

Вода као просторни и временски елемент у архитектонском пројектовању

Уна Окиљ^{1,2}, Саша Чворо², Малина Чворо

^{1,2} Универзитет у Бањој Луци, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет,
una.okilj@aggf.unibl.org, sasa.cvoro@aggf.unibl.org, malina.cvoro@aggf.unibl.org

Сажетак— Овај рад истражује могућност замјене питке воде у објектима употребом кишнице и сиве воде. На основу хидролошке анализе падавина и унутрашње потрошње, разматра се у којој мјери алтернативни извори могу задовољити потребе за испирање тоалета. Анализирају се сценарији према броју корисника, ефикасности сакупљања и третману сиве воде, уз архитектонске факторе (кров, нагиб, филтрација). Резултати показују да се у оптималним условима може покрити до 98% потреба. И при већим губицима, покривеност остаје значајна. Рад промовише интегрисан приступ пројектовању и наглашава потребу за моделима који воду третирају као активан просторни ресурс.

Кључне ријечи—*управљање водом; циркуларни водени токови; просторна и временска анализа;*

I. УВОД

У контексту одрживог и ресурсно осјетљивог архитектонског пројектовања, вода се не посматра искључиво као технички ресурс неопходан за функционисање зграде, већ као динамичан и мултидимензионалан агенс унутар природног и изграђеног окружења. Њена појава, проток, складиштење и трансформација кроз различите фазе циклуса воде пружају основ за нове архитектонске и еколошке приступе који повезују простор, енергију, материју и вријеме. Архитектонски системи који интегришу атмосферске, унутрашње и прерађене воде у функционалну и просторну логику објекта постају платформа за имплементацију принципа циркуларне економије и еколошке одговорности. Такви системи прикупљања кишнице и рециклаже сиве воде већ су имплементирани у бројним савременим архитектонским пројектима, што указује на њихову практичну изводљивост и економску оправданост. Један од примјера је зграда “The Edge” у Амстердаму, која је добила титулу једне од најодрживијих јавних објеката на свијету. У овом објекту систем за сакупљање кишнице и третман сиве воде обезбјеђује преко 90% потреба за техничком водом, укључујући испирање тоалета и наводњавање унутрашњег зеленила (van der Meulen, 2019). Поред Амстердама, значајне примјене евидентирани су и у Аустралији, гдје бројне школе и универзитети користе прикупљену кишницу као извор техничке воде, што доводи до смањења оптерећења јавне водоводне мреже и трошкова одржавања (UNEP/IETC, 2009).

У складу са циљевима одрживог развоја УН – SDG 6 (Clean Water and Sanitation) и SDG 12 (Responsible Consumption and Production), оптимизација управљања водом представља кључни корак ка смањењу потрошње питке воде, повећању аутономности зграда и подршци локалним еколошким процесима (UN, 2015; UNEP, 2016). Савремени стандарди као што су EN ISO 16075-1:2020 (Guidelines for treated wastewater reuse for irrigation), SRPS EN 12566-3 (Small wastewater treatment systems) и препоруке EPA Guidelines for Water Reuse (2012) пружају основу за имплементацију локалних рјешења уз поштовање хигијенско-техничких и еколошких критеријума (ISO, 2020; CEN, 2005; EPA, 2012).

Студија случаја у овом раду је зграда Архитектонско-грађевинско-геодетског и Шумарског факултета Универзитета у Бањој Луци, смјештене унутар заштићене природне цјелине Универзитетског града. На основу мјесечне анализе падавина, података о површини крова и процијењеној потрошњи воде, истражује се у којој мјери је могуће покрити потребе за испирањем тоалета кишницом, те какве су временске и количинске корелације између природне понуде и техничке потражње. Добијени резултати указују не само на потенцијал уштеде питке воде, већ и на важност адаптивног управљања водом унутар зграде у складу са сезонским флукуацијама и климатским условима.

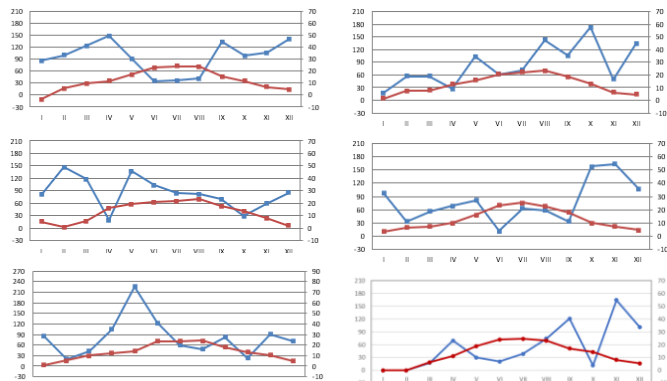
II. ПОТЕНЦИЈАЛ КИШНИЦЕ

У контексту холистичког и ресурсно оријентисаног пројектовања, атмосферска вода представља један од најзначајнијих обновљивих локалних ресурса. Кишница, као директан производ природног хидролошког циклуса, има потенцијал да се интегрише у архитектонски систем као техничка вода за употребу у санитарним уређајима, одржавању зелених површина или хидрауличком регулисању микроклиме. Њено коришћење утиче на смањење притиска на систем питке воде, али и на смањење отпадних токова у канализацији, што је у складу са циљевима одрживог развоја SDG 6 и SDG 12.

Планирање употребе кишнице у архитектури захтијева детаљну хидролошку анализу, с циљем да се уоче закономјерности и флукуације у количини падавина, као и да се процени реална употребљивост овог ресурса. Оваква анализа мора да укључи годишњи, сезонски и мјесечни распоред падавина у односу на расположиве

сакупљачке површине, као и температуру ваздуха која утиче на испаравање и режим коришћења.

У наставку је приказана упоредна анализа годишњих расподјела падавина и температуре за период 2017–2023. године на подручју града Бања Лука, која служи као основа за процјену реалне количине расположиве кишнице на истраживаној локацији — крову зграде Архитектонско-грађевинско-геодетског и Шумарског факултета у Универзитетском кампусу у Бањој Луци.



Сл. 1. Годишњи распоред падавина и средње температуре за период 2017–2022: упоредна анализа

Анализом свих графикана у периоду од 2017. до 2022. године уочава се да је укупна годишња количина падавина релативно уједначена, с просјечном вриједношћу од око 1320 l/m² годишње. Ипак, расподјела падавина током године показује значајне варијације по мјесецима и годинама, што указује на нестабилан режим падавина у смислу временског распореда. Упркос тим варијацијама, јасно се издвајају прољећни и јесењи мјесеци као најизраженији периоди појачаних падавина, док су лјетњи мјесеци нешто стабилнији, а зимски показују мање и уједначене количине. Година 2023. није одступала од укупне количине падавина, али је њена унутаргодишња расподјела потврдила овај образац са израженим пиковима у мају и новембру, што има директне импликације на капацитете и динамику система за локалну обраду отпадне воде.



Сл. 2. Годишњи распоред падавина и средње температуре за 2023. годину, Универзитетски град

Укупна количина падавина на анализираној локацији у 2023. години износила је 1271.7 l/m². Расподјела по сезонама показује највеће вриједности у прољеће (445.6 l/m²) и јесен (374.7 l/m²), док су зима (248.1 l/m²) и лјето (203.3 l/m²) значајно мање заступљене. Иако укупна

количина падавина на локацији може дати висок теоријски потенцијал за прикупљање кишнице, реална искористивост варира између 50% и 90% у зависности од карактеристика крова, техничке опремљености система и сезонске расподјеле падавина. Прорачун ефективне количине воде за употребу у санитарним системима мора узети у обзир све наведене губитке.

Ефикасност сакупљања кишнице у значајној мјери зависи од карактеристика површине са које се прикупља вода. Врста кровног покривача, његова текстура, нагиб и материјал утичу на способност одвођења и на степен губитака. У пракси се користи коефицијент сакупљања (runoff coefficient) који представља проценат падавина који се може ефективно сакупити са дате површине. Према стандардима EN ISO 16075-1:2020 и извештајима UNEP/IETC (2009), просјечне вриједности коефицијената сакупљања приказани су у табели 1.

ТАБЕЛА 1. КОЕФИЦИЈЕНТИ САКУПЉАЊА КИШНИЦЕ У ЗАВИСНОСТИ ОД ТИПА ПОВРШИНЕ КРОВА (ПРЕМА ISO 16075-1:2020 и UNEP, 2009)

Тип површине	Опис	Коефицијент сакупљања (C)
Глатки метални кров (цинк, алуминијум)	Неупијајућа површина, добра дренажа	0.90 – 0.95
Бетонски кров (необрађен)	Тврда површина, минимална апсорпција	0.75 – 0.85
Цријеп / керамички кров	Упија минималну количину, добар проток	0.80 – 0.90
Битуменска мембрана	Равни кров са битуменским покривачем	0.70 – 0.85
Шљунак (без вегетације)	Равна површина прекривена шљунком	0.40 – 0.60
Шљунак на пропусној подлози	Нестабилна дренажа, дио падавина се губи у подлози	0.20 – 0.40
Екстензивни зелени кров	Лаган супстрат, ограничена вегетација, задржава воду	0.30 – 0.50
Интензивни зелени кров	Дебљи супстрат, густа вегетација, велика апсорпција	0.20 – 0.40

Ефективност сакупљања кишнице у великој мјери зависи од врсте кровног покривача и физичких карактеристика површине. Како је приказано у табели, неупијајуће и глатке површине, нпр. метални кровови, омогућавају највећи степен искоришћења падавина (коефицијент сакупљања до 0.95), док површине са вегетацијом или непермеабилним супстратом, попут зелених кровова и шљунковитих површина, задржавају значајан дио воде и имају знатно нижи коефицијент (0.20–0.50).

Нагиб крова има значајан утицај на ефикасност сакупљања кишнице, иако не утиче директно на количину падавина, која се мјери по хоризонталној пројекцији површине. Његов утицај огледа се прије свега у брзини отицања воде, степену задржавања и могућим губицима при сакупљању. Код кровова са малим нагибом (мањим од 5%), долази до споријег отицања воде, што може резултирати већим испаравањем, задржавањем на површини или чак продором у кровну конструкцију уколико површина није технички прилагођена. Са друге стране, кровови са средњим нагибом (од 5 до 30%)

омогућавају брзо и контролисано отицање воде према сакупљачима, те се сматрају оптималним у погледу ефикасности сакупљања, која у том случају достиже 85 до 95%. Кровови са великим нагибом (преко 30%) могу довести до губитака јер се вода креће великом брзином и често прска или прелази преко ивице сакупљача, нарочито током интензивних падавина. Стога, при прорачуну расположиве количине кишнице, поред избора кровног покривача, мора се узети у обзир и нагиб крова као фактор који утиче на укупан коефицијент сакупљања и реалну доступност воде за техничку употребу.

Иако се укупна количина годишњих падавина може квантификовати као потенцијални ресурс, стварна количина кишнице која се може технички искористити зависи од више фактора – прије свега од ефикасности система сакупљања и припреме воде за употребу. Током процеса прикупљања и филтрације долази до низа губитака, од првог испирања крова (first flush), преко задржавања у филтерима, до испаравања и преливања. Да би се та количина реално процијенила, користе се коефицијенти корисног приноса који узимају у обзир тип покривача, дизајн система и фазе пречишћавања. Због тога је од изузетне важности примјена система за одвајање првог тока, као и адекватно затварање резервоара како би се спрјечило секундарно загађење. У случајевима гдје се кишница користи за шире техничке намјене, пожељно је укључити додатне фазе пречишћавања, у складу са препорукама стандарда ISO 16075-1:2020, EPA Guidelines for Water Reuse (2012) и WHO (2006), који дефинишу минималне хигијенске услове за поновну употребу воде у техничке сврхе.

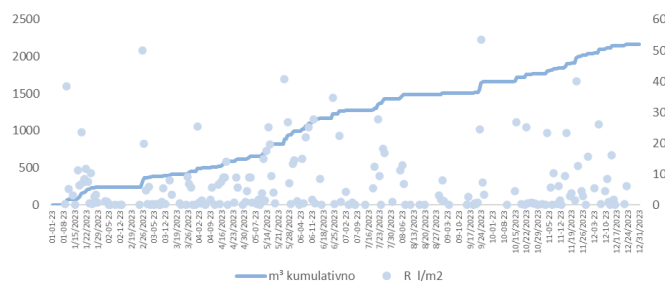
ТАБЕЛА 2. ГУБИЦИ ТОКОМ ПРИПРЕМЕ КИШНИЦЕ ЗА ТЕХНИЧКУ УПОТРЕБУ

Фаза система	Проценат губитка	Опис губитка
Први ток воде (first flush)	5–10%	Испирање површина од прашине, полена, измета птица, не улази у резервоар
Филтрација (механичка и биолошка)	2–5%	Задржавање воде у шљунку, пијеску, угљену; губици у филтрационом слоју
Испаравање и процјеђивање	1–3%	У случају отворених или незаптивених резервоара
Прелив и технички губици	1–2%	Преливање при јачим падавинама, цурења, системски губици
Укупни процијењени губици	10–20%	

У пројектовању система за сакупљање и употребу кишнице, препоручује се да се у прорачунима узима у обзир минимално 15% губитака, што значи да од укупне количине падавина само 80–90% може бити технички расположиво. Ова корекција је посебно важна приликом пројектовања складишних капацитета и процјене потенцијала замјене питке воде за санитарне сврхе. Ови подаци указују да је количина кишнице доступна за техничку употребу снажно условљена архитектонским рјешењем, типом површине и организацијом система.

У случају анализираних локације, укупна количина падавина у 2023. години износила је 1271.7 l/m². Узимајући у обзир површину крова од 2000 m² и

ефикасност сакупљања која варира у зависности од избора покривача и техничког система, реална количина технички искористиве кишнице креће се у распону од приближно 570 до 1080 m³ на годишњем нивоу. Овако велики распон резултат је комбинованог утицаја коефицијента сакупљања (у зависности од типа крова), као и процијењених губитака током процеса прикупљања, пречишћавања и складиштења. На Сл. 3 приказан је годишњи обрачун потенцијалне количине сакупљене кишнице уз ефикасност сакупљања од 85% од укупне количине падавина по јединици површине.



Сл. 3. Кумулативна количина сакупљене кишнице и дневне падавине током 2023. године на локацији Универзитетског камуса у Бањој Луци (кровна површина 2000 m², ефикасност сакупљања 85%)

Дијаграм приказује најповољнији сценарио у којем су оптимизовани сви елементи система сакупљања кишнице – укључујући кровни материјал са високим коефицијентом отицања, средњи нагиб крова и минималне губитке у филтрацији. Кумулативна анализа падавина показује изражену сезонску неравномјерност, са доминантним количинама у прољећним и јесењим мјесецима. Љетни периоди су нестабилни и испрекидани, док зимски мјесеци имају ниже, али релативно стабилне приносе. Крива кумулативне расподеле падавина потврђује динамичку и цикличну појаву ресурса, која је временски асинхрона у односу на унутрашњу потрошњу у објекту. Ова временска неусклађеност између понуде и потражње захтијева пажљиво планирање, нарочито у погледу димензионисања резервоара, избора система и оптимизације искористивости. У наредном поглављу разматра се ритам производње отпадне воде унутар објекта, као основа за реалну процјену могућности замјене питке воде у техничке сврхе.

III. ПРОИЗВОДЊА ОТПАДНЕ ВОДЕ УНУТАР ОБЈЕКТА

Након детаљне анализе сезонске динамике падавина, капацитета сакупљања и утицаја архитектонских и техничких фактора на искористивост кишнице, потребно је сагледати унутрашњу структуру и обим потрошње воде у објекту како би се утврдиле реалне могућности замјене питке воде у техничким системима, посебно у функцији испирања тоалета. Поред кишнице, која представља периодичан, али значајан ресурс, унутрашњи водни циклус зграде укључује и сиву воду као потенцијални секундарни извор, чија се филтрација може реализовати локално и искористити у сврхе за које није потребна хигијенски исправна вода. Све ово указује на потребу

деталне анализе динамике производње отпадне воде, као предуслова за развој система који усклађују улазне ресурсе са конкретним потребама објекта.

Интерни водни токови идентификују сегменте у којима се питка вода троши у техничке сврхе, што отвара простор за њену замјену кишницом или прерађеном водом. Унутрашња потрошња воде у јавним и образовним објектима углавном се односи на санитарну употребу, при чему се испирање тоалета издваја као највећи појединачни потрошач питке воде. Према подацима Европске агенције за животну средину и критеријумима DGNB система за одрживу градњу, испирање тоалета може да учествује са 30–40% у укупној дневној потрошњи воде у зградама (DGNB, 2020; EEA, 2017). Ова категорија воде, која након употребе постаје црна отпадна вода, не захтијева квалитет питке воде, што је чини погодном за снабдијевање из алтернативних извора. Са друге стране, сива вода настаје из умиваоника, тушева, машина за прање и других хигијенских уређаја. Иако се често занемарује у системима за рециклажу, она има значајан потенцијал за поновну употребу након једноставне филтрације (ISO 16075-1:2020). Унутрашњи токови воде у објекту могу се квантификовати на основу броја корисника, функције простора и учесталости употребе, што представља основу за израду сценарија оптимизације система водоснабдијевања и канализације. Прорачун производње отпадне воде, на примеру зграде Архитектонско-грађевинско-геодетског и Шумарског факултета у Бањој Луци, изведен је са циљем идентификације капацитета који се могу парцијално или у потпуности подмирити кишницом.

На основу 554 корисника (редовни и први пут уписани студенти основних студија 2023/24 године и сви стално запослени – наставно и административно особље) и просјечне учесталости употребе тоалета од 2.5 пута дневно по особи, уз просјечну потрошњу од 6 литара по испирању, добија се сљедећа дневна потрошња воде за санитарне потребе:

$$554 \text{ особа} \times 2.5 \text{ употреба} \times 6 \text{ литара} = 8310 \text{ литара/дан} = 8.3 \text{ l m}^3/\text{дан}$$

Поред тога, прање руку након сваког коришћења тоалета подразумева просјечну потрошњу од 3 литра по особи, што резултира са:

$$554 \text{ особа} \times 2.5 \times 3 = 4155 \text{ литара/дан} = 4.155 \text{ m}^3/\text{дан}$$

Годишњи обим потрошње воде зависи од броја дана када је објекат у активної употреби. У складу са академским календаром, процјењује се да се зграда користи приближно 215 дана годишње, што резултира:

$$12.465 \text{ m}^3/\text{дан} \times 215 \text{ дана} = 2,679.975 \text{ m}^3/\text{годишње}$$

Од укупно 2,679.975 m³ потрошене воде годишње око 66% (1,786.65 m³) представља црну воду (непогодна за поновну употребу), док преосталих 34% (893.325 m³) чини сиву воду. Ова укупна количина отпадне воде (сива + црна) представља укупан унутрашњи водни ток који се генерише током радних дана. Сезонска динамика отпадне воде директно прати присуство корисника у објекту и одражава структуру академског календара. Остварена

количина отпадне воде, дефинисана бројем корисника и фреквенцијом употребе санитарних простора, представља основну полазну тачку за разумијевање унутрашњих водних токова у објекту. Међутим, да би се овај водни ток сагледао у архитектонском и ресурсном контексту, неопходно је његово временско позиционирање.

Подаци су директно везани за настанак отпадне воде као резултат активности корисника у простору, док је њена сезонска и дневна динамика утиче на укупан волумен и појаве воде као периодичног ресурса. У наставку, сезонска анализа у оквиру академског календара омогућава да се овај унутрашњи ток воде појави као временски мапиран параметар, основ за каснију упоредну анализу са другим ресурсима.

ТАБЕЛА 3. ПРОЦИЈЕЊЕНА ОТПАДНА ВОДА (m³) ПО СЕЗОНИ ПРЕМА АКАДЕМСКОМ КАЛЕНДАРУ ЗА 2023-24 ГОДИНУ

Сезона	Број радних дана*	Процјена учесталости коришћења објекта	Процијењена отпадна црна вода (m ³)	Процијењена отпадна вода укупно (m ³)
Зима	60	Висока (настава + испити)	498.6	747.9
Прољеће	60	Висока (настава + испити)	498.6	747.9
Љето	30	Ниска (испити + пауза)	249.3	373.95
Јесен	65	Висока (настава + испити)	540.15	810.225
Укупно			1786.65	2679.975

Након анализе сезонске расподјеле активности унутар објекта на основу академског календара, и утврђивања броја радних дана по сезони, добијена је процјена укупне количине отпадне воде која се генерише током године. Процијењена количина отпадне воде током 2023/24. академске године износи приближно 2679.975 m³, узимајући у обзир активност зграде током 215 радних дана (понедељак–петак, умањено за празнике и паузе). Ова количина укључује како санитарну потрошњу (вода за испирање WC-а), тако и техничку воду (вода из умиваоника након прања руку), те представља укупни водни ток који настаје као резултат редовног коришћења простора од стране 554 корисника. Процијењене вриједности отпадне воде по сезонама (зима, прољеће, љето, јесен) осликавају динамику присуства корисника и омогућавају каснију упоредну анализу са понудом других ресурса, попут кишнице или сиве воде.

Капацитети у објекту, према броју санитарних јединица, имају капацитет од приближно 1300 корисника дневно, што представља потенцијалну максималну производњу отпадне воде у оквиру његовог функционалног оптерећења. Та вриједност укључује све студенте, наставно и ненаставно особље, као и спољашње кориснике током наставе и ваннаставних активности. Иако се у анализи користи узорак од 554 редовно активна корисника, при чему су изостављени студенти другог циклуса и они који обнављају годину, укупни капацитет објекта остаје релевантан као горња граница при

пројектовању система за прикупљање и рециклажу воде. У том случају потрошња воде на испирање би била 19,5 м³/дан, а укупна годишња потрошња 4,192.5 м³. Полазећи од могућности да се кишница користи као техничка вода за испирање тоалета, поставља се питање: може ли систем за сакупљање и употребу кишнице бити димензионисан тако да покрије варијабилне потребе током године и значајно умањи потрошњу питке воде у санитарним чворовима?

IV. МОГУЋНОСТ УШТЕДЕ ПИТКЕ ВОДЕ

Питка вода представља ресурс од суштинске важности за живот и јавно здравље, али се унутар архитектонских објеката често користи у сврхе за које није неопходно да испуњава стандарде за људску потрошњу. Испирање тоалета, прање руку, чишћење и друге техничке функције знатно доприносе укупној потрошњи воде, иако за те намјене није потребан квалитет који захтијева скупу припрему и санитарну контролу. Ова пракса указује на могућности за увођење алтернативних извора, као што су кишница или третирана сива вода, што би омогућило значајне уштеде у систему водоснабдијевања. У складу са принципима одрживе изградње и стандардима као што су DGNB Criteria Set for New Buildings (DGNB, 2020) и EN ISO 16075-1:2020 за реупотребу третиране воде, у архитектури се све више инсистира на сегрегацији водених токова према квалитету и могућности поновне употребе. Такви приступи подржавају и циљеве одрживог развоја, прије свега SDG 6 (Чиста вода и санитарни услови) и SDG 12 (Одговорна потрошња и производња), који промовишу ефикасно коришћење ресурса и смањење оптерећења на постојећу инфраструктуру. Иако према State of Water Report for Bosnia and Herzegovina (UNECE, 2018), БиХ није земља са високим индексом водног стреса, глобални трендови указују на потребу за предвиђањем и превенцијом. Локално увођење система који смањују потрошњу питке воде постаје не само еколошки, већ и економски приоритет. У том контексту, анализа могућности замјене питке воде у санитарним чворовима кишницом, као релативно чистим и доступним ресурсом, представља један од првих корака ка стварању ефикасног, адаптивног и ресурсно одговорног архитектонског система.

С обзиром на претходно анализирану динамику потрошње воде у објекту и утврђене могуће количине сакупљања кишнице на годишњем и сезонском нивоу, у наставку је приказана упоредна табеларна анализа која сажима сценарије замјене питке воде у санитарним системима. Циљ анализе је да се, на основу дефинисаних параметара (број корисника, ефикасност сакупљања кишнице, учинак филтрације сиве воде), прикажу различити модели потенцијалне покривености потрошње техничком водом.

Прорачун обухвата два нивоа капацитета — тренутни број корисника (554) и максимални капацитет објекта (1300). За сваки сценарио узети су у обзир ефикасности сакупљања кишнице од 60% (шљунковити кров) и 85% (оптимално), као и опција допунске филтрације сиве воде, са учинком од 70%. Укупна количина кишнице доступна

за техничку употребу уз 85% ефикасности сакупљања износи 1080.95 м³ годишње, док при 60% износи 648.58 м³. Паралелно, количина повратне сиве воде која се може добити филтрацијом износи 625.33 м³ за 554 корисника, односно 1467.38 м³ за 1300 корисника. Уз ове улазне податке формиран су сценарији који комбинују различите изворе воде — појединачно или у комбинацији — са циљем да се дефинишу оквири реалне покривености потрошње у функцији испирања тоалета.

ТАБЕЛА 4. СЦЕНАРИЈИ ЗАМЈЕНЕ ПИТКЕ ВОДЕ ЗА ИСПИРАЊЕ ТОАЛЕТА

Сценарио	Број корисника	Потрошња воде за испирање (м ³)	Замјенска вода (м ³)	Покривеност (%)
Кишница (60% сакупљања, шљунак)	554	1786.65	648.58	36.3
Кишница 60% + сива вода (70% филтрације)			1320.76	73.9
Кишница (85% сакупљања)			1080.95	60.5
Кишница 85% + сива вода (70% филтрације)			1753.13	98.1
Кишница (60% сакупљања, шљунак)	1300	4192.50	648.58	15.5
Кишница 60% + сива вода (70% филтрације)			2236.58	53.4
Кишница (85% сакупљања)			1080.95	25.8
Кишница 85% + сива вода (70% филтрације)			2969.39	70.8

Анализа представљених сценарија показује да потенцијал уштеде питке воде значајно варира у зависности од архитектонских и техничких фактора. У оптималним условима, уз ефикасност сакупљања кишнице од 85% и укључену филтрацију сиве воде, као комбиновани систем има капацитет покривања до 98.1% годишњих потреба за испирање тоалета у тренутном режиму коришћења објекта (554 корисника). Насупрот томе, у условима повећаних губитака (сценарио са 60% ефикасности сакупљања), покривеност опада на 73.9%, што је и даље значајна уштеда.

У случају максималног капацитета објекта од 1300 корисника, покривеност се смањује, али чак и тада, у комбинацији оба извора (кишница и филтрирана сива вода), техничком водом се може замијенити између 53,4% и 70,8% потребне количине. Ови резултати указују да архитектонски избори, попут типа крова, нагиба, начина сакупљања и складиштења, али и укључивање сиве воде као секундарног ресурса, играју кључну улогу у димензионисању и ефикасности система. Представљени сценарији показују да се архитектонским прилагођавањем система за прикупљање и поновну употребу воде може постићи значајна уштеда питке воде. У тренутним капацитетима, за 2023.годину, кишница покрива 60,5% потреба. Комбинацијом са сивом водом, укупна покривеност могла би достићи и до 98% у најповољнијем

сценарију. Ови резултати указују да кишница и сива вода нису само допуна, већ могу постати основ управљања санитарним системом у архитектури.

Поред уштеде питке воде, сакупљање кишнице има и шири урбаноеколошки значај. Према климатским пројекцијама за регион Балкана, очекује се пораст екстремних временских појава – интензивних падавина у кратким интервалима, уз општи тренд смањења укупне количине годишњих падавина (World Bank, 2021). Ова динамика повећава ризик од урбаних поплава, нарочито у зонама са недовољно димензионисаном канализационом инфраструктуром. Системи за сакупљање и локално задржавање кишнице могу значајно смањити површинско отицање, умањити оптерећење канализације и допринијети превенцији поплава, чиме се додатно оправдава њихова примјена у контексту климатске адаптације.

Процјене трошкова имплементације система за сакупљање кишнице и третман сиве воде варирају у зависности од типа објекта, димензија система и степена аутоматизације. Према подацима Европске агенције за животну средину (ЕЕА), иницијална инвестиција износи од 50 до 150 € по m² кровне површине, са просјечним периодом поврата од 6 до 10 година у образовним и јавним објектима. У зградама са високом фреквенцијом коришћења, ова инвестиција могла би бити економски исплатива већ у средњорочном периоду.

V. ЗАКЉУЧАК

Резултати овог истраживања показују да архитектура има капацитет да преобликује начин управљања водом у зградама, усмјеравајући системе ка већој ефикасности и синхронизацији са природним токовима. Кроз анализу сезонске расподеле падавина, карактеристика кровних површина, унутрашњих водних токова и капацитета корисника, утврђено је да кишница и сива вода могу постати значајан, па чак и доминантан извор воде за испирање тоалета. У оптималном сценарију, техничком водом може се покрити до 98% те потребе, док чак и у условима нижег учинка сакупљања и већег броја корисника покривеност остаје преко 50%.

Истраживање указује да је временска неусклађеност између понуде (кишница) и потражње (унутрашња потрошња) кључни изазов, али и прилика за пројектовање адаптивних система складиштења и управљања. Комбинацијом два локално доступна ресурса — атмосферске и третиране отпадне воде — могуће је смањити ослабање на централизовано снабдијевање, ублажити еколошки отисак и повећати отпорност зграда.

Овакав приступ не захтијева сложене технолошке иновације већ логичну просторну оптимизацију и коришћење постојећих водних токова. Потребно је редеофинисати воду не као секундарни нуспроизвод архитектуре, већ као активан и временски одређен ресурс који обликује простор, ритам и функционалност зграде.

Овакви модели интегрисаног пројектовања представљају кључни корак ка еколошки одговорној архитектури будућности.

ЛИТЕРАТУРА

- CEN. (2005). EN 12566-3: Small wastewater treatment systems for up to 50 PT. European Committee for Standardization.
- DGNB. (2020). DGNB Criteria Set for New Construction Buildings – Version 2020 International. German Sustainable Building Council.
- EEA – European Environment Agency. (2012). Water Reuse in Europe: Relevant Guidelines, Needs for and Barriers to Innovation. EEA Technical Report No 1/2012. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://www.eea.europa.eu/publications/water-reuse-europe>
- EEA. (2017). Water use in Europe — Quantity and quality face big challenges. European Environment Agency.
- EPA. (2012). Guidelines for Water Reuse (EPA/600/R-12/618). United States Environmental Protection Agency.
- ISO. (2020). SRPS EN ISO 16075-1:2020 – Guidelines for treated wastewater reuse for irrigation – Part 1: General. International Organization for Standardization.
- M. Young. (1989). The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science.
- UNECE. (2018). State of Water Report for Bosnia and Herzegovina. United Nations Economic Commission for Europe.
- UN. (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations.
- UNEP. (2016). A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a Global Assessment. United Nations Environment Programme.
- UNEP/IETC. (2009). Rainwater Harvesting: A Lifeline for Human Well-being. United Nations Environment Programme / International Environmental Technology Centre.
- Van der Meulen, T. (2019). Smart & Sustainable Building: The Edge, Amsterdam. Deloitte Netherlands.
- WHO. (2006). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume 4: Excreta and Greywater Use in Agriculture. World Health Organization.
- World Bank. (2021). Bosnia and Herzegovina: Climate Risk Country Profile. Washington, DC: The World Bank Group. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>

ABSTRACT

This paper explores the potential for substituting potable water in buildings using rainwater and greywater. Based on a hydrological analysis of precipitation and indoor water use, the study assesses how alternative water sources can supply toilet flushing. Scenarios are analysed by occupancy, rainwater harvesting efficiency, and greywater treatment, accounting for resource variability and architectural factors (roof type, slope, filtration). Results show up to 98% of demand can be met under optimal conditions. Even with losses and higher occupancy, coverage remains substantial. The paper promotes integrated design and calls for models treating water as an active spatial resource.

WATER AS A SPATIAL AND TEMPORAL ELEMENT IN ARCHITECTURAL DESIGN

Una Okilj, Saša Čvoro, Malina Čvoro