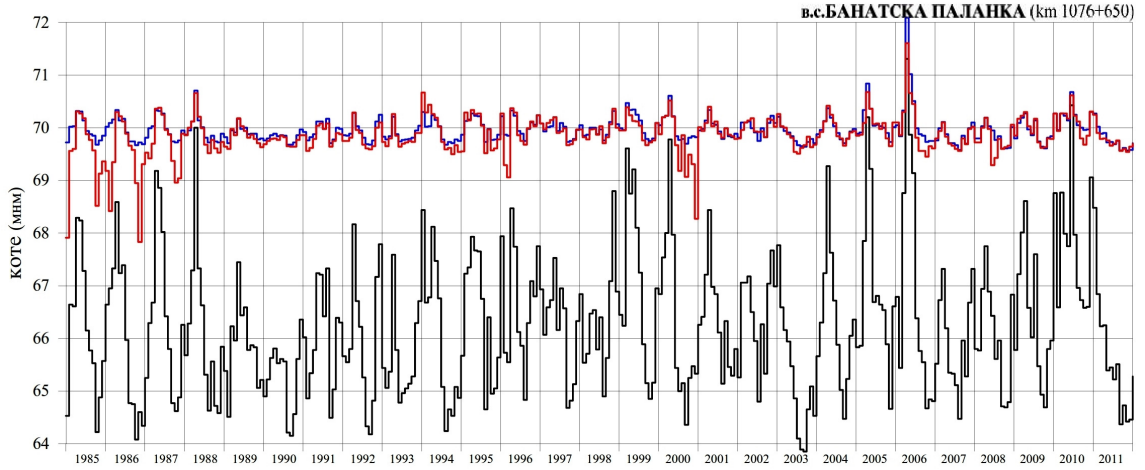
**река ДУНАВ** - в.с. СЛАНКАМЕН (km 1215+550)




**река ДУНАВ** - в.с. ПАНЧЕВО (km 1154+000)

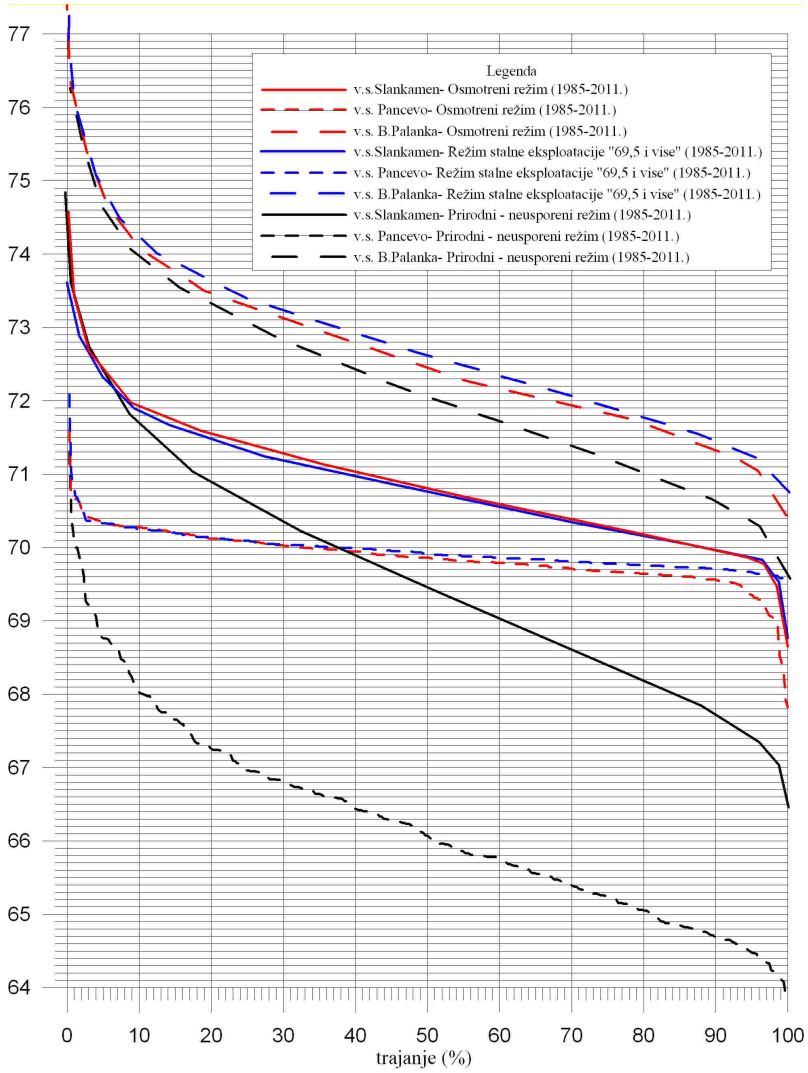



**река ДУНАВ** - в.с. Б. ПАЛАНКА (km 1076+650)




*Слика 44: Упоредни приказ средњих месечних осмотрених и рачунских (природних и пројектованих) водостаја Дунава на одабраним водомерним станицама у периоду 1985 - 2011.*

Криве трајања нивоа Дунава за осмотрени режим и рачунски - природни режим и пројектовани режим успора, на одабраним водомерним станицама, приказане су на слици 45.




*Слика 45: Криве трајања нивоа Дунава за осмотрени режим и рачунски - природни режим и пројектовани режим успора , на одабраним водомерним станицама*

Упоређивањем кривих трајања нивоа воде, у рачунском периоду од 1985 - 2011. год., на анализираном делу Дунава, за природни режим и остварени успорени режим рада ХЕ „Ђердап 1" (осмотрени и пројектовани), констатовано је повишење нивоа Дунава под утицајем успора и оно се креће у границама наведеним у табели 36.

*Табела 36: Вредности издизања осмотрених (успорених) нивоа Дунава у односу на природне (неуспорене), на одабраним водомерним станицама, у рачунском периоду од 1985 - 2011.год.*

| водомерне станице | трајање водостаја Дунава | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10% | | | 50% | | | 95% | | |
| | природни водостаји (mnm) | осмотрени водостаји (mnm) | издизање водостаја (m) | природни водостаји (mnm) | осмотрени водостаји (mnm) | издизање водостаја (m) | природни водостаји (mnm) | осмотрени водостаји (mnm) | издизање водостаја (m) |
| Сланкамен | 74.0 | 74.1 | 0.1 | 72.0 | 72.5 | 0.5 | 70.3 | 71.1 | 0.8 |
| Панчево | 71.6 | 71.9 | 0,3 | 69.5 | 70.8 | 1,3 | 67.4 | 69.8 | 2,4 |
| Б. Паланка | 68.0 | 70.3 | 2.3 | 66.1 | 69.9 | 3.8 | 64.5 | 69.4 | 4.9 |

### 9.2.5. Геолошке карактеристике

При анализи геолошких карактеристика изучаваног подручја, неопходно је узети у обзир да је предмет истраживања искључиво алувијални водоносни слој (квартарне старости), који се налази у непосредној хидрауличкој вези са површинским током Дунава и притока. С тим у вези при сагледавању геолошких карактеристика стенских маса анализирани су само приповршински седименти (максимално до 100 м од површине терена).

Као подлога за анализу геолошких карактеристика изучаваног подручја коришћена је ОГК СФРЈ (СРЈ) 1:100 000 са одговарајућим Тумачима. Списак коришћених листова ОГК СФРЈ (СРЈ) са периодом израде, дат је у табели 37.

Због обима самог рада, у кратким цртама, приказане су геолошке карактеристике стенских маса изучаваног подручја приобаља ХЕ „Ђердап 1“ према коришћеним листовима ОГК СФРЈ (СРЈ) 1:100 000 (литература Богдановић и др., 1978, Богдановић и др., 1985, Чучулић - Трифуновић, 1976, Чучулић - Трифуновић, 1997, Филиповић и др., 1979, Каленић и др., 1978, Марковић и др., 1985, Павловић и др., 1979, Рајчевић, 1983, Ракић и др., 1979, Терзин и др., 1995, Завод за геолошка и геофизичка истраживања, 1971).

*Табела 37: Списак коришћених листова ОГК СФРЈ (СРЈ) 1:100 000*

| р.б. | број листа ОГК | назив листа ОГК | аутор/ институција | година израде |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Л34 - 129 | Доњи Милановац | П. Богдановић, В. Марковић, Д. Долић, Д. Драгић, М. Ракић, М. Бабовић, Д. Рајчевић, В. Поповић, Љ. Милошевић, Геозавод, Београд, | 1968 -73 |
| 2. | Л34 - 128 | Кучево | М. Каленић, М. Хаџи -Вуковић, М. Веселиновић, М. О. Ракић, Т. Вујисић, М. Навала, М. Ђорђевић, М. Васиљев, Б. Ракић, В. Банковић, Завод за геолошка, хидрогеолошка,геофизичка и геотехничка истраживања, Београд, | 1967 -73 |
| 3. | Л34 - 126 | Смедерево | З. Павловић, Б. Марковић, Б. Атин, Д. Долић, Н. Гагић, О. Марковић, М. Н. Димитријевић, М. Вуковић, Геозавод, Београд, | 1965 -76 |
| 4. | Л34 - 125 | Обреновац | И. Филиповић, В. Радин, З. Павловић, М. Милићевић, Б. Атин, Геозавод, Београд, | 1966 -76 |
| 5. | Л34 - 116 | В. Градиште | П. Богдановић, Љ. Миливојевић, Геолошки институт, Београд | 1972 |
| 6. | Л34 - 115 | Бела Црква | М. О. Ракић, Геозавод, Београд, | 1972 -78 |
| 7. | Л34 - 114 | Панчево | Завод за геолошка и геофизичка истраживања, Београд | 1962 -65 |
| 8. | Л34 - 113 | Београд | Б. Марковић, М. Веселиновић, З. Обрадовић, Ј. Анђелковић, Б. Атин, Д. Костадинов, Завод за геолошка и геофизичка истраживања, Београд | 1974 -84 |
| 9. | Л34 - 112 | Шабац | Д. Н. Рајчевић, Геозавод, Београд | 1974 -78 |
| 10. | Л34 - 101 | Инђија | М. Чичулић - Трифуновић. Геолошки завод, Београд | 1976 -84 |
| 11. | Л34 - 100 | Нови Сад | М. Чичулић - Трифуновић. Геолошки завод, Београд | 1966 -70 |
| 12. | Л34 -89 | Зрењанин | В. Терзин, М. Хаџи - Вуковић, Геолошки завод -Гемини, Београд,В. Страјин, ДП Нафтагас, Нови Сад | 1992 |

Најстарије стенске масе на подручју истраживања откривне су у источном делу Србије, низводно од Голупца. На овом делу подручја налази се углавном високи терен, сачињен од прекамбријумских гнајсева, шкриљца и микашиста, палозојских гранодиорита, гнајсгранита, метавулканита и метаморфних вулканогено - седиментних стена и мезозојских јурских кречњака и кредних синајских слојева сачињени од кречњака, глинаца, пешчара и лапораца., јурских кречњака и кредних кречњака, пешчара и лапораца. Ове стенске масе налазе се у подлози неогених и квартарних седимената.

**НЕОГЕН (Ng)**

Неогени седименти представљају, на изучаваном подручју, узводно од Голупца, подлогу квартарних седимената. Низводно од Голупца, откривени су само у зони Д. Милановца, у виду тортонских пескова и конгломерата.

Узводно од Голупца, до Смедерева, неогени седименти сачињени су од тортонских пескова и пешчара, сарматских пескова и глина и меотских пескова, песковитих глина и пешчара. Изнад панонских седимената налазе се понтски пескови, песковитите глине и шљункови, односно понтски пескови и глине са наслагама угља (околина Костолца).

Између Смедерева и Београда, неогени седименти сачињени су од сарматских глина, лапоровитих глина, пескова, пешчара и кречњака и панонских пескова, пешчара, лапоровитих глина и глина, дебљине до 200 м. Плиоценски, понтски седименти леже дикордантно преко панонских седимената и представљени су претежно песковима, шљунковима и глинама, дебљине до 100 м.

У зони Београда, квартарни слојеви су значајне дебљине и леже на горњомиоценским и плиоценским седиментима од глина и песковитих глина.

Узводно од Београда, уз ток реке Дунав, неогени седименти сачињени су од плиоценских седимената који леже дискордантно преко различитих слојева доњег, средњег и горњег миоцена. Од плиоценских седимената најзаступљенији су понстки пескови, пешчари и лапорци и горњоплиоценски шљункови, алевритски пескови, песковити алеврити и алевритске глине.

Уз ток реке Тисе, у подини квартарних наслага, налазе се неогени, углавном плиоценски седименти који леже дискордантно преко различитих

доњег, средњег и горњег миоцена. Најзаступљенији су горњоплиоценски седименти представљени глинама и песковима, местимично и са слојевима лигнита.

Узводно од Београда, уз ток реке Саве, неогени седименти представљају подлогу квартарних седимената и представљени су сарматским глинама, песковитим глинама и кречњацима, панонским седиментима, шљунковима, песковима, лапорцима и глинама и доњоплиоценским лапоровитим глинама и песковима.

**КВАРТАР (Q)**

У току квартара стваране су различите генетске творевине међу којима плеистоцену припадају пролувијално - делувијални седименти, лес и песковити лес, еолски песак и речне терасе, а холоцену сипари, пролувијум и алувијум са фацијама старача, корита и поводња.

Низводно од Голупца, доминира високи терен сачињен од прекамбријумских, палеозојских и мезозојских стенских маса, а неогени и квартарни седименти могу се наћи само микролокацијама нижих терена. Квартарни седименти представљени су у околини Голубца пролувијалним (pr') шљунковима и песковима (дебљине до 40 м) и на лавинским конусима које стварају повремени токови на местима њиховог избијања на алувијалну равницу река. Партије делувијума (d) запажене су на благим падинама изграђеним од неогених стена. У близини Текије запажене су две терасе (t) које леже изнад локалних ерозионих базиса и изграђене су од шљунковито - песковитог материјала који припада фацији корита. У долини Пека и других већих токова запажене су две терасе (t) изграђене претежно од шљунковито - песковитих материјала који припадају фацији корита. Лес (l) се јавља у облику малих крпа око Голубца. Највећи број сипара (s) ствара се на стрмим падинама изграђеним од спрудних фација.

Највећи број водених токова, укључујући Дунав низводно од Голупца, Печку и Поречку реку и мање речне токове, налазе се у узаним алувијалним равницама (al) који сачињавају шљунковите наплавине углавном мале дебљине. У области Браничева алувијална равница Пека изграђена је од шљунковито - песковитих седимената фације корита преко којих местимично леже творевине поводањских фација.

Узводно од Голупца, до Београда, откривене су различите квартарне творевине међу којима су најзаступенији плиоценске пролувијално - делувијалне наслаге, лес и копнени и песковити лес, еолски песак и речне терасе и холоценски делувијум, пролувијум и алувијум са фацијама корита, мртваја и старача.

Пролувијално - делувијалне наслаге представљене су слабо сортираним шљунковима и песковима, односно шљунковима, песковима, алевритима и бигром тзв ,,кличевачке серије“Лес и еолски лес (l) и песковити лес (lp) леже хоризонтално преко делувијално - пролувијалних наслага или седимената доњег сармата. Еолски лес окружује, док еолски песак (p) изграђује Велику пешчару чинећи највећу морфолошку јединицу на овом делу терена. Еолски песак се налази и у области Браничева, где учествује у изградњи пожеженске пешчаре. Холоценске делувијалне наслаге (d) представљене су шљунковима и глинама, а пролувијалне (pr) неправилном стратификацијом шљункова и пескова.

Алувијални депонати (al) представљени су фацијом корита, поводња и старача, а у мањој мери и алувијалним песковима, алувијалним суглинама и барским глинама. Северно од Дунава алувијални седименти настали су преталожавањем еолских пескова и леса, а разноврснијег материјала у делу јужном од Дунава. Творевине фације старача (пескови и алеврити) (am) стваране су у напуштеном кориту Дунава, Велике Мораве и мањих токова и чине је глиновити алеврити, алевритски пескови, алевритске глине и тресет, дебљине до 4м. Фација корита (a) изграђује цео профил речних токова или је покривена поводанским наслагама (ap) и састоји се од шљункова и пескова различите дебљине (до 20 m). У зони Панчевачког рита налазе се и алувијални ситнозрни пескови (алп), дебљине и до 20 m, алувијалне суглине (alsg) углавном дуж леве обале Дунава и барске глине (msg) мале распрострањености на површини терена.

У зони Београда и узводно уз Дунав, у току квартара су стваране различите генетске творевине.

Подручје Панчевачког рита изграђено је од квартарних седимената који су сачињени од плеистоценских речно - језерских седимента (пескова и шљункова) (ja -m/r) познатих као слојеви са "Corblcula fluminalis", просечне дебљине 15 - 40 m, као и холоценског алувијума - фације старача (am) и поводња (ap) и рецентних бара (b). Фација старача - мртваја (am) настала је у стрмим, великим меандрима Дунава, Од алувијалних депоната налазе се барски алеврити, дебљине 10 -15 m. Фацију поводња (ap) чине пескови и алевритични пескови, дебљине 5 -10 m, који су у тесној узрочној и просторној вези са фацијом мртваја.

Подручје Новог Београда са околином изграђено је на сличан начин с тим што се на површини приобалног терена налазе плеистоценске лесне терасе (l -w) у чијем подножју се налазе алувијални седименти - фације корита (a), старача (am) и поводња (ap). Фација корита (a) представљена је углавном песковима, са одређеним примесама прашине и глине, дебљине 5 -10 m.

Приповршински слојеви приобалног дела подручја старог Београда, чине речно - језерски седименти плеистоцена (пескови и шљункови) (ja -m/r), односно алувијум - фација корита (a) и речна тераса (t), који леже углавноом на неогеној подлози.

На узводним деловима тока Дунава и притока Тисе, Тамиша и Бегеја, квартарни седименти представљени су плестоценским и холоценским стенским масама. Доњоплестоценски седименти (ja -g -m) представљени су језерским еквивалентима и то песковима, шљунковима, песковитим глинама и алевритским глинама, променљиве дебљине (у горњем делу еродовани). Средњеплестоценски седименти представљени су језерско - речним и језерско барским седиментима. Горњоплеистоценски седименти, сачињени су од барских и лесоидних седимената виших тераса - сремске, тителске и дунавске. Холоцену припадају седименти прве алувијалне терасе Дунава и Тисе, седименти терасираних алувијалних равни Тамиша и Бегеја, алувијални седименти, барски седименти на површини терасе. У близини Новог Сада, у оквиру горњег и средњег плестоцена, издвојене су три речне терасе (t). Алувијални седименти (al) налазе се дуж приобалних зона реке

Дунава, Тисе, Тамиша и Бегеја и састоје се од песка, глине и муља. У склопу прве алувијалне терасе на површини су заступљени седименти фације корита (a'), седименти фације поводња (ap') и седименти фације мртваја (am'). Седименти фације корита (a') представљени су средњезрним и ситнозрним песковима, алевритским песковима, алевритско -глиновитим песковима, дебљине 3,0 -5,0 m. Седименти фације поводња (ap') су махом наталожени преко пескова фације корита и представљени су алевритксим глинама, песковито -глиновитим алевритима и алевритским песковима. Дебљина поводањске секвенце варира од 1,5 - 2,5 m. Седименти фације мртваја (am') налазе се на местима напушлених речних рукаваца и меандера. Малог су распрострањења и дебљине - 0,5 - 1,5 m. Барски седименти (b) заступљени су на површини друге и прве алувијалне терасе Дебљина им је веома мала, до 1,5 m, а распрострањење значајно.

Уз ток реке Тисе, квартарни седименти представљени су плестоценским речним, речно - барским и еолским седиментима, као и речним седиментима више терасе (фације поводња и корита) и холоценским седиментима прве алувијалне и инундационе терасе Тисе и Бегеја и барским седиментима на површини терасе. Алувијални седименти (al) налазе се дуж приобалних зона реке Тисе и Бегеја и састоје се од песка, глине и муља. У склопу прве алувијалне терасе на површини су заступљени седименти фације корита, фације поводња и фације мртваја. Седименти фације корита (a) представљени су средњезрним и ситнозрним песковима, алевритским песковима, алевритско -глиновитим песковим,. Седименти фације поводња (ap) су махом наталожени преко пескова фације корита и представљени су алевритксим глинама, песковито -глиновитим алевритима и алевритским песковима. Седименти фације мртваја (am) налазе се на местима напушлених речних рукаваца и меандера. Малог су распрострањења и дебљине. Барски седименти (b) заступљени су на површини друге и прве алувијалне терасе, мале дебљине.

Узводно од Београда, уз ток реке Саве, у оквиру квартарних наслага издвојене су речне терасе и алувијум са фацијама поводња, корита и мртваја. Речне терасе развијене су углавном дуж левих долинских страна река Колубаре и Тамнаве. Морфолошки су издвојена три терасна нивоа. У алувијалним наслагама

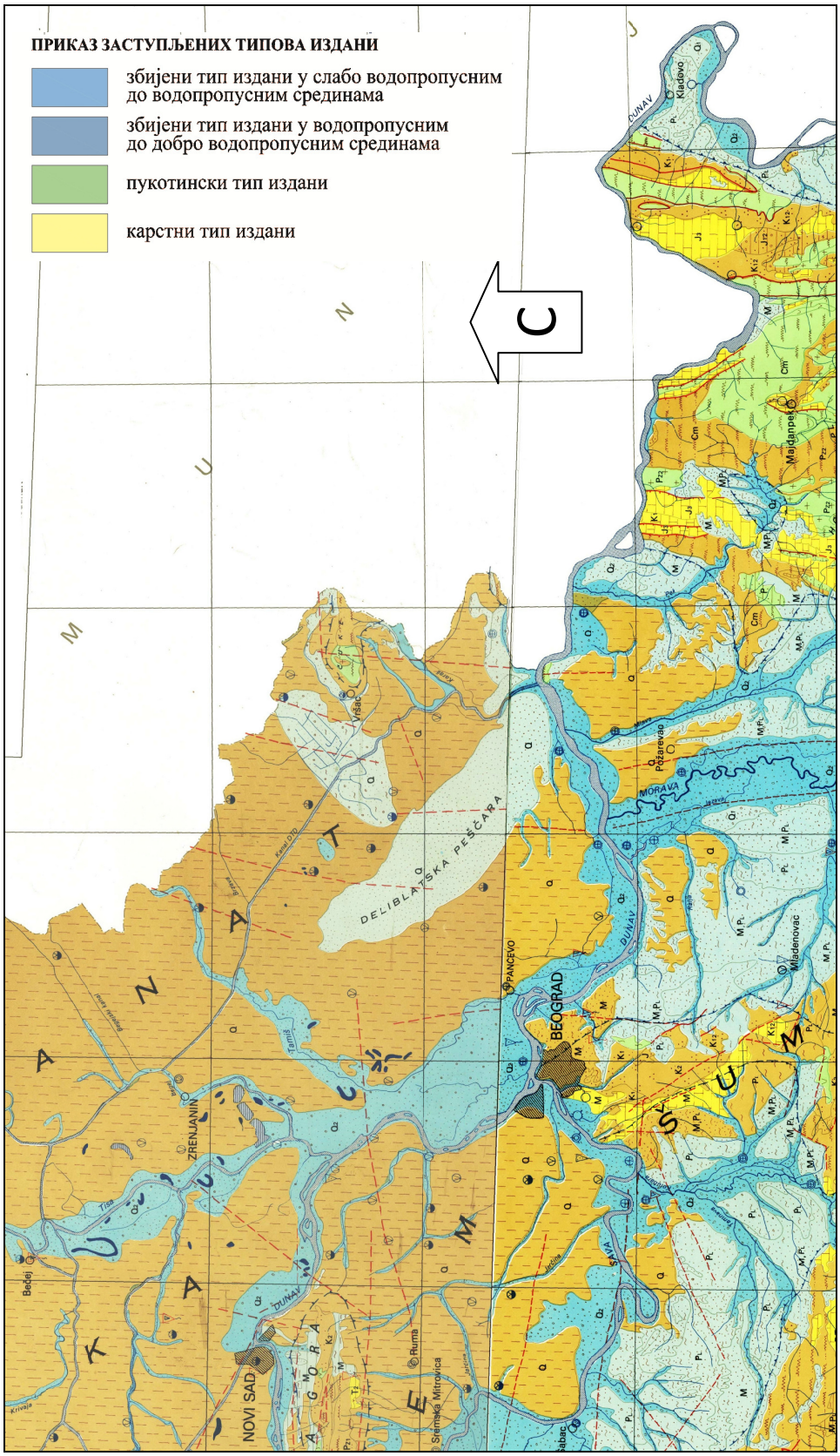
издвојене су фације поводња, мртваја и корита. Фација поводња (a) су по правилу ситнозрни муљевито -песковити седименти. Фација мртваја (am) представља депоноване замочварене и барске седименте. Фација корита (ap) представљена је својим главним и основним обликом алувијоном. Најзаступљенији седименти су хетерогени шљунак и подређено песак са сочивима шљунка.

### 9.2.6. Хидрогеолошке карактеристике

Приобална подручја налазе на квартарним, холоценским, растреситим и порозним, седиментима (алувијон, речне терасе...), флувијалног рељефа. Ови седименти настали су акумулационим деловањема речних токова, где су депоновани различити материјали, од најситнијих честица - прашине, глине и муља до већих честица - песка и шљунка *(Mamuћ, 2000).*

Прегледна хидрогеолошка карта изучаваног подручја дата је на слици 46.

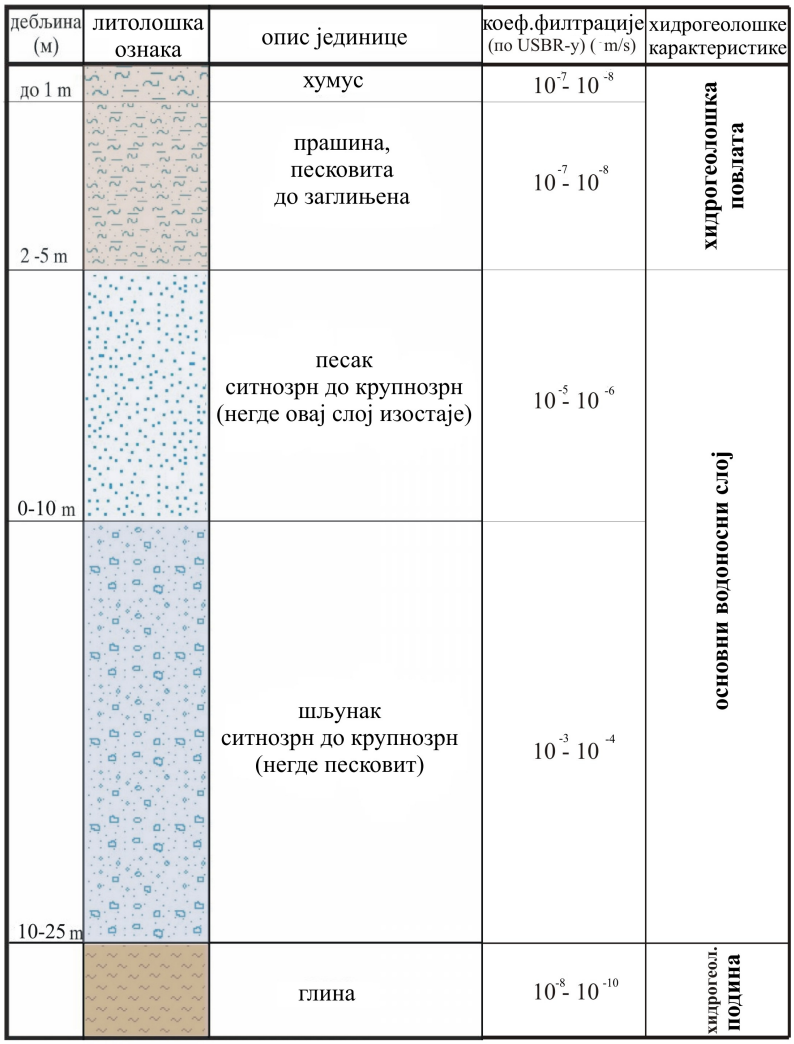
Детаљна хидрогеолошка карта дата је у прилогу 3.




*Слика 46: Хидрогеолошка карта изучаваног подручја*

Режим подземних вода у овим квартарним, алувијалним седиментима на изучаваним приобалним, мелиоративним подручјима формира се под истовременим утицајем низа сложених параметара. Унутар границе утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“ доминантну улогу на формирање режима подземних вода у основном (првом) водоносном слоју на разматраним мелиоративним подручјима има промена водостаја у Дунаву и притокама, на основу остварене директне, активне хидрауличке везе издани са речним токовима (при високим нивоима реке обавља се прихрањивање издани, док при ниским водостајима издан храни реку). Унутар подручја важан утицај на режим подземних вода имају и параметри вертикалног биланса. Прихрањивање издани обавља се инфилтрацијом атмосферских талога кроз полупропусни, повлатни слој, а дренирање издани обавља се углавном путем евапотранспирације. На режим подземних вода битно утиче и рад постојећих система за одводњавање разматраних мелиоративних подручја. Радом дренажних система (каналске мрежом са црпним станицама, дренажним бунарима (самоизливних и са потапајућим пумпама), дренажним колекторима, хоризонталном цевном дренажом...) обавља се дренирање издани и регулација режима подземних вода унутар подручја. Иза ове границе утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“, удаљавајући се од реке, доминантну улогу преузима на режим подземних вода утиче дотицај подземних вода са хипсометријски виших терена у залеђу и параметара вертикалног биланса.

Карактеристичан хидрогеолошки стуб основног водоносног слоја мелиоративних подручја дуж Дунава и притока приказан је на слици 47.




*Слика 47: Карактеристичан хидрогеолошки стуб основног водоносног слоја мелиоративних приобалних подручја*

### 9.2.6.1.Степен истражености и сложеност хидрогеолошке проблематике изучаваног подручја

Још у периоду пре формирања успора, за потребе избора решења заштите, изведен је знатан број структурно - пијезометарских бушотина за сагледавање геолошких и хидрогеолошких карактеристика изучаваних подручја. На овим структурно - пијезометарским бушотинама затим је успостављена осматрачка мрежа пијезометара, која је у каснијем периоду допуњавана према потребама за праћење режима подземних вода у условима успора и ефеката рада постојећих и изведених система заштите. Током времена, у процесу одржавања система,

сукцесивно се врши обнављање осматрачких објеката - пијезометара који су временом уништени или онеспособљени за осматрање.

На највећем делу изучаваног подручја, може се констатовати веома висок и завидан степен истражености подручја. Данас се (податак са краја 2015. године) на целокупном истражном подручју осматра укупно 863 структурно - пијезометарске бушотине. Преглед осматрачких структурно - пијезометарских бушотине подељених по секторима приобаља ХЕ „Ђердап 1“, дат је у табели 38. Међутим, и поред сталне доградње и обнављања осматрачке мреже, на неким деловима приобаља узводно од Београда стање по питању броја пијезометара и квалитета њиховог осматрања није задовољавајуће, те ни добијени подаци не представљају поуздану основу за сагледавања утицаја успора на нивое подземних вода и ефеката система заштите, а на неким деловима приобаља се не могу сагледати ни основни услови формирања режима подземних вода (подручје десне и леве обале Тисе узводно од Тителског брега до Бисерног острва, односно Новог Сада, делови Панчевачког рита, као и Ковиљско -Каћки рит, делови подручја дуж леве обале Саве).

*Табела 38: Преглед осматрачких структурно - пијезометарских бушотине подељених по деловима приобаља ХЕ „Ђердап 1“ (крај 2015. године)*

| **подручје** | **број осматрачких пијезометара** |
|---|---|
| подручја Голубац - В. Градиште са Градиштанским ритом и острвом и насеља низводно од Голупца | 172 |
| подручја Рам - Велика Морава | 77 |
| подручја Смедерево са Годоминским ритом | 69 |
| подручја на десној обали Саве са Београдом и Великосел. ритом | 116 |
| подручја на левој обали Саве са Н. Београдом и Земуном | 32 |
| подручја Нера - Дубовац - Ковин | 128 |
| подручја Ковин - Иваново | 68 |
| подручја Иваново - Панчево | 63 |
| подручја Панчевачки рит | 19 |
| подручја на левој обали Дунава са десномобалом Тисе | 42 |
| подручја на левој обали Дунава са десном обалом Тамиша | 63 |
| сектор 12: подручја на левој обали Тамиша | 14 |
| **УКУПНО** | **863** |

Хидрогеолошка проблематика изучаваног подручја везана је искључиво за први водоносни слој, формиран у стенама квартарне (холоценске) старости која се налазе у приобалним мелиоративним подручјима и режим подземних вода доминантно зависи од остварене активне хидрауличке везе са површинским токовима. О карактеристикама ових стенских маса и формираном режиму подземних вода у оквиру њих биће више речи у наредним подпоглављима.

#### 9.2.6.2. Распорострањење издани у плану и профилу и филтрационе карактеристике стена

О распрострањењу издани у плану и профилу, може се закључити на основу резултата свих претходних истраживања о геолошким и хидрогеолошким карактеристика изучаваног подручја (у приобаљу Дунава *(Матић, 2000; Полић, 1990),* у приобаљу Саве *(Вујасиновић, 1975; Живковић, 1976; Лазић, 1985; Поломчић и др., 2013),* у приобаљу Тисе *(Пајић и Урошевић, 2012; Васиљевић, 1999)* и на основу бројне фондовске техничке документације), односно на основу резултата истражног бушења (изведених истражних и структурно - пијезометарских бушотина) на изучаваном подручју.

У претходном поглављу дат је, у табели 35, преглед постојећих осматрачких структурно - пијезометарских бушотина на крају 2015. године, подељених по деловима приобаља ХЕ „Ђердап 1“. Иако не постоји прецизан податак, а знајући да је значајан број структурно - пијезометарских бушотина уништен до данас, а велики број обнављан, процена је да их је изведено преко 1200 у приобалним подручјима, за потребе анализе утицаја ХЕ „Ђердап 1“. Још неколико стотина истражних и структурно - пијезометарских бушотина изведено је на овим подручјима за решавање специфичне, конкретне хидрогеолошке проблематике (отварање и праћење рада изворишта, сагледавање рада дренажне каналске мреже и др.). На основу анализе и интерпретације свих постојећих и доступних података, на слици 44, приказан је карактеристичан хидрогеолошки стуб основног водоносног слоја мелиоративних приобалних подручја. Може се закључити да квартарну алувијалну средину сачињавају, у хидрогеолошком смислу, следеће групе седимената:

- ***површински слабијепропусни слој*** -

  Изграђен је од глиновито - прашинасто - песковитих седимената, с тим да углавном доминира прашинаста или глиновита фракција (на специфичним подручјима овај слој може изостати, па издан бива „отворена" и тада се формира издан са слободним нивоом). Коефицијенти филтрације за овај слој варирају од $10^{-7}$ - $10^{-9}$ m/s (према USBR - у), у зависности од заступљене доминантне фракције. Дебљина ових седимената је променљива и најчешће износи од 1 -6 m, ретко и више.

- ***основни водоносни слој*** -

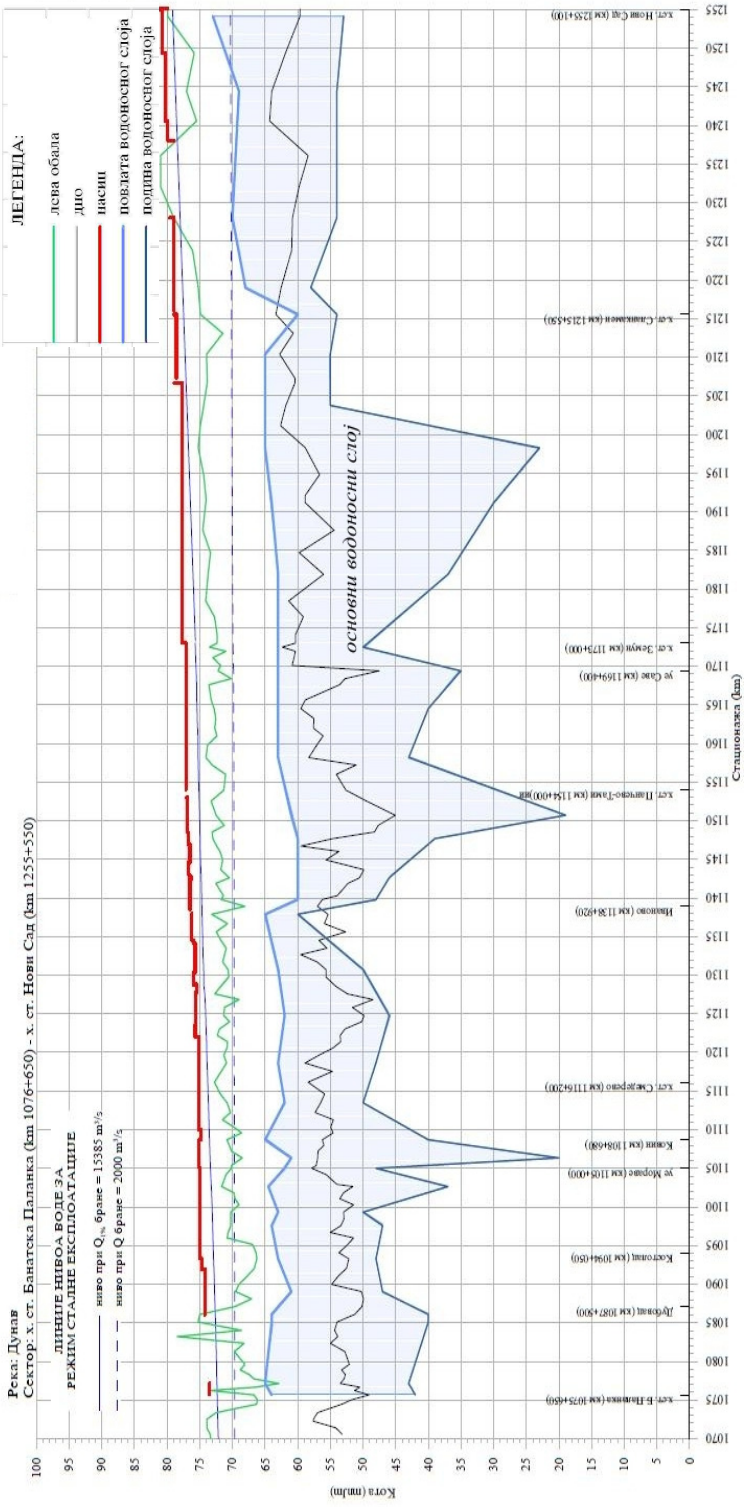
  Сачињавају га пескови, шљунковито - песковити седименти и шљункови, различите једнородности, гранулације (варира од ситнозрних пескова до крупнозрних шљункова) и водопропусности. Често у горњем делу водоносног слоја могу се наћи пескови, а испод њих шљункови различите гранулације и коефицијента филтрације. Филтрационе карактеристике ових седимената зависе од заступљене доминантне фракције и може варирати за пескове од $10^{-5}$ - $10^{-6}$ m/s, а за шљункове $10^{-3}$ - $10^{-4}$ m/s. Дебљине овог слоја је променљива и износи просечно сса 15 -20 m

- ***практично непропустан подински комплекс*** -

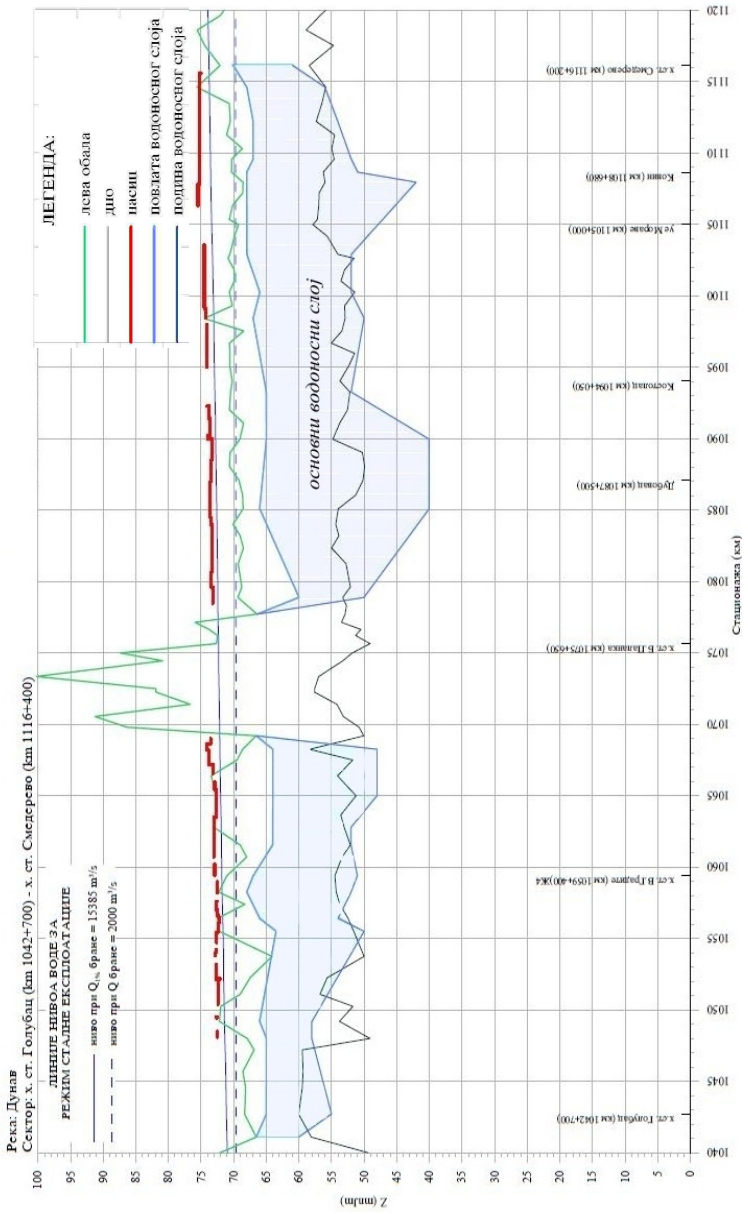
  Овај слој чине глиновити седименти. Представљају непропустан подински комплекс и имају првенствено изолаторску улогу (коефицијенти филтрације $10^{-8}$ -$10^{-10}$ m/s).

У зависности од хидрогеолошких карактеристика седимената и њиховом положају у односу на површински ток, формирана издан може бити под притиском и са слободним нивоом. Издан под притиском може бити артеска или субартеска.

На основу анализе свих постојећих и доступних података великог броја изведених истражних радова сагледано је распрострањење издани у плану и профилу. У прилогу _ приказан је положај мелиоративних подручја, односно распрострањење изучаване алувијалне издани у плану. На сликама 39 - 40 приказан је подужни хидрогеолошки профил основног водоносног слоја дуж Дунава у зони акумулације ХЕ „Ђердап 1" (распрострањење издани у профилу).




*Слика 39: Подужни хидрогеолошки профил основног водоносног слоја дуж Дунава у зони акумулације ХЕ „Ђердап 1“ (лева обала - од Банатске Паланке (km 1076+650) до Новог Сада (km 1255+550)*




*Слика 40: Подужни хидрогеолошки профил основног водоносног слоја дуж Дунава у зони акумулације ХЕ „Ђердап 1“ (десна обала - од Голупца (km 1042+700) до Смедерева (km 1160+400))*

#### 9.2.6.3. Режим подземних вода и актуелно стање заштите приобалних подручја од утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“

Режим подземних вода осматра се и анализира још од шездесетих година прошлог века континуалним праћењем на осматрачкој мрежи изграђеној на изучаваним подручјима. Првобитна осматрачка мрежа је била изведена за потребе пројектовања заштитних дренажних система од неповољног утицаја успора (период пре формирања акумулације ХЕ „Ђердап 1“) *(Милорадов, 1976)*. До данас, она је даље сукцесивно ширена и обнављана, за потребе различитих режима експлоатације хидроелектране, у циљу праћења ефеката рада изведених дренажних система.

Генерално, на анализираним приобалним, алувијалним подручјима, режим подземних вода се формира на основу успостављеног активног хидрауличког контакта између реке и водоносног слоја. У приобалним деловима ових подручја, карактер осциловања доминантно зависи од карактера осциловања површинског тока - реке, успореног услед рада ХЕ „Ђердап 1“, а затим и од ефеката рада изграђеног дренажног система за заштиту подручја. У даљим деловима подручја, утицај на режим подземних вода се остварује на основу параметара вертикалног биланса и рада система, а при крају подручја на основу подземног дотицаја са хипсометријски виших терена у залеђу.

На основу анализе прикупљених и обрађених података, као и резултата техничког увида у стање на терену, анализиран је режим подземних вода и актуелно стање заштите изучаваних мелиоративних подручја (и успором обухваћеним насеља и индустријских зона) за актуелне услове (резултати истраживања из 2013 - 2014.год.).

Анализирана приобална подручја су се штитила од високих нивоа подземних вода и пре изградње и пуштања у рад хидроелектране „Ђердап 1“, односно у природним условима. Пуштањем у рад хидроелектране „Ђердап 1“, односно даљим преласком на рад хидроелектране са вишим котама успора, овај сложени систем заштите је бивао континуално реконструисан и дограђиван, у циљу задовољења усвојених критеријума залегања подземних вода, односно у циљу остваривања услова за несметано коришћења ових подручја према

првобитној намени.

Анализирани подаци осматрања режима подземних вода унутар брањених подручја, рада црпних станица и рада дренажних система (дренажних канала са дренажним бунарима, дренажних колектора, хоризонталне цевне дренаже) показују да се након изградње система за заштиту од успора ХЕ „Ђердап 1“ на делу приобаља које дотле није било брањено од успора Дунава, односно након реконструкције система заштите, на подручјима која су била брањена постојећим системима за одводњавање, остварен режим подземних вода у складу са усвојеним критеријумима залегања према намени подручја (0.8 - 1.0 m за пољопривредна подручја, 2.0 m за насеља, 3.0 m за градове и индустријске зоне). Након примене ових мера, на највећем делу ових подручја, остварен је повољан режим подземних вода, чиме је омогућена стабилна, екстензивна пољопривредна производња на мелиоративним подручјима, односно функционисање инфраструктуре и неометан развој насеља и градова.

Само најнижи делови терена, углавном који се налазе испод коте 71,50 mnm на делу између бране и Голупца, нису могли бити континуално штићени, већ су морали бити дислоцирани на више коте терена (Доњи Милановац, Текија, М. Голубиње, В. Голубиње, Мосна, део насеља Добра).

У наставку дат је крађи приказ и основна анализа стања режима подземних вода и актуелно стање заштите приобалних подручја Дунава и притока под утицајем успора ђердапске акумулације.

**<u>Подручја на деесној обали Дунава</u>**

- **Насеља низводно од Голупца (Мосна, Д. Милановац, Добра, Брњица)**

**Насеље Мосна** (број 46 на прилогу 1). Још пре изградње ХЕ „Ђердап 1“ комплетно је дислоцирано (2 km узводно уз Поречку реку). Оригинални терен насут је кохерентним материјалом до кота 70,5 - 73,0 mnm. Режим подземних вода првенствено зависи од осцилација Поречке реке. Данас се континуално осматра укупно 13 пијезометара. У насељу Мосна није пројектован дренажни систем, а насеље се од негативног утицаја Дунава штити одбрамбеним насипом.На делу уз десну обалу Поречке реке нивои подземних вода се региструју углавном око 69.0 - 71.0 mnm, а при обарању нивоа воде у акумулацији (до коте 63.0 mnm) и испод

коте 68,0 mnm. Узводно од насеља, нивои подземних вода се крећу од 70,0 -73.0 mnm. На делу уз леву обалу Поречке реке нивои подземних вода се региструју око кота 68,0 -69,5 mnm. На левој обали угрожени су сви објекти који се налазе на нижим теренима, а на десној обали, део низводно од дрвног комбината (запуштени индустријски објекти).

**Насеље Доњи Милановац**. Већим делом је лоцирано на терену са котама 71,0 -72,0 mnm док мањи део егзистира на насутом платоу. У насељу Доњи Милановац није пројектован дренажни систем, а насеље се од негативног утицаја Дунава штити обалоутврдом са валобраном. Режим подземних вода првенствено зависи од осцилација Дунава, у акумулацији ХЕ „Ђердап 1“ и падавина. Данас се континуално осматра укупно 13 пијезометара. У зони насутог платоа региструју се нивои подземних вода око 70,0 - 71,0 mnm, а на делу уз залеђе око 71,0 - 72,0 mnm. У зависности од локалитета, дубине до нивоа подземних вода у просеку износе 1,0 -3,5 m (на делу ближе Дунаву до 3 m,а на делу према вишој тераси око 1,5 m).

**Насеље Добра** (број 35 на прилогу 1)**.** Насеље Добра је већим делом релоцирано узводно уз Добранску реку. У насељу се тренутно осматра 13 пијезометара. Режим подземних вода у приобалном делу насеља зависи од водостаја Дунава и Добранске реке и рада дренажних бунара, а у вишим деловима, од подземног дотицаја из залеђа.. У најнижем делу насеља нивои подземних вода су регистровани приближно коти Дунава, док се на узводном делу насеља према високој тераси, због специфичних хидрогеолошких услова, налазе на вишим котама (до 76,0 mnm). За заштиту поменутих нижих делова насеља ближе Дунаву изграђен је и 2010. године пуштен у рад дренажни систем који чине бунари са потопљеним пумпама (I фаза), након чега су у најнижим деловима брањеног подручја снижени нивои подземних вода, али нису у потпуности остварени пројектовани нивои (бунари констатовано раде са честим укључењима и искључењима).

**Насеље Брњица** (број 36 на прилогу 1)**.** У насељу тренутно се осматра 4 пијезометара. Насеље Брњица се штити дренажним колектором са црпном станицом, која дренажне воде евакуише у Брњичку реку. Дужи крак колектора

постављен је паралелно Брњичкој реци на завршетку насутог платоа, а други, краћи, паралелно Дунаву. Режим подземних вода зависи од промене водостаја Дунава и Брњичке реке и рада дренажног система (дренажног колектора са црпном станицом). Нивои подземних вода, након испирања дела колектора, осцилирају у интервалу 68,0 -68,8 mnm.

- **Подручје Голубац - Велико Градиште са Градиштанским острвом и ритом**

**Насеље Голубац** (број 37 на прилогу 1)**.** Данас се у насељу континуално осматра укупно 12 пијезометара.Режим подземних вода зависи од промене водостаја Дунава и рада дренажног система, сачињеног од 18 дренажних бунара са потопљеним пумпама, паралелног Дунаву. Након регенерације бунара нивои подземних вода у насељу близу су пројектованих. У централној зони насеља, поред обалоутврде нивои подземних вода су око кота 67,0 - 68.0 mnm, а у узводном делу насеља око кота 69,0 -69,8 mnm.

**Насеље Усје** (број 37 на прилогу 1)**.** Данас се у насељу континуално осматра укупно 13 пијезометара. Режим подземних вода зависи од промене водостаја Дунава и Туманске реке и рада дренажног система (дренажни колектор са дренажним бунарима и црпном станицом). Радом ових дренажних бунара обезбеђени су пројектовани нивои подземних вода, а црпна станица је искључена из експлоатације. У нижим деловима насеља нивои подземних вода одржавају се око кота 68,2 - 68,8 mnm, а у вишим деловима и до коте 70,0 mnm услед подземног дотицаја са високе терасе.

**Викенд насеље Винци** (број 37 на прилогу 1)**.** Данас се у насељу континуално осматра укупно 7 пијезометара. Режим подземних вода у приобалном делу насеља зависи од водостаја Дунава и рада дренажних бунара (реконструисаних у неколико фаза). И поред регенерације постојећих и доградње 3 дренажна бунара са утопним пумпама не остварују се у потпуности пројектом захтевани критеријум заштите подручја на целом подручју.Просечни нивои подземних вода налазе се на котама 68,0 -69,0 mnm у зони дренжног система, односно до коте 71,0 mnm, узводно од њега.

**Насеље Винци** (број 37 на прилогу 1). Данас се у насељу континуално осматра укупно 11 пијезометара. Режим подземних вода у приобалном делу насеља зависи од водостаја Дунава и рада дренажних бунара (4 дренажна бунара са потопљеним пумпама). Након регенерације бунара остварује се пројектом захтевани критеријум заштите насеља (дубине веће од 2 m).Просечни нивои подземних вода се налазе око пројектованих тј. око коте 69,0 mnm у зони дренажних бунара, до коте 69,5 mnm унутар подручја. У северном делу насеља, према мелиоративном подручју, остварују се ниски нивои, око кота 68,0 -68,5 mnm, а у југо -западном делу, услед рада изворишта, и нижи - 67,0 -67,5 mnm.

**Насеље Пожежено** (број 37 на прилогу 1). Данас се у насељу континуално осматра укупно 14 пијезометара. Режим подземних вода у насељу зависи од водостаја Дунава и рада дренажних бунара (3 дренажна бунара са сопственим пумпама) и дренажног колектора. Изведени дренажни систем је постигао пројектоване захтеве, осим у унутрашњем, нижем делу насеља и у делу ближе затвореном дренажном колектору IX црпне станице Пожежено Нивои подземних вода су у границама пројектованих кота, око 67,0 mnm (у унутрашњем делу насеља) - 68,0 mnm (у зони насеља уз Дунав). У циљу решавања проблема високих нивоа, средином 2012. године започети су радови на доградњи постојећег система заштите.

**Мелиоративно подручје Винци - Ушће Пека** (број 1 на прилогу 1). Данас се континуално осматра укупно 8 пијезометара. Режим подземних вода на подручју зависи од водостаја Дунава и рада дренажног система (отворена каналска мрежа са црпним станицама). Нивои подземних вода осцилују у малом дијапазону кота 67,0 - 68,0 mnm.

**Подручје Ушће Пека– Велико Градиште** (број 2 на прилогу 1). Данас се континуално осматра укупно 4 пијезометара. Режим подземних вода на подручју зависи од водостаја Дунава и рада дренажног система водостаја Дунава и рада дренажног система (отворена каналска мрежа са црпним станицама). Нивои подземних вода осцилују у малом дијапазону кота, односно налазе се око коте 68,50 mnm у низводном делу Пека.

**Насеље Велико Градиште** (број 38 на прилогу 1). Данас се у насељу континуално осматра укупно 10 пијезометара. Режим подземних вода у насељу

зависи од водостаја Дунава и рада дренажних бунара (12 бунара са потопљеним пумпама), а према унутрашњости и од рада околних система за заштиту подручја: Ушће Пека - В. Градиште, на истоку и Градиштански рит, на западу. Реконструкцијом и доградњом постојећег система, остварују се пројектовани нивои, од коте 67,5 mnm, у зони бунара, до коте 68,0 mnm, према залеђу, односно на дубинама већим од 3 m.

**Градиштански рит** (број 3на прилогу 1). Данас се у насељу континуално осматра укупно 17 пијезометара. Режим подземних вода у насељу зависи од водостаја Дунава и рада изграђеног система заштите (дренажни канал „Дубоки дрен“ са самоизливним бунарима и црпном станцом). У циљу снижавања високих нивоа подземних вода, изведени су и пуштени у експлоатацију самоизливни, дренажни бунари дуж трасе поменутог канала, што је довело до снижења нивоа подземних вода на брањеном подручју, у складу са усвојеним критеријумима залегања. Нивои подземних вода се одржавају око предвиђених кота 65,5 - 66,5 mnm. На делу подручја Градиштански рит, узводно од пута за Бели Багрем, после преграђивања Дунавца и радом црпне станице Дунавац, остварују се нижи нивои подземних вода (са смањеним осцилацијама). Високи нивои подземних вода остварују се само на делу подручја према залеђу - испод високе терасе од Тополовника до пута за Бели Багрем.

**Градиштанско острво** (број 4 на прилогу 1). Данас се у насељу континуално осматра укупно 15 пијезометара. Режим подземних вода у насељу зависи од водостаја Дунава и Дунавца и рада дреажног система, кога сачињавају преграђени Дунавац и дренажни канали са самоизливним бунарима. Нивои подземних вода се одржавају око пројектованих кота.

- **Мелиоративно подручје Рам - Велика Морава**

Мелиоративно подручје Рам - Велика Морава подељено је на три целине: подручје низводно од ушћа регулисане Млаве (Доње Костолачко острво) са Рамско - Кличевачким ритом, подручје између Костолачког канала и канала топле воде ТЕ „Костолац”.

**Насеље Кличевац** (број 5 на прилогу 1)**.** Данас се у насељу континуално осматра укупно 6 пијезометара. Режим подземних вода у насељу зависи од

водостаја Дунавца и рада дренажног система, односно дотицаја подземних вода, из залеђа. У нижим деловима насеља нивои подземних вода се региструју око кота 72,5 - 73,5 mnm, а према залеђу и до 80,0 - 85,0 mnm. Насеље нема изграђени дренажни систем за заштиту од негативног утицаја успора Дунава, а угроженост делова насеља, испод пута за Речицу, нису последица утицаја успора Дунава, већ дотока воде са више речне терасе.

**Мелиоративно подручје Доње Костолачко острво са Рамско - Кличевачким ритом** (број 5 - 6 на прилогу 1)**.** Данас се на подручју Доње Костолачко острво континуално осматра укупно 14 пијезометара, а на подручју Рамско - Кличевачки рит укупно 8 пијезометара. Режим подземних вода на подручју зависи од водостаја Дунавца и рада дренажног система (каналска мрежа са црпном станицом). Подручје низводно од ушћа регулисане Млаве, одводњава се са два сливна подручја: сливног подручја црпне станице Речица I и II (стара и нова) са главним реципијентом Дунавцем, коме гравитирају канали крајњег западног дела острва (група канала 9), канали Рамско -Кличевачког рита и канали између високог терена Кличевца и старог корита Млаве, односно са сливног подручја црпне станице Завојска мрежом отворених канала изграђених у најнижем делу острва поред Дунава. Дренажни систем црпне станице Речица је каналом 6 повезан са сливом црпне станице Завојска, која евакуише воде са целокупног мелиоративног подручја, док се црпна станица Речица укључује само повремено, током кишних периода. На мелиоративном подручју се одржавају захтевани нивои подземних вода, осим на крајњем западном делу Доњег Костолачког острва, због повећаног хидрауличког отпора на релацији пијезометарски ниво у водоносном слоју– ниво воде у каналу.

**Мелиоративно подручје Десна обала Млаве** (број 39 на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра свега 3 пијезометара. Режим подземних вода на подручју зависи од водостаја Млаве и рада дренажног система (плитка каналска мрежа са црпном станицом). Нивои подземних вода се налазе око кота 67,6 - 69,3 mnm.

**Насеље Стари Костолац** (број 39 на прилогу 1)**.** Данас се у насељу континуално осматра укупно 20 пијезометара. Режим подземних вода у насељу

формира у сложеним условима. У алувијалној равни Млаве, у функцији је водостаја Млаве и рада постојећег дренажног система, а нивои подземних вода се налазе око кота 67,8 - 69,0 mnm. У залеђу бунарског низа, нивои су у функцији дотока из правца површинског копа и крећу се око кота 71,0 - 75,0 mnm. У северном делу насеља према Дунаву у функцији је водостаја Дунава и Млаве, дотока из правца високе терасе, и формиране депоније пепела, а нивои подземних вода се крећу у границама 70,0 -72,0 mnm. Угроженост високим нивоима подземних вода регистрована је у северном делу насеља у зони између високе терасе Дунавца и депоније пелела ТЕ Костолац, што је проузроковало допуну система изградњом 2 дренажна бунара и канала дуж Дунаваца (нису још укључени у експлоатацију).

**Ново насеље Канал** (број 40 на прилогу 1)**.** Данас се у насељу континуално осматра укупно 20 пијезометара. Режим подземних вода у насељу је у директној зависности од водостаја Дунава, јер нема изграђени дренажни систем. Од високих водостаја Дунава заштићено је одбрамбеним насипом. Плитко залегање подземних вода се региструје у пролећном периоду године, нарочито на нижим деловима терена.

**Мелиоративно подручје Горње Костолачко острво** (број 7 на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра укупно 13 пијезометара. Режим подземних вода на подручју зависи од водостаја Дунава и рада постојећег дренажног система (система дренажних канала у комбинацији са самоизливним дренажним бунарима и одржавањем нивоа воде у Дунавцу на захтеваним котама помоћу црпних станица Колиште I и Колиште II). Нивои подземних вода се региструју око кота 69,0 - 70,0 mnm (на северозападном делу острва и у зони канала Хладне воде ТЕ Костолац), односно око кота 68,00 -68,90 mnm (између канала Хладне воде, D -1 -2 -1 и канала D -1 -3 -4). У централном делу нивои се налазе у интервалу 67,5 - 68,0 mnm. Угроженост се региструје само на ниским теренима у зони насипа поред канала хладне воде ТЕ „Костолац".

**Мелиоративно подручје Дубравичка касета** (број 8 на прилогу 1). Данас се на подручју континуално осматра укупно 13 пијезометара. Режим подземних

вода на подручју зависи од водостаја Дунава и рада постојећег дренажног система. Просечни нивои подземних вода се налазе у границама предвиђених.

- **Мелиоративно подручје Годомински рит са индустријском зоном и насељем Смедерево**

Подручје Годоминског рита је, изградњом канала техничке воде, подељено на два независна сливна подручја: мелиоративно подручје Годомински рит, између Велике Мораве и канала железаре са насељима Кулич и Шалинац и подручје између канала Железаре и старог тока Језаве.

**Насеља Кулич и Шалинац** (број 47 на прилогу 1). Данас се у насељу Кулич континуално осматрају само 4 пијезометара, а у насељу Шалинац само 3 пијезометара. Режим подземних вода у насељу Кулич зависи од водостаја реке и рада дренажног система (каналска мрежа са самоизливним бунарима и црпном станицом). Насеље нема изграђен дренажни систем за заштиту од високих нивоа подземних вода, а регистровани нивои подземних вода се налазе на дубинама од 1,0 -1,5 m од површине терена.

У насељу Шалинац режим подземних вода у насељу Кулич зависи од водостаја реке и рада дренажног система, као и изворишта „Радинац". У насељу Шалинац нивои подземних вода у насељу налазе се на дубинама већим од 2 m, изузев у најнижем делу подручја - уз канал VIII 4/4.

**Мелиоративно подручје Годомински рит** (број 9 на прилогу 1). Данас се на подручју континуално осматра укупно 24 пијезометара. Режим подземних вода зависи од водостаја Дунава и рада дренажног система (отворена каналска мрежа са црпним станицама).

**Насеља Гроцка и Винча**. Данас се у насељу Гроцка континуално осматра укупно 8 пијезометар, док за насеље Винча нема континуалних података осматрања. Насеља Гроцка и Винча немају изграђене системе за заштиту од успорених водостаја Дунава. Режим подземних вода у насељу зависи од водостаја Дунава. Просечни нивои у насељу Гроцка, у зони ближе Дунаву, налазе се око кота 70,5 - 71,5 mnm, а у насељу око кота 71,5 - 75,0 mnm, односно чак и при повољним хидролошким условима, на дубинама до нивоа подземних вода мањим од 2,0 m.

**Подручја на левој обали Дунава**

- **Мелиоративно подручје Нера - Дубовац - Ковин**

**Мелиоративно подручје Нера - Канал ДТД** (број 17 на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра 48 пијезометара. Режим подземних вода на подручју формира се у сложеним условима и зависи од промене водостаја Дунава, канала ДТД и Нере и рада дренажног система (отворене каналске мреже са самоизливним бунарима са остацима старих токова Караша и Јаруге, повезаних са црпним станицама Караш I и II). Режим подземних вода је практично амортизован због веома мале амплитуде осцилација Дунава на ушћу Нере. Просечни нивои дуж доводних канала региструју се око кота 66,8 - 67,5 mnm. Само најнижи делови терена, у зони горњег дела тока регулисане Нере иза канала О -2 и у горњем делу слива канала Ј -6 су угрожени високим нивоима подземних вода само током неповољних хидролошких услова, кратког трајања.

**Мелиоративно подручје Канал ДТД– Дубовац.** Данас се на подручју континуално осматра око 9 пијезометара. Режим подземних вода у функцији је водостаја Дунава и канала ДТД, а на подручју нису грађени одбрамбени насипи за заштиту од спољних вода.

**Мелиоративно подручје Дубовац - Ковин** (број 19 на прилогу 1). Данас се на подручју континуално осматра око 30 -так пијезометара. Режим подземних вода у функцији је водостаја Дунава и рада дренажног система (отворене каналске мреже са самоизливним бунарима и хоризонталном цевном дренажом), подељеног у три дренажне линије и 4 црпне станице Дубовац (стара и нова), Врба, Гај (стара и нова) и Мало Баваниште. Сливови црпних станица су међусобно одвојени. На подручју иза прве дренажне линије остварује се уједначен подземних вода, услед рада дренажног система на горњим границама пројектованих кота. Високи нивои региструју се само између насипа и прве дренажне линије. Евидентирано благо повишење нивоа подземних вода уз дренажне линије (поготову прве паралелне Дунаву) је последица лошег стања и функционалности самих дренажних самоизливних бунара. У лошем стању је и секундарна каналска мрежа, која је запуштена и практично да више није у функцији.

Насеље **Дубовац** које је заштићено дренажним бунарима са потопљеним пумпама међусобно повезаним заједничким изливом у Дунав. У насељима Дубовац и Ковин нивои се крећу око кота 67,5 - 68,5 mnm**.**

- **Мелиоративно подручје Ковин - Иваново** (број 20 на прилогу 1). Данас се на подручју континуално осматра укупно око 30 пијезометра. Режим подземних вода у функцији је водостаја Дунава и рада дренажног система (отворене каналске мреже са самоизливним бунарима и хоризонталном цевном дренажом и црпним станицама Ковин и Скореновац.), подељеног у три дренажне линије. Сливови црпних станица су међусобно одвојени. На подручју иза прве дренажне линије остварује се уједначен режим подземних вода, услед рада дренажног система на горњим границама пројектованих кота. Високи нивои региструју се само између насипа и прве дренажне линије. На сливном подручју црпне станице Скореновац региструје се повољан режим подземних вода, изузев на делу прве дренажне линије, у зони канала „S -3“ (евидентирано рушење косина и дна канала), а пројектном документацијом предвиђена је реконструкција дела система.

**Индустријска зона Ковин** (број 48 на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра укупно 28 пијезометра. Режим подземних вода у функцији је водостаја Дунава и рада 35 дренажних бунара са потопљеним пумпама. Након њиховог обнављања и регенерације просечни нивои подземних вода налазе се око пројектованих (66,0 - 67,0 mnm у зони бунара, 66,5 - 67,5 mnm у брањеном делу подручја). Током 2005. и 2006. године, дотрајали дренажни бунари су замењени новим (укупно 28 бунара), а крајем 2010. године урађена је физичко - хемијска регенерација преосталих 7 бунара, чиме је режим подземних вода доведен у пројектоване оквире.

- **Мелиоративно подручје Иваново - Панчево** (број 21 на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра укупно 21 пијезометар. Режим подземних вода у функцији је водостаја Дунава и рада дренажног система (отворене каналске мреже са самоизливним бунарима и хоризонталном цевном дренажом и црпним станицама Иваново, Маријино поље и Топола II). У условима успора и функционисања изведеног дренажног система на подручју се остварује

задовољавајући режим подземних вода. Дуж појединих дренажних канала (М -1 и М -1 -1) региструју су повећани отпори на релацији ниво воде у каналу - пијезометарски ниво у водоносном слоју што указује на старење самоизливних дренажних бунара.

**Насеље Иваново** (број 43 на прилогу 1). Данас се у насељу континуално осматра укупно 14 пијезометра. Режим подземних вода зависи од промена водостаја Дунава и дела Наделе под успором и рада постојећег дренажног колектора, чије је дејство временом ослабило. У централном и северном делу насеља нивои се налазе око кота 69,0 -70,0 а у јужном око кота 68,5 - 69,5 mnm.

**Индустријска зона Панчево** (број 49 на прилогу 1)**.** Данас се у овој зони континуално осматра укупно 14 пијезометра. Режим подземних вода у функцији је водостаја Дунава и рада дренажних бунара, који адекватно не функционишу због неповољног хемизма подземних вода и колмирања прифилтерске зоне бунара. Просечни нивои подземних вода се налазе око кота 70,0 - 72,00 mnm.

**Мелиоративно подручје Мали Рит** (број 21 на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра укупно 7 пијезометра. Режим нивоа подземних вода на подручју је пракатично у директној функцији водостаја Дунава. Иако црпна станица Топола II ради и одржава предвиђене нивое воде у доводном каналу, њен утицај је, због запуштене каналске мреже, ограничен само на ужи појас, око истог. Каналска мрежа је обрасла бујном вегетацијом, дна канала су запуњена, а неки канали су услед изградње појединих објеката преграђени, тако да је нарушена њихова ефикасност. Просечни нивои се региструју око кота 70,5 - 72,0 mnm.

**Насеље Панчево** (број 49 на прилогу 1)**.** Данас се у насељу континуално осматра укупно 9 пијезометра. Режим подземних вода зависи од промена водостаја Дунава и Тамиша. Просечни нивои подземних вода се региструју између кота 70,0 - 75,0 mnm.

- **Панчевачки рит** (број 22 на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра укупно око 20 пијезометра. Режим подземних вода се формира у сложеним условима, а првенствено је у функцији водостаја Дунава и Тамиша, параметара вертикалног биланса и рада дренажног система (отворене каналске

мреже са остацима старих токова и 7 црпних станица). Сливови црпних станица међусобно су повезани што ствара доста тешкоћа у њиховом раду. На већем делу нижих делова терена у зони поред Тамиша (ушће Тамиша у Дунав) остварује се неповољан режим нивоа подземних вода. У доводним каналима црпних станица Борча и Бељарица се одржавају високи нивои воде у односу на пројектоване као последица замуљења каналске мреже. На овако неповољно стање утиче и слаб ефекат постојеће каналске мреже у сливу црпне станице Рева, која је главни реципијент за ово подручје. Довођењем каналске мреже у функционално стање (измуљење канала, санација обрушених деоница и др.), као и одржавањем пројектованих нивоа воде у доводним каналима црпних станица, постојећи дренажни систем могао би да обезбеди заштиту овог подручја у актуелном режиму успора.

**Насеља Борча, Котеж, Крњача.** Неповољан режим подземних вода се региструје у насељеном делу поред Дунава између црпних станица Борча и Рева. На овом делу подручја је, у новије време, изграђен веома велики број стамбених објеката, углавном између Зрењанинског пута и насипа поред Дунава (Борча, Котеж) и између Зрењанинског и Панчевачког пута (Крњача), на нижим котама терена. Постојећа каналска мрежа до те мере запуштена (канали се преграђују, затрпавају), да је изгубила намену. Постојећи системи каналске не могу обезбедити потребан степен заштите, те се може констатовати да је овај приобални појас практично незаштићен.

**Мелиоративно подручје Книћанин - Чента** (број 23 на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра укупно око 16 пијезометра. Режим подземних вода се формира у сложеним условима, а првенствено је у функцији водостаја Дунава и Тисе и рада дренажног система који је реконструисан за потребе заштите од утицаја успора, изградњом каналске мреже са самоизливним бунарима и изградњом нове црпне станице Чента -нова. Просечни нивои подземних вода региструју се углавном око пројектованих кота, изузев дуж деоница каналске мреже где су самоизливи дренажних бунара постављени на вишим котама од пројкетованих, те се остварују виши нивои подземних вода.

**Насеље Книћанин** (број 45 на прилогу 1)**.** Данас се у насељу континуално осматра укупно 13 пијезометра. Режим подземних вода у функцији је водостаја Тисе и рада 16 дренажних бунара са потопљеним пумпама и сабирним колектором. Постојећи дренажни бунари не остварују у потпуности предвиђене ефекте. У насељу се нивои налазе око кота 70,0 -72,0 mnm, у зависности од хидролошких услова. Нивои подземних вода налази се на дубинама до нивоа подземних вода око 4 m и више.

- **Мелиоративно подручје Тителско -Гардиновачки рит** (број 29 на прилогу 1). Данас се на подручју континуално осматра укупно 14 пијезометра. Режим подземних вода у функцији је водостаја Дунава, односно Тисе, а мање рада дренажног система. Изградња нових црпних станица Тител и Лок није дала ефекте на снижење нивоа воде у каналској мрежи (за 1,5 m виши од пројектом предвиђених нивоа) која још није реконструисана према пројектима заштите за актуелни успор "69,5 и више“. Просечни нивои подземних вода налазе се око кота 71,0 - 72,0 mnm.

**Мелиоративно подручје Ковиљско -Кађки рит** (број 30 на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра укупно 9 пијезометра. Режим подземних вода у функцији је водостаја Дунава и постојећег система за одводњавање са црпним станицама Дунавац, Ковиљ и Калиште. У доводним каналима црпних станица региструју се нивои воде у пројектованим границама, а пројектом предвиђени радови реконструкције и доградње система нису изведени, јер је регистрован повољан режим подземних вода. Просечни нивои подземних вода крећу око коте 72,5 mnm, а према вишем терену у залеђу и до кота 74,0 - 75,0 mnm.

**<u>Подручја на десној обали Саве</u>**

**Мелиоративно подручје Великоселски рит**. Данас се у насељу континуално осматра укупно 9 пијезометара. Подручје није заштићено од утицаја Дунава, од чијих промена водостаја директно зависи режим подземних вода, односно подземне воде осцилују заједно са Дунавом. При високим водостајима Дунава подручје је плављено, а при просечним водостајима целокупан јужни и део северног подручја рита је угрожено високим нивоима подземних вода.

**Град Београд**. Данас се у старом делу Београда континуално осматра укупно 18 пијезометара. Режим нивоа подземних вода на подручју града се формира у сложеним условима. У приобалним, алувијалним деловима режим нивоа подземних вода зависи првенствено од осцилација водостаја Дунава и Саве и има сходно томе формирану амплитуду осциловања, сем дуж обода алувијона, где су ови нивои повишени и амортизовани услед подземног дотицаја из седимената у залеђу.

**Мелиоративно подручје Велики Макиш** (број 10 на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра укупно 7 пијезометара. Режим подземних вода на подручју зависи од промене водостаја Саве и рада бунара београдског изворишта. Радом рени бунара нивои подземних вода се региструју на већим дубинама (4 -5 m од површине терена и више).

**Насеље Остружница** (број 10 на прилогу 1)**.** Данас се у насељу континуално осматра 9 пијезометара. Насеље није заштићено од високих нивоа подземних вода, а претходних година урађена је техничка документација система заштите насеља од утицаја успора (бунари са потопљеним пумпама). Делом се налази на алувијалним теренима, уз Саву, а делом на теренима познатијим као ,,остружнички флиш“, низводно од обилазнице. У алувијалним седиментима доминантну улогу преузима утицај водостаја Саве, а низводно и режим рада бунара београдског изворишта. На флишоликом терену режим се формира не само под утицајем водостаја Саве, већ и услед атмосферских падавина и дотицаја са високе терасе,а нивои подземних вода налазе се на котама 73,5 - 76,0 mnm.

**Мелиоративно подручје Мали Макиш и насеље Умка са индустријском зоном** (број 10 на прилогу 1). Данас се на подручју континуално осматра укупно 10 пијезометара. Режим подземних вода на подручју зависи од промене водостаја Саве. Подручје Малог Макиша и насеља Умка угрожено је високим нивоима подземних вода јер изведени дренажни систем - низ дренажних бунара поред Саве, није пуштен у експлоатацију иако је већи део радова обављен. Решавање овог проблема угрожености подручја спроводи се индивидуалним насипањем терена за градњу објеката, чиме се доводи у питање неопходност пуштања у рад овог система.

**Мелиоративно подручје Барич - Мислођин** (број 11 на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра укупно 8 пијезометара. Режим подземних вода је у директној зависности од водостаја Саве, а на вишем терену у залеђу услед подземног дотицаја са високе терасе (нивои подземних вода на котама 74,0 - 76,3 mnm). Подручје се одводњава системом канала и остацима старог тока Колубаре, који су повезани са каналском мрежом, "ретензијом" и црпном станицом Мислођин (недовољног капацитета). што се реперкутује угроженошћу подручја током периода високих падавина и високих водотока Колубаре.

**Мелиоративно подручје Вић бара** (број 12 на прилогу 1). Данас се на подручју континуално осматра укупно 8 пијезометара. Режим подземних вода је у директној зависности од водостаја Саве, рада дренажног системг (плитке каналске мреже са црпном станицом Вић бар)а и рада бунара обреновачког изворишта. Просечни нивои подземних вода унутар подручја се крећу око кота 70,0 - 72,0 mnm.

**Мелиоративно подручје Забрешке ливаде са Забрежјем** (број 12 на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра укупно 14 пијезометара. Режим подземних вода на подручју зависи од промене водостаја Саве и ефеката каналске мреж са црпном станицоме. Реконструисаном црпне станице Забрешке ливаде, докопаном каналском мрежом (до пројектоване дубине) и изведеним самоизливним дренажним бунарима остварен је повољан режим подземних вода на овом подручју.

**Насеље Обреновац** (број 13 на прилогу 1)**.** Обреновац се налази на углавном котама терена 74,0 - 77,0 mnm и ниже (према Сави и Колубари). Данас се у насељу континуално осматра свега 9 пијезометара. Режим подземних вода на подручју првенствено зависи од промене водостаја површинских токова. У деловима насеља са нижим котама терена (зона поред Колубаре, хотел Обреновац, насеље Шљивице, нижи делови терена поред Купинца и др.) региструју се високи нивои подземних вода, у границама кота 72,5 - 74,0 mnm. Бунари за снабдевање Обреновца водом, лоцирани паралелно току Саве, штите ниже делове подручја, док је режим подземних вода на већем делу подручја неповољан.

**Мелиоративно подручја Бело поље и Велико поље** (број 13 на прилогу 1). Данас се на подручју континуално осматра укупно 7 пијезометара. Режим подземних вода на подручју зависи од промене водостаја у Колубари, као и од висине падавина на подручју и дотицаја из залеђа.

**Мелиоративно подручје Скела– Бреска** (број 13 на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра око 20 пијезометара. Режим подземних вода на подручју првенствено зависи од промене водостаја Саве и рада дренажног система (отворена каналска мрежа са самоизливним бунарима и црпном станицом). У зони иза дренажне линије заштите нивои подземних вода одржавају на пројектованим дубинама, док се високи нивои подземних вода региструју на делу терена између одбрамбеног насипа и прве дренажне линије и на делу између Главног канала и пепелишта ТЕНТ ,,А" .

**Мелиоративно подручје Вукићевица** (број 13 на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра свега 3 пијезометра. Режим нивоа подземних вода на делу подручја поред Саве у директној је функцији водостаја,

За узводно подручје, **Прово - Шабац** се не располаже подацима осматрања нивоа подземних вода. Треба истаћи и да је на овом потезу утицај успора ХЕ ,,Ђердап 1", изузетно мали, скоро па занемарљив.

**Подручја на левој обали Саве**

**Град Београд (Нови Београд и Земун)**. Данас се у Новом Београду и Земуну континуално осматра укупно 10 пијезометра. Овај део града није заштићен од неповољног утицаја успора на режим подземних вода. На делу подручја поред Дунава доминантан утицај на режим подземних вода има режим водостаја реке. На делу подручја поред Саве и у зони њеног ушћа у Дунав доминантан утицај преузима експлоатација „Ranney" бунара београдског изворишта. Високи нивои подземних вода на Новом Београду се региструју у зони улице Тошин Бунар и на ширем простору Градског парка, а у Земуну у зони Карађорђевог трга, улицама Франца Розмана и Творничкој и око Ретензије. Високи нивои се региструју и испод лесног платоа, одакле се остварује значајан подземни дотицај.

**Мелиоративно подручје Доње поље (Сурчинско поље - Јаково)** (број 14 на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра свега 5 пијезометара. Режим подземних вода на подручју формира се под утицајем водостаја Саве, рада „Ranney" бунара београдског изворишта (до подручја Зидине), падавина и дотицаја из залеђа. Високи нивои подземних вода региструју се испод високе терасе и низводно од бунара, према црпној станици Јаково, током пролећних периода.

**Мелиоративна подручја Зидине и Бољевци – Прогар** (број 15 - 16 на прилогу 1). Данас се на подручју континуално осматра свега 4, углавном у зони насеља Бољевци. Режим подземних вода је у директној зависности од водостаја Саве. На овим подручј има системи заштите су реконструисани за актуелни режим успора. У протеклом периоду, рад дренажног система углавном остварује захтеване ефекте осим на деловима уз Саву, између црпних станица Зидине и Нови Фенек, током пролећних периода.

**Мелиоративно подручје Прогар – Купиново**. За ово подручје, као и за подручје узводно од Купинова, не располаже се подацима осматрања нивоа подземних вода., мада се може констатовати да је режим подземних вода у директној зависности од водостаја Саве.

**Подручја на десној обали Тисе.**

На десној обали Тисе налази се насеље Тител и мелиоративна подручја: Тителски брег - Јегричка, Жабаљско - Чурушки рит, Бисерно Острво и Бечејски доњи рит.

**Насеље Тител** (број 44 на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра укупно 9 пијезометра. Режим подземних вода се формира у сложеним хидрогеолошким условима, а првенствено у функцији је водостаја Тисе и рада 6дренажних бунара са сопственим пумпама. Иако раде сви дренажни бунари, унутар насеља, просечни нивои подземних вода се одржавају на дубинама од 1,5 - 2,0 m од површине терена.

**Мелиоративна подручја Тителски Брег - Јегричка** (број 31 на прилогу 1) **и Жабаљско - Чурушки рит** (број 32 на прилогу 1)**.** Не располаже се са подацима осматрања нивоа подземних вода на овим подручјима. Режим

подземних вода у функцији је водостаја Тисе и постојећег система за одводњавање. На овим подручјима није грађена додатна заштита од утицаја успора, иако постоји пројектна документација за реконструкцију постојећих система заштите. Подручје Тителски брег– Јегричка се одводњава каналском мрежом повезаном са црпним станицама Мошорин, Ђурђево и Врбица, чија сливна подручја су међусобно повезана. Постојећи систем није у могућности да обезбеди заштиту нижих делова терена од неповољних утицаја из правца Тисе, те је неопходно реконструкуисати систем. Подручје Жабаљско - Чурушки рит одводњава се системом канала (једнан дубоки (главни) канал кроз средину подручја са самоизливним бунарима и мрежа секундарних канала) са црпном станицом Жабаљ. Систем углавном може обезбедити потребну заштиту подручја.

**Мелиоративно подручје Бисерно Острво** (број 33 на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра укупно 6 пијезометра. Режим подземних вода у функцији је водостаја Тисе и постојеће каналске мреже са црпном станицом Бисерно Острво. Просечни нивои региструју се око кота 72,0 - 74,0 mnm.

**<u>Подручја на левој обали Тисе и десној обали Тамиша</u>.**

На левој обали Тисе налазе се следећа приобална подручја: Книћанин - Чента, Бело Блато, Мужља - Лукино село, Елемир - Арадац, Тараш, Кумански рит и Соколац. На подручјима Книћанин - Чента, Бело Блато и Мужља - Лукино село изграђени су нови дренажни системи за заштиту од утицаја успора, а остала подручја штите се раније изграђеним системима за одводњавање *(Анђелић и др., 2013).*

**Мелиоративно подручје Бело Блато** (број 24 на прилогу 1). Данас се на подручју континуално осматра укупно око 11 пијезометра. Режим подземних вода зависи од водостаја Тисе и језера, односно рада дренажног система (каналске мреже са дренажним бунарима). Остварује се углавном пројектован режим подземних вода. Реконструисани систем заштите, који обухвата каналску мрежу са самоизливним дренажним бунарима и црпне станице, обезбеђује подручју потребан степен заштите подручја.

**Мелиоративно подручје Мужља - Лукино село** (број 25а на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра укупно 10 пијезометра. Режим

подземних вода зависи од водостаја Тисе и језера, односно рада реконструисаног дренажног система (каналске мреже са самоизливним дренажним бунарима и хоризонталном цевном дренажом). Просечни нивои подземних вода се крећу углавном око кота 71,0 - 72,0 mnm. Иако се у доводном каналу црпне станице Мужља одржавају виши нивои воде од пројектованих и иако је систем повезан са каналском мрежом црпних станица Арадац 4 -5 и 4 -7 са суседног мелиоративног подручја, остварују се захтевани ефекти у дужем периоду године.

**Мелиоративно подручје Елемир - Арадац** (број 25б на прилогу 1)**.** Данас се на подручју континуално осматра укупно 9 пијезометра. Режим подземних вода зависи од водостаја Тисе и рада раније изграђених система за одводњавање. На подручју иза прве дренажне линије остварује се уједначен режим подземних вода, услед рада дренажног система на горњим границама пројектованих кота. Просечни нивои подземних вода варирају око кота 72,0 - 73,0 mnm. Високи нивои региструју се само између насипа и прве дренажне линије. Плитка каналска мрежа, изузев главних канала који евентуално могу имати дренажну улогу, проузрокује превлажен највећег дела пољопривредних површина. Реконструкција система Елемир - Арадац предвиђена је израђеном техничком документацијом.

**Мелиоративно подручје Тараш - Кумане** (број 26 - 27 на прилогу 1). Данас се на подручју континуално осматра укупно 6 пијезометра. Режим подземних вода зависи од водостаја Тисе и рада дренажног система. Просечни нивои остварују се око кота 73,0 - 74,0 mnm. Неповољан режим се констатује само на нижим теренима поред Тисе, јер је реконструкција црпне станице Тараш изведена тако да се у каналској мрежи не могу се одржавати нивои на захтеваним котама.

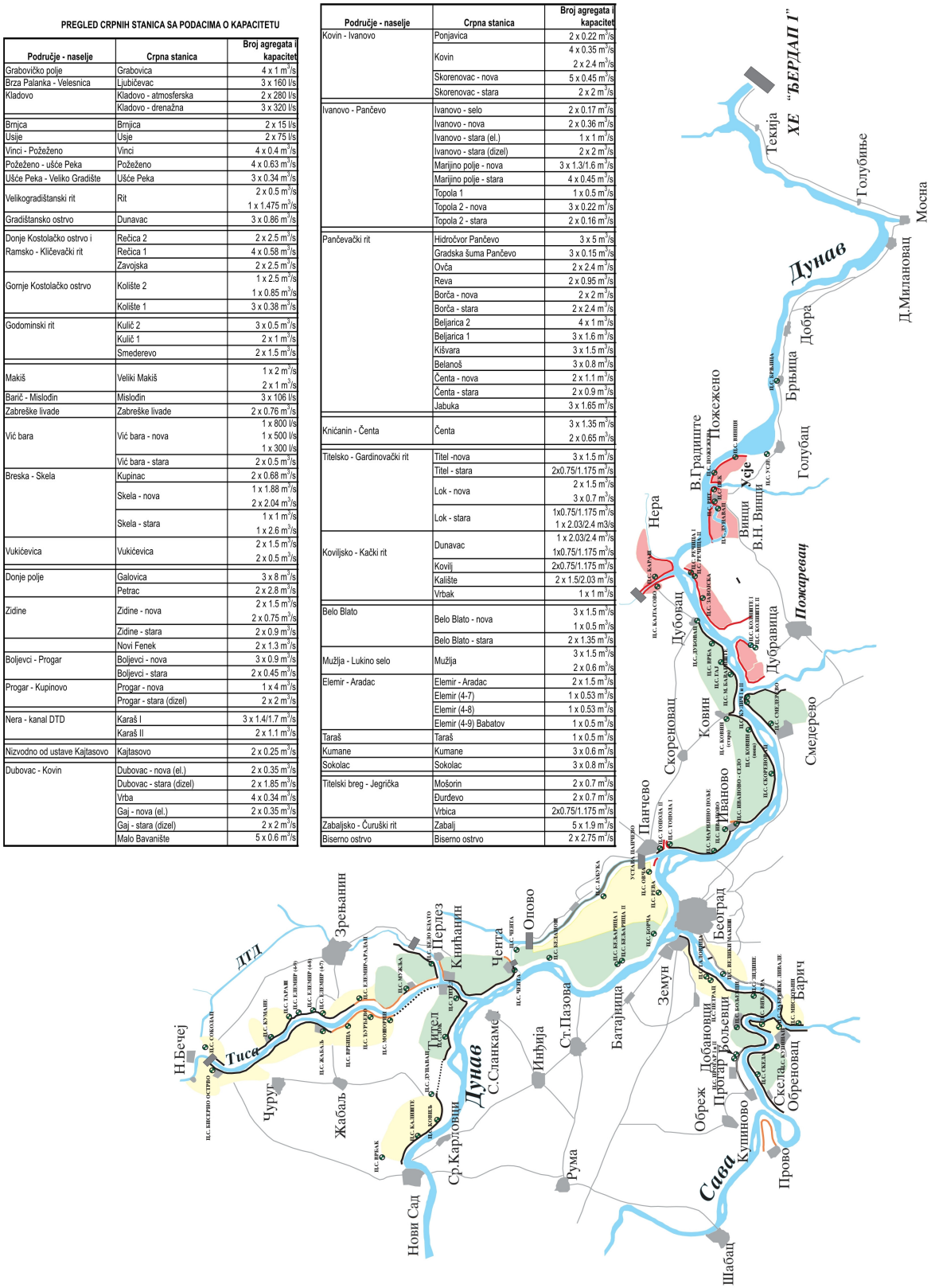
**Мелиоративна подручја на левој обали Тамиша**. Данас се на подручју континуално осматра укупно 13 пијезометра. Режим подземних вода зависи од водостаја Тамиша. Просечни нивои подземних вода се региструју око кота 71,5 - 72,0 mnm.

Положај црпних станица на изучаваним изучаваним подручјима у приобаљу ХЕ „Ђердап 1“ дат је на слици 41, а њихови капацитети у припадајућој табели 39.

**PREGLED CRPNIH STANICA SA PODACIMA O KAPACITETU**

| Područje - naselje | Crpna stanica | Broj agregata i kapacitet |
|---|---|---|
| Grabovičko polje | Grabovica | 4 x 1 $m^3/s$ |
| Brza Palanka - Velesnica | Ljubičevac | 3 x 160 l/s |
| Kladovo | Kladovo - atmosferska | 2 x 280 l/s |
| | Kladovo - drenažna | 3 x 320 l/s |
| Brnjica | Brnjica | 2 x 15 l/s |
| Usije | Usje | 2 x 75 l/s |
| Vinci - Požeženo | Vinci | 4 x 0.4 $m^3/s$ |
| Požeženo - ušće Peka | Požeženo | 4 x 0.63 $m^3/s$ |
| Ušće Peka - Veliko Gradište | Ušće Peka | 3 x 0.34 $m^3/s$ |
| Velikogradištanski rit | Rit | 2 x 0.5 $m^3/s$<br>1 x 1.475 $m^3/s$ |
| Gradištansko ostrvo | Dunavac | 3 x 0.86 $m^3/s$ |
| Donje Kostolačko ostrvo i Ramsko - Kličevački rit | Rečica 2 | 2 x 2.5 $m^3/s$ |
| | Rečica 1 | 4 x 0.58 $m^3/s$ |
| | Zavojska | 2 x 2.5 $m^3/s$ |
| Gornje Kostolačko ostrvo | Kolište 2 | 1 x 2.5 $m^3/s$<br>1 x 0.85 $m^3/s$ |
| | Kolište 1 | 3 x 0.38 $m^3/s$ |
| Godominski rit | Kulič 2 | 3 x 0.5 $m^3/s$ |
| | Kulič 1 | 2 x 1 $m^3/s$ |
| | Smederevo | 2 x 1.5 $m^3/s$ |
| Makiš | Veliki Makiš | 1 x 2 $m^3/s$<br>2 x 1 $m^3/s$ |
| Barič - Mislođin | Mislođin | 3 x 106 l/s |
| Zabreške livade | Zabreške livade | 2 x 0.76 $m^3/s$ |
| Vić bara | Vić bara - nova | 1 x 800 l/s<br>1 x 500 l/s<br>1 x 300 l/s |
| | Vić bara - stara | 2 x 0.5 $m^3/s$ |
| Breska - Skela | Kupinac | 2 x 0.68 $m^3/s$ |
| | Skela - nova | 1 x 1.88 $m^3/s$<br>2 x 2.04 $m^3/s$ |
| | Skela - stara | 1 x 1 $m^3/s$<br>1 x 2.6 $m^3/s$ |
| Vukićevica | Vukićevica | 2 x 1.5 $m^3/s$<br>2 x 0.5 $m^3/s$ |
| Donje polje | Galovica | 3 x 8 $m^3/s$ |
| | Petrac | 2 x 2.8 $m^3/s$ |
| Zidine | Zidine - nova | 2 x 1.5 $m^3/s$<br>2 x 0.75 $m^3/s$ |
| | Zidine - stara | 2 x 0.9 $m^3/s$ |
| | Novi Fenek | 2 x 1.3 $m^3/s$ |
| Boljevci - Progar | Boljevci - nova | 3 x 0.9 $m^3/s$ |
| | Boljevci - stara | 2 x 0.45 $m^3/s$ |
| Progar - Kupinovo | Progar - nova | 1 x 4 $m^3/s$ |
| | Progar - stara (dizel) | 2 x 2 $m^3/s$ |
| Nera - kanal DTD | Karaš I | 3 x 1.4/1.7 $m^3/s$ |
| | Karaš II | 2 x 1.1 $m^3/s$ |
| Nizvodno od ustave Kajtasovo | Kajtasovo | 2 x 0.25 $m^3/s$ |
| Dubovac - Kovin | Dubovac - nova (el.) | 2 x 0.35 $m^3/s$ |
| | Dubovac - stara (dizel) | 2 x 1.85 $m^3/s$ |
| | Vrba | 4 x 0.34 $m^3/s$ |
| | Gaj - nova (el.) | 2 x 0.35 $m^3/s$ |
| | Gaj - stara (dizel) | 2 x 2 $m^3/s$ |
| | Malo Bavanište | 5 x 0.6 $m^3/s$ |

| Područje - naselje | Crpna stanica | Broj agregata i kapacitet |
|---|---|---|
| Kovin - Ivanovo | Ponjavica | 2 x 0.22 $m^3/s$ |
| | Kovin | 4 x 0.35 $m^3/s$<br>2 x 2.4 $m^3/s$ |
| | Skorenovac - nova | 5 x 0.45 $m^3/s$ |
| | Skorenovac - stara | 2 x 2 $m^3/s$ |
| Ivanovo - Pančevo | Ivanovo - selo | 2 x 0.17 $m^3/s$ |
| | Ivanovo - nova | 2 x 0.36 $m^3/s$ |
| | Ivanovo - stara (el.) | 1 x 1 $m^3/s$ |
| | Ivanovo - stara (dizel) | 2 x 2 $m^3/s$ |
| | Marijino polje - nova | 3 x 1.3/1.6 $m^3/s$ |
| | Marijino polje - stara | 4 x 0.45 $m^3/s$ |
| | Topola 1 | 1 x 0.5 $m^3/s$ |
| | Topola 2 - nova | 3 x 0.22 $m^3/s$ |
| | Topola 2 - stara | 2 x 0.16 $m^3/s$ |
| Pančevački rit | Hidročvor Pančevo | 3 x 5 $m^3/s$ |
| | Gradska šuma Pančevo | 3 x 0.15 $m^3/s$ |
| | Ovča | 2 x 2.4 $m^3/s$ |
| | Reva | 2 x 0.95 $m^3/s$ |
| | Borča - nova | 2 x 2 $m^3/s$ |
| | Borča - stara | 2 x 2.4 $m^3/s$ |
| | Beljarica 2 | 4 x 1 $m^3/s$ |
| | Beljarica 1 | 3 x 1.6 $m^3/s$ |
| | Kišvara | 3 x 1.5 $m^3/s$ |
| | Belanoš | 3 x 0.8 $m^3/s$ |
| | Čenta - nova | 2 x 1.1 $m^3/s$ |
| | Čenta - stara | 2 x 0.9 $m^3/s$ |
| | Jabuka | 3 x 1.65 $m^3/s$ |
| Knićanin - Čenta | Čenta | 3 x 1.35 $m^3/s$<br>2 x 0.65 $m^3/s$ |
| Titelsko - Gardinovački rit | Titel -nova | 3 x 1.5 $m^3/s$ |
| | Titel - stara | 2x0.75/1.175 $m^3/s$ |
| | Lok - nova | 2 x 1.5 $m^3/s$<br>3 x 0.7 $m^3/s$ |
| | Lok - stara | 1x0.75/1.175 $m^3/s$<br>1 x 2.03/2.4 m3/s |
| Koviljsko - Kački rit | Dunavac | 1 x 2.03/2.4 $m^3/s$<br>1x0.75/1.175 $m^3/s$ |
| | Kovilj | 2x0.75/1.175 $m^3/s$ |
| | Kalište | 2 x 1.5/2.03 $m^3/s$ |
| | Vrbak | 1 x 1 $m^3/s$ |
| Belo Blato | Belo Blato - nova | 3 x 1.5 $m^3/s$<br>1 x 0.5 $m^3/s$ |
| | Belo Blato - stara | 2 x 1.35 $m^3/s$ |
| Mužlja - Lukino selo | Mužlja | 3 x 1.5 $m^3/s$<br>2 x 0.6 $m^3/s$ |
| Elemir - Aradac | Elemir - Aradac | 2 x 1.5 $m^3/s$ |
| | Elemir (4-7) | 1 x 0.53 $m^3/s$ |
| | Elemir (4-8) | 1 x 0.53 $m^3/s$ |
| | Elemir (4-9) Babatov | 1 x 0.5 $m^3/s$ |
| Taraš | Taraš | 1 x 0.5 $m^3/s$ |
| Kumane | Kumane | 3 x 0.6 $m^3/s$ |
| Sokolac | Sokolac | 3 x 0.8 $m^3/s$ |
| Titelski breg - Jegrička | Mošorin | 2 x 0.7 $m^3/s$ |
| | Đurđevo | 2 x 0.7 $m^3/s$ |
| | Vrbica | 2x0.75/1.175 $m^3/s$ |
| Zabaljsko - Čuruški rit | Zabalj | 5 x 1.9 $m^3/s$ |
| Biserno ostrvo | Biserno ostrvo | 2 x 2.75 $m^3/s$ |




*Слика 41 и табела 39: Положај црпних станица на мелиоративним подручјима у приобаљу ХЕ „Ђердап 1“*

# III ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО, РЕЗУЛТАТИ, ДИСКУСИЈЕ

## 10. ПРОУЧАВАЊЕ УТИЦАЈА УСПОРА ХЕ „ЂЕРДАП 1“ НА ПОЈАВУ ШТЕТА УСЛЕД ВИСОКИХ НИВОА ПОДЗЕМНИХ ВОДА НА БРАЊЕНИМ ПРИОБАЛНИМ ПОДРУЧЈИМА ДУНАВА

### 10.1. ХИДРОДИНАМИЧКИ МОДЕЛИ БРАЊЕНИХ ПРИОБАЛНИХ ПОДРУЧЈА ДУНАВА

За потребе сагледавања утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“, у различитим режимима експлоатације, још од периода пре изградње и пуштања у рад хидроелектране, формирани су хидродинамички математички модели струјања подземних вода. Циљ израде хидродинамичких модела је анализа и упоредба елемената режима подземних вода у неуспореним (природним) и успореним (осмотреним и пројектованим) условима Дунава (у режиму рада хидроелектране „69.5 и више“ и „до коте 70.30 mnm код ушћа Нере“) и одговарајућег уређења (заштите подручја). Поред анализе промене (повишења и продужетка трајања) нивоа подземних вода и настале угрожености подручја и повећања протицаја подземних вода кроз порозну средину анализираће се и, према изложеној методологији, повећање дотицаја подземних вода у каналску мрежу и црпне станице и повећање потребне енергије (ангажованости) црпних станица за препумпавање повећаних количина дренажних вода у реципијент. На основу резултата обављених прорачуна на хидродинамичком моделу квантификован је негативни утицај успора на режим подземних вода у приобаљу хидроелектране „Ђердап 1“.

Резултати дугогодишњих континуалних осматрања нивоа подземних вода у приобаљу представљали су улазне податке за спровођење математичког моделирања струјања подземних вода. Улазне податке представљали су и осмотрени водостаји Дунава и притока, али и рачуном добијени природни водостаји Дунава и притока, симулирани за услове пре изградње и пуштања у рад хидроелектране „Ђердап 1“ и рачуном добијени пројектовани водостаји Дунава и притока. Улаз у модел представљали су и нивои воде (осмотрени и пројектовани)

у дренажним системима црпних станица. Коришћени су и сви остали улазни подаци добијени на основу доступних резултата претходних истраживања и подаци добијени од одговарајућих надлежних служби („РХМЗ -а“, „Института за водопривреду „Јарослав Черни““, водопривредних организација и др.).

Математички модели су спроведени у простору, на свим подручјима на којима је постојао довољан фонд улазних података за квалитетно моделирање струјања подземних вода. Под тим се подразумева да постоји довољан број структурних и структурно - пијезометарских бушотина и осматрачких објеката условно равномерно распоређених по целокупном подручју. На подручјима где је ових података било знатно мање тако да је онемогућено квалитетно моделирање струјања подземних вода у плану и/или где су раније спроведени истражни радови наменски изведени дуж прорачунских линија управних на површински ток (дуж струјница подземних вода), математичко моделирање струјања подземних вода је обављено у профилу.

Моделирање струјања подземних вода обављено је у нестационарним условима, за период од 1985. год (почетак експлоатације ХЕ „Ђердап 1“ у режиму „69.5 и више“) до 2011. год. (до када се располаже подацима о рачунским - природним водостајима Дунава и притока, подацима о континуалном осматрању подземних вода и осмотреним нивоима воде у дренажним системима, као и свим осталим неопходним улазним подацима). Имајући у виду карактер промене нивоа подземних вода на анализираним подручјима у зависности од промене водостаја Дунава, за овај 27 -годишњи временски период узет је временски интервал (корак) од једног месеца, а тек за одређена специфична подручја по потреби и мање (7 дана).

## 10.2. ХИДРОДИНАМИЧКИ ПРОРАЧУН РЕЖИМА ПОДЗЕМНИХ ВОДА НА БРАЊЕНИМ ПРИОБАЛНИМ МЕЛИОРАТИВНИМ ПОДРУЧЈИМА ДУНАВА И ПРИТОКА

Након обављене детаљне анализе свих геолошких, хидрогеолошких, хидролошких, хидродинамичких и других услова на изучаваним подручјима формиран је математички модел режима подземних вода и обављени су

прорачуни за различите водостаје (успорене и неуспорене - природне) реке Дунав и различити степен уређености (заштите) подручја.

### 10.2.1. Подручја обухваћена моделом, дискретизација и шематизација струјног поља

Математичким моделима струјања подземних вода обухваћена су сва, напред наведена, мелиоративна подручја која се налазе под негативним утицајем успора Дунава и притока. Насеља и индустријске зоне, због својих специфичности, као и обима рада, нису били предмет хидродинамичке анализе.

На подручјима на којима је постојао довољан број равномерно распоређених истражних радова и неопходан фонд података континуалног осматрања нивоа подземних вода, математички модели струјања подземних вода су спроведени у простору. На подручјима где није постојао довољан број истражних радова и/или где су истражни радови изведени дуж прорачунских линија (профила) управних на површински ток, математичко моделирање струјања подземних вода је обављено у профилу. Математички модели струјања подземних вода у плану обухватили су мелиоративна подручја: Градиштанско острво, Градиштански рит, Горње и Доње костолачко острво, Годоминski рит, Београд - Земун, Панчевачки рит, Елемир - Арадац и др. За тродимензионално моделирање је коришћена најновија верзија софтвера Processing Modflow *(McDonald and Harbaugh,1988; Chiang et al, 1998; Walton, 2007).*

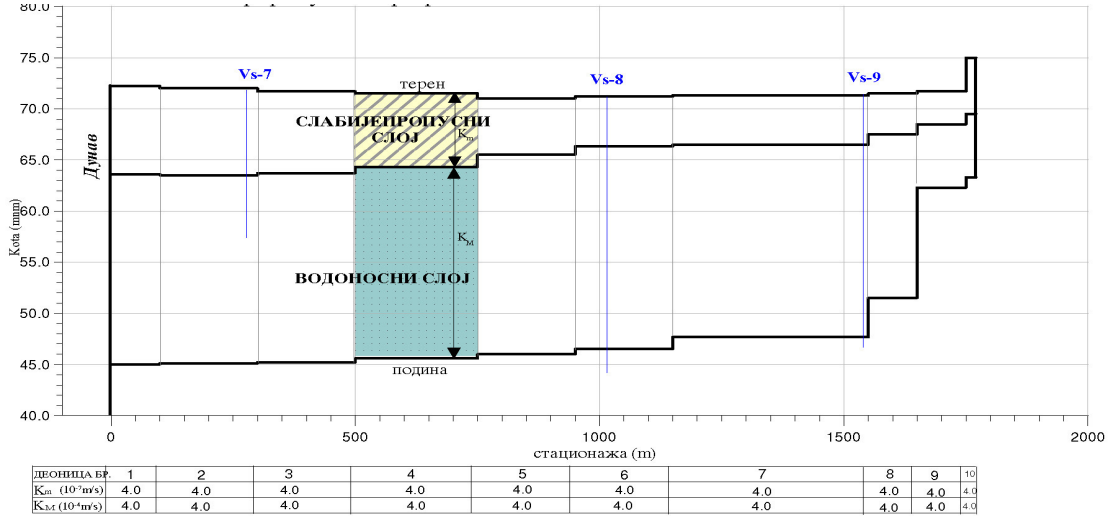
За преостала подручја (обично велике површине, са одређеним фондом истражних радова), доступни су били подаци о истраживањима наменски спроведеним дуж струјних линија подземних вода. На овим подручјима, за услове пре изградње хидроелектране и пре формирања услова и/или евентуално за ниже коте успора, формирани су математички прорачунски профили. Ови профили су измењени, реталонирани, а затим и верификовани за актуелни режим успора ХЕ „Ђердап 1“ и за актуелно уређење мелиоративних подручја.

Распрострањење математичког модела у плану дефинисано је на основу природних и усвојених хидродинамичких граница посматране струјне области (*Пушић и др., 1997).* На основу хидрогеолошких карактеристика изучаване

водоносне средине усвојена је оријентација математичког модела. Изучавана подручја шематизована су и дискретизована у плану, мрежом квадрата, са правцима поделе који су у складу са оријентацијом граница модела. Сваком пољу задате су одговарајуће карактеристике: геометрија издани (кота терена, кота повлате, кота подине), коефицијент филтрације повлатног слоја и издани, ефективна порозност површинског слоја, специфична издашност издани, итд.

Сва остала подручја која нису могла да буду моделирана у плану (где су истраживања наменски спровођена дуж струјница изучаваних подручја), шематизована су у профилу. Дуж прорачунских профила шематизација је извршена поделом профила на већи број деоница, а свакој од њих су задате одговарајуће карактеристике: дебљина издани, коефицијента филтрације издани и повлатног слоја, кота повлате, кота терена, ефективна порозност површинског слоја, итд.

На слици 42 приказана је шематизација водоносне средине у плану на примеру мелиоративног подручја Великоселски рит *(Пајић и др., 2012 ).*




| ДЕОНИЦА БР. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $K_m$ ($10^{-7}$m/s) | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 |
| $K_M$ ($10^{-4}$m/s) | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 |

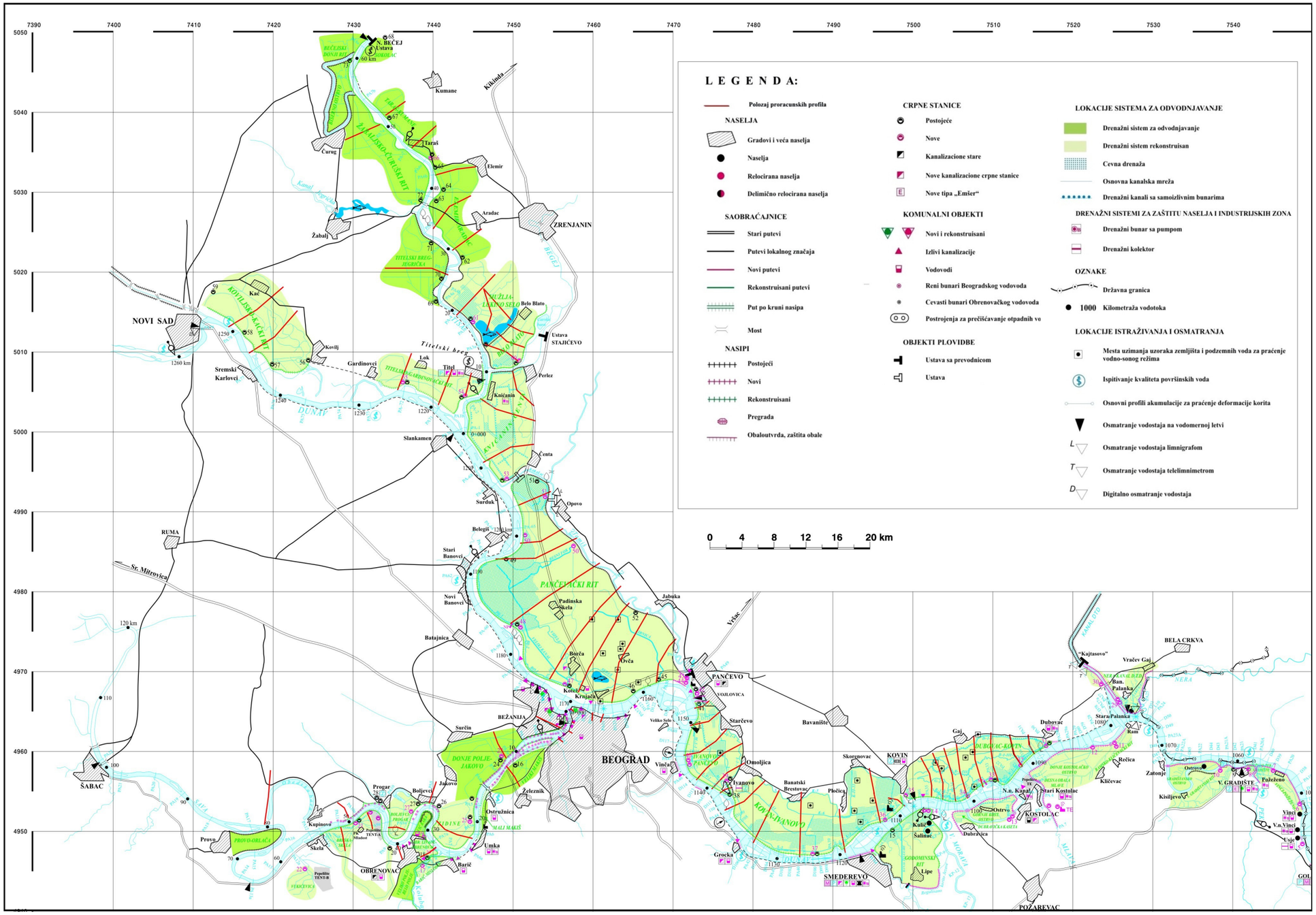
*Слика 42: Шематизовани прорачунски профили на подручју Великоселски рит*

Приказ свих израђених математичких прорачунских профила на изучаваним мелиоративним подручјима, дат је у табели 40, по стационажама водних токова. Просторни положај математичких прорачунских профила на брањеним мелиоративним подручјима Дунава и притока приказан је на слици 43.

*Табела 40: Приказ математичких прорачунских профила на подручју истраживања по стационажама водник токова*

| **река ДУНАВ** | | | |
|---|---|---|---|
| лева обала | | десна обала | |
| подручје | стационажа (km) | подручје | стационажа (km) |
| Нера - Канал ДТД I | 1076+650 | Великоселски рит III | 1153+000 |
| Нера - Канал ДТД II | 2+000 (на ДТД) | Великоселски рит II | 1153+500 |
| Нера - Канал ДТД III | 3+500 (на ДТД) | Великоселски рит I | 1154+000 |
| Ковин - Дубовац I | 1089+100 | Београд I | 1166+800 |
| Ковин - Дубовац II | 1091+900 | Београд II | 1167+700 |
| Ковин - Дубовац III | 1096+650 | Београд III | 1169+400 |
| Ковин - Дубовац IV | 1098+300 | Нови Београд I | 1171+000 |
| Ковин - Дубовац V | 1100+200 | Нови Београд II | 1171+500 |
| Ковин - Дубовац VI | 1102+350 | Земун | 1172+000 |
| Ковин - Дубовац VII | 1104+300 | | |
| Ковин - Дубовац VIII | 1105+700 | | |
| Иваново - Ковин II | 1113+600 | | |
| Иваново - Ковин IV | 1118+000 | | |
| Иваново - Ковин VI | 1124+650 | | |
| Иваново - Ковин VIII | 1131+100 | | |
| Иваново - Ковин X | 1137+000 | | |
| Панчево - Иваново I | 1139+800 | | |
| Панчево - Иваново II | 1142+250 | | |
| Панчево - Иваново III | 1147+400 | | |
| Панчево - Иваново IV | 1151+650 | | |
| Панчево - Иваново V | 1154+700 | | |
| Панчевачки рит I | 1158+040 | | |
| Панчевачки рит II | 1164+030 | | |
| Панчевачки рит III | 1169+400 | | |
| Панчевачки рит IV | 1172+900 | | |
| Панчевачки рит V | 1182+650 | | |
| Панчевачки рит VI | 1191+200 | | |
| Панчевачки рит VII | 1198+900 | | |
| Панчевачки рит VIII | 1205+060 | | |
| Книћанин - Чента I | 1210+580 | | |
| Тителско - Гардиновачки рит I | 1215+550 | | |
| Тителско - Гардиновачки рит II | 1219+530 | | |
| Тителско - Гардиновачки рит III | 1225+490 | | |
| Ковиљско - Кађки рит I | 1246+470 | | |
| Ковиљско - Кађки рит II | 1251+690 | | |

| **река САВА** | | | |
|---|---|---|---|
| лева обала | | десна обала | |
| подручје | стационажа (km) | подручје | стационажа (km) |
| Нови Београд III | 2+500 | Београд IV | 1+100 |
| лева обала Саве I | 11+800 | Београд V | 2+400 |
| лева обала Саве II | 22+150 | Београд VI | 3+100 |
| лева обала Саве III | 34+000 | десна обала Саве I | 11+800 |
| лева обала Саве IV | 36+000 | десна обала Саве II | 28+600 |
| лева обала Саве V | 50+200 | десна обала Саве III | 40+090 |
| лева обала Саве VI | 79+000 | десна обала Саве IV | 47+350 |
| | | десна обала Саве V | 51+000 |
| **река ТИСА** | | | |
| лева обала | | десна обала | |
| Мужља - Лукиносело (са 5 помоћ.проф.) | 19+660 | Тителски брег - Јегричка | 25+130 |
| Елемир - Арадац (са 2 помоћ.проф.) | 27+050 | Жабаљско - Чурушки рит | 50+690 |
| Тараш - Кумане (са 2 помоћ.проф.) | 45+410 | | |




*Слика 43: Положај математичких прорачунских профила на подручју истраживања*

### 10.2.2. Гранични услови и филтрационе карактеристике

На математичким моделима струјања подземних вода на изучаваним мелиоративним подручјима коришћени су гранични услови који се условно могу сврстати у две категорије: гранични услови са задатим протицајем (услов Нојмана) и гранични услов протицај који је дефинисан разликом пијезометараских нивоа и пропусношћу порозне средине (услов Кошија).

На математичком моделу у простору, конкретно дефинисани су следећи гранични услови подручја (према номенклатури у софтверу Modflow): „река", „GHB" (генерални пијезометарски ниво), „бунар", „инфилтрација падавина", „евапотранспирација".

Приликом израде математичког модела струјања подземних вода у простору, коришћени су следећи мешовити гранични услови: гранични услов „река" и гранични услов "GHB" („генерални пијезометарски ниво"). Гранични услов „река" (енгл. River) на математичким моделима струјања подземних вода коришћен је за симулацију површинских токова и каналске мреже унутар подручја. На математичком моделу дефинисан је променом нивоа водотока, котама дна корита и хидрауличком пропустљивошћу дна корита водотока. Дна водотока задата су на основу ранијих резултата снимања корита, према доступним подацима. Нивои воде у водотоцима си задати на основу резултата континуалног осматрања, према званичним подацима РХМЗ -а. Хидрауличка пропустљивост дна водотока се мења кроз процес тарирања математичког модела (добијена је вредност K/d која се мења по стационажи водотокова у интервалу (0.4-6.0)*$10^7$ l/s по јединичној дебљини дна речног корита). Гранични услов "GHB" (енгл. General Head Boundary) на математичким моделима струјања подземних вода коришћен је за симулацију дотицаја подземних вода са хипсометријски виших терена, у залеђу. Гранични услов Q = const. на математичким моделима струјања подземних вода коришћен је за симулацију рада дренажних бунара или експлоатационих бунара изворишта (гранични услов „бунар" (енгл.Well)), где је познат њихов капацитет. Гранични услов „инфилтрација" (енгл. Recharge) падавина и гранични услов„евапотранспирација" (енгл. Evapotranspiration) на математичким моделима струјања подземних вода задати су на основу званичних података „РХМЗ"-а.

Код математичких модела струјања подземних вода у профилу, користе се исти гранични услови, само се задају на нешто другачији начин. Гранични услов „река“ задаје путем водостаја река, по стационажама самог тока (према званичним подацима РХМЗ-а) и филтрационих карактеристика средине. Гранични услов на другом крају профила представљен је дотицајем у подручје, у виду нагиба пијезометарске линије, добијене на основу континуалног осматрања нивоа подземних вода на пијезометарским бушотинама.

Параметри вертикалног биланса проучаваног дела подручја задају се путем података о падавинама и испаравању (средње месечне вредности) са анализираних метеоролошких станица регистрованим током прорачунског периода (према подацима „РХМЗ“-а), а на основу наведених релација *(слике 19 и 20)* израчунавају се ефективна инфилтрација од падавина и евапотранспирација (у функцији климатских фактора, периода године и дубине залегања подземних вода).

Прорачуни на математичким моделима су извршени за следеће граничне услове *(слика 45):*

- за природне водостаје Дунава, за услове који би се остварили да није дошло до успора ХЕ „Ђердап 1" и изградње система заштите,
- за природне водостаје Дунава, за услове који би се остварили да није дошло до успора ХЕ „Ђердап 1" са симулацијом рада дренажног система у пројектованом и осмотреном режиму,
- за осмотрене водостаје Дунава и водостаје пројектоване за режим успора „до коте 70.30 mnm на ушћу Нере", без рада дренажног система,
- за пројектоване водостаје Дунава у режиму успора „до коте 70.30 mnm на ушћу Нере" и рад дренажног система према пројекту,
- за осмотрене водостаје Дунава у режиму успора „до коте 70.30 mnm на ушћу Нере" и осмотрени рад дренажног система.

Подаци о простирању и филтрационим карактеристикама основног водоносног и површинског слабијепропусног слоја, негде и насутог слоја на површини терена, добијени на основу резултата претходних истражних и студијских радова (истражно бушење, гранулометријске анализе, опити црпења),

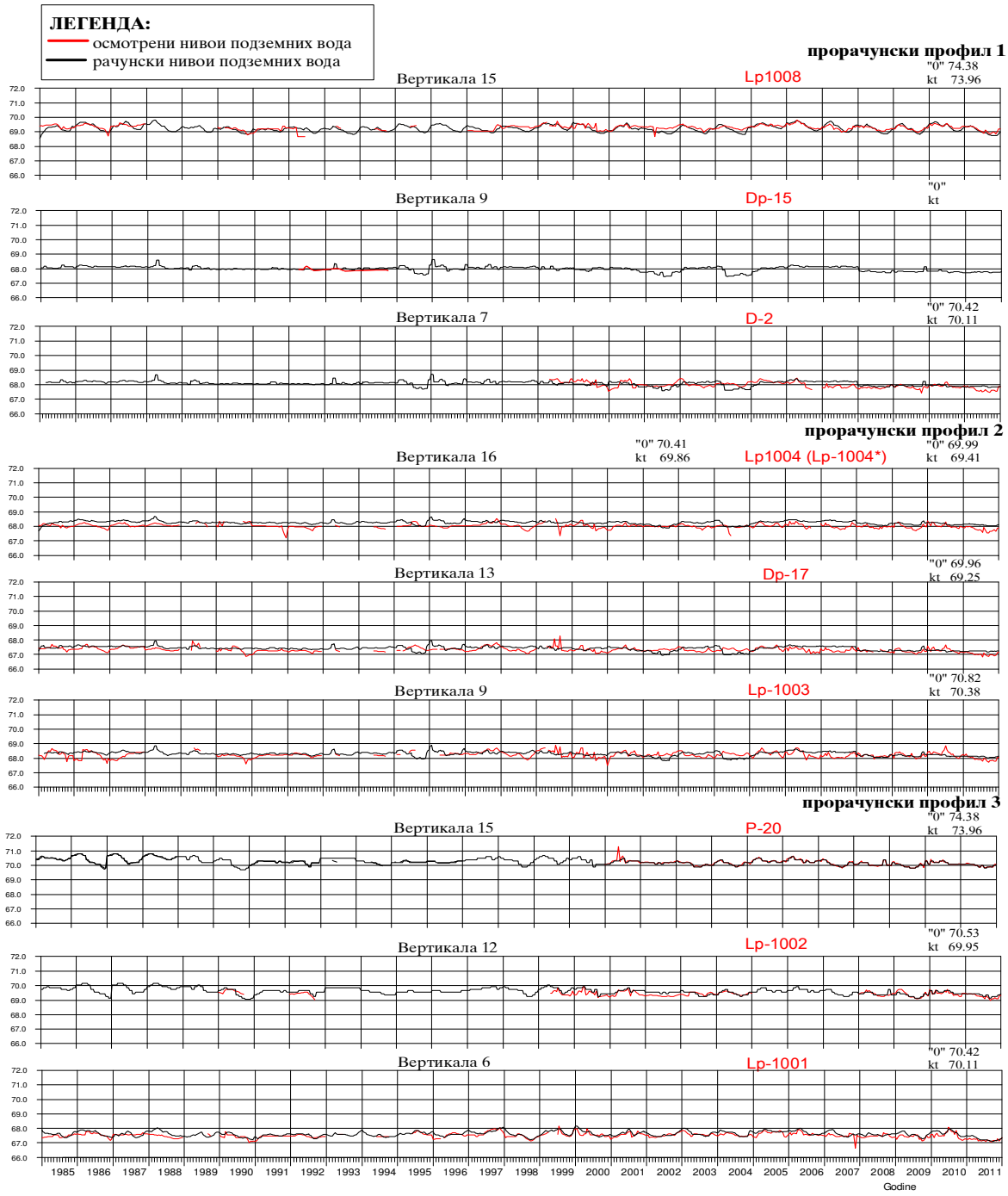
представљају основу за поставку математичких модела. Коначне вредности и распоред коефицијената филтрације издвојених слојева добијене су и верификоване у поступку еталонирања модела.

### 10.2.3. Еталонирање и верификација математичког модела

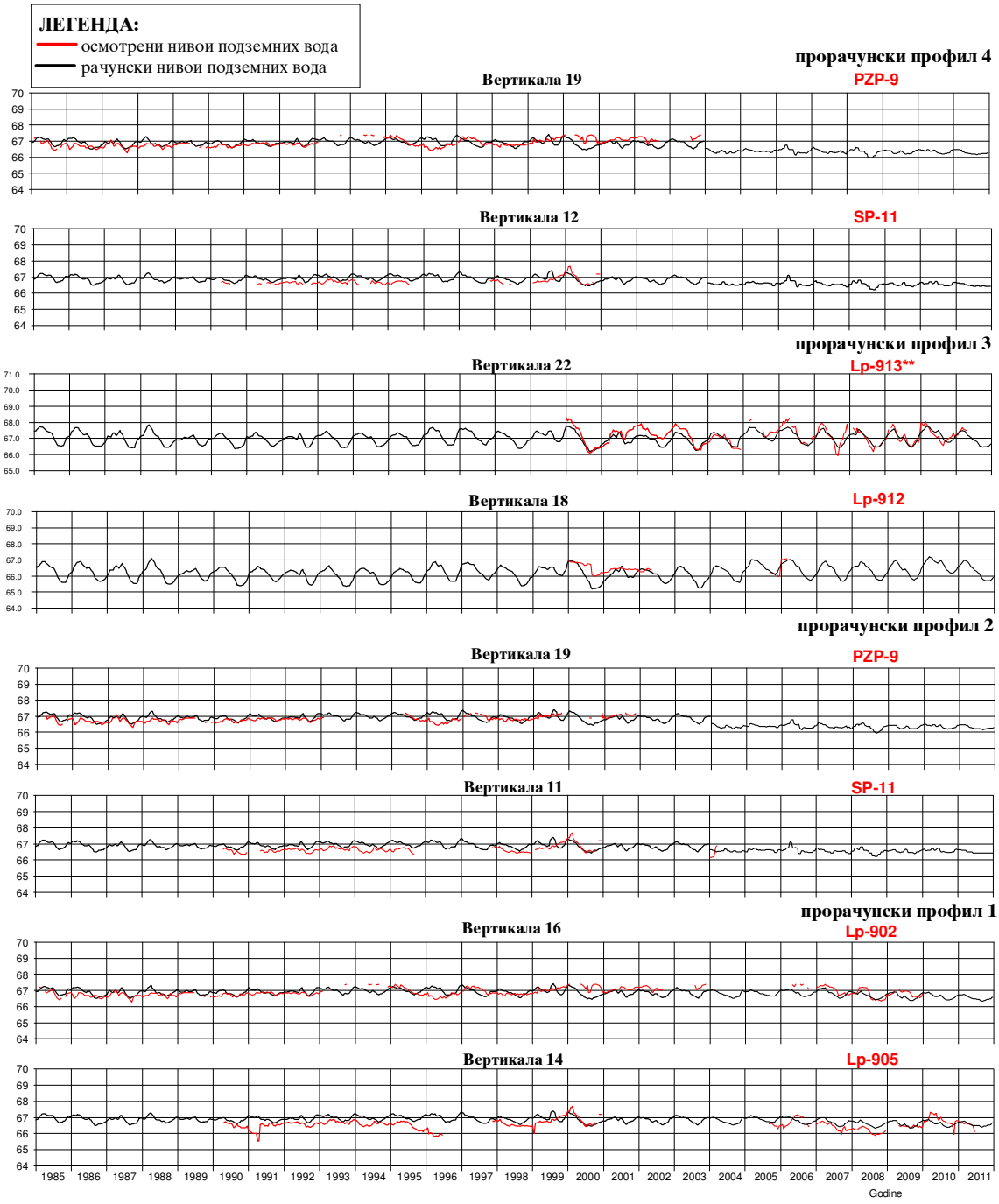
Режим нивоа подземних вода на анализираним подручјима формира се под утицајем водостаја Дунава и притока, подземног дотока воде са виших терена у залеђу, параматара вертикалног биланса, рада дренажних система за заштиу подручја и др. Синтеза и међусобно усаглашавање добијених података спроведени су кроз сагледавање режима подземних вода изучаване области, испитивањем на математичком моделу, у процесу еталонирања, односно тарирања модела. На моделу се одређују реалне вредности променљивих величина усклађивањем рачунских и мерених вредности пијезометарских притисака и нивоа подземних вода до задате тачности, понављањем хидродинамичких прорачуна и варирањем вредности усвојених параметара средине - коефицијената филтрације и дотицаја из залеђа.

У процесу тарирања извршено је упоређење резултата добијених прорачуном на математичким моделима са подацима осцилацијама пијезометарских нивоа континуално мерених на осматрачким пијезометрским бушотинама. Постојање података о дугогодишњем осматрању пијезометарских нивоа на значајном броју пијезометара у приобаљу ХЕ „Ђердап 1“ омогућили су квалитетни процес усаглашавања рачунских са осмотреним нивоима и сходно томе, добијање квалитетнијих резултата еталониранирања модела. Након извршеног тарирања постигнуто је задовољавајуће слагање осмотрених нивоа подземних вода и одговарајућих вредности добијених прорачуном у анализираном временском интервалу.

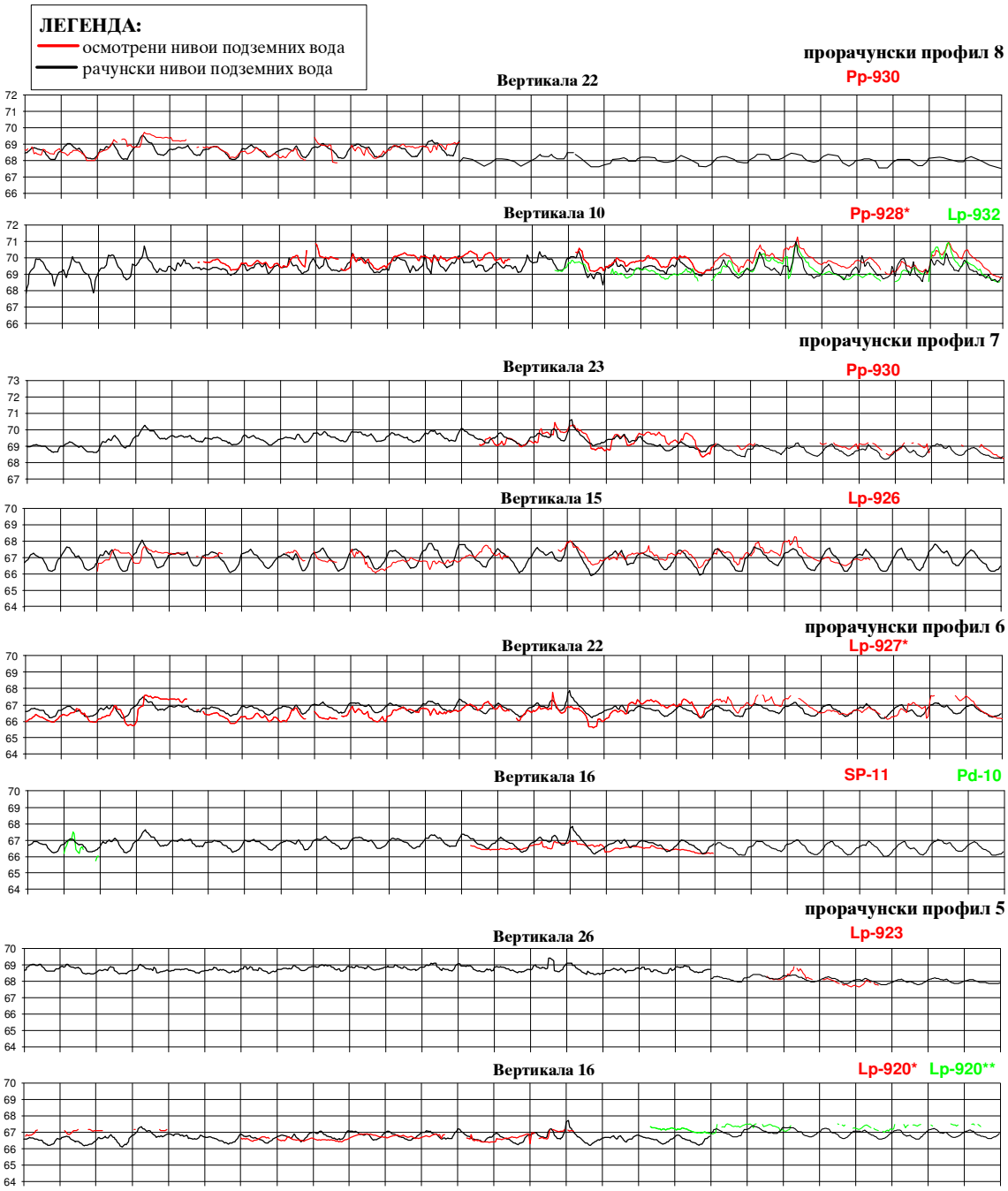
На сликама 44 - 60 приказани су резултати еталонирања математичког модела струјања подземних вода. Због обима рада приказани су резултати само на одабраним пијезометрима на изучаваним мелиоративним подручјима.



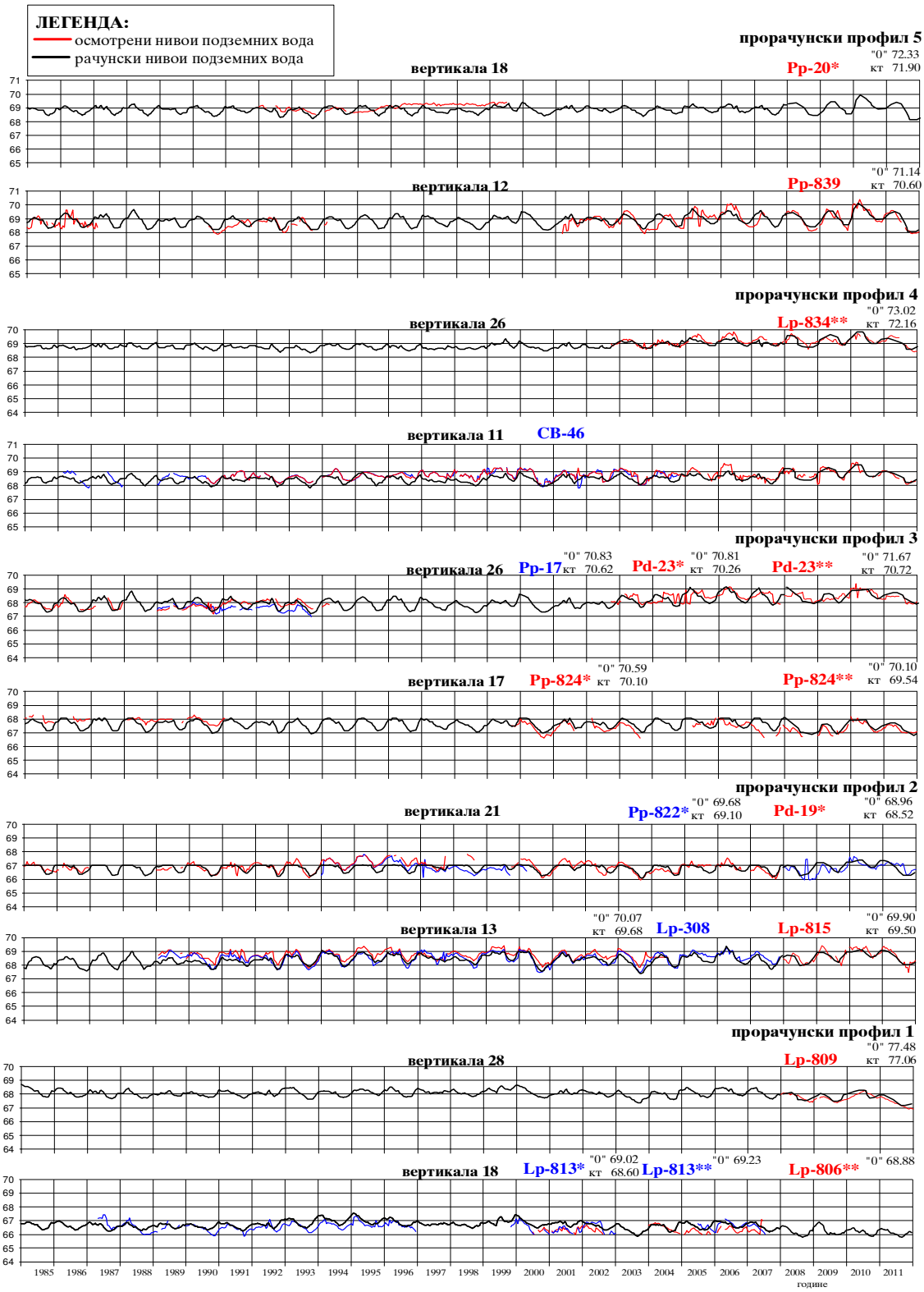

*Слика 44: Еталонирање математичког модела струјања подземних вода по прорачунским профилима на одабраним пијезометрима на подручју Нера - Канал ДТД*



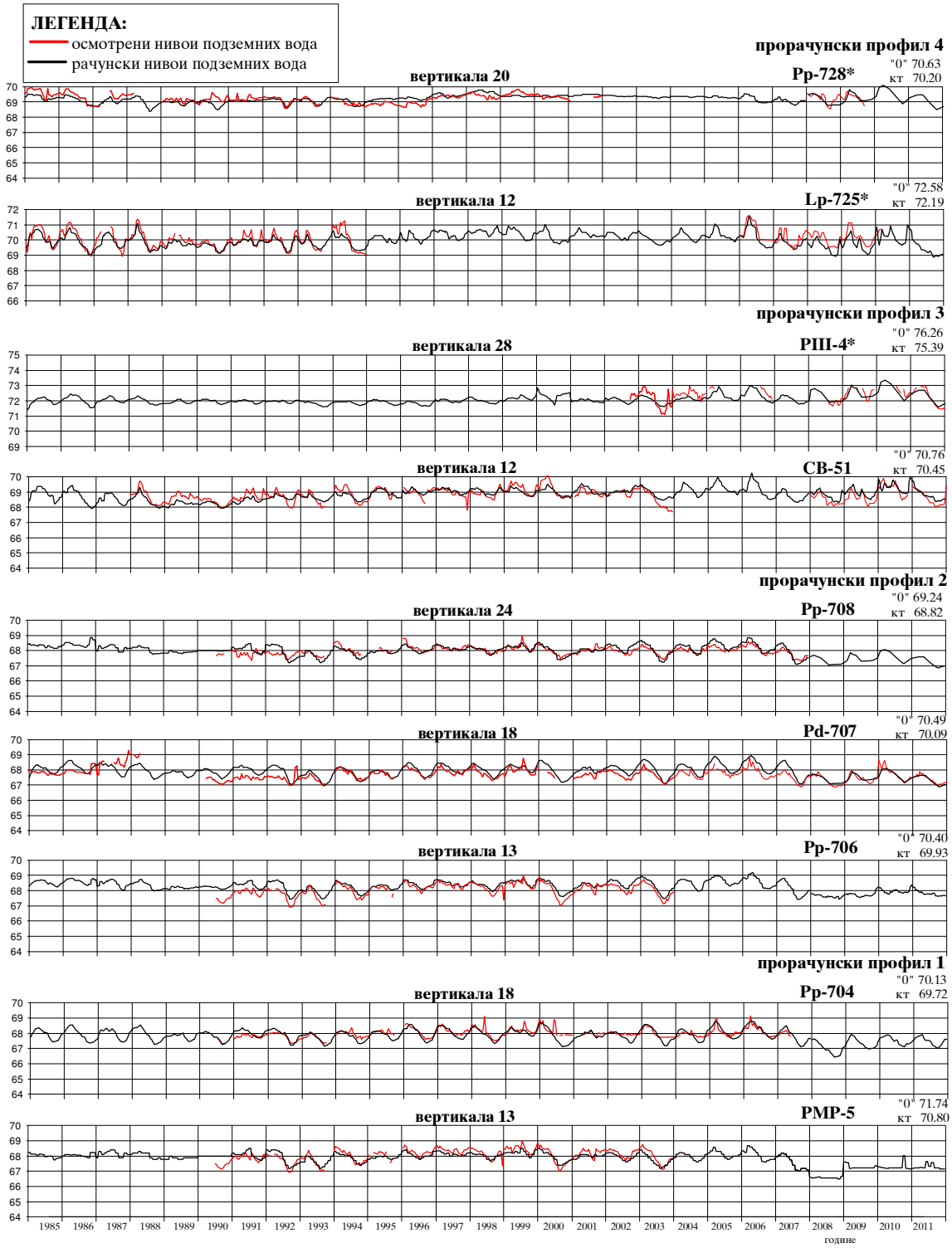

*Слика 45а: Еталонирање математичког модела струјања подземних вода по прорачунским профилима на одабраним пијезометрима на подручју Ковин - Дубовац*



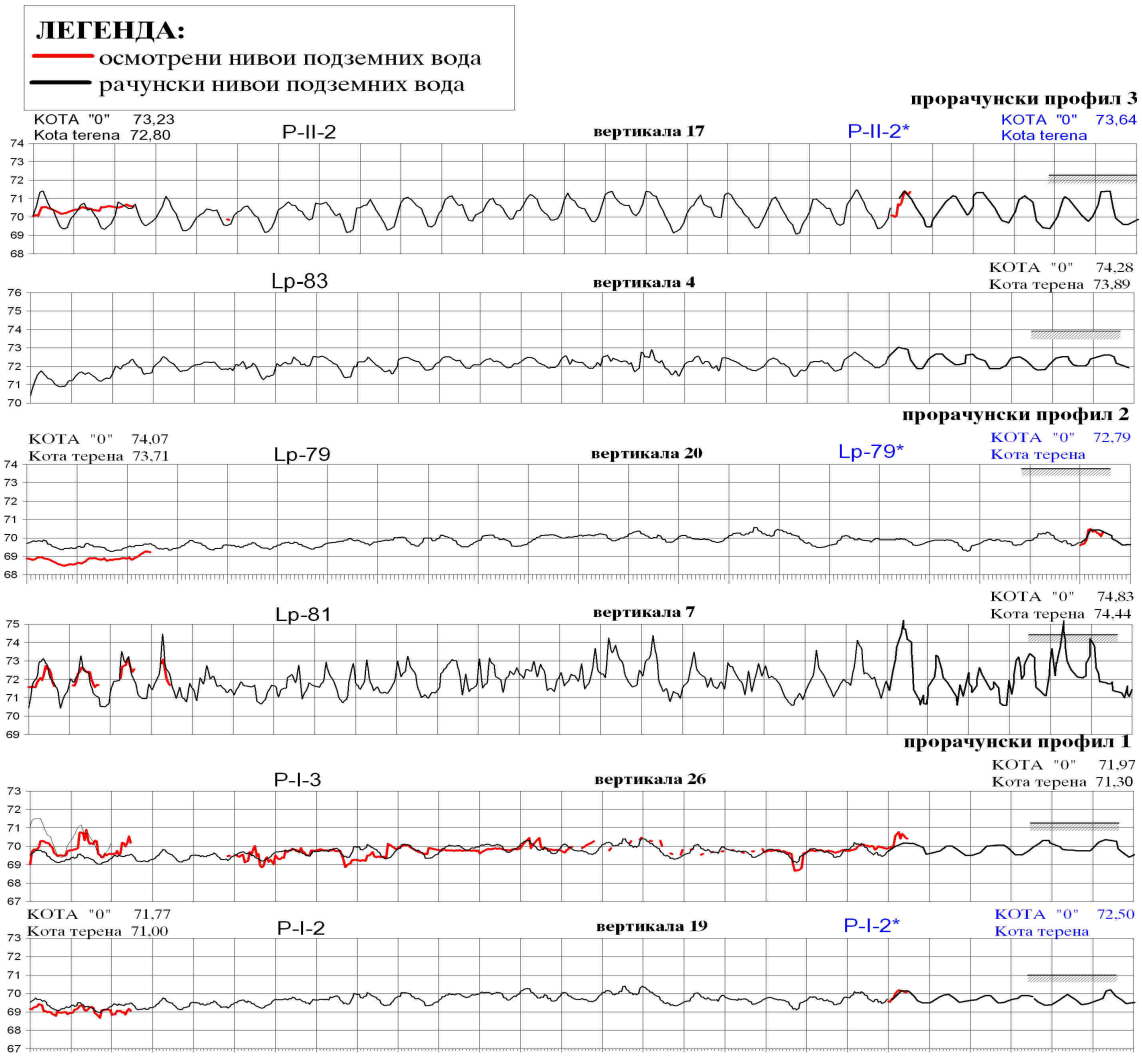

*Слика 45б: Еталонирање математичког модела струјања подземних вода по прорачунским профилима на одабраним пијезометрима на подручју Ковин - Дубовац*



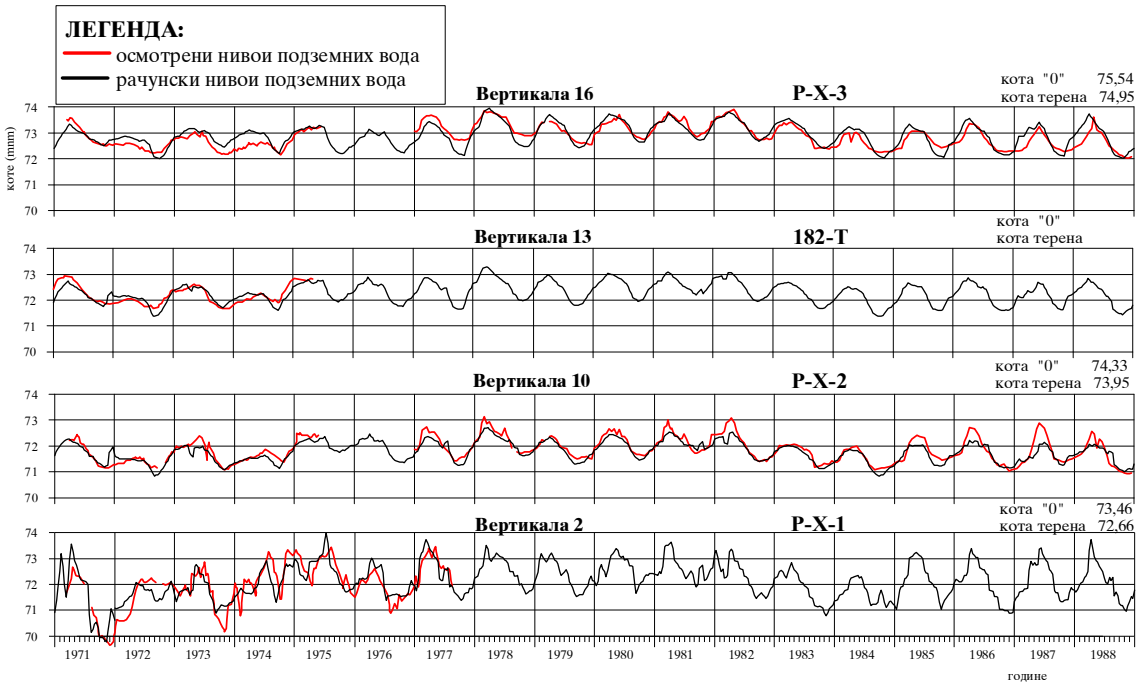

*Слика 46: Еталонирање математичког модела струјања подземних вода по прорачунским профилима на одабраним пијезометрима на подручју Ковин - Иваново*



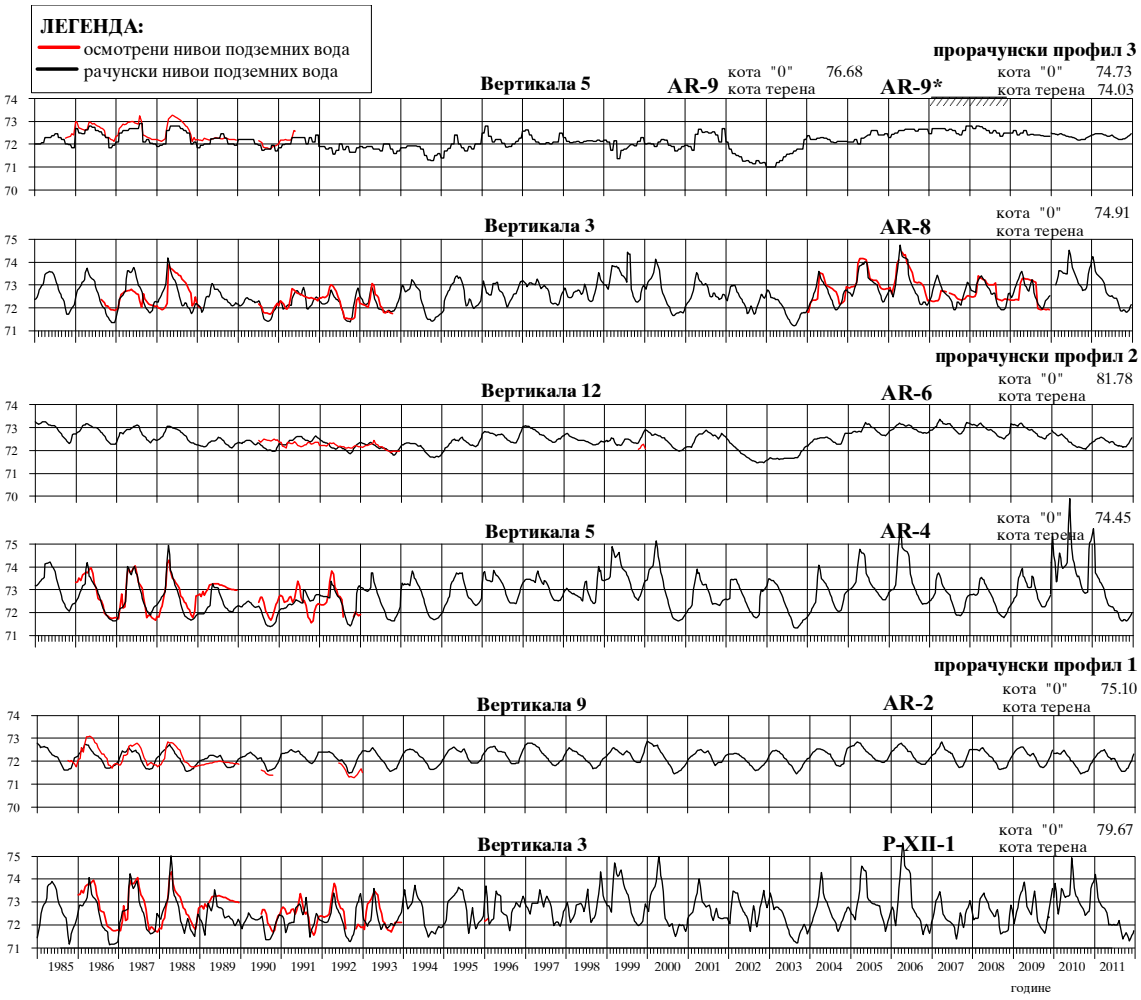

*Слика 47: Еталонирање математичког модела струјања подземних вода по прорачунским профилима на одабраним пијезометрима на подручју Иваново - Панчево*




*Слика 48: Еталонирање математичког модела струјања подземних вода по прорачунским профилима на одабраним пијезометрима на подручју Книћанин - Чента*



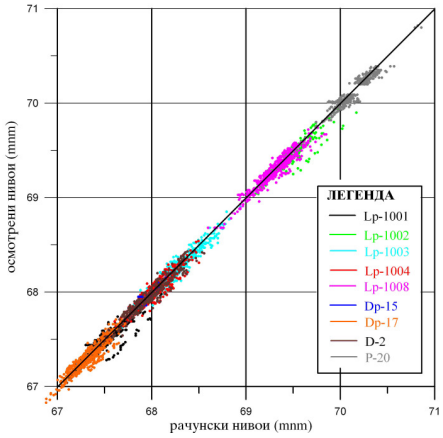

*Слика 49: Еталонирање математичког модела струјања подземних вода по прорачунским профилима на одабраним пијезометрима на подручју Мужља - Л.Село (тарирање је због недовољног броја осматрачких објеката и података осматрања у прорачунском периоду 1985 - 2011. год. морало бити обављено за претходни период)*



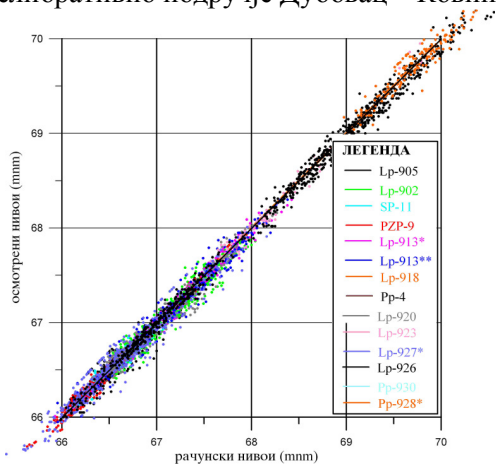

*Слика 50: Еталонирање математичког модела струјања подземних вода по прорачунским профилима на одабраним пијезометрима на подручју Елемир - Арадац*

Слагање рачунских и осмотрених нивоа подземних вода приказано је на дијаграму на слици 51. У идеалном случају, све вредности би требало да буду на линији која је подједнако удаљена од X и Y осе, градећи угао од 45$^{o}$ *(Andersson et al, 2015).* У реалним условима ове тачке се, уз мања одступања, групишу око ове линије и на тај начин потврђују тачност изведеног тарирања математичког модела. Максимална одступања рачунских у односу на осмотрене нивое на свим осматрачким објектима за рачунски период 1985 – 2011. год., износи ±(0.20 – 0.25) m.

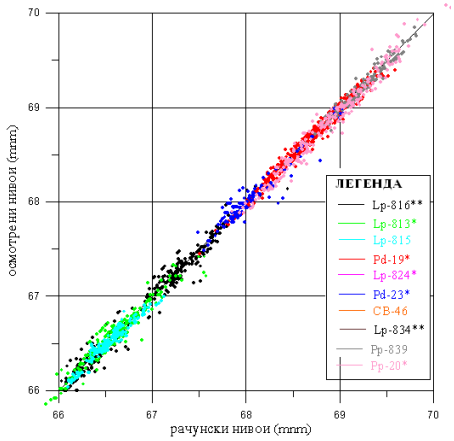
мелиоративно подручје Нера - Канал ДТД




мелиоративно подручје Дубовац – Ковин

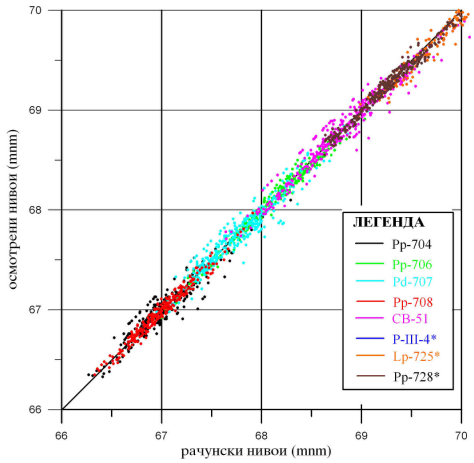



мелиоративно подручје Иваново – Ковин

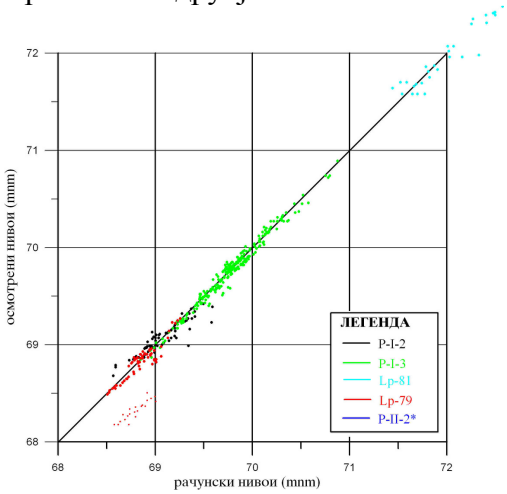



*Слика 51а: Дијаграм слагања свих вредности осмотрених и срачунатих нивоа подземних вода на одабраним прорачунским профилима анализираних мелиоративних подручја*

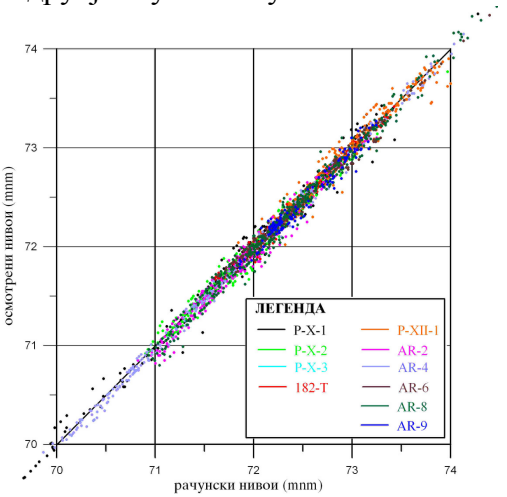
мелиоративно подручје Иваново –Панчево




мелиоративно подручје Книћанин – Чента



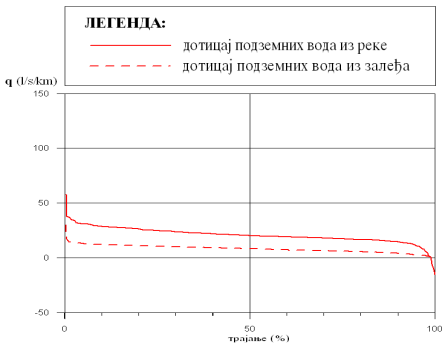

мелиоративна подручја Мужља -Лукино Село и Елемир – Арадац



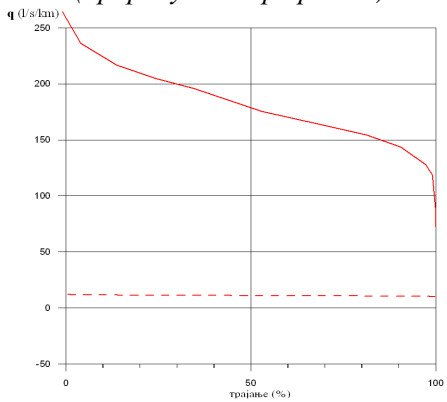

*Слика : Дијаграм слагања свих вредности осмотрених и срачунатих нивоа подземних вода на одабраним прорачунским профилима анализираних мелиоративних подручја*

Након процеса еталонирања и верификације математичког модела, добијене су вредности дотицаја подземних вода у издан из реке и из правца залеђа, у рачунском периоду 1985- 2011. год. *(слика 52).*

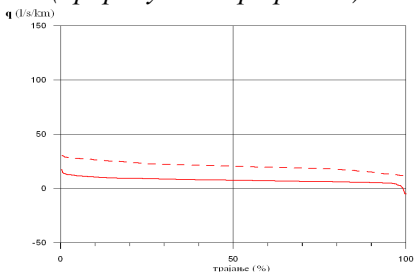
мелиоративно подручје Нера - Канал ДТД
*(прорачунски профил II)*



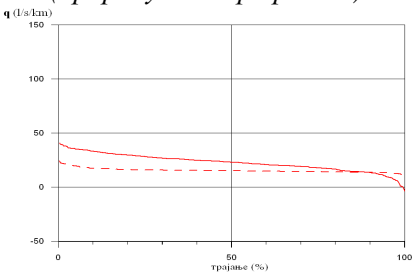

мелиоративно подручје Дубовац – Ковин
*(прорачунски профил IV)*



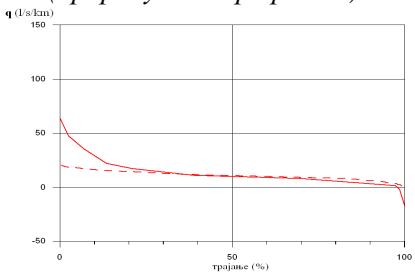

мелиоративно подручје Иваново – Ковин
*(прорачунски профил VI)*



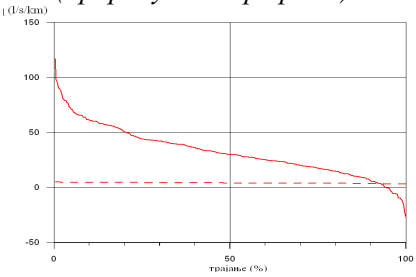

мелиоративно подручје Иваново –Панчево
*(прорачунски профил III)*



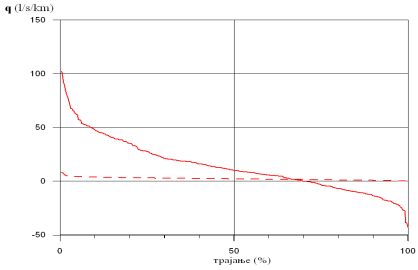

мелиоративно подручје Книћанин- Чента
*(прорачунски профил IV)*




мелиоративно подручје Мужља-Лукино Село
*(прорачунски профил I)*




мелиоративно подручје Елемир – Арадац
*(прорачунски профил I)*




*Слика 52: Криве дотицаја подземних вода у издан дуж граничних услова одабраних одабраних прорачунских профила*

# 11. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ХИДРОДИНАМИЧКИХ ПРОРАЧУНА РЕЖИМА ПОДЗЕМНИХ ВОДА ПО ПРОРАЧУНСКИМ ПРОФИЛИМА ЗА РАЗЛИЧИТЕ УСЛОВЕ ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ ХЕ „ЂЕРДАП 1"

У циљу квантификације величине утицаја успора ХЕ „Ђердап 1" и других дејствујућих параметара на режим подземних вода, на верификованим математичким моделима спроведени су одговарајући хидраулички прорачуни режима подземних вода, за анализирани прорачунски период (1985 - 2011. год. за сва подручја за која је било доступних података), за осмотрене и природне водостаје Дунава. Као гранични услов коришћени су водостаји Дунава и притока, по стационажама водотока, за анализирана стања:

- осмотрени режим, регистрован осматрањем водостаја на водомерним станицама у периоду 1985 - 2011. године,
- пројектовани режим, у режиму сталне експлоатације успора „69.5 и више", односно „до коте 70.30 mnm" на ушћу Нере, за период 1985 - 2011. год.,
- природни режим, који подразумева рачунске водостаје који би се јавили у периоду 1985 - 2011. год., да није дошло до формирања успора.

Спроведеним хидродинамичким прорачунима на математичким моделима, за наведене граничне услове, срачунати су нивои подземних вода унутар подручја, односно дуж деоница прорачунских профила. Због обимности самог рада, не могу се приказати резултати свих спроведених истраживања. Резултати математичког моделирања струјања подземних вода у неуспореном - природном и успореном режиму, биће приказани за следећа одабрана мелиоративна подручја:

<u>на Дунаву</u>:

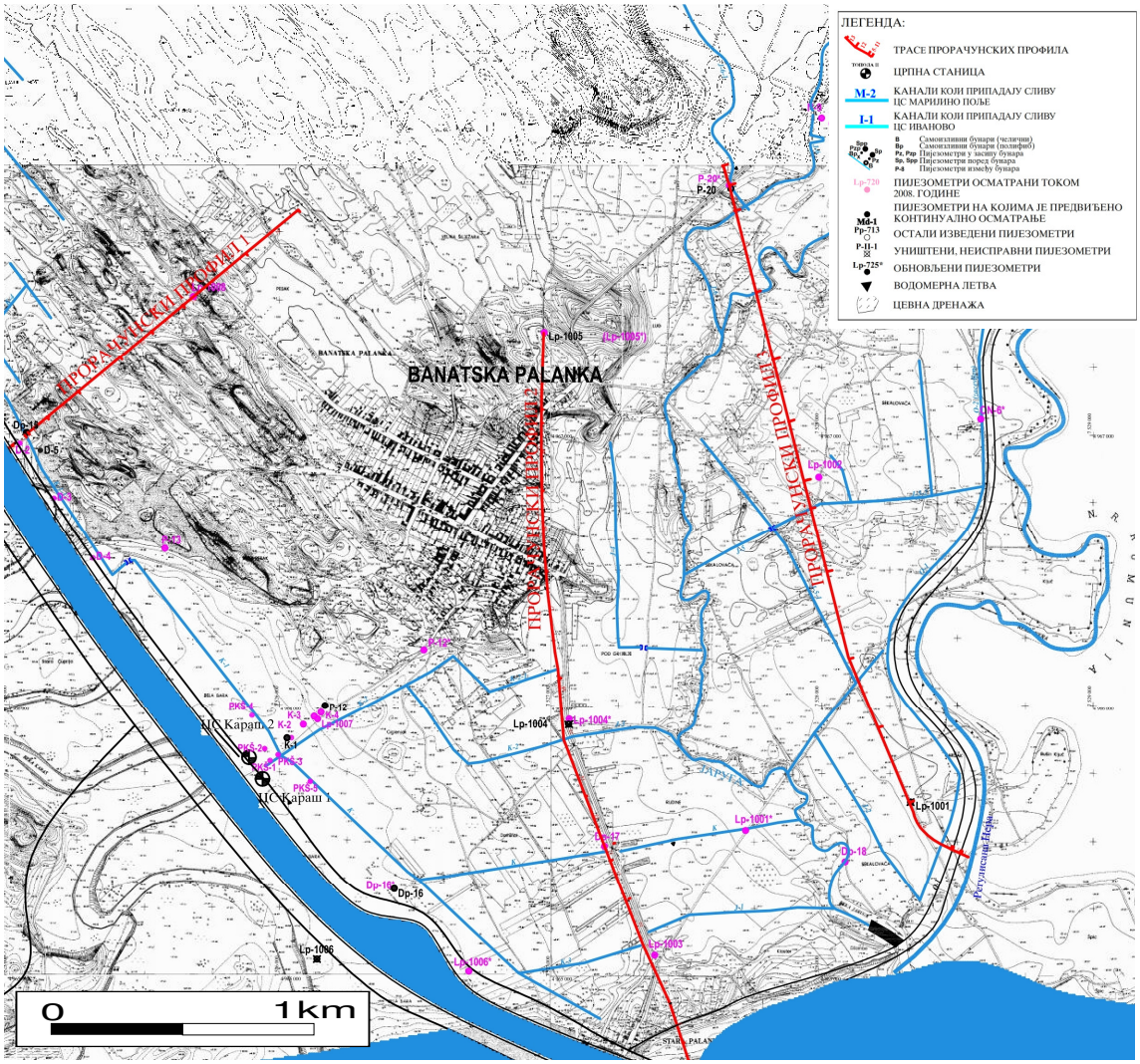
- мелиоративно подручје Нера - канал ДТД *(слика 53)*,
- мелиоративно подручје Дубовац - Ковин *(слика 54)*,
- мелиоративно подручје Иваново - Ковин *(слика 55),*
- мелиоративно подручје Иваново - Панчево *(слика 56)*,
- мелиоративно подручје Книћанин - Чента *(слика 57)*,

<u>на Тиси:</u>

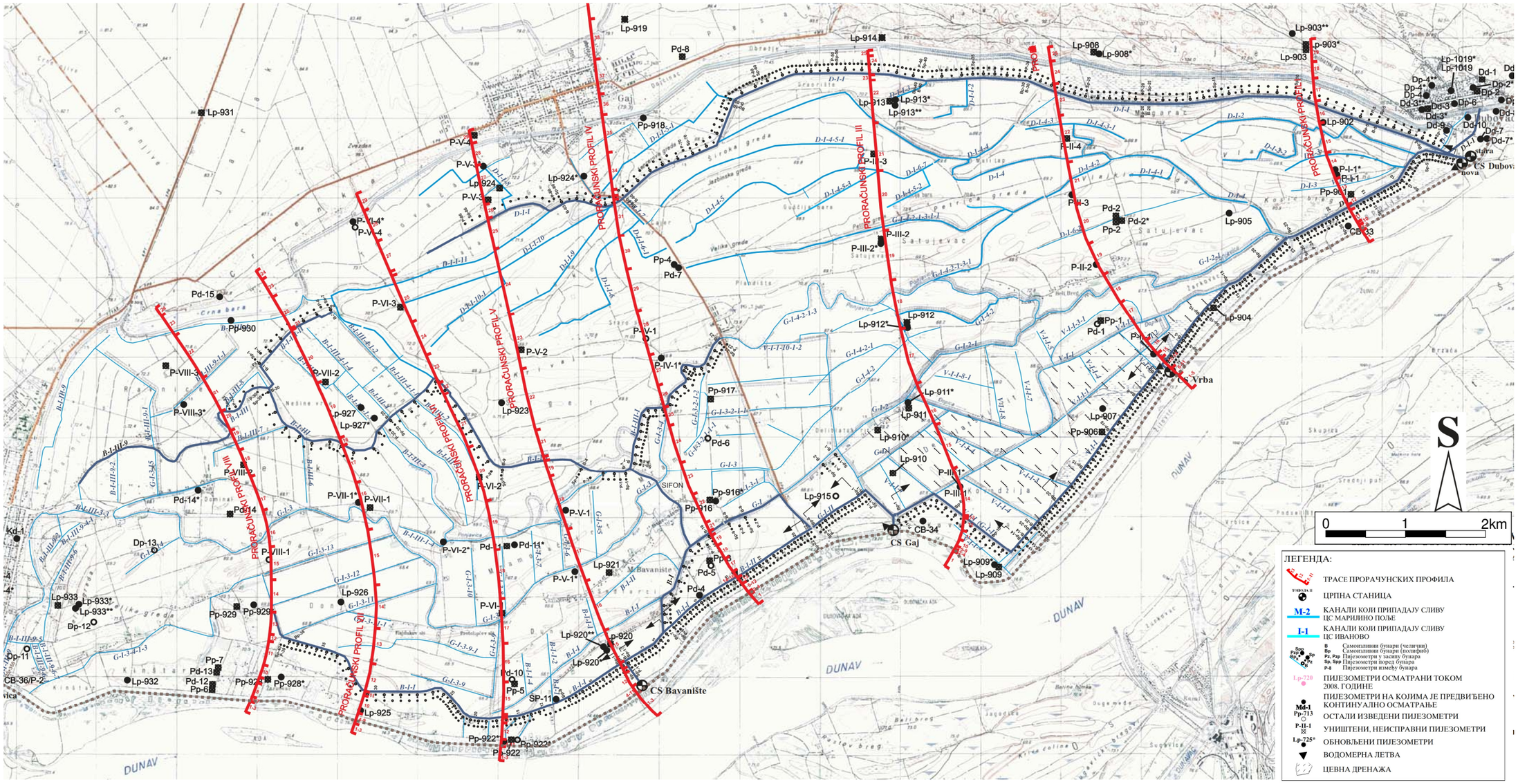
- мелиоративно подручје Мужља - Лукино Село *(слика 58)*,
- мелиоративно подручје Елемир - Арадац *(слика 59)*.

Ова мелиоративна подручја су одабрана због различите сложености уређења, хидродинамичких карактеристика и удаљености од ХЕ „Ђердап 1“, а самим тим и утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“.

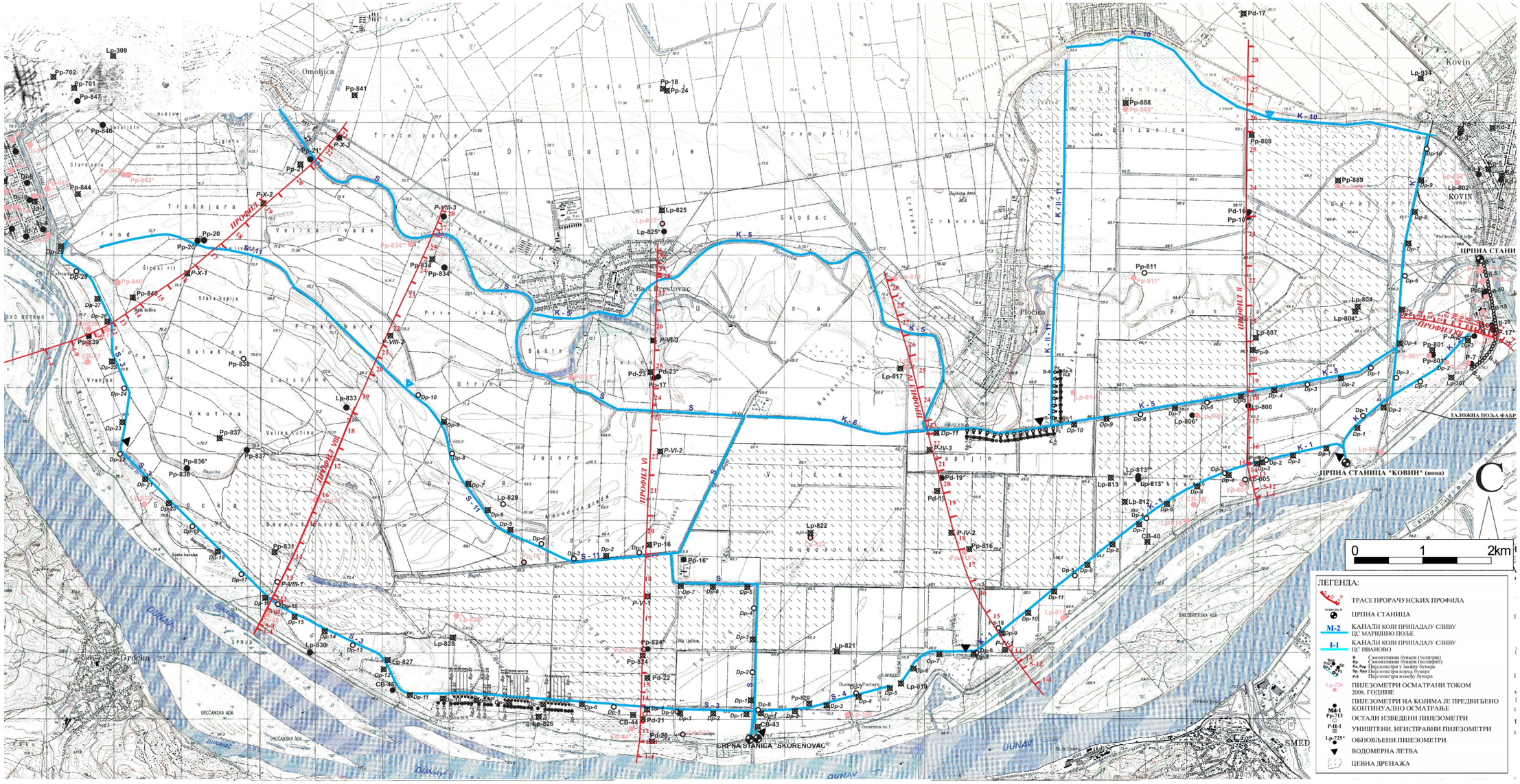
На сликама 53 - 59 приказана су анализирана мелиоративна подручја са положајем изведених дренажних система, осматрачких објеката и прорачунских профила.

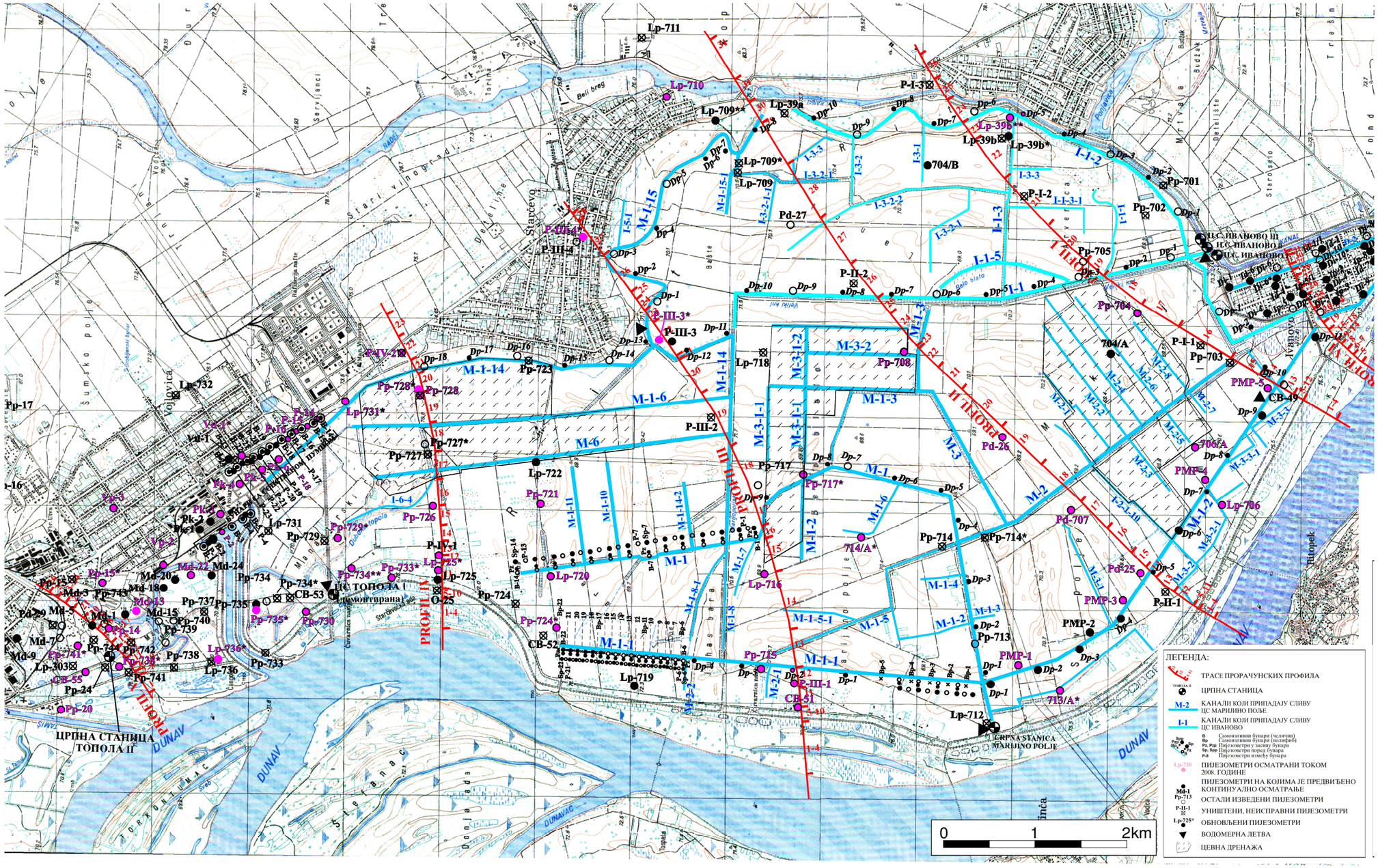



*Слика 53: Приказ мелиоративног подручја Нера - канал ДТД са положајем изведеног дренажног система, осматрачких објеката и прорачунских профила*

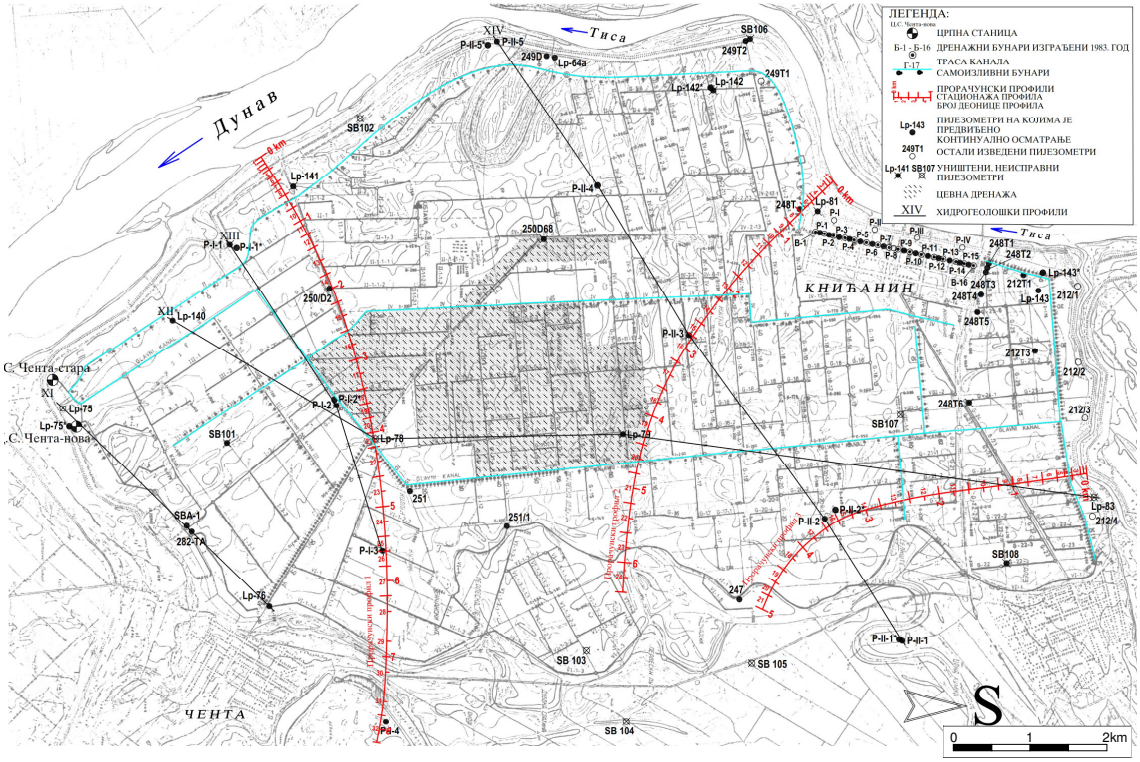



*Слика 54: Приказ мелиоративног подручја Дубовац - Ковин са положајем изведеног дренажног система, осматрачких објеката и прорачунских профила*

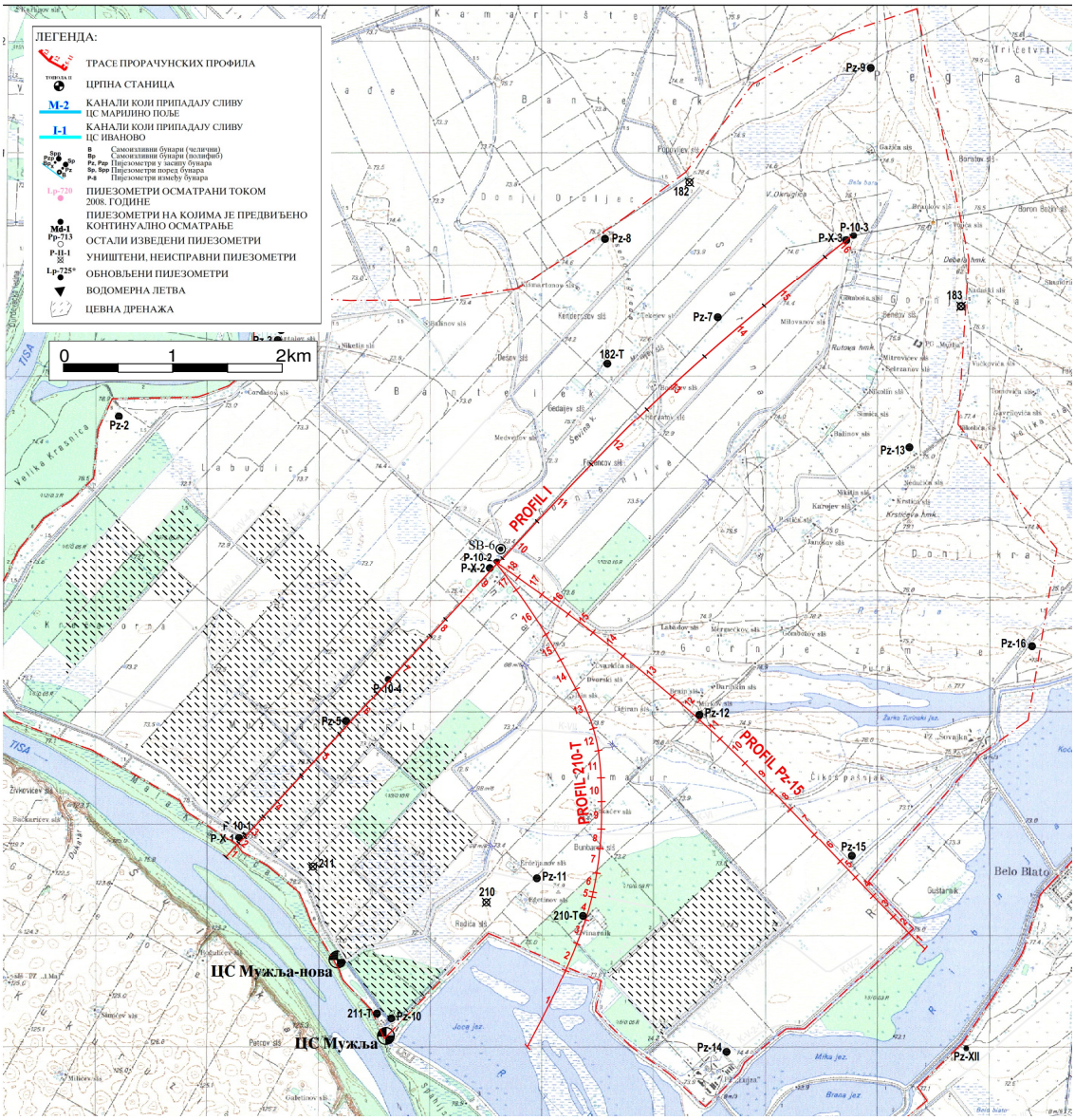

Kovin
ROVIN
Omoljica
Ritska
Grocka
Ritska
Ritska
Ritska



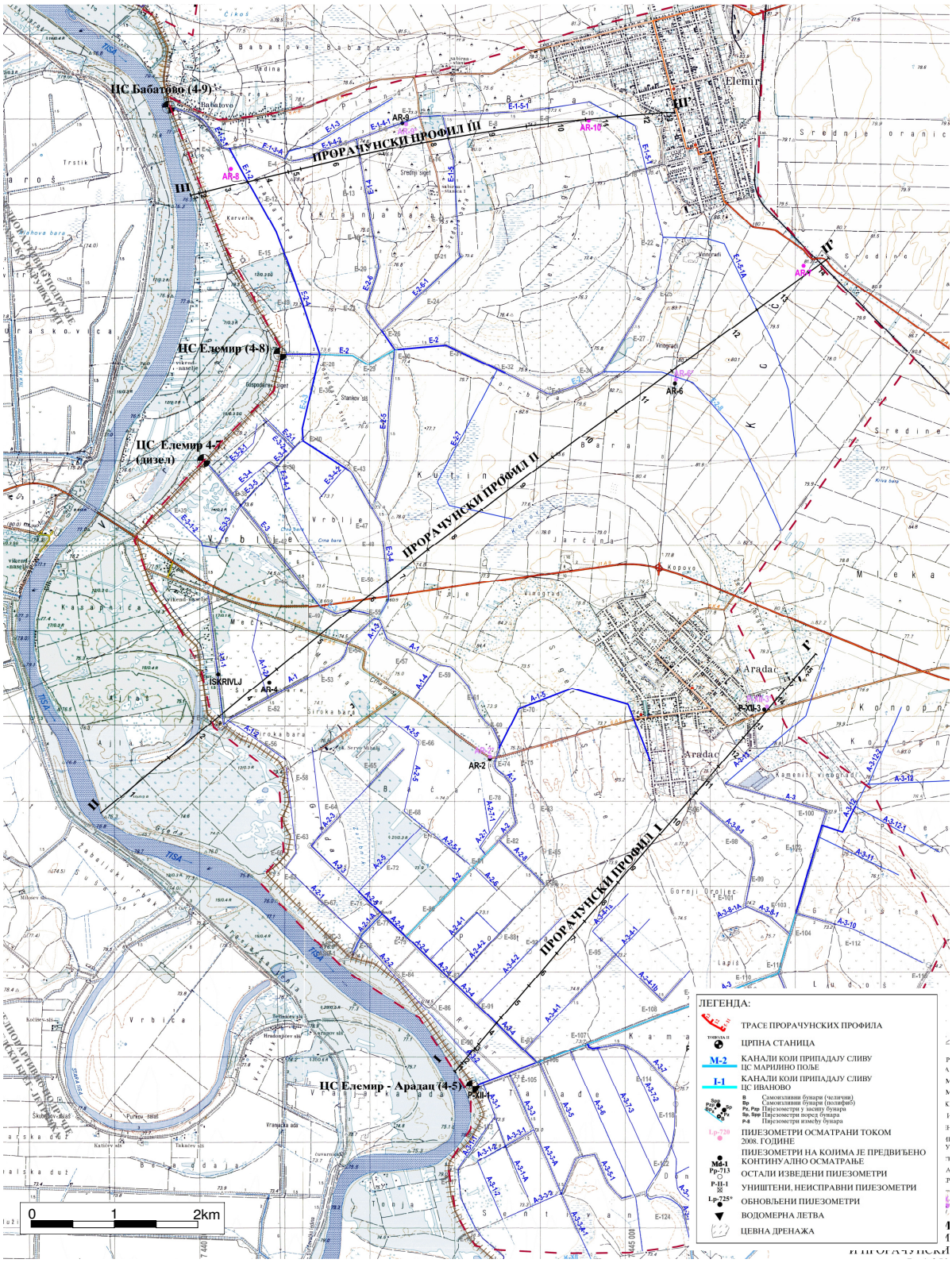

*Слика 56: Приказ мелиоративног подручја Иваново - Панчево са положајем изведеног дренажног система, осматрачких објеката и прорачунских профила*




*Слика 57: Приказ мелиоративног подручја Књићанин - Чента са положајем изведеног дренажног система, осматрачких објеката и прорачунских профила*




*Слика 58: Приказ мелиоративног подручја Мужља - Лукино Село са положајем изведеног дренажног система, осматрачких објеката и прорачунских профила*




*Слика 59: Приказ мелиоративног подручја Елемир - Арадац са положајем изведеног дренажног система, осматрачких објеката и прорачунских профила*

## 11.1. АНАЛИЗА РЕЖИМА ПОДЗЕМНИХ ВОДА ЗА РАЗЛИЧИТЕ УСЛОВЕ ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ ХЕ „ЂЕРДАП 1"

Резултати спроведеног математичког моделирања струјања подземних вода анализирани су на основу формираних осцилација и кривих трајања нивоа подземних вода по деоницама прорачунских профила, односно конструисаних рачунских линија пијезометарских нивоа дуж прорачунских профила карактеристичних трајања 1%, 10% и 50%, све за усвојени прорачунски период 1985 - 2011. год.. Због обима самог рада, нису приказивани резулатати прорачуна режима подземних вода по деоницама прорачунских профила у виду њихових осцилација и кривих трајања, већ су приказане конструисане рачунске линије пијезометарских нивоа дуж прорачунских профила карактеристичних трајања 1%, 10% и 50% за неуспорени - природни и успорени - пројектовни и осмотрени режим Дунава и притока и за симулирани исти степен уређења подручја. На сликама 60 -66 приказане су ове рачунске линије само за одабрана изучавана мелиоративна подручја.

Анализирајући осмотрени режим подземних вода и резултате прорачуном добијених осцилација нивоа подземних вода са променама водостаја Дунава, унутар сваког од изучаваних мелиоративних подручја, генерално могу се издвојити одређене целине, са карактеристичним условима формирања режима подземних вода: приобални део подручја, унутрашњи (брањени) део подручја и део подручја уз залеђе. У приобалним деловима мелиоративних подручја промене водостаја у површинским токовима, као и ефекти рада дренажних система за заштиту подручја, имају доминантан утицај на промену нивоа подземних вода. У унутрашњим (брањеним) деловима мелиоративних подручја, на одређеном удаљењу од Дунава и притока, најзначајнији утицај на нивое подземних вода имају ефекти рада дренажних система и параметри вертикалног биланса. На деловима мелиоративних подручја уз залеђе, самим крајевима мелиоративних подручја, доминантан утицај преузима подземни дотицај из залеђа, са хипсометријски виших терена.

Између насипа и прве дренажне линије, која је на овим подручјима формирана паралелно са површинским токовима и непосредно иза одбрамбених

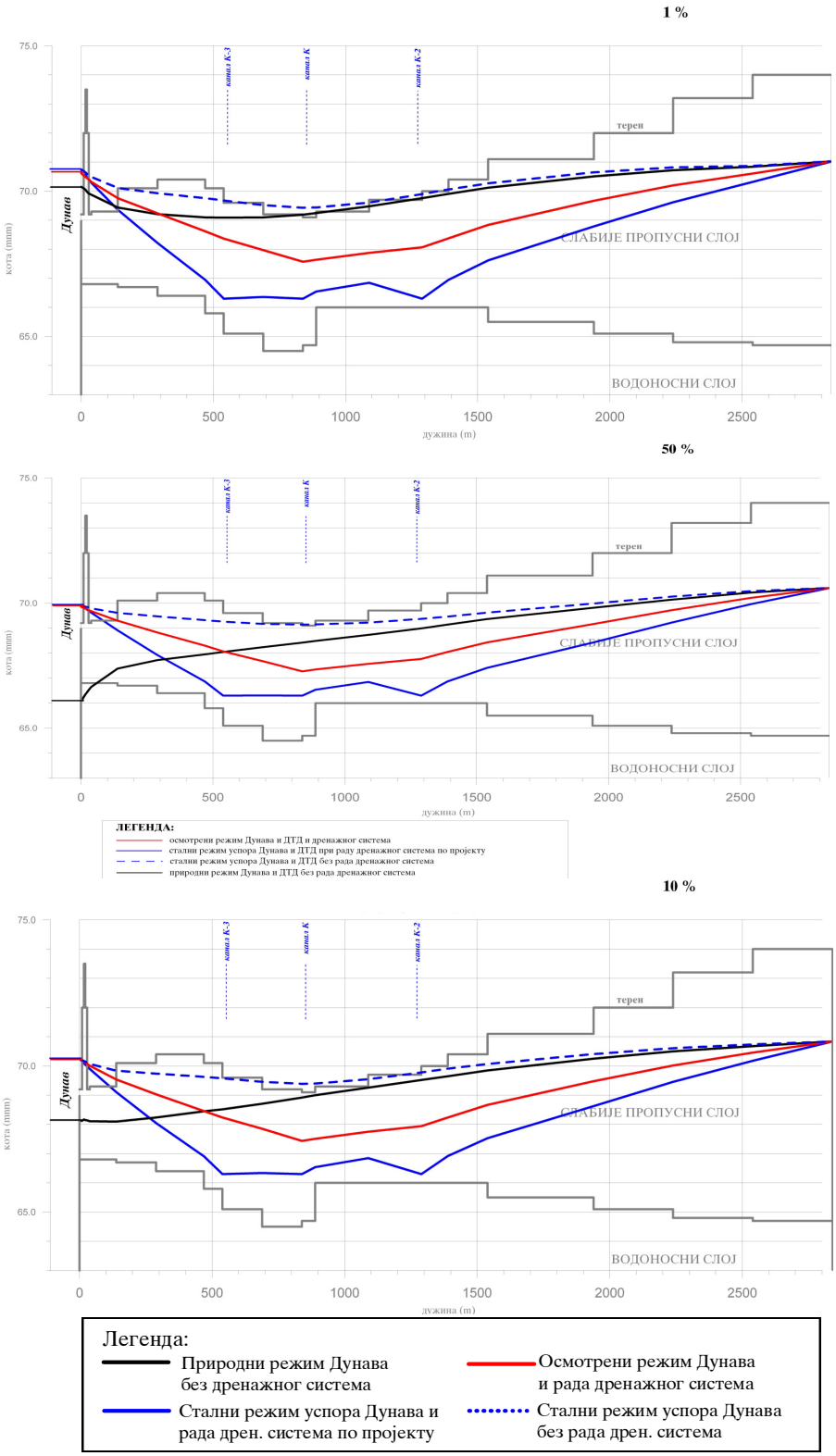
насипа, остварени средњи пијезометарски нивои су, у појасу ближе одбрамбеном насипу, у просеку виши за 0.5 - 1.5 m виши од природних нивоа (ова вреденост варира од подручја до подручја) *(слике 60 - 66).* У овом делу, ближе насипу, максимални нивои су на сличним котама. Овде су остварени нивои су генерално на сличним котама у односу на пројектоване пијезометарске нивое, у зависности од ефеката рада дренажних системамелиоративних подручја. У табели 41 приказане су вредности нивоа подземних вода у приобалним деловима (између одбрамбеног насипа и прве дренажне линије) одабраних мелиоративних подручја, у природном и осмотреном режиму Дунава и притока, за прорачунски период 1985 - 2011.год. У појасу уз прву дренажну линију, дуж канала прве дренажне линије, осмотрени пијезометарски нивои се снижавају радом дренажних система. Просечни осмотрени пијезометарски нивои углавном су на нижим котама од природних (до 1.0 m). Остварени нивои су на сличним котама или су незнатно виши од пројектованих, услед оствареног рада дренажног система око или нешто изнад пројектом предвиђених радних нивоа.

У унутрашњим (брањеним) деловима изучаваних мелиоративних подручја, доминатан утицај на формирање режима подземних вода имају ефекти рада дренажних система и параметри вертикалног биланса. Просечни остварени нивои подземних вода су најчешће на слични, или нешто нижим котама од природних (чак и до 1.0 - 1.2 m на одређеним деловима подручја) *(слике 60 - 66).* Само на појединим деловима подручја, малих површина, остварени су нешто виши нивои подземних вода од природних (до 0.3 - 0.5 m). Да су дренажни системи радили по пројекту, режим подземних вода би на већем делу ових подручја био још повољнији у односу на нивое забележене пре стварања акумулације ХЕ „Ђердап 1". Само на најнижим деловима подручја, подземне воде залежу плитко од површине терена, односно на дубинама мањим од 1.0 m од површине терена. Треба напоменути да би се у овим зонама и у природном режиму подземних вода, које су на истој или нешто вишој коти од остварених, јавила угроженост високим нивоима подземних вода.

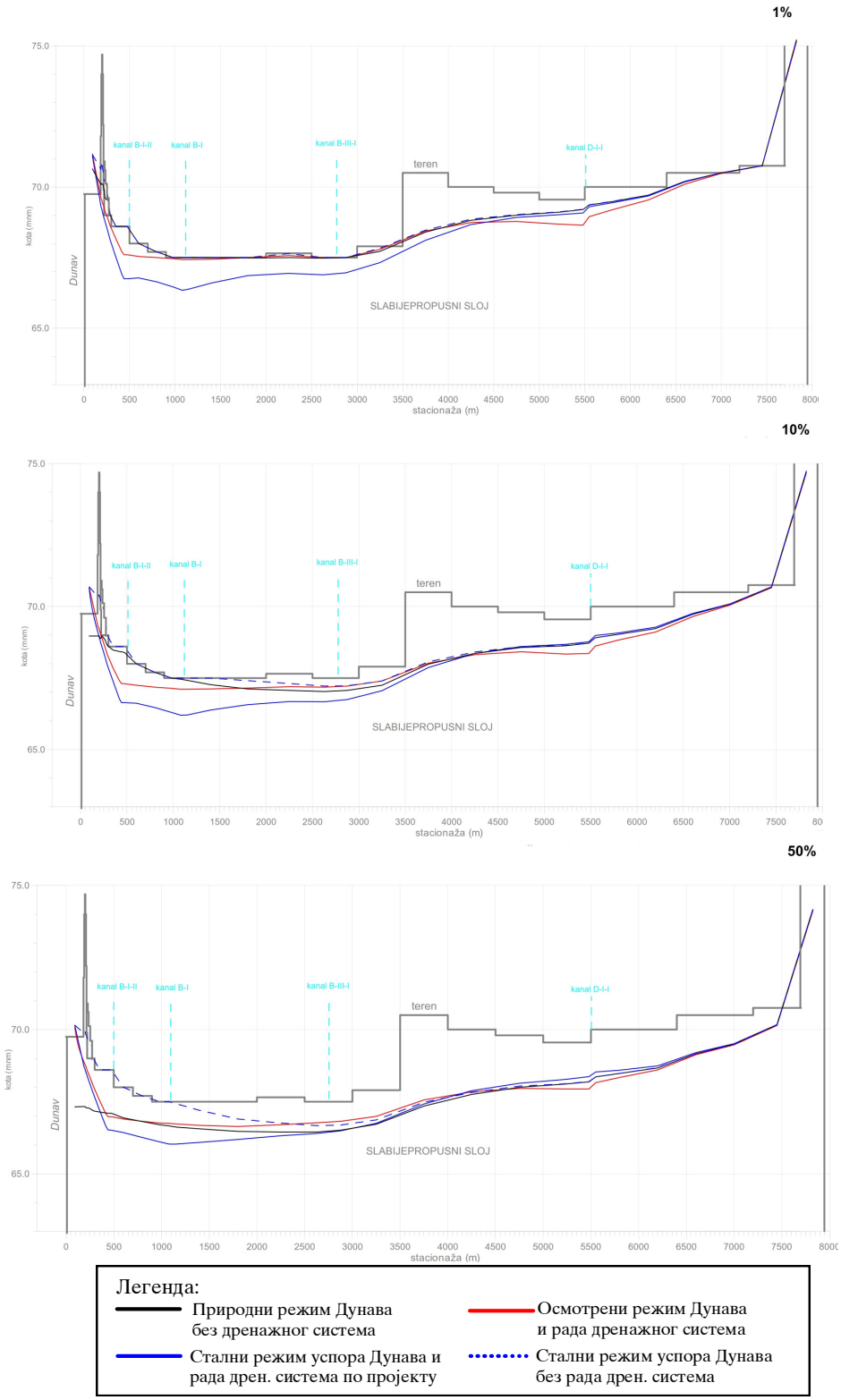
На деловима мелиоративних подручја ближе залеђу и хипсометријски вишим теренима, режим подземних вода се формира првенствено под утицајем параметара вертикалног биланса и дотицаја подземних вода из залеђа. Остварени нивои подземних вода су слични нивоима у природном (неуспореном) режиму, односно промена услова у Дунаву и притокама, практично се не одражава на формирање режима подземних вода на подручјима. На овим деловима подручја налазе се површине са релативно плитким залегањем подземних вода, али би се ова угроженост јавила и у природним условима Дунава и притока.

*Табела 41: Вредности пијезометарских нивоа у приобалним деловима одабраних мелиоративних подручја, у природном и осмотреном режиму Дунава и притока, за прорачунски период 1985 - 2011. год.*

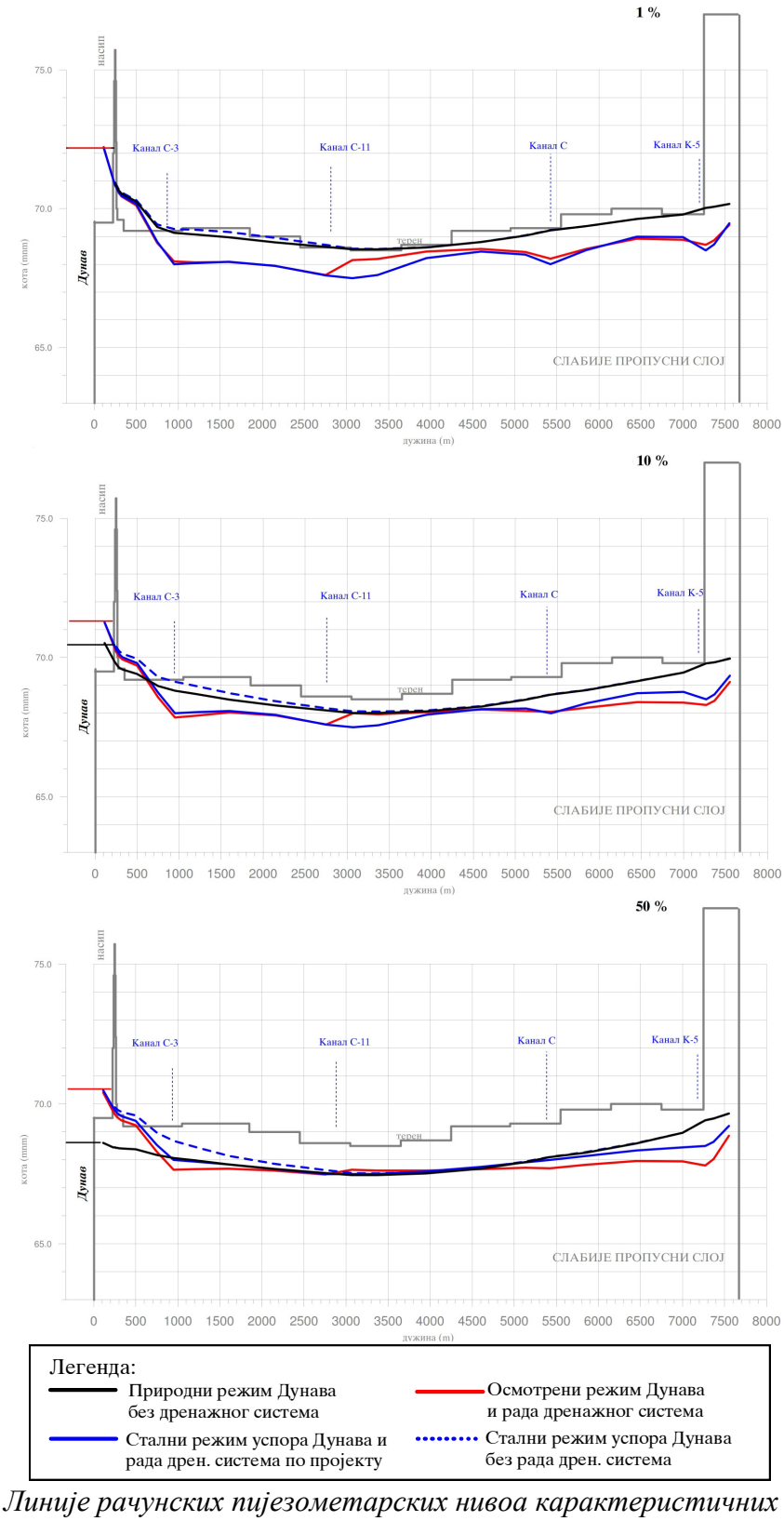
| мелиоративно подручје | природни режим - кота (mnm) | осмотрени режим кота (mnm) | разлика у нивоима (m) | природни режим кота (mnm) | осмотрени режим кота (mnm) | разлика у нивоима (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10% трајања водостаја | | | 50% трајања водостаја | | |
| на Дунаву: | | | | | | |
| Нера - Канал ДТД *(прор.профил II)* | 68.2 -68.5 | 68.5 -70.0 | 0.0 -1.8 | 66.8 -68.0 | 68.0 -69.8 | 0.0 -3.0 |
| Дубовац - Ковин *(прор.профил IV)* | 68.2 -68.5 | 67.2 -68.5 | 0.0 -1.0 | 67.0 -68.2 | 67.0 -68.0 | 0.0 -1.0 |
| Иваново - Ковин *(прор.профил VI)* | 68.8 -69.5 | 68.0 -70.0 | ( -0.5) -0.8 | 68.0 -68.4 | 67.6 -69.4 | -(1.0 -0.4) |
| Иваново - Панчево *(прор.профил III)* | 70.0 -70.4 | 68.8 -70.2 | 0.2 -1.2 | 68.8 -69.0 | 68.2 -69.5 | -(0.5 -0.6) |
| Книћанин - Чента *(прор.профил IV)* | 71.8 -72.0 | 70.8 -71.3 | 0.7 -1.0 | 70.9 -71.0 | 70.0 -70.5 | 0.5 -0.9 |
| на Тиси: | | | | | | |
| Мужља -Лук. Село *(прор.профил I)* | 73.0 -73.7 | 72.2 -73.8 | 0.1 -0.8 | 71.7 -71.9 | 71.2 -72.2 | ( -0.3) -0.5 |
| Елемир - Арадац *(прор.профил I)* | 73.2 -74.0 | 73.4 -74.2 | -0.2 | 72.2 | 72.4 -72.7 | -(0.2 -0.5) |



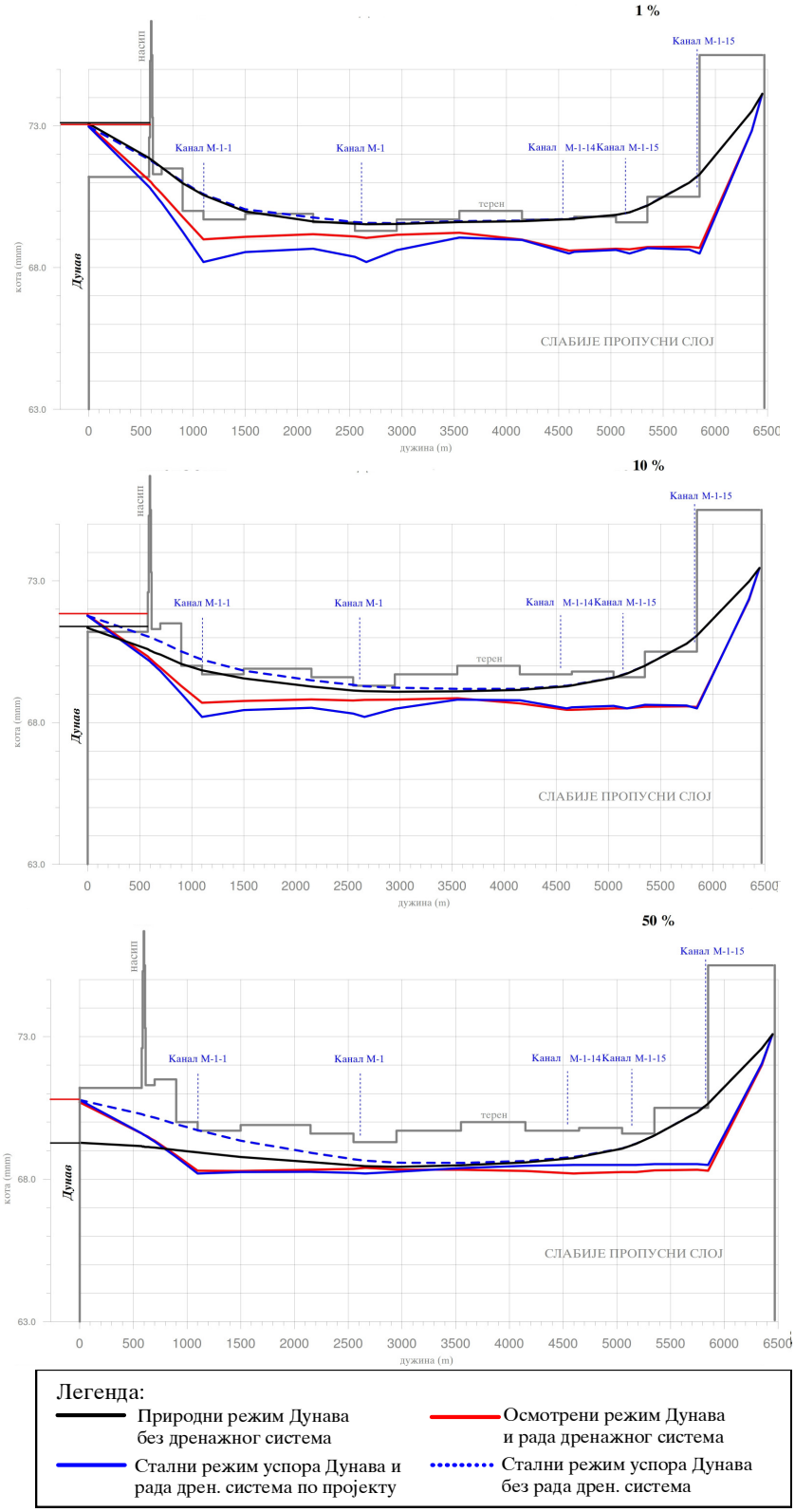

*Слика 60: Линије рачунских пијезометарских нивоа карактеристичних трајања 1%,10% и 50%, за период 1985 - 2011. год.;*
*(мелиор.подручје Нера - Канал ДТД, прор.профил II) (табела 41)*



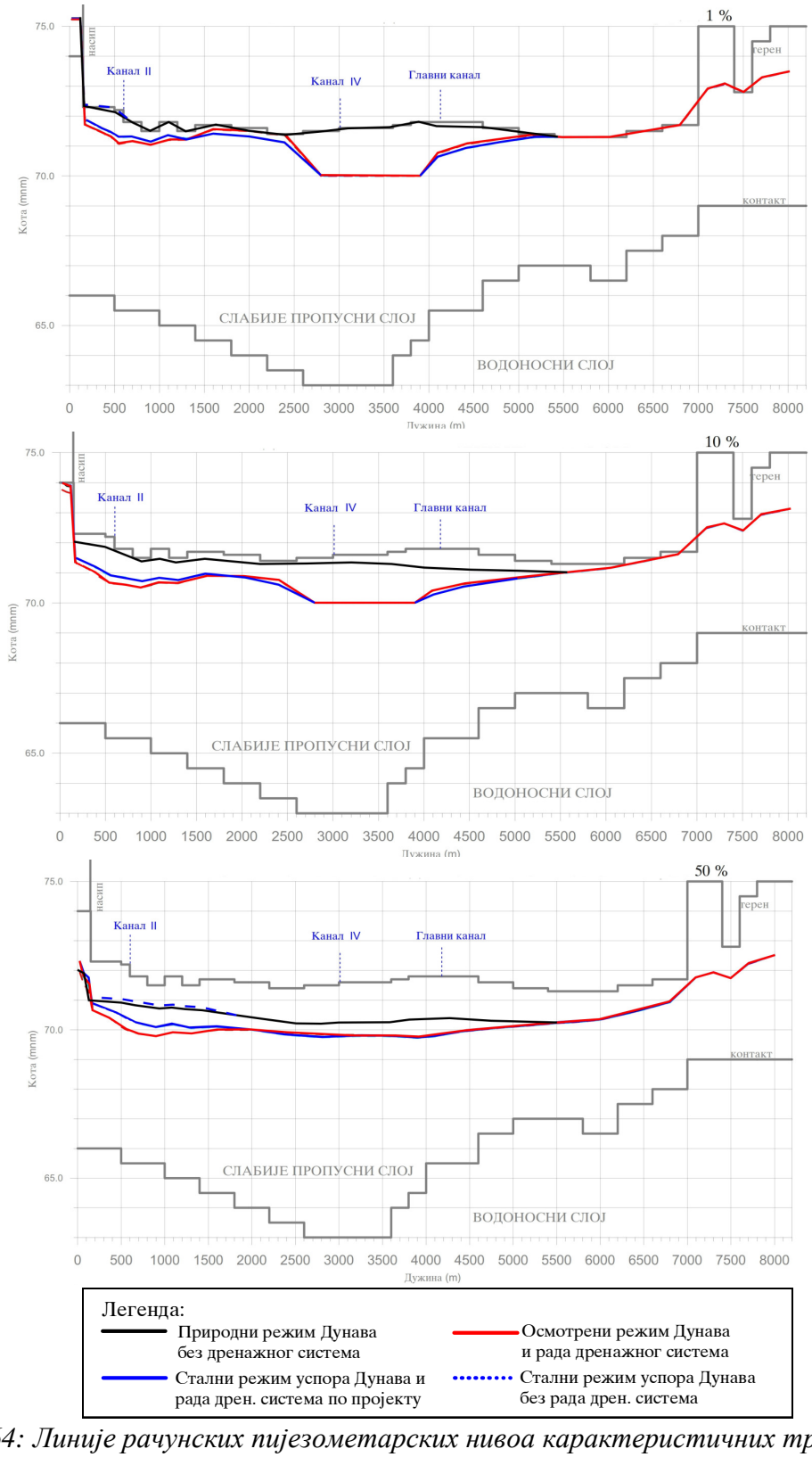

*Слика 61: Линије рачунских пијезометарских нивоа карактеристичних трајања 1%,10% и 50%, за период 1985 - 2011. год.;*
*(мелиор.подручје Ковин - Дубовац, прор.профил IV) (табела 41)*



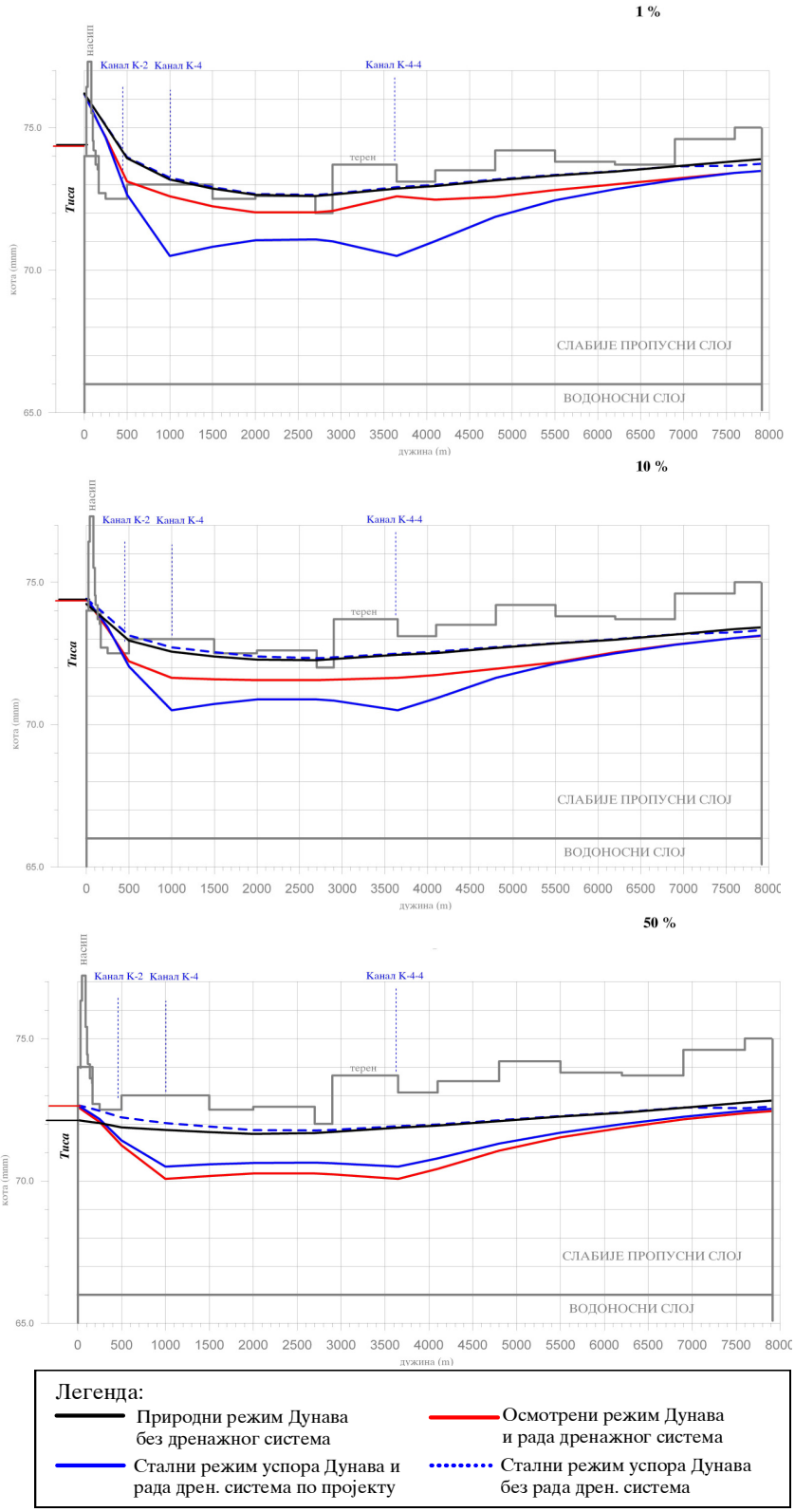

*Слика 62: Линије рачунских пијезометарских нивоа карактеристичних трајања 1%,10% и 50%, за период 1985 - 2011. год.;*
*(мелиор.подручје Иваново - Ковин, прор.профил VI) (табела 41)*



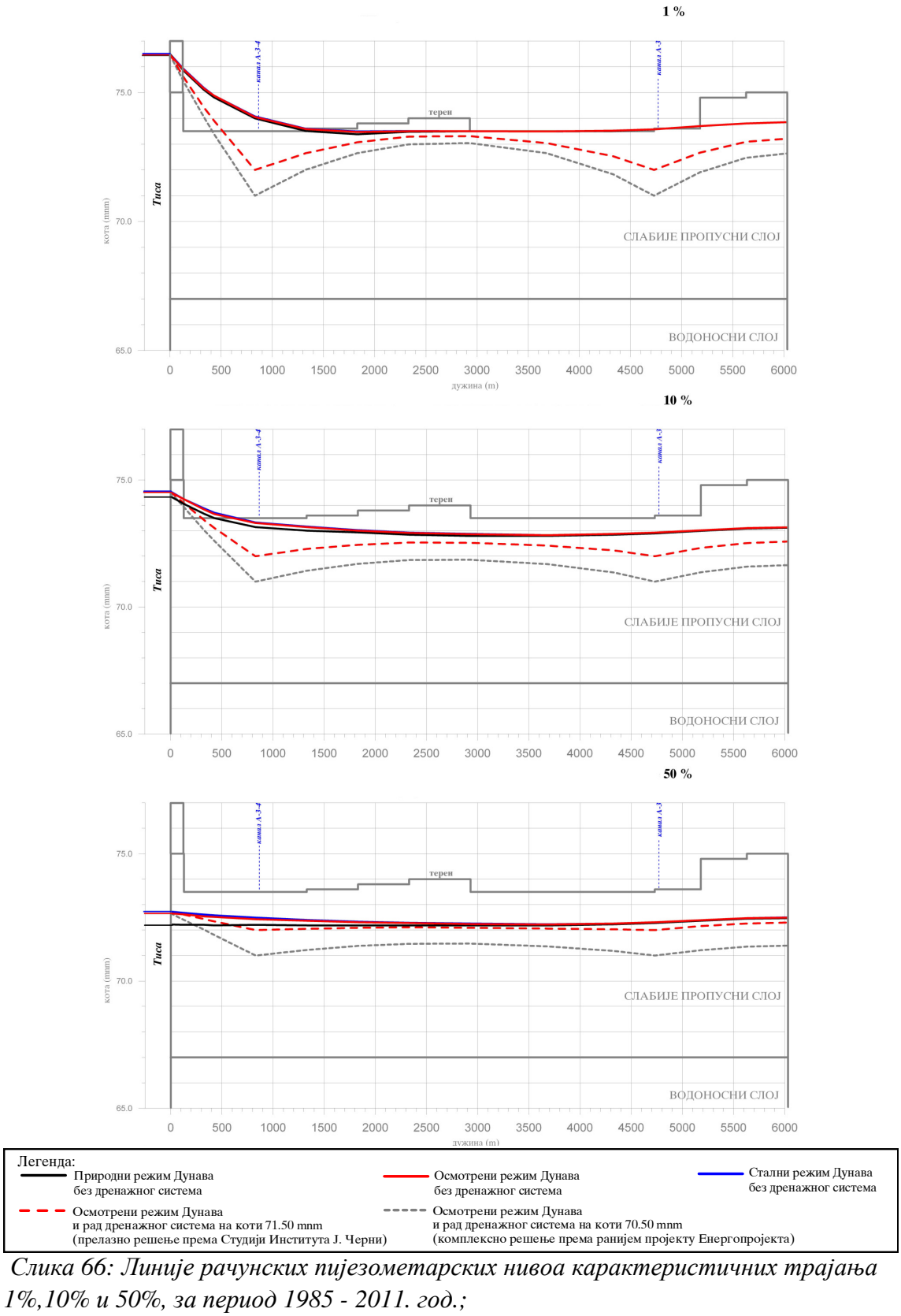

*Слика 63: Линије рачунских пијезометарских нивоа карактеристичних трајања 1%,10% и 50%, за период 1985 - 2011. год.;*
*(мелиор.подручје Иваново - Панчево, прор. профил III ) (табела 41)*




*Слика 64: Линије рачунских пијезометарских нивоа карактеристичних трајања 1%,10% и 50%, за период 1985 - 2011. год.;*
*(мелиор.подручје Книћанин - Чента, прор.профил IV) (табела 41)*




*Слика 65: Линије рачунских пијезометарских нивоа карактеристичних трајања 1%,10% и 50%, за период 1985 - 2011. год.;*
*(мелиор.подручје Мужља - Лукино Село, прор.профил I) (табела 41)*




*Слика 66: Линије рачунских пијезометарских нивоа карактеристичних трајања 1%,10% и 50%, за период 1985 - 2011. год.;*
*(мелиор.подручје Елемир - Арадац, прор. профил I ) (табела 41)*

## 11.2. АНАЛИЗА ПОЛОЖАЈА ГРАНИЦЕ РАСПРОСТИРАЊА УТИЦАЈА УСПОРА НА НИВОЕ ПОДЗЕМНИХ ВОДА НА ПОДРУЧЈУ ЗА РАЗЛИЧИТЕ УСЛОВЕ ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ ХЕ „ЂЕРДАП 1"

На основу резултата свих спроведених детаљних хидрогеолошких истраживања и резултата спроведених хидродинамичких прорачуна струјања подземних вода на математичким моделима, сагледан је режим подземних вода на подручју за неуспорене (природне) и успорене (пројектоване и осмотрене) нивое Дунава и притока и различити степен заштите подручја. Синтезом свих ових података и упоредбом добијених резултата за различите услове у Дунаву и притокама и унутар брањених подручја, одређена је граница распростирања утицаја оствареног успора Дунава, насталог услед рада ХЕ „Ђердап 1", на нивое подземних вода на анализираним мелиоративним подручјима *(Пајић и др., 2014)*.

Анализом резултата прорачуна режима подземних вода, односно упоредбом осцилација подземних вода на деоницама профила и линијама пијезометарских нивоа карактеристичних трајања, те резултатима прорачуна промене протицаја подземних вода кроз водоносни слој, спроведено је дефинисање положаја границе простирања успора. Наведени прорачуни на математичком моделу струјања подземних вода су симулирани за услове неуспореног, природног режима водостаја Дунава и притока и уређења подручја у овом режиму и успореног режима Дунава и притока (пројектованог режима водостаја Дунава и рада дренажног система по пројекту и осмотреног режима водостаја Дунава и осмотреног рада дренажног система).

Упоређивање режима подземних вода на подручјима у неуспореном и успореном режиму површинских токова могуће је обавити за исте услове заштите ових мелиоративних подручја. С тим у вези, у циљу у циљу обезбеђивања услова за упоређивање, симулиран је и режим подземних вода који би се остварио за пројектоване водостаје Дунава и притока, али без рада пројектованог дренажног система. Оваква симулација послужила је за дефинисање разлика у режимима подземних вода на подручју при различитим рачунским, природним и пројектованим, водостајима Дунава и притока у условима уређености и заштите подручја пре изградње и пуштања у рад ХЕ „Ђердап 1“ (у природном режиму).

Синтезом свих постојећих података и анализом резултата спроведених прорачуна на математичком моделу закључује се да се у највећем делу брањених мелиоративних подручја где си узведени дренажни системи за њихову заштиту, остварује повољнији режим подземних вода него у природним условима (пре изградње ХЕ „Ђердап 1" и без рада дренажног система). У природном режиму водостаја Дунава и притока и без рада пројектованих система за заштиту од успора (евентуално уз рад раније изграђених система за одводњавање подземних вода), унутар брањених мелиоративних подручја, не деловима уз реке, остваривао се режим подземних вода карактерисан скоковитим осцилацијама. Постепеним удаљавањем од Дунава и притока , тек на одређеном растојању, на деоницама које се налазе даље од реке, осцилације се пригушују и приближавају се нивоима подземних вода које би се формирале у условима сталне, пројектоване експлоатације водостаја Дунава симулиране без рада пројектованих дренажних система. Границу утицаја успора ХЕ „Ђердап 1" на измену режима подземних вода на мелиоративним подручјима представља управо део ових подручја где се остварени успорени нивои подземних вода изједначавају са природним у наведеним условима у Дунаву и притокама и идентичним уређењем подручја (симулација без рада дренажног система). Слични резултати били би добијени и упоредбом режима подземних вода за успорене (осмотрене и/или пројектоване) водостаје Дунава и притока и рада дренажног система са режимом подземних вода за неуспорене, природне водостаје Дунава и притока са симулираним одговарајућим радом дренажних система.

Поред прорачуна осцилација нивоа подземних вода, за анализу утицаја успора и дефинисање границе успора ХЕ „Ђердап 1" неопходно је сагледати и резултате прорачуна протицаја подземних вода кроз водоносни слој. На деловима мелиоративних подручја ближе површинским токовима, протицаји су сразмерни градијентима насталим осцилованјем водостаја. У природном режиму водостаја Дунава и притока и без рада пројектованих система заштите за заштиту од успора, унутар брањених мелиоративних подручја, на деловима уз реке, остваривао се режим карактерисан скоковитим осцилацијама протицаја подземних вода кроз водоносни слој, који су се удаљавањем од Дунава и притока, постепено

амортизовали. Тек на одређеном растојању од реке протицаји подземних вода кроз водоносни слој се, за посматране услове у Дунаву и притокама и рада дренажних система, уједначавају. Границу утицаја успора ХЕ „Ђердап 1" на измену режима подземних вода на мелиоративним подручјима представља управо део ових подручја где се остварени протицаји подземних вода кроз водоносни слој у успореном режиму изједначавају са протицајима подземних вода кроз водоносни слој у природним условима у Дунаву и притокама и идентичним уређењем подручја (симулација без рада дренажног система).

Анализом резултата осматрања нивоа подземних вода и свих резултата прорачуна режима подземних вода на математичком моделу, сходно напред наведеном, формирана је граница распрострањења утицаја успора Дунава, услед рада ХЕ „Ђердап 1“, на режим подземних вода на мелиоративним подручјима. Унутар ове границе утицаја успора на режим подземних вода, односно између ове границе и површинског тока, ХЕ „Ђердап 1“ је својим радом проузроковала одређено повишење нивоа подземни вода и сходно томе продужење трајања угрожености подручја, односно повећану експлоатацију изведених дренажних система за заштиту од успора. Квантификовање удела ХЕ „Ђердап 1“ у овоме, дефинисано је у наредним поглављима. Иза наведене границе распрострањења утицаја успора Дунаваи притока услед рада ХЕ „Ђердап 1“, доминанту улогу на режим подземних вода преузимају параметри вертикалног биланса, односно дотицај подземних вода из залеђа. Другим речима, иза ове границе распрострањења утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“ нема никакав утицај на формирани режим подземних вода.

У оквиру овог поглавља даће се опис распростирања границе утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“ на режим подземних вода на раније одабраним, репрезентативним мелиоративним подручјима на обалама Дунава и притока Саве и Тисе.

**На мелиоративном подручју Нера - Канал ДТД** распрострањења утицаја успора ХЕ „Ђердап 1" простире се паралелно са каналом ДТД, на растојању од 1.0 - 2.0 km и паралелно са реком Дунав, на растојању око 1.5 - 1.8 m, до реке Нере, где на стационажи око km 3+500 - 4+ 000 речног тока успор исклињава.

**На мелиоративном подручју Дубовац - Ковин** граница распространења утицаја успора ХЕ „Ђердап 1" протеже се практично паралелно са реком Дунав. У зони профила 1 граница распространења се практично простире до дренажног канала D -I -I. Даље, крећући се узводно, граница релативно прати правац Дунава, с'тим што се на средини подручја (у зони прорачунских профила 4.5 и 6) налази најдаље од Дунава и то на растојању од 4 -4.5 km од реке. У зони прорачунских профила 7 и 8 граница се приближава Дунаву и распростире на удаљењу од око 3.5 - 4.0 km од реке.

**На мелиоративном подручју Иваново - Ковин** граница распространења утицаја успора ХЕ „Ђердап 1" протеже се практично паралелно са реком Дунав. У зони профила 2 граница распространења се простире нешто иза дренажног канала К -5, а у зони профила 4 нешто иза дренажног канала К -5 (укључујући и дренажне бунаре дуж канала К -5 и К -II -11) и К -6. Даље, крећући се узводно, граница се простире средином подручја и налази се на растојању од око 4.5 - 5 km од реке. У зони прорачунског профила 6 граница се распростире нешто испред дренажног канала S. Крећући се даље узводно, граница се благо приближава Дунаву и налази се на растојању од око 3.5 - 4 km од реке. У зони прорачунског профила 8 и профила 10 граница се распростире нешто иза дренажног канала S -11. Унутар границе распространења утицаја успора на нивое подземних вода налази се и индустријска зона Ковина са црпном станицом „Ковин".

**На мелиоративном подручју Иваново - Панчево** граница распространења утицаја успора ХЕ „Ђердап 1" протеже се практично паралелно са реком Дунав. У зони профила 1 граница распространења се практично простире до дренажног канала I -1. Даље, крећући се узводно, граница се простире средином подручја и налази се на растојању од око 3.5 - 4 km од реке. У зони прорачунског профила 4 граница се приближава високом терену у залеђу и распростире на удаљењу од око 3 km од реке. Такође, унутар границе распространења утицаја успора на нивое подземних вода налази се и насеље Иваново и индустријска зона Панчева.

**На мелиоративном подручју Книћанин - Чента** граница распрострањења утицаја успора ХЕ „Ђердап 1" протеже се практично паралелно са рекама Дунав и Тиса. У зони прорачунских профила 1 и 2 поменута граница распрострањења утицаја успора се пружа између дренажних канала II и IV, пратећи правац Дунава и Тисе, и то на растојању од око 2,0 km од реке. У зони прорачунског профила 3 граница се приближава Бегеју и зона утицаја успора распростире до удаљења од око 1 km од реке.

**На мелиоративном подручју Мужља - Лукино Село** граница распрострањења утицаја успора ХЕ „Ђердап 1" протеже се паралелно са реком Тисом. Граница налази се на растојању од око 2 km од реке и обухвата канале К - I до К - IV. На основу резултата прелиминарног хидродинамичког прорачуна на помоћним профилима, управним на рибњаке газдинства „Ечка", може се закључити да се граница утицаја простире на растојању од око 750 m од рибњака.

**На мелиоративном подручју Елемир - Арадац** граница распрострањења утицаја успора ХЕ „Ђердап 1" протеже се практично паралелно са реком Тисом. Граница распрострањења утицаја успора налази се на растојању од око 1.5 - 2.5 km од реке Тисе и обухвата Главни канал и одређене мање канале који му гравитирају.

Положај границе утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“ на режим подземних вода на наведеним и на свим осталим мелиоративним подручјима приказан је на прилогу 4.

## 11.3. АНАЛИЗА ДЕЛОВА ПОДРУЧЈА НА КОЈИМА ЈЕ ДОШЛО ДО ИЗДИЗАЊА НИВОА ПОДЗЕМНИХ ВОДА У ОДНОСУ НА ПРИРОДНИ РЕЖИМ

Након спроведених детаљних хидрогеолошких истраживања и на основу резултата обављених прорачуна на математичком моделу, за различите режиме у Дунаву и притокама и за различит степен уређења подручја, извршена је анализа ефеката рада дренажних система на режим подземних вода на подручју у циљу одређивања делова терена у којима је дошло до издизања нивоа подземних вода у односу на природни режим Дунава и притока.

Анализом резултата континуалног осматрања нивоа подземних вода на мелиоративним подручјима и водостаја Дунава и притока, уочено је снижавање пијезометарских нивоа, у осмотреном режиму, за режим успора „69.5 и више“, односно „до коте 70.30 мнм на ушћу Нере“, а осмотрени нивои, при раду дренажних система налазе се углавно на сличним, а често и нижим котама у односу на нивое у природном режиму, пре пуштања у рад ХЕ „Ђердап 1“.

Анализом резултата прорачуна струјања подземних вода на математичком моделу, у природном режиму Дунава и притока и осмотреном режиму Дунава и притока и рада дренажног система, може се констатовати да се експлоатацијом дренажних система на подручју на највећем делу подручја остварује снижавање нивоа подземних вода у осмотреном режиму, насталом након изградње ХЕ „Ђердап 1". У осмотреном режиму Дунава и притока и постојећим условима заштите подручја, стање нивоа подземних вода се на највећем делу анализираног подручја побољшава и успостављају се нивои подземних вода углавном у складу са прописаним критеријумима залегања нивоа подземних вода. При просечним осмотреним нивоима подземних вода, под утицајем успора ХЕ „Ђердап 1", само на одређеним, нижим деловима подручја, изузетно мале површине, дошло је до благог издизања нивоа подземних вода у односу на природни, неуспорени режим, односно на овим деловима подручја остварује се незнатно неповољнији режим подземних вода него у природним условима, пре изградње ХЕ „Ђердап 1".

На подручју Дубовац - Ковин, између прве и друге дренажне линије и на подручју Елемир - Арадац, иза прве дренажне линије, региструје се благо издизање просечних осмотрених нивоа у односу на природне и то за око 0.1 - 0.4 m. На осталим анализираним мелиоративним подручјима региструју се слични или чак значајно нижи нивои подземни вода.

На сликама 60 - 66 приказане су рачунске линије нивоа подземних вода карактеристичних трајања за различите режиме у ђердапској акумулацији и одговарајуће уређење (заштиту) подручја. У табели 42 приказане су вредности пијезометарских нивоа у зони прве дренажне линије одабраних мелиоративних подручја, у природном и осмотреном режиму Дунава и притока и резултати њихове упоредбе.

*Табела 42: Вредности пијезометарских нивоа у брањеном делу у зони прве дренажне линије одабраних мелиоративних подручја, у природном и осмотреном режиму Дунава и притока, за прорачунски период 1985 - 2011. год.*

| мелиоративно подручје | природни режим - кота (mnm) | осмотрени режим - кота (mnm) | разлика у нивоима (m) | природни режим - кота (mnm) | осмотрени режим - кота (mnm) | разлика у нивоима (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10% трајања водостаја | | | 50% трајања водостаја | | |
| на Дунаву: | | | | | | |
| Нера - Канал ДТД *(прор.профил II)* | 68.5 | 68.5 | 0.0 | 68.0 | 68.0 | 0.0 |
| Дубовац - Ковин *(прор.профил IV)* | 67.6 | 67.2 | 0.4 | 67.0 | 67.0 | 0.0 |
| Иваново - Ковин *(прор.профил VI)* | 68.8 | 68.0 | 0.8 | 67.9 | 67.6 | 0.3 |
| Иваново - Панчево *(прор.профил III)* | 69.8 | 68.8 | 1.0 | 68.8 | 68.2 | 0.6 |
| Книћанин - Чента *(прор.профил IV)* | 71.8 | 70.8 | 1.0 | 70.8 | 70.0 | 0.8 |
| на Тиси: | | | | | | |
| Мужља -Лук. Село *(прор.профил I)* | 72.6 | 71.8 | 1.0 | 71.7 | 70.2 | 1.5 |
| Елемир - Арадац *(прор.профил I)* | 73.6 | 73.4 | 0.2 | 72.6 | 72.4 | 0.2 |

## 11.4. АНАЛИЗА ЗОНА У КОЈИМА СЕ У УСЛОВИМА ПРОЈЕКТОВАНОГ РАДА ХЕ „ЂЕРДАП 1“ И ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМА ЗАШТИТЕ ЕЛИМИНИШЕ ШТЕТНО ДЕЈСТВО УСПОРЕНИХ ВОДОСТАЈА ДУНАВА

Анализа резултата осматрања рада црпних станица, односно осматрања нивоа воде у доводним каналима црпних станица представља први корак у сагледавању очекиваних ефеката рада дренажних система на изучаваним мелиоративним подручјима. На синтезе ових података и њихове анализе може се констатовати да се у оквиру изучаваних мелиоративних подручја одржавају нивои воде у доводним каналима црпних станица углавном у интервалима пројектованих кота, односно између пројектованог радног максимума и радног минимума, док на неким подручјима ово неије могуће и нивои се одржавају до 0.5 - 0.6 м изнад пројектованог радног максимума. Одступање одржавања нивоа воде

у доводним каналима према пројектованим котама директно се одражава на успостављање неповољнијег режима подземних вода унутар брањених подручја.

На основу спроведених прорачуна струјања подземних вода на математичком моделу по профилима извршена је анализа положаја зона у којима се, у условима пројектованог рада ХЕ „Ђердап I" и дренажних система заштите, елиминише штетно дејство успорених водостаја Дунава. Анализом добијених резултата прорачуна може се закључити да се на највећем делу брањених подручја, који је под утицајем успора ХЕ „Ђердап I", елиминише штетно дејство успорених водостаја Дунава, односно да се остварује повољнији режим подземних вода у пројектованом режиму рада ХЕ „Ђердап 1" и дренажних система заштите него у природним условима, пре изградње ХЕ „Ђердап 1". Само на одређеним мелиоративним подручјима, у њиховим средишњим деловима подручја, малих површина остварује се неповољнији режим подземних вода, кратког трајања, у условима пројектованог рада ХЕ „Ђердап 1" и пројектованих система заштите подручја у односу на природни, неуспорени режим Дунава.

Треба констатовати и да су и у природном режиму водостаја Дунава одређени делови мелиоративних подручја, били угрожени високим нивоима подземних вода, односно да су се нивои подземних вода налазили на мање од 1.0 m од површине терена. Радом дренажних система у пројектованим условима, не само да се елиминише штетно дејство успорених водостаја реке Дунава и притока, већ се стање нивоа подземних вода на највећем делу подручја побољшава и успоставља се режим подземних вода у складу са прописаним критеријумима. Само поједине, ниже површине терена, које су веома малих површина, повремено су, при неповољним хидролошким условима, угрожене појавом високих нивоа подземних вода.

На сликама 60 - 66 приказане су рачунске линије нивоа подземних вода карактеристичних трајања за различите режиме у ђердапској акумулацији и одговарајуће уређење (заштиту) подручја. У табели 43 приказане су вредности пијезометарских нивоа у зони прве дренажне линије одабраних мелиоративних подручја, у природном и пројектованом режиму Дунава и притока, за прорачунски период 1985 - 2011. год.

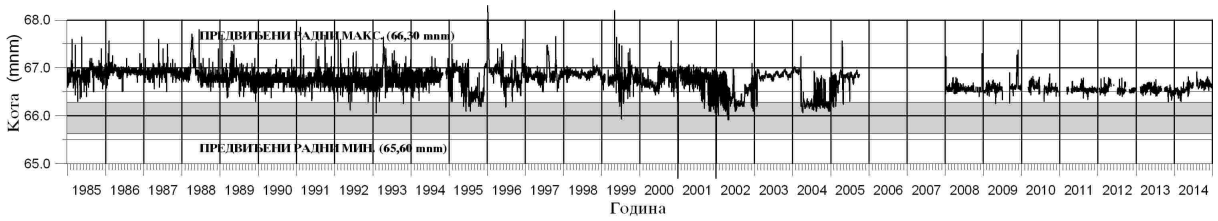
*Табела 43: Вредности пијезометарских нивоа у зони прве дренажне линије одабраних мелиоративних подручја,, у природном и пројектованом режиму Дунава и притока, за прорачунски период 1985 - 2011. год.*

| мелиоративно подручје | природни режим - кота (mnm) | пројектовани режим кота (mnm) | разлика у нивоима (m) | природни режим кота (mnm) | пројектовани режим кота (mnm) | разлика у нивоима (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10% трајања водостаја | | | 50% трајања водостаја | | |
| на Дунаву: | | | | | | |
| Нера - Канал ДТД *(прор.профил II)* | 68.5 | 66.5 | 2.0 | 68.0 | 66.5 | 1.5 |
| Дубовац - Ковин *(прор.профил IV)* | 67.6 | 66.5 | 1.1 | 67.0 | 66.4 | 0.6 |
| Иваново - Ковин *(прор.профил VI)* | 68.8 | 68.1 | 0.7 | 67.9 | 67.7 | 0.2 |
| Иваново - Панчево *(прор.профил III)* | 69.8 | 68.2 | 1.6 | 68.8 | 68.2 | 0.6 |
| Книћанин - Чента *(прор.профил IV)* | 71.8 | 71.0 | 0.8 | 70.8 | 70.4 | 0.4 |
| на Тиси: | | | | | | |
| Мужља -Лук. Село *(прор.профил I)* | 72.6 | 70.6 | 2.0 | 71.7 | 70.6 | 1.1 |
| Елемир - Арадац *(прор.профил I)* | 73.6 | 73.4 | 0.2 | 72.6 | 72.2 | 0.4 |

## 11.5. АНАЛИЗА ЗОНА У КОЈИМА СУ ОСМОТРЕНИ НИВОИ ПОДЗЕМНИХ ВОДА ВИШИ ОД ПРОЈЕКТОМ ПРЕДВИЂЕНИХ

При анализи режима подземних вода, битно је јасно дефинисати ефекте рада пројектованих и изведених дренажних система за заштиту изучаваних мелиоративних подручја *(Белић, 1989).* Полазна основа за дефинисање рада дренажних система представљају резултати континуалног праћења рада црпних станица, кроз осматрање часова рада црпних агрегата и нивоа воде у доводним каналима црпних станица, односно количине препумпане (евакуисане) воде са подручја, као и резултати континуалног осматрања нивоа подземних вода на довољном броју осматрачких објеката (пијезометара).

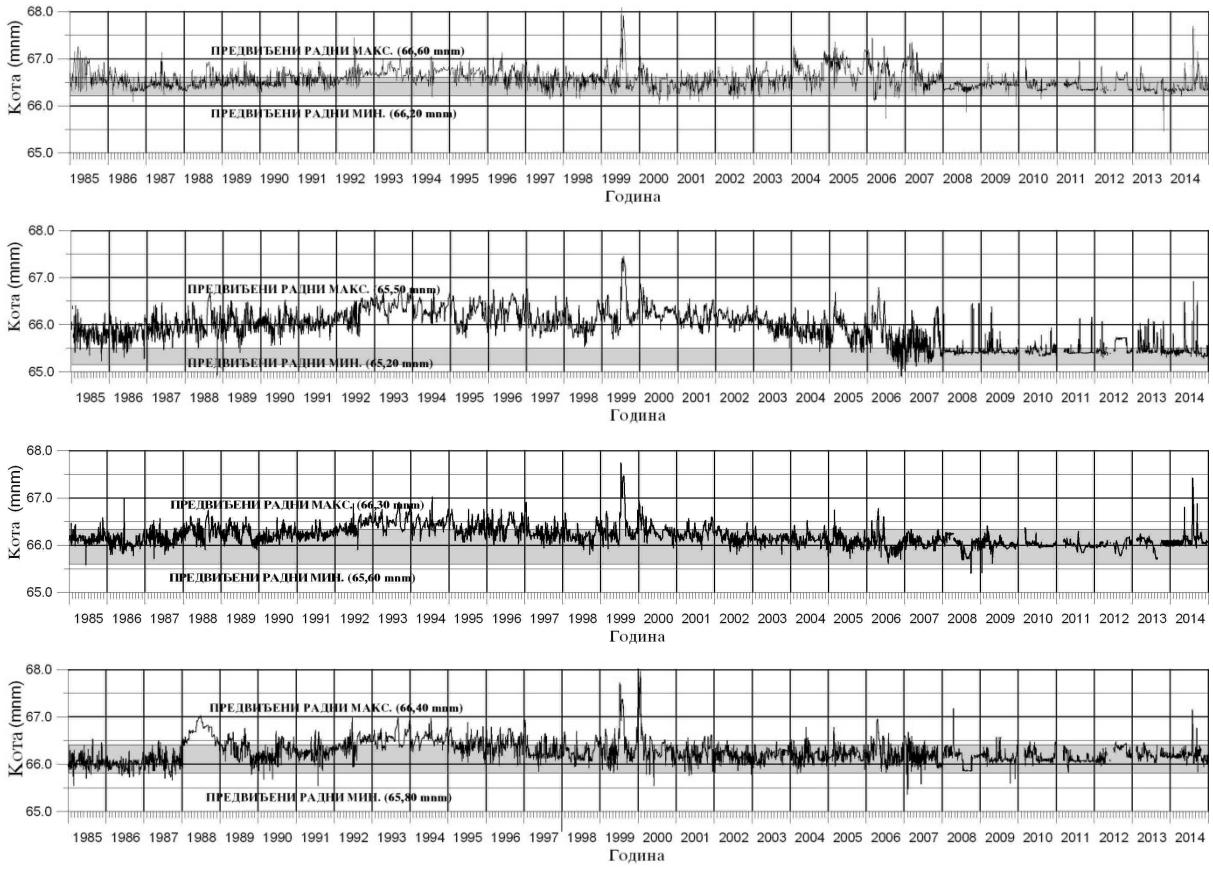
**Са мелиоративног подручја Нера - Канал ДТД** дрениране подземне воде евакуишу се са подручја црпним станицама: Караш 1 (стара - капацитета 3 x 1.4/1.7 $m^3/s$, нова - капацитета 2 x 1.1 $m^3/s$). Ангажованост црпне станице варира и у просеку износи 40% за ц.с. Караш 1 - стара, док нова није у раду. Пројектовани ниво воде у доводним каналима црпне станице Караш 1 износи 65.60 mnm (радни минимум) - 66.30 mnm (радни максимум) На слици 67 приказане су осматрани подаци осцилација нивоа воде у доводном каналу црпне станице Караш 1, за анализирани период од 1985. год.




*Слика 67: Подаци осматрања нивоа воде у доводном каналу црпне станице на мелиоративном подручју Нера - Канал ДТД, за анализирани период од 1985. год.*

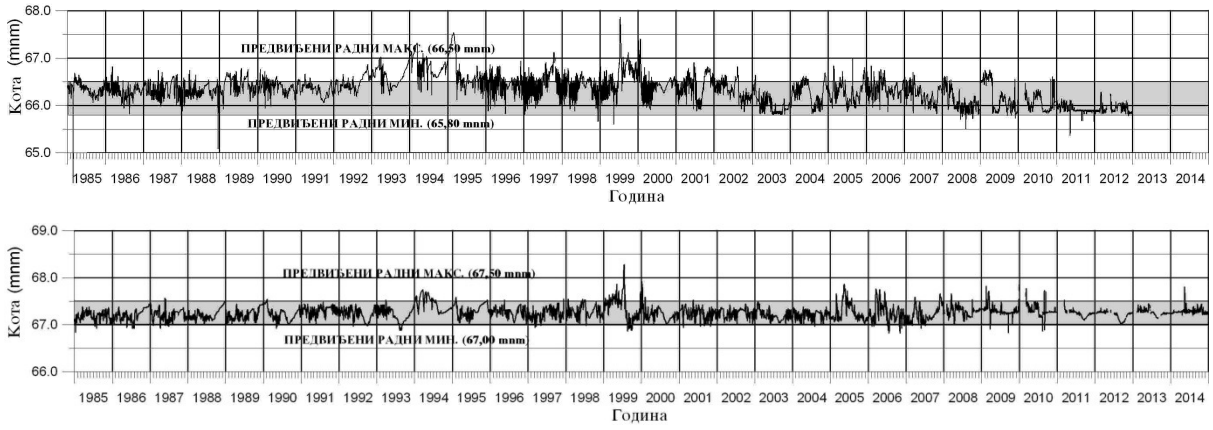
**Са мелиоративног подручја Дубовац - Ковин** дрениране подземне воде евакуишу се са подручја црпним станицама: Дубовац (стара - капацитета 2x1.85 $m^3/s$, нова - капацитета 2x0.35 $m^3/s$), Врба (капацитета 4x0.33 $m^3/s$), Гај (стара - капацитета 2x2.0 $m^3/s$, нова - капацитета 2x0.35 $m^3/s$) и М. Баваниште (капацитета 5x0.63$m^3/s$). Ангажованост црпних станица варира и у просеку износи 53% за ц.с. Дубовац нову, а 2% за ц.с. Дубовац стара, 45% за ц.с. Врба, 5 % за ц.с. Гај стара, 46% Гај нова и 37% за ц.с. М. Баваниште. Пројектовани ниво воде у доводним каналима црпних станица износи 66.20 mnm (радни минимум) - 66.60 mnm (радни максимум) за ц.с. Дубовац, 65,20 mnm (радни минимум) - 65,50 mnm (радни максимум) за ц.с. Врба, 65.60 mnm (радни минимум) - 66.30 mnm (радни максимум) за ц.с. Гај и 65.80 mnm (радни минимум) - 66.40 mnm (радни максимум) за ц.с. М. Баваниште. На слици 66 приказане су осматрани подаци осцилација нивоа воде у доводним каналима црпних станица, за анализирани период од 1985. год. (а -Дубовац, б - Врба, в - Гај, д - М. Баваниште). На основу података осматрања нивоа воде у доводним каналима црпних станица,

приказаних на слици 68, може се закључити да остварени нивои воде у одређеној мери одступају од пројектом предвиђених нивоа, односно да се остварени нивои налазе око или нешто изнад коте пројектованог радног максимума. На ц.с. Дубовац просечни остварени нивои се налазе око кота 66.30 -66.80 mnm, односно за 0.2 m изнад пројектованог радног максимума. На ц.с. Врба просечни остварени нивои се налазе око кота 65.30 -66.00 mnm, односно за 0.5 m изнад пројектованог радног максимума. На ц.с. Гај просечни остварени нивои се налазе око кота 65.75 -66.50 mnm, односно за 0.2 m изнад пројектованог радног максимума. На за ц.с. М. Баваниште просечни остварени нивои се налазе око кота 65.80 - 66.40 mnm, односно у границама пројектованих радних нивоа.



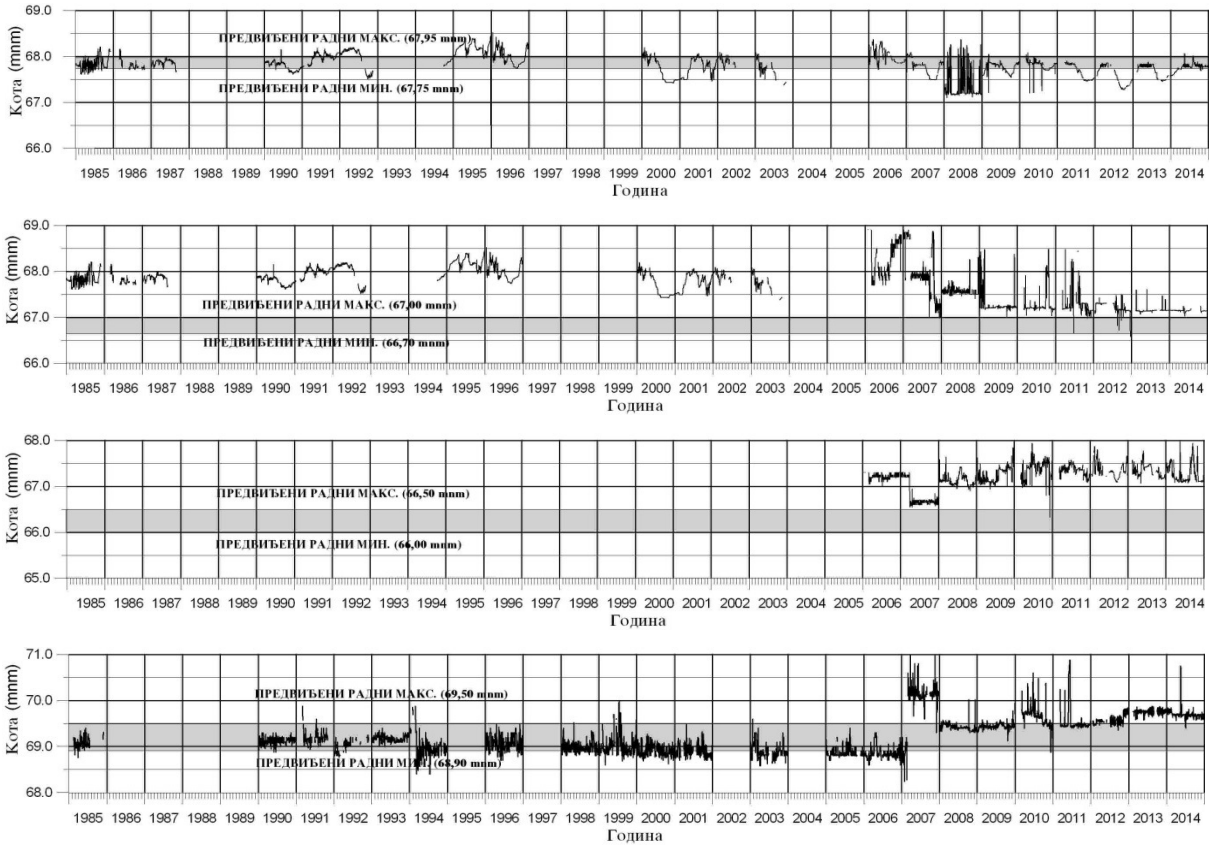

*Слика 68: Подаци осматрања нивоа воде у доводним каналима црпних станица на мелиоративном подручју Дубовац - Ковин, за анализирани период од 1985. год.*

**Са мелиоративног подручја Иваново - Ковин** дренирane подземне воде евакуишу се са подручја црпним станицама: ц.с. Ковин (мали агрегати 4x0.33 $m^3/s$ и велики агрегати 2x2.4 $m^3/s$) и ц.с. Скореновац (мали агрегати 5x0.45 $m^3/s$ и велики агрегати 2x2.0$m^3/s$). Ангажованост црпних станица варира и у просеку износи 37 % за мале агрегате односно 4% sa велике агрегате на ц.с. Ковин, а 22 % за мале агрегате односно 2% sa велике агрегате Скореновац . Пројектовани ниво воде у доводним каналима црпних станица износи 65.80 mnm (радни минимум) - 66.50 mnm (радни максимум) за ц.с. Ковин, 67.00 mnm (радни минимум) - 67.50 mnm (радни максимум) за ц.с. Скореновац. На слици 69 приказани су осмотрани подаци осцилација нивоа воде у доводним каналима црпних станица, за анализирани период од 1985. год. (а - Ковин, б - Скореновац). На основу података осматрања нивоа воде у доводним каналима црпних станица, приказаних на слици 67, може се закључити да остварени нивои воде у одређеној мери одступају од пројектом предвиђених нивоа, односно да се остварени нивои налазе око или нешто изнад коте пројектованог радног максимума. На ц.с. Ковин просечни остварени нивои се налазе око кота 65.90 -66.60 mnm, односно до за 0.1 m изнад пројектованог радног максимума. На ц.с. Скореновац просечни остварени нивои се налазе око кота 67.10 -67.40 mnm, односно у границама пројектованих нивоа.




*Слика 69: Подаци осматрања нивоа воде у доводним каналима црпних станица на мелиоративном подручју Ковин - Иваново, за анализирани период од 1985. год.*

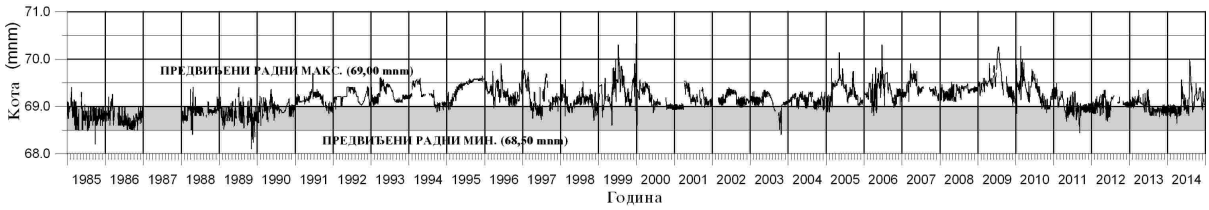
**Са мелиоративног подручја Иваново - Панчево** дренираne подземне воде евакуишу се са подручја црпним станицама: Иваново (стара - капацитета 1x10 $m^3$/s која не ради и нова - капацитета 2x0.36 $m^3$/s), Иваново село (капацитета 2x0.17 $m^3$/s), Маријино поље (капацитета 2x0.1.3/1.6 $m^3$/s) и Топола 2 (стара - капацитета 2x0.16 $m^3$/s која не ради и нова - капацитета 3x0.22$m^3$/s). Ангажованост црпних станица варира и у просеку износи 15% за ц.с. Иваново, 15 % за ц.с. Иваново село, 12 % за ц.с. Маријино поље и 16 % за ц.с. Топола 2. Пројектовани ниво воде у доводним каналима црпних станица износи 67.75 mnm (радни минимум) - 67.95 mnm (радни максимум) за ц.с. Иваново, 66.70 mnm (радни минимум) - 67.00 mnm (радни максимум) за ц.с. Иваново село, 66.00 mnm (радни минимум) -66.50 mnm (радни максимум) за ц.с. Маријино поље и 68.90 mnm (радни минимум) - 69.50 mnm (радни максимум) за ц.с. Топола 2. На слици 70 приказане су осматрани подаци осцилација нивоа воде у доводним каналима црпних станица, за анализирани период од 1985. год. (а - Иваново, б - Иваново село, в - Маријино поље, д - Топола 2). На основу података осматрања нивоа воде у доводним каналима црпних станица, приказаних на слици 68, може се закључити да остварени нивои воде у одређеној мери одступају од пројектом предвиђених нивоа, тј. да се остварени нивои налазе око или нешто изнад коте пројектованог радног максимума. На ц.с. Иваново просечни остварени нивои се налазе око кота 67.7 - 68.0 mnm, односно за 0.15 m изнад пројектованог радног максимума. На ц.с. Иваново село просечни остварени нивои се налазе око кота 67.20 - 68.20 mnm, односно за 1.2 m изнад пројектованог радног максимума. На ц.с. Маријино поље просечни остварени нивои се налазе око кота 67.0 -67.50 mnm, односно за 1.0 m изнад пројектованог радног максимума. На за ц.с. Топола 2 просечни остварени нивои се налазе око кота 69.45 -69.70 mnm, односно за 0.2 m изнад пројектованог радног максимума.




*Слика 70: Подаци осматрања нивоа воде у доводним каналима црпних станица на мелиоративном подручју Иваново - Панчево, за анализирани период од 1985. год.*

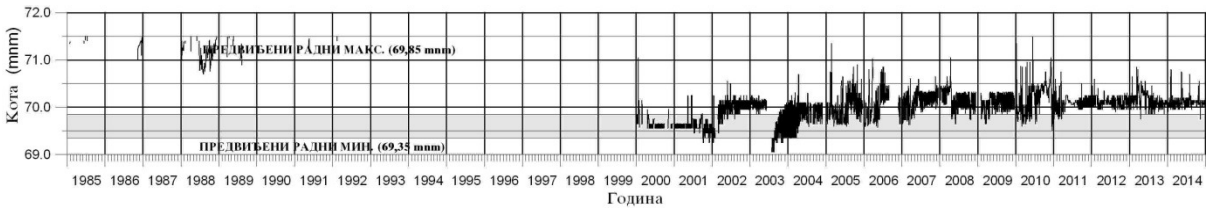
**Са мелиоративног подручја Книћанин - Чента** дрениране подземне воде евакуишу се са подручја црпним станицама: Чента (велики агрегати капацитета 3x1.35 $m^3/s$, мали агрегати капацитета 2x0.35 $m^3/s$). Ангажованост црпне станице варира и у просеку износи 39 % за мале агрегате, а 3% велике агрегате на ц.с. Чента. Пројектовани ниво воде у доводном каналу црпне станице износи 68.5 mnm (радни минимум) - 69.0 mnm (радни максимум) за ц.с. Чента. На слици 69 приказане су осматрани подаци осцилација нивоа воде у доводним каналима црпних станица, за анализирани период од 1985. год. На основу података осматрања нивоа воде у доводним каналима црпних станица, приказаних на слици 71, може се закључити да остварени нивои воде у одређеној мери одступају од пројектом предвиђених нивоа, односно да се остварени нивои налазе око или нешто изнад коте пројектованог радног максимума. На ц.с. Чента

просечни остварени нивои се налазе око кота 68.8 -69.3 mnm, односно за 0.3 m изнад пројектованог радног максимума.



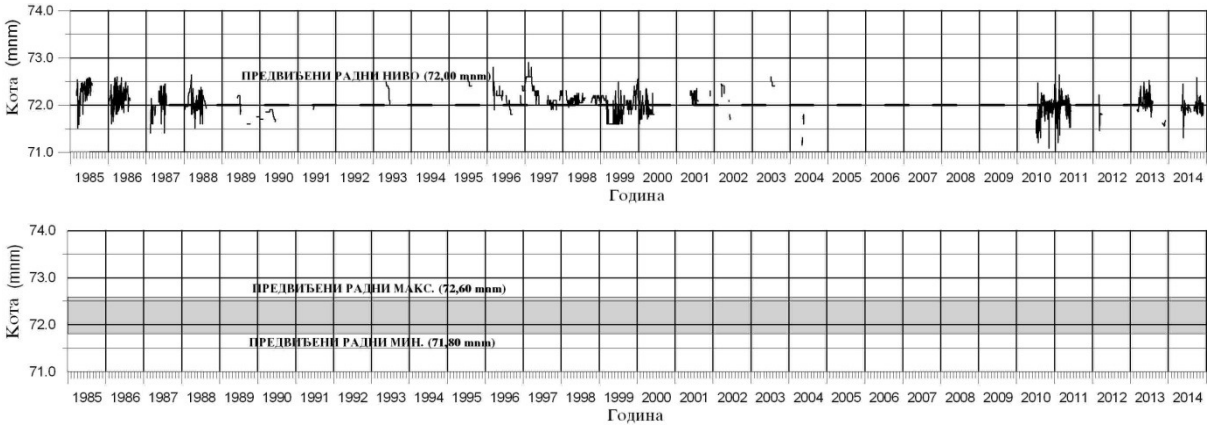

*Слика 71: Подаци осматрања нивоа воде у доводним каналима црпних станица на мелиоративном подручју Книћанин - Чента, за анализирани период од 1985. год.*

**Са мелиоративног подручја Мужља - Лукино Село** дрениране подземне воде евакуишу се са подручја црпним станицама: Мужља нова (велики агрегати капацитета 3x1.5 $m^3/s$, мали агрегати капацитета 2x0. 5 $m^3/s$). Ангажованост црпне станице варира и у просеку износи 1 % за велике агрегате, а 10 % за мале агрегате ц.с. Мужља нова. Пројектовани ниво воде у доводном каналу црпне станице износи 69.35 mnm (радни минимум) - 69.85 mnm (радни максимум) за ц.с. Мужља нова. На слици 72 приказане су осматрани подаци осцилација нивоа воде у доводним каналима црпних станица, за анализирани период од 1985. год. На основу података осматрања нивоа воде у доводним каналима црпних станица, приказаних на слици 72, може се закључити да остварени нивои воде у одређеној мери одступају од пројектом предвиђених нивоа, односно да се остварени нивои налазе око или нешто изнад коте пројектованог радног максимума. На ц.с. Мужља нова просечни остварени нивои се налазе око кота 69.5 -70.5 mnm, односно за 0.65 m изнад пројектованог радног максимума.




*Слика 72: Подаци осматрања нивоа воде у доводним каналима црпних станица на мелиоративном подручју Мужља - Лукино Село, за анализирани период од 1985. г.*

**Са мелиоративног подручја Елемир - Арадац** дрениране подземне воде евакуишу се са подручја црпним станицама: Арадац 4 -5 (капацитета 2x1.5 $m^3/s$), Арадац дренажна (капацитета 1x0.5 $m^3/s$), Елемир 4 -7 (капацитета 1x0,53 $m^3/s$. Ангажованост црпних станица варира и у просеку износи 6 % за ц.с. Арадац 4 -5, 2 % за ц.с. Арадац дренажна, 2% за ц.с. Елемир 4 -7. Пројектовани ниво воде у доводним каналима износи 72.0 mnm за ц.с. Арадац 4 -5, за ц.с. Арадац дренажна новои воде у доводном каналу се не осматрају зато што црпна стеница ради аутоматски и 71.8 mnm (радни минимум) -72.6 mnm (радни максимум) за ц.с. Елемир 4 -7. На слици 73 приказани су осматрани подаци осцилација нивоа воде у доводним каналима црпних станица, за анализирани период од 1985. год. (а - Арадац 4 -5, б - Елемир 4 -7). На основу података осматрања нивоа воде у доводним каналима црпних станица може се закључити да остварени нивои воде у одређеној мери одступају од пројектом предвиђених нивоа, односно да се остварени нивои налазе око или нешто изнад коте пројектованог радног максимума. На ц.с. Арадац 4 -5 просечни остварени нивои се налазе око кота 71.5 -72.5 mnm, односно за 0.5 m изнад пројектованог радног нивоа. На осталим црпним станицама се не осматрају нивои воде у доводном каналу.




*Слика 73: Подаци осматрања нивоа воде у доводним каналима црпних станица на мелиоративном подручју Елемир - Арадац, за анализирани период од 1985. год.*

Одржавањем нивоа воде у доводним каналима црпних станица око или нешто изнад коте пројектованог радног, не омогућава се одржавање нивоа подземних вода у брањеном подручју на пројектованим котама, а самим тим и залегање подземних вода на захтеваним дубинама (критеријум од минимум 0,8 - 1,0 m) од површине терена. Након обављених прорачуна струјања подземних вода на математичком моделу, ефекти рада дренажног система могу се јасно дефинисати након анализе резултата прорачуна, у виду осцилација нивоа подземних вода, протицаја кроз водоносни слој и дотицаја подземних вода у каналску мрежу. Анализом осцилација нивоа подземних вода и њихових кривих трајања могу се уочити делови подручја где се остварују виши нивои од пројектом предвиђених. Анализом протицаја подземних вода кроз водоносни слој могу се могу се регистровати делови подручја на којима се услед смањења градијената остварују мањи протицаји кроз водоносни слој, а самим тим непосредно и наведене зоне са повишеним осмотреним нивоима подземних вода у односу на пројектом предвиђене. Анализом дотицаја подземних вода у каналску могу се евидентирати смањени дотицаји подземних вода у каналску мрежу, проузроковани повишеним нивоима воде у самој каналској мрежи.

Синтезом свих ових резултата могу се јасно сагледати ефекти рада изведених дренажних система и дефинисати делови мелиоративних подручја у којима су остварени пијезометарски нивои виши од пројектовних. На сликама 60 - 66 приказане су рачунске линије нивоа подземних вода карактеристичних трајања за различите режиме у ђердапској акумулацији и одговарајуће уређење (заштиту) подручја. У табели 44 приказани су резултати прорачуна на математичком моделу за неуспорени - осмотрени и пројектовани режим рада Дунава у притока и рада дренажних система, као и упоредба одговарајућих нивоа у приобалном делу изучаваних подручја (у зони прве дренажне линије).

*Табела 44: Вредности пијезометарских нивоа у брањеном делу (у зони прве дренажне линије) одабраних мелиоративних подручја,, у осмотреном и пројектованом режиму Дунава и притока, за прорачунски период 1985 - 2011. год.*

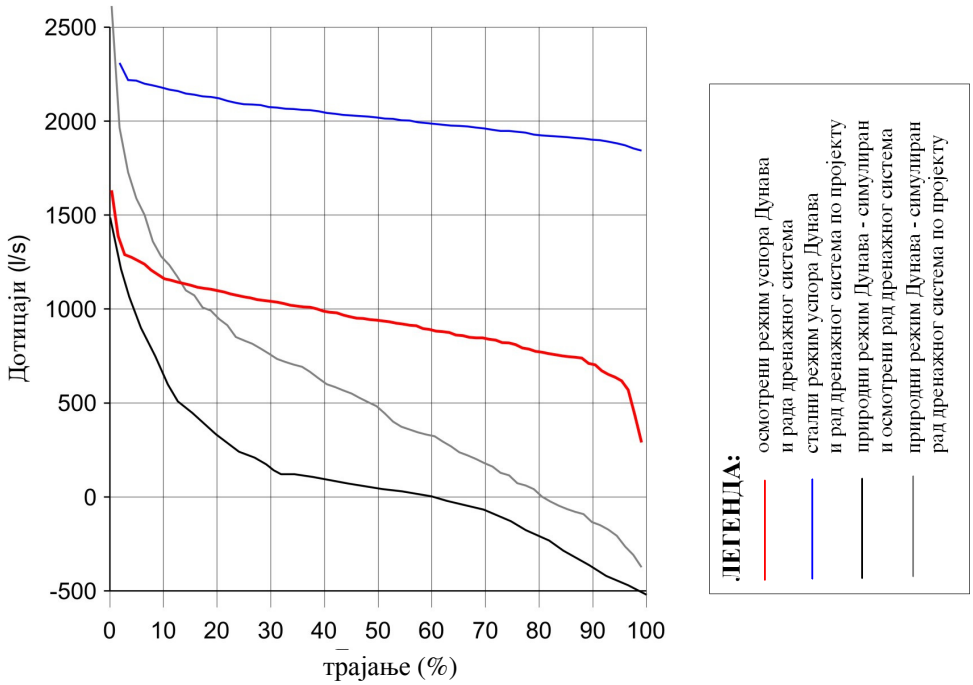
| мелиоративно подручје | природни режим - кота (mnm) | пројектовани режим кота (mnm) | разлика у нивоима (m) | природни режим кота (mnm) | пројектовани режим кота (mnm) | разлика у нивоима (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10% трајања водостаја | | | 50% трајања водостаја | | |
| на Дунаву: | | | | | | |
| Нера - Канал ДТД *(прор.профил II)* | 68.5 -70.5 | 66.5 -67.5 | 2.0 -3.0 | 68.0 -70.0 | 66.5 -67.5 | 1.5 -2.5 |
| Дубовац - Ковин *(прор.профил IV)* | 66.5 -68.3 | 67.2 -68.5 | 0.2 -0.7 | 66.4 -67.9 | 67.0 -68.0 | 0.1 -0.6 |
| Иваново - Ковин *(прор.профил VI)* | 68.1 -70.0 | 68.0 -70.0 | ( -0.1) -0.0 | 67.7 -69.7 | 67.6 -69.4 | -(0.1 -0.3) |
| Иваново - Панчево *(прор.профил III)* | 68.2 -70.1 | 68.8 -70.2 | 0.1 -0.6 | 68.2 -69.5 | 68.2 -69.5 | 0 |
| Книћанин - Чента *(прор.профил IV)* | 71.0 -71.1 | 70.8 -71.3 | -(0.1 -0.2) | 70.4 -70.7 | 70.0 -70.5 | -(0.2 -0.4) |
| на Тиси: | | | | | | |
| Мужља -Лук. Село *(прор.профил I)* | 70.6 -73.8 | 71.8 -73.8 | 0.0 -1.2 | 70.6 -72.2 | 70.2 -72.2 | -(0.0 -0.4) |
| Елемир - Арадац *(прор.профил I)* | 73.4 -74.2 | 73.4 -74.2 | 0 | 72.2 | 72.2 | 0 |

## 11.6. АНАЛИЗА ПОВЕЋАЊА ДОТОКА ПОДЗЕМНИХ ВОДА У ПОДРУЧЈЕ КАО ПОСЛЕДИЦА ФОРМИРАЊА УСПОРА ХЕ „ЂЕРДАП 1" У ОДНОСУ НА ПРИРОДНИ РЕЖИМ

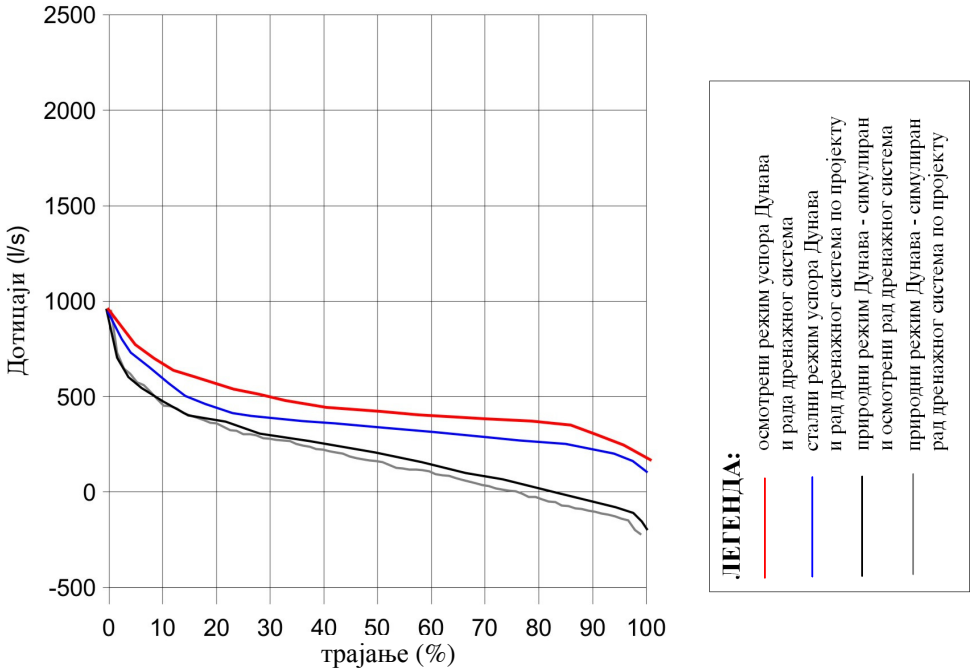
Стварањем успора ХЕ „Ђердап 1“ на површинским токовима Дунава и притока долази до одређеног повишавања њихових водостаја, односно до продужетка трајања водостаја одређеног трајања. Радом изграђених дренажних система заштите не само да се елиминише штетни утицај успора ХЕ „Ђердап 1" на формирање режима подземних вода, већ и негативан утицај високих водостаја река, којима су и у природном режиму, пре изградње и пуштања у рад ХЕ „Ђердап 1", подручја бивала угрожена. Снижавањем пијезометарских притисака унутар подручја и повећања дотицаја подземних вода из правца водотока у подручје долази до повећаног дотицаја у каналску мрежу, а тиме и повећања укупне количине вода које се евакуишу црпним станицама.

Након спроведених прорачуна струјања подземних вода на математичким моделима за неуспорене (природне) и успорене (пројектоване и осмотрене) режиме Дунава и притока и различито уређење (заштита) мелиоративних подручја, као резултат спроведених прорачуна добијене су и одговарајуће промене средње месечних вредности дотицаја у прорачунском периоду. Прорачунима на математичком моделу дефинисано је повећање дотока подземних вода у мелиоративна подручја, односно у дренажне канале система црпних станица, у условима успора (осмотрени и пројектовани) у односу на природно стање. У зависности од граничних услова, различитих водостаја Дунава и притока и режима рада дренажних система, срачунате су потребне количине воде за евакуацију са припадајућих сливних подручја, у виду укупних месечних дотицаја на црпне станице.

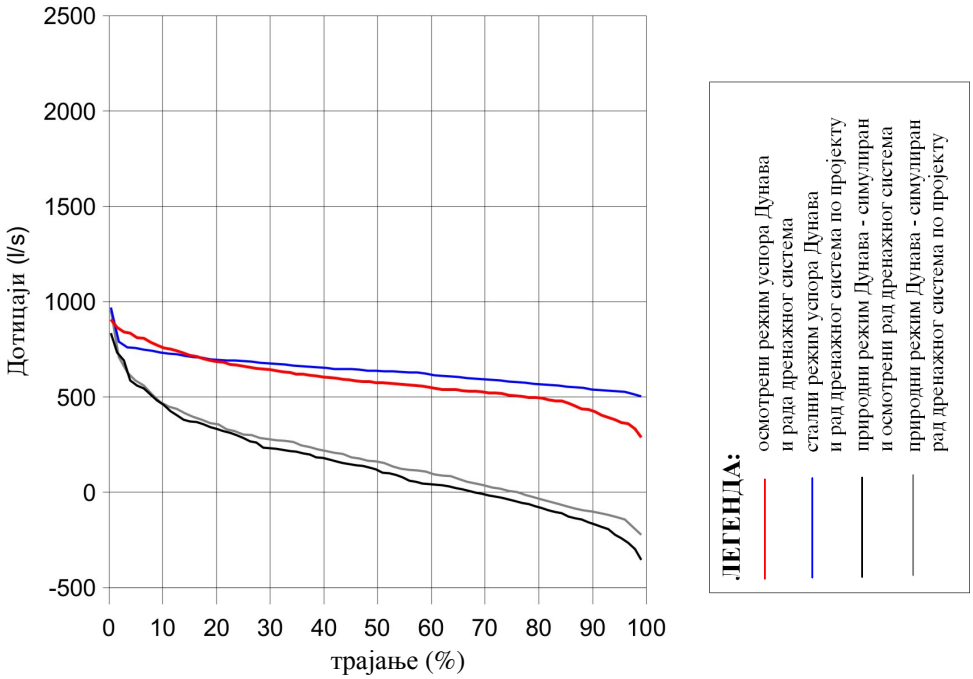
Резултати спроведених прорачуна на математичком моделу приказани су на сликама 74 -80 у виду кривих трајања месечних рачунских дотицаја подземних вода на црпне станице одабраних мелиоративних подручја, за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја.



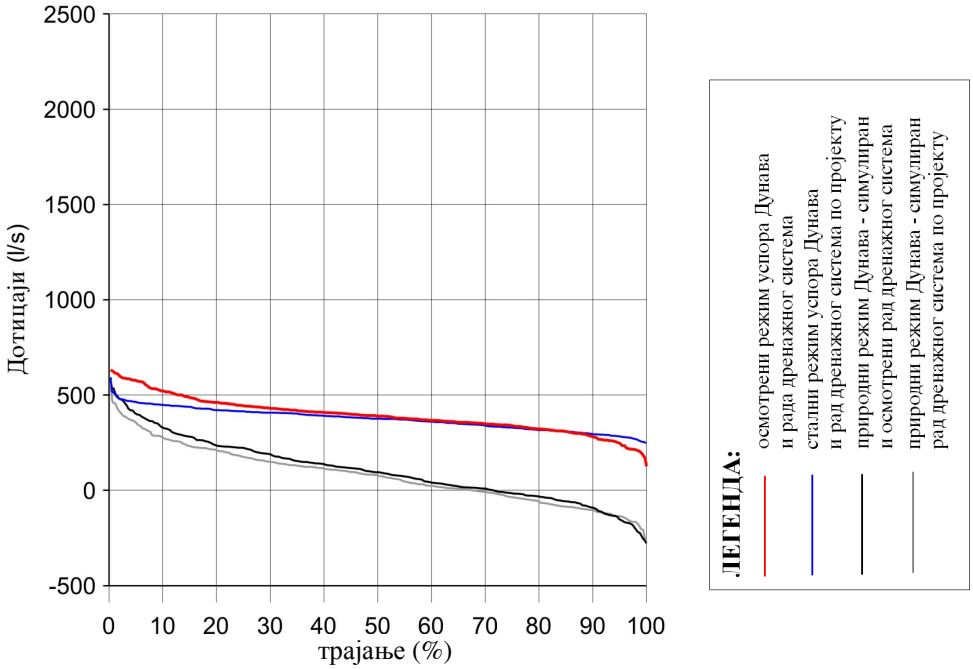

*Слика 74: Криве трајања месечних рачунских дотицаја подземних вода на ц.с. Караш 1 мелиоративног подручја Нара - Канал ДТД (слика 53), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



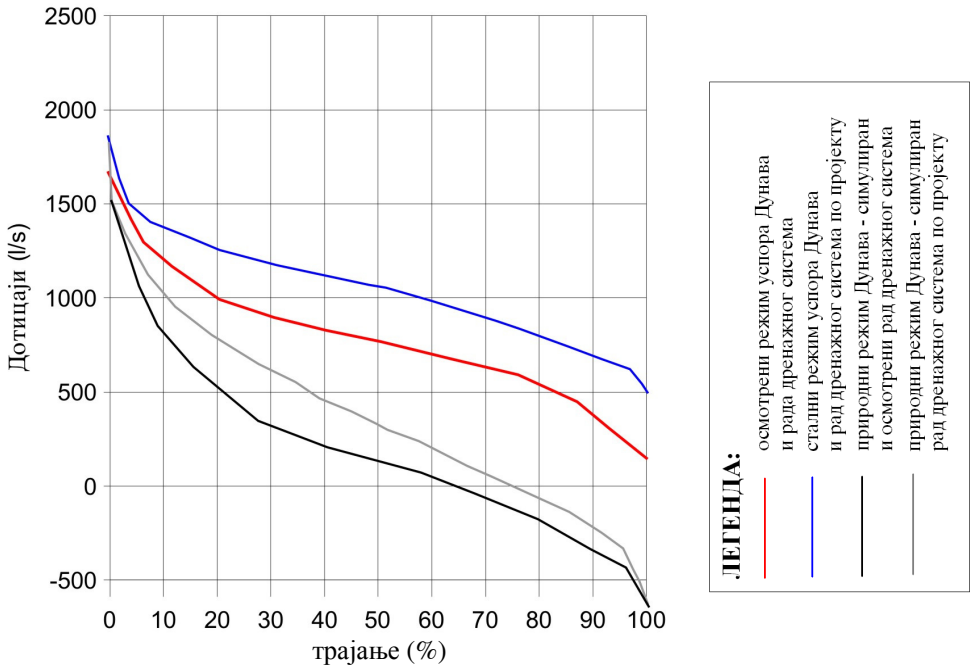

*Слика 75а: Криве трајања месечних рачунских дотицаја подземних вода на ц.с. Дубовац мелиоративног подручја Дубовац – Ковин (слика 54), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



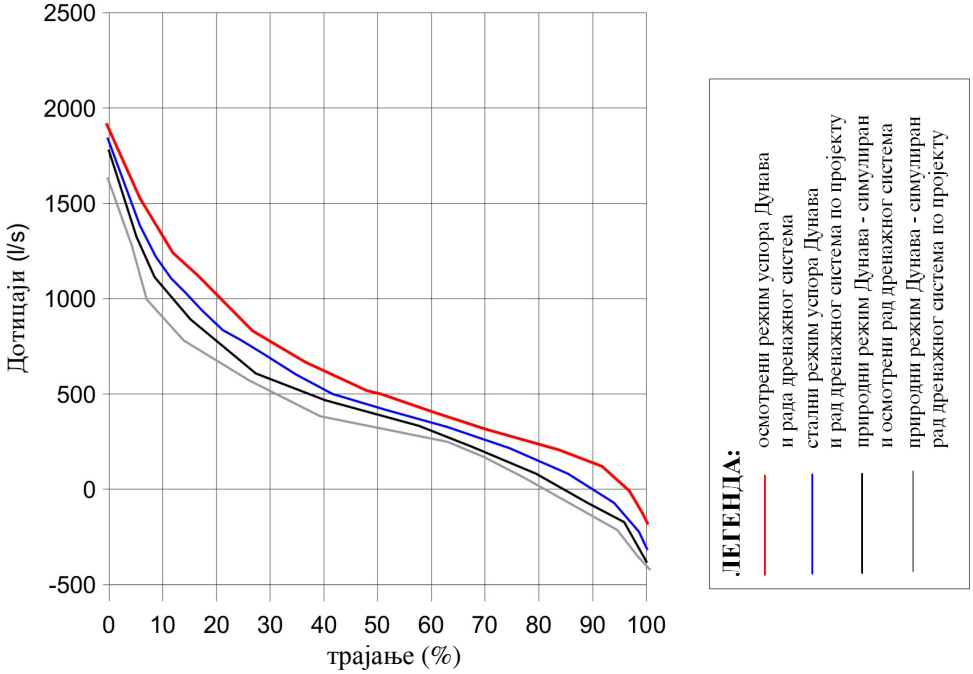

*Слика 75б: Криве трајања месечних рачунских дотицаја подземних вода на ц.с. Врба мелиоративног подручја Дубовац – Ковин (слика 54), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



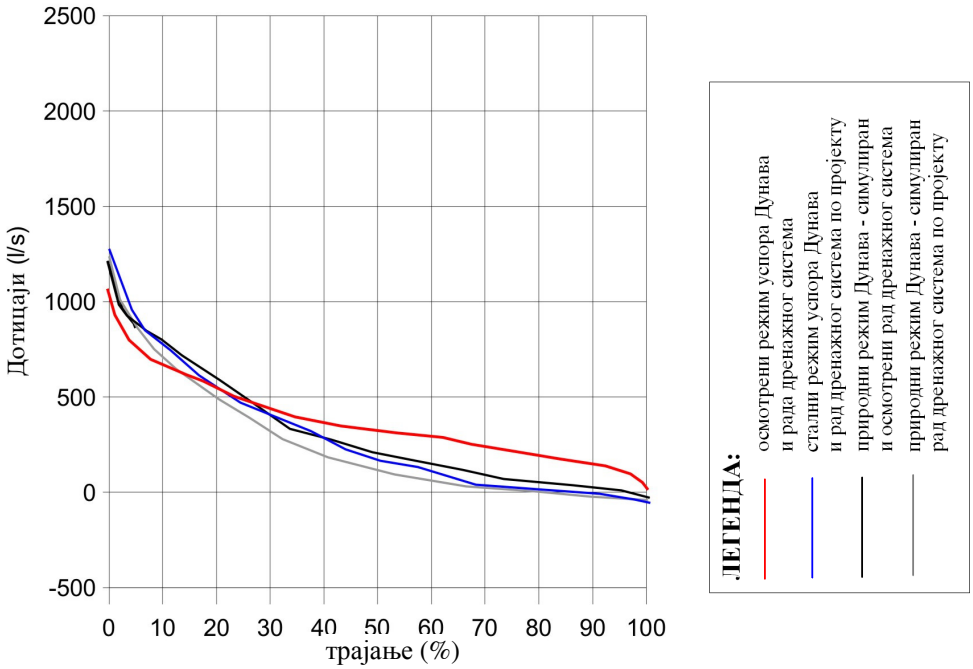

*Слика 75в: Криве трајања месечних рачунских дотицаја подземних вода на ц.с. Гај мелиоративног подручја Дубовац – Ковин (слика 54), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



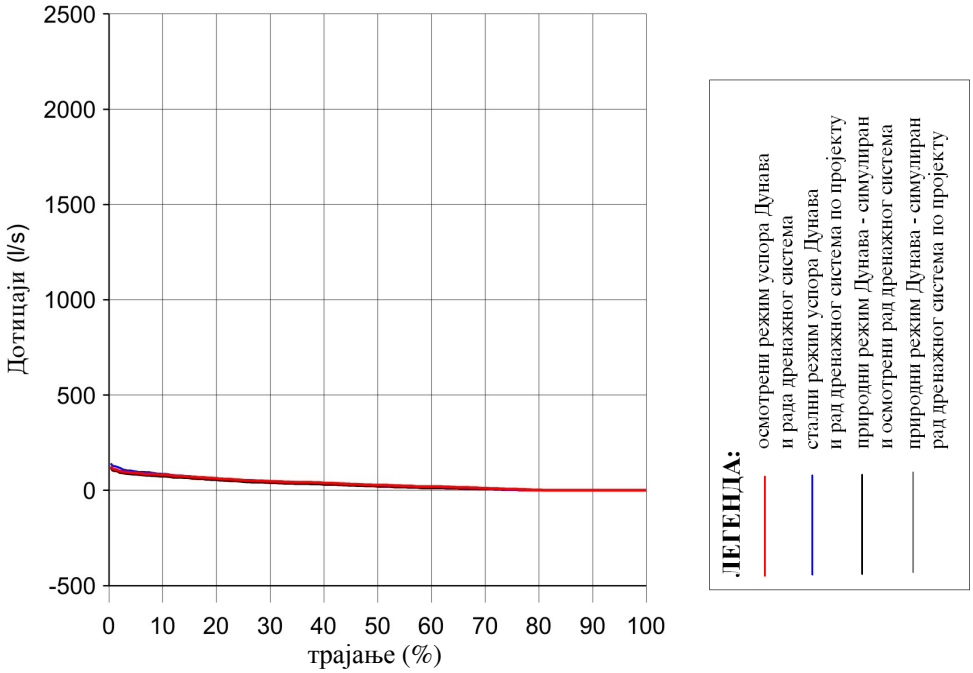

*Слика 75г: Криве трајања месечних рачунских дотицаја подземних вода на ц.с. М. Бавaниште мелиоративног подручја Дубовац – Ковин (слика 54), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



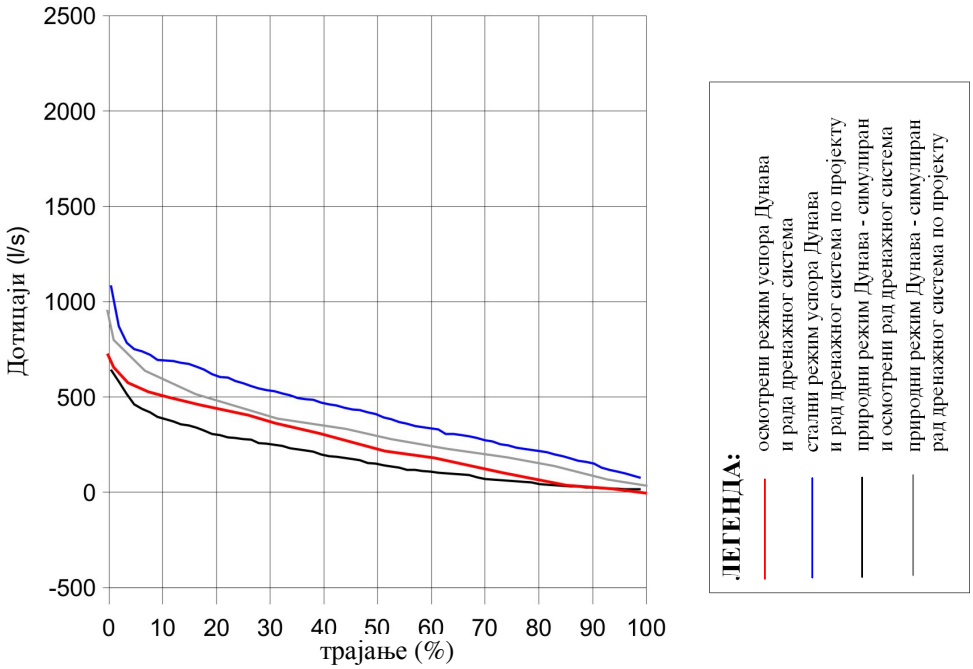

*Слика 76а: Криве трајања месечних рачунских дотицаја подземних вода на ц.с. Ковин мелиоративног подручја Ковин - Иваново (слика 55), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



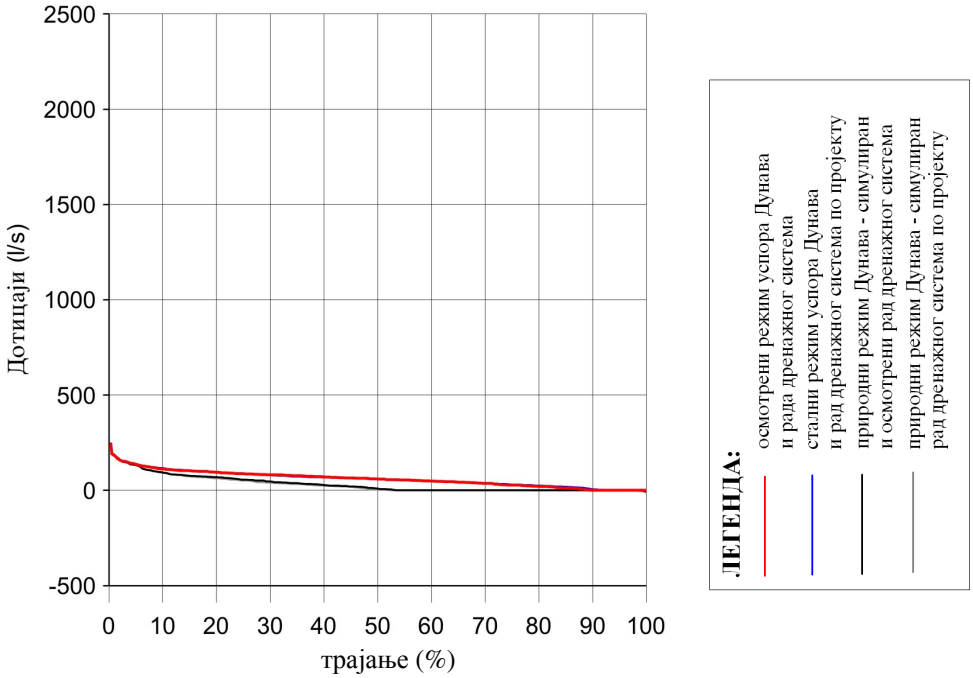

*Слика 76б: Криве трајања месечних рачунских дотицаја подземних вода на ц.с. Скореновац мелиоративног подручја Ковин - Иваново (слика 55), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



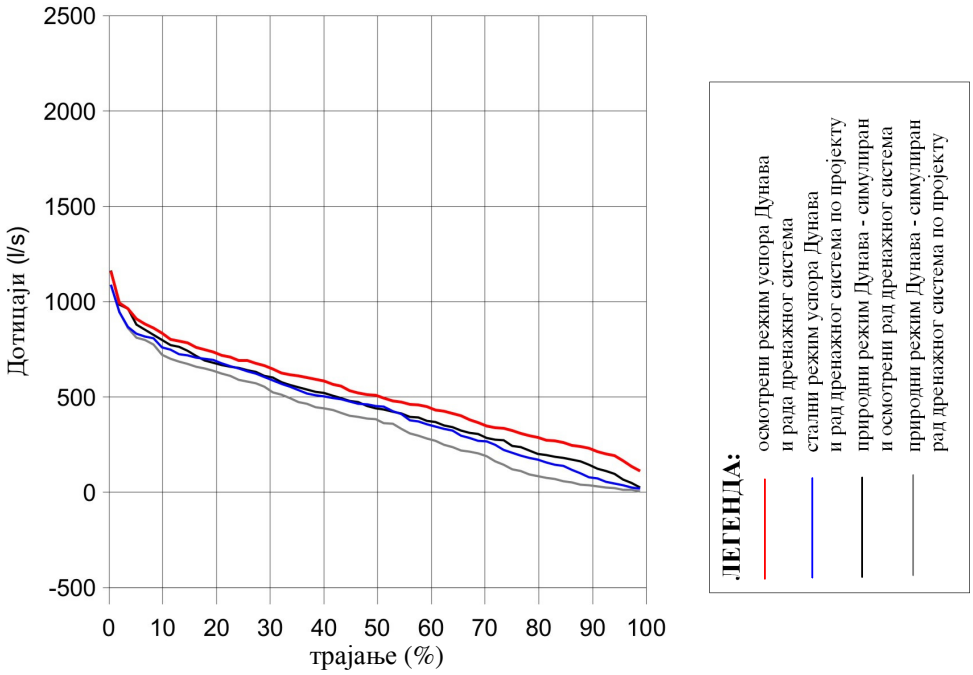

*Слика 77а: Криве трајања месечних рачунских дотицаја подземних вода на ц.с. Иваново - село мелиоративног подручја Иваново - Панчево (слика 56), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



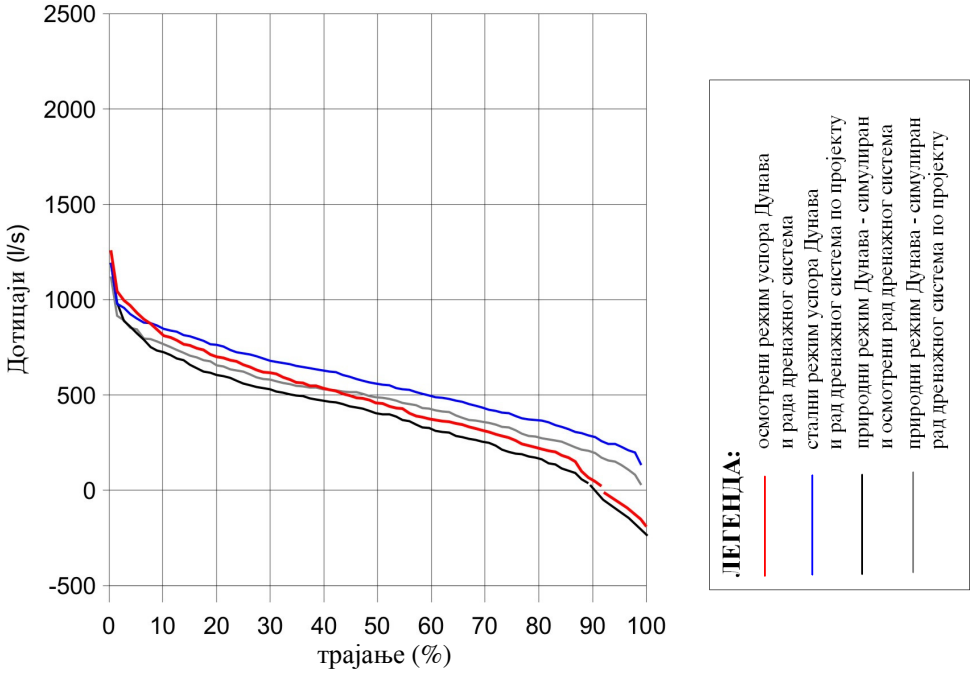

*Слика 77б: Криве трајања месечних рачунских дотицаја подземних вода на ц.с Маријино поље мелиоративног подручја Иваново - Панчево (слика 56), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



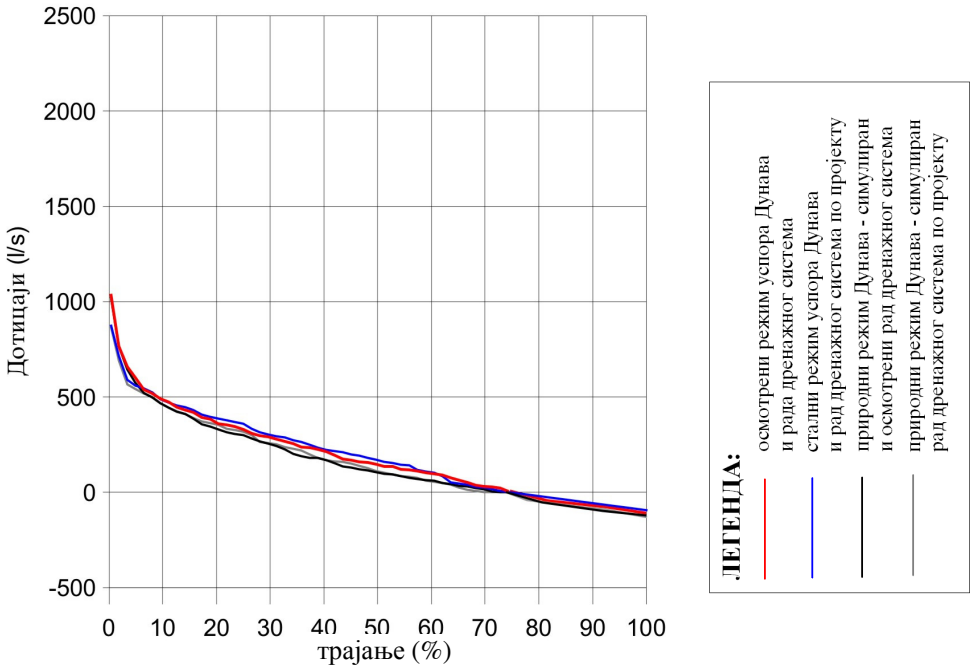

*Слика 77в: Криве трајања месечних рачунских дотицаја подземних вода на ц.с. Топола 2 мелиоративног подручја Иваново - Панчево (слика 56), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



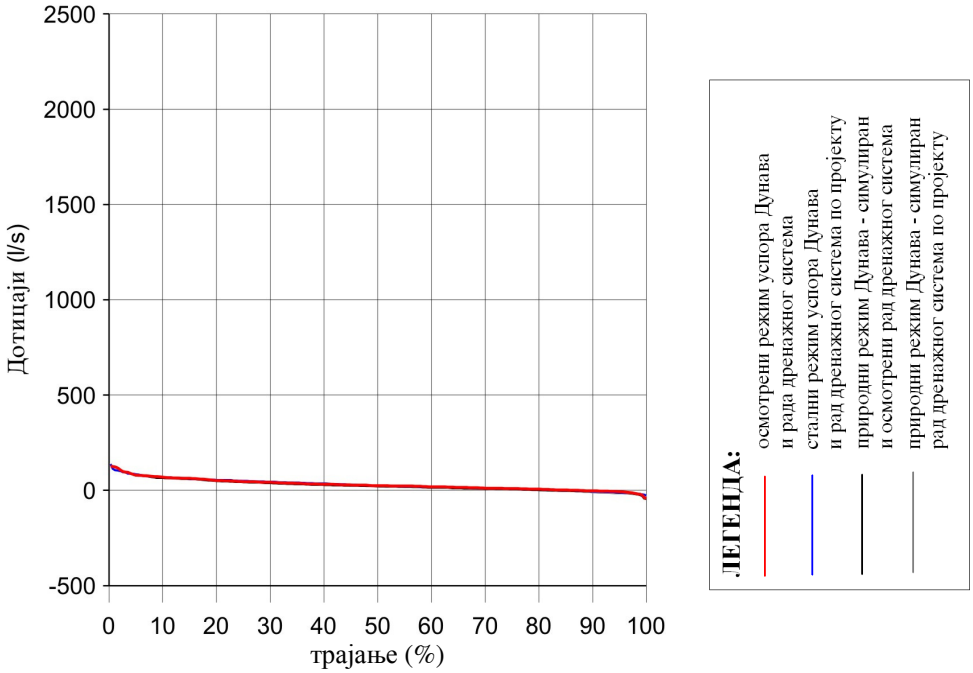

*Слика 78: Криве трајања месечних рачунских дотицаја подземних вода на ц.с. Книћанин мелиоративног подручја Кннићанин – Чента (слика 57), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



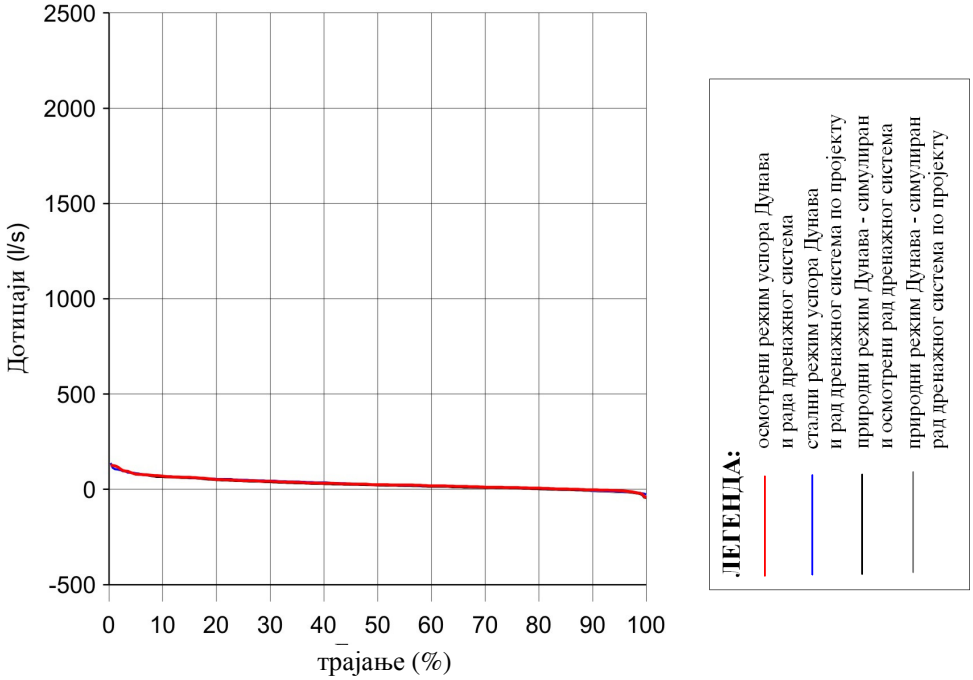

*Слика 79: Криве трајања месечних рачунских дотицаја подземних вода на ц.с. Мужља мелиоративног подручја Мужља - Лукино Село (слика 58), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



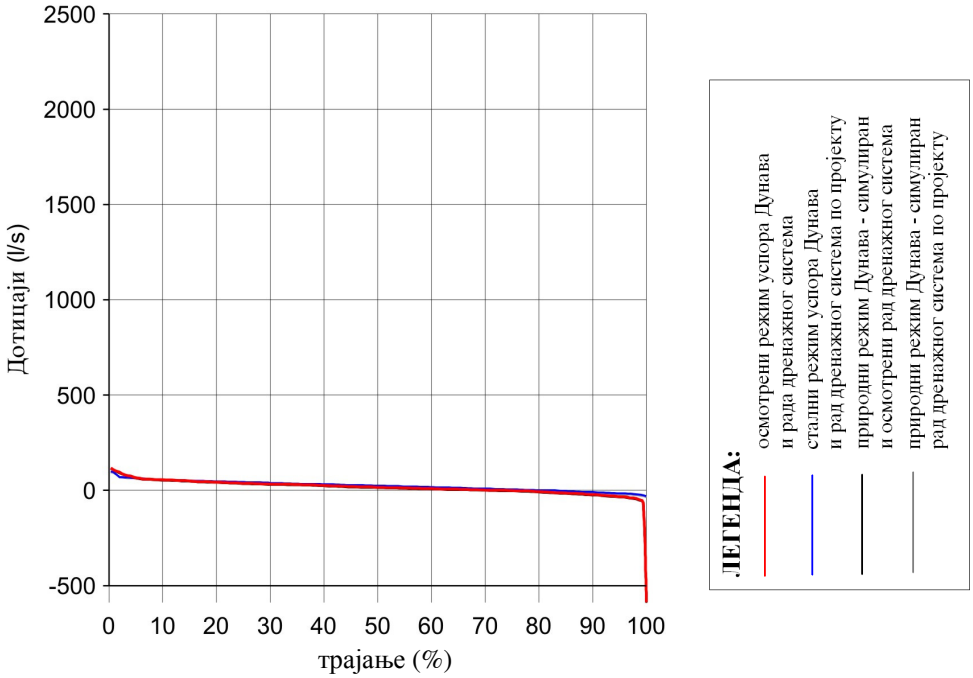

*Слика 80а: Криве трајања месечних рачунских дотицаја подземних вода на ц.с. Елемир - Арадац (4 -5) мелиоративног подручја Елемир - Арадац (слика 59), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*




*Слика 80б: Криве трајања месечних рачунских дотицаја подземних вода на ц.с. Елемир - Арадац (4 -7) мелиоративног подручја Елемир - Арадац (слика 59), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*




*Слика 80в: Криве трајања месечних рачунских дотицаја подземних вода на ц.с. Елемир - Арадац (4 -8) мелиоративног подручја Елемир - Арадац (слика 59), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*




*Слика 80г: Криве трајања месечних рачунских дотицаја подземних вода на ц.с. Бабатов (4 -9) мелиоративног подручја Елемир - Арадац (слика 59), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*

Анализом осцилација дотицаја добијених на прорачунима на математичком моделу може се уочити да се у успореним условима, за осмотрени и пројектовани режим, у односу на неуспорене услове, за природни режим Дунава и притока остварује повећани дотицај подземних вода на црпне станице.

Повећани дотицај дренажних вода на црпне станице у успореним (осмотреним и пројектованим) у односу на природне услове у акумулацији (са симулираним одговарајућим радом дренажног система) последица је повишених водостаја Дунава и притока, односно продужетка трајања одговарајућих водостаја Дунава и притока услед формираног успора. Виши нивои у Дунаву и притокама услед утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“ у односу на неуспорене нивое, проузрокују веће дотицаје дренажних вода у каналску мрежу и црпне станице; и обрнуто.

Са друге стране, однос између дотицаја дренажних вода у осмотреним и пројектованим условима успора ђердапске акумулације није последица водостаја Дунава и притока, већ првенствено рада изведених дренажних система. Осмотрени водостаји Дунава и притока веома мало одступају од пројектованих (рачунских) водостаја (слика 45), односно налазе се условно на сличним котама. Осмотрени рад дренажних система се може значајно разликовати од пројектом предвиђеног (детаљно анализирано у претходном поглављу 11.5). Уколико се осмотрени ниво воде у доводном каналу налази изнад пројектом предвиђених радних нивоа (око пројектованог радног максимума или чак изнад) остварују се мањи дотицаји дренажних вода у каналску мрежу и црпне станице; и обрнуто.

У табели 45 приказани су просечни вредности месечни рачунских дотицаја подземних вода на црпне станице одабраних мелиоративних подручја, за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и одговарајуће уређење (заштиту) подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.

*Табела 45: Просечни месечни рачунски дотицаји подземних вода на црпне станице одабраних мелиоративних подручја, за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и одговарајуће уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011. год.*

| мелиоративно подручје | слив црпне станице | режим реке | режим рада дренажног система | просечни месечни дотицај подземних вода на црпну станицу ($m^3/s$) |
|---|---|---|---|---|
| **Нера -Канал ДТД** | Караш 1 | природни | пројектовани | 0.52 |
| | | | осмотрени | 0.08 |
| | | пројектовани | пројектовани | 2.03 |
| | | осмотрени | осмотрени | 0.94 |
| **Дубовац - Ковин** | Дубовац (I дрен.линија /цео слив) | природни | пројектовани | 0.10 (0.19) |
| | | | осмотрени | 0.12 (0.22) |
| | | пројектовани | пројектовани | 0.34 (0.42) |
| | | осмотрени | осмотрени | 0.37 (0.44) |
| | Врба | природни | пројектовани | 0.15 |
| | | | осмотрени | 0.06 |
| | | пројектовани | пројектовани | 0.63 |
| | | осмотрени | осмотрени | 0.53 |
| | Гај | природни | пројектовани | 0.06 |
| | | | осмотрени | 0.06 |
| | | пројектовани | пројектовани | 0.37 |
| | | осмотрени | осмотрени | 0.36 |
| | М. Баваниште | природни | пројектовани | 0.30 |
| | | | осмотрени | 0.16 |
| | | пројектовани | пројектовани | 1.04 |
| | | осмотрени | осмотрени | 0.76 |
| **Ковин - Иваново** | Ковин (I дрен.линија /цео слив) | природни | пројектовани | (0.13) 0.35 |
| | | | осмотрени | (0.12) 0.41 |
| | | пројектовани | пројектовани | (0.25) 0.45 |
| | | осмотрени | осмотрени | (0.26) 0.50 |
| | Скореновац (I дрен.линија /цео слив) | природни | пројектовани | (0.07) 0.17 |
| | | | осмотрени | (0.10) 0.26 |
| | | пројектовани | пројектовани | (0.14) 0.24 |
| | | осмотрени | осмотрени | (0.20) 0.34 |

| мелиоративно подручје | слив црпне станице | режим реке | режим рада дренажног система | просечни месечни дотицај подземних вода на црпну станицу Q($m^3$/s) |
|---|---|---|---|---|
| **Иваново - Панчево** | Иваново - село | природни | пројектовани | 0.04 |
| | | | осмотрени | 0.03 |
| | | пројектовани | пројектовани | 0.08 |
| | | осмотрени | осмотрени | 0.06 |
| | Маријино поље (I дрен.линија /цео слив) | природни | пројектовани | 0.16 (0.26) |
| | | | осмотрени | 0.12 (0.18) |
| | | пројектовани | пројектовани | 0.30 (0.41) |
| | | осмотрени | осмотрени | 0.20 (0.23) |
| | Топола 2 | природни | пројектовани | 0.06 |
| | | | осмотрени | 0.05 |
| | | пројектовани | пројектовани | 0.12 |
| | | осмотрени | осмотрени | 0.10 |
| **Книћанин - Чента** | Чента (Iдрен.линија /цео слив) | природни | пројектовани | 0.16 (0.37) |
| | | | осмотрени | 0.20 (0.46) |
| | | пројектовани | пројектовани | 0.20 (0.43) |
| | | осмотрени | осмотрени | 0.26 (0.52) |
| **Мужља - Лукино село** | Мужља (Iдрен.линија /цео слив) | природни | пројектовани | 0.38 (0.47) |
| | | | осмотрени | 0.32 (0.39) |
| | | пројектовани | пројектовани | 0. 49 (0.56) |
| | | осмотрени | осмотрени | 0.40 (0.46) |
| **Елемир -Арадац** | Елемир – Арадац (4-5) (Iдрен.линија /цео слив) | природни | пројектовани | 0.11 (0.18) |
| | | | осмотрени | 0.11 (0.17) |
| | | пројектовани | пројектовани | 0.14 (0.20) |
| | | осмотрени | осмотрени | 0.14 (0.20) |
| | Елемир – Арадац (4-7) (Iдрен.линија /цео слив) | природни | пројектовани | 0.016 (0.02) |
| | | | осмотрени | 0.017 (0.02) |
| | | пројектовани | пројектовани | 0.021 (0.03) |
| | | осмотрени | осмотрени | 0.021 (0.02) |
| | Елемир – Арадац (4-8) (Iдрен.линија /цео слив) | природни | пројектовани | 0.024 (0.04) |
| | | | осмотрени | 0.025 (0.04) |
| | | пројектовани | пројектовани | 0.031 (0.04) |
| | | осмотрени | осмотрени | 0.031 (0.04) |
| | Бабатов (4 -9) (Iдрен.линија /цео слив) | природни | пројектовани | 0.014 (0.02) |
| | | | осмотрени | 0.011 (0.01) |
| | | пројектовани | пројектовани | 0.018 (0.02) |
| | | осмотрени | осмотрени | 0.014 (0.02) |

Упоредбом добијених вредности дотицаја подземних вода за наведене услове у површинским токовима и ефеката рада дренажних система за уређење (заштиту) мелиоративних подручја, срачунате су вредности учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на црпне станице одабраних мелиоративних подручја.

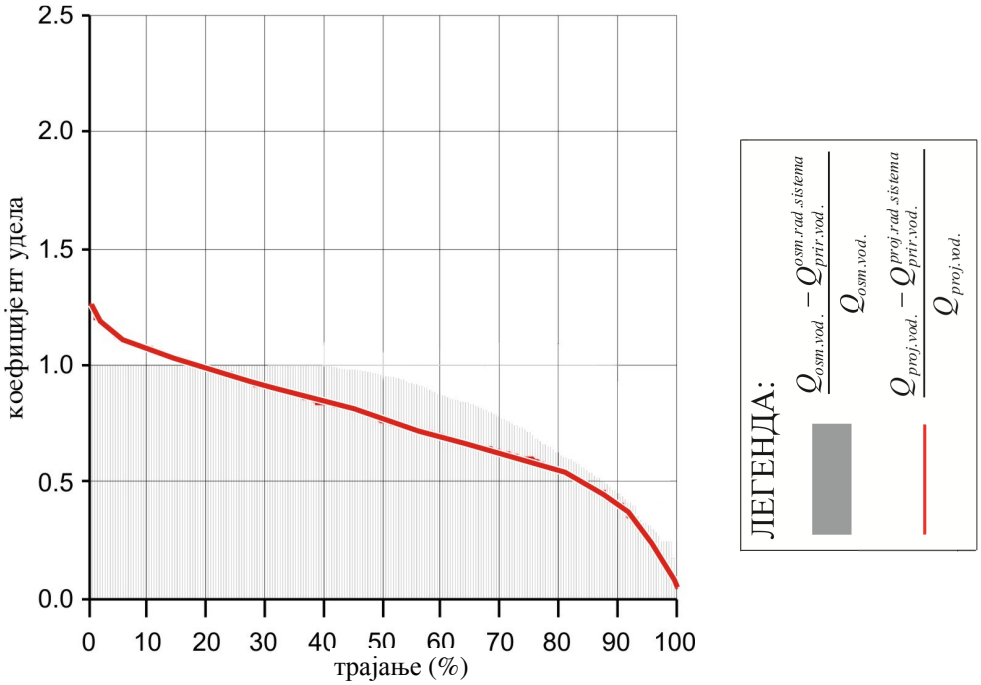
Рачуном је добијен коефицијент удела повећаног дотицаја (за осмотрени и пројектовани услове у акумулацији) и приказан је следећим једначинама:.

$$K_Q^{osm.} = \frac{Q_{osm.vod.} - Q_{prir.vod.}^{osm.rad.sistema}}{Q_{osm.vod.}} \tag{44}$$

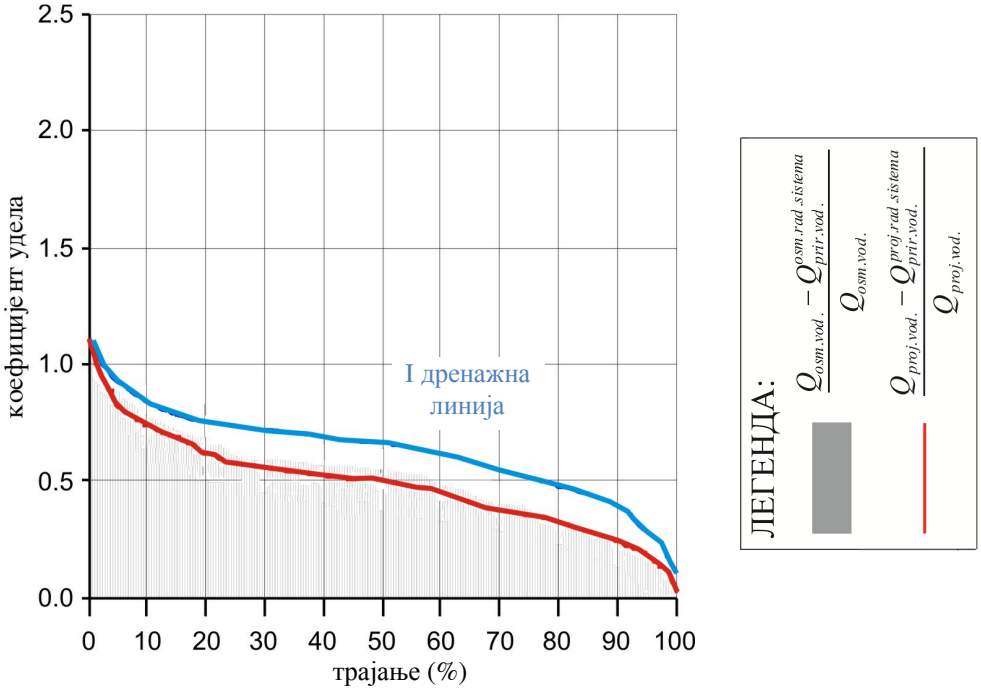
$$K_Q^{proj.} = \frac{Q_{proj.vod.} - Q_{prir.vod.}^{proj.rad.sistema}}{Q_{proj.vod.}} \tag{45}$$

Овај коефицијент одражава повећање дотицаја подземних вода (у успореном (осмотреном и пројектованом у односу на неуспорени - природни режим водостаја уз симулацију одговарајућег рада дренажног система) од укупног (осмотреног и пројектованог) дотицаја на црпне станице. Представља важан елемент биланса подземних вода који у одређеној мери квантификује измену режима подземних вода проузрокованог формирањем успора ХЕ „Ђердап 1“.

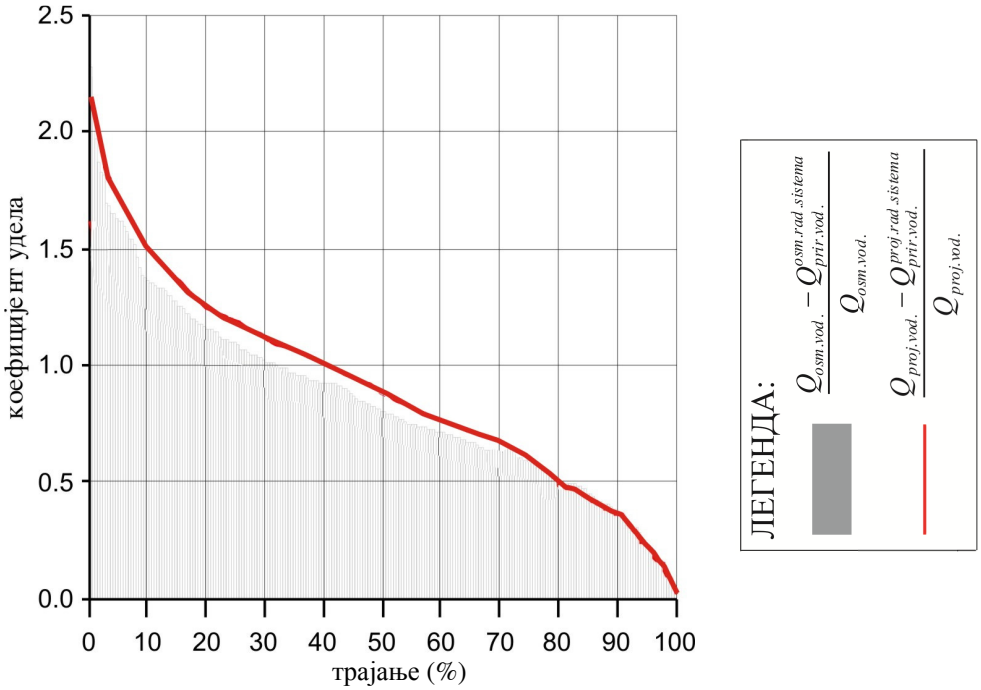
Резултати спроведених прорачуна на математичком моделу приказани су на сликама 81 - 87 у виду кривих трајања просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на црпне станице одабраних мелиоративних подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год., за успорени (осмотрени и пројектовани) и неуспорени (природни) режим Дунава и притока и одговарајуће уређење (заштиту) подручја. Приказани су одговарајуће криве трајања просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на црпне станице како за цела подручја, тако и за прве дренажне линије (само за црпне станице које захватају значајне количине подземних вода из залеђа)



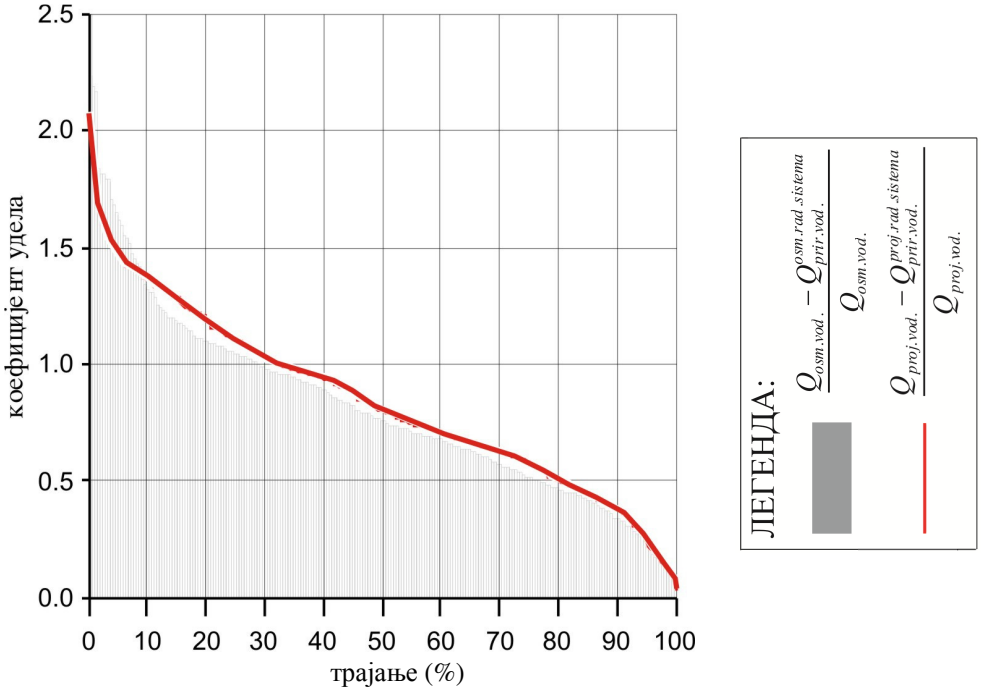

*Слика 81: Криве трајања просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на ц.с. Караш 1 мелиоративног подручја Нера - канал ДТД (слика 53), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



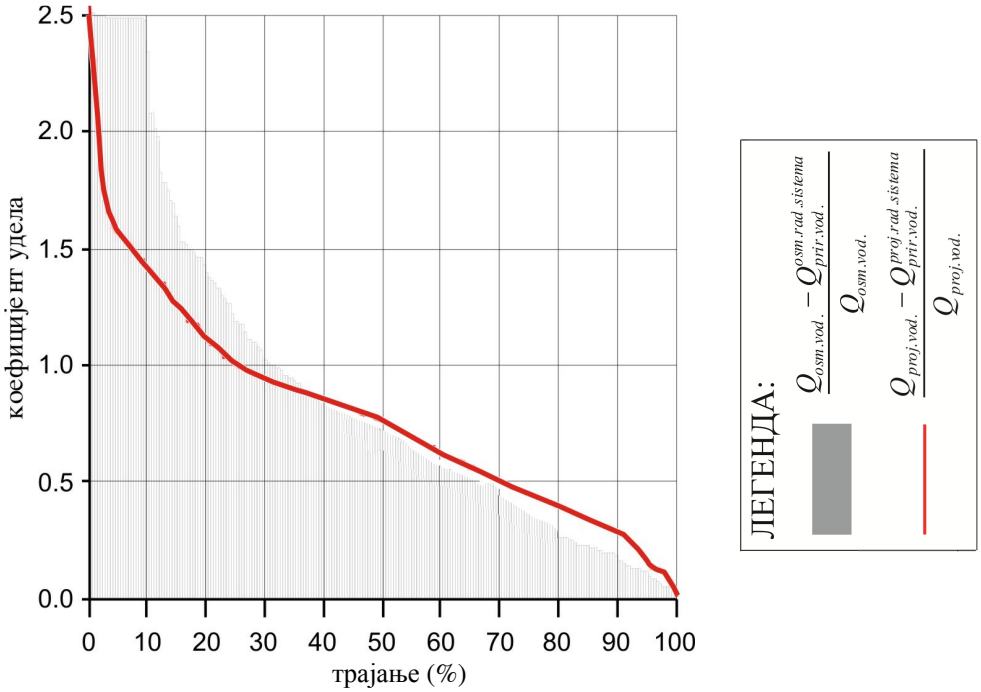

*Слика 82а: Криве трајања просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на ц.с. Дубовац мелиоративног подручја Дубовац - Ковин (слика 54), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



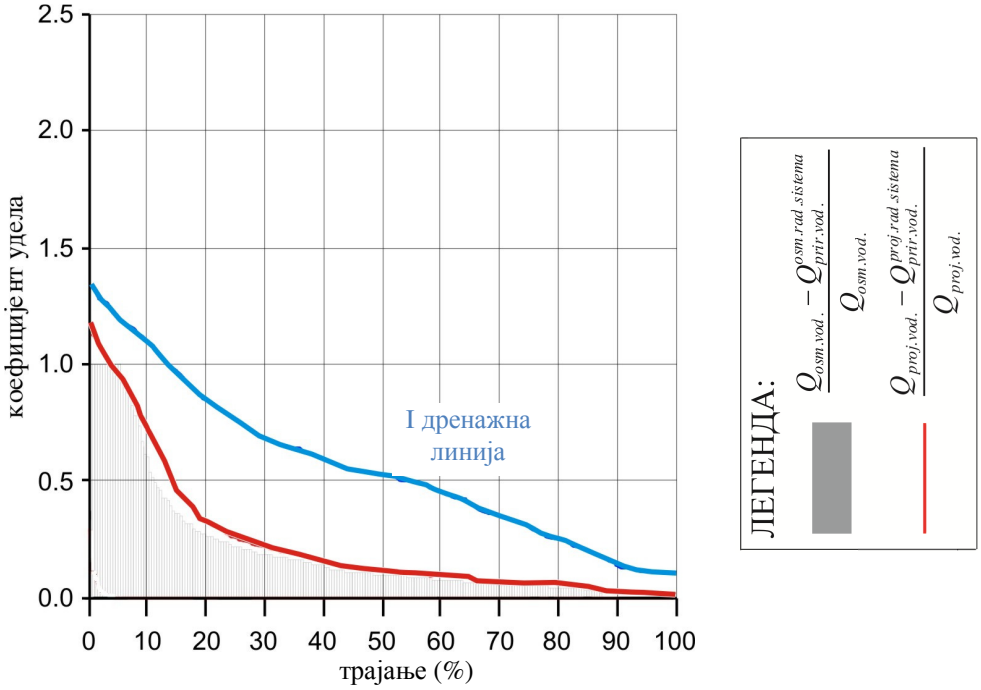

*Слика 82б: Криве трајања просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на ц.с. Врба мелиоративног подручја Дубовац - Ковин (слика 54), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



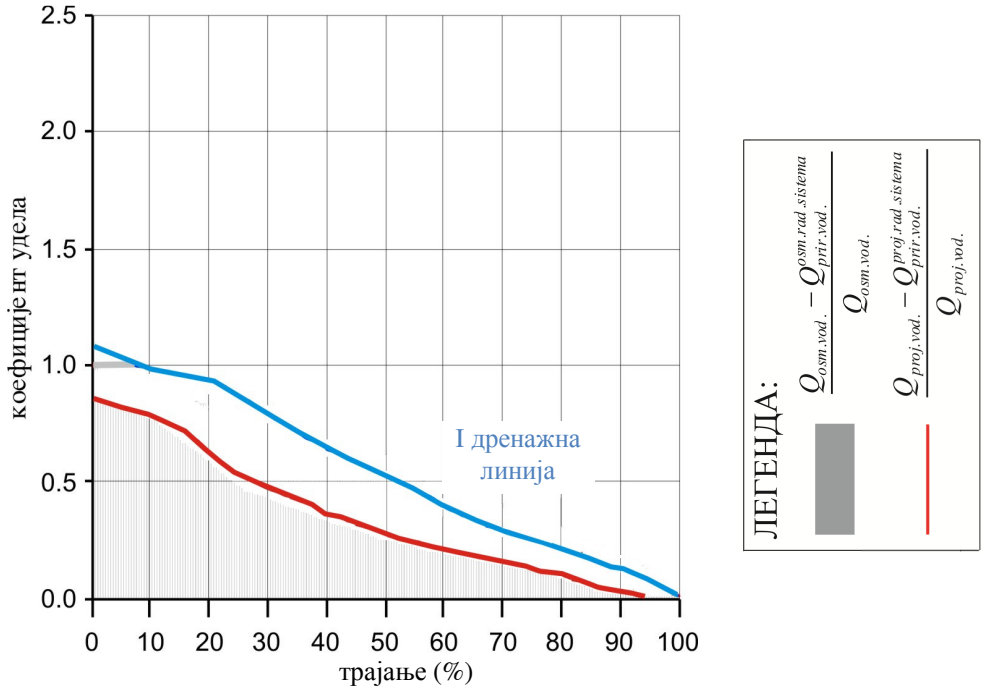

*Слика 82в: Криве трајања просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на ц.с. Гај мелиоративног подручја Дубовац - Ковин (слика 54), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



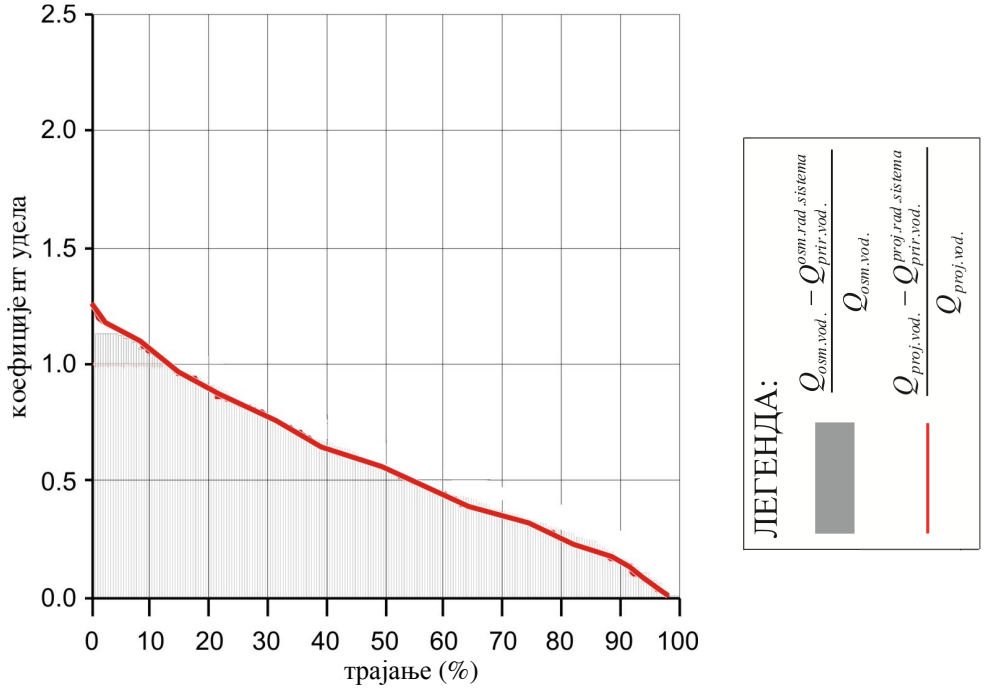

*Слика 82г: Криве трајања просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на ц.с. М. Бавaниште мелиоративног подручја Дубовац - Ковин (слика 54), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



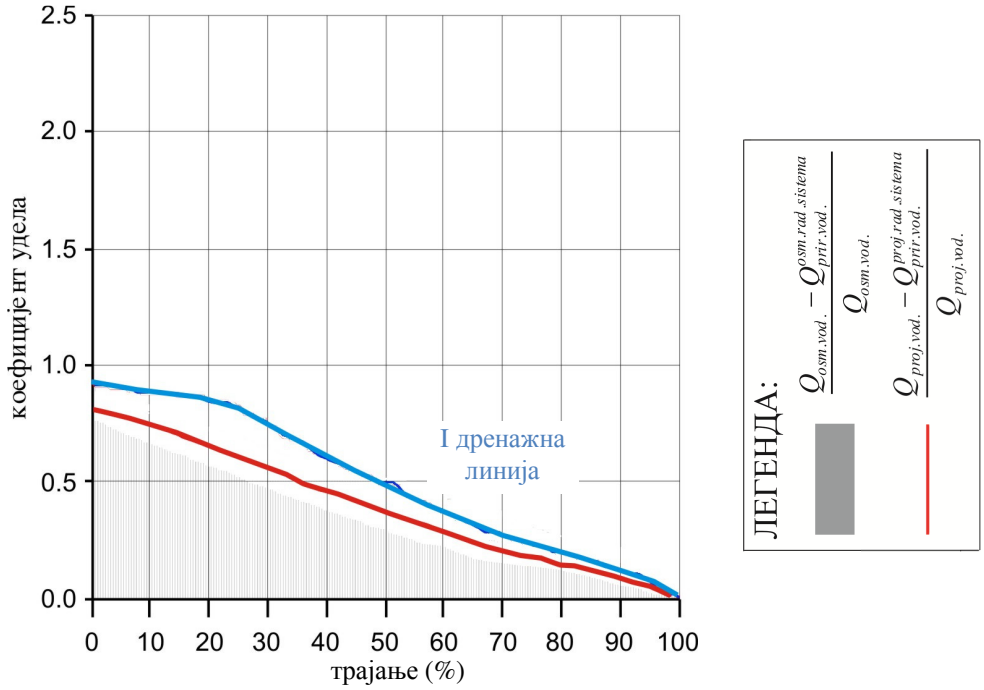

*Слика 83а: Криве трајања просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на ц.с. Ковин мелиоративног подручја Ковин - Иваново (слика 55), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



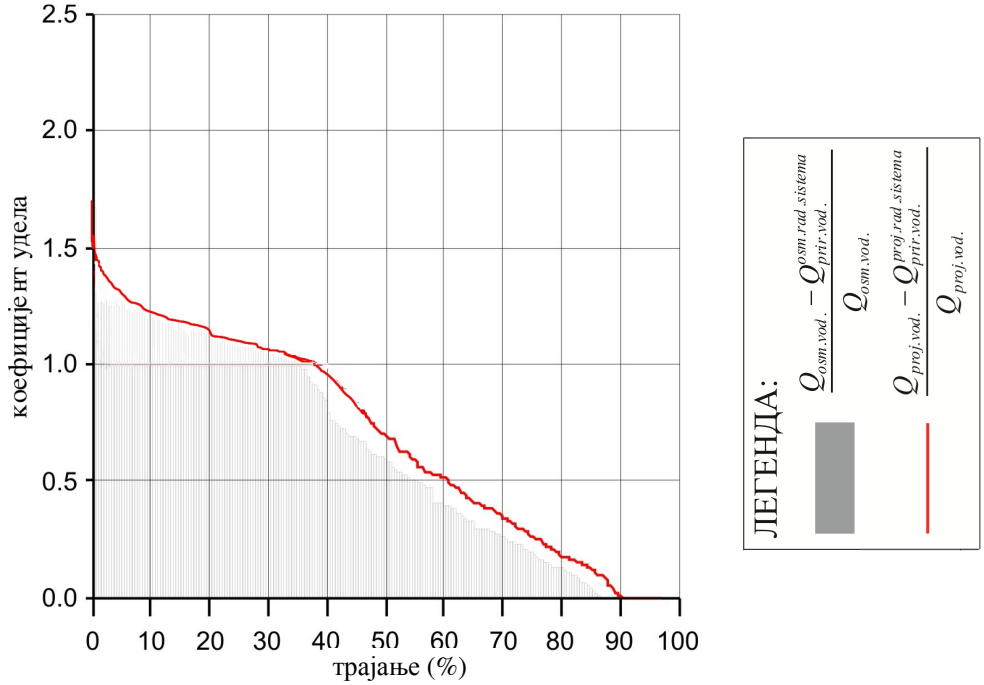

*Слика 83: Криве трајања просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на ц.с. Скореновац мелиоративног подручја Ковин - Иваново (слика 55), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



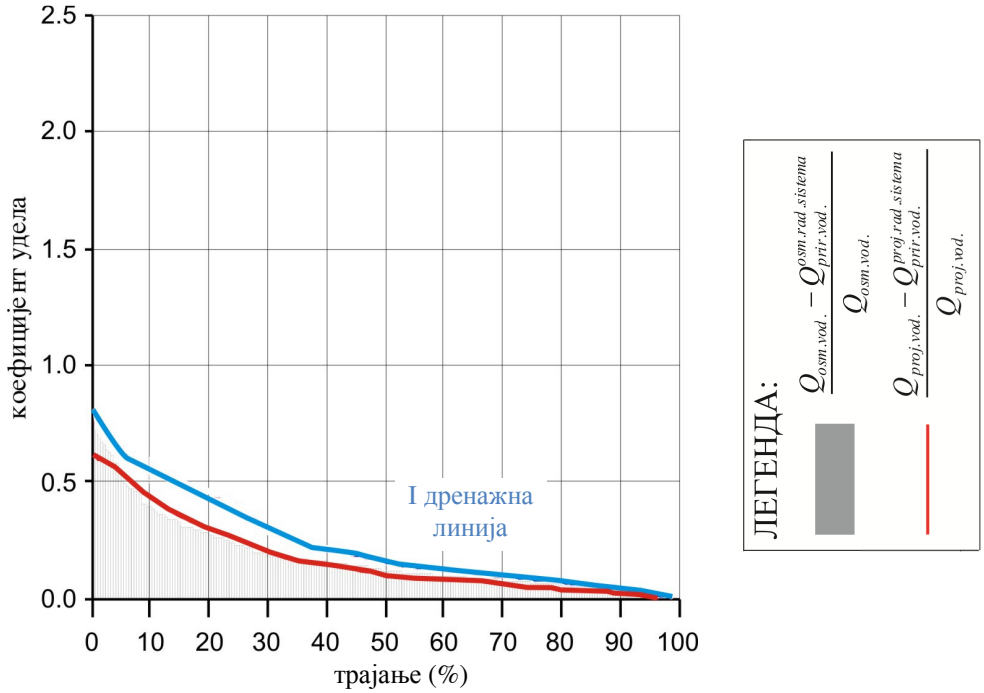

*Слика 84: Криве трајања просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на ц.с. Иваново - село мелиоративног подручја Иваново - Панчево (слика 56), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



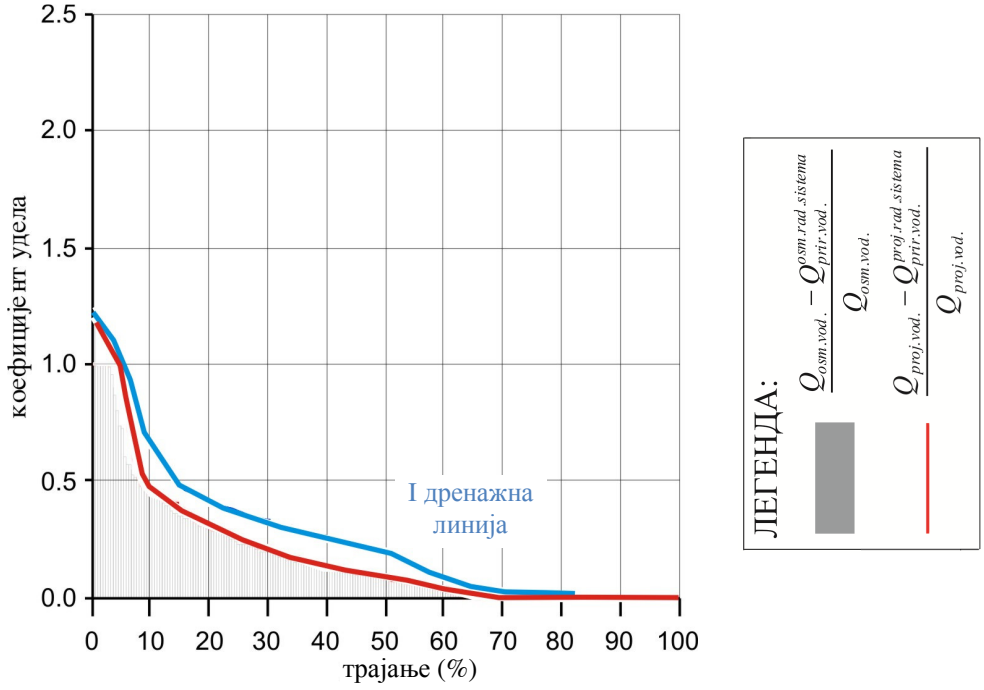

*Слика 84: Криве трајања просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на ц.с. Маријино поље мелиоративног подручја Иваново - Панчево(слика 56), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



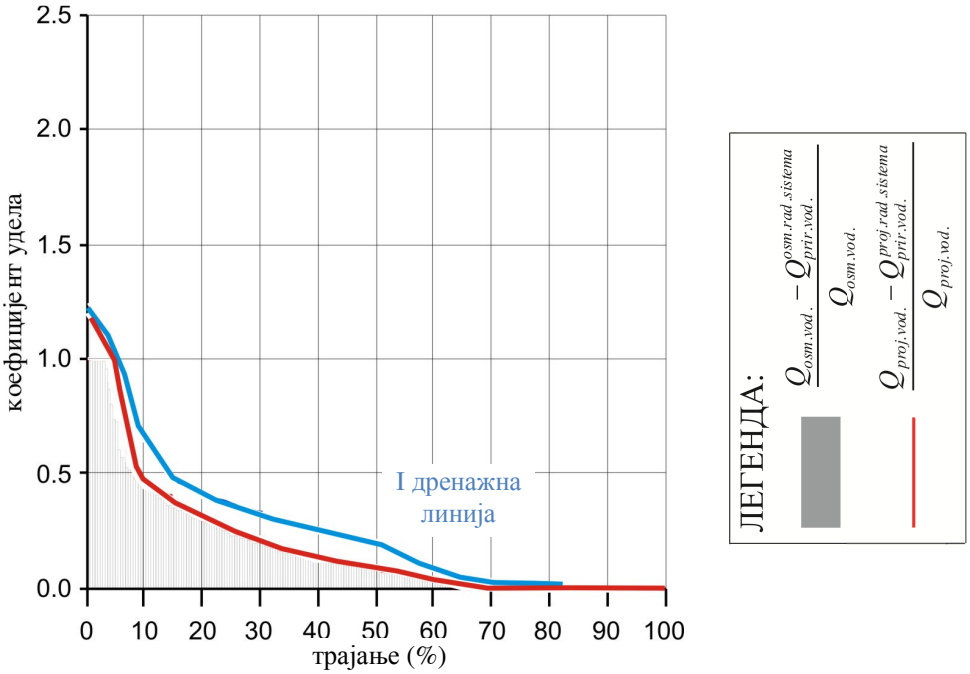

*Слика 84: Криве трајања просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на ц.с. Топола 2 мелиоративног подручја Иваново - Панчево (слика 56), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



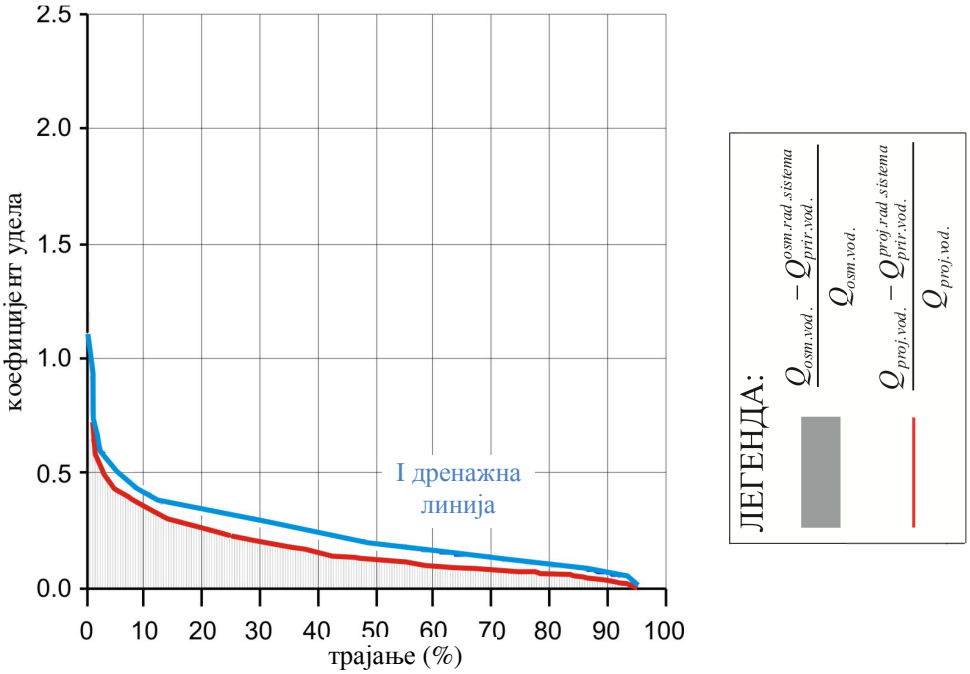

*Слика 85: Криве трајања просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на ц.с. Чента мелиоративног подручја Книћанин - Чента (слика 57), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



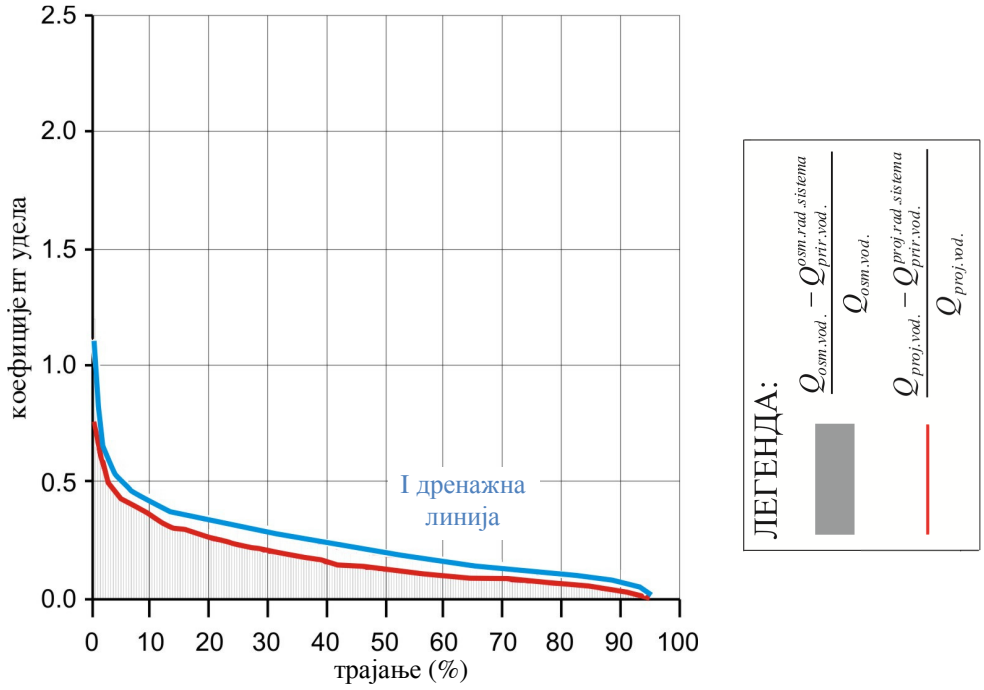

*Слика 86: Криве трајања просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на ц.с. Мужља мелиоративног подручја Мужља - Лукино Село (слика 58), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



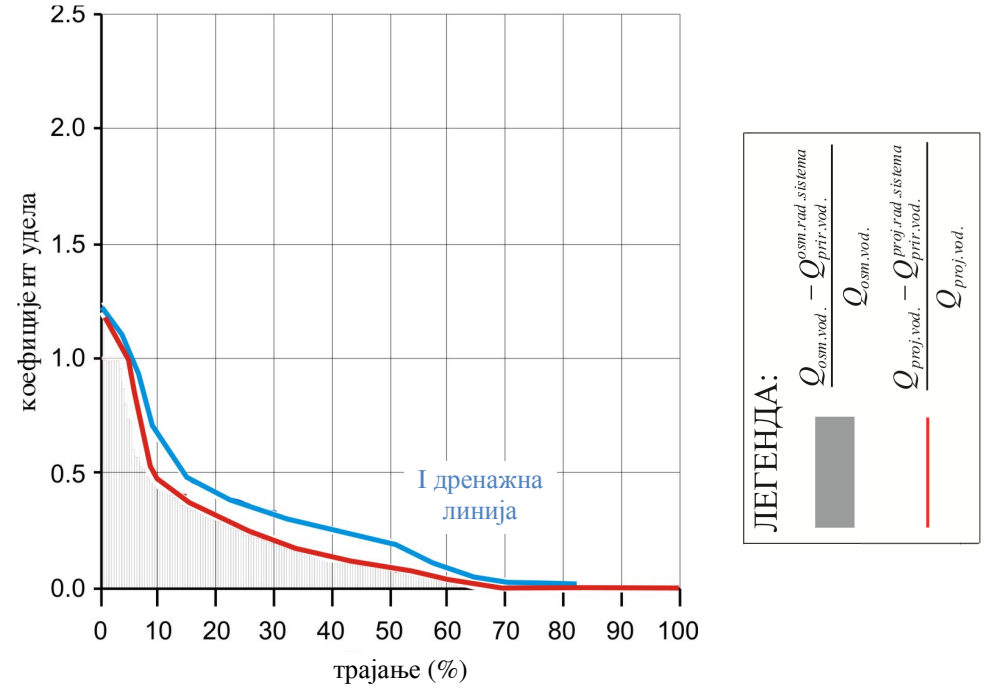

*Слика 87а: Криве трајања просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на ц.с Елемир - Арадац (4 -5) мелиоративног подручја Елемир - Арадац (слика 59), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*




*Слика 87б: Криве трајања просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на ц.с Елемир - Арадац (4 -7) мелиоративног подручја Елемир - Арадац (слика 59), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*




*Слика 87в: Криве трајања просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на ц.с Елемир - Арадац (4 -8) мелиоративног подручја Елемир - Арадац (слика 59), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*




*Слика 84г: Криве трајања просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на ц.с Бабатов (4 -9) мелиоративног подручја Елемир - Арадац (слика 57), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*

У табели 46 приказан је коефицијент просечног месечног учешћа повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на црпне станице одабраних мелиоративних подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год. Повећано учешће рачунских дотицаја срачунато је одвојено за осмотрени и пројектовани режим успора у односу на неуспорени, природни режим уз симулацију одговарајућег рада дренажног система.

Анализа овог елемента биланса подземних вода у одређеној мери квантификује измену режима подземних вода проузрокованог формирањем успора ХЕ „Ђердап 1“. Повећани дотицаји дренажних вода у каналску мрежу црпних станица услед успора у односу на природне услове у акумулацији (са симулираним одговарајућим радом дренажног система) последица су повишених водостаја Дунава и притока, тј. продужетка трајања одговарајућих водостаја Дунава и притока под утицајем успора. Може се закључити да у низводним мелиоративним подручјима, ближе хидроелектрани „Ђердап 1“, где је и успоравање водостаја река веће, остварује се и већи коефицијент удела повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на црпне станице; и обрнуто. Са друге стране, разлика између удела повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на црпне станице, у осмотреним и пројектованим условима успора ђердапске акумулације у односу на природне, није последица водостаја Дунава и притока (налазе се на сличним котама (слика 45)), већ првенствено рада изведених дренажних система. На црпним станицама код којих се осмотрени нивои воде у доводном каналу налазе око или изнад пројектованог радног максимума остварују се мањи удео повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на црпне станице; и обрнуто.

Треба напоменути да одређене црпне станице, штите подручја елиминисањем утицаја водостаја река, док друге црпне станице прикупљају значајне количине воде и из правца хипсометријски виших терена (из залеђа). Код ових црпних станица посебно су приказани коефицијенти удела повећања дотицаја за цео дренажни систем и само за прву дренажну линију, како би се у правој мери квантификовао утицај успора на повећање дотицаја подземних вода на цпне станице анализираних подручја.

*Табела 46: Просечно месечно учешће (удео) повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на црпне станице одабраних мелиоративних подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*

| мелиоративно подручје | слив црпне станице | учешће повећаних рачунских дотицаја услед успора у укупном дотицају на црпне станице ( -) | |
|---|---|---|---|
| | | $\frac{Q_{proj.vod.} - Q_{prir.vod.}^{proj.rad.sistema}}{Q_{proj.vod.}}$ | $\frac{Q_{osm.vod.} - Q_{prir.vod.}^{osm.rad.sistema}}{Q_{osm.vod.}}$ |
| **Нера -Канал ДТД** | Караш 1 | 0.74 | 0.91 |
| **Дубовац - Ковин** | Дубовац (I дрен.лин./слив) | 0.70 (0.54) | 0.70 (0.50) |
| | Врба | 0.76 | 0.89 |
| | Гај | 0.83 | 0.84 |
| | М.Баваниште | 0.71 | 0.79 |
| **Ковин - Иваново** | Ковин (I дрен.лин./слив) | 0.49 (0.23) | 0.54 (0.20) |
| | Скореновац (I дрен.лин./слив) | 0.50 (0.24) | 0.50 (0.29) |
| **Иваново - Панчево** | Иваново -село | 0.50 | 0.50 |
| | Маријино поље (I дрен.лин./слив) | 0.47 (0.22) | 0.48 (0.37) |
| | Топола 2 | 0.49 | 0.48 |
| **Книћанин - Чента** | Чента (I дрен.лин./слив) | 0.20 (0.13) | 0.23 (0.11) |
| **Мужља - Лукино село** | Мужља (I дрен.лин./слив) | 0.21 (0.15) | 0.20 (0.14) |
| **Елемир - Арадац** | Елемир -Арадац (4-5) (I дрен.лин./слив) | 0.21 (0.15) | 0.19 (0.13) |
| | Елемир -Арадац (4-7) (I дрен.лин./слив) | 0.24 (0.17) | 0.19 (0.14) |
| | Елемир -Арадац (4-8) (I дрен.лин./слив) | 0.23 (0.16) | 0.19 (0.14) |
| | Бабатов (4-9) (I дрен.лин./слив) | 0.22 (0.17) | 0.21 (0.13) |

## 10.7. АНАЛИЗА ПОВЕЋАЊА УТРОШКА ЕНЕРГИЈЕ НЕОПХОДНЕ ЗА ПРЕПУМПАВАЊЕ ПОВЕЋАНИХ КОЛИЧИНА ДРЕНИРАНИХ ПОДЗЕМНИХ ВОДА НА ВИШЕ УСПОРЕНЕ НИВОЕ ВОДЕ У АКУМУЛАЦИЈИ

Повећано ангажовање црпних станица на подручју у условима успора ХЕ „Ђердап 1“ у односу на природни режим узроковано је повећаним количинама воде која се из реке инфилтрира у водоносни слој и повећаним висинама дизања код пумпања, при чему се мисли на укупну запремину воде која се црпним станицама евакуише са подручја (подвирне, процедне и атмосферске воде).

У претходном поглављу приказани су резултати прорачуна, у зависности од граничних услова и режима рада система заштите, количина воде за евакуацију са појединих сливних подручја, као и анализе повећања укупног месечног дотицаја у дренажне системе услед успора у односу на природни режим. Ови резултати послужили су најпре за прорачун снаге, а затим и енергије потребне за евакуацију вода са подручја при различитим режимима водостаја река и рада дренажних система.

Прорачун снаге се спроводи на основу снаге агрегата која је потребна да се маса воде са једне тачке подигне и одведе на другу *(Хоздић и Јурковић, 2013).*

$$P = \frac{\rho g Q}{\eta} \Delta H \qquad (46)$$

где је : P - снага (kW),

Q - протицај или количина црпљене воде ($m^3/s$),

ΔH - висина дизања прикупљених подземних вода (m),

η - коефицијент корисног дејства пумпног агрегата ( -),

ρ - густина воде (kg/m3 ).

У доступној фондовској документацији, аутори Вуковић и Соро су у својим радовима увођењем просечне (искуствене) вредности коефицијента корисног дејства пумпног агрегата η= 2/3 и хидрауличких губитака при подизању воде, добили упрошћену једначину за снагу потребну за препумпавање вода које дотичу на црпне станице:

$$P = 15 \; x \; Q \; x \; (\Delta H + \xi) \qquad (44)$$

где је:

$\Delta H$ - геодетска разлика између нивоа воде у Дунаву и нивоа воде у каналу код црпне станице (m)

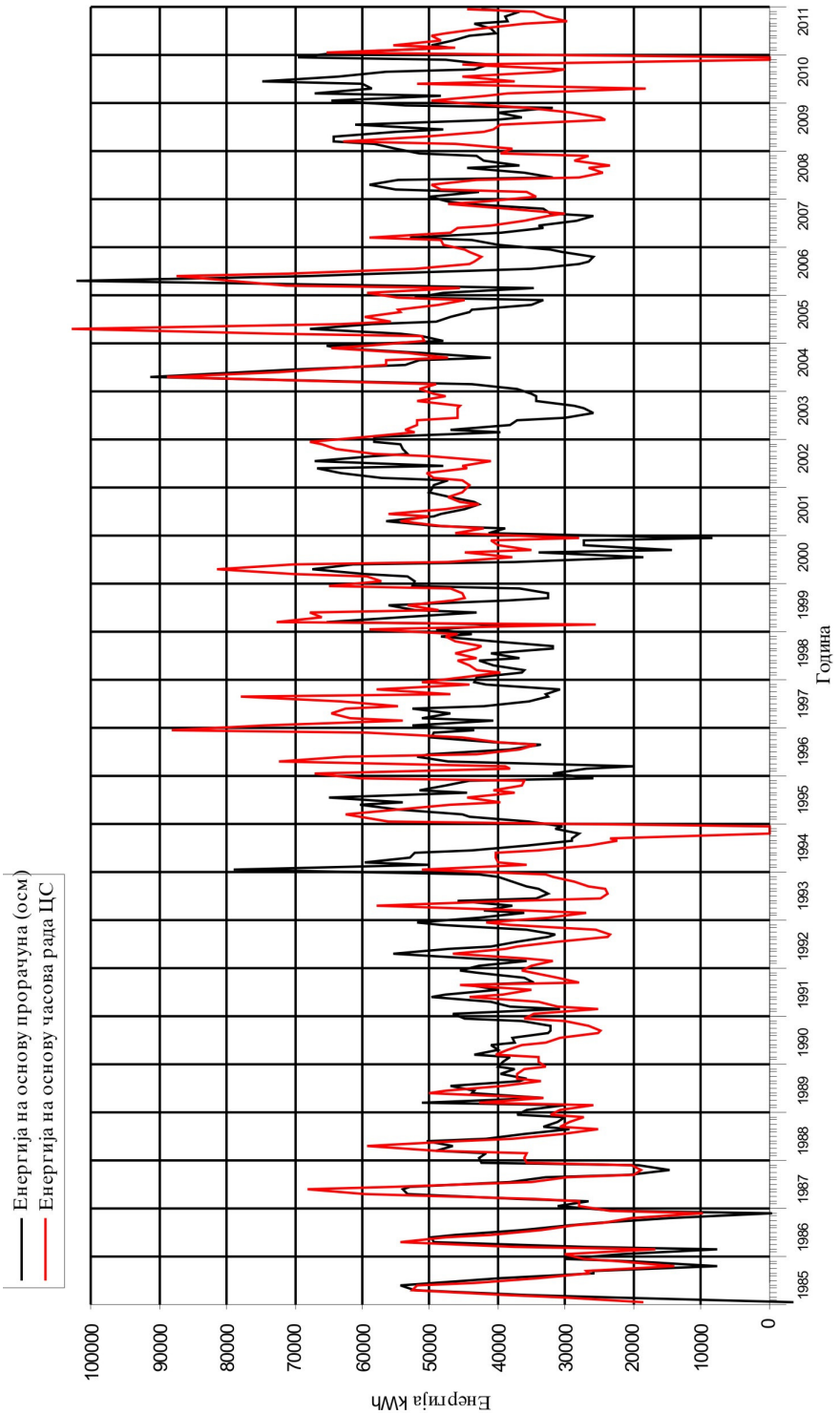
$\xi$ - хидраулички губици (усвојено искуствено 1 m)

Енергија је срачуната као производ потребне снаге и укупног броја сати у прорачунском интервалу, тј. у једном месецу:

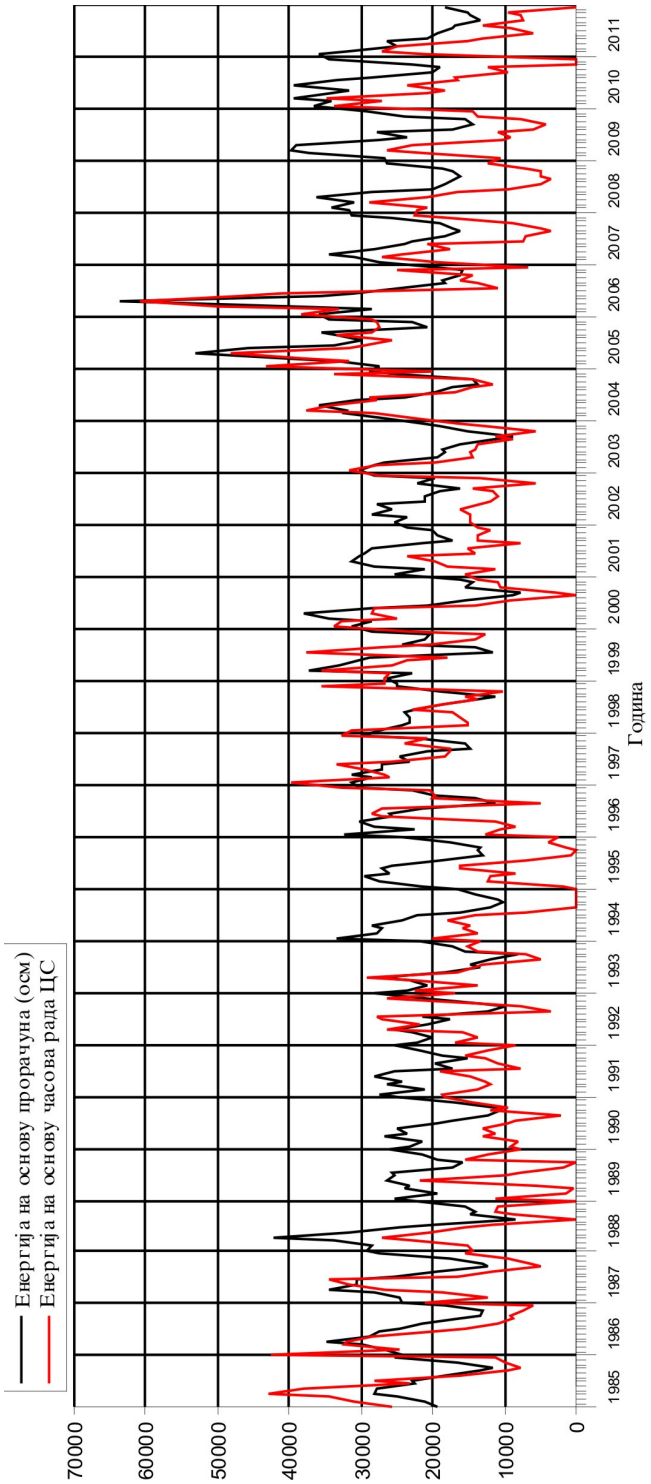
$$E\ (kWh) = P\ x\ t \tag{45}$$

Прорачуном утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада црпне станице и инсталисаних капацитета пумпних агрегата, добијене су вредности које приближно одговарају вредностима добијеним прорачуном помоћу математичког модела - прорачунских профила. На основу упоредбе остварених и рачуном добијених вредности утрошка енергије, може се констатовати да су добијени слични резултати, што додатно верификује сам математички модел.

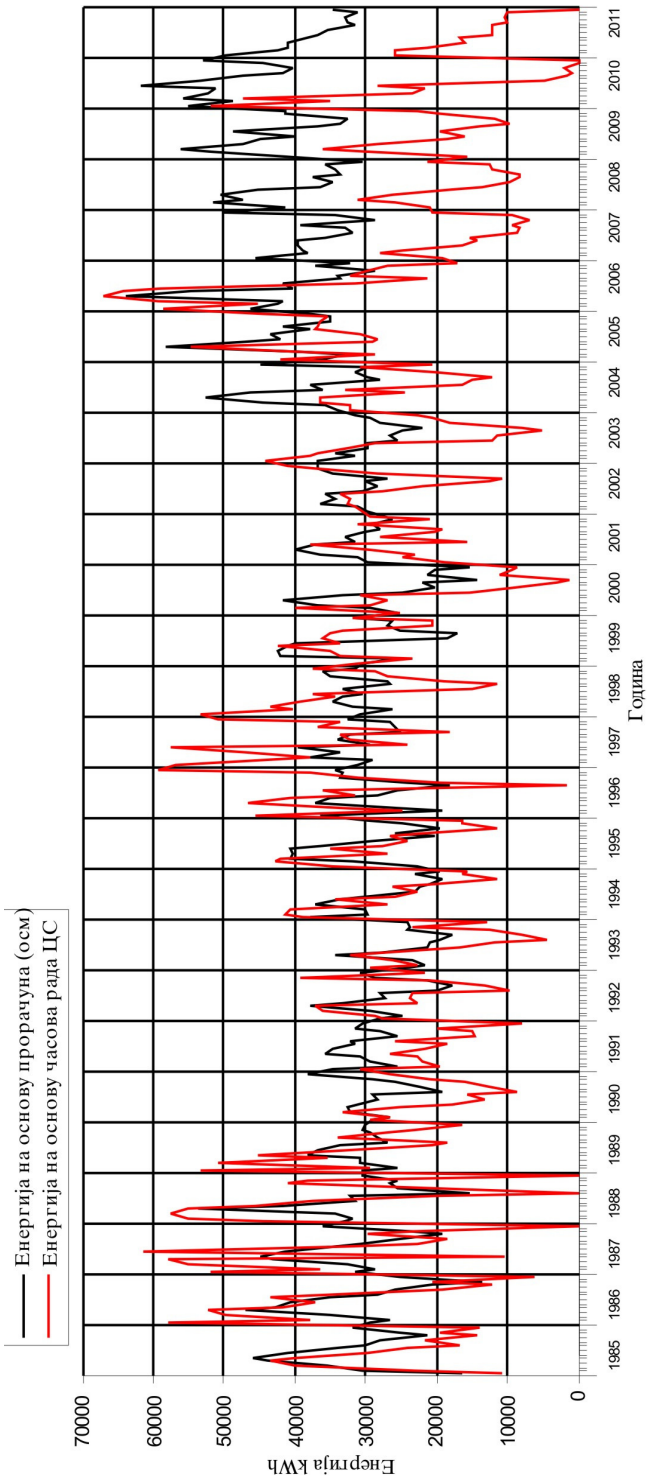
У циљу додатне верификације спроведених хидродинамичких прорачуна на математичком моделу обављена је упоредба утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада црпних станица и инсталисаних капацитета пумпних агрегата, са једне стране и резултата математичког прорачуна потребне енергије за препумпавање прикупљених подземних вода, са друге стране, у периоду 1985 - 2011. год. На сликама 88 - 94 приказана је ова упоредба за црпне станице одабраних мелиоративних подручји, за анализирани рачунски период 1985 - 2011. год.



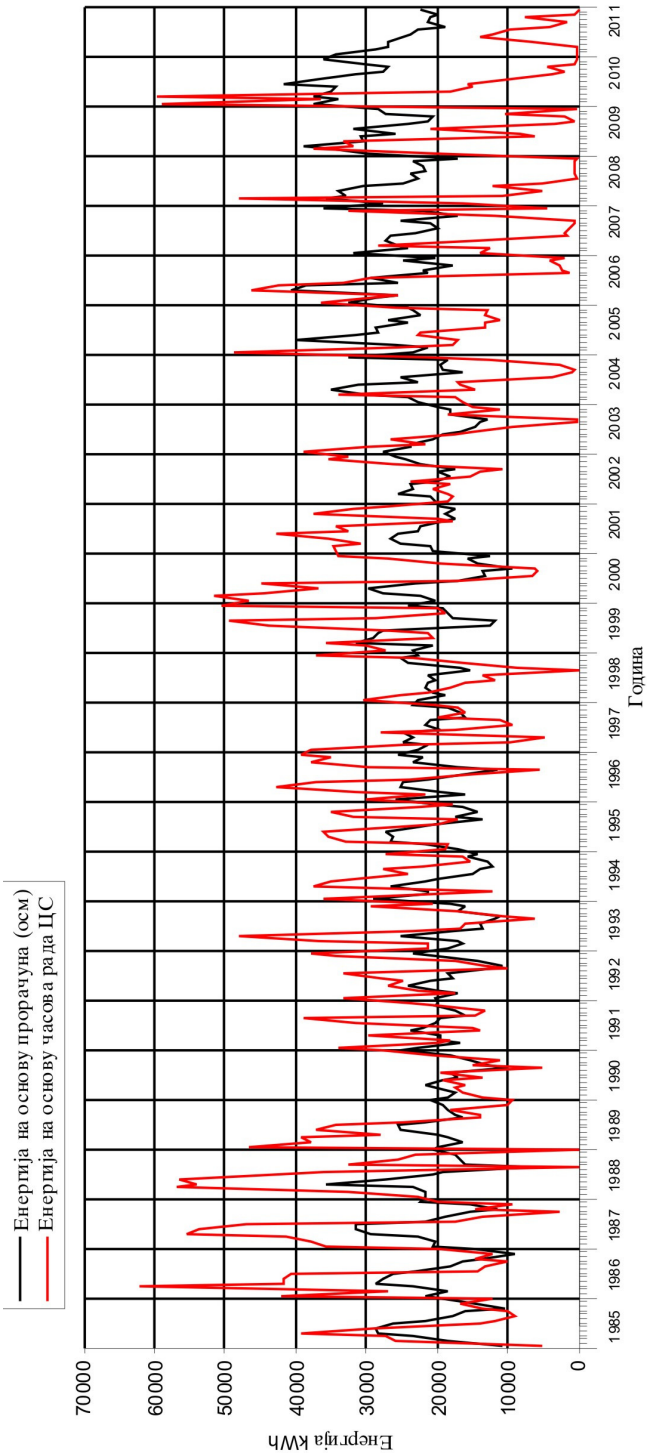

*Слика 88: Упоредба утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада ц.с. Караш 1 и инсталисаних капацитета пумпних агрегата и резултата математичког прорачуна, на мелиоративном подручју Нера - Канал ДТД (слика 53), у периоду 1985 - 2011. год.*



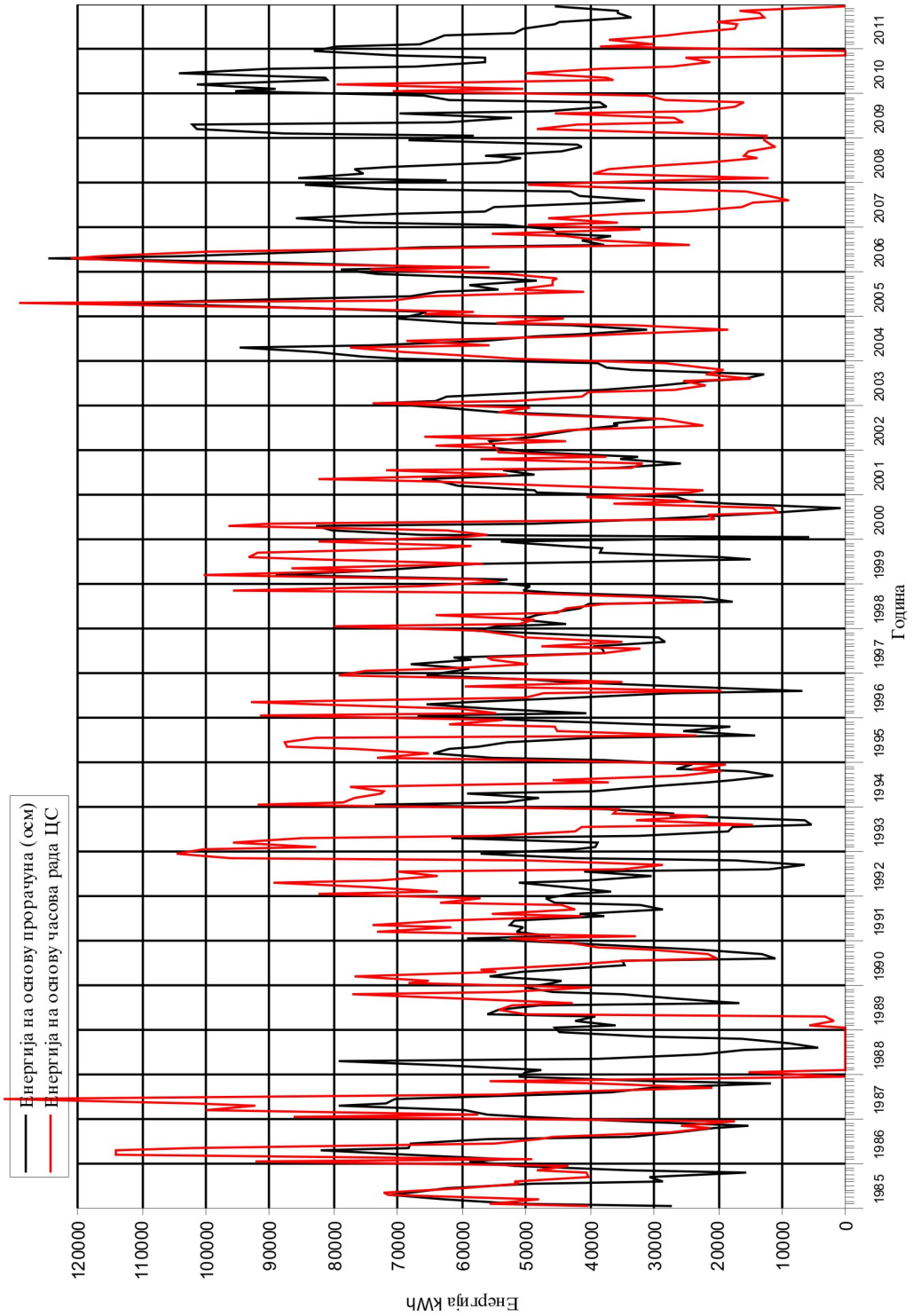

*Слика 89а: Упоредба утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада ц.с. Дубовац и инсталисаних капацитета пумпних агрегата и резултата математичког прорачуна, на мелиоративном подручју Дубовац - Ковин (слика 54), у периоду 1985 - 2011. год.*



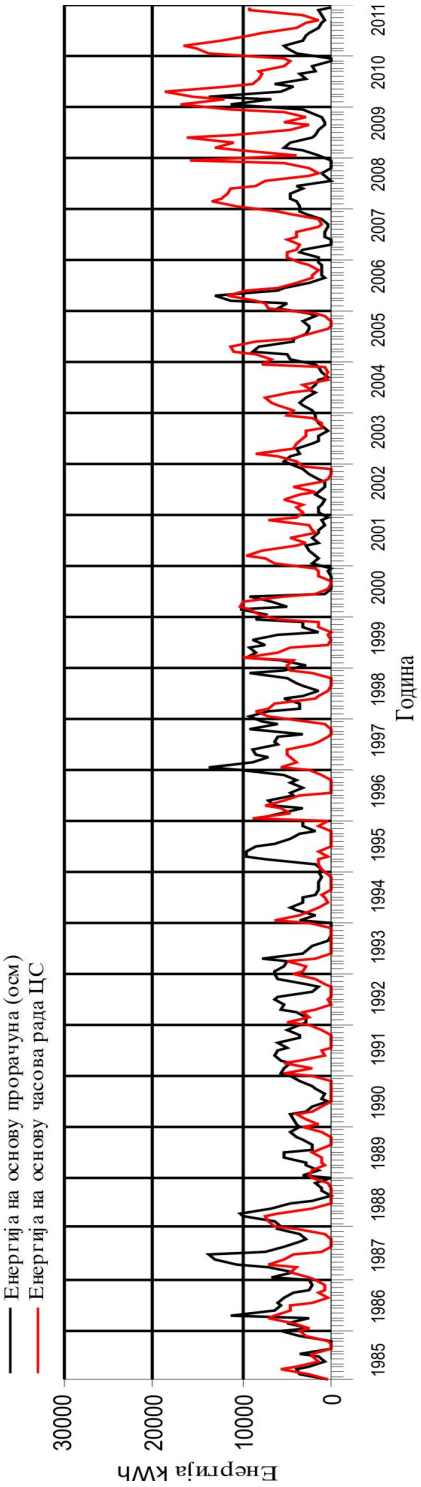

*Слика 896: Упоредба утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада ц.с. Врба и инсталисаних капацитета пумпних агрегата и резултата математичког прорачуна, на мелиоративном подручју Дубовац - Ковин (слика 54), у периоду 1985 - 2011. год.*



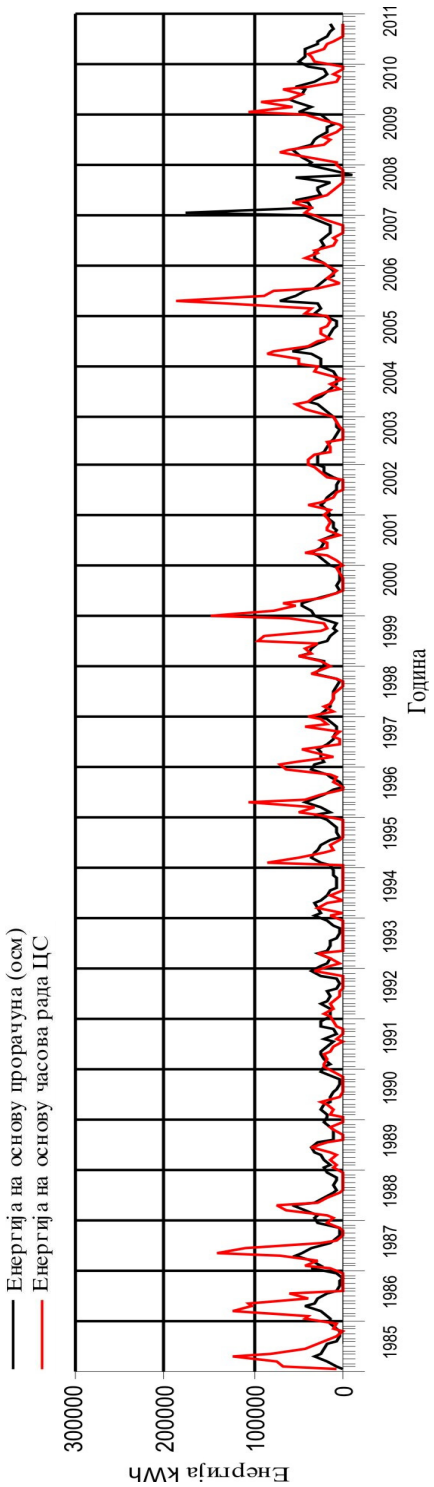

*Слика 89в: Упоредба утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада ц.с. Гај и инсталисаних капацитета пумпних агрегата и резултата математичког прорачуна, на мелиоративном подручју Дубовац - Ковин (слика 54), у периоду 1985 - 2011. год.*



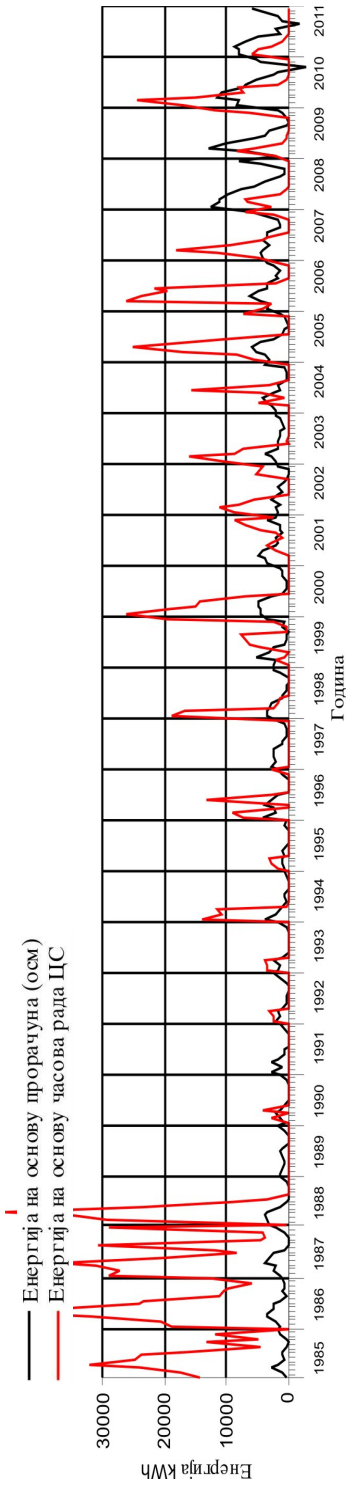

*Слика 89г: Упоредба утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада ц.с. М. Баваниште и инсталисаних капацитета пумпних агрегата и резултата математичког прорачуна, на мелиоративном подручју Дубовац - Ковин (слика 54), у периоду 1985 - 2011. год.*



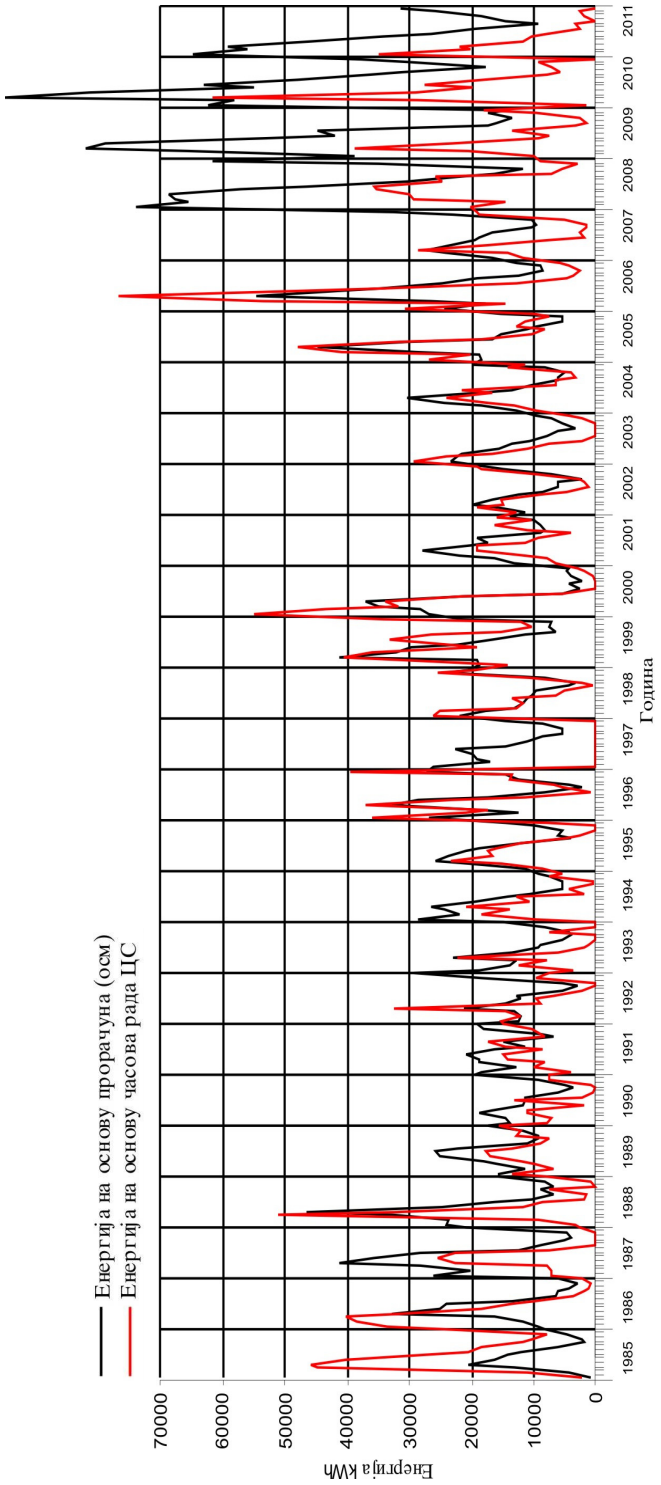

*Слика 90а: Упоредба утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада ц.с. Ковин и инсталисаних капацитета пумпних агрегата и резултата математичког прорачуна, на мелиоративном подручју Ковин - Иваново (слика 55), у периоду 1985 - 2011. год.*



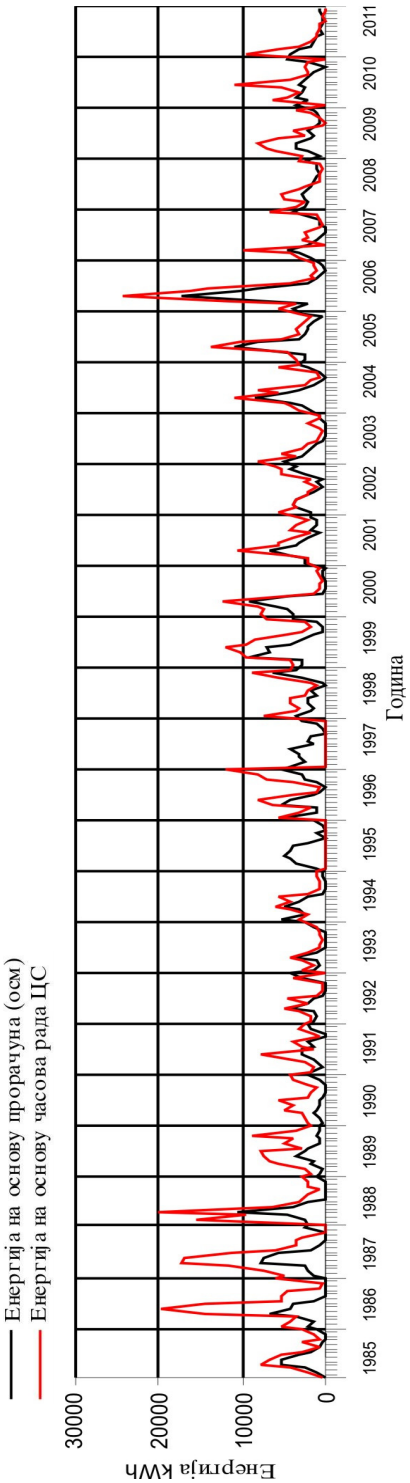

*Слика 90б: Упоредба утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада ц.с. Скореновац и инсталисаних капацитета пумпних агрегата и резултата математичког прорачуна, на мелиоративном подручју Ковин - Иваново (слика 55), у периоду 1985 - 2011. год.*



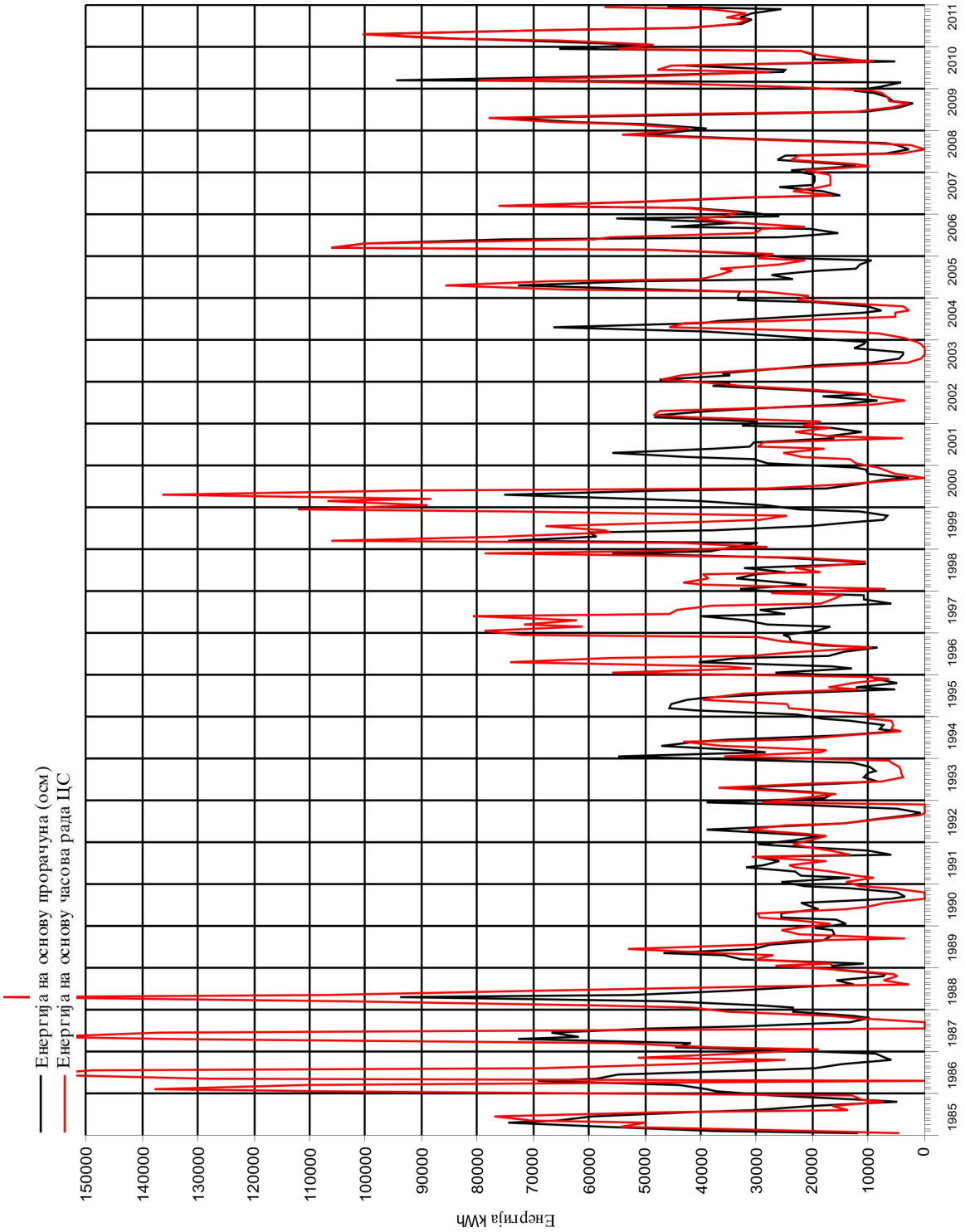

*Слика 91а: Упоредба утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада ц.с. Иваново - Село и инсталисаних капацитета пумпних агрегата и резултата математичког прорачуна, на мелиоративном подручју Иваново - Панчево (слика 56), у периоду 1985 - 2011. год.*



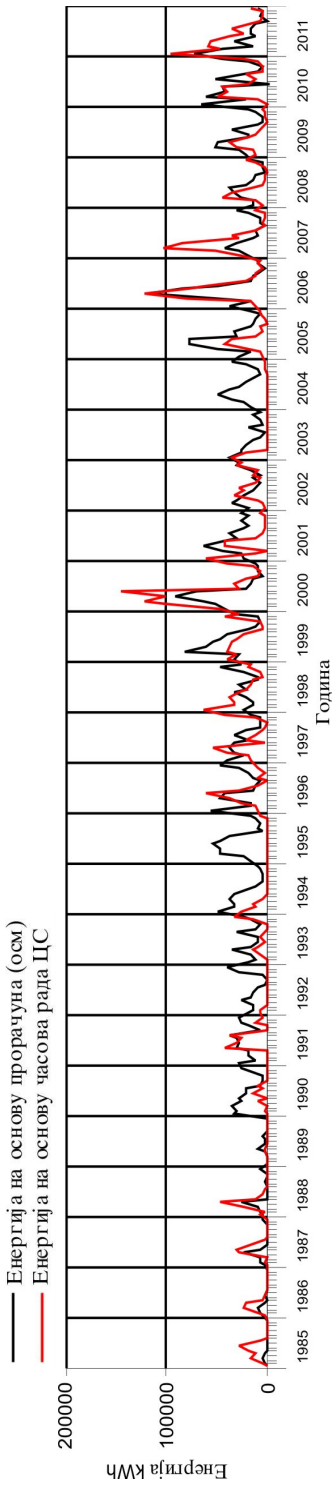

*Слика 91б: Упоредба утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада ц.с. Маријино поље и инсталисаних капацитета пумпних агрегата и резултата математичког прорачуна, на мелиоративном подручју Иваново - Панчево (слика 56), у периоду 1985 - 2011. год.*



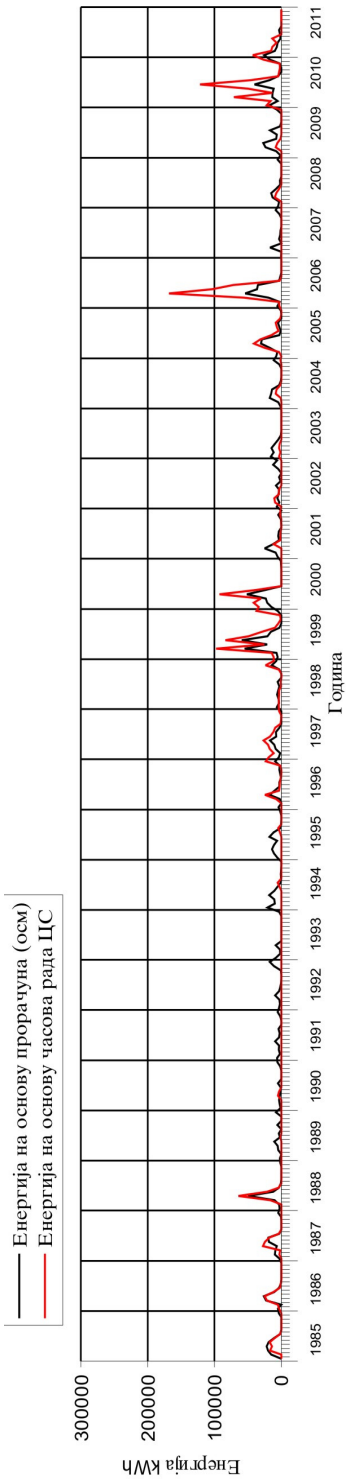

*Слика 91в: Упоредба утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада ц.с. Топола 2 и инсталисаних капацитета пумпних агрегата и резултата математичког прорачуна, на мелиоративном подручју Иваново - Панчево (слика 56), у периоду 1985 - 2011. год.*



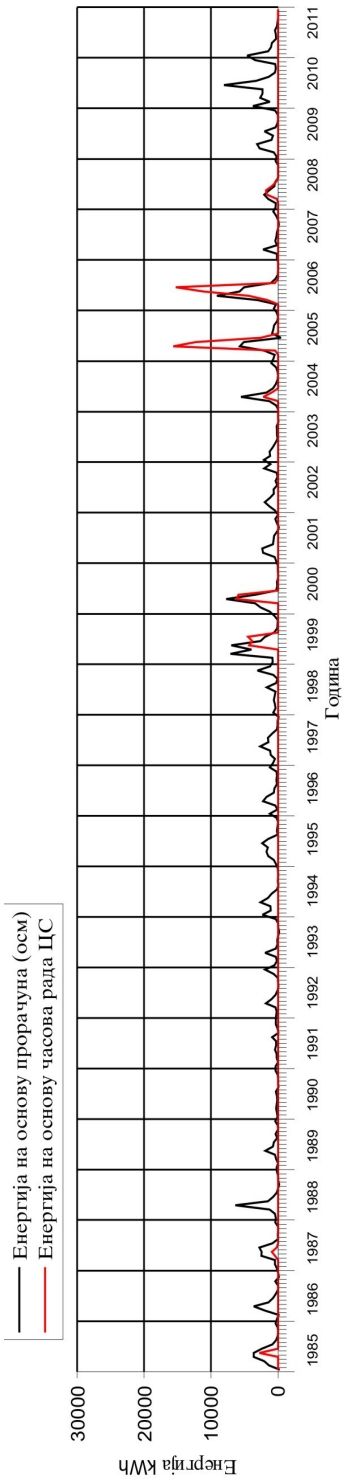

*Слика 92: Упоредба утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада ц.с. Книћанин и инсталисаних капацитета пумпних агрегата и резултата математичког прорачуна, на мелиоративном подручју Кничанин - Чента (слика 57), у периоду 1985 - 2011. год.*



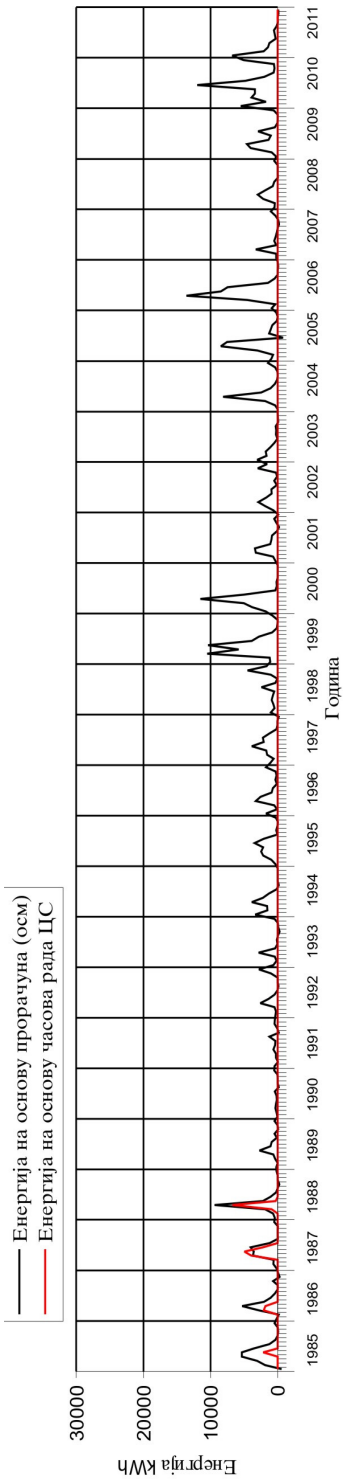

*Слика 93: Упоредба утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада ц.с. Мужља и инсталисаних капацитета пумпних агрегата и резултата математичког прорачуна, на мелиоративном подручју Мужља - Лукино Село (слика 58), у периоду 1985 - 2011. год.*



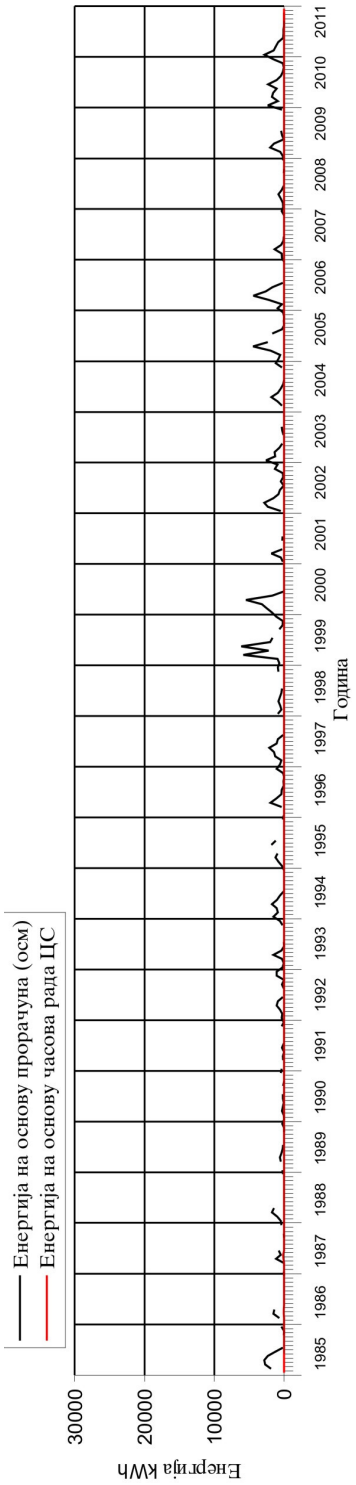

*Слика 94а: Упоредба утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада ц.с. Елемир - Арадац (4 -5) и инсталисаних капацитета пумпних агрегата и резултата математичког прорачуна, на мелиоративном подручју Елемир - Арадац (слика 59), у периоду 1985 - 2011. год.*




*Слика 94б: Упоредба утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада ц.с. Елемир - Арадац (4 -7) и инсталисаних капацитета пумпних агрегата и резултата математичког прорачуна, на мелиоративном подручју Елемир - Арадац (слика 59), у периоду 1985 - 2011. год.*




*Слика 94в: Упоредба утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада ц.с. Елемир - Арадац (4 -8) инсталисаних капацитета пумпних агрегата и резултата математичког прорачуна, на мелиоративном подручју Елемир - Арадац (слика 59), у периоду 1985 - 2011. год.*

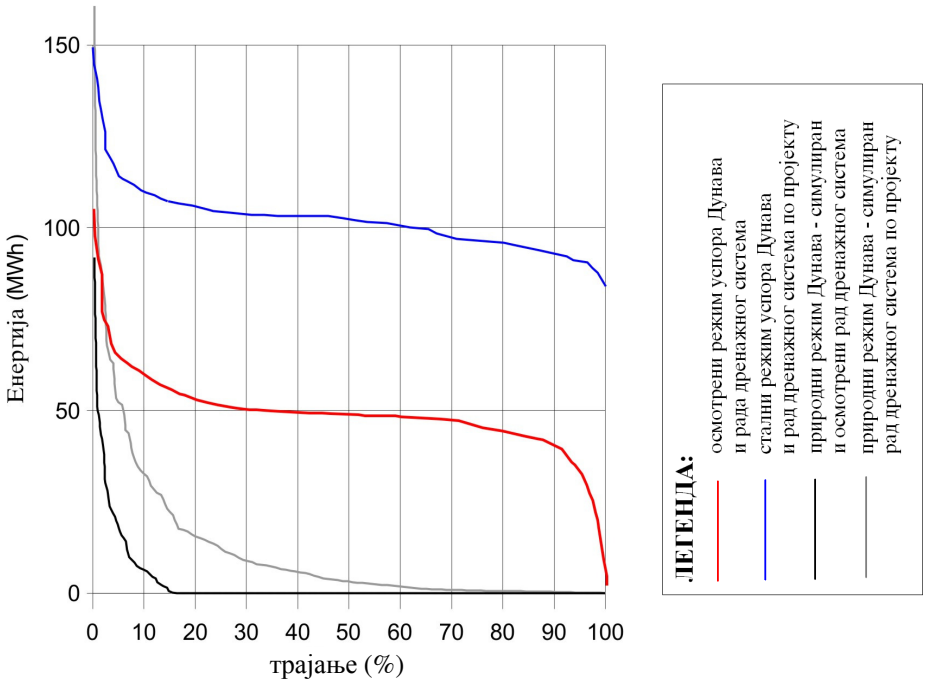



*Слика 94г: Упоредба утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада ц.с. Бабатов (4 -9) и инсталисаних капацитета пумпних агрегата и резултата математичког прорачуна, на мелиоративном подручју Елемир - Арадац (слика 59), у периоду 1985 - 2011. год.*

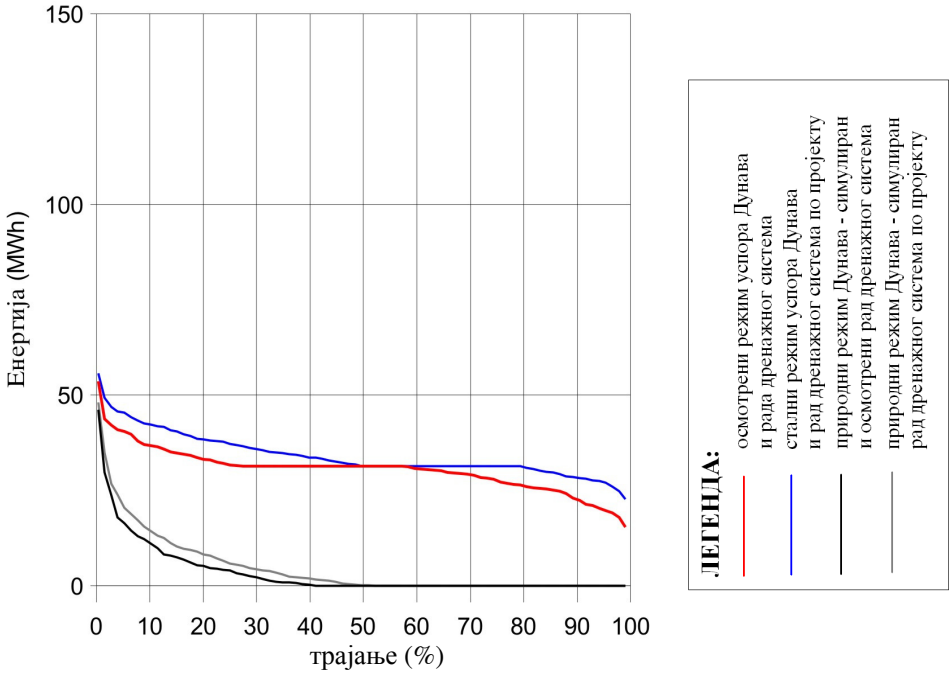
У циљу додатне верификације спроведених хидродинамичких прорачуна на математичком моделу обављена је упоредба енергије добијене на основу резултата прорачуна рада црпних станица и осмотрених вредности њиховог рада.

Компарацијом прорачуна утрошка средње месечне енергије на основу регистрованих часова рада црпних станица и инсталисаних капацитета пумпних агрегата, са једне стране и резултата математичког прорачуна потребне енергије за препумпавање прикупљених подземних вода, са друге стране, у периоду 1985 - 2011. год.. може се констатовати да је постигнуто задовољавајуће слагање, а сим тим и додатно верификовати математички модел.

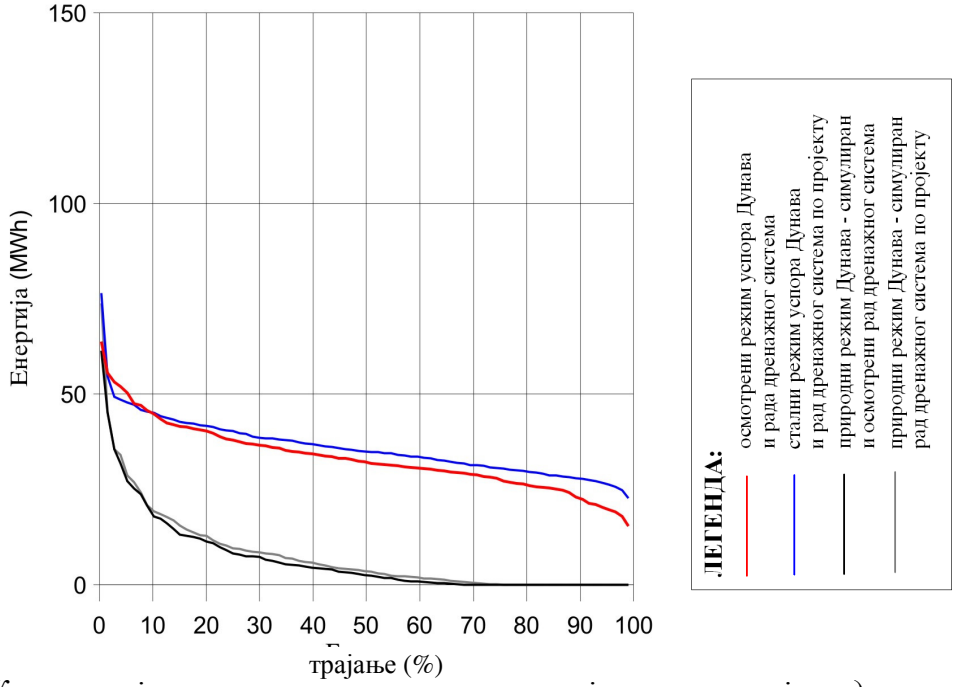
Резултати прорачуна енергије потребне за евакуацију подземних вода са одабраних мелиоративних подручја, за природне и успорене водостаје Дунава и осмотрени и пројектом предвиђени режим рада дренажних система заштите, приказани су, у виду кривих трајања, на сликама 95 -101 и у табели 47.



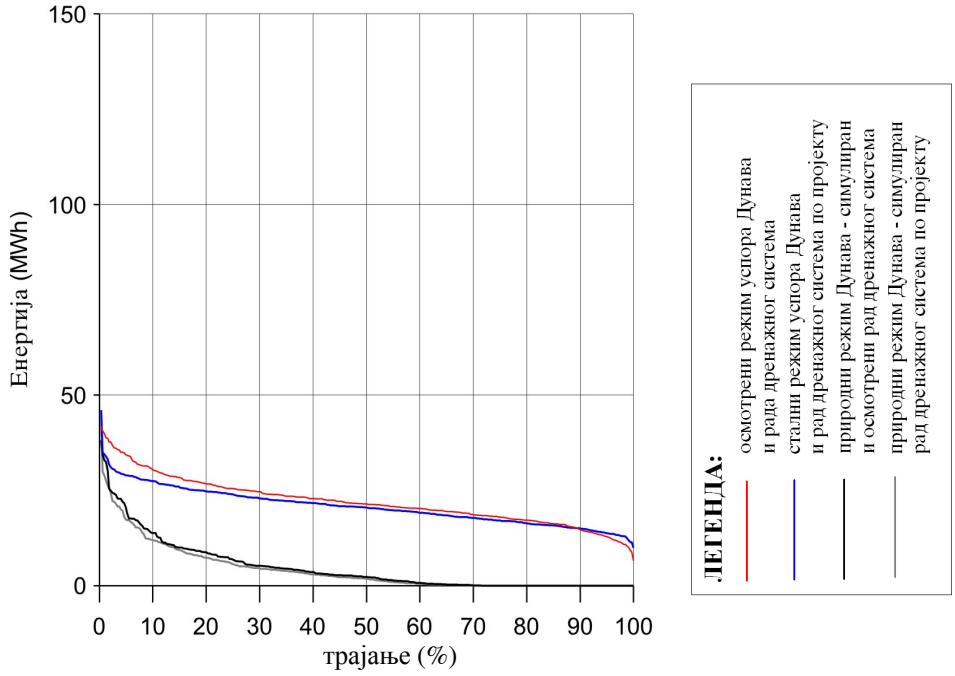

*Слика 95: Криве трајања месечних утрошака енергије за евакуацију подземних вода са мелиоративног подручја Нера - канал ДТД (слика 53), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011. год.*



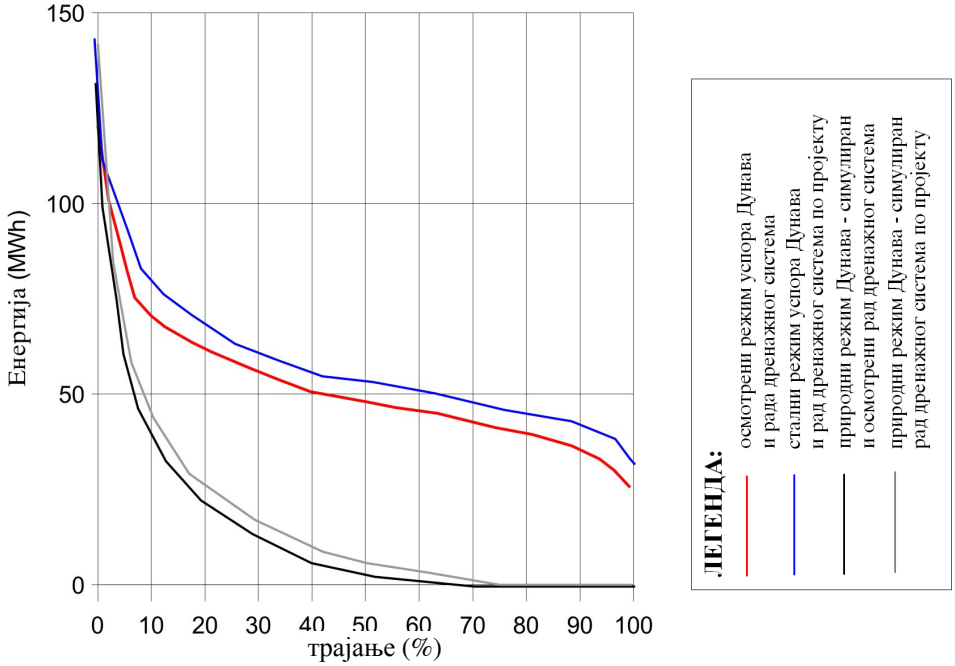

*Слика 96а: Криве трајања месечних утрошака енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Дубовац мелиоративног подручја Дубовац - Ковин (слика 54), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011. год.*



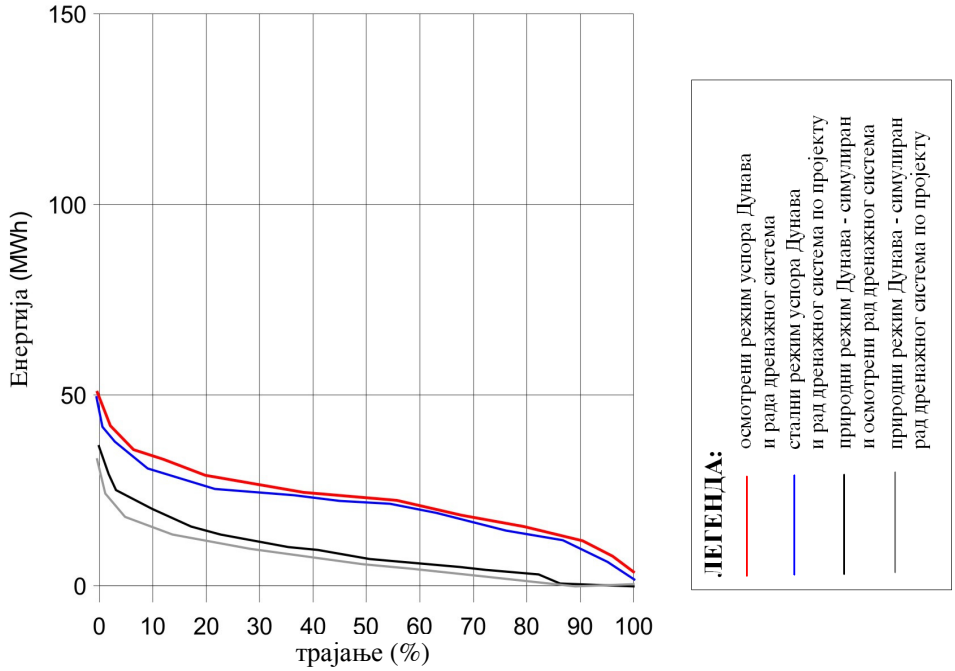

*Слика 96б: Криве трајања месечних утрошака енергије за евакуацију подземних вода са ц.с.Врба мелиоративног подручја Дубовац - Ковин (слика 54), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011. год.*



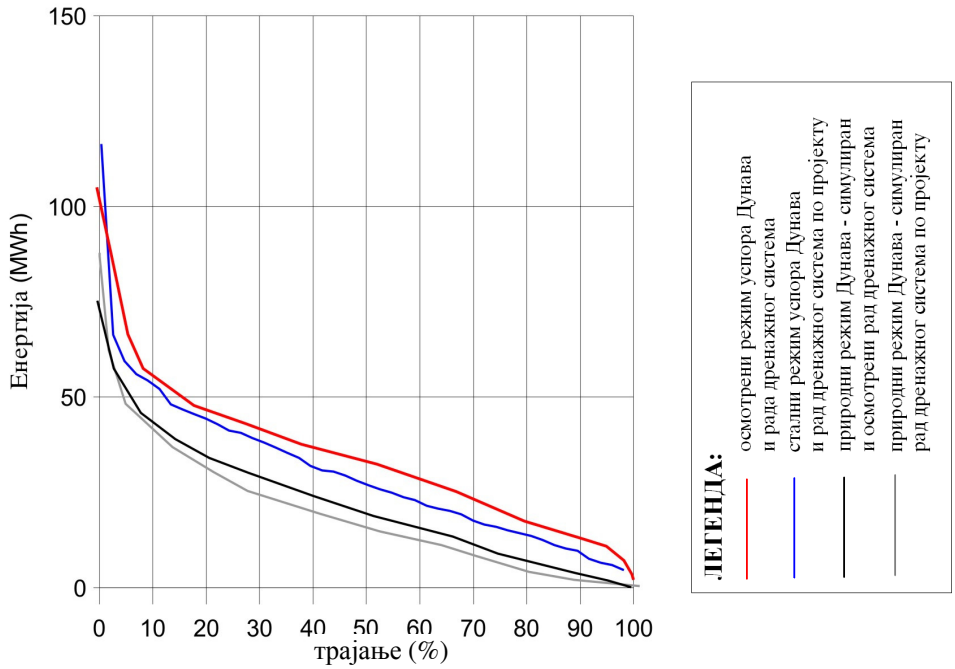

*Слика 96в: Криве трајања месечних утрошака енергије за евакуацију подземних вода са ц.с Гај мелиоративног подручја Дубовац - Ковин (слика 54), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011. год.*



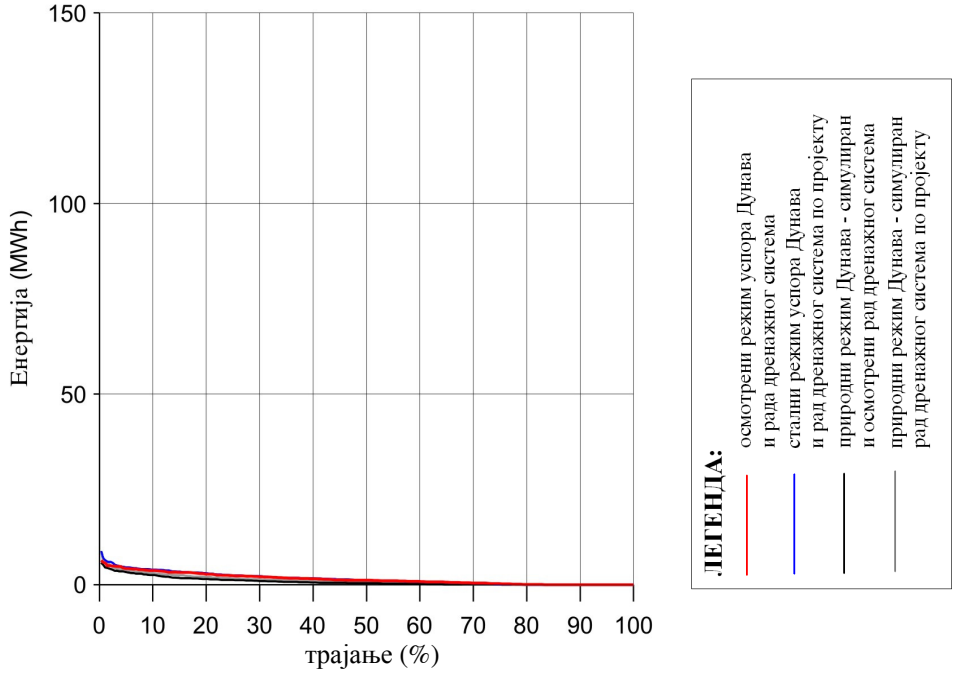

*Слика 96г: Криве трајања месечних утрошака енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. М. Баваниште подручја Дубовац - Ковин (слика 54), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011.год.*



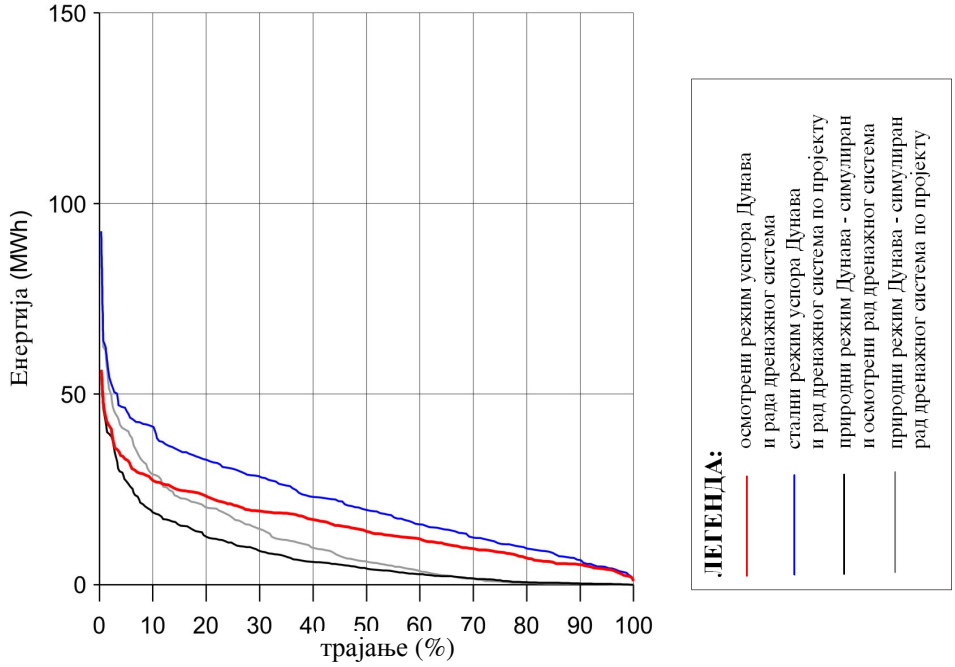

*Слика 97а: Криве трајања месечних утрошака енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Ковин мелиоративног подручја Ковин - Иваново (слика 55), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011. год.*



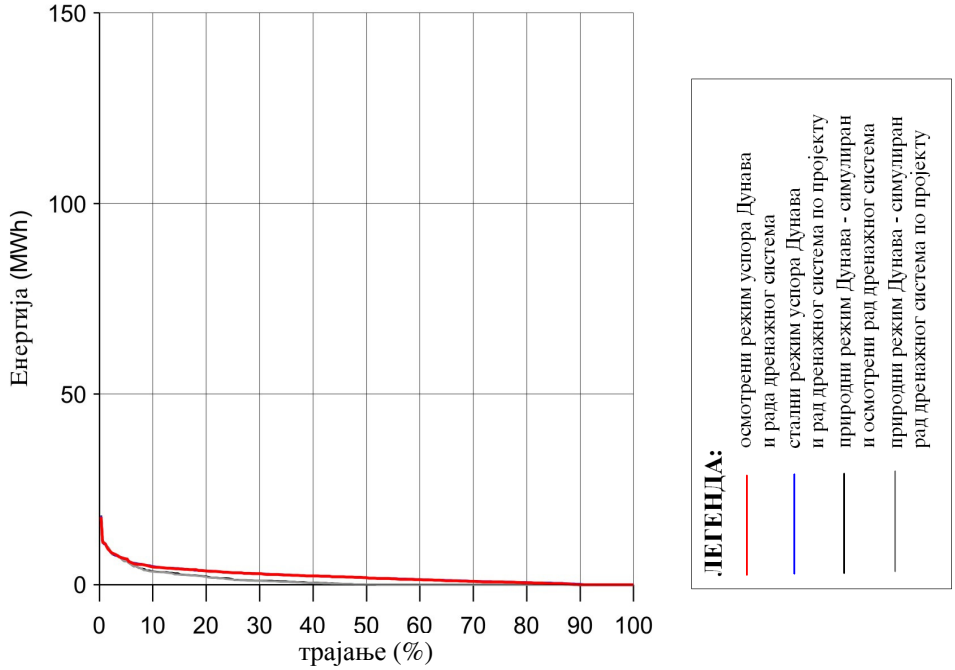

*Слика 97б: Криве трајања месечних утрошака енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Скореновац мелиоративног подручја Ковин - Иваново (слика 55), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011. год.*



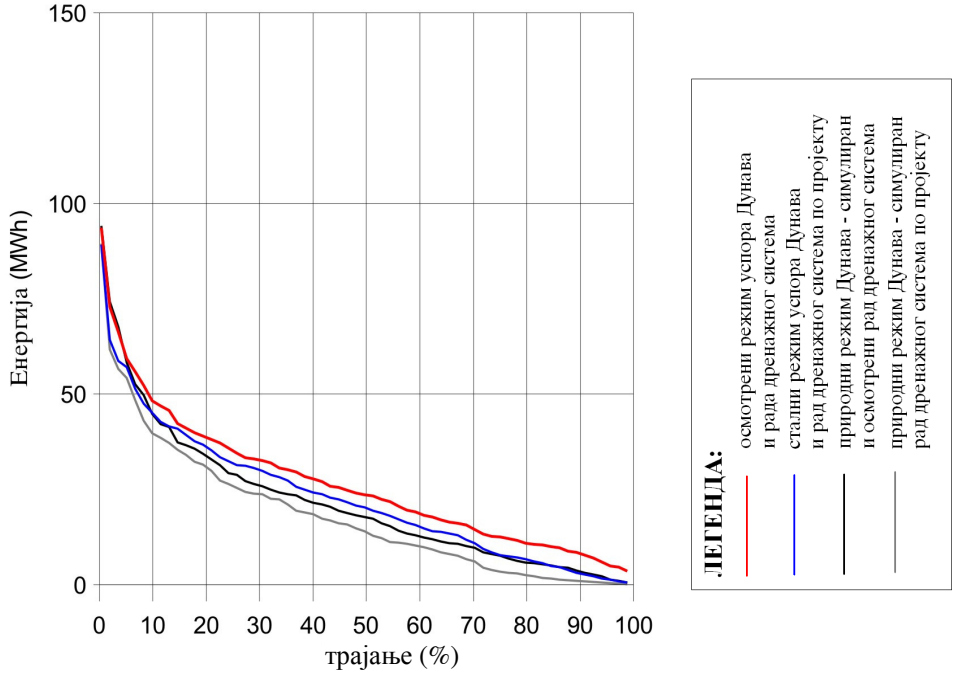

*Слика 98а: Криве трајања месечних утрошака енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Иваново - село мелиоративног подручја Иваново - Панчево (слика 56), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011. год.*



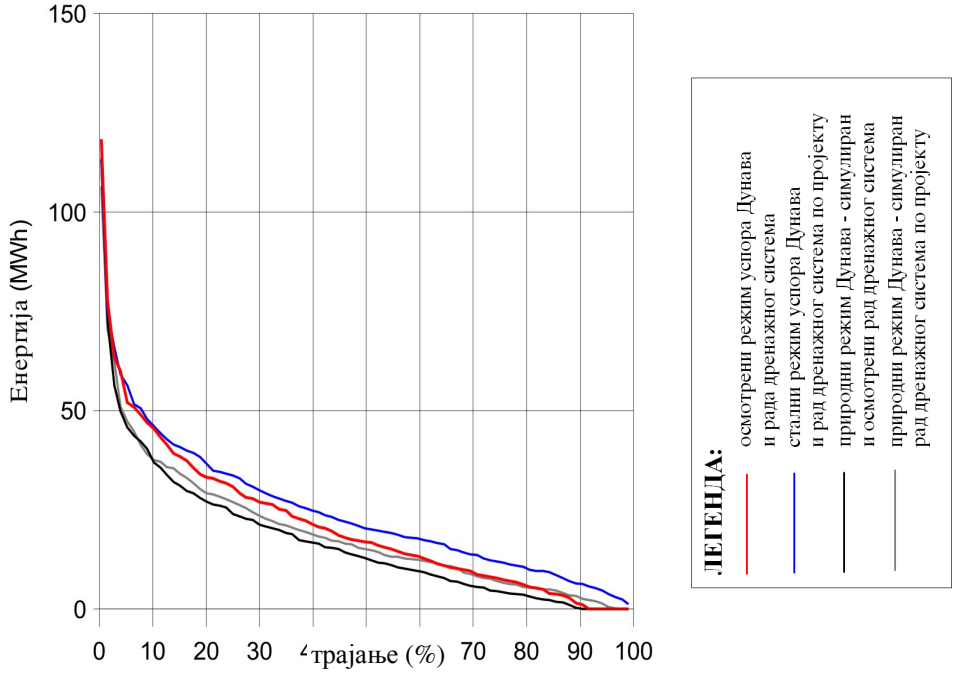

*Слика 98б: Криве трајања месечних утрошака енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Маријино поље мелиоративног подручја Иваново - Панчево (слика 56), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011.год.*



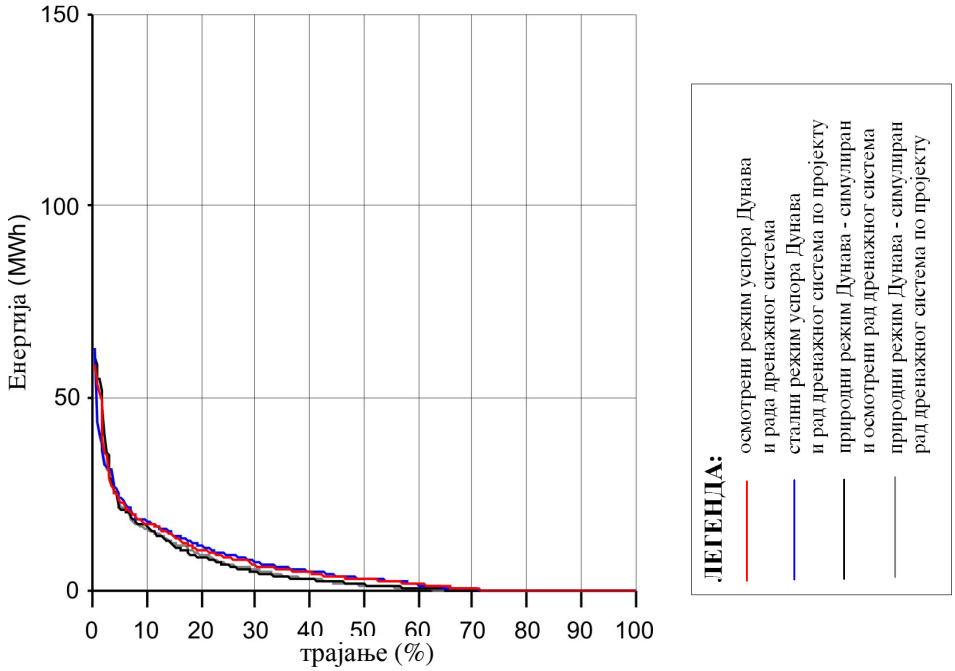

*Слика 98в: Криве трајања месечних утрошака енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Топола 2 мелиоративног подручја Иваново - Панчево (слика 56), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011. год.*



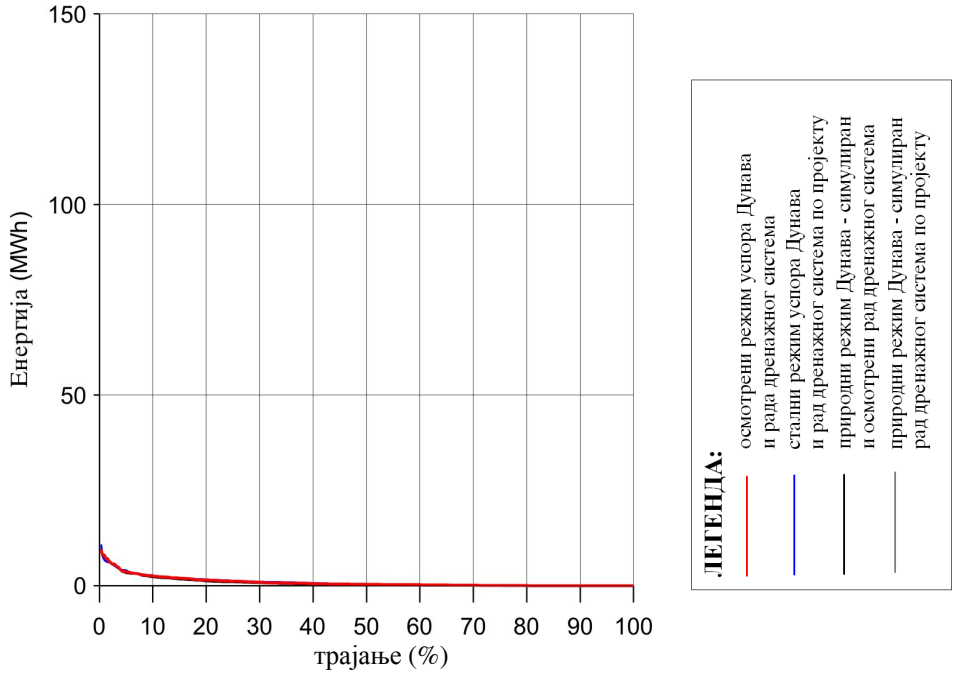

*Слика 99: Криве трајања месечних утрошака енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Чента мелиоративног подручја Кничанин - Чента (слика 57), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011. год.*



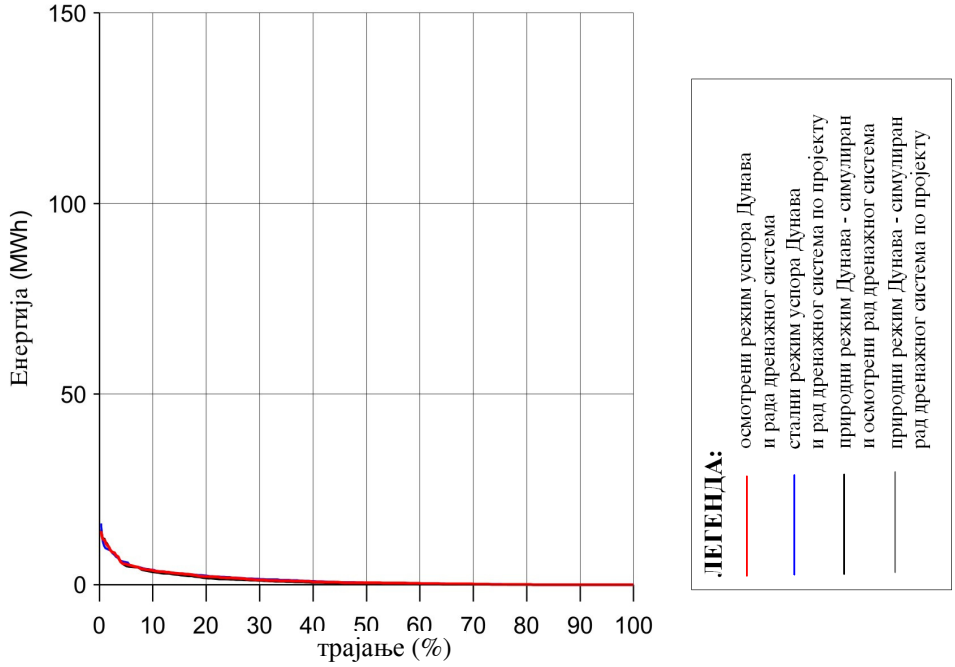

*Слика 100: Криве трајања месечних утрошака енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Мужља мелиоративног подручја Мужља - Лукино Село (слика 58), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011. год.*



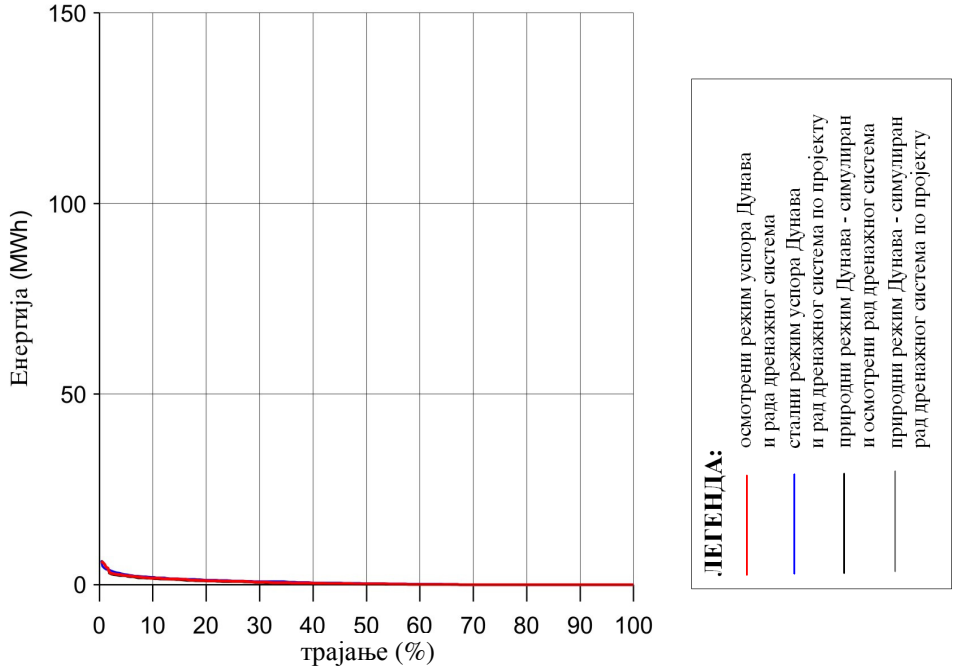

*Слика 101а: Криве трајања месечних утрошака енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Елемир - Арадац (4 -5) мелиоративног подручја Елемир - Арадац (слика 59), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011. год.*




*Слика 101б: Криве трајања месечних утрошака енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Елемир - Арадац (4 -7) мелиоративног подручја Елемир - Арадац (слика 59), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011. год.*




*Слика 101в: Криве трајања месечних утрошака енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Елемир - Арадац (4 -8) мелиоративног подручја Елемир - Арадац (слика 59), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011. год.*




*Слика 101г: Криве трајања месечних утрошака енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Бабатов (4 -9) мелиоративног подручја Елемир - Арадац (слика 59), за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011. год.*

Анализом срачунатих вредности утрошака енергије за евакуацију подземних вода са одабраних мелиоративних подручја добијених на прорачунима на математичком моделу може се уочити да се у успореним условима, за осмотрени и пројектовани режим, у односу на неуспорене услове, за природни режим Дунава и притока остварује повећани утрошак енергије за евакуацију подземних вода црпним станицама

Повећани утрошака енергије за евакуацију подземних вода црпним станицама у успореним (осмотреним и пројектованим) у односу на природне услове у акумулацији (са симулираним одговарајућим радом дренажног система) последица је повишених водостаја Дунава и притока, односно продужетка трајања одговарајућих водостаја Дунава и притока услед формираног успора. Виши нивои у Дунаву и притокама услед утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“ у односу на неуспорене нивое, проузрокују веће утрошке енергије за евакуацију подземних вода црпним станицама; и обрнуто.

Са друге стране, однос између утрошака енергије за евакуацију подземних вода у осмотреним и пројектованим условима успора ђердапске акумулације није последица водостаја Дунава и притока, већ првенствено рада изведених дренажних система. Осмотрени водостаји Дунава и притока веома мало одступају од пројектованих (рачунских) водостаја (слика 45), односно налазе се условно на сличним котама. Осмотрени рад дренажних система се може значајно разликовати од пројектом предвиђеног (детаљно анализирано у претходном поглављу 11.5). Уколико се осмотрени ниво воде у доводном каналу налази изнад пројектом предвиђених радних нивоа (око пројектованог радног максимума или чак изнад) остварују се мањи утрошци енергије за евакуацију подземних вода црпним станицама; и обрнуто.

У табели 47 приказани су просечне вредности месечних рачунских утрошака енергије за евакуацију подземних вода са одабраних мелиоративних подручја, за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011.год.

*Табела 47: Просечни месечни рачунски утрошци енергије за евакуацију подземних вода са одабраних мелиоративних подручја, за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја, у периоду 1985 - 2011.год.*

| мелиоративно подручје | слив црпне станице | режим реке | режим рада дренажног система | просечни месечни утрошак енергије E(MWh) |
|---|---|---|---|---|
| **Нера -Канал ДТД** | Караш 1 | природни | пројектовани | 13.9 |
| | | | осмотрени | 3.0 |
| | | пројектовани | пројектовани | 105.7 |
| | | осмотрени | осмотрени | 48.5 |
| **Дубовац - Ковин** | Дубовац (I дрен.линија/ цео слив) | природни | пројектовани | 2.7 (4.6) |
| | | | осмотрени | 2.8 (5.1) |
| | | пројектовани | пројектовани | 16.1 (20.7) |
| | | осмотрени | осмотрени | 17.1 (22.2) |
| | Врба | природни | пројектовани | 6.3 |
| | | | осмотрени | 4.5 |
| | | пројектовани | пројектовани | 33.8 |
| | | осмотрени | осмотрени | 28.7 |
| | Гај | природни | пројектовани | 3.6 |
| | | | осмотрени | 3.5 |
| | | пројектовани | пројектовани | 20.3 |
| | | осмотрени | осмотрени | 19.9 |
| | М. Баваниште | природни | пројектовани | 13.8 |
| | | | осмотрени | 9.0 |
| | | пројектовани | пројектовани | 56.1 |
| | | осмотрени | осмотрени | 42.2 |
| **Ковин - Иваново** | Ковин (I дрен.линија/ цео слив) | природни | пројектовани | 8.9 (13.2) |
| | | | осмотрени | 9.8 (15.0) |
| | | пројектовани | пројектовани | 22.1 (25.3) |
| | | осмотрени | осмотрени | 23.2 (27.4) |
| | Скореновац (I дрен.линија/ цео слив) | природни | пројектовани | 9.2 (14.4) |
| | | | осмотрени | 10.1 (16.2) |
| | | пројектовани | пројектовани | 23.0 (26.9) |
| | | осмотрени | осмотрени | 23.9 (29.0) |

| мелиоративно подручје | слив црпне станице | режим реке | режим рада дренажног система | просечни месечни утрошак енергије E(MWh) |
|---|---|---|---|---|
| **Иваново - Панчево** | Иваново -село (I дрен.линија/ цео слив) | природни | пројектовани | 0.7 (1.2) |
| | | | осмотрени | 0.6 (0.8) |
| | | пројектовани | пројектовани | 1.4 (2.8) |
| | | осмотрени | осмотрени | 1.1 (2.2) |
| | Маријино поље (I дрен.линија/ цео слив) | природни | пројектовани | 7.8 (11.2) |
| | | | осмотрени | 5.5 (7.6) |
| | | пројектовани | пројектовани | 15.2 (21.6) |
| | | осмотрени | осмотрени | 11.0 (15.6) |
| | Топола 2 | природни | пројектовани | 2.3 |
| | | | осмотрени | 1.9 |
| | | пројектовани | пројектовани | 4.6 |
| | | осмотрени | осмотрени | 3.7 |
| **Книћанин - Чента** | Чента (I дрен.линија/ цео слив) | природни | пројектовани | 11.6 (17.9) |
| | | | осмотрени | 13.7 (21.1) |
| | | пројектовани | пројектовани | 15.6 (22.5) |
| | | осмотрени | осмотрени | 17.9 (26.1) |
| **Мужља - Лукино село** | Мужља | природни | пројектовани | 18.6 |
| | | | осмотрени | 16.4 |
| | | пројектовани | пројектовани | 23.6 |
| | | осмотрени | осмотрени | 20.5 |
| **Елемир - Арадац** | Елемир - Арадац (4-5) (I дрен.линија/ цео слив) | природни | пројектовани | (2.5) 5.1 |
| | | | осмотрени | (2,5) 5.1 |
| | | пројектовани | пројектовани | (3.2) 6.3 |
| | | осмотрени | осмотрени | (3.2) 6.3 |
| | Елемир - Арадац (4-7) (I дрен.линија/ цео слив) | природни | пројектовани | (0.42) 0.8 |
| | | | осмотрени | (0.39) 0.7 |
| | | пројектовани | пројектовани | (0.51) 0.9 |
| | | осмотрени | осмотрени | (0.50) 0.9 |
| | Елемир - Арадац (4-8) (I дрен.линија/ цео слив) | природни | пројектовани | (0.70) 1.2 |
| | | | осмотрени | (0.65) 1.1 |
| | | пројектовани | пројектовани | (0.85) 1.4 |
| | | осмотрени | осмотрени | (0.77) 1.3 |
| | Бабатов (4-9) (I дрен.линија/ цео слив) | природни | пројектовани | (0.30) 0.6 |
| | | | осмотрени | (0.25) 0.5 |
| | | пројектовани | пројектовани | (0.38) 0.7 |
| | | осмотрени | осмотрени | (0.30) 0.6 |

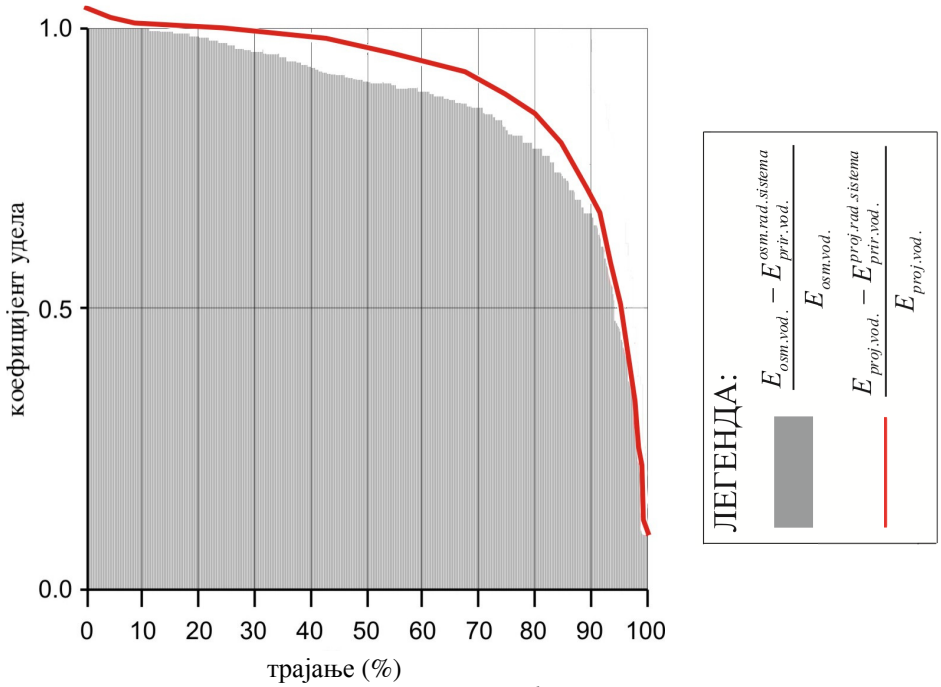
Упоредбом добијених вредности утрошака енергије за наведене услове у површинским токовима и ефеката рада дренажних система за уређење (заштиту) мелиоративних подручја, срачунате су вредности учешћа (удео) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са одабраних мелиоративних подручја. Рачуном је добијен коефицијент удела повећане потрошње енергије (у успореном у односу на неуспорени - природни режим водостаја) у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода за осмотрени и пројектовани режим водостаја река и рада система.

$$K_E^{osm.} = \frac{E_{osm.vod.} - E_{prir.vod.}^{osm.rad.sistema}}{E_{osm.vod.}} \tag{44}$$

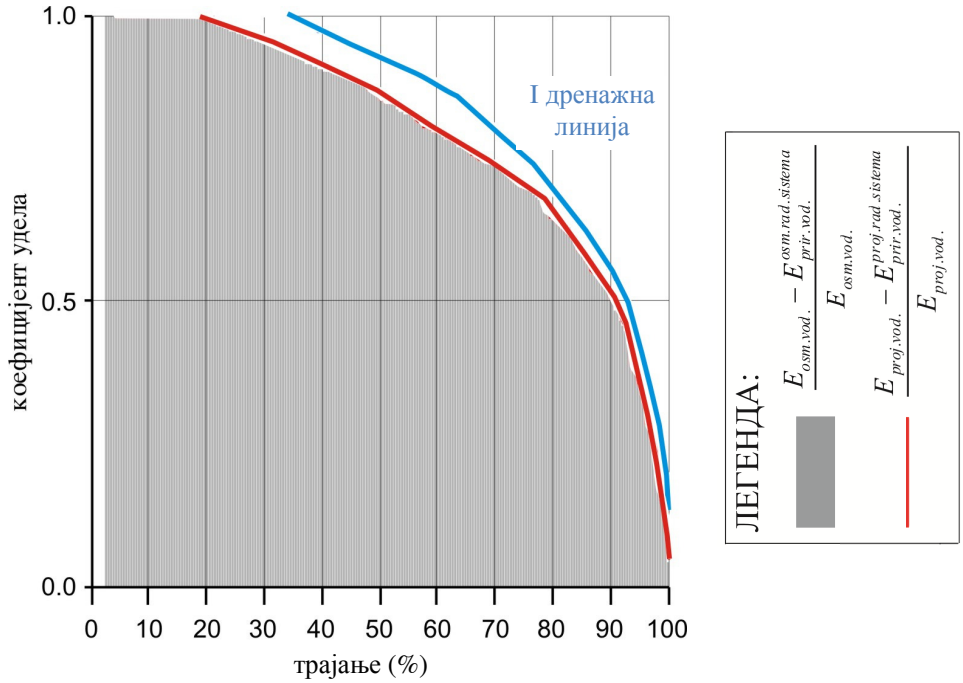
$$K_E^{proj.} = \frac{E_{proj.vod.} - E_{prir.vod.}^{proj.rad.sistema}}{E_{proj.vod.}} \tag{45}$$

Резултати спроведених прорачуна на математичком моделу приказани су на сликама 102 - 108 у виду кривих трајања просечног месечног учешћа потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са мелиоративног подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год., за успорени и неуспорени режим Дунава и притока и различито уређење (заштиту) подручја.

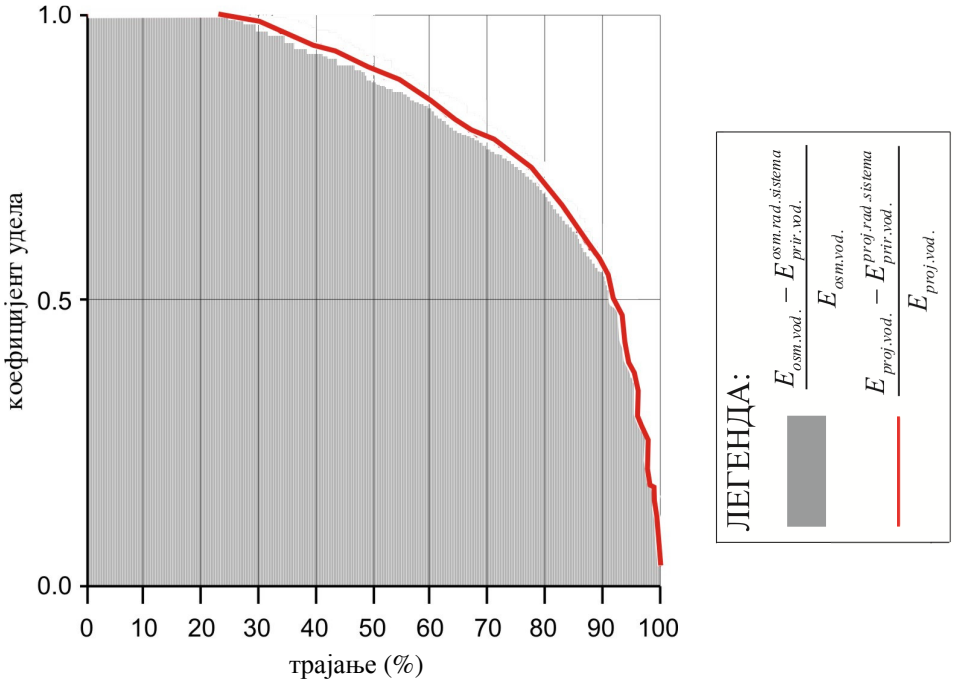
Приказане су одговарајуће криве трајања просечног месечног учешћа потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода како за цело подручје, тако и за прву дренажну линију (само за црпне станице које захватају значајне количине подземних вода из залеђа).



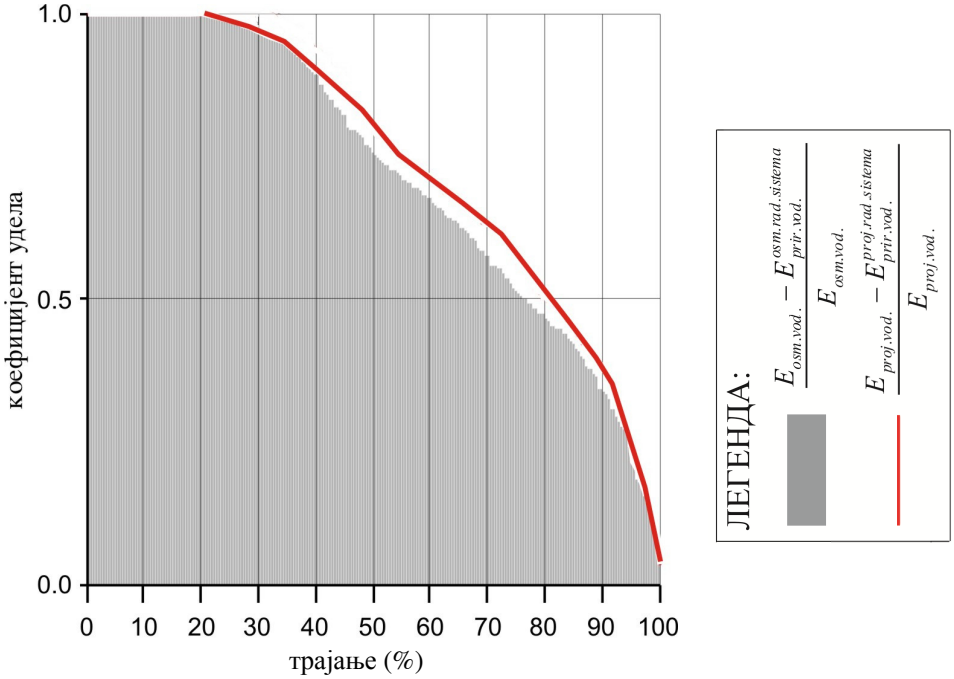

*Слика 102: Криве трајања просечног месечног учешћа (удела) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Караш 1 мелиоративног подручја Нера - канал ДТД,(слика 53), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



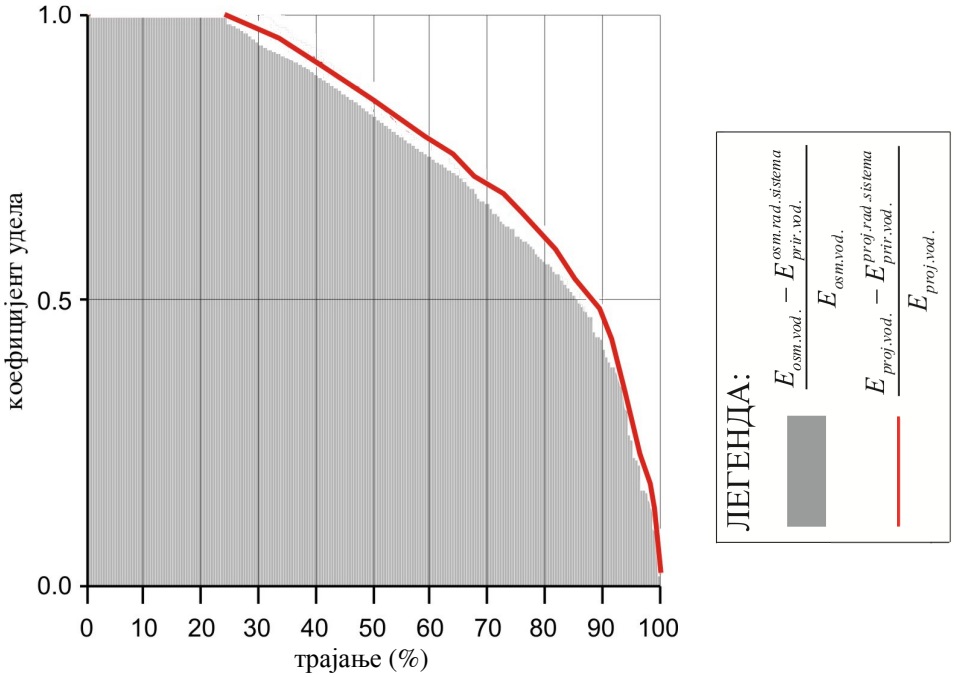

*Слика 103а: Криве трајања просечног месечног учешћа (удела) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Дубовац мелиоративног подручја Дубовац - Ковин (слика 54), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



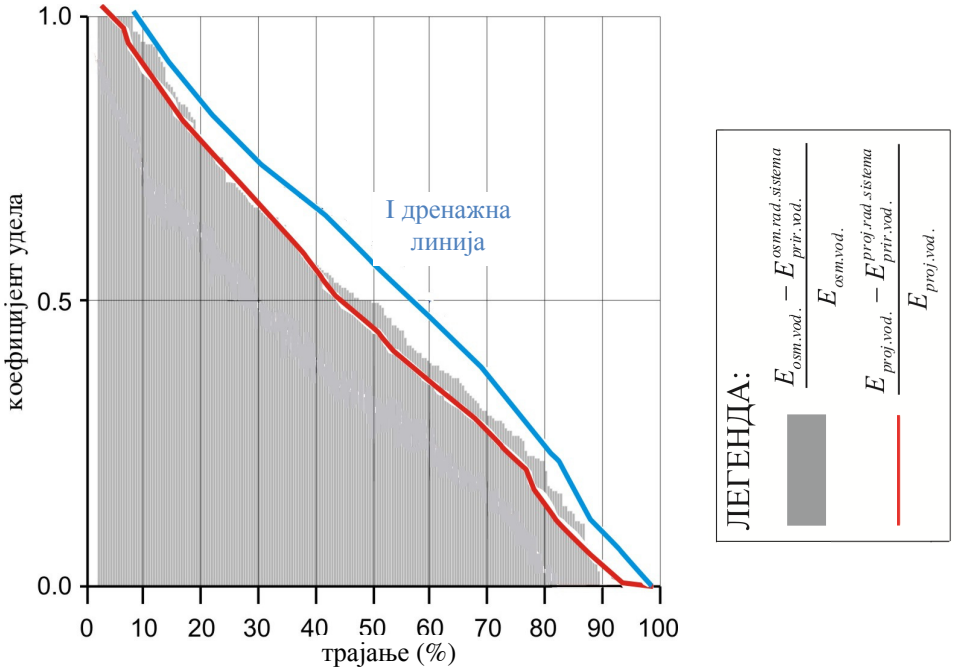

*Слика 103б: Криве трајања просечног месечног учешћа (удела)потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Врба мелиоративног подручја Дубовац - Ковин (слика 54), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



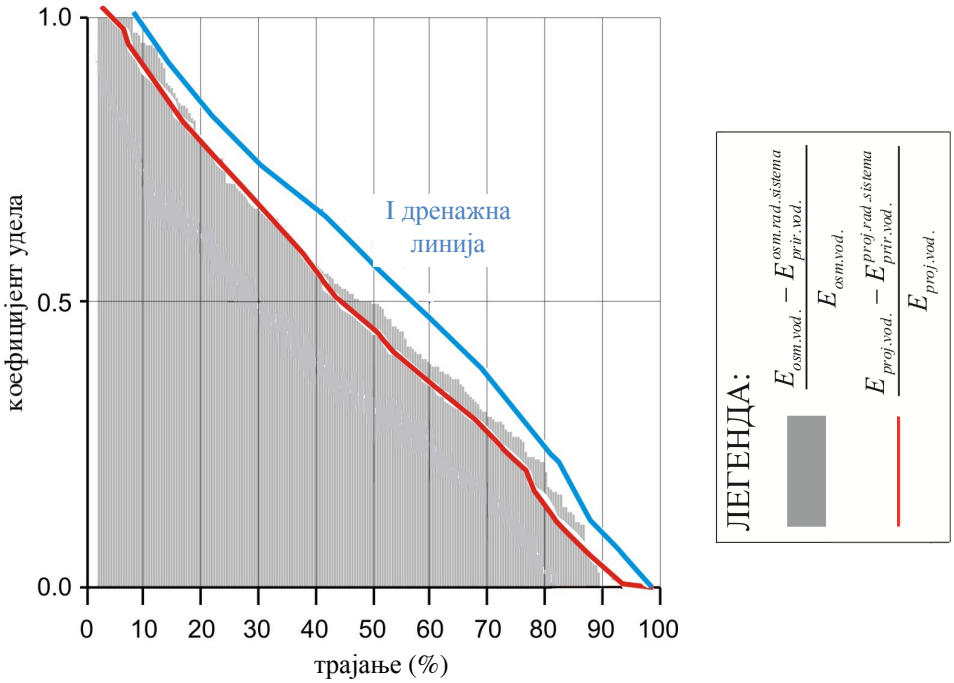

*Слика 103в: Криве трајања просечног месечног учешћа (удела)потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Гај мелиоративног подручја Дубовац - Ковин (слика 54), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



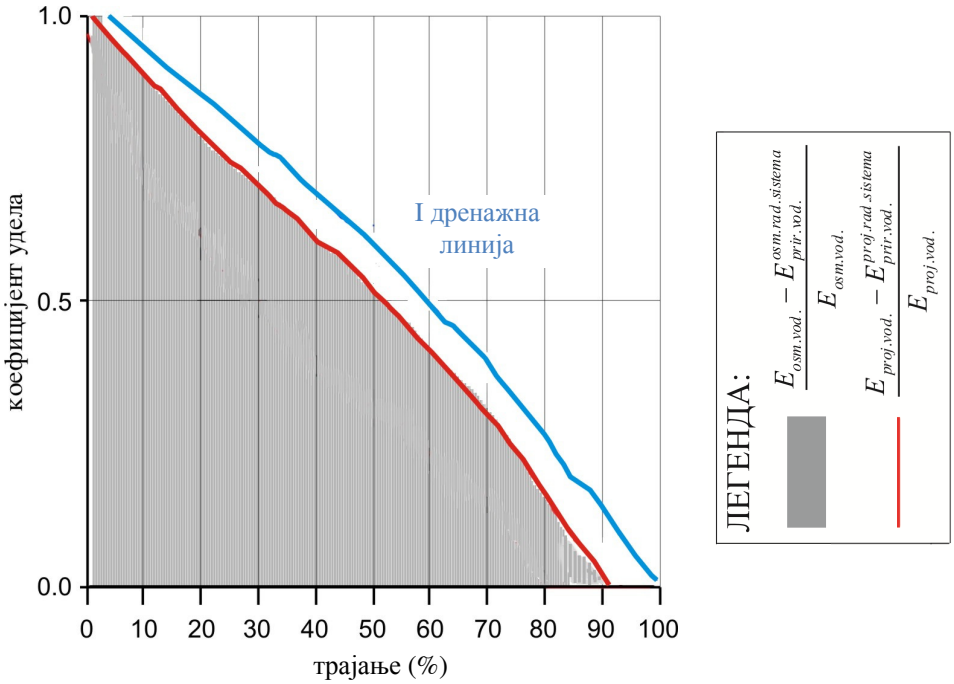

*Слика 103г: Криве трајања просечног месечног учешћа (удела) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. М. Баваниште мелиоративног подручја Дубовац - Ковин (слика 54), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



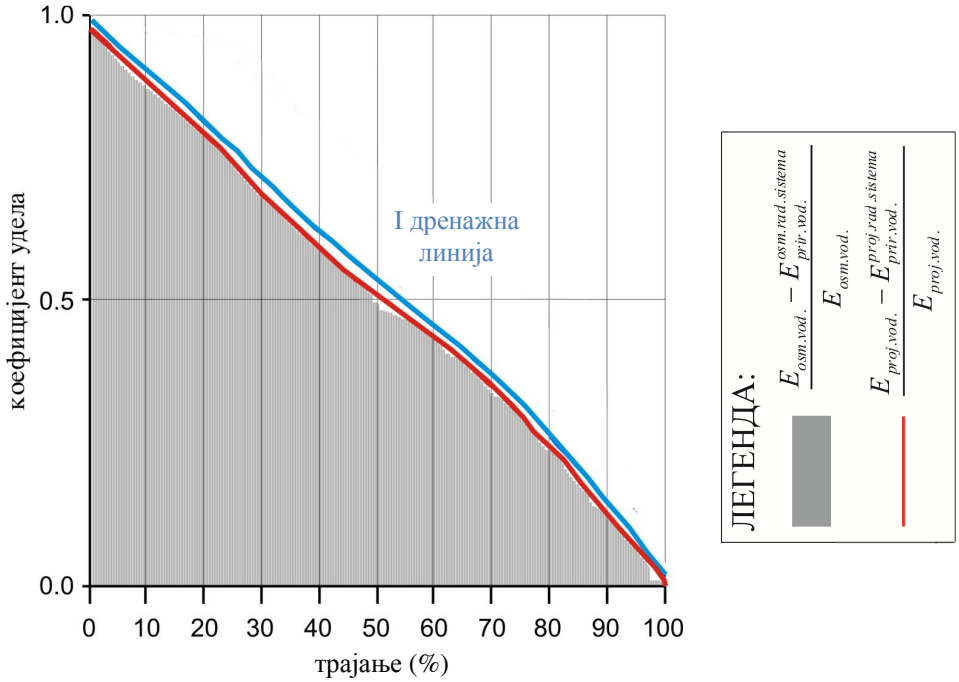

*Слика 104а: Криве трајања просечног месечног учешћа (удела) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Ковин мелиоративног подручја Ковин - Иваново (слика 55), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



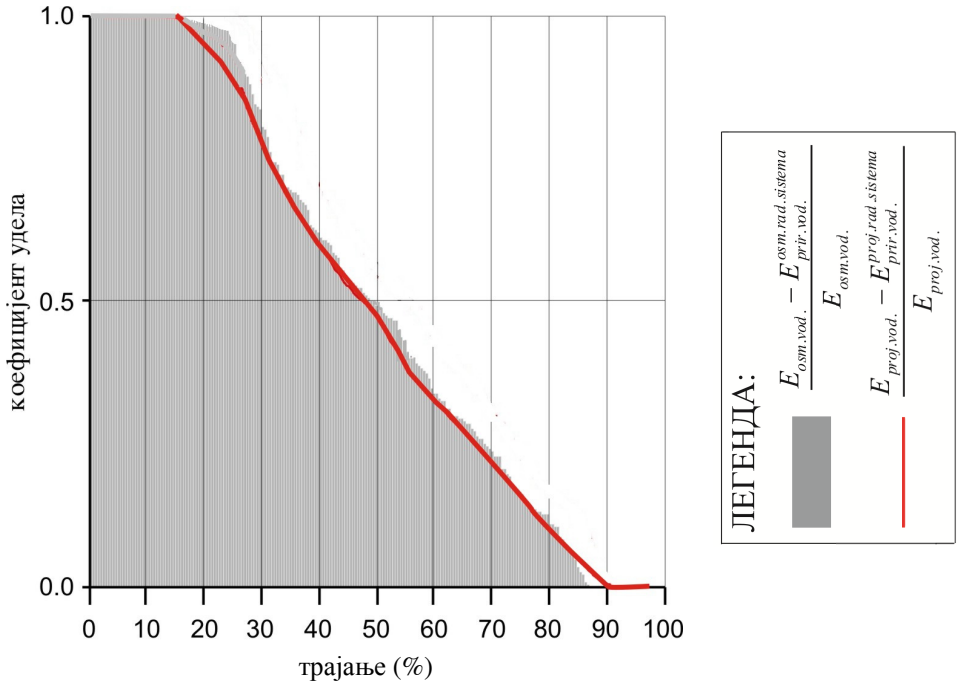

*Слика 104б: Криве трајања просечног месечног учешћа (удела) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Скореновац мелиоративног подручја Ковин - Иваново (слика 55), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



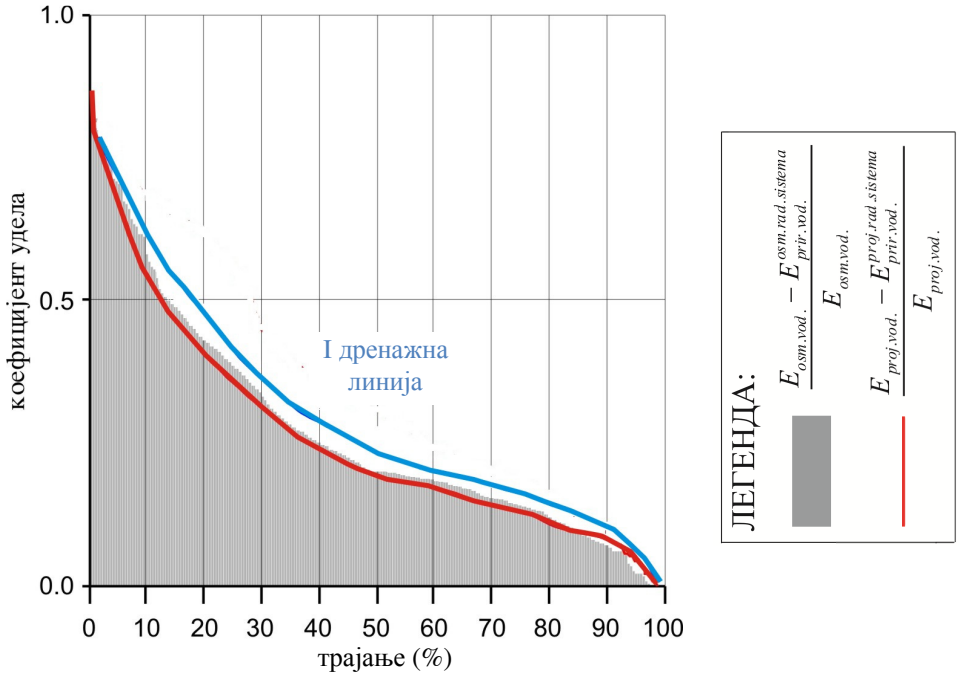

*Слика 105а: Криве трајања просечног месечног учешћа (удела) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Иваново - село мелиоративног подручја Иваново - Панчево (слика 56), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



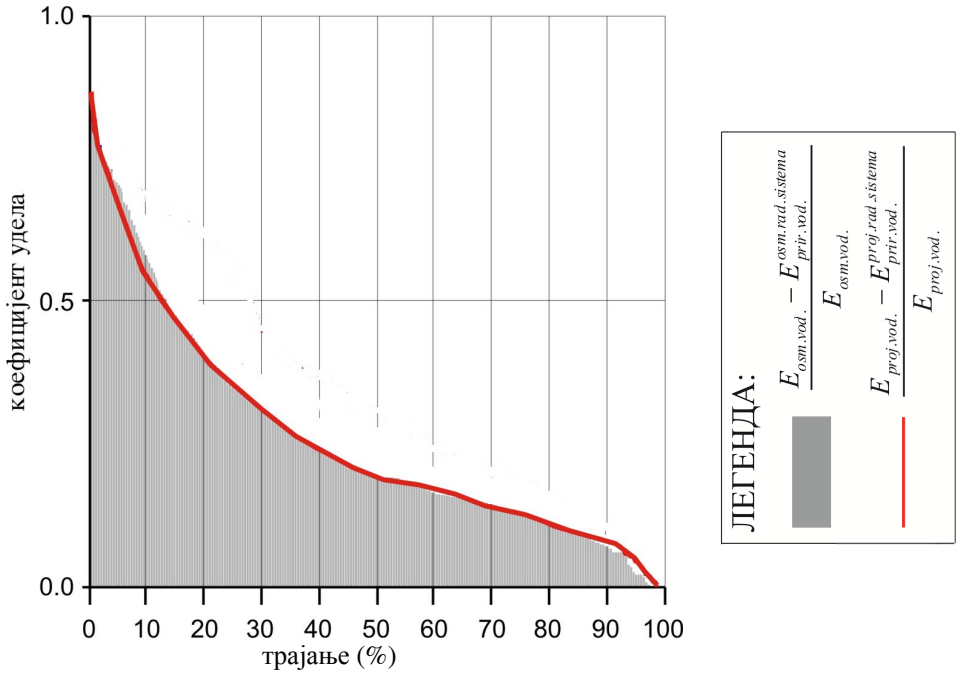

*Слика 105б: Криве трајања просечног месечног учешћа (удела) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Маријино поље мелиоративног подручја Иваново - Панчево (слика 56), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



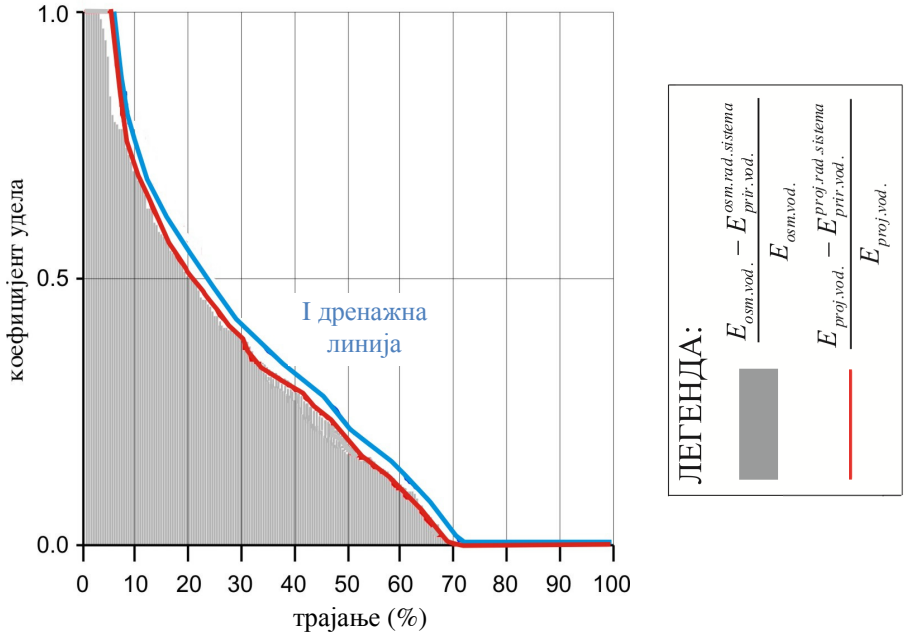

*Слика 105в: Криве трајања просечног месечног учешћа (удела) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Топола 2 мелиоративног подручја Иваново - Панчево (слика 56), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



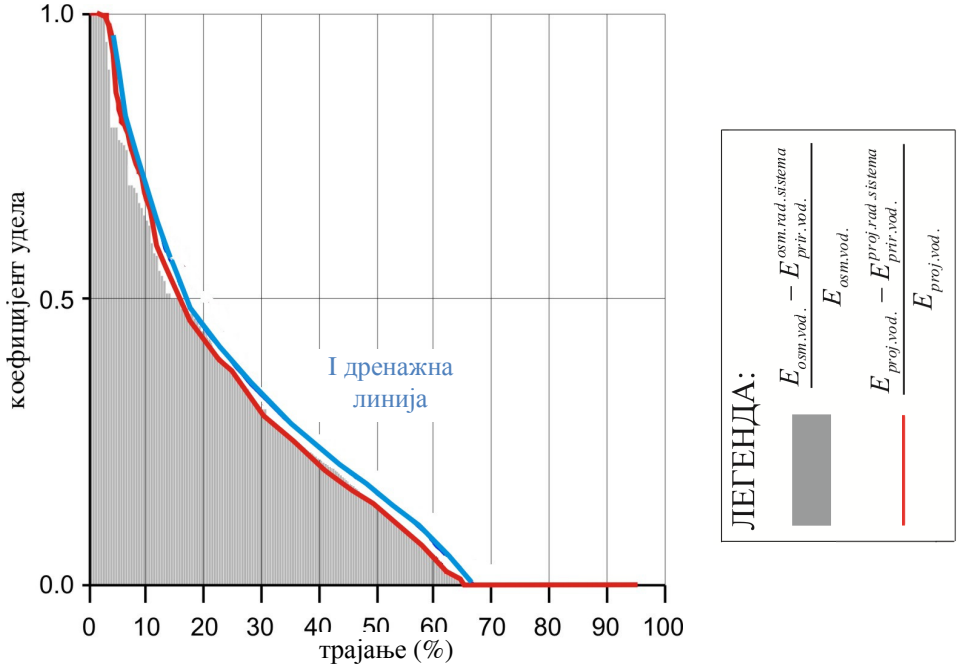

*Слика 106: Криве трајања просечног месечног учешћа (удела) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Книћанин мелиоративног подручја Книћанин - Чента (слика 57), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



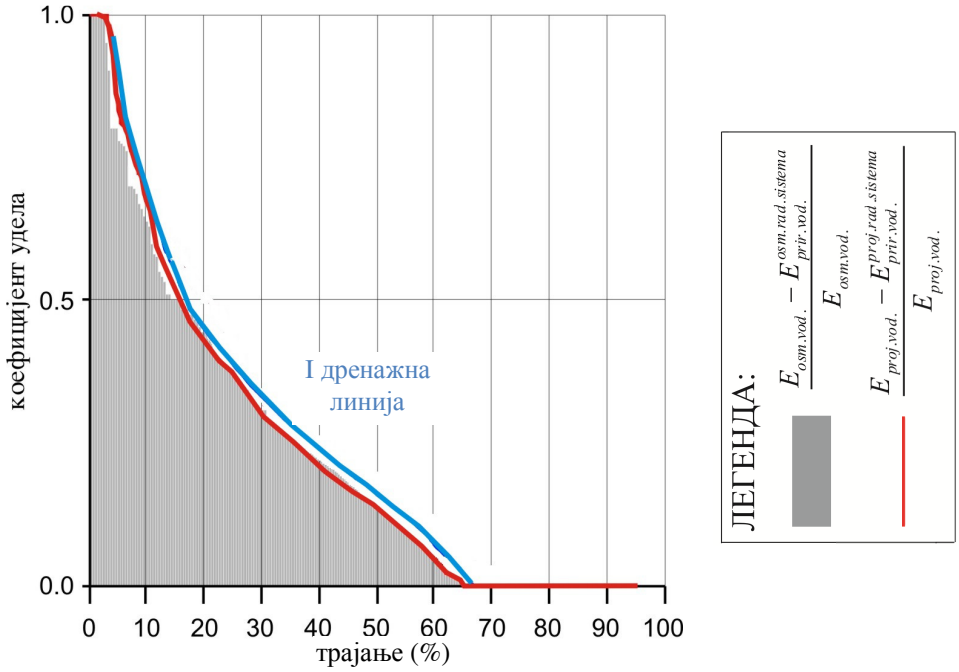

*Слика 107: Криве трајања просечног месечног учешћа (удела) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са ц.с. Мужља мелиоративног подручја Мужља - Лукино Село (слика 58), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*



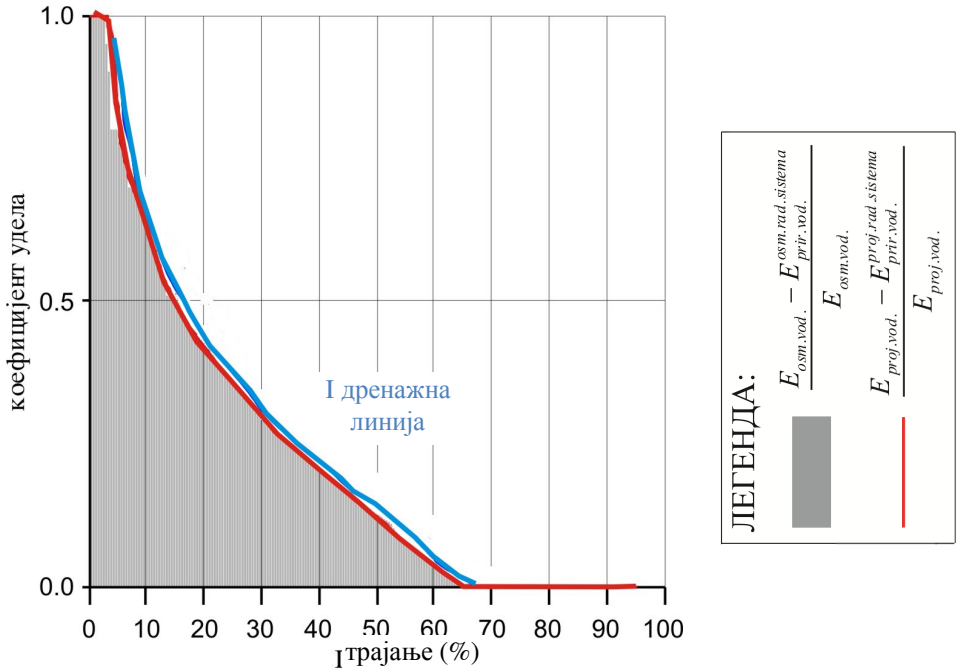

*Слика 108а: Криве трајања просечног месечног учешћа (удела) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са ц.с Елемир - Арадац (4 -5) мелиоративног подручја Елемир - Арадац (слика 58), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*




*Слика 108б: Криве трајања просечног месечног учешћа (удела) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са ц.с Елемир - Арадац (4 -7) мелиоративног подручја Елемир - Арадац (слика 59), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*




*Слика 108в: Криве трајања просечног месечног учешћа (удела) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са ц.с Елемир - Арадац (4 -8) мелиоративног подручја Елемир - Арадац (слика 59), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*




*Слика 108г: Криве трајања просечног месечног учешћа (удела) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са ц.с Бабатов (4 -9) мелиоративног подручја Елемир - Арадац (слика 59), у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*

У табели 48 приказан је коефицијент просечног месечног учешћа повећане потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са одабраних мелиоративних подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год. Повећано учешће рачунских енергије срачунато је одвојено за осмотрени и пројектовани режим успора у односу на неуспорени, природни режим уз симулацију одговарајућег рада дренажног система.

Промена потрошње енергије за евакуацију подземних вода у директној зависности је са променом дотицаја подземних вода на црпне станице, услед утицаја успора, а анализа ових параметара квантификује измену режима подземних вода проузрокованог формирањем успора ХЕ „Ђердап 1“. Повећани утрошци енергије за препумпавање подземних вода црпним станицама у условима успора у односу на природне услове у акумулацији (са симулираним одговарајућим радом дренажног система) последица су повишених водостаја Дунава и притока, тј. продужетка трајања одговарајућих водостаја Дунава и притока под утицајем успора. Може се закључити да у низводним мелиоративним подручјима, ближе хидроелектрани „Ђердап 1“, где је и успоравање водостаја река веће, остварује се и већи коефицијент удела утрошака енергије за препумпавање подземних вода услед успора у укупној потрошњи енергије; и обрнуто. Са друге стране, разлика између удела повећаних утрошака енергије услед успора у укупном утрошку енергије за препумпавање подземних вода црпним станицама, у осмотреним и пројектованим условима успора ђердапске акумулације у односу на природне, није последица водостаја Дунава и притока (налазе се на сличним котама (слика 45)), већ првенствено рада изведених дренажних система. На црпним станицама код којих се осмотрени нивои воде у доводном каналу налазе око или изнад пројектованог радног максимума остварују се мањи удео утрошка енергије за препумпавање подземних вода црпнимстаницама услед успора у укупном утрошку енергије; и обрнуто. Треба напоменути да одређене црпне станице, штите подручја елиминисањем утицаја водостаја река, док друге црпне станице прикупљају значајне количине воде и из правца хипсометријски виших терена (из залеђа). Код ових црпних станица посебно су приказани коефицијенти удела утрошка енергије за

препумпавање подземних вода црпним станицама за цео дренажни систем и само за прву дренажну линију, како би се у правој мери квантификовао утицај успора на повећање дотицаја подземних вода на цпне станице анализираних подручја.

*Табела 48: Просечно месечно учешће (удео) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са одабраних мелиоративних подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год.*

| мелиоративно подручје | слив црпне станице | учешће повећаних потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије ( -) | |
|---|---|---|---|
| | | $\frac{E_{proj.vod.} - E_{prir.vod.}^{proj.rad.sistema}}{E_{proj.vod.}}$ | $\frac{E_{osm.vod.} - E_{prir.vod.}^{osm.rad.sistema}}{E_{osm.vod.}}$ |
| **Нера -Канал ДТД** | Караш 1 | 0.87 | 0.94 |
| **Дубовац - Ковин** | Дубовац (I дрен.лин./слив) | 0.83 (0.77) | 0.84 (0.78) |
| | Врба | 0.81 | 0.84 |
| | Гај | 0.82 | 0.82 |
| | М.Баваниште | 0.75 | 0.79 |
| **Ковин - Иваново** | Ковин (I дрен.лин./слив) | 0.60 (0.48) | 0.58 (0.45) |
| | Скореновац (I дрен.лин./слив) | 0.60 (0.47) | 0.58 (0.44) |
| **Иваново - Панчево** | Иваново -село (I дрен.лин./слив) | 0.50 (0.59) | 0.50 (0.61) |
| | Маријино поље (I дрен.лин./слив) | 0.49 (0.49) | 0.50 (0.51) |
| | Топола 2 | 0.50 | 0.48 |
| **Книћанин - Чента** | Чента (I дрен.лин./слив) | 0.26 (0.21) | 0.23 (0.19) |
| **Мужља - Лукино село** | Мужља | 0.22 | 0.22 |
| **Елемир - Арадац** | Елемир -Арадац (4-5) (I дрен.лин./слив) | 0.22 (0.19) | 0.22 (0.17) |
| | Елемир -Арадац (4-7) (I дрен.лин./слив) | 0.18 (0.16) | 0.19 (0.15) |
| | Елемир -Арадац (4-8) (I дрен.лин./слив) | 0.18 (0.16) | 0.16 (0.15) |
| | Бабатов (4-9) (I дрен.лин./слив) | 0.20 (0.16) | 0.16 (0.14) |

# 11. ЕВАЛУАЦИЈА УТИЦАЈА УСПОРА ХИДРОЕЛЕКТРАНЕ „ЂЕРДАП 1" НА ФОРМИРАЊЕ РЕЖИМА ПОДЗЕМНИХ ВОДА У ПРИОБАЉУ ДУНАВА И ПРИТОКА

Режим подземних вода на подручју на одабраним мелиоративним подручјима детаљно је сагледан на основу резултата детаљних хидрогеолошких истраживања и резултата спроведених хидродинамичких прорачуна струјања подземних вода на математичким моделима. Синтезом свих ових података и упоредбом добијених резултата за неуспорене (природне) и успорене (пројектоване и осмотрене) нивое Дунава и притока и различити степен заштите подручја, одређена је граница распростирања утицаја успора Дунава, услед рада ХЕ „Ђердап 1" на одабраним мелиоративним подручјима *(табела 49, прилог 4).*

*Табела 49: Положај границе утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“ на режим подземних вода на одабраним мелиоративним подручјима у приобаљу*

| **река/ обала** | | **брањено мелиоративно подручје** | **удаљење границе утицаја успора од реке (km)** |
|---|---|---|---|
| **ДУНАВ** | лева | Нера - Канал ДТД (17) | 0.8 -1.5 |
| | | Дубовац - Ковин (19) | 3.0 |
| | | Ковин - Иваново (20) | 3.0 -5.0 |
| | | Иваново – Панчево (21) | 3.0 -4.0 |
| | | Книћанин - Чента (23) | 1.5 -2.0 |
| **ТИСА** | лева | Книћанин – Чента (23) | 1.5 -2.0 |
| | | Мужља - Лукино село (25а) | 2.0 |
| | | Елемир – Арадац (25б) | 1.5 -2.5 |

Анализом свих резултата прорачуна симулирања струјања подземних вода на одабраним мелиоративним подручјима у наведеним условима обављено је квантификовање утицаја успора хидроелектране „Ђердап 1“ на формирање режима подземних вода.

Утицај успора ХЕ „Ђердап 1“, унутар дефинисане границе распрострањења, дефинише се на основу коефицијента евалуације утицаја успора. Овај коефицијент сразмеран је, напред дефинисаном, коефицијенту учешћа

(удела) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са одабраних мелиоративних подручја.

Као што је већ речено, коефицијент учешћа (удела) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода разликује се за пројектоване и осмотрене услове успора ХЕ „Ђердап 1“ и одговарајућу уређеност (заштиту) подручја. Како су пројектовани и осмотрени нивои водостаја реке на сличним котама, може се закључити да на промену удела потрошње енергије у укупној потрошњи енергије за препумпавање подземних вода примаран утицај имају режими рада црпних станица. На црпним станицама код којих се осмотрени нивои воде у доводном каналу налазе око или изнад пројектованог радног максимума остварују се мањи удели утрошка енергије у укупном утрошку енергије за препумпавање подземних вода услед успора; и обрнуто.

При дефинисању овог коефицијента неопходно је узети у обзир да одређене црпне станице штите подручја првенствено елиминисањем утицаја водостаја река, док друге црпне станице поред ових подземних вода прикупљају и значајне количине подземних вода из залеђа. Код ових црпних станица посебно су приказани коефицијенти удела утрошка енергије за препумпавање подземних вода црпним станицама за цео дренажни систем и само за дренажне линије унутар границе распрострањења успора, како би се у правој мери квантификовао утицај успора на повећање дотицаја подземних вода на црпне станице подручја.

Коефицијент евалуације утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“ на формирање режима подземних вода на мелиоративним подручјима сразмеран је просечном месечном учешће (удео) потрошње енергије у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода у осмотреним условима успора и заштите подручја.

Како овај коефицијент дефинише промену режима подземних вода унутар дефинисане границе распрострањења утицаја успора, код црпних станица које прикупљају и подземне воде из правца залеђа, рашчлањени су удели повећаних дотицаја подземних вода и утрошака у укупним, а самим тим и коефицијент евалуације утицаја за дренажне линије (најчешће прва дренажна линија) унутар дефинисане границе распрострањења утицаја успора.

У табели 50 приказано је просечно месечно учешће (удео) потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије за евакуацију подземних вода са одабраних мелиоративних подручја, у рачунском периоду 1985 - 2011. год., а затим и коефицијент евалуације утицаја ХЕ „Ђердап 1“ на формирање режима подземних вода, унутар границе распрострањења утицаја успора.

*Табела 50: Коефицијент евалуације утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“на одабраним мелиоративним подручјима*

| мелиоративно подручје | слив црпне станице | учешће повећане потрошње енергије услед успора у укупној потрошњи енергије ( -) | | коефицијент евалуације утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“ ( -) |
|---|---|---|---|---|
| | | $\frac{E_{proj.vod.} - E_{prir.vod.}^{proj.rad.sistema}}{E_{proj.vod.}}$ | $\frac{E_{osm.vod.} - E_{prir.vod.}^{osm.rad.sistema}}{E_{osm.vod.}}$ | |
| **Нера -Канал ДТД** | Караш 1 | 0.87 | 0.94 | **0.94** |
| **Дубовац -Ковин** | Дубовац (I дрен.лин./слив) | 0.83 (0.77) | 0.84 (0.78) | **0.84** |
| | Врба | 0.81 | 0.84 | **0.84** |
| | Гај | 0.82 | 0.82 | **0.82** |
| | М.Баваниште | 0.75 | 0.79 | **0.79** |
| **Ковин - Иваново** | Ковин (I дрен.лин./слив) | 0.60 (0.48) | 0.58 (0.45) | **0.58** |
| | Скореновац (I дрен.лин./слив) | 0.60 (0.47) | 0.58 (0.44) | **0.58** |
| **Иваново - Панчево** | Иваново -село (I дрен.лин./слив) | 0.50 (0.59) | 0.50 (0.61) | **0.50** |
| | Маријино поље (I дрен.лин./слив) | 0.49 (0.49) | 0.50 (0.51) | **0.50** |
| | Топола 2 | 0.50 | 0.48 | **0.48** |
| **Книћанин - Чента** | Чента (I дрен.лин./слив) | 0.26 (0.21) | 0.23 (0.19) | **0.23** |
| **Мужља -Лукино село** | Мужља (I дрен.лин./слив) | 0.22 | 0.22 | **0.22** |
| **Елемир - Арадац** | Елемир -Арадац (4-5) (I дрен.лин./слив) | 0.22 (0.19) | 0.22 (0.17) | **0.22** |
| | Елемир -Арадац (4-7) (I дрен.лин./слив) | 0.18 (0.16) | 0.19 (0.15) | **0.19** |
| | Елемир -Арадац (4-8) (I дрен.лин./слив) | 0.16 | 0.15 | **0.15** |
| | Бабатов (4-9) (I дрен.лин./слив) | 0.16 | 0.14 | **0.14** |

На основу спроведене методологије прорачуна утицаја успора на формирање режима подземних вода на одабраним подручјима дефинисан је овај утицај и на осталим приобалним подручјима ђердапске акумулације.

Синтезом и анализом свих података, дефинисана је граница утицаја успора ХЕ „Ђердап 1" на режим подземних вода на свим осталим мелиоративним подручјима у приобаљу. Она представља део ових подручја где се остварени успорени нивои подземних вода *(слике 60 - 66)*, односно протицаји подземних вода кроз водоносни слој изједначавају са природним у различитим условима у Дунаву и притокама и идентичним уређењем подручја. Унутар ове границе утицаја успора на режим подземних вода ХЕ „Ђердап 1“ је својим радом проузроковала одређено повишење нивоа подземних вода, продужење трајања угрожености подручја и повећану експлоатацију изведених дренажних система за заштиту од успора. Иза наведене границе распрострањења утицаја успора Дунава и доминанту улогу на режим подземних вода преузимају параметри вертикалног биланса и подземни дотицај из залеђа, односно успор ХЕ „Ђердап 1“ нема никакав утицај на формирани режим подземних вода.

Положај границе утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“ на режим подземних вода на одабраним и на свим осталим мелиоративним подручјима приказан је у табели 51 и на прилогу 4.

*Табела 51: Положај границе утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“ на режим подземних вода на мелиоративним подручјима у приобаљу*

| **река/ обала** | | **брањено мелиоративно подручје** | **удаљење границе утицаја успора од реке (km)** |
|---|---|---|---|
| **ДУНАВ** | лева | Винци - ушће Пека(1) | 0.9 -1.8 |
| | | ушће Пека - В.Градиште(2) | 0.8 |
| | | Градиштански рит(3) | 1.2 -2.4 |
| | | Градиштанско острво(4) | 0.5 -3.4 |
| | | Рамско - Кличевачки рит(5) | 0.3 -0.8 |
| | | Доње Костолачко острво(6) | 0.8 -1.5 |
| | | Горње Костолачко острво(7) | 1.0 |
| | | Дубравичка касета(8) | 0.4 -0.7 |
| | | Годоминский Рит (9) | 1.5 -3.5 |
| | | Нера - Канал ДТД (17) | 0.8 -1.5 |
| | | Дубовац - Ковин (19) | 3.0 |
| | | Ковин - Иваново (20) | 3.0 -5.0 |
| | | Иваново – Панчево (21) | 3.0 -4.0 |
| | | Панчевачки рит (22) | 3.0 -5.0 |
| | | Книћанин - Чента (23) | 1.5 -2.0 |
| | | Тителско - Гардиновачки рит (29) | 0.8 -2.5 |
| | | Ковиљско - Кађки рит(30) | 0.5 -1.5 |
| **САВА** | десна | Град Београд са Великосел, ритом ( -) | 0.1 -1.5 |
| | | Велики Макиш (10) | 0.4 -1.0 |
| | | Мали Макиш и насеље Умка (10) | 0.4 -1.0 |
| | | Барич -Мислођин (11) | 1.0 |
| | | Вић Бара (12) | 1.0 -1.2 |
| | | Забрешке ливаде са Забрежјем(12) | 0.3 -0.5 |
| | | Скела -Бреска (13) | 0.2 -0.5 |
| | лева | Град Београд (Н. Београд и Земун) ( -) | 0.4 -2.5 |
| | | Доње поље - Јаково (14) | 0.5 -1.5 |
| | | Зидине (15) | 0.8 -1.5 |
| | | Бољевци -Прогар (16) | 0.3 -1.0 |
| **ТИСА** | лева | Бело Блато (24) | 0.6 -1.8 |
| | | Мужља - Лукино село (25а) | 2.0 |
| | | Елемир – Арадац (25б) | 1.5 -2.5 |
| | | Тараш – Кумане (26,27) | 0.7 |
| | | Соколац (28) | без утицаја |
| | десна | Тителски Брег - Јегричка (31) | 0.3 -0.5 |
| | | Жабаљско - Чурушки рит (32) | 0.5 |
| | | Бисерно Острво (33) | 0.5 |
| | | Бечејски Доњи рит (34) | без утицаја |

Радом изграђених дренажних система заштите мелиоративних подручја елиминише се штетни утицај успора ХЕ „Ђердап 1" на формирање режима подземних вода. Снижавањем пијезометарских притисака унутар подручја и повећања дотицаја подземних вода из правца водотока у подручје долази до повећаног дотицаја у каналску мрежу, а тиме и повећања укупне количине вода које се евакуишу црпним станицама. Као резултат спроведених прорачуна струјања подземних вода дефинисано је повећање дотока подземних вода у свим осталим мелиоративним подручјима у приобаљу, односно у дренажне канале система осталих црпних станица, за различите услове водостаја Дунава и притока и рада дренажних система.

Повећано ангажовање ових црпних станица на подручју у условима успора ХЕ „Ђердап 1“ у односу на природни режим узроковано је повећаним количинама воде која се из реке инфилтрира у водоносни слој и повећаним висинама дизања код пумпања, при чему се мисли на укупну запремину воде која се црпним станицама евакуише са подручја. На основу резултата прорачуна повећања укупног месечног дотицаја у све остале дренажне системе услед успора у односу на природни режим спроведен је прорачун снаге, а затим и енергије потребне за евакуацију вода са ових подручја при различитим режимима водостаја река и рада дренажних система (као производ срачунате потребне снаге и укупног броја сати у прорачунском интервалу).

На основу наведене методологије прорачуна утицаја успора на формирање режима подземних вода на одабраним подручјима дефинисан је коефицијент утицаја успора на формирање режима подземних вода на свим мелиоративним подручјима у приобаљу ђердапске акумулације *(табела 52)*.

Овај коефицијент односи се искључиво на приобалне делове, унутар границе распростирања утицаја успора. Унутар ове границе, односно између ове границе и површинског тока, ХЕ „Ђердап 1“ је својим радом проузроковала повишење нивоа подземних вода, продужење трајања угрожености подручја и повећану експлоатацију изведених дренажних система за заштиту од успора у вредности еквивалентној наведеном коефицијенту утицаја.

Иза наведене границе распрострањења утицаја успора ђердапске акумулације, доминанту улогу на формирање режима подземних вода преузимају дотицај подземних вода из залеђа и утицај параметара вертикалног биланса. Другим речима, иза ове границе распрострањења утицаја успора рад хидроелектране ,,Ђердап 1“ нема никакав утицај на формирани режим подземних вода, односно коефицијент утицаја успора је једнак нули.

Овим прорачуном изостављена су насеља и индустријске зоне у приобаљу, који због својих специфичности треба да буду предмет посебних детаљних истраживања.

*Табела 52: Коефицијент утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“ на формирање режима подземних вода на мелиоративним подручјима у приобаљу ђердапске акумулације унутар границе распрострањења утицаја успора*

| **река/ обала** | | **брањено подручје/ насеље** | **Коефицијент евалуације утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“ ( -)** |
|---|---|---|---|
| **ДУНАВ** | десна | Винци - ушће Пека(1) | **0.99** |
| | | ушће Пека - В.Градиште(2) | **0.99** |
| | | Градиштански рит(3) | **0.98** |
| | | Градиштанско острво(4) | **0.98** |
| | | Рамско - Кличевачки рит(5) | **0.89** |
| | | Доње Костолачко острво(6) | **0.89** |
| | | Горње Костолачко острво(7) | **0.85** |
| | | Дубравичка касета(8) | **0.85** |
| | | Годоминский Рит (9) | **0.68** |
| | лева | Нера - Канал ДТД (17) | **0.94** |
| | | Дубовац - Ковин (19) | **0.79 - 0.84** |
| | | Ковин - Иваново (20) | **0.58** |
| | | Иваново – Панчево (21) | **0.50** |
| | | Панчевачки рит (22) | **0.26 - 0.46** |
| | | Книћанин - Чента (23) | **0.23** |
| | | Тителско - Гардиновачки рит (29) | **0.20** |
| | | Ковиљско - Кађки рит(30) | **0.15** |
| **САВА** | десна | Велики и Мали Макиш (10) | **0.32** |
| | | Барич -Мислођин (11) | **0.25** |
| | | Вић Бара и Забрешке ливаде (12) | **0.22** |
| | | Бело Поље и Велико Поље(13) | **0.20** |
| | | Скела -Бреска (13) | **0.16** |
| | лева | Доње поље - Јаково (14) | **0.32** |
| | | Зидине (15) | **0.25** |
| | | Бољевци -Прогар (16) | **0.20** |
| **ТИСА** | лева | Бело Блато (24) | **0.22** |
| | | Мужља - Лукино село (25а) | **0.22** |
| | | Елемир – Арадац (25б) | **0.14 -0.22** |
| | | Тараш – Кумане (26,27) | **0.11** |
| | | Соколац (28) | **без утицаја** |
| | десна | Тителски Брег - Јегричка (31) | **0,20** |
| | | Жабаљско - Чурушки рит (32) | **0,14** |
| | | Бисерно Острво (33) | **<0,1** |
| | | Бечејски Доњи рит (34) | **без утицаја** |

# IV ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

## 13. МЕСТО ПРИМЕЊЕНЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ У ПРОУЧАВАЊУ УТИЦАЈА УСПОРА НА ПРИОБАЉА РЕЧНИХ АКУМУЛАЦИЈА У СВЕТУ

Истраживања везана за утицај успора речних акумулација, насталих услед изградње и експлоатације хидроелектрана, спроведена су од стране различитих аутора широм света. Наменска истраживања су обављана углавном у циљу анализе постојећих ефеката рада хидроелектрана на режим подземних вода у приобаљу, у циљу прогнозе експлоатације у фази пројектовања хидроелектрана или за потребе решавања различитих конкретних проблема.

Као пример, у оквиру поглавља 7, издвојене су и приказане детаљне хидродинамичка анализе утицаја успора хидроелектрана Badush у Ираку, Nathan у Аустралији и Milltown у Сједињеним америчким државама на режим подземних вода у приобалним подручјима.

Методологије анализе и прорачуна утицаја успора примењене на презентованим, али и осталим ненаведеним примерима, конципиране су или на директном поређењу резултата осматрања елемената режима подземних вода пре и након формирања успора, код постојећих хидроелектрана, када се сагледава ефекат њихове експлоатације или на компарацији режима подземних вода добијених симулацијама на хидродинамичким моделима, код задатака праћења ефеката експлоатације хидроелектрана или прогнозе рада у симулираном периоду.

У оквиру докторске дисертације примењена методологија није заснована искључиво на детаљној анализи измењеног режима подземних вода успора у приобаљу акумулације хидроелектране ,,Ђердап 1“, симулацијом на хидродинамичким моделима. Примењена методологија заснована је упоредној анализи ових, али и осталих важних и узајамно посматраних елемената негативног утицаја рада хидроелектране ,,Ђердап 1“ на целокупно приобаље Дунава и притока.

У докторској дисертацији анализиране су промене режима подземних вода у осмотреном и пројектованом (успореном) и природном (неуспореном) режиму водотока кроз повишење нивоа подземних вода у приобаљу, за средње и ниске водостаје (и протицаје) површинских токова. Ове анализе не представљају новину, већ су присутне и у различитим истраживањима утицаја хидроелектрана на приобаља широм света.

У докторској дисертацији анализирана је угроженост знатно већих подручја у приобаљу формиране акумулације и продужетка угрожености претходно угрожених подручја у приобаљу., угроженост подручја може, у зависности од намене подручја, проузроковати, на небрањеним или недовољно брањеним мелиоративним подручјима, значајне штете у пољопривредној производњи, а у градовима, насељима и индустријским зонама изазвати угроженост или чак нестабилност стамбених, комерцијалних и других објеката. Анализа овог типа спроведена је у оквиру магистарског рада Аутора, на примеру утицаја успора ђердапске акумулације на проузроковање значајних штета у пољопривредној производњи на подручју Великоселског рита (општина Палилула). Анализа повећане и продужене угрожености на целом приобаљу представља логичан наставак изучавања у оквиру магистарског рада Аутора.

На крају, у докторској дисертацији анализирани су и остали елеменати измењеног режима услед успора који утичу на значајно већу експлоатацију система заштите, кроз повећање дотицаја дренажних подземних вода на црпне станице и повећање утрошка енергије на препумпавање ових дренажних вода у реципијент. Повећана количина подземних вода на мелиоративним подручјима у приобаљу проузрокује неопходност додатне заштите подручја (реконструкцијом постојећих и/или изградњом нових дренажних система).

Аутор је у презентованој методологији у дисертацији дао посебан значај анализи и компарацији ових измењених параметара режима и уврстио их је, не као допунски, већ као практично неопходни аспект проучавања утицаја успора акумулација на режим подземних вода на брањеним приобалним мелиоративним подручјима.

Аутор је наведену методологију прорачуна детаљно доказао на примеру брањених мелиоративних подручја у приобаљу акумулације хидроелектране „Ђердап 1“. Методологија је примењена на седам мелиоративних подручја у приобаљу Дунава и притока, обухватајући подручја површине 55 000 ha (половине укупне површине свих приобалних подручја). Крајњи циљ приказане методологије је реонизација и евалуација утицаја експлоатације хидроелектране „Ђердап 1“ на угроженост приобалних мелиоративних подручја.

Одрежена ограничења приказане методологије везана су првенствено за обезбеђивање што већег броја улазних параметара на основу резултата изведених истражних радова. Већи број истражних радова, равномерно распоређених по подручју истраживања омогућава израду детаљних хидродинамичких модела, а самим тим и већи квалитет резултата спроведених прорачуна. Мора се констатовати да се израдом хидродинамичких модела по прорачунским профилима (дводимензионални квази модел), израђеним у складу са обимом истражних радова на изучаваним подручјима, добија задовољавајућа, али ипак мања прецизност и нешто нижи квалитет резултата од истих при изради тродимензионалних модела. Наменска истраживања би требала да, у фази пројектовања, буду тако конципирана да омогуће израду оптималног тродимензионалног модела којим ће се сагледати сви елементи измењеног режима подземних вода, према презентованој методологији.

Важно ограничење везано је и за обезбеђивање довољног броја улазних података на основу обављених мерења и осматрања (нивоа подземних вода, водостаја река, параметара вертикалног биланса, рада дренажног система (часови рада црпних станица и нивоа воде у доводним каналима), рада експлоатационих објеката и др.). Од важности за квалитет прорачуна је обезбеђивање што дужег временског периода, са што краћим временским кораком (интервалом). Постизање оптималног броја улазних података омогућава се извођењем неопходног броја осматрања и мерења уз употребу савремених инструмената у хидрогеологији.

Неопходно је рећи и да презентована методологија има и изражен практичан значај. Он се огледа у препознавању значаја континуалне заштите ових приобалних мелиоративних подручја и евентуалне потребе реконструкције (и/или додатне изградње) постојећих система система заштите ових подручја. У практичном смислу, према предложеном процентуалном уделу евалуације утицаја успора може се дефинисати учешће хидроелектране и корисника подручја у заштити подручја.

# 14. ЗАКЉУЧАК

У оквиру докторске дисертације презентована је методологија анализе негативног утицаја акумулације настале радом хидроелектране на измену режима подземних вода у приобалним подручјима, на примеру хидроелектране „Ђердап 1“, једне од највећих и најважнијих европских хидроелектрана, изграђене на међународној реци Дунав.

Хидроенергетски и пловидбени систем (ХЕПС) „Ђердап 1", сачињен од главног објекта - хидроелектране, акумулације и приобаља, пуштен је у експлоатацију 1972. године. На узводном делу реке Дунав, формиран је успор у акумулацији (режим „68/63“) који се до данас повећавао преласком хидроелектране на више режиме успора („69.5/63“, „69.5 и више“). У актуелним условима („до коте 70.30 mnm код ушћа Нере“), при малим водама, формирани успор се простире на укупно близу 500 km приобалних површина Дунава и притока проузрокујући неповољнији режим подземних вода на приобалним подручјима, које је неопходно додатно заштитити.

Утицај успора речних акумулација, насталих услед изградње хидроелектрана, анализирана су од стране различитих аутора широм света, углавном у циљу анализе постојећих ефеката рада хидроелектрана на режим подземних вода у приобаљу, у циљу прогнозе експлоатације у фази пројектовања хидроелектрана или за потребе решавања различитих конкретних проблема.. Примењене методологије анализе и прорачуна утицаја успора базиране су или на директном поређењу резултата елемената режима подземних вода пре и након формирања успора или на компарацији режима подземних вода добијених симулацијама на хидродинамичким моделима у условима постојеће и прогнозиране (будуће) експлоатације хидроелектране.

Методологија примењена у оквиру докторске дисертације није базирана само на комплексној анализи основних елемената измењеног режима подземних вода (нивоа подземних вода, протицаја кроз водоносни слој) у приобаљу ђердапске акумулације, симулацијом на хидродинамичким моделима. Примењена методологија приказана у дисертацији базирана је на упоредној анализи више важних и узајамно посматраних елемената негативног утицаја рада

хидроелектране ,,Ђердап 1“ на целокупно приобаље Дунава и притока, као што су:

- анализа промене режима подземних вода у актуелном (успореном) у односу на природни (неуспорени) режим водотока кроз повишење нивоа подземних вода у приобаљу, за средње и ниске водостаје (и протицаје) површинских токова.

  Ове врсте анализа присутне су у различитим истраживањима утицаја хидроелектрана на приобаља широм света.
- анализа угрожености знатно већих мелиоративних подручја у приобаљу и продужетка угрожености претходно угрожених подручја у приобаљу. У зависности од намене подручја, повећана угроженост може проузроковати, на небрањеним или недовољно брањеним мелиоративним подручјима, значајне штете у пољопривредној производњи, а у насељима и градовима и индустријским зонама нефункционалност, па чак и нестабилност, стамбених и других објеката.

  Ове врсте анализа спроведене су у оквиру магистарског рада Аутора, на примеру утицаја успора ђердапске акумулације на проузроковање штета у пољопривредној производњи на приобалном подручју Великоселског рита.
- анализе значајно веће експлоатације система заштите брањених подручја, као последица повећања дотицаја дренажних подземних вода на црпне станице и повећања утрошка енергије на препумпавање ових дренажних вода са подручја у реципијент, са крајњим циљем дефинисања методологије квантификовања утицаја успора на режим подземних вода на брањеним мелиоративним подручјима.

  Давање посебног, може се рећи и примарног значаја, анализи и компарацији ових измењених параметара и дефинисање методологије прорачуна утицаја успора хидроелектране на брањена приобална подручја представља допунски аспект проучавању утицаја успора хидроелектрана на измену режима подземних вода у приобалним подручјима и представља Ауторов научни допринос овој тематици.

Ова методологија је детаљно анализирана и доказана за седам мелиоративних подручја у приобаљу ђердапске акумулације, обухватајући подручја површине 55 000 ha, што представља половину укупне површине свих приобалних подручја под утицајем успора.

Крајњи циљ докторске дисертације је реонизација и евалуација утицаја експлоатације хидроелектране „Ђердап 1“ на угроженост брањених приобалних мелиоративних подручја, на основу примењене методологије.

Наведена методологија проучавања измењеног режима подземних вода у приобалним подручјима, поред несумњивог научног доприноса, има и важан практичан значај. Он се огледа у препознавању значаја континуалне заштите ових приобалних подручја и евентуалне потребе реконструкције и/или додатне изградње постојећих система заштите ових подручја, уз могуће учешће овог субјекта и корисника подручја према процентуалном уделу дефинисаном приказаном методологијом евалуације утицаја успора.

**ЛИТЕРАТУРА:**

[1] Авакумовић Д., (1991): Хидротехничке мелиорације - одводњавање, Грађевинска књига, Београд

[2] Al -Adili A., Khasaf S., Ajaj A. (2014): Hydrological impacts of Iraqi Budush dam on groundwater, International Water Technology Journal, IWTJ Vol. 4 - N.2

[3] Alldredge, B., Moore, G., (2012): Assessment of riparian vegetation sensitivity to river hydrology downstream of a major Texas dam. River Research and Applications, doi: 10.1002/rra.2625.

[4] Andjelic, L., Pajic, P., Urosevic, U., (2012): The Influence of the HPP "Djerdap 1" on Vulnerability of Melioration Areas on the Left Bank of the Tisa River, Due to High Groundwater Levels, YWP, Budapest, Hungary, ISBN 978 -963 -87507 -8 -5, IWA -9802

[5] Anderson, M. P., and Woessner, W. W., (2002): Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport, edition 4th, New York, NY, Academic Press

[6] Anderson M., Woessner W., Hunt R., (2015): Groundwater Modeling (second edition), Elsiever Science & Technology Books, USA

[7] Бабац, Д, (1989): Примена бунара са хоризонталним дреновима, У: Хидродинамичка истраживања изворишта подземних вода, карактеристични примери, књига 2, Институт за водопривреду "Јарослав Черни", Посебна издања, Београд, 79 -178

[8] Baumgartner A, Reichel E (1975): The World Water Balance, Elsevier, Amsterdam, 1 -179

[9] Белић, С., (1989): Утицај рада црпних станица система за одводњавање на одводњавано подручје и могућност његовог планирања (докторска дисертација), Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет

[10] Berthelote A. R., (2013): Forecasting groundwater responses to dam removal, University of Montana (Dissertation)

[11] Betancur T., Palacio C.A, .Escobar J.F., (2012): Conceptual Models in Hydrogeology, Methodology and Results, InTech , ISBN 978 -93 -51 -0048 -5,

[12] Богдановић, П., Марковић, В., Долић, Д., Драгић, Д., Ракић, М., Бабовић, М., Рајчевић, Д., Поповић, В., Милошевић, Љ., (1978): ОГК, Л34 -129, Доњи Милановац, Геозавод, Београд,

[13] Богдановић, П., Миливојевић, Љ., (1985): ОГК, Л34 -116, В. Градиште, Геолошки институт, Београд

[14] Bonacci O., (1994): Оборине главна улазна величина у хидролошки циклус. Геинг, Сплит, 1 -341

[15] Борели, М., (1968): Биланс подземних вода, Југословенски комитет за међународну хидролошку деценију, Београд

[16] Борели, М., (1984): Хидраулика, Универзитет у Београду, Грађевински факултет

[17] Brassington, R., (2007): Field Hydrogeology - Third Edition, John Wiley & Son Ltd, London

[18] Bureau of Reclamation (2007): Numerical Modeling Analysis of Impacts to Groundwater in Riparian Zone South of Morelos Dam Due to Operation of Proposed Reservoir Near Drop 2 of the AllAmerican Canal.

[19] Castany, G., (1982): Principes et methodes de l'hydrologie, Dunod, France

[20] Cause, D.S. (2001) Aswan High Dam: Construction, effects on Egyptian Life and Agriculture, and Environmental Impacts.

[21] Cheng -Haw Lee Wei -Ping Chen Ru -Huang Lee, (2006): Estimation of groundwater recharge using water balance coupled with base -flow -record estimation and stable -base -flow analysis, Environmental Geology, DOI 10.1007/s00254 -006 -0305 -2

[22] Chiang, W. -H., Kinzelbach, W., Rausch, R. (1998): Aquifer Simulation Model for Windows - Groundwater flow and transport modeling, an integrated program, Berlin

[23] Chilton J, Seiler PK (2006): Groundwater occurrence and hydrogeological environments. In: Protecting Groundwater for Health, Managing the Quality of Drinking -water sources. Edited by Oliver Schmoll, Guy Howard, Joh Chilton and Ingrid Chorus, World Health Organization, 21 -47

[24] Цветковић -Мркић, С., (1995): Методе геотехничких мелиорација, Рударско - геолошки факултет Универзитета у Београду, 1 -177

[25] Чичулић, М. - Трифуновић, (1997): ОГК, Л34 -101, Инђија, Геолошки завод, Београд

[26] Чичулић, М. - Трифуновић, (1976): ОГК, Л34 -100, Нови Сад, Геолошки завод, Београд

[27] Darcy, H. (1856) Determination of the laws of water flow through sand, History of the public fountains of Dijon. Appendix – Note D, Translation by Glenn Brown and Bruno Cateni, Oklahoma State University, Stillwater, 2000.

[28] De Georges, A., Reilly, B.K. (2006): Dams and large scale irrigation on the Senegal river: impacts on man and the environment, UNDP Human Development Report.

[29] Dimkić M, Stevanović Z, Đurić D (2007): Utilization and Status of Groundwater in Serbia. In: Groundwater Management in the Danube River Basin and other Large River Basins. Proceedings Regional IWA Conference, 83 -102

[30] Dimkić M., Brauch H. J., Kavanaugh M., (2008): Groundwater Management in Large River Basins, Water Science And Technology, ISBN: 9781843391906

[31] Dimkić, D., Boreli -Zdravković, Đ., Đurić, D., Stanković, B., Pajić, P., (2011): Climate Change Impacts on Alluvial Water Sources in the Pek River Catchment Area, IWA Specialist Groundwater Conference, 08 -10 September 2011, Belgrade, Serbia, ISBN 978 -86 -82565 -31 -4, p. 361 -367, 2011.

[32] Dimkić, D., Stanković, B., Pajić, P., Prohaska, S., (2012): Capacity of an alluvial water sources due to climate change – case study of the Pek river catchment area - Serbia, Geophysical Research Abstracts, Volume 14, 9th EGU General Assembly, EGU2012 -9844, European Geosciences Union General Assembly, Vienna, Austria, 2012.

[33] Dimkić, D., Prohaska, S., Stanković, B., Pajić, P., (2013): Alluvial Water Sources in the Pek River Catchment Area Under the Climate Change Impacts of A1B Scenario, International Conference Climate Change Impacts on Water Resources, 17 -18 October 2013, Belgrade, Serbia, Publisher: Jaroslav Černi Institute for the Development of Water Resources, ISBN 978 -86 -82565 -41 -3, pp. 230 -235, 2013.

[34] Dimkić, D., Prohaska, S., Stanković, B., Pajić, P., Rudić, Ž., (2015): Uticaj klimatskih promena na vodne resurse - projekat CCWaters, rezultati pilot područja reke Pek, 17. savetovanje Srpskog društva za hidraulička istraživanja (SDHI) i Srpskog društva za hidrologiju (SDH), 5 -6. oktobar 2015., Vršac, ISBN 978 -86 - 7518 -183 -5, Izdavač: Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, rad na CD -u str. 347 -361, 2015.

[35] Domenico, P.A., Schwartz, W., (1998): Physical and Chemical Hydrogeology (Second Edition), John Wiley & Sons Ltd, USA

[36] Dotlic M., (2015): Прорчун подземног тока методом коначних запремина (докторска дисертација), Математички факултет Универзитета у Београду

[37] Драгишић, В., (1997): Општа хидрогеологија, Универзитет у Београду, Рударско - геолошки факултет, Институт за хидрогеологију

[38] Драгишић, В., Поломчић, Д., (2009): Хидрогеолошки речник, Универзитет у Београду, Рударско - геолошки факултет, Департман за хидрогеологију

[39] Драгишић, В., Живановић, В., (2014): Општа хидрогеологија, Универзитет у Београду, Рударско - геолошки факултет, Департман за хидрогеологију

[40] Driscoll GF (2003): Groundwater and Wells, Second Edition. Johnson Screeens, St. Paul, Minnesota, USA, 1 -1089

[41] Elango, L. and Jayakumar, R. (2001): Modelling in Hydrogeology, UNESCO - IHP Publication, Allied Publ., Chennai, China

[42] Филиповић, И., Радин, В., Павловић, З., Милићевић, М., Атин, Б.,(1979): ОГК, Л34 -125, Обреновац, Геозавод, Београд

[43] Филиповић, Б., (1980): Методика хидрогеолошких истраживања, Научна књига, Београд

[44] Fitts CR (2013): Groundwater Science, Second Edition, Elsevier, 1 -639

[45] Геозавод, група аутора (2003): Геоморфолошка карта Србије, Београд

[46] Gilli, E., Mangan, C., Mudry, J., (2008): Hydrogéologie - Objects, méthodes, applications, Dunod, France

[47] Gogic, P., (2003): Evaluation of agricultural land prior to and following the drainage, Journal of Agricultural Sciences, Vol 48, No 1

[48] Har M (2007): Groundwater and Seepage: Accounting for Variability. In: The Handbok of Groundwater Engineering, Second Edition, Edited by Jacques W. Delleur. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton -London -New York, 5.1 - 1.49

[49] Hiscock MK (2005) Hydrogeolgy, Principles and Practice. Blackwell Publishing, Oxford, 1 - 389

[50] Ивковић, А., (1973 - 82): Тумач за лист Панчево, Основна геолошка карта СФРЈ 1: 100 000, Савезни геолошки завод, Београд

[51] Job AC (2010): Groundwater Economics. CRC Press Taylor **&** Francis Group, Boca Raton, 1 -661

[52] Каленић, М., Хаџи -Вуковић, М., Веселиновић, М., Ракић, М., Вујисић, Т., Навала, М., Ђорђевић, М., Васиљев, М., Ракић, Б., Банковић, В., (1978): ОГК, Л34 -128, Кучево, Завод за геолошка, хидрогеолошка,геофизичка и геотехничка истраживања , Београд

[53] Коматина, М., Џаковић, М., (1975): Биланс подземних вода, Завод за геолошка и геофизичка истраживања (расправа XIII), Београд

[54] Коматина, М., (1984): Хидрогеолошка истраживања - Методе истраживања 1, Завод за геолошка и геофизичка истраживања, Београд

[55] Коматина, М., (1984): Хидрогеолошка истраживања - Методе истраживања 2, Завод за геолошка и геофизичка истраживања, Београд

[56] Коматина, М., (1984): Хидрогеолошка истраживања - Методе истраживања 3, Завод за геолошка и геофизичка истраживања, Београд

[57] Krešić N (2007): Hydrogeology and Groundwater Modeling, Second Edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, 1 -807

[58] Лазић, М., (1985): Хидрогеолошке карактеристике Мачве и Поцерине с аспекта мелиорација у пољопривреди - одводњавање и наводњавање (доктарска дисертација), Универзитет у Београду, Рударско - геолошки факултет, Институт за хидрогеологију

[59] Лазић, М., (1990): Специјална хидрогеологија 1. део, Мелиоративна хидрогеологија, Универзитет у Београду, Рударско - геолошки факултет, Институт за хидрогеологију

[60] Лазић, М., (1993): Истражно бушење у хидрогеологији, Универзитет у Београду, Рударско - геолошки факултет, Институт за хидрогеологију

[61] LaMoreaux, P., Soliman, M., Memon, B., LaMoreaux, J., Assad, F., (2008): Enviromental Hydrogeology (Second Edition), International Water Association (IWA)

[62] Lin, Q., (2011): Influence of dams on river ecosystem and its countermeasures. Journal of Water Resources and Protection, 3, 60 -66.

[63] Марковић, Б., Веселиновић, М., Обрадовић, З., Анђелковић, Ј., Атин, Б., Костадинов, Д. (1985):ОГК, Л34 -113,Београд, Завод за геолошка и геофизичка истраживања, Београд

[64] Матић, И., (2000): Hidrogeologija priobalja Dunava od Beograda do Golubca sa aspekta kvaliteta i zaštite podzemnih voda

[65] McDonald, M.G. and Harbaugh, A.W., (1988): A modular three -dimensional finite -difference groundwater flow model, book 6, U.S. Geological Survey Techniques of Water -Resources Investigations

[66] Милорадов, М., (1976): „Експертиза о заштити приобаља Дунава у условима даљег коришћења хидроенергетског потенцијала Дунава узводно од ХЕ „Ђердап I", Институт за водопривреду „Јарослав Черни", Београд

[67] Никић, З., Павловић, Р., (2012): Хидрогеологија са геоморфологијом, Универзитет у Београду, Шумарски факултет, Београд, 1 -405

[68] Николић, Ј., (2002): Испаравање воде у природним условима, Републички хидрометеоролошки завод Србије, Београд

[69] Пајић, П., (2012a): Утицај успора ХЕ "Ђердап I" на појаву штета услед високих нивоа подземних вода на подручју Великоселског рита – магистарски рад

[70] Pajic P., Andjelic L., Urosevic U., Radovanovic M., (2012b): Assessment of Vulnerability and Damages Caused to the Agricultural Production on the Area of Veliko Selo by the High Level of Groundwater on Account of the Performance of Hydroelectric Power Plant “Djerdap I”, 5th Conference on Water, Climate and Environment - BALWOIS 2012 , 28 May – 2 June 2010, Ohrid, Republic of Macedonia, ISBN 978 -608 -4510 -10 -9, rad na USB -u str. 1 -13, 2012.

[71] Pajic P., Urosevic U., (2012c): The Influence of the Hydro Power Plant "Djerdap 1" on Vulnerability of Melioration Areas on the Left Bank of the Tisa River, Due to High Groundwater Levels, 6th IWA International Conference for Young Water Professionals, 10 -13 July 2012, Budapest, Hungary, CD -ROM, Publisher: Magyar Víziközmű Szövetség, ISBN 978 -963 -87507 -8 -5, IWA -9802

[72] Pajic P., Andjelic L., Urosevic U., Polomcic D., (2014): Evaluation of Melioration Area Damage on the River Danube Caused by the HPP "Djerdap 1" Backwater, Water Science and Technology, Vol 70, No 2, pp 376–385 © IWA Publishing 2014, doi:10.2166/wst.2014.230

[73] Павловић, З., Марковић, Б., Атин, Б., Долић, Д., Гагић, Н., Марковић, О., Димитријевић, М. Н., М. Вуковић, М., (1979): ОГК, Л34 -126, Смедерево, Геозавод, Београд,

[74] Питрару, В., (1989): Генерални извештај о филтрима и филтарским конструкцијама, У: Хидродинамичка истраживања изворишта подземних вода, Карактеристични примери, књига 2, Едитори: Д. Бабац и М. Димкић, Институт за водопривреду "Јарослав Черни", Посебна издања, Београд, 33 -78

[75] Plotnikov NI (1976): Podzemnie vodi - naše bogatstvo. Nedra, Moskva, 1 -208

[76] Полић, С., (1980): Прилог проучавању ефеката система за одводњавање подунавских ритова (докторска дисертација), Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет

[77] Поломчић Д., Пушић М. (1997): Основни критеријуми за избор типа, броја и распореда водозахвата у алувијалним и терасним срединама. Геолошки анали Балканског полуострва за 1996. Стр. 385 - 392. Београд

[78] Polomcic D., Hajdin B., Stevanović Z., Bajić D., Hajdin K. (2013): Groundwater management by riverbank filtration and an infiltration channel: the case of Obrenovac, Serbia. Hydrogeology Journal, vol. 22, issue 126, DOI: 10.1007/s10040 -013 -1025 -9. Print ISSN: 1431 -2174, Online ISSN: 1435 -0157

[79] Поломчић Д., Бајић Д., Ристић Вакањац В., Чокорило Илић М. (2014): Modflow на раскршћу. Записници Српског Геолошког Друштва за 2013. годину, Српско геолошко друштво, pp. 173 -186. ISSN 0372 -9966. COBISS.SR -ID 70169095

[80] Прохаска, С., (2003): Хидрогеологија I део, Институт за водопривреду „Јарослав Черни", Београд, Рударско -геолошки факултет, Београд и Републички хидрометеоролошки завод, Београд, 1 - 428

[81] Пушић М., Бабац Д., Поломчић Д (1997): Прогноза ефеката експлоатације алувијалне издани применом математичког модела. 100 година савремене хидрогеологије у Југославији. Стр 33 -40. Београд

[82] Пушић М., (2003): Динамика подземних вода (допуњено издање), Рударско - геоошки факултет, Универзитет у Београду

[83] Pušić M., Dimkić M., 2008. Mathematical modeling, a tool for groundwater regime management, Groundwater Management in Large River Basins, Chapter 5, pp. 457 -519, IWA Publishing Alliance House, London, UK, ISBN: 1843391902.

[84] Пушић, М., (2011): Хидраулика подземних вода, Универзитет у Београду, Рударско -геолошки факултет, Департман за хидрогеологију, Београд, 1 -320

[85] Рајчевић, Д. Н., (1983):ОГК, Л34 -112, Шабац, Геозавод, Београд

[86] Ракић, М. О., (1979): ОГК, Л34 -115, Бела Црква, Геозавод, Београд

[87] Републички завод за статистику, (2012): Попис становништва у 2011. год. - књиге 10, 15 и 20, Београд

[88] Републички хидрометеоролошки завод (1990 - 2013): Метеоролошки годишњак 1, Београд

[89] Рудић, Д., (1999): Мелиорације, Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет

[90] Рудић, Д., Ђуровић, Н., (2006): Одводњавање, Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет

[91] Савезни хидрометеоролошки завод (1985 - 1989): Метеоролошки годишњак 1, Београд

[92] Seiler KP, Gat JR (2007) Groundwater Recharge from Run -off, Infiltration and Percolation, Springer, 1 -241

[93] Sun Water, 2015: Nathan Dam and Pipelines Project EIS, Australia

[94] Шеварлић М., (2015): Пољопривредно земљиште, Републички завод за статистику, Београд

[95] Tealdi, S., Camporeale, C., Ridolfi L., 2011. Modeling the impact of river damming on riparian vegetation. Journal of Hydrology, 396, 302 -312.

[96] Терзин, В., Хаџи - Вуковић, М., (1995):ОГК, Л34 -89, Зрењанин, Геолошки завод -Гемини, Београд, В. Страјин, ДП Нафтагас, Нови Сад

[97] Todd, D.K., (1980): Groundwater Hydrology, Third Edition, John Wiley & Sons, Chichester - New York, Brisbane - Toronto, Singapure

[98] Todd, D.K., Mays, W.L., (2005): Groundwater Hydrology, Third Edition, John Wiley & Sons, USA

[99] Tolman CF (1937) Ground Water, First Edition. McGraw -Hill, Book Company, Inc. New York and London, 1 -593

[100] Васиљевић, М., (1999): Могућности коришћења подземних вода за потребе водоснабдевања насеља и индустрије у Панонском басену (Банат, Бачка) - докторски рад

[101] Вујасиновић, С., (1975): Хидрогеологија приобаља реке Саве од Бољевца до Остружнице са прогнозом капацитета изворишта применом математичког моделирања

[102] Вуковић, М., (1966): A contribution to the study of groundwater regimes in two - layer porous media, Jaroslav Cerni Institute for the Development of Water Resources Announcements, No 23, pp 23 - 30, Belgrade

[103] Вуковић, М., (1967): Determination of parameters of water - bearing media and the water balance factor for two - layer and multi – layer porous media through analysis of the natural regime, Conference: Groundwater ballance, Yugoslav Committee for the International Hydrologic Decade, pp 204 -211, Belgrade

[104] Вуковић, М., Соро, А., (1991): Одређивање коефицијента филтрације преко података о гранулометријском саставу, Институт "Јарослав Черни", Посебна издања, Београд, 1 -42

[105] Вуковић, М., Соро, А., (1995): Хидраулика бунара - теорија и пракса, Институт за водопривреду „Јарослав Черни", Београд

[106] Walton, C.W.,(2007): Aquifer Test Modeling, International Water Association (IWA)

[107] WCD, 2000. Dams and development. A new framework for decision -making. The report of World Commission on Dams. ISBN: 1 -85383 -798 -9 356. London and Sterling, VA.

[108] Weight DW (2004) Manual of Applied Field Hydrogeology. McGraw -Hill

[109] Wildi, W., 2010. NEAR Curriculum in Natural Environmental Science, vol 2. , Terre et Environnement, Vol. 88, ISBN 2 -940153 -87 -6

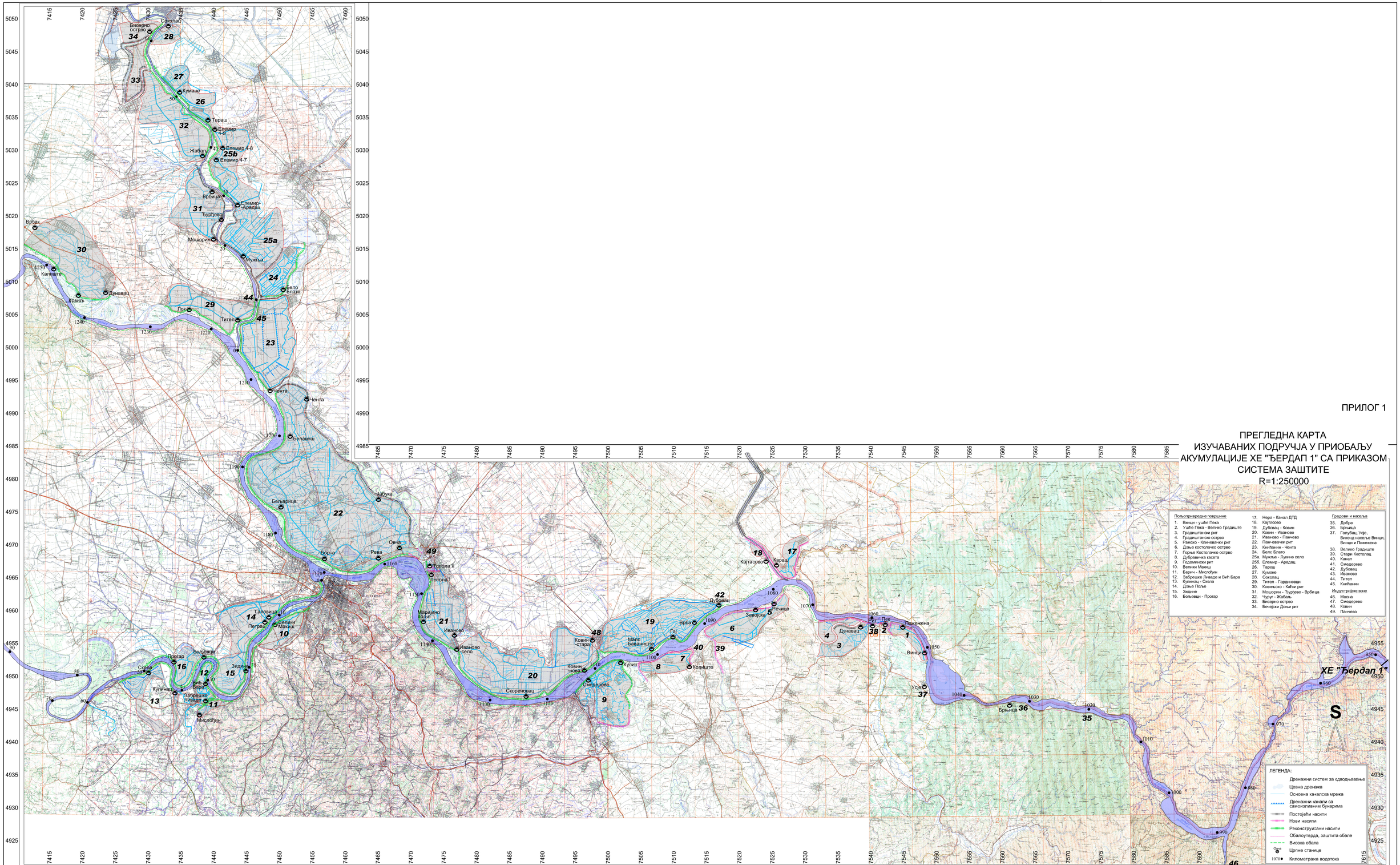
[110] Yang, X. S., (2008) : Mathematical Modelling for Earth Sciences, Dunedin Academic Press, Scotland

[111] Завод за геолошка и геофизичка истраживања (1971): ОГК, Л34 -114, Панчево, Београд

[112] Живковић, Ј., (1976): Формирање хидрогеолошких колектора у доњем току Саве као изворишта за водоснабдевање Београда - магистарски рад

ПРИЛОГ 1

ПРЕГЛЕДНА КАРТА
ИЗУЧАВАНИХ ПОДРУЧЈА У ПРИОБАЉУ
АКУМУЛАЦИЈЕ ХЕ "ЂЕРДАП 1" СА ПРИКАЗОМ
СИСТЕМА ЗАШТИТЕ
R=1:250000




Пољопривредне површине

1. Винци - ушће Пека
2. Ушће Пека - Велико Градиште
3. Градиштанско острво
4. Градиштанско острво
5. Рамско - Клинчанчки рит
6. Доње костолачко острво
7. Горње Костолачко острво
8. Дубравачка касета
9. Годоминчки рит
10. Велики Макиш
11. Барич - Мислођин
12. Забрешке Ливаде и Вић Бара
13. Купинац - Скела
14. Доње Поље
15. Зидине
16. Бољевци - Прогар
17. Мера - Канал ДТД
18. Кајтасово
19. Дубовац - Ковин
20. Ковин - Иваново
21. Иваново - Пачево
22. Пачевачки рит
23. Книћанин - Чента
24. Бело Блато
25a. Мужља - Лунино село
25b. Елемир - Арадац
26. Тараш
27. Кумане
28. Соколац
29. Тител - Гардиновци
30. Ковиљско - Кабић рит
31. Мошорин - Турјево - Врбица
32. Чуруг - Жабаљ
33. Бисерно острво
34. Бечејски Доњи рит

Градови и насеља

35. Добра
36. Брњица
37. Голубац, Усје, Виканд насеље Винци, Винци и Пожежена
38. Велико Градиште
39. Стари Костолац
40. Канал
41. Смедерево
42. Дубовац
43. Иваново
44. Тител
45. Книћанин

Индустријске зоне

46. Моска
47. Смедерево
48. Ковин
49. Пачево

ПРИЛОГ 2

ГЕОЛОШКА КАРТА
ИЗУЧАВАНИХ ПОДРУЧЈА У ПРИОБАЉУ
АКУМУЛАЦИЈЕ ХЕ "ЂЕРДАП 1"
R=1:250000









Површинске појаве

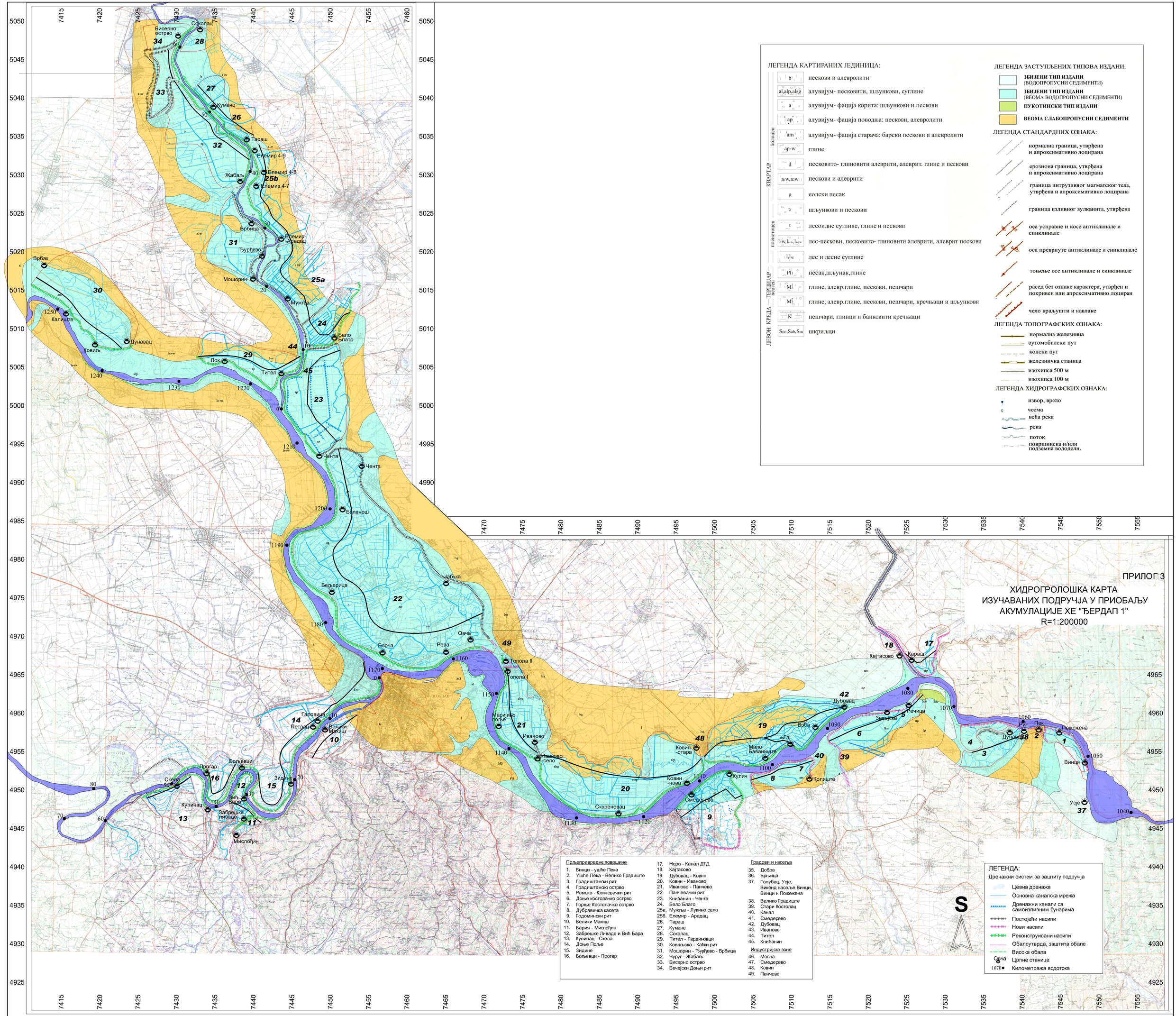
1. Винча - ушће Пека
2. Ушће Пека - Велико Градиште
3. Градиштанско рит
4. Градиштанско острво
5. Рамско - Кличевачки рит
6. Доње костолачко острво
7. Горње Костолачко острво
8. Дубравичка касета
9. Годомински рит
10. Велики Мокриш
11. Барич - Мислођин
12. Забрешке Лиласе и Вић Бара
13. Кулинац - Свила
14. Доње Поље
15. Зидине
16. Бољевци - Прогар
17. Нера - Канал ДТД
18. Кајтасово
19. Дубовац - Ковин
20. Ковин - Иваново
21. Иваново - Панчево
22. Панчевачки рит
23. Книћанин - Чента
24. Бело Блато
25a. Мужља - Луково село
25б. Елемир - Арадац
26. Тараш
27. Кумане
28. Соколац
29. Тител - Гардиновци
30. Ковилско - Кићки рит
31. Мошорин - Турбуљево - Врбица
32. Чуруг - Жабаљ
33. Бикарско острво
34. Бечејски Доњи рит

Градови и насеља

35. Добра
36. Борђеја
37. Голубац, Усје, Велико насеље Винци, Винци и Пожежена
38. Велико Градиште
39. Стари Костолац
40. Кануал
41. Смедерево
42. Дубовац
43. Иваново
44. Тител
45. Книћанин

Индустријске зоне

46. Мосна
47. Смедерево
48. Ковин
49. Панчево


Соколац
Бисерно острво
Кумане
Тараш
Елемир 4-9
Елемир 4-8
Елемир 4-7
Жабаљ
Врбица
Елемир-Арадац
Ђурђево
Мошорин
Мужља
Врбак
Калиште
Ковиљ
Дунавац
Лок
Тител
Бело Блато
Чента
Беланош
Јабука
Бељарица
Овча
Рева
Борча
Топола II
Топола I
Маријино поље
Иваново
Ивково село
Петрац
Гаповица
Велики Мајкиш
Прогар
Бољевци
Скела
Зидине
Вип Бара
Купинац
Забрешке ливаде
Мисловић
Скореновац
Смедерево
Ковин -нова
Ковин -стара
Кулич
Мало Баваниште
Врба
Гај
Дубовац
Речица
Завојска
Кајтасово
Караш
Рит
Пек
Пожежена
Дунавац
Винци
Усје
Колиште
1190
1200
1180
1170
1160
1150
1140
1130
1120
1100
1090
1080
1070
1060
1050
1040
1230
1220
1210
1240
1250
1260
1270
1280
1290
1300
1310
1320
1330
1340
1350
1360
1370
1380
1390
1400
1410
1420
1430
1440
1450
1460
1470
1480
1490
1500
1510
1520
1530
1540
1550
1560
1570
1580
1590
1600
1610
1620
1630
1640
1650
1660
1670
1680
1690
1700
1710
1720
1730
1740
1750
1760
1770
1780
1790
1800
1810
1820
1830
1840
1850
1860
1870
1880
1890
1900
1910
1920
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
2010
2020
2030
2040
2050
2060
2070
2080
2090
2100
2110
2120
2130
2140
2150
2160
2170
2180
2190
2200
2210
2220
2230
2240
2250
2260
2270
2280
2290
2300
2310
2320
2330
2340
2350
2360
2370
2380
2390
2400
2410
2420
2430
2440
2450
2460
2470
2480
2490
2500
2510
2520
2530
2540
2550
2560
2570
2580
2590
2600
2610
2620
2630
2640
2650
2660
2670
2680
2690
2700
2710
2720
2730
2740
2750
2760
2770
2780
2790
2800
2810
2820
2830
2840
2850
2860
2870
2880
2890
2900
2910
2920
2930
2940
2950
2960
2970
2980
2990
3000
3010
3020
3030
3040
3050
3060
3070
3080
3090
3100
3110
3120
3130
3140
3150
3160
3170
3180
3190
3200
3210
3220
3230
3240
3250
3260
3270
3280
3290
3300
3310
3320
3330
3340
3350
3360
3370
3380
3390
3400
3410
3420
3430
3440
3450
3460
3470
3480
3490
3500
3510
3520
3530
3540
3550
3560
3570
3580
3590
3600
3610
3620
3630
3640
3650
3660
3670
3680
3690
3700
3710
3720
3730
3740
3750
3760
3770
3780
3790
3800
3810
3820
3830
3840
3850
3860
3870
3880
3890
3900
3910
3920
3930
3940
3950
3960
3970
3980
3990
4000
4010
4020
4030
4040
4050
4060
4070
4080
4090
4100
4110
4120
4130
4140
4150
4160
4170
4180
4190
4200
4210
4220
4230
4240
4250
4260
4270
4280
4290
4300
4310
4320
4330
4340
4350
4360
4370
4380
4390
4400
4410
4420
4430
4440
4450
4460
4470
4480
4490
4500
4510
4520
4530
4540
4550
4560
4570
4580
4590
4600
4610
4620
4630
4640
4650
4660
4670
4680
4690
4700
4710
4720
4730
4740
4750
4760
4770
4780
4790
4800
4810
4820
4830
4840
4850
4860
4870
4880
4890
4900
4910
4920
4930
4940
4950
4960
4970
4980
4990
5000
5010
5020
5030
5040
5050
5060
5070
5080
5090
5100
5110
5120
5130
5140
5150
5160
5170
5180
5190
5200
5210
5220
5230
5240
5250
5260
5270
5280
5290
5300
5310
5320
5330
5340
5350
5360
5370
5380
5390
5400
5410
5420
5430
5440
5450
5460
5470
5480
5490
5500
5510
5520
5530
5540
5550
5560
5570
5580
5590
5600
5610
5620
5630
5640
5650
5660
5670
5680
5690
5700
5710
5720
5730
5740
5750
5760
5770
5780
5790
5800
5810
5820
5830
5840
5850
5860
5870
5880
5890
5900
5910
5920
5930
5940
5950
5960
5970
5980
5990
6000
6010
6020
6030
6040
6050
6060
6070
6080
6090
6100
6110
6120
6130
6140
6150
6160
6170
6180
6190
6200
6210
6220
6230
6240
6250
6260
6270
6280
6290
6300
6310
6320
6330
6340
6350
6360
6370
6380
6390
6400
6410
6420
6430
6440
6450
6460
6470
6480
6490
6500
6510
6520
6530
6540
6550
6560
6570
6580
6590
6600
6610
6620
6630
6640
6650
6660
6670
6680
6690
6700
6710
6720
6730
6740
6750
6760
6770
6780
6790
6800
6810
6820
6830
6840
6850
6860
6870
6880
6890
6900
6910
6920
6930
6940
6950
6960
6970
6980
6990
7000
7010
7020
7030
7040
7050
7060
7070
7080
7090
7100
7110
7120
7130
7140
7150
7160
7170
7180
7190
7200
7210
7220
7230
7240
7250
7260
7270
7280
7290
7300
7310
7320
7330
7340
7350
7360
7370
7380
7390
7400
7410
7420
7430
7440
7450
7460
7470
7480
7490
7500
7510
7520
7530
7540
7550
7560
7570
7580
7590
7600
7610
7620
7630
7640
7650
7660
7670
7680
7690
7700
7710
7720
7730
7740
7750
7760
7770
7780
7790
7800
7810
7820
7830
7840
7850
7860
7870
7880
7890
7900
7910
7920
7930
7940
7950
7960
7970
7980
7990
8000
8010
8020
8030
8040
8050
8060
8070
8080
8090
8100
8110
8120
8130
8140
8150
8160
8170
8180
8190
8200
8210
8220
8230
8240
8250
8260
8270
8280
8290
8300
8310
8320
8330
8340
8350
8360
8370
8380
8390
8400
8410
8420
8430
8440
8450
8460
8470
8480
8490
8500
8510
8520
8530
8540
8550
8560
8570
8580
8590
8600
8610
8620
8630
8640
8650
8660
8670
8680
8690
8700
8710
8720
8730
8740
8750
8760
8770
8780
8790
8800
8810
8820
8830
8840
8850
8860
8870
8880
8890
8900
8910
8920
8930
8940
8950
8960
8970
8980
8990
9000
9010
9020
9030
9040
9050
9060
9070
9080
9090
9100
9110
9120
9130
9140
9150
9160
9170
9180
9190
9200
9210
9220
9230
9240
9250
9260
9270
9280
9290
9300
9310
9320
9330
9340
9350
9360
9370
9380
9390
9400
9410
9420
9430
9440
9450
9460
9470
9480
9490
9500
9510
9520
9530
9540
9550
9560
9570
9580
9590
9600
9610
9620
9630
9640
9650
9660
9670
9680
9690
9700
9710
9720
9730
9740
9750
9760
9770
9780
9790
9800
9810
9820
9830
9840
9850
9860
9870
9880
9890
9900
9910
9920
9930
9940
9950
9960
9970
9980
9990
10000
10010
10020
10030
10040
10050
10060
10070
10080
10090
10100
10110
10120
10130
10140
10150
10160
10170
10180
10190
10200
10210
10220
10230
10240
10250
10260
10270
10280
10290
10300
10310
10320
10330
10340
10350
10360
10370
10380
10390
10400
10410
10420
10430
10440
10450
10460
10470
10480
10490
10500
10510
10520
10530
10540
10550
10560
10570
10580
10590
10600
10610
10620
10630
10640
10650
10660
10670
10680
10690
10700
10710
10720
10730
10740
10750
10760
10770
10780
10790
10800
10810
10820
10830
10840
10850
10860
10870
10880
10890
10900
10910
10920
10930
10940
10950
10960
10970
10980
10990
11000
11010
11020
11030
11040
11050
11060
11070
11080
11090
11100
11110
11120
11130
11140
11150
11160
11170
11180
11190
11200
11210
11220
11230
11240
11250
11260
11270
11280
11290
11300
11310
11320
11330
11340
11350
11360
11370
11380
11390
11400
11410
11420
11430
11440
11450
11460
11470
11480
11490
11500
11510
11520
11530
11540
11550
11560
11570
11580
11590
11600
11610
11620
11630
11640
11650
11660
11670
11680
11690
11700
11710
11720
11730
11740
11750
11760
11770
11780
11790
11800
11810
11820
11830
11840
11850
11860
11870
11880
11890
11900
11910
11920
11930
11940
11950
11960
11970
11980
11990
12000
12010
12020
12030
12040
12050
12060
12070
12080
12090
12100
12110
12120
12130
12140
12150
12160
12170
12180
12190
12200
12210
12220
12230
12240
12250
12260
12270
12280
12290
12300
12310
12320
12330
12340
12350
12360
12370
12380
12390
12400
12410
12420
12430
12440
12450
12460
12470
12480
12490
12500
12510
12520
12530
12540
12550
12560
12570
12580
12590
12600
12610
12620
12630
12640
12650
12660
12670
12680
12690
12700
12710
12720
12730
12740
12750
12760
12770
12780
12790
12800
12810
12820
12830
12840
12850
12860
12870
12880
12890
12900
12910
12920
12930
12940
12950
12960
12970
12980
12990
13000
13010
13020
13030
13040
13050
13060
13070
13080
13090
13100
13110
13120
13130
13140
13150
13160
13170
13180
13190
13200
13210
13220
13230
13240
13250
13260
13270
13280
13290
13300
13310
13320
13330
13340
13350
13360
13370
13380
13390
13400
13410
13420
13430
13440
13450
13460
13470
13480
13490
13500
13510
13520
13530
13540
13550
13560
13570
13580
13590
13600
13610
13620
13630
13640
13650
13660
13670
13680
13690
13700
13710
13720
13730
13740
13750
13760
13770
13780
13790
13800
13810
13820
13830
13840
13850
13860
13870
13880
13890
13900
13910
13920
13930
13940
13950
13960
13970
13980
13990
14000
14010
14020
14030
14040
14050
14060
14070
14080
14090
14100
14110
14120
14130
14140
14150
14160
14170
14180
14190
14200
14210
14220
14230
14240
14250
14260
14270
14280
14290
14300
14310
14320
14330
14340
14350
14360
14370
14380
14390
14400
14410
14420
14430
14440
14450
14460
14470
14480
14490
14500
14510
14520
14530
14540
14550
14560
14570
14580
14590
14600
14610
14620
14630
14640
14650
14660
14670
14680
14690
14700
14710
14720
14730
14740
14750
14760
14770
14780
14790
14800
14810
14820
14830
14840
14850
14860
14870
14880
14890
14900
14910
14920
14930
14940
14950
14960
14970
14980
14990
15000
15010
15020
15030
15040
15050
15060
15070
15080
15090
15100
15110
15120
15130
15140
15150
15160
15170
15180
15190
15200
15210
15220
15230
15240
15250
15260
15270
15280
15290
15300
15310
15320
15330
15340
15350
15360
15370
15380
15390
15400
15410
15420
15430
15440
15450
15460
15470
15480
15490
15500
15510
15520
15530
15540
15550
15560
15570
15580
15590
15600
15610
15620
15630
15640
15650
15660
15670
15680
15690
15700
15710
15720
15730
15740
15750
15760
15770
15780
15790
15800
15810
15820
15830
15840
15850
15860
15870
15880
15890
15900
15910
15920
15930
15940
15950
15960
15970
15980
15990
16000
16010
16020
16030
16040
16050
16060
16070
16080
16090
16100
16110
16120
16130
16140
16150
16160
16170
16180
16190
16200
16210
16220
16230
16240
16250
16260
16270
16280
16290
16300
16310
16320
16330
16340
16350
16360
16370
16380
16390
16400
16410
16420
16430
16440
16450
16460
16470
16480
16490
16500
16510
16520
16530
16540
16550
16560
16570
16580
16590
16600
16610
16620
16630
16640
16650
16660
16670
16680
16690
16700
16710
16720
16730
16740
16750
16760
16770
16780
16790
16800
16810
16820
16830
16840
16850
16860
16870
16880
16890
16900
16910
16920
16930
16940
16950
16960
16970
16980
16990
17000
17010
17020
17030
17040
17050
17060
17070
17080
17090
17100
17110
17120
17130
17140
17150
17160
17170
17180
17190
17200
17210
17220
17230
17240
17250
17260
17270
17280
17290
17300
17310
17320
17330
17340
17350
17360
17370
17380
17390
17400
17410
17420
17430
17440
17450
17460
17470
17480
17490
17500
17510
17520
17530
17540
17550
17560
17570
17580
17590
17600
17610
17620
17630
17640
17650
17660
17670
17680
17690
17700
17710
17720
17730
17740
17750
17760
17770
17780
17790
17800
17810
17820
17830
17840
17850
17860
17870
17880
17890
17900
17910
17920
17930
17940
17950
17960
17970
17980
17990
18000
18010
18020
18030
18040
18050
18060
18070
18080
18090
18100
18110
18120
18130
18140
18150
18160
18170
18180
18190
18200
18210
18220
18230
18240
18250
18260
18270
18280
18290
18300
18310
18320
18330
18340
18350
18360
18370
18380
18390
18400
18410
18420
18430
18440
18450
18460
18470
18480
18490
18500
18510
18520
18530
18540
18550
18560
18570
18580
18590
18600
18610
18620
18630
18640
18650
18660
18670
18680
18690
18700
18710
18720
18730
18740
18750
18760
18770
18780
18790
18800
18810
18820
18830
18840
18850
18860
18870
18880
18890
18900
18910
18920
18930
18940
18950
18960
18970
18980
18990
19000
19010
19020
19030
19040
19050
19060
19070
19080
19090
19100
19110
19120
19130
19140
19150
19160
19170
19180
19190
19200
19210
19220
19230
19240
19250
19260
19270
19280
19290
19300
19310
19320
19330
19340
19350
19360
19370
19380
19390
19400
19410
19420
19430
19440
19450
19460
19470
19480
19490
19500
19510
19520
19530
19540
19550
19560
19570
19580
19590
19600
19610
19620
19630
19640
19650
19660
19670
19680
19690
19700
19710
19720
19730
19740
19750
19760
19770
19780
19790
19800
19810
19820
19830
19840
19850
19860
19870
19880
19890
19900
19910
19920
19930
19940
19950
19960
19970
19980
19990
20000
20010
20020
20030
20040
20050
20060
20070
20080
20090
20100
20110
20120
20130
20140
20150
20160
20170
20180
20190
20200
20210
20220
20230
20240
20250
20260
20270
20280
20290
20300
20310
20320
20330
20340
20350
20360
20370
20380
20390
20400
20410
20420
20430
20440
20450
20460
20470
20480
20490
20500
20510
20520
20530
20540
20550
20560
20570
20580
20590
20600
20610
20620
20630
20640
20650
20660
20670
20680
20690
20700
20710
20720
20730
20740
20750
20760
20770
20780
20790
20800
20810
20820
20830
20840
20850
20860
20870
20880
20890
20900
20910
20920
20930
20940
20950
20960
20970
20980
20990
21000
21010
21020
21030
21040
21050
21060
21070
21080
21090
21100
21110
21120
21130
21140
21150
21160
21170
21180
21190
21200
21210
21220
21230
21240
21250
21260
21270
21280
21290
21300
21310
21320
21330
21340
21350
21360
21370
21380
21390
21400
21410
21420
21430
21440
21450
21460
21470
21480
21490
21500
21510
21520
21530
21540
21550
21560
21570
21580
21590
21600
21610
21620
21630
21640
21650
21660
21670
21680
21690
21700
21710
21720
21730
21740
21750
21760
21770
21780
21790
21800
21810
21820
21830
21840
21850
21860
21870
21880
21890
21900
21910
21920
21930
21940
21950
21960
21970
21980
21990
22000
22010
22020
22030
22040
22050
22060
22070
22080
22090
22100
22110
22120
22130
22140
22150
22160
22170
22180
22190
22200
22210
22220
22230
22240
22250
22260
22270
22280
22290
22300
22310
22320
22330
22340
22350
22360
22370
22380
22390
22400
22410
22420
22430
22440
22450
22460
22470
22480
22490
22500
22510
22520
22530
22540
22550
22560
22570
22580
22590
22600
22610
22620
22630
22640
22650
22660
22670
22680
22690
22700
22710
22720
22730
22740
22750
22760
22770
22780
22790
22800
22810
22820
22830
22840
22850
22860
22870
22880
22890
22900
22910
22920
22930
22940
22950
22960
22970
22980
22990
23000
23010
23020
23030
23040
23050
23060
23070
23080
23090
23100
23110
23120
23130
23140
23150
23160
23170
23180
23190
23200
23210
23220
23230
23240
23250
23260
23270
23280
23290
23300
23310
23320
23330
23340
23350
23360
23370
23380
23390
23400
23410
23420
23430
23440
23450
23460
23470
23480
23490
23500
23510
23520
23530
23540
23550
23560
23570
23580
23590
23600
23610
23620
23630
23640
23650
23660
23670
23680
23690
23700
23710
23720
23730
23740
23750
23760
23770
23780
23790
23800
23810
23820
23830
23840
23850
23860
23870
23880
23890
23900
23910
23920
23930
23940
23950
23960
23970
23980
23990
24000
24010
24020
24030
24040
24050
24060
24070
24080
24090
24100
24110
24120
24130
24140
24150
24160
24170
24180
24190
24200
24210
24220
24230
24240
24250
24260
24270
24280
24290
24300
24310
24320
24330
24340
24350
24360
24370
24380
24390
24400
24410
24420
24430
24440
24450
24460
24470
24480
24490
24500
24510
24520
24530
24540
24550
24560
24570
24580
24590
24600
24610
24620
24630
24640
24650
24660
24670
24680
24690
24700
24710
24720
24730
24740
24750
24760
24770
24780
24790
24800
24810
24820
24830
24840
24850
24860
24870
24880
24890
24900
24910
24920
24930
24940
24950
24960
24970
24980
24990
25000
25010
25020
25030
25040
25050
25060
25070
25080
25090
25100
25110
25120
25130
25140
25150
25160
25170
25180
25190
25200
25210
25220
25230
25240
25250
25260
25270
25280
25290
25300
25310
25320
25330
25340
25350
25360
25370
25380
25390
25400
25410
25420
25430
25440
25450
25460
25470
25480
25490
25500
25510
25520
25530
25540
25550
25560
25570
25580
25590
25600
25610
25620
25630
25640
25650
25660
25670
25680
25690
25700
25710
25720
25730
25740
25750
25760
25770
25780
25790
25800
25810
25820
25830
25840
25850
25860
25870
25880
25890
25900
25910
25920
25930
25940
25950
25960
25970
25980
25990
26000
26010
26020
26030
26040
26050
26060
26070
26080
26090
26100
26110
26120
26130
26140
26150
26160
26170
26180
26190
26200
26210
26220
26230
26240
26250
26260
26270
26280
26290
26300
26310
26320
26330
26340
26350
26360
26370
26380
26390
26400
26410
26420
26430
26440
26450
26460
26470
26480
26490
26500
26510
26520
26530
26540
26550
26560
26570
26580
26590
26600
26610
26620
26630
26640
26650
26660
26670
26680
26690
26700
26710
26720
26730
26740
26750
26760
26770
26780
26790
26800
26810
26820
26830
26840
26850
26860
26870
26880
26890
26900
26910
26920
26930
26940
26950
26960
26970
26980
26990
27000
27010
27020
27030
27040
27050
27060
27070
27080
27090
27100
27110
27120
27130
27140
27150
27160
27170
27180
27190
27200
27210
27220
27230
27240
27250
27260
27270
27280
27290
27300
27310
27320
27330
27340
27350
27360
27370
27380
27390
27400
27410
27420
27430
27440
27450
27460
27470
27480
27490
27500
27510
27520
27530
27540
27550
27560
27570
27580
27590
27600
27610
27620
27630
27640
27650
27660
27670
27680
27690
27700
27710
27720
27730
27740
27750
27760
27770
27780
27790
27800
27810
27820
27830
27840
27850
27860
27870
27880
27890
27900
27910
27920
27930
27940
27950
27960
27970
27980
27990
28000
28010
28020
28030
28040
28050
28060
28070
28080
28090
28100
28110
28120
28130
28140
28150
28160
28170
28180
28190
28200
28210
28220
28230
28240
28250
28260
28270
28280
28290
28300
28310
28320
28330
28340
28350
28360
28370
28380
28390
28400
28410
28420
28430
28440
28450
28460
28470
28480
28490
28500
28510
28520
28530
28540
28550
28560
28570
28580
28590
28600
28610
28620
28630
28640
28650
28660
28670
28680
28690
28700
28710
28720
28730
28740
28750
28760
28770
28780
28790
28800
28810
28820
28830
28840
28850
28860
28870
28880
28890
28900
28910
28920
28930
28940
28950
28960
28970
28980
28990
29000
29010
29020
29030
29040
29050
29060
29070
29080
29090
29100
29110
29120
29130
29140
29150
29160
29170
29180
29190
29200
29210
29220
29230
29240
29250
29260
29270
29280
29290
29300
29310
29320
29330
29340
29350
29360
29370
29380
29390
29400
29410
29420
29430
29440
29450
29460
29470
29480
29490
29500
29510
29520
29530
29540
29550
29560
29570
29580
29590
29600
29610
29620
29630
29640
29650
29660
29670
29680
29690
29700
29710
29720
29730
29740
29750
29760
29770
29780
29790
29800
29810
29820
29830
29840
29850
29860
29870
29880
29890
29900
29910
29920
29930
29940
29950
29960
29970
29980
29990
30000
30010
30020
30030
30040
30050
30060
30070
30080
30090
30100
30110
30120
30130
30140
30150
30160
30170
30180
30190
30200
30210
30220
30230
30240
30250
30260
30270
30280
30290
30300
30310
30320
30330
30340
30350
30360
30370
30380
30390
30400
30410
30420
30430
30440
30450
30460
30470
30480
30490
30500
30510
30520
30530
30540
30550
30560
30570
30580
30590
30600
30610
30620
30630
30640
30650
30660
30670
30680
30690
30700
30710
30720
30730
30740
30750
30760
30770
30780
30790
30800
30810
30820
30830
30840
30850
30860
30870
30880
30890
30900
30910
30920
30930
30940
30950
30960
30970
30980
30990
31000
31010
31020
31030
31040
31050
31060
31070
31080
31090
31100
31110
31120
31130
31140
31150
31160
31170
31180
31190
31200
31210
31220
31230
31240
31250
31260
31270
31280
31290
31300
31310
31320
31330
31340
31350
31360
31370
31380
31390
31400
31410
31420
31430
31440
31450
31460
31470
31480
31490
31500
31510
31520
31530
31540
31550
31560
31570
31580
31590
31600
31610
31620
31630
31640
31650
31660
31670
31680
31690
31700
31710
31720
31730
31740
31750
31760
31770
31780
31790
31800
31810
31820
31830
31840
31850
31860
31870
31880
31890
31900
31910
31920
31930
31940
31950
31960
31970
31980
31990
32000
32010
32020
32030
32040
32050
32060
32070
32080
32090
32100
32110
32120
32130
32140
32150
32160
32170
32180
32190
32200
32210
32220
32230
32240
32250
32260
32270
32280
32290
32300
32310
32320
32330
32340
32350
32360
32370
32380
32390
32400
32410
32420
32430
32440
32450
32460
32470
32480
32490
32500
32510
32520
32530
32540
32550
32560
32570
32580
32590
32600
32610
32620
32630
32640
32650
32660
32670
32680
32690
32700
32710
32720
32730
32740
32750
32760
32770
32780
32790
32800
32810
32820
32830
32840
32850
32860
32870
32880
32890
32900
32910
32920
32930
32940
32950
32960
32970
32980
32990
33000
33010
33020
33030
33040
33050
33060
33070
33080
33090
33100
33110
33120
33130
33140
33150
33160
33170
33180
33190
33200
33210
33220
33230
33240
33250
33260
33270
33280
33290
33300
33310
33320
33330
33340
33350
33360
33370
33380
33390
33400
33410
33420
33430
33440
33450
33460
33470
33480
33490
33500
33510
33520
33530
33540
33550
33560
33570
33580
33590
33600
33610
33620
33630
33640
33650
33660
33670
33680
33690
33700
33710
33720
33730
33740
33750
33760
33770
33780
33790
33800
33810
33820
33830
33840
33850
33860
33870
33880
33890
33900
33910
33920
33930
33940
33950
33960
33970
33980
33990
34000
34010
34020
34030
34040
34050
34060
34070
34080
34090
34100
34110
34120
34130
34140
34150
34160
34170
34180
34190
34200
34210
34220
34230
34240
34250
34260
34270
34280
34290
34300
34310
34320
34330
34340
34350
34360
34370
34380
34390
34400
34410
34420
34430
34440
34450
34460
34470
34480
34490
34500
34510
34520
34530
34540
34550
34560
34570
34580
34590
34600
34610
34620
34630
34640
34650
34660
34670
34680
34690
34700
34710
34720
34730
34740
34750
34760
34770
34780
34790
34800
34810
34820
34830
34840
34850
34860
34870
34880
34890
34900
34910
34920
34930
34940
34950
34960
34970
34980
34990
35000
35010
35020
35030
35040
35050
35060
35070
35080
35090
35100
35110
35120
35130
35140
35150
35160
35170
35180
35190
35200
35210
35220
35230
35240
35250
35260
35270
35280
35290
35300
35310
35320
35330
35340
35350
35360
35370
35380
35390
35400
35410
35420
35430
35440
35450
35460
35470
35480
35490
35500
35510
35520
35530
35540
35550
35560
35570
35580
35590
35600
35610
35620
35630
35640
35650
35660
35670
35680
35690
35700
35710
35720
35730
35740
35750
35760
35770
35780
35790
35800
35810
35820
35830
35840
35850
35860
35870
35880
35890
35900
35910
35920
35930
35940
35950
35960
35970
35980
35990
36000
36010
36020
36030
36040
36050
36060
36070
36080
36090
36100
36110
36120
36130
36140
36150
36160
36170
36180
36190
36200
36210
36220
36230
36240
36250
36260
36270
36280
36290
36300
36310
36320
36330
36340
36350
36360
36370
36380
36390
36400
36410
36420
36430
36440
36450
36460
36470
36480
36490
36500
36510
36520
36530
36540
36550
36560
36570
36580
36590
36600
36610
36620
36630
36640
36650
36660
36670
36680
36690
36700
36710
36720
36730
36740
36750
36760
36770
36780
36790
36800
36810
36820
36830
36840
36850
36860
36870
36880
36890
36900
36910
36920
36930
36940
36950
36960
36970
36980
36990
37000
37010
37020
37030
37040
37050
37060
37070
37080
37090
37100
37110
37120
37130
37140
37150
37160
37170
37180
37190
37200
37210
37220
37230
37240
37250
37260
37270
37280
37290
37300
37310
37320
37330
37340
37350
37360
37370
37380
37390
37400
37410
37420
37430
37440
37450
37460
37470
37480
37490
37500
37510
37520
37530
37540
37550
37560
37570
37580
37590
37600
37610
37620
37630
37640
37650
37660
37670
37680
37690
37700
37710
37720
37730
37740
37750
37760
37770
37780
37790
37800
37810
37820
37830
37840
37850
37860
37870
37880
37890
37900
37910
37920
37930
37940
37950
37960
37970
37980
37990
38000
38010
38020
38030
38040
38050
38060
38070
38080
38090
38100
38110
38120
38130
38140
38150
38160
38170
38180
38190
38200
38210
38220
38230
38240
38250
38260
38270
38280
38290
38300
38310
38320
38330
38340
38350
38360
38370
38380
38390
38400
38410
38420
38430
38440
38450
38460
38470
38480
38490
38500
38510
38520
38530
38540
38550
38560
38570
38580
38590
38600
38610
38620
38630
38640
38650
38660
38670
38680
38690
38700
38710
38720
38730
38740
38750
38760
38770
38780
38790
38800
38810
38820
38830
38840
38850
38860
38870
38880
38890
38900
38910
38920
38930
38940
38950
38960
38970
38980
38990
39000
39010
39020
39030
39040
39050
39060
39070
39080
39090
39100
39110
39120
39130
39140
39150
39160
39170
39180
39190
39200
39210
39220
39230
39240
39250
39260
39270
39280
39290
39300
39310
39320
39330
39340
39350
39360
39370
39380
39390
39400
39410
39420
39430
39440
39450
39460
39470
39480
39490
39500
39510
39520
39530
39540
39550
39560
39570
39580
39590
39600
39610
39620
39630
39640
39650
39660
39670
39680
39690
39700
39710
39720
39730
39740
39750
39760
39770
39780
39790
39800
39810
39820
39830
39840
39850
39860
39870
39880
39890
39900
39910
39920
39930
39940
39950
39960
39970
39980
39990
40000
40010
40020
40030
40040
40050
40060
40070
40080
40090
40100
40110
40120
40130
40140
40150
40160
40170
40180
40190
40200
40210
40220
40230
40240
40250
40260
40270
40280
40290
40300
40310
40320
40330
40340
40350
40360
40370
40380
40390
40400
40410
40420
40430
40440
40450
40460
40470
40480
40490
40500
40510
40520
40530
40540
40550
40560
40570
40580
40590
40600
40610
40620
40630
40640
40650
40660
40670
40680
40690
40700
40710
40720
40730
40740
40750
40760
40770
40780
40790
40800
40810
40820
40830
40840
40850
40860
40870
40880
40890
40900
40910
40920
40930
40940
40950
40960
40970
40980
40990
41000
41010
41020
41030
41040
41050
41060
41070
41080
41090
41100
41110
41120
41130
41140
41150
41160
41170
41180
41190
41200
41210
41220
41230
41240
41250
41260
41270
41280
41290
41300
41310
41320
41330
41340
41350
41360
41370
41380
41390
41400
41410
41420
41430
41440
41450
41460
41470
41480
41490
41500
41510
41520
41530
41540
41550
41560
41570
41580
41590
41600
41610
41620
41630
41640
41650
41660
41670
41680
41690
41700
41710
41720
41730
41740
41750
41760
41770
41780
41790
41800
41810
41820
41830
41840
41850
41860
41870
41880
41890
41900
41910
41920
41930
41940
41950
41960
41970
41980
41990
42000
42010
42020
42030
42040
42050
42060
42070
42080
42090
42100
42110
42120
42130
42140
42150
42160
42170
42180
42190
42200
42210
42220
42230
42240
42250
42260
42270
42280
42290
42300
42310
42320
42330
42340
42350
42360
42370
42380
42390
42400
42410
42420
42430
42440
42450
42460
42470
42480
42490
42500
42510
42520
42530
42540
42550
42560
42570
42580
42590
42600
42610
42620
42630
42640
42650
42660
42670
42680
42690
42700
42710
42720
42730
42740
42750
42760
42770
42780
42790
42800
42810
42820
42830
42840
42850
42860
42870
42880
42890
42900
42910
42920
42930
42940
42950
42960
42970
42980
42990
43000
43010
43020
43030
43040
43050
43060
43070
43080
43090
43100
43110
43120
43130
43140
43150
43160
43170
43180
43190
43200
43210
43220
43230
43240
43250
43260
43270
43280
43290
43300
43310
43320
43330
43340
43350
43360
43370
43380
43390
43400
43410
43420
43430
43440
43450
43460
43470
43480
43490
43500
43510
43520
43530
43540
43550
43560
43570
43580
43590
43600
43610
43620
43630
43640
43650
43660
43670
43680
43690
43700
43710
43720
43730
43740
43750
43760
43770
43780
43790
43800
43810
43820
43830
43840
43850
43860
43870
43880
43890
43900
43910
43920
43930
43940
43950
43960
43970
43980
43990
44000
44010
44020
44030
44040
44050
44060
44070
44080
44090
44100
44110
44120
44130
44140
44150
44160
44170
44180
44190
44200
44210
44220
44230
44240
44250
44260
44270
44280
44290
44300
44310
44320
44330
44340
44350
44360
44370
44380
44390
44400
44410
44420
44430
44440
44450
44460
44470
44480
44490
44500
44510
44520
44530
44540
44550
44560
44570
44580
44590
44600
44610
44620
44630
44640
44650
44660
44670
44680
44690
44700
44710
44720
44730
44740
44750
44760
44770
44780
44790
44800
44810
44820
44830
44840
44850
44860
44870
44880
44890
44900
44910
44920
44930
44940
44950
44960
44970
44980
44990
45000
45010
45020
45030
45040
45050
45060
45070
45080
45090
45100
45110
45120
45130
45140
45150
45160
45170
45180
45190
45200
45210
45220
45230
45240
45250
45260
45270
45280
45290
45300
45310
45320
45330
45340
45350
45360
45370
45380
45390
45400
45410
45420
45430
45440
45450
45460
45470
45480
45490
45500
45510
45520
45530
45540
45550
45560
45570
45580
45590
45600
45610
45620
45630
45640
45650
45660
45670
45680
45690
45700
45710
45720
45730
45740
45750
45760
45770
45780
45790
45800
45810
45820
45830
45840
45850
45860
45870
45880
45890
45900
45910
45920
45930
45940
45950
45960
45970
45980
45990
46000
46010
46020
46030
46040
46050
46060
46070
46080
46090
46100
46110
46120
46130
46140
46150
46160
46170
46180
46190
46200
46210
46220
46230
46240
46250
46260
46270
46280
46290
46300
46310
46320
46330
46340
46350
46360
46370
46380
46390
46400
46410
46420
46430
46440
46450
46460
46470
46480
46490
46500
46510
46520
46530
46540
46550
46560
46570
46580
46590
46600
46610
46620
46630
46640
46650
46660
46670
46680
46690
46700
46710
46720
46730
46740
46750
46760
46770
46780
46790
46800
46810
46820
46830
46840
46850
46860
46870
46880
46890
46900
46910
46920
46930
46940
46950
46960
46970
46980
46990
47000
47010
47020
47030
47040
47050
47060
47070
47080
47090
47100
47110
47120
47130
47140
47150
47160
47170
47180
47190
47200
47210
47220
47230
47240
47250
47260
47270
47280
47290
47300
47310
47320
47330
47340
47350
47360
47370
47380
47390
47400
47410
47420
47430
47440
47450
47460
47470
47480
47490
47500
47510
47520
47530
47540
47550
47560
47570
47580
47590
47600
47610
47620
47630
47640
47650
47660
47670
47680
47690
47700
47710
47720
47730
47740
47750
47760
47770
47780
47790
47800
47810
47820
47830
47840
47850
47860
47870
47880
47890
47900
47910
47920
47930
47940
47950
47960
47970
47980
47990
48000
48010
48020
48030
48040
48050
48060
48070
48080
48090
48100
48110
48120
48130
48140
48150
48160
48170
48180
48190
48200
48210
48220
48230
48240
48250
48260
48270
48280
48290
48300
48310
48320
48330
48340
48350
48360
48370
48380
48390
48400
48410
48420
48430
48440
48450
48460
48470
48480
48490
48500
48510
48520
48530
48540
48550
48560
48570
48580
48590
48600
48610
48620
48630
48640
48650
48660
48670
48680
48690
48700
48710
48720
48730
48740
48750
48760
48770
48780
48790
48800
48810
48820
48830
48840
48850
48860
48870
48880
48890
48900
48910
48920
48930
48940
48950
48960
48970
48980
48990
49000
49010
49020
49030
49040
49050
49060
49070
49080
49090
49100
49110
49120
49130
49140
49150
49160
49170
49180
49190
49200
49210
49220
49230
49240
49250
49260
49270
49280
49290
49300
49310
49320
49330
49340
49350
49360
49370
49380
49390
49400
49410
49420
49430
49440
49450
49460
49470
49480
49490
49500
49510
49520
49530
49540
49550
49560
49570
49580
49590
49600
49610
49620
49630
49640
49650
49660
49670
49680
49690
49700
49710
49720
49730
49740
49750
49760
49770
49780
49790
49800
49810
49820
49830
49840
49850
49860
49870
49880
49890
49900
49910
49920
49930
49940
49950
49960
49970
49980
49990
50000
50010
50020
50030
50040
50050
50060
50070
50080
50090
50100
50110
50120
50130
50140
50150
50160
50170
50180
50190
50200
50210
50220
50230
50240
50250
50260
50270
50280
50290
50300
50310
50320
50330
50340
50350
50360
50370
50380
50390
50400
50410
50420
50430
50440
50450
50460
50470
50480
50490
50500
50510
50520
50530
50540
50550
50560
50570
50580
50590
50600
50610
50620
50630
50640
50650
50660
50670
50680
50690
50700
50710
50720
50730
50740
50750
50760
50770
50780
50790
50800
50810
50820
50830
50840
50850
50860
50870
50880
50890
50900
50910
50920
50930
50940
50950
50960
50970
50980
50990
51000
51010
51020
51030
51040
51050
51060
51070
51080
51090
51100
51110
51120
51130
51140
51150
51160
51170
51180
51190
51200
51210
51220
51230
51240
51250
51260
51270
51280
51290
51300
51310
51320
51330
51340
51350
51360
51370
51380
51390
51400
51410
51420
51430
51440
51450
51460
51470
51480
51490
51500
51510
51520
51530
51540
51550
51560
51570
51580
51590
51600
51610
51620
51630
51640
51650
51660
51670
51680
51690
51700
51710
51720
51730
51740
51750
51760
51770
51780
51790
51800
51810
51820
51830
51840
51850
51860
51870
51880
51890
51900
51910
51920
51930
51940
51950
51960
51970
51980
51990
52000
52010
52020
52030
52040
52050
52060
52070
52080
52090
52100
52110
52120
52130
52140
52150
52160
52170
52180
52190
52200
52210
52220
52230
52240
52250
52260
52270
52280
52290
52300
52310
52320
52330
52340
52350
52360
52370
52380
52390
52400
52410
52420
52430
52440
52450
52460
52470
52480
52490
52500
52510
52520
52530
52540
52550
52560
52570
52580
52590
52600
52610
52620
52630
52640
52650
52660
52670
52680
52690
52700
52710
52720
52730
52740
52750
52760
52770
52780
52790
52800
52810
52820
52830
52840
52850
52860
52870
52880
52890
52900
52910
52920
52930
52940

# ПРИЛОГ 4

## КАРТА ЕВАЛУАЦИЈЕ УТИЦАЈА УСПОРА ХЕ „ЂЕРДАП 1" НА ФОРМИРАЊЕ РЕЖИМА ПОДЗЕМНИХ ВОДА У ПРИОБАЉУ ДУНАВА И ПРИТОКА

R=1:200000

**Пољопривредне површине**

1. Винци - ушће Пека
2. Ушће Пека - Велико Градиште
3. Градштански рит
4. Градштанско острво
5. Рамско - Кличевачки рит
6. Доње костолачко острво
7. Горње Костолачко острво
8. Дубравичка касета
9. Годомински рит
10. Велики Мајкиш
11. Барич - Мислођин
12. Забрешке Ливаде и Вић Бара
13. Купинац - Скела
14. Доње Поље - Јаково
15. Зидине
16. Бољевци - Прогар
17. Нера - Канал ДТД
18. Кајтасово
19. Дубовац - Ковин
20. Ковин - Иваново
21. Иваново - Панчево
22. Панчевачки рит
23. Книћанин - Чента
24. Бело Блато
25a. Мужља - Лукино село
25б. Елемир - Арадац
26. Тараш
27. Кумане
28. Сокалац
29. Тител - Гардиновци
30. Ковиљско - Качки рит
31. Мошорин - Ђурђево - Врбица
32. Чуруг - Жабаљ
33. Бисерно острво
34. Бечејски Доњи рит

**Градсви и насеља**

35. Добра
36. Брњица
37. Голубац, Усће, Викенд насеље Винци, Винци и Пожежена
38. Велико Градиште
39. Стари Костолац
40. Канал
41. Смедерево
42. Дубовац
43. Иваново
44. Тител
45. Книћанин

**Индустријске зоне**

46. Мосна
47. Смедерево
48. Ковин
49. Панчево

**Проценат утицаја успора**

- ≤10%
- 11-20%
- 21-30%
- 31-40%
- 41-50%
- 51-60%
- 61-70%
- 71-80%
- 81-90%
- 91-100%

**ЛЕГЕНДА:**

- Граница утицаја успора ХЕ „Ђердап 1"
- (94%) Коефицијент утицаја успора ХЕ „Ђердап 1"

Дренажни систем за заштиту по дрчја

- Цевна дренажа
- Основна каналска мрежа
- Дренажни канали са самоизливним бунарима
- Постојећи насипи
- Нови насипи
- Реконструисани насипи
- Обалоутврда, заштита обале
- Висока обала
- Црпне станице
- 1070 Стационажа водотока

S

## СПИСАК ПРИЛОГА:

1. Прегледна карта изучаваних подручја у приобаљу акумулације ХЕ „Ђердап 1“ са приказом система заштите подручја, Р 1:250 000
2. Геолошка карта изучаваних подручја у приобаљу акумулације ХЕ „Ђердап 1“, Р 1:250 000
3. Хидрогеолошка карта изучаваних подручја у приобаљу акумулације ХЕ „Ђердап 1“, Р 1:200 000
4. Карта евалуације утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“ на формирање режима подземних вода у приобаљу Дунава и притока, Р 1:200 000

## БИОГРАФИЈА АУТОРА:

Предраг Пајић, рођен је 29.10.1975. год. у Београду. Основну школу завршио је у Београду 1990.год. Средњу електротехничку школу „Никола Тесла" - смер рачунарство завршио је у Београду 1994. год. На Рударско -геолошки факултет у Београду - геолошки одсек уписује се 1996. год. На смеру за хидрогеологију дипломирао је 2001. год.

У периоду јун - новембар 2001. год.усавршавању енглеског језика у Сједињеним Америчким државама, у оквиру студентског "Work and Travel" програма.

У периоду 2001 - 2002. год. завршио је специјалистичке једногодишње студије из области Заштите животне средине, на ААОМ -у, у организацији проф. др. Србијанке Турајлић (тадашњег помоћника министра за високо образовање у Министарству просвете и спорта).

У 2002. год. био је у „Геозаводу". Од 2003. год. запослен је у „Институту за водопривреду „Јарослав Черни"" у Београду. До данас је, у оквиру Завода за хидрогеологију и изучавање режима подземних вода, прешао пут од инжењера - приправника (преко инжењера и самосталног инжењера) до водећег инжењера Института.

Од 2006. год. члан је Савеза инжењера и техничара Србије. Стручни испит за дипломираног инжењера геологије за хидрогеологију (1072/Ge) положио је 2006. год. Лиценцу одговорног извођача радова на изради хидрогеолошких подлога (492 B211 07) добио је 2007. год. Лиценцу одговорног пројектаната хидрогеолошких подлога и објеката (392 M520 13) добио је 2013. год.

Магистарске студије завршио је на Рударско - геолошком факултету у Београду, одсек геологија (смер: хидрогеологија, област: заштита од подземних вода) на тему „Утицај успора ХЕ „Ђердап 1" на појаву штета услед високих нивоа подземних вода на подручју Великоселског рита". Ментор на изради магистарске тезе био је проф. др. Душан Поломчић. Чланови комисије били су проф. др. Веселин Драгишић и проф. др. Стеван Прохаска (председник Научног већа

,,Института за водопривреду „Јарослав Черни"“). Магистарска теза одбрањена је априла 2012.год., чиме је стекао академско звање магистар техничких наука у области геологије - заштита од подземних вода

На ,,Институту за водопривреду „Јарослав Черни"“ у Београду, у 2013. год., изабран је у научно - истраживачко звање: истраживач - сарадник.

Водио је и учествовао на преко 70 различитих пројеката, студија и анализа из области хидрогеологије, првенствено из подобласти заштите од подземних вода.

Ангажован је и као судски вештак пред Првим основним судом у Београду (на преко 150 парничних поступака везаних за анализу угрожености Великоселског рита високим нивоима подземних вода услед утицаја успора ХЕ „Ђердап 1“).

Научно - истраживачко искуство стекао је о кроз објављивање значајног број стручних и научних радова у оквиру еминентних иностраних стручних часописа или зборника радова са научних скупова. Учествовао је и излагао на више међународних конференција.

**Списак објављених научних радова:**

**Рад у водећем међународном часопису (М22)**

Pajic P., Andjelic L., Urosevic U., Polomcic D. (2014): Evaluation of Melioration Area Damage on the River Danube Caused by the HPP “Djerdap 1“ Backwater, Water Science and Technology, Vol 70, No 2, pp 376–385 © IWA Publishing 2014, doi:10.2166/wst.2014.230

**Саопштење са међународног скупа штампано у целини (М33)**

Dimkić D., Boreli-Zdravković Đ., Đurić D., Stanković B., Pajić P. (2011) : Climate Change Impacts on Alluvial Water Sources in the Pek River Catchment Area, IWA Specialist Groundwater Conference, 08-10 September 2011, Belgrade, Serbia, ISBN 978-86-82565-31-4, p. 361-367, 2011.

Pajic P., Andjelic L., Urosevic U., Radovanovic M. (2012) : Assessment of Vulnerability and Damages Caused to the Agricultural Production on the Area of Veliko Selo by the High Level of Groundwater on Account of the Performance of Hydroelectric Power Plant "Djerdap I", 5th Conference on Water, Climate and Environment - BALWOIS 2012 , 28 May – 2 June 2010, Ohrid, Republic of Macedonia, ISBN 978-608-4510-10-9, rad na USB-u str. 1-13, 2012.

Pajić P., Urošević U. (2013): The Importance of Establishing Water Source Protection Zones in Order to Prevent Groundwater Contamination (Water Source "Carina" Fluorine Contamination), International Science Conference "Reporting for Sustainability", 7-10 May 2013, Bečići, Montenegro, ISBN 978-86-7550-070-4, Publisher: The Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe, Country Office Serbia, pp. 399-404, 2013.
http://www.sciconfemc.rs/PAPERS/THE%20IMPORTANCE.pdf

Pajic P., Urosevic U. (2012) : The Influence of the Hydro Power Plant "Djerdap 1" on Vulnerability of Melioration Areas on the Left Bank of the Tisa River, Due to High Groundwater Levels, 6th IWA International Conference for Young Water Professionals, 10-13 July 2012, Budapest, Hungary, CD-ROM, Publisher: Magyar Víziközmű Szövetség, ISBN 978-963-87507-8-5, IWA-9802

Andjelic L., Pajić P., Urošević U. (2013): The Importance of Melioration Areas Protection on the Danube Riversides, under the Influence of the HPP „Djerdap 1" Slowdown, by Valorization of caused Agricultural Production Damages, IWA 5th Eastern European Young and Senior Water Professionals Conference, Part 1, 26-28 June 2013, Kiev, Ukraine, rad na CD-u str. 8-15, 2013.

Dimkić D., Prohaska S., Stanković B., Pajić P. (2013): Alluvial Water Sources in the Pek River Catchment Area Under the Climate Change Impacts of A1B Scenario, International Conference Climate Change Impacts on Water Resources, 17-18 October 2013, Belgrade, Serbia, Publisher: Jaroslav Černi Institute for the Development of Water Resources, ISBN 978-86-82565-41-3, pp. 230-235, 2013.

**Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (М34)**

Dimkić D., Stanković B., Pajić P., Prohaska S. (2012) : Capacity of an alluvial water sources due to climate change – case study of the Pek river catchment area - Serbia, Geophysical Research Abstracts, Volume 14, 9th EGU General Assembly, EGU2012-9844, European Geosciences Union General Assembly, Vienna, Austria, 2012.

**Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (М63)**

Димкић Д., Прохаска С., Станковић Б., Пајић П., Рудић Ж. (2015): Утицај климатских промена на водне ресурсе - пројекат CCWaters, резултати пилот подручја реке Пек, 17. саветовање Српског друштва за хидрауличка истраживања (СДХИ) и Српског друштва за хидрологију (СДХ), 5-6. октобар 2015., Вршац, ИСБН 978-86-7518-183-5, Издавач: Грађевински факултет Универзитета у Београду, рад на ЦД-у стр. 347-361, 2015.

# ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Потписани: Предраг Пајић

број досијеа: Г -321

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

**ЕВАЛУАЦИЈА УТИЦАЈА УСПОРА ХЕ „ЂЕРДАП 1" НА ФОРМИРАЊЕ РЕЖИМА ПОДЗЕМНИХ ВОДА У ПРИОБАЉУ ДУНАВА**

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација ни у цеиини ни у деловима није била предложена за добијание било које диплома према студијским програмима друглх високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени
- да нисам кршио ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

**Потпис докторанда:**

У Београду, 29.04.2016. год.

## ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ

| | |
|---|---|
| Име и презиме аутора: | Предраг Пајић |
| Број досијеа: | Г -321 |
| Студијски програм: | Хидрогеологија (заштита од подземних вода) |
| Наслов рада: | ЕВАЛУАЦИЈА УТИЦАЈА УСПОРА ХЕ „ЂЕРДАП 1" НА ФОРМИРАЊЕ РЕЖИМА ПОДЗЕМНИХ ВОДА У ПРИОБАЉУ ДУНАВА |
| Ментор: | Проф. др Душан Поломчић |
| Потписани: | Предраг Пајић |

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао за објављивање на порталу Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Овј лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

**Потпис докторанда:**

У Београду, 29.04.2016. год.

# ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку .Светозар Марковић" да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

**ЕВАЛУАЦИЈА УТИЦАЈА УСПОРА ХЕ „ЂЕРДАП 1" НА ФОРМИРАЊЕ РЕЖИМА ПОДЗЕМНИХ ВОДА У ПРИОБАЉУ ДУНАВА**

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторатво - некомерцијално - без прераде
4. Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима
5. Ауторство - без прераде
6. Ауторство - делити под истим условима

(Молимо да заокружрте само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је па полеђини листа).

**Потпис докторанда:**

У Београду, 29.04.2016. год.

1. Ауторство - Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. Ауторство - некомерцијално. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. Ауторство - некомерцијално - без прераде. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопстављање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. Ауторство - без прераде. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.