



Получена: 08.01.2023 г.

Приета: 16.01.2023 г.

## ХИДРОЛОЖКИ АСПЕКТИ ПРИ ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ГОДИШНИЯ ОТТОК КЪМ ЯЗ. БЕЛМЕКЕН В УСЛОВИЯТА НА АНТРОПОГЕННИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ

С. Кирилова<sup>1</sup>

*Ключови думи:* речен отток, яз. Белмекен, воднобалансов метод, каскада „Белмекен – Сестримо – Чаура“

### РЕЗЮМЕ

Управлението на водните ресурси се базира на актуална, надеждна и достоверна информация за речния отток. Наличието на значими хидротехнически съоръжения оказват сериозно антропогенно въздействие върху формиране на естествения речен отток. Изградените над 50 на брой комплексни и значими язовири в страната оказват антропогенен натиск върху оттока. Възстановяването на естествения речен отток дава възможност за изследване на изменението му в годишен и многогодишен аспект за различни времеви периоди.

Целта на настоящото изследване е изчисляване на естествения годишен отток, формиран във водосбора на яз. „Белмекен“, в който се прехвърлят води от водосборите на р. Места и р. Струма. Анализът се основава на хидрометрични данни от ведомствената мрежа на предприятие „Язовири и каскади“ и на воднобалансовия метод. Получените месечни и годишни водни количества на р. Крива при яз. „Белмекен“ разкриват следните хидроложки характеристики за естествения годишен отток със стойност от 0,31 m<sup>3</sup>/s за период 1997 – 2020 г., почти два пъти по-малък годишен отток за периода 1961 – 1998 г. със стойност от 0,628 m<sup>3</sup>/s; ясно изразена цикличност и общ тренд към намаляване на годишните водни обеми след 2010 г.

---

<sup>1</sup> Силвия Кирилова, гл. ас. д-р инж., кат. „Хидравлика и хидрология“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: [Kirilova\\_fhe@uacg.bg](mailto:Kirilova_fhe@uacg.bg)

## 1. Въведение

Усиленото проектиране и строителство на хидроенергийни обекти на територията на Р България през периода на 50 – 70 г. на миналия век нарежда страната ни сред едни от водещите на Балканите в производството на електроенергия. През този период анализите и оценката на водните ресурси на дадена територия се базират на преки наблюдения и измервания върху речния отток, с дължина на хидроложките редове около 20 г. Въз основа на тези анализи и оценки са проектирани и построени в различни периоди от време основните каскади, като „Доспат – Въча“, „Белмекен – Сестримо – Чаира“, „Искър“, „Петрохан“ и др.

В последните десетилетия възникна актуална задача: речният отток и неговите параметри да бъдат подложени на допълнителни анализи и оценки при отчитане на породилите се условия на антропогенен натиск върху него, като в някои случаи довели до значими промени в неговия режим. Това ново предизвикателство на инженерната хидрология доведе до търсене на решения за прилагане на нови изчислителни процедури, като методите на математическото моделиране, ползване на станции аналози, сателитни наблюдения и др. Чрез прилагането на тези методи и подходи се цели речният отток и неговият воден баланс да достигнат максимална съотносимост с неговия естествен режим.

Появата на значим антропогенен натиск върху речния отток доведе до промени и в проектните изчислителни резултати на вече изградените хидротехнически съоръжения. С оглед на техните актуални експлоатационни възможности в новите условия задължително се налага прилагането на по-горе посочените методи за преизчисляване на формиращия се под този антропогенен натиск воден отток в рамките на проектно изследвания водосбор. Предвид устойчивостта на водосбора, като физически параметър до самото съоръжение, оптимизацията на експлоатационните му условия би била най-лесна и достатъчно прецизна при правилен подход и актуална оценка при формиране и акумулиране на воден ресурс в язовирното езеро. Като потвърждение на гореизложеното такива изчисления се налагат и от допълнително изградените, след въвеждане в експлоатация на язовирното съоръжение, събирателни деривации, прехвърлящи води от един водосбор към друг, какъвто е случаят със събирателните деривации „Грънчар“, „Джаферица“, „Манастирски“, „Илийна“, които улавят около  $164,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  вода, постъпваща в язовир „Белмекен“ от съседните му водосбори на р. Места и р. Струма. Язовир Белмекен е основното водохранилище за подхранване с вода на най-големия хидроенергиен комплекс в България – каскада „Белмекен – Сестримо – Чаира“.

В исторически план проектирането и изграждането на хидроенергийния комплекс е извършено на два етапа с общ период от 1964 г. до 1996 г., като първият етап обхваща проектирането и изграждането на яз. Белмекен, яз. Станкови бараки, ВЕЦ – ПАВЕЦ „Белмекен“, ВЕЦ „Сестримо“, ВЕЦ „Момина клисура“, две събирателни деривации и два изравнителя, а вторият етап с изграждането на яз. Чаира и ПАВЕЦ „Чаира“ влиза в експлоатация през 1996 г. Комплексът започва да работи с пълна експлоатационна генераторна мощност от 1599 MW, след 1997 г. В перспектива стои и въпросът за разширяването на хидроенергийния комплекс, като трети етап от строителството на каскадата с изграждането на яз. Яденица. От национално ниво и интерес на Европейската комисия е проектът за увеличаване на полезния обем на долния изравнител на ПАВЕЦ „Чаира“ чрез реверсивна връзка между построеното водохранилище на яз. Чаира и новопроектното на яз. Яденица.

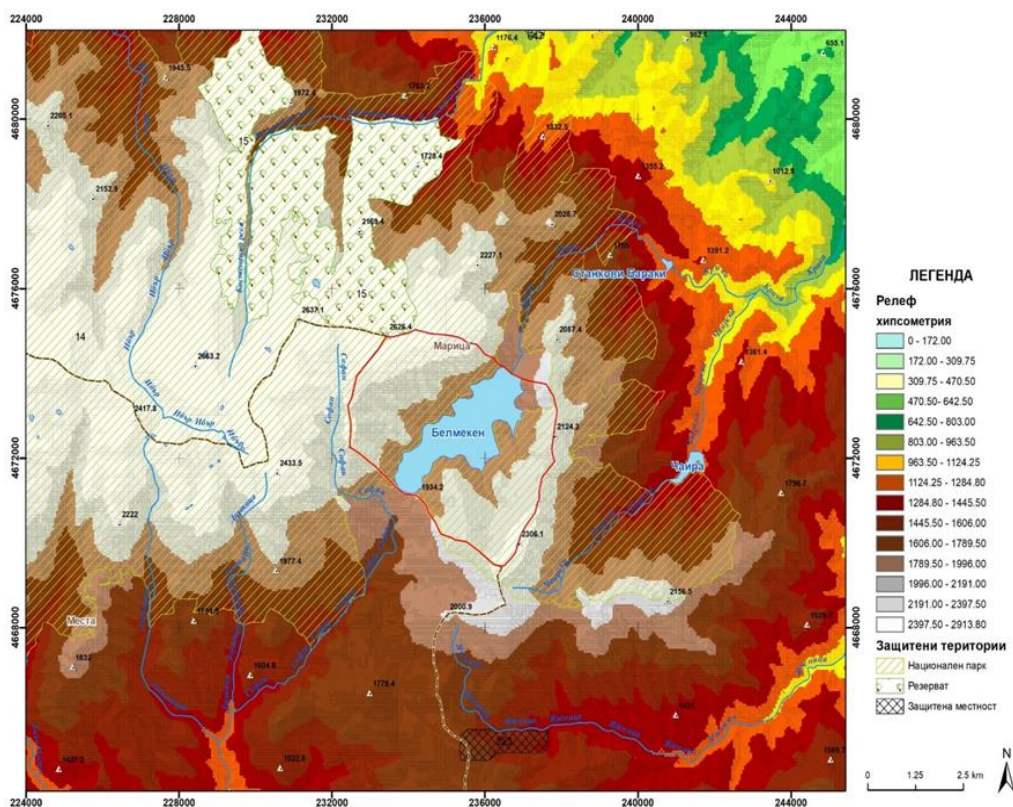
В периода на експлоатация на съоръженията, съставлящи хидроенергийния комплекс, са извършвани анализи и оценки на водния ресурс, подложен под влиянието на антропогенния натиск за цялата страна. В повечето случаи тези изследвания са се извършвали в чисто научен аспект от Мандаджиев [4] и не са обхванали цялостно изследване на речния отток, формиран във водосбора на яз. Белмекен, нито като воден ресурс, нито като вътрешно годишно разпределение на оттока. Освен тези изследвания са извършвани и други от редица автори като Панайотов, Мандаджиев, Стойчев, Гергов [5 – 8] върху генезиса, фазовото и сезонното разпределение на годишния отток, формиран в Рилския масив, както и анализ на екстремния речен отток в същия район на изследване от Зяпков, Христова, Сейменов и др. [9, 11 – 12].

Провеждането на такъв тип анализи и оценки винаги се базира на информационни масиви от данни за речния отток с различна дискретизация – дневна, месечна, сезонна и годишна стойност, както и за екстремумите на оттока. За жалост обаче наличието на такива данни в последното десетилетие е изключително оскъдно. Тяхната публичност е била достъпна чрез хидрометричните станции, издавани от БАН до 1983 г. След тази година практически би могло да се каже, че е налице реален дефицит на публични данни. Сведение за оттока и оттокообразуващите го фактори в количествен и качествен аспект за страната, включително и води, формиран в рамките на Рилския масив, могат да се намерят в изготвените и официално публикувани Генерални схеми за управление на водите [13] и в Планове за управление на речните басейни [14]. Тези публикувани документи обаче представляват резултати от разработки на отделни автори, прилагащи подходи и методи, натоварени със субективизъм, и не би следвало да се разглеждат като унифицирани или стандартизирани документи.

В настоящата разработка се предлага цялостно изследване, включващо анализ и оценка, базирани на информационни масиви, структурирани от реални данни за режима на речния отток с оглед определяне на неговите годишни параметри за р. Крива до яз. Белмекен. Изследването е извършено за различни по водност години на базата на данни от хидрометричните постове и станции на ведомственото предприятие „Язовири и Каскади“ и на данни от националната опорна мониторингова система на страната, като в някои случаи тези данни са ползвани за верификация на получените резултати. Целта на разработката е изследване на тенденциите в изменението на речните водни обеми в условията на прехвърляни речни води от съседни водосбори за периода 1997 – 2020 г.

## **2. Териториален обхват**

Настоящото изследване обхваща водосбора на яз. Белмекен, разположен във високопланинската част на Източния дял на Рила в границите на Национален парк Рила, като част от Източнобеломорския район за басейново управление на водите. Водосборът на язовира граничи на запад с водосборния басейн на р. Софан дере, част от водосбора на р. Места, а в североизточната и югоизточната част водосборът граничи с високопланинските притоци на р. Марица – Костенска река, р. Чаййска, р. Яденица. Вододелът на водосбора преминава през два високи върха на североизток през връх „Белмекен“ с н.в. 2626 m и на югоизток през връх „Славов връх“ – 2306 m, обособяващи водосбор на яз. Белмекен като един от най-високопланинските язовири в страната със средна надморска височина от 1923 m и площ на водосбора от 20 km<sup>2</sup>. Река Крива, според актуализираната типология на повърхностните водни тела, е река от алпийски тип [14].



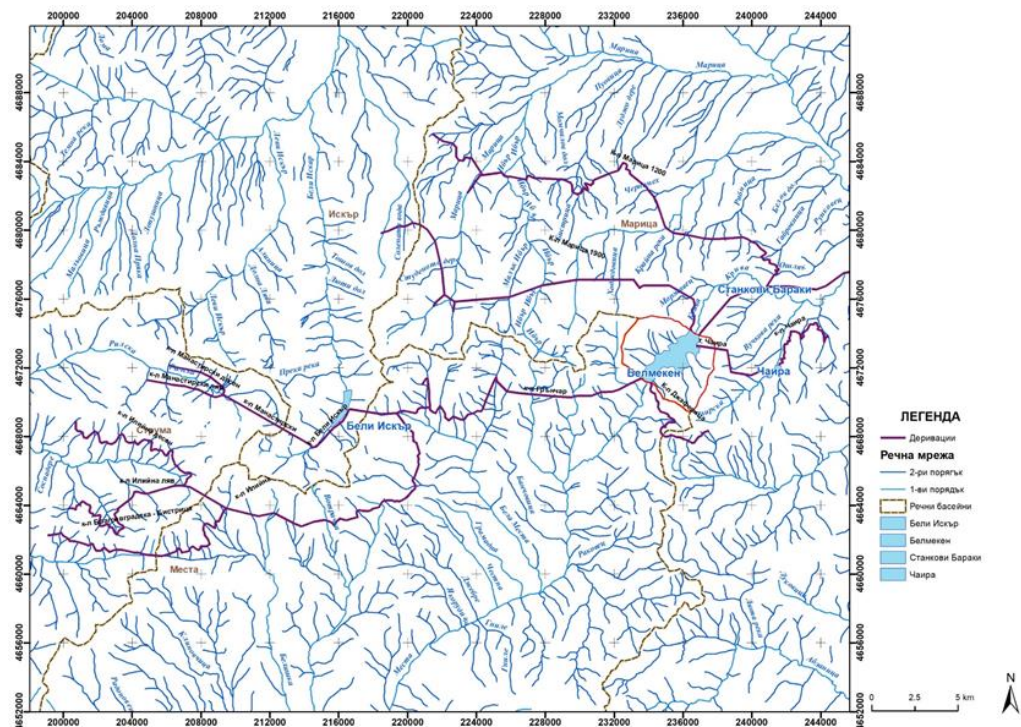
Фиг. 1. Релеф, речна мрежа и териториално разположение на яз. Белмекен

### 3. Изходна информация и методи на изследване

Методическата процедура в настоящото изследване включва определяне на устойчиви физикогеографски параметри, като граници на водосборния басейн на язовира, площ, надморска височина. Анализ и оценка на данните от наличната мониторингова система за формиране на хидроложки редове от годишни стойности на речния отток и прилагане на подходящ математически апарат за статистическа обработка на масивите от данни с оглед на достигане на резултати, максимално близки до реалния режим на оттока. Контурът на вододела на речния басейн и орографските му характеристики са генерирани в ГИС среда чрез модела HEC-geoHMS (Geospatial Hydrologic Modeling Extension). Моделът прецизно и обосновано определя орографските параметри за всеки конкретен водосборен басейн [15]. Работа на алгоритъма, реализиращ модела, е верификация на входните данни за цифров модел на релефа и генериране на растерни слоеве, необходими за по-точното отчитане и формиране на речния отток в конкретния басейн [16].

Във водосбора на яз. Белмекен и във високопланинските притоци на р. Места, р. Струма и р. Марица в последните десетилетия няма изградени и работещи хидрометрични станции от опорната национална мониторингова мрежа на страната, от които да се измерва и наблюдава речният отток, да се отразява неговото изменение и колебание във времето под действието на антропогенни въздействия. При проектирането на хидроенергийния комплекс са използвани данни от съществуващите тогава хидрометрични

станции, които след изграждането на комплекса са били закрити, и които са спомагали за анализ и оценка на водния потенциал на р. Крива и възможностите на Рилския масив за производството на електроенергия, водоснабдяване и напояване на Тракийското поле. Днес необходимите хидроложки данни за изчисляване на водостопанските изследвания на яз. Белмекен са стойностите на годишния отток, наблюдавани и измервани в мерилните участъци, стопанисвани от предприятие „Язовири и каскади“ [17]. В настоящото изследване се използват данни за речния отток от водомерните постове, разположени на изтичалото на СД „Грънчар“, на СД „Джаферица“, на СД „Марица 1900“, също така и данни от прехвърлените води към яз. „Бели Искър“ и данни от преработените води на ВЕЦ/ПАВЕЦ „Белмекен“ и ПАВЕЦ „Чаира“. Схемата на комплекса от събирателни деривации към яз. Белмекен е представена на фиг. 2.



Фиг. 2. Комплекс от събирателни деривации към яз. Белмекен

За привеждане на формирация се речен отток, постъпващ в яз. Белмекен, в максимална степен към естествения му режим са привлечени данни от ведомствената хидроложка мониторингова мрежа на предприятие „Язовири и каскади“ за период 1997 – 2020 г. От тези данни са структурирани масиви, от които с помощта на прилагането на математическия апарат е извършена оценка на водните обеми за различни нужди и цели на водостопанската система.

Подходът за получаването на естествения годишен отток и оценката на водния потенциал към яз. Белмекен се основават на балансовото уравнение на системата от събирателни деривации към яз. Белмекен и преработените води от ВЕЦ/ПАВЕЦ „Белмекен“ и ВЕЦ/ПАВЕЦ „Чаира“. В случая при използването на балансовото уравнение, което зависи от наличието и състоянието на специализирани мрежи за наблюдение на отнети и възвратни води при комплексна водностопанска система, този метод дава доб-

ри резултати при изменение на годишния отток до 10 % и на месечния до около 20 %. При наличието само на прехвърляне на води, които се измерват, методът е приложим независимо от степента на нарушаване.

За створ стена яз. Белмекен е използвано балансово уравнение „приток“ – „разход“:

$$W_{\text{пр}} = W_p, \quad (1)$$

където  $W_p$  е регистрираният отток за преработка на електроенергия през ВЕЦ/ПАВЕЦ „Белмекен“ и ВЕЦ/ПАВЕЦ „Чаира“, а

$W_{\text{пр}}$  – прехвърления или получен в/от други водосборни басейни отток (определен по наблюденията, реализирани в хидрометричните постове (ХМП) на Язовири и Каскади).

За всички хидрометрични постове се разполага с данни за регистриран отток. Разполага се с масива от данни за енергийно преработените води през ВЕЦ/ПАВЕЦ „Белмекен“ и ВЕЦ/ПАВЕЦ „Чаира“ посредством различни съоръжения. Поради това са оформени масиви от регистрирани месечни обеми вода за ХМП и масиви от месечни обеми вода за преработените води през ВЕЦ/ПАВЕЦ „Белмекен“ и ВЕЦ/ПАВЕЦ „Чаира“, които участват в балансовото уравнение.

Балансовото уравнение (1) в случая за възстановяване на естествения речен отток към яз. Белмекен е представено в следния вид:

$$W_e = W_{\text{об.пр}} - W_{\text{ВЕЦ/ПАВЕЦ "Белмекен"}} - W_{\text{пр.води}} - W_{\text{ВЕЦ "Чаира"}}, \quad (2)$$

където  $W_e$  е естественият месечен или годишен обем вода;

$W_{\text{об.пр}}$  – общият приток вода към яз. Белмекен;

$W_{\text{ВЕЦ/ПАВЕЦ "Белмекен"}}$  – обемът вода, преработен през ВЕЦ/ПАВЕЦ „Белмекен“;

$W_{\text{пр.води}}$  – обемът вода от прехвърлени води от съседни водосбори;

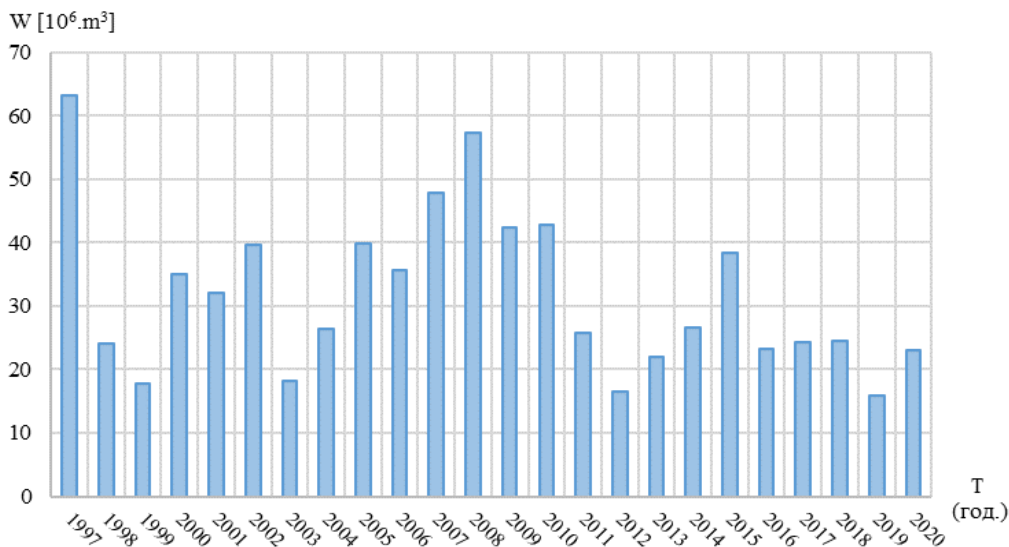
$W_{\text{ВЕЦ "Чаира"}}$  – обемът вода, преработен през ВЕЦ „Чаира“.

Всички обеми вода са в  $10^6 \text{ m}^3$ .

Чрез прилагането на уравнение (2) е формирана редица от годишни стойности на обема вода към язовир Белмекен. В хидроложката редица участва, в многогодишен аспект, обем вода от  $22 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , който се преработва от помпите на ПАВЕЦ „Чаира“ всяка година и се връща обратно в язовирното езеро в рамките на същата година. За определяне на параметрите на годишния обем при така формираната редица се използва обработка по методите на математическата статистика [18]. В инженерната хидрология статистическата обработка на хидроложката редица от годишни стойности на средния отток се състои в следната последователност [19]: построяване на ходограф за изследвания период, анализ на изходните редове за случайност и еднородност, определяне на вероятността на разпределение на случайните величини от времеви ред, изчисляване и построяване на кривата на обезпеченост. В настоящото изследване параметрите на кривата на обезпеченост са определени по логнормално разпределение на плътността на вероятностите и по метода на моментите.

## 4. Резултати

Изготвянето на хидроложки ред от стойности на годишния обем вода, като приток към яз. Белмекен, се основава и в построяването на ходографа на естествения обем вода за периода 1997 – 2020 г. Получените стойности на годишния отток към язовира показват обща тенденция към намаляване на речния отток след 2008 г. (фиг. 3). Анализирани-те хронологични колебания съответстват в голяма степен на тези на годишния речен отток за цялата страна за същия времеви интервал [20]. Много сухи години в речния басейн на р. Крива към яз. Белмекен са 1999 и 2003 г., а многоводни години – 1997, 2008 и 2015 г.



Фиг. 3. Ходограф на обем вода към яз. Белмекен

Хидроложкият ред е изследван за представителност чрез критерия на Нюман за проверка на отсъствие на значима вътрешноредова връзка между членовете на хидроложкият ред. При него се приема, че разпределението на членовете на частичната извадка е нормално разпределено и ограничава доверителната област отляво с ниво на значимост  $\alpha = 5\%$  за изпълнение на нулевата хипотеза. Проверката за случайност потвърждава, че отсъства значима вътрешноредова връзка между съседните членове на хидроложкият ред при количествена оценка  $\delta = 0,764$  с ниво на значимост при  $5\%$   $\delta\alpha = 0,665$ .

Редът се проверява и за хомогенност чрез непараметричния критерий на Уилкок-сън, който утвърждава, че две части на хидроложкият ред принадлежат на една и съща генерална съвкупност. Предимството на критерия е, че не се изисква предварителен критерий за разпределение на плътността на вероятностите за утвърждаване на нулевата хипотеза. Количествената оценка за еднородност на членовете на двете части на редицата се основава на броя на инверсиите, попадащи в доверителния интервал, ограничен двустранно със степен на значимост  $\alpha = 5\%$ . Проверката за еднородност на редицата чрез общия брой на инверсиите, попадащи в границите на доверителния интервал  $38,74 < (44;100) < 105,26$ , потвърждава, че редът е еднороден.

Извършена е и оценка на тренда чрез непараметричния критерий на Ман – Кендъл, за да се определи дали даденият времеви ред има монотонен възходящ или низходящ тренд. За оценка на нулевата хипотеза не се изисква предварително приет закон на разпределение, но се базира на корелацията между ранговете на членовете от хидроложкия ред. Значимостта на тренда се тества чрез сравняване на стандартизираната променлива  $Z$  със стандартната нормална променлива, ограничена с ниво на значимост при  $\alpha = 5\%$ . Знакът на  $Z$  показва дали трендът на изследваната хидроложка редица е възходящ или низходящ. Резултатите от изследването потвърждават, че редът е статистически значим при ниво на значимост  $\alpha = 5\% - p = 0,307 > 0,05$ , при което не се наблюдава тенденция за намаляване или увеличаване на приток в яз. Белмекен, в многогодишен аспект. Това се потвърждава и от проверката за цикличност чрез кривата на интегралните разлики на годишния отток, която ни показва цикличност в изменение на оттока с фаза на пълноводни години от 2004 г. до 2010 г. и с фаза на маловодни години от 2010 до 2020, формиращи един завършен хидроложки цикъл.



**Фиг. 4. Крива на интегралните разлики на годишния отток към яз. Белмекен за периода 1997 – 2020 г.**

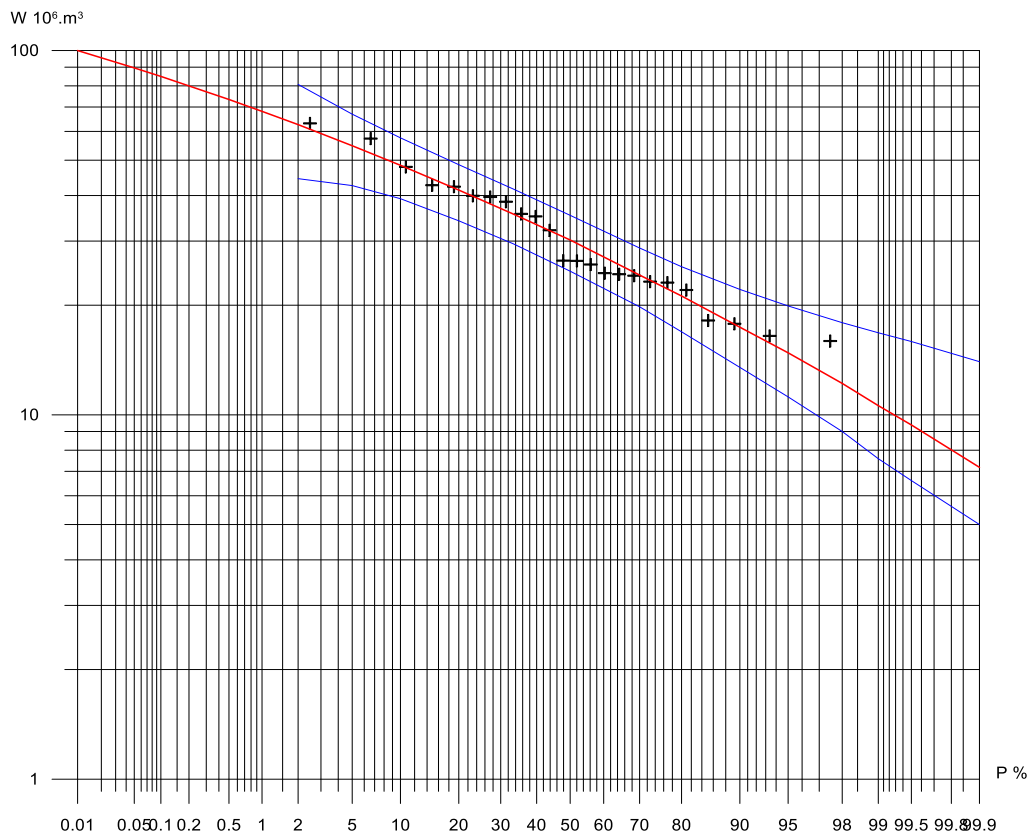
Извършените анализи и оценки показват, че хидроложкият ред е представителен и може да бъде изследван с методите на честотния анализ, който включва статистическата обработка на времеви ред.

След направената проверка за представителност и еднородност на хидроложката редица от годишни стойности на обема вода се изчислява и вероятността на разпределение на случайните величини от времеви ред.

Изчислява се и се построява кривата на обезпеченост по логнормално разпределение, Пирсон 3 тип на плътността на вероятностите, като е използван методът на моментите за изчисляване на статистическите параметри на хидроложкия ред от годишни обеми към яз. Белмекен.

Резултатите от приетия изчислителен период 1997 – 2020 г. дават следните хидроложки характеристики към яз. Белмекен: годишният обем вода е  $31,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , коефици-

циент на вариация ( $C_v$ ) 0,39 и коефициент на асиметрия ( $C_s$ ) 0,85, а получената теоретична крива е представена на фиг. 5.



**Фиг. 5. Теоретична крива на обезпеченост за годишния отток към яз. Белмекен**

Данните от теоретичната крива потвърждават голямата вариабилност на формирования вода към яз. Белмекен (обем вода с обезпеченост 0,01 % е  $100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , а с обезпеченост 99,0 % –  $10,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  (табл. 1). Водните обеми при средно суха година с обезпеченост  $P = 75\%$  е  $W = 22,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , а при суха година с  $P = 90\%$  е  $W = 16,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

**Таблица 1. Стойности на теоретична крива на обезпеченост към яз. Белмекен**

$P\%$	0,01	0,10	1,0	5,0	10,0	20,0	50,0	75,0	80,0	90,0	95,0	99,0
$W_p \cdot 10^6 \text{ m}^3$	100	84,9	68,1	54,8	48,4	41,4	30,5	22,7	21,2	16,9	14,8	10,6

Средната многогодишна стойност на естествения отток на р. Крива към яз. Белмекен за периода 1997 – 2020 г. е  $0,31 \text{ m}^3/\text{s}$  (табл. 2). Получената стойност е по-малка от годишния отток за периода 1961 – 1998 г. –  $0,628 \text{ m}^3/\text{s}$  [13] и косвено свидетелства за изменение на климатичните условия.

**Таблица 2. Хидроложки параметри на притока към яз. Белмекен**

Параметри	$W_p$	$Q_p$	$C_v$	$C_s$	Без ПАВЕЦ Чаира – 22 мил.куб (1997 – 2020 г.)	
	$10^6 \text{ m}^3$	$\text{m}^3/\text{s}$	–	–	$W_{\text{ест. Белмекен}}$	$Q_{\text{ест. Белмекен}}$
Стойност	31,8	1,01	0,39	0,85	9,81	0,31

## 5. Заключение

Резултатите от настоящото изследване дават възможност да се приеме следното: Антропогенният натиск върху режима на речния отток, изразяващ се в прехвърляне на води между съседни водосбори, динамични промени във водопотреблението – за силодобиване, напояване и водоснабдяване, доколкото те са подложени на вътрешен баланс, не оказват значимо влияние върху структурната еднородност и представителност на хидроложкия ред. При достатъчно прецизиране и анализиране на наличните данни и формирането на информационни масиви от тях, като цяло получените резултати, свързани с оценката на режима на естествения отток, са в рамките на приемливо допустимите отклонения. Тези резултати могат да бъдат използвани с достатъчна точност при проектиране, планиране и експлоатация на водните ресурси, в условия, близки до естествените. Представените в изследването резултати могат да бъдат ползвани като основа при верификация на резултати при последващи разработки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Kukov, G.* Belmeken-Sestrimo hydroelectric cascade. // Hydraulic engineering and reclamation, 1973, 3: 10 – 15.
2. *Nabatov, N.* The electric power industry of Bulgaria. // Tangra, 2015.
3. *Lubenov, N.* The hydropower sector of the Republic of Bulgaria. // Vodno delo, 2019, 3/7: 8 – 13.
4. *Mandadzhiev, D.* River water resources of Bulgaria and their change as a result of anthropogenic activity. Monograph, 1989.
5. *Gergov, G., Staikov, V.* Hydrological assessment of water resources in Rila. // Technical thought, 1996, 1: 35 – 47.
6. *Stoichev, K.* Genesis and seasonal distribution of river runoff in Rila. Annual of Sofia university “St. Kliment Ohridski”, Faculty of geology and geography, Geography, 1976, volume 70, 2: 89 – 137.
7. *Panajotov, T.* Variability of intra-annual runoff distribution, hydrological phases and hydrological seasons. // Hidrologia i meteorologia, 1972, volume XX, 59 – 83.
8. *Mandadzhiev, D. et al.* Water resources of the mountains in Bulgaria – the natural and economic potential of the mountains in Bulgaria. // BAN, 1989, 1: 175 – 241.
9. *Ziapkov, L.* Stepen na poroinost na rekite v Bulgaria. // Problems of geography, 1988, 3: 35 – 42.

10. *Hristova, N.* Parameters of high waves in high mountain watershed. Annual of Sofia university "St. Kliment Ohridski", Faculty of geology and geography, Geography, 2007, 99: 71 – 86.
11. *Hristova, N., Velichkov, I.* Minimum streamflow in alpine drainage basins in Rila mountain. // Annual of Sofia university "St. Kliment Ohridski", Faculty of geology and geography, Geography, 2017, volume 109, 2: 71 – 85.
12. *Seymenov, K.* Extremely high flow within the Alpine catchments in the Rila Mountain. // Bulgarian Geographical Society, 2019, 70: 17 – 23.
13. [http://www.vodite.com/generalni\\_shemi/generalni\\_shemi\\_vodi.html](http://www.vodite.com/generalni_shemi/generalni_shemi_vodi.html), Generalni shemi za upravljenie na rechnite basjni, posetena na 10.08.2022.
14. [https://wabd.bg/docs/plans/purb1621/01\\_Razdel\\_1\\_Harakteristiki\\_ZBR.pdf](https://wabd.bg/docs/plans/purb1621/01_Razdel_1_Harakteristiki_ZBR.pdf). Plan za upravljenie na rechnite baseyni v Iztocnoobelomorski rayon 2010 – 2015, posetena na 06.08.2022 г.
15. *Baumbach, T. et al.* Watershed Modeling Using Arc Hydro Tools, GeoHMS, and HEC-HMS. // Published by South Dakota State University (SDSU), Civil and Environmental Engineering Department, 2015, SD 57007.
16. *Kirilova, S.* Engineering – hydrological and water management aspects of the water crisis in Sofia in 1994 – 1995 year. // Dissertation work, 2008.
17. *Gergov, G., Karagjozova, Tz.* Hidrologizhki problemi v upravljenieto na vodnite resursi. // Vodno delo, 2004, 1-2: 16 – 19.
18. *Marinov, I. et al.* Hidrologichen narachnik – I chast. Tehnika, 1979.
19. [https://www.moew.government.bg/static/media/ups/tiny/file/Water/Povarhnostnivodi/Metodika/YazoviriPrilojenie\\_1/1.pdf](https://www.moew.government.bg/static/media/ups/tiny/file/Water/Povarhnostnivodi/Metodika/YazoviriPrilojenie_1/1.pdf). Metodika za opredelyane na obemi v yazovirite po prilozhenie 1 ot zakona za vodite za poemane na ochakvan pritok Tom I, prilozhenie 2 – posetena na 24.06.2022.
20. *Hristova, N. et al.* Kolebania i klimaticzna elatichnost na godishnia rechen ottok v Bulgaria. // God. Su, GTF, 2 – Geografia, 2019, 111, 63 – 73.

# ANNUAL AND MONTHLY OUTFLOW OF THE DOSPATSKA RIVER IN THE CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC IMPACTS AND CLIMATE CHANGE

S. Kirilova<sup>1</sup>

**Keywords:** *river outflow, water resources, Belmeken dam, cascade "Belmeken-Sestrimo-Chaira".*

## ABSTRACT

Water resources management is based on up-to-date, reliable, and credible information on river runoff. The presence of significant Hydraulic Engineering has a serious anthropogenic impact on the formation of the natural river outflow. More than 50 complex and significant dams built in the country exert anthropogenic pressure on the runoff. The restoration of the natural river discharge makes it possible to study its change in an annual and perennial aspect for different periods. The purpose of the present study is to calculate the natural annual outflow formed in the watershed of the Belmeken dam, into which water is transferred from the watersheds of the Mesta River and the Struma River. The analysis is based on hydrometric data from the departmental network of the "Dams and Cascades" enterprise and the water balance method. The obtained monthly and annual water quantities of the Kriva River at the Belmeken dam reveal the following hydrological characteristics for the natural annual runoff with a value of 0,31 m<sup>3</sup>/s for the period 1997 – 2020, almost twice as small as the annual outflow for the period 1961 – 1996 with a value of 0,628 m<sup>3</sup>/s; clearly expressed cyclicity and a general trend toward a decrease in annual water volumes after 2010.

---

<sup>1</sup> Silvia Kirilova, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. "Hydraulics and Hydrology", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: Kirilova\_FHE@uacg.bg