



Марко Бабић¹

Стручни рад
DOI: 10.5937/VIK25169B

УНАПРЕЂЕЊЕ ВОДОВОДНЕ ДИСТРИБУТИВЕ МРЕЖЕ У СОКОБАЊИ

Резиме: Рад приказује унапређење система водоснабдевања у Сокобањи у циљу решавања сезонских несташица узрокованих повећаном потрошњом током туристичке сезоне и смањеним капацитетом изворишта. Пројекат обухвата поделу мреже на ОЗБ, поделу прве висинске зоне на две, како би се смањио прекомерни притисак код ниско лоцираних корисника. Пројекат, такође садржи изградњу додатног резервоарског простора, као и хидраулично моделирање рада водоводног система. Предвиђена су хидрогеолошка испитивања у циљу проналажења додатних изворишта, смањење неприходоване воде и проширење обухвата услуге кроз рехабилитацију и доградњу система.

Кључне речи: водоснабдевање, ОЗБ, висинске зоне, резервоари, смањење губитака

IMPROVEMENT OF THE WATER DISTRIBUTION SYSTEM IN SOKOBANJA

Abstract: The paper presents the upgrade of the water supply system in Sokobanja to address seasonal shortages caused by increased tourist consumption and reduced source capacity. The project includes dividing the network into DMAs, splitting the first elevation zone into two to reduce excessive pressure for low-lying users, construction of additional water tank capacity, and hydraulic modeling of the water supply system. Furthermore, hydrogeological investigations are planned to identify additional water sources, reduction of non-revenue water, and expansion of service coverage through the rehabilitation and extension of the existing system.

Key Words: Water supply, DMA, elevation zones, water tanks, water loss reduction

1. Увод

Сокобања је једно од најпосећенијих одмаралишта у земљи и припада групи реномираних туристичких центара са најдужом традицијом организованог туризма.

Сокобања је позната као бања за рехабилитацију због благотворног утицаја континенталне климе, велике концентрације кисеоника, озона и негативних јона у ваздуху, одсуства загађења ваздуха, малог броја магловитих и ветровитих дана, присуства специфичних елемената у ваздуху и олигоминералне воде.

¹ Louis Berger, Београд, marko.babic@lbadria.com, ORCID: 0009-0008-2139-4914

1.1. Постојеће стање водоводног система

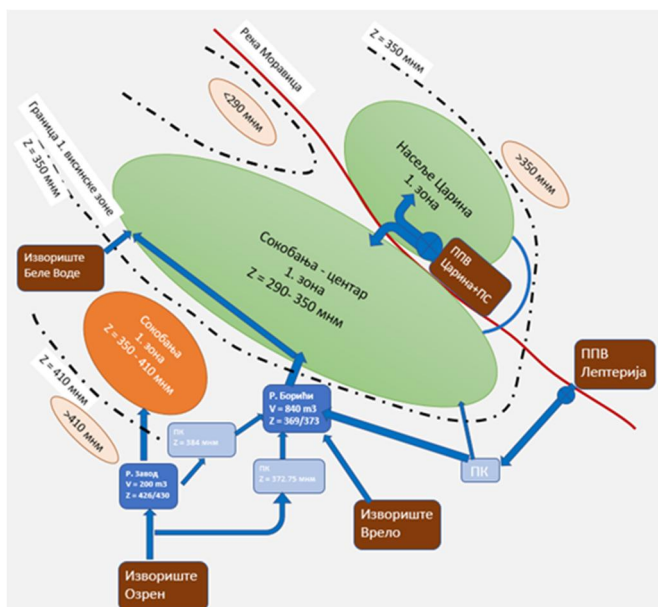
Водоводни систем Сокобање, којим управља ЈКП „Напредак“, покрива урбани део општине, односно насеље Сокобања, са покривеношћу од 95%. На слици 1. налази се шематски приказ услужног подручја, где су приказани урбано подручје Сокобање и насеље Озрен. Снабдевање водом у осталим сеоским насељима општине заснива се на локалним водоводним системима и појединачним бунарима.

Постојећу водоводну инфраструктуру чине следећи објекти:

- Изворишта
- Постројења за пречишћавање воде за пиће
- Резервоари
- Водоводна дистрибутивна мрежа.

Водоводни систем Сокобање подељен је у две висинске зоне:

- Зона 1: 290-350 m. Потрошачи прве висинске зоне се снабдевају водом са карстног извора Беле Воде и из резервоара Борићи. Такође, вишак воде из изворишта Озрен, које се користи за снабдевање водом потрошача друге висинске зоне, пласира се потрошачима прве висинске зоне преко прекидне коморе у близини резервоара „Завод“. Када потребе потрошача прве висинске зоне премаше капацитете поменутих извора, ЈКП „Напредак“ преко ППВ Царина (захват из реке Моравице) надомешта недостајућа количина воде.



Слика 1. Шема водоводног система Сокобање - постојеће стање
Figure 1. Scheme of water supply system in Sokobanja - existing state



- Зона 2: 350-410 m. Потрошачи друге висинске зоне снабдевају се водом са извора Озрен, одакле вода прво гравитационо дотиче у резервоар „Завод“, одакле се даље пласира потрошачима ове зоне.

Постоје два резервоара воде - „Борићи“ и „Завод“, као део водоводне мреже у Сокобањи. Капацитет ова два резервоара је следећи:

- Борићи (Зона 1) – 2 x 420 m³
- Завод (Зона 2) – 200 m³.

Дужина водоводне мреже је око 41 km. Тренутно водоводни систем Сокобање броји око 3.246 прикључака који опслужују домаћинства, јавне установе (болнице, школе итд.) и комерцијалне потрошаче (хотеле и мала предузећа). У Сокобањи нема великих индустријских потрошача.

1.2. Изворишта

Потрошачи у Сокобањи снабдевају се водом из подземних и површинских извора:

- Три природна карстна извора: „Врело“, „Озрен“ и „Беле Воде“, чији капацитети значајно варирају током године (максимална издашност у току пролећних месеци и минимална издашност у току летњих месеци);
- Захват воде из реке Моравице и њено пречишћавање кроз ППВ „Царина“;
- Бунар за воду Лептерија преко ППВ „Лептерија“.

Минимална и максимална издашност изворишта је приказана у табели 1:

Табела 1. Капацитети изворишта у Сокобањи
Table 1. Yield of water sources in Sokobanja

Извориште	Тип	Максимална издашност (l/s)	Минимална издашност (l/s)
Озрен	Карстно извориште	50	12
Врело	Карстно извориште	25	6
Беле воде	Карстно извориште	20	5
Лептерија	Бунар	25 (35)*	25
Царина	Река Моравица	40	20
Укупно		160	68

* систем димензионисан на 35 l/s али због оперативних проблема лимитиран на 25 l/s

1.3. Дистрибутивна мрежа

Дистрибутивна мрежа у Сокобањи је у укупној дужини од око 41 km различитог цевног материјала и пречника који су приказани у табели 2.

Преовлађујући материјал цевовода је азбестно-цементни, који чини приближно 50% укупне дужине дистрибутивне мреже. Цеви од HDPE и PVC-а чине приближно



34%. Осим што није у складу са прописима ЕУ, велика заступљеност азбестно-цементних цеви сматра се неповољном, јер код овог материјала током времена долази до повећања броја цурења, нарочито на спојевима.

Табела 2. Дужина цеви по цевном материјалу
Table 2. Pipe lenght per pipe material

Материјал	Укупна дужина (km)	Удео (%)
Ливене цеви	0,86	2,11
Азбестно-цементне цеви	20,64	50,39
Ливено гвоздене цеви	0,06	0,14
HDPE	10,87	26,54
Починковане цеви	2,8	6,85
Челичне цеви	2,69	6,55
PVC	3,04	7,42
Укупно	40,96	100

Преовлађујући материјал ценовода је азбестно-цементни, који чини приближно 50% укупне дужине дистрибутивне мреже. Цеви од HDPE и PVC-а чине приближно 34%. Осим што није у складу са прописима ЕУ, велика заступљеност азбестно-цементних цеви сматра се неповољном, јер код овог материјала током времена долази до повећања броја цурења, нарочито на спојевима.

1.4. Структура и начин рада система водоснабдевања

Постојећи систем водоснабдевања у Сокобањи функционише на следећи начин:

- Корисници у тренутно нижој (првој) висинској зони постојећег система водоснабдевања Сокобања (обухвата преко 90% водоводног дистрибутивног система Сокобање) налазе се на надморским висинама приближно између 290 и 350 метара.
- Друга висинска зона обухвата кориснике који се налазе на надморским висинама од 350 до 410 метара.
- Прва висинска зона снабдева се водом директно са извора „Беле Воде“ (надморска висина 372,14 m) и из резервоара „Борићи“. Резервоар „Борићи“ се пуни водом са извора „Врело“ и из ППВ „Лептерија“, преко прекидне коморе (ПК) „Борићи“. Вишак воде са извора „Озрен“ (надморска висина 489,00 m), који се не користи за другу висинску зону, дистрибуира се директно у прву висинску зону преко прекидне коморе у близини резервоара „Завод“. Када потребе за водом премаше капацитете наведених изворишта, ЈКП укључује и воду из Моравице (ППВ Царина) у мрежу.
- Друга висинска зона се снабдева водом са изворишта „Озрен“, преко резервоара „Завод“. Као што је већ поменуто, вишак воде дистрибуира се преко прекидне



коморе код резервоара „Завод“ директно у дистрибутивну мрежу ниже (прве) висинске зоне.

- Пошто се вода са извора „Озрен“ и „Беле Воде“ дистрибуира гравитацијом у систем водоснабдевања Сокобање, они су стално у функцији. Доток воде са ових извора зависи од расположивих количина на самим извориштима. Када је потреба за водом већа од расположивих количина воде са наведених изворишта, укључују се пумпе на извору „Врело“, затим се активира ППВ „Лептерија“, а на крају и ППВ „Царина“.
- Вода из ППВ „Лептерија“ се пумпа из резервоара пијаће воде на коти 312 m до прекидне коморе „Сокоградска“. Из ПК „Сокоградска“ вода се гравитацијом дистрибуира до ПК „Борићи“ и даље према резервоару „Борићи“.

1.5. Неприходована вода

У склопу пројекта одрађена је свеобухватна анализа водног биланса како би се, између осталог, проценила количина неприходоване воде. У наставку ће бити презентовани само главни закључци.

Количина неприходоване воде (eng. Non-revenue water – NRW) за 2019. годину износила је 1.503.498 m³/god, што представља просечно 47,7 l/s, односно 72,7% од укупне испоручене количине воде са изворишта. Ова количина обухвата легалну нефактурисану воду, илегалну потрошњу, грешке у мерењу, грешке у процесуирању и обради података као и стварне, физичке губитке.

Обрадом података је процењено да физички губици износе 1.385.716 m³/god. Овај податак се још може презентовати и као 3.796 m³/dan, односно 3,9 m³/h.km.

Са великом извесношћу може се претпоставити да је узрок тако великих физичких губитака састав материјала цевовода у мрежи, у којој су азбестно-цементне цеви заступљене са око 50%. Код овог материјала губици воде расту током времена, посебно на спојевима. Такође, могући узрок повећаних губитака у појединим деловима система могу бити и нешто већи притисци, нарочито у зимском периоду када је потрошња воде минимална.

1.6. Водни биланс

Потребе за водом представљају кључни полазни основ за израду водног биланса, као и за пројектовање система за водоснабдевање. У овом делу биће приказане све компоненте водног биланса, узимајући у обзир све релевантне параметре који утичу на укупну потрошњу воде. У претходним поглављима приказани су подаци о издашности изворишта и губицима воде у систему, док ће у наставку бити презентовани главни потрошачи.

На основу увида и анализе базе наплате ЈКП-а, утврђено је да у Сокобањи има 3.246 регистрована потрошача, који су подељени у четири категорије: домаћинства, мала, средња и велика привреда. Наплата потрошачима врши се читањем потрошње у периоду од априла до децембра, док се паушално врши у зимском периоду. Око 8% потрошача је и даље на паушалној наплати.



За потребе прорачуна водног биланса, потрошачи су груписани у 3 категорије: становништво, хотели и предузећа и институције. Анализом главних компоненти за 3 референте године, успостављен је водни биланс који је приказан у табели 3.

Табела 3. Сумирани водни биланс за 3 узастопне године
Table 3. Summary of water balance for 3 respective years

Компонента водног биланса	Јединица	Година 1	Година 2	Година 3
Изворишта	l/s	56,2	56,2	65,5
Фактурисана потрошња домаћинство	l/s	11,8	11,9	13,9
Фактурисана потрошња хотели	l/s	2,6	3,0	2,6
Фактурисана потрошња привреда и институције	l/s	2,2	1,3	1,4
Укупно фактурисана	l/s	16,6	16,2	17,9
Неприходована вода	l/s	39,6	40,0	47,7
	%	70,5	71,2	72,7

1.7. Потребе за водом

Потребе за водом одређене су за пројектни период од 30 година. Приликом дефинисања потреба за водом, а на основу анализе података и мерења, спроведене су следеће активности:

- Демографска анализа до краја пројектног периода
- Усвојен тренд повећања прикључења на систем до 100%
- Усвојена специфична потрошња становништва од 150 l/st.dan
- Предвиђен је раст потрошње воде за туристичке капацитете и привреду
- Одређене месечне и дневне неравнотежности потрошње воде свих категорија потрошача.

Пројекција потреба за водом за усвојени пројектни период (до 2052. године) је приказана у табели 4.

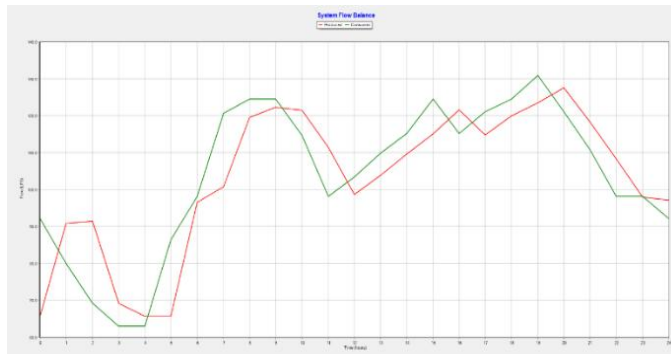
Табела 4. Потребе за водом у Сокобањи до 2052. године
Table 4. Water demand in Sokobanja until 2052. year

Компонента	Јединица	2026	2030	2040	2052
Становништво	m ³ /god.	510.497	514.096	515.114	519.880
Туризам (хотели и бање)	m ³ /god.	107.084	119.219	130.263	143.545
Привреда и институције	m ³ /god.	61.109	63.534	65.302	68.121
Потребе за водом	m ³ /god.	678.690	696.849	710.680	731.545

2. Хидраулички модел постојећег стања

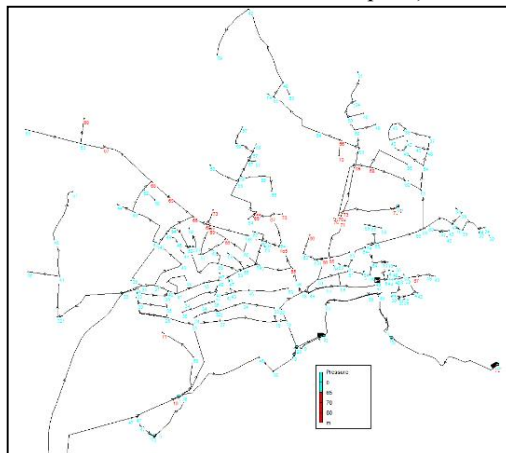
Математички модел система водоснабдевања Сокобање формиран је коришћењем софтверског пакета EPANET. Модел је формиран на основу GIS модела, уз додатно мапирање водоводне мреже, уношењем улазних података о капацитетима изворишта, цевних материјала (пречник, рапавост), резервоара (коте дна, запремина и максимални ниво), пумпних станица (Q-H крива) као и дијаграме неравномерности за све чворове. Укупни губици воде (NRW) распоређени су по чворовима математичког модела на основу врсте и старости материјала цеви, као и притиска у систему водоснабдевања.

Резултати хидрауличног модела постојећег стања приказан је на следећим графикама:



Слика 2. Водни биланс за дан са максималном потрошњом (Црвена боја - доток воде са изворишта; Зелена боја – потрошња воде у систему)

Figure 2. Water balance for day with maximum consumption (Red color – inflow from water sources; Green color – water consumption)



Слика 3. Притисци у систему за сат са најмањом потрошњом

Figure 3. Pressures in the hour with minimal demands

Хидраулички модел постојећег стања водоводног система у Сокобањи указао је на следеће проблеме:

- Концепт водоводног система није постављен адекватно, узимајући у обзир велике висинске разлике потрошача. Систем је подељен у две висинске зоне, са висинском разликом између потрошача исте висинске зоне од око 60 m, што се сматра превеликим;
- Недовољна количина резервоарског простора за покривање неравномерности између дотока и потрошње. Тренутно, резервоарски простор чини само 12% од максималне дневне потребе за водом, што је nedovoljno. Резервоар „Борићи“ је углавном празан, поготову у летњем периоду, тако да резервоарски простор као и да не постоји. Такође, притисци у нижим деловима прве висинске зоне су велики (зими до 8 бара) што доводи до честог пуцања цеви;
- Будући да је Сокобања туристичко место, пик туристичке сезоне (август) се поклапа са минималном издашношћу изворишта, што доводи до несташица воде.

3. Успостављање новог концепта водоснабдевања

Узимајући претходно наведене проблеме у функционисању водоводног система у Сокобањи, извршено је ново зонирање система, које је диктирала постојећа инфраструктура, односно позиција резервоара. Услед високог положаја резервоара „Борићи“, који служи за снабдевање прве висинске зоне, иста је подељена на нове две зоне:

- Зона 1: 290 – 315 m
- Зона 2: 315 – 345 m
- Зона 3: 345 – 400 m

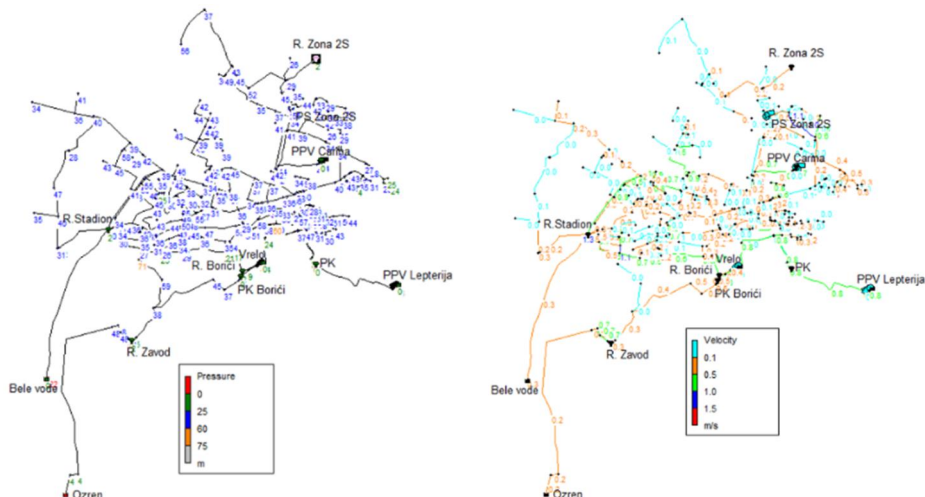


Слика 4. Шема новог концепта водоснабдевања у Сокобањи
Figure 4. New concept of water supply in Sokobanja

Зона 3 остала је непромењена, узимајући у обзир положај резервоара „Завод“ као и чињенице да се у овој зони налази мали број потрошача, те да није предвиђен пораст становништва у будућности. Такође, како би нове зоне 1 и 2 биле континуирано снабдеване водом за пиће, предвиђена је изградња два нова резервоара: резервоар „Стадион“, $V=1.500 \text{ m}^3$ и резервоар „Царина 2“, $V=200 \text{ m}^3$. Шема будућег стања водоводног система у Сокобањи је приказана на слици 4.

4. Хидраулички модел пројектованог стања

На основу успостављања новог концепта водоснабдевања, извршено је хидраулично моделирање система и његова калибрација. Хидраулички модел је показао да је нови концепт у складу са постојећом инфраструктуром (цевоводи довољне пропусне моћи) што резултира оптималним притисцима и брзинама у периодима највеће и најмање потрошње. Резултати хидрауличног прорачуна пројектованог система су приказани на следећим сликама:



Слика 5. Притисци и брзине у мрежи у времену са максималном потрошњом
Figure 5. Pressure and velocity in the network in hour with maximum water demand

5. Закључак

Детаљном анализом постојећег стања водоснабдевања, хидрауличким моделирањем и успостављањем новог концепта рада водоводног система у Сокобањи обезбеђено је дугорочно и поуздано снабдевање водом свих потрошача. Новим концептом оптимизовани су притисци у систему, рад постојећих и нових резервоара, и обезбеђена је резервна запремина за непредвиђене околности (нпр. гашење пожара). Смањењем притиска у систему директно се утицало на смањење губитака воде за око 24%, односно $11,5 \text{ l/s}$ у просеку. Нови концепт система успоставио је нове висинске зоне и самим тим директно утицао на поделу система у основне зоне балансирања (4 ОЗБ),



које су неопходан корак у даљем раду на смањењу губитака у систему. Управљање притиском, односно одржавање просечног притиска у систему до 5 бара, директно утиче на смањен број пуцања цевовода, а самим тим и на губитке воде у водоводном систему.

6. Литература

- [1] Louis Berger, *Студија оправданости – Унапређење водовodne дистрибутивне мреже Сокобање*, 2022.
- [2] Љубисављевић Д, Бабић Б, Ђукић А, Лекић Б, *Комунална хидротехника, примери из теорије и праксе*, Грађевински факултет Универзитета у Београду, друго издање Београд, 2010.
- [3] David Pearson: *Standard definitions of water losses*, 2019.
- [4] GiZ, VAG, FHNW, KIT: *Упутства за смањење губитака воде са фокусом на управљање притиском*, 2011.