

Biološki bazeni

Petrović, Mandiana

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:159:007761>

Rights / Prava: [Attribution-NoDerivatives 4.0 International](#)/[Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-07**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



**Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Sveučilišni prijediplomski studij Prehrambena tehnologija**

Mandiana Petrović
0058217115

BIOLOŠKI BAZENI
ZAVRŠNI RAD

Predmet: Tehnologija vode

Mentor: izv. prof. dr. sc. Josip Ćurko

Zagreb, 2024.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Sveučilišni prijediplomski studij Prehrambena tehnologija

Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo
Laboratorij za tehnologiju vode

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Biološki bazeni

Mandiana Petrović, 0058217115

Sažetak:

Biološki bazeni predstavljaju ekološku alternativu konvencionalnim bazenima, koristeći biljke i mikroorganizme za pročišćavanje vode umjesto kemikalija. U radu se analizira povijest, izgradnja, tipovi, filtracija, održavanje te usporedba s konvencionalnim bazenima. Prikazuje se kako biološki bazeni funkcioniraju kroz dvije glavne zone - zonu za plivanje i regeneracijsku zonu, s posebnim naglaskom na biološku i mehaničku filtraciju. Također, razmatraju se zdravstveni rizici povezani s biološkim bazenima te načini njihovog održavanja kako bi bili sigurni za upotrebu. Usporedba s konvencionalnim bazenima pokazuje prednosti bioloških bazena u pogledu ekološke održivosti, ali i njihove veće zahtjeve za prostorom i specifične rizike. Cilj ovog rada je pružiti sveobuhvatan pregled bioloških bazena, njihovih prednosti, nedostataka i ključnih aspekata za njihovo održavanje.

Ključne riječi: biološki bazeni, biološka filtracija, mehanička filtracija, tipovi bioloških bazena, zdravstveni rizici

Rad sadrži: 25 stranica, 16 slika, 1 tablica, 14 literaturnih navoda, 0 priloga

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Sveučilišta u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološkoga fakulteta, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: izv. prof. dr. sc. Josip Čurko

Datum obrane: 16. srpnja 2024.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Undergraduate thesis

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
University undergraduate study Food Technology

Department of Food technology engineering
Laboratory for water technology

Scientific area: Biotechnical Sciences
Scientific field: Food Technology

Natural swimming pools

Abstract:

Natural swimming pools are an ecological alternative to conventional swimming pools, as they use plants and microorganisms instead of chemicals to purify the water. This article analyses the history, construction, types, filtration, maintenance and comparison with conventional pools. It shows how natural swimming pools work through two main zones - the swimming zone and the regeneration zone, focussing on biological and mechanical filtration. The health risks associated with natural swimming pools and the ways in which they can be maintained to ensure safety are also discussed. The comparison with conventional swimming pools highlights the advantages of natural swimming pools in terms of environmental sustainability, but also their larger footprint and specific risks. The aim of this article is to provide a comprehensive overview of natural swimming pools, their advantages and disadvantages and the most important aspects of their maintenance.

Keywords: natural swimming pools, biological filtration, mechanical filtration, types of natural swimming pools, health risks

Thesis contains: 25 pages, 16 figures, 1 table, 14 references, 0 supplements

Original in: Croatian

Thesis is deposited in printed and electronic form in the Library of the University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: Josip Ćurko, Associate Professor

Thesis defended: July 16, 2024

Sadržaj

1.UVOD	1
2.TEORIJSKI DIO	2
2.1. IZGRADNJA I DIJELOVI BIOLOŠKIH BAZENA	2
2.1.1. SEGMENTI BIOLOŠKOG BAZENA	2
2.1.2. ISKOP I IZRAVNAVANJE POVRŠINE.....	3
2.1.3. URONJENI POTPORNİ ZID	4
2.1.4. ZONA PLIVANJA.....	4
2.1.5. SUSTAV FILTRACIJE	4
2.1.6. SUSTAV ZA CIRKULACIJU	4
2.2. PRAVILNIK	5
2.3. TIPOVI BIOLOŠKIH BAZENA.....	7
2.4. FILTRACIJA.....	9
2.5. BILJKE I MIKROORGANIZMI U BIOLOŠKIM BAZENIMA	16
2.6. ODRŽAVANJE BIOLOŠKIH BAZENA	19
2.7. USPOREDBA BIOLOŠKIH BAZENA SA KONVENCIONALNIM BAZENIMA	20
2.8. RIZICI ZA KUPAČE U BIOLOŠKIM BAZENIMA	21
3.ZAKLJUČCI	24
4.POPIS LITERATURE	25

1. UVOD

Biološki bazeni su bazeni u kojima se kvaliteta vode postiže korištenjem odabranih biljaka i mikroorganizama za čišćenje i filtraciju, umjesto kemikalija koje se koriste u konvencionalnim bazenima. Na taj način stvaraju se ekosustavi koji oponašaju prirodne vodene sustave poput jezera (Schets i sur., 2020).

Biološki bazeni su osmišljeni još 1970.-ih od strane Werner Gameritha, Petera Petricha i Richarda Weixlera u Austriji kao rješenje za zamjenu klora i drugih kemikalija koje se koriste u konvencionalnim bazenima koje su se pokazale štetnim za zdravlje ljudi i štetne za okoliš. 1983. godine je Gamerith izgradio prvi biološki bazen sa potopljenim potpornim zidovima koji odvajaju dio bazena za plivanje od dijela za pročišćavanje vode, a Peter Petrich osnovao je prvu tvrtku, Biotop, koja se bavila njihovom izgradnjom. Biološki bazeni su sve popularniji u Europi te se grade u sklopu kuća, hotela, javnih bazena, odmarališta. Osim u Austriji, Njemačkoj i Švicarskoj, biološki bazeni se još mogu pronaći i u Engleskoj, Italiji, Belgiji, Nizozemskoj, Kanadi, Francuskoj, SAD-u i drugim zemljama (Dold, 2008).

Na njihovu sve veću popularnost može utjecati zabrinutost ljudi zbog kemikalija koje se koriste za pročišćavanje vode u konvencionalnim bazenima koje mogu utjecati negativno na zdravlje, njihov izgled i dizajn, jeftino održavanje i drugi faktori. Jeftino održavanje ne znači i da je najefikasnije. Kako bi biološki bazen bio i pogodan za upotrebu, potrebno je pripaziti na čistoću njegove vode i dopuštenu količinu prisutnih mikroorganizama, kao i koji mikroorganizmi su prisutni (Casanovas-Massana i Blanch, 2013).

Biološki bazeni se sastoje od dijela za kupanje i dijela za regeneraciju. Osnova filtracije bioloških bazena je biološka obrada vode. Koriste se makrofiti odnosno biljke ukorijenjene na dnu bioloških bazena i filtri s mineralnim slojem u kojem se odvijaju mehanički procesi odvajanja nečistoća (Walczak i sur., 2023).

U usporedbi sa konvencionalnim bazenima koji pružaju samo rekreacijsku mogućnost, biološki bazeni su upotrebljivi tijekom cijele godine. Osim rekreacijskih mogućnosti, tu je i estetika samog biološkog bazena, ali služe i kao staništa raznim divljim životinjama i kukcima (Hoffman, 2013).

Cilj ovog rada jest sveobuhvatan pregled bioloških bazena, kako se u njima odvija filtracija i održavanje bazena da bi bili primjereni za korištenje. Prikazuju se i prednosti ovih bazena, ali i njihove negativne strane i zdravstveni rizici koje mogu predstavljati.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. IZGRADNJA I DIJELOVI BIOLOŠKIH BAZENA

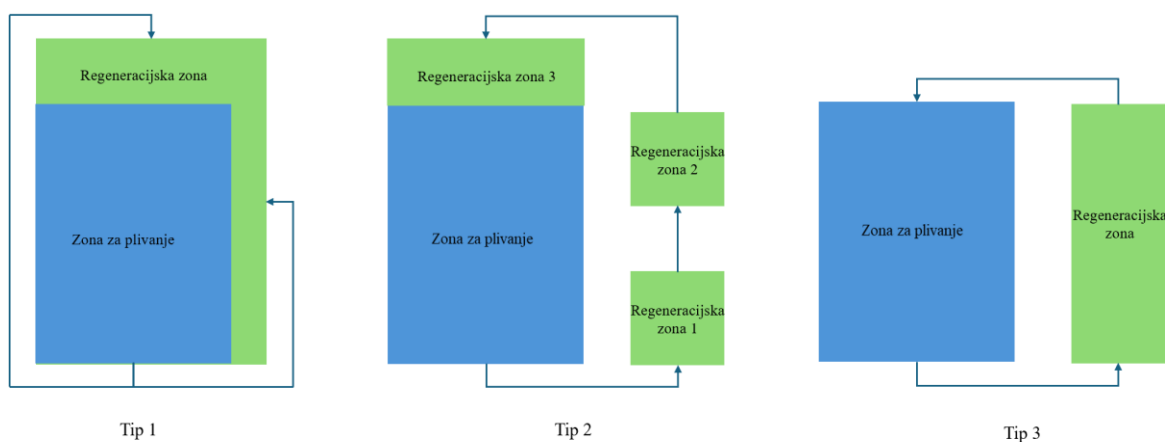
Bioški bazeni se sastoje od dvije zone: zone za plivanje i regeneracijske zone (slika 1). Za izgradnju bioških bazena potrebno je provesti iskop i izravnavanje površine, hidroizolaciju, izgradnju uronjenog potpornog zida, zone plivanja, sustava filtracije i sustava cirkulacije. Iskopom, izravnavanjem površine i hidroizolacijom postiže se glavni oblik i izgled bazena, izolacija i oblaganje. Uronjeni potporni zid odvaja dio bazena za plivanje od dijela za pročišćavanje vode. Zona plivanja je najdublji dio bazena bez biljaka pogodan za kupanje i plivanje. Sustav filtracije je područje koje sadrži biljke i uređaje koji služe za pročišćavanje vode u bazenu, a cirkulacijski sustav je odgovoran za kruženje vode u bazenu (Dold, 2008).



Slika 1. Bioški bazen (Biotop)

2.1.1. Segmenti bioškog bazena

Zone u bioškim bazenima mogu biti podijeljene na tri načina (slika 2). Prvi način jest da su regeneracijska zona i zona za plivanje u jednom dijelu. Drugi način jest da je jedan dio regeneracijske zone u sklopu sa zonom za plivanje, a drugi dio se nalazi potpuno odvojen od zone za plivanje. I treći način je bioški bazen u kojem je regeneracijska zona potpuno odvojena od zone za plivanje (Kircher i Thon, 2017).



Slika 2. Segmentacija biološkog bazena (prema Kircher i Thon, 2017)

Segmentacija bazena može biti provedena s nižim ili višim strminama, koje se prekrivaju oblogom bazena, a zone mogu biti odvojene i potpornim zidom. Zid se radi od prirodnog kamena ili drvene konstrukcije te kao takav ne prekriva se oblogom bazena. Potporni zidovi koji su načinjeni od betona, zidani ili od nekih plastičnih materijala se prekrivaju podlogom bazena. U načinu podijele bazena 2 i 3, bazeni u kojima su zone odvojene, nemaju potrebe za izgradnjom pregradnih zidova ili strmina (Kircher i Thon, 2017).

2.1.2. Iskop i izravnavanje površine

Najprije se određuju dubine zone za plivanje i zone za pročišćavanje te lokacija potpornog zida koji odvaja te dvije zone. Potrebno je iskopati bočne stijenke pod nagibom od maksimalno 45° iznad i ispod potopljene police potpornog zida kako bi se osigurala stabilnost. Pri izravnavanju površine, potrebno je osigurati da u izgrađeni bazen ne ulaze površinske vode nastale zbog jakih kiša koje bi mogle dovesti do porasta hranjivih tvari u bazenu i pri tome cvjetanja algi. Također je potrebno iskopati odvođe za višak vode iz bazena u slučaju podizanja razine vode u bazenu (Dold, 2008).

Hydroizolacija se provodi zbog sprječavanja istjecanja vode iz bazena. Dno bioloških bazena se oblaže sa dva elementa: podlogom i oblogom. Najprije se postavlja teška filterska tkanina ili neki materijal koji će štit oblogu od oštih materijala i dijelova iz zemlje koji bi ju potencijalno mogli probušiti (Dold, 2008). Na podlogu se postavlja obloga od visoko izdržljivog hidroizolacijskog materijala poput polivinil klorida (PVC), geomembrane (EPDM) ili nekih drugih nepropusnih materijala (gline ili bentonitnih prostirki). Obloga služi za zadržavanje vode u bazenu i smanjenju kontaminacije tvarima i mikroorganizmima koje dolaze iz tla (Walczak i sur., 2023).

2.1.3. Uronjeni potporni zid

Potporni zid, koji odvaja zonu za plivanje i za regeneraciju, nešto je niži od površine vode, kako bi omogućio vodi da cirkulira iz dijela za plivanje do biološke obrade kako bi se pročistila. Za ispravnu cirkulaciju potrebno je osigurati da je zid nepropustan te da ne dođe do potencijalnog pucanja i prolaženja vode kroz njih. Materijali koji se koriste za izgradnju potpornog zida su granit, vreće s pijeskom, zatvoreni beton, plastično drvo ili bilo koje drugo drvo velike gustoće i otporno na truljenje (cedar, tisa ili duglazija). Spojni elementi koji se koriste za izgradnju moraju biti od nehrđajućeg čelika kako ne bi došlo do oksidacije (Dold, 2008).

2.1.4. Zona plivanja

Zona plivanja je najdublji dio bazena namijenjen za kupanje u kojemu se ne nalaze biljke. Što je bazen dublji niže su i temperature koje ne pogoduju rastu biljaka pa je održavanje dubljih bazena jednostavnije. Također, dubina je bitna i iz sigurnosnih razloga tijekom plivanja i ronjenja kako ne bi došlo do ozljeda (Dold, 2008).

2.1.5. Sustav filtracije

Sustav filtracije je odgovoran za održavanje bioloških bazena čistim i pogodnim za upotrebu. Filtracija se provodi na dva načina: mehanički i biološki. Koriste se površinski usisavači (engl. skimmers), UV lampe, mreže, biljke i mikroorganizmi (Dold, 2008). UV lampe uništavaju više od 90 % mikroorganizama, ali među tim mikroorganizmima su i oni poželjni koji sudjeluju u biološkoj obradi vode bazena (Walczak i sur., 2023).

2.1.6. Sustav za cirkulaciju

Cirkulacijski sustav je odgovoran za kruženje vode u bazenu. Kako bi se voda adekvatno pročistila, prozračila, potrebno je da voda najmanje 4 puta dnevno procirkulira kroz biološke i mehaničke sustave za filtraciju što se postiže s dvije odvojene cirkulacijske petlje koje rade istovremeno. Cirkulacijski sustav je građen od PVC cirkulacijskih cijevi koje su savitljive i međusobno povezuje uređaje poput površinskih usisavača, UV lampi, filtara. Bazen može imati perforiranu odvodnu cijev koja je omotana filtarskom tkaninom koja se nalazi ispod biljnog filtra na dnu uronjenog potpornog zida te se kroz nju uvlači voda do cirkulacijskih cijevi koje dalje provode vodu kroz filtre. Kretanje vode kroz cijevi postiže se raznim pumpama. Za biološke bazene je potrebno ugraditi i neki oblik prozračivanja zbog ekološke ravnoteže okoline bazena. Prva cirkulacijska petlja radi na način da se voda uvlači u nastavak za površinske usisavače, pa u sustave pumpanja kroz UV lampe, prozračuje se i vraća u bazen. Druga petlja vodu uzima iz biljnog filtra u perforirane odvodne cijevi i cirkulacijske cijevi pumpama, preko UV lampe i nazad u bazen kroz ispusnu cijev na dnu bazena. Petlje mogu

biti i zahtijevanije, ovisno o uređajima koji se koriste pri obradi vode (Dold, 2008).

Površinski usisavači su osnova mehaničke filtracije. Uklanjanju veće nečistoće poput listova, grančica i slično, ali i manjih poput prašine, dlaka i zemlje prije nego što dođu u kontakt sa hranjivim tvarima koje koriste biljke i mikroorganizmi (Farb, 2020a). Također, uklanjanjem većih nečistoća, sprječava se oštećenje uređaja koji dalje služe za mehanički dio filtracije biološkog bazena (Walczak i sur., 2023).

2.2. PRAVILNIK

Izgled, upotreba i održavanje bioloških bazena ispravnim za upotrebu u Republici Hrvatskoj odredilo je Ministarstvo zdravstva Pravilnikom o sanitarno-tehničkim i higijenskim uvjetima bazenskih kupališta te o zdravstvenoj ispravnosti bazenskih voda. U Pravilniku su određeni posebni higijenski zahtjevi za bazenske vode u biološkim bazenima (Pravilnik, 2020).

Pravilnikom je određena formula prema kojoj se izračuna broj dopuštenih kupača dnevno od kojeg se istovremeno u bazenu može nalaziti samo 20 % kupača od tog broja uz kratkotrajna prekoračenja do 5 %, veća odstupanja mogu dovesti do rizika za ljudsko zdravlje. Uprava biološkog bazena se obvezuje da najmanje 50 % površine bazena bude dio predviđen za biološki tretman (filtraciju) bazena koji je nedostupan kupačima. Što se tiče dodatne opreme i tehnoloških postupaka za obradu vode, dopuštena su samo ukoliko poboljšavaju pripremu bazenske vode i higijensku kvalitetu vode, ne uzrokuju biološku štetu i ne smiju stvarati aerosol. Minimalna dubina dijela za kupanje biološkog bazena iznosi 0,8 m osim dijela koji je izravno uz obalu. Područja pristupa bazenskoj vodi moraju biti sigurna i projektirana tako da se što je više moguće spriječi resuspenzija sedimenta u biološkom bazenu. Dimenzije biološkog bazena moraju biti takve da je u roku od 24 sata u njega moguće dodati 5 % od ukupnog volumena vode. Također na kupalištu s biološkim bazenom ne smiju biti prisutne ptice vodarice, a u vodi ribe. Uprava biološkog bazena je dužna po Pravilniku kontinuiranim i automatskim mjernim uređajima mjeriti temperaturu vode, temperaturu zraka, zasićenost kisikom, pH-vrijednost i električnu provodljivost vode. Vrijednosti koje se moraju pridržavati za ta mjerenja kao i dopuštene količine prisutnih mikroorganizama prikazani su u Tablici 1 (Pravilnik, 2020).

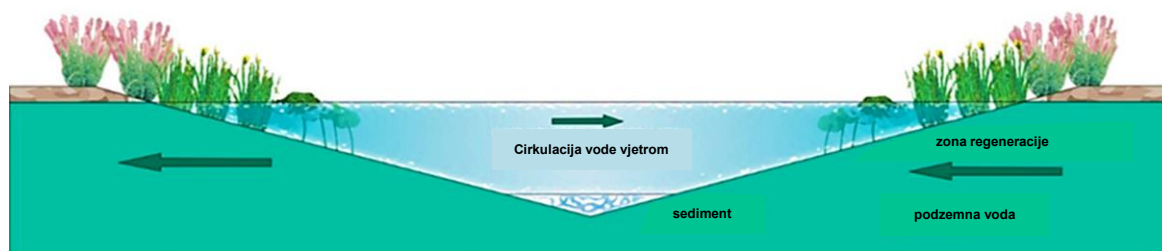
Tablica 1. Uvjeti za bazensku vodu u biološkim bazenima (Pravilnik, 2020)

Broj	Pokazatelj	Mjerna jedinica	Vrijednost	
			min.	maks.
1	Mikrobiološki			
1.1	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	cfu/100 ml		10
1.2	<i>Escherichia coli</i>	cfu/100 ml		100
1.3	<i>Legionella spp.</i>	cfu/100 ml		10
1.4	<i>Staphylococcus aureus</i>	cfu/100 ml		100
1.5	Broj kolonija pri (36±2) °C / (44±4) h	Cfu/ml		500
1.6	enterokoki	cfu/100 ml		50
1.7	<i>Salmonella</i>	cfu/1000 ml		0
2	Fizikalno-kemijski			
2.1	boja			Prihvatljivo za korisnike i bez neuobičajenih promjena
2.2	amonij	mg/L		0,3
2.3	Koncentracija vodikovih iona	pH jedinica	6,0	8,5
2.4	Prozirnost (Secci)	m		2
2.5	Zasićenost kisikom	%	80	
2.6	Mineralna ulja			
2.7	Električna vodljivost (pri 20 °C)	µS/cm	200	1000
2.8	Ukupni fosfor	µg/L		20
2.9	temperatura	°C		26
2.10	Tenzidi (pjena na površini)			Nije pronađeno
2.11	Čvrste tvari (plivajući predmeti, otpaci, trske itd.)			Nije pronađeno
2.12	miris			Prihvatljivo za korisnike i bez neuobičajenih promjena

2.3. TIPOVI BIOLOŠKIH BAZENA

Bioški bazeni se dijele prema površinskoj podijeli zone za regeneraciju i zone za kupanje na prostrane i intenzivne bazene. Prostrani bazeni su podijeljeni tako da 70 % bazena čini dio za regeneraciju, a ostalih 30 % dio za kupanje. Za kruženje vode u prostranim bazenima ne koriste se uređaji nego se oslanja na prirodne fizikalne procese odnosno vjetar i razlike u temperaturama u različitim dijelovima bazena ovisno o dubini, između zagrijanih plićih dijelova i hladnijih dubljih dijelova. Intenzivni bazeni imaju manji dio za regeneraciju nego prostrani bazeni, ali, određeno Pravilnikom RH, taj dio mora iznositi više od 50 % površine bazena. Cirkulacija vode se postiže koristeći razne uređaje pa ih možemo i prema tome podijeliti na 5 tipova (Walczak i sur., 2023).

Prvi tip je najjednostavniji tip (slika 3) u kojem nema upotrebe tehnologije i uređaja. Cirkulacija vode je prirodna, a preporuča se da je minimalna veličina bazena barem 120 m², a odnos zone za regeneraciju i zone za kupanje 7:3 (Walczak i sur., 2023).



Slika 3. Najjednostavniji (prostrani) tip bazena bez upotrebe uređaja (prema Walczak i sur., 2023)

Drugi tip su hidrobotanički bazeni (slika 4). Cirkulacija vode u ovom tipu bazena se odvija pomoću pumpi uz pomoć površinskih usisavača koji dovode vodu iz jednog dijela bazena, a pumpaju u drugi dio bazena, odnosno zonu za regeneraciju koji sadrži biljke za pročišćavanje vode. U dijelovima najnižih točaka su postavljeni cjevovodi za uklanjanje taloga koji se tamo nakuplja. Preporučena veličina za ovaj tip je kao i kod bazena tipa 1, a to je minimalno 120 m², ali je odnos dijela za regeneraciju i dijela za kupanje u ovom slučaju 1:1 (Walczak i sur., 2023).



Slika 4. Biološki bazen s manjom upotrebom uređaja (prema Walczak i sur., 2023)

Treći tip je također hidrobotanički bazen (slika 5), ali se koristi filter ispunjen s mineralnim medijem i drugi sustavi filtracije. Protok filtracije je sporiji ($3\text{--}5\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dan}$) pa zona regeneracije može biti manja. Zbog toga prirodni procesi samopročišćavanja vode postaju intenzivniji i dugoročno se odžava visoka učinkovitost sustava. Dodatni uređaji koji se koriste su bazenski roboti, donji odvodi, površinski usisavači ili dozatori ugljičnog dioksida, a koriste se radi održavanja visoke kvalitete vode. Minimalna preporučena površina ovog tipa bazena je 80 m^2 , s minimalnim odnosnom dijela za regeneraciju i dijela za kupanje 2:3 (Walczak i sur., 2023).



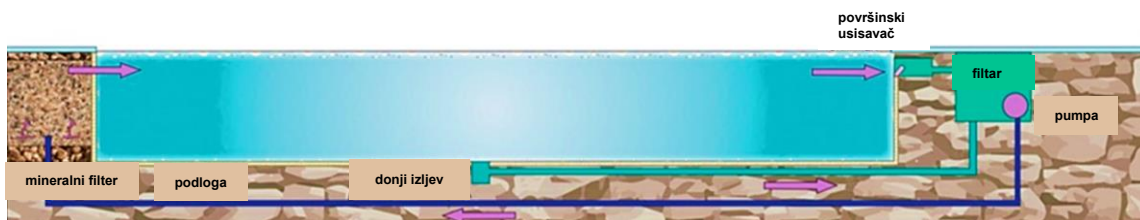
Slika 5. Biološki bazen s filtrom sporog protoka (prema Walczak i sur., 2023)

Četvrti tip biološkog bazena (slika 6) predstavlja bazen s brzim protokom vode kroz filter s mineralnim medijem. Brzina protoka u ovom tipu bazena iznosi $15\text{ m}^3/\text{dan}$ kroz filter prikladno odabranog medija. Regeneracijski dio bazena može biti djelomično ili potpuno odvojen od bazena, a postiže se izgled konvencionalnih bazena. Proces održavanja ovog tipa bazena su često automatizirani. Preporuča se da je površina bazena minimalno 50 m^2 (Walczak i sur., 2023).



Slika 6. Biološki bazen s filtrom brzog protoka (prema Walczak i sur., 2023)

Peti tip bioloških bazena (slika 7) je tehnološki najzahtjevniji i najskuplji tip bazena. Koristi se napredna tehnologija te se kombiniraju različite tehnologije za pročišćavanje bazena. Filtracija se odvija uz pomoć uređaja poput rotacijski filter, modularnih filter i bioreaktora, a biljke u ovom tipu bazena više nemaju važnu ulogu. Dio za regeneraciju čini 25 % biološkog bazena i potpuno je odvojen od dijela za kupanje ili ga u potpunosti nema. Održavanje ovog tipa bazena je u potpunosti automatiziran te je utrošak energije visok (Walczak i sur., 2023).



Slika 7. Biološki bazen s naprednom tehnologijom (prema Walczak i sur., 2023)

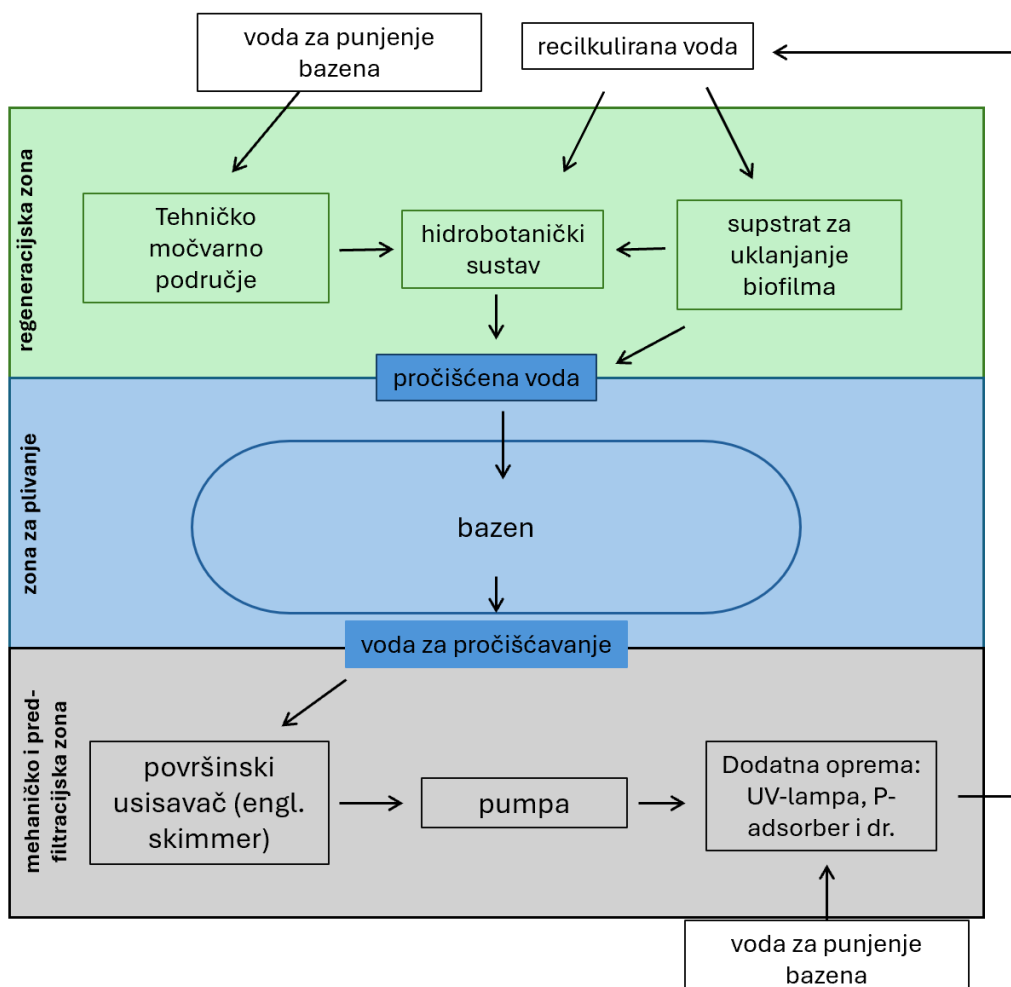
2.4. FILTRACIJA

U biološkim bazenima se za pročišćavanje vode kao alternativa za klor i druge kemikalije koristi složeni ekosustav koji osigurava sigurno okruženje za kupaće uklanjajući nečistoće u dijelu bazena za regeneraciju (Hoffman, 2013).

Bazen postaje živi vodeni ekosustav, a čimbenici poput mikrobne aktivnosti, fizikalno-kemijskog sastava vode, sunčeve svjetlosti i temperature te unosa hranjivih tvari stvaraju složenu mrežu interakcija koje mogu odrediti zdravlje ekosustava te kvalitete i bistrine vode. Filtracija unutar bioloških bazena imaju biološku i mehaničku funkciju (Hoffman, 2013).

Biološka obrada vode u biološkom bazenu je proces pročišćavanja vode u zatvorenom ciklusu vode i hranjivih tvari koji se odvija pomoću biljaka i mikroorganizama (Farb, 2020a). Biološku obradu primarno čini biljni filter koji se nalazi ili unutar bazena odvojen uronjenim potpornim zidom od dijela bazena za kupanje ili u potpunosti odvojen od bazena uz pomoć

cirkulacijskog sustava. Korijen biljaka biljnog filtra služi za rast mikroorganizama koji su drugi dio biološke obrade i onaj glavni, zaslužan za većinsko pročišćavanje vode u biološkim bazenima. Biološka obrada vode u bazenu se odvija tako što pumpe uvlače vodu preko uronjenog potpornog zida kroz biljni filter i mikroorganizme u perforiranu odvodnu cijev (Dold, 2008).

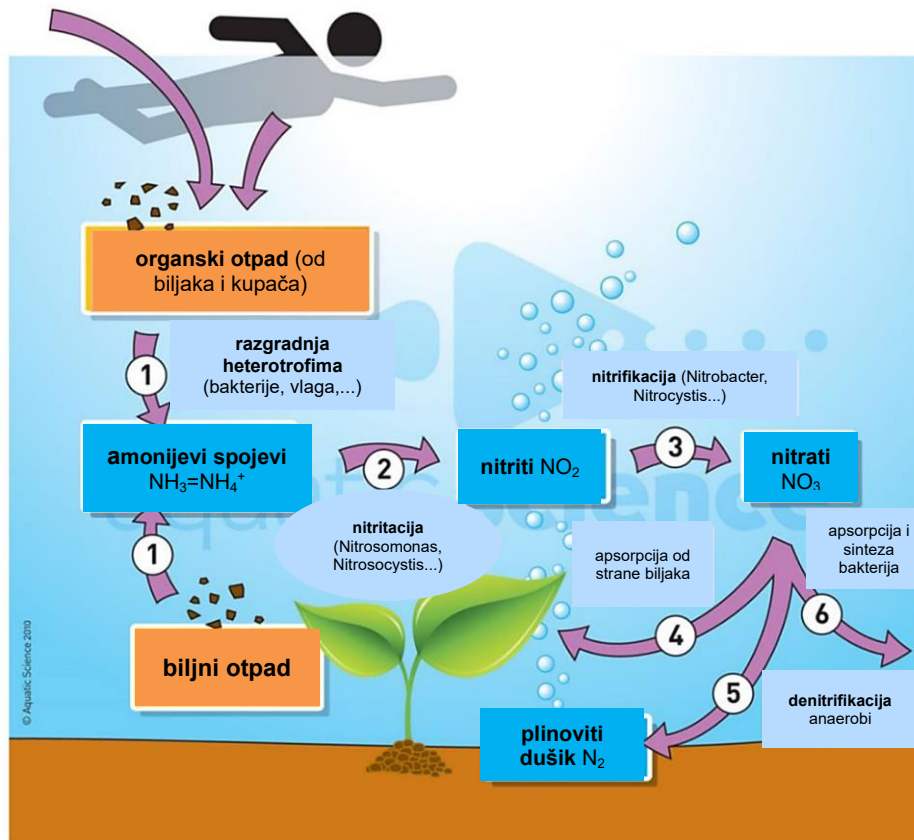


Slika 8. Shematski prikaz filtracije biološkog bazena (prema Farb, 2020a)

Na slici 8 shematski je prikazan sustav filtracije koji se odvija u biološkom bazenu kako bi se voda u bazenu održala čistom i spremnom za korištenje. Hidrobotanički sustav se sastoji od gusto posađenih biljki u plitkoj vodi i planktona koji su zaduženi za biološku obradu vode. Medij filtra je pijesak ili šljunak. Hidrobotaničkim sustavom se omekšava voda, odnosno uklanjaju se minerali poput kalcija i magnezija. Protok vode kroz hidrobotanički sustav je spor ili voda u tom dijelu ima dugo vrijeme zadržavanja dok se filtrira tj. biološki obrađuje. Sustav je potrebno s vremena na vrijeme i obrezivati kako se ne bi dalje širio ostalim dijelom bazena i činio ga neuglednim i zaraslim. Kroz tehničko močvarno područje voda prolazi okomito ili horizontalno kroz slojeve sitno mljevenog šljunka poput vapnenca, dolomita, treseta ili silikata

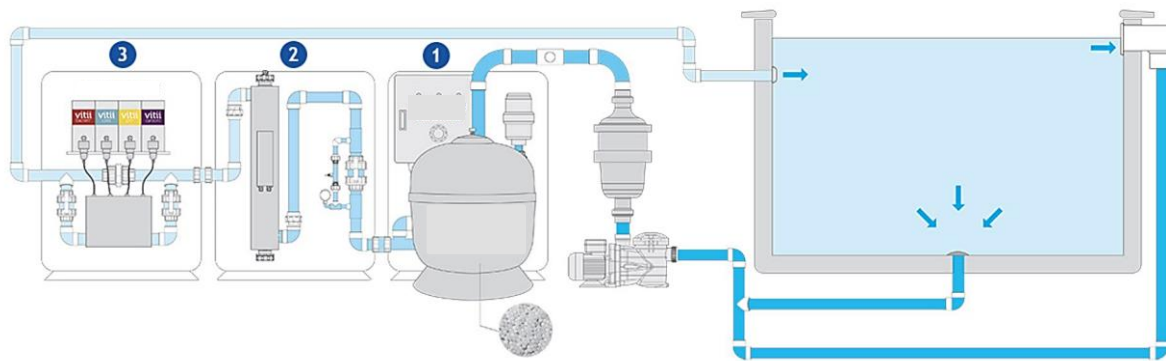
i biljaka posađenih nešto rjeđe nego kao kod hidrobotaničkog sustava. Uklanjaju se ili alkalni supstrati ili kiseli, ovisno o koncentracijama fosfora i ugljika u vodi. Za biološku obradu vode su odgovorne biljke, ali i mikroorganizmi koji se nalaze uz korijenje biljaka i rizome. Supstrat za uklanjanje biofilma se sastoji od propusnog šljunka (kvarca) s 30 % vapna ili dolomita bez biljaka ili sa biljkama koje su slabo ukorijenjene, a nalaze se na površini vode. Kroz slojeve filtra voda prolazi okomito konstantnim protokom. Uklanja se biofilm, odnosno sloj mikroorganizama koji se formiraju na površinama u dodiru s vodom ili vlagom. Supstrat za uklanjanje biofilma potrebno je redovito ispirati kako bi se uklonio nakupljeni biofilm na njegovoj površini. Pred-filtracijski sustav zadužen je za mehaničku filtraciju biološkog bazena. Površinski usisavači uklanjaju veće nečistoće s površine bazena i odvodi onečišćenu vodu do pumpi. U pumpama se nalaze pješčani filtri koji zadržavaju nečistoće i pri izlasku iz pumpi dolazi do aeracije vode, a voda dalje može prolaziti kroz dodatnu opremu poput UV lampi za uklanjanje nepoželjnih mikroorganizama i drugih uređaja ili ide izravno na biološku obradu (Farb, 2020a).

Na biološkim filtrima nalaze se kolonije bakterija koje razgrađuju organske tvari i nakupljen dušik te ih uklanjaju u procesu kao što je dušikov ciklus (slika 9). Organske tvari koje su u bazen pristigle od strane kupača, okolice bazena ili biljaka u biološkom filtru, bakterije razgrađuju do amonija. Amonij se dalje procesom nitrifikacije prevodi do nitrata koje mogu apsorbirati biljke ili se u procesu denitrifikacije prevodi u plinoviti dušik ili ga dalje apsorbiraju bakterije i koriste u sintezama (Mahy i Luizi, 2023).



Slika 9. Ciklus dušika (prema Mahy i Luizi, 2023)

Shematski prikaz na slici 8 opisuje samo jednu od više mogućih načina filtracije. Prikazani način filtracije jest najpoželjniji s obzirom da sadrži biljke koje zadovoljavaju biološki i ekološki pogled na biološke bazene, sadrži i dovoljan broj uređaja koji potpomažu pročišćavanju bazena, a da pritom ne štete ekologiji te sama voda prolazi još i kroz slojeve pijeska ili šljunka koji također vrše dio filtracije. Osim tog načina filtracije, postoji i mogućnost filtracije bazena samo sa biljkama, koje su gusto posađene, u vodama stajaćicama. Taj način ne dozvoljava nikakve uređaje i dodatnu opremu za filtraciju, nego se oslanja samo na biološku obradu biljkama. Treći način je sličan prvom, samo što u tom načinu voda ne prolazi još i kroz pijesak ili šljunak na dnu za dodatnu filtraciju i biljke su gušće sađene. I moguća su još dva načina filtracije u kojima je protok brži nego u prethodno navedenim načinima, a u njima se mogu ili ne moraju koristiti biljke ili se nikako ne koriste za pročišćavanje vode. Filtracija se u ta dva načina oslanja na uređaje i njihova punila (slika 10) (Farb, 2020a).



Slika 10. Shematski prikaz tipa biološkog bazena bez biljaka s mineralnim filtrima (Mahy i Luizi, 2023): (1) mehanički i mineralni filtri; (2) UV lampe za dezinfekciju; (3) mineralni i bakterijski dozatori kemikalija za održavanje mikroflore u biološkom bazenu

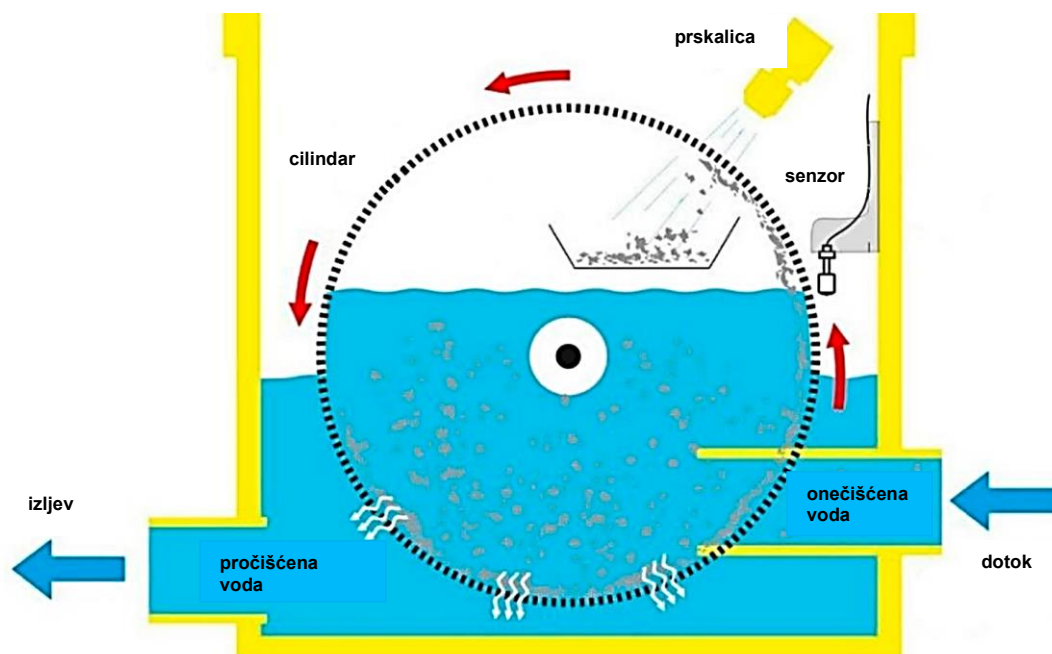
Korisnici bazena očekuju čistu i prozirnu vodu, bez trava ili algi i patogena. Cirkulacija vode kroz filtracijski sustav biološkog bazena omogućava da voda u bazenu bude čista. Alge je nešto teže ukloniti, ali hlad sprječava njihov nastanak pa je poželjno da, ako ne cijeli, barem dio bazena bude u hladu kako bi se smanjio broj algi u bazenu (Kircher i Thon, 2017). Biljke koje su dio biološke obrade vode bazena također stvaraju hlad, ali i hlade vodu, čime se sprječava rast nitastih algi. Metabolička aktivnost algi je povezana sa fotosintezom te se na područjima njihovog rasta i aktivnosti povećava koncentracija kisika i time aerobna razgradnja organskih tvari čime se ograničava metabolička intoksikacija vodene sredine (anaerobna izgradnja koja dovodi do stvaranja štetnih spojeva za ekosustav poput indola, skatola i merkaptana) (Walczak i sur., 2023). Za održavanje bazena čistim i spremnim za upotrebu, potrebno je držati se pravila i koncentracija tvari i mikroorganizma u bazenu određenim Pravilnikom. Alge, osim što narušavaju vizualan izgled bioloških bazena, mogu biti opasne za čovjekovo zdravlje s obzirom da koriste hranjive tvari kao i mikroorganizmi koji sudjeluju u biološkoj obradi na biološkom filtru. Posljedica može biti promjena pH-vrijednosti i razine kisika u vodi (Hoffman, 2013). Alge se mogu suzbiti drugim biljkama, uređajima i planktonima (Kircher i Thon, 2017). Unatoč tome što se uklanjaju i fosfor i ugljik, u biološkim bazenima su alge uvijek prisutne pa i u manjoj koncentraciji jer njima pogoduju visoka temperatura, visoka koncentracija hranjivih tvari i visok pH (Farb, 2020a). Određena koncentracija fosfora u vodi može utjecati na smanjenje količine algi u bazenima, ali se i dalje ne smije prekoračiti dozvoljena koncentracija fosfora u biološkim bazenima (Kircher i Thon, 2017). Posebno opasne su cijanobakterije koje prevladavaju u toploj, čistoj, stajaćoj, eutrofnoj ili hipertrofnoj vodi. Pri cvjetanju proizvode toksine koje su opasne za ljudsko zdravlje (Farb, 2020a).

Biološka obrada vode u bazenu ovisi o vremenskoj prognozi, odnosno koje je godišnje doba. Biljke uklanjaju samo 10 do 20 % unesenog fosfora jer je to maksimalna količina koju

mogu apsorbirati, više se oslanja na sedimentacijsku adsorpciju fosfora. S druge strane, iako biljke ne mogu apsorbirati veliku količinu fosfora, mogu apsorbirati veliku količinu dušika koji nastaje dušikovim ciklusom (Farb, 2020a).

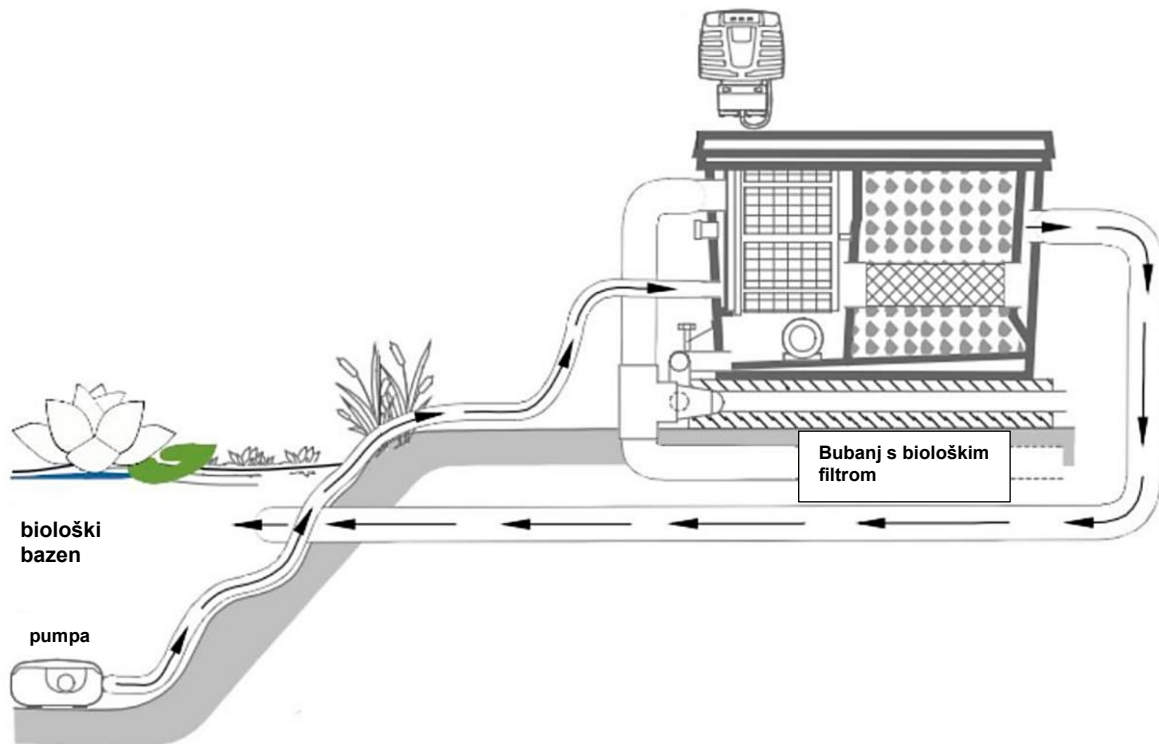
Za filtraciju se koriste i filtri raznih struktura, medija i tehnoloških parametara. Ključan parametar za ispravan rad filtra jest protok vode kroz njega. Filtri sporog protoka su najčešće otvoreni, dok su bržeg protoka zatvoreni. Mediji koji se koriste u filtrima mogu biti od neaktivnih materijala (antracit, pijesak ili kalcedon) ili onih koji ulaze u interakciju s tvarima u vodi (dolomit, mramor ili ioniti) i adsorpcijskih materijala (aktivni ugljen). Vrsta materijala određuje i veličinu zrna, što je veće zrno manja je obrada vode, brži je protok i filtracija vode, niži hidraulički otpor i obrnuto. Filtri su podijeljeni u jednu, dvije ili tri komore s biološkom, mehaničkom i kemijskom filtracijom (Walczak i sur., 2023).

Rotacijski filter (sito) (slika 11) je primjer filtra sa mehaničkom filtracijom koji radi tako što se voda ulijeva u sredinu bubnja gravitacijom ili pod tlakom djelovanjem pumpe. Voda zatim izlazi iz bubnja kroz mikrosito, a nečistoće zaostaju na unutarnjoj strani bubnja. Kada se nakupi veća količina nečistoća na mikrositu, senzor pali prskalice koje ispire nečistoće sa bubnja, a prljava voda odlazi u kanalizacijski sustav (Walczak i sur., 2023).



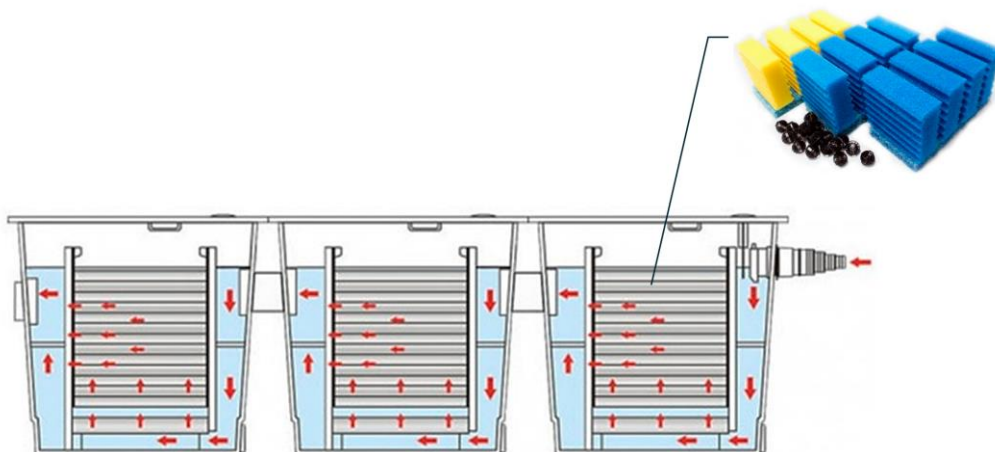
Slika 11. Shema rotacijskog filtra (prema Walczak i sur., 2023)

Rotacijska sita se često koriste u pred-filtraciji, a dolaze i u kombinaciji s biološkim filtrom (slika 12). Biološki filter predstavlja porozni materijal s velikom površinom koja omogućava kolonizaciju nitrificirajućih bakterija i samim time bolju obradu vode (Walczak i sur., 2023).



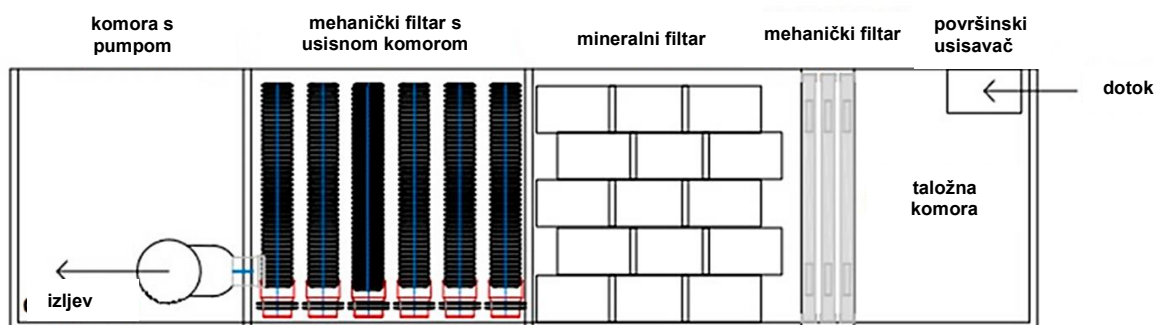
Slika 12. Shema rotacijskog filtra sa biološkim filtrom (prema Walczak i sur., 2023)

Spužvasti filtri (slika 13) imaju jednu ili više komora ispunjenih spužvama različite poroznosti. Nečistoće se zadržavaju na spužvama, a omogućavaju i kolonizaciju bakterijama kojima se ostvaruje biološka filtracija. Moguće je povećati površinu ovog filtra, čime se poboljšava i pročišćavanje vode, korištenjem dodatnih materijala za filtriranje poput bio-kuglica, poroznih bioloških patrona i japanskih filtera prostirki od polieterskih vlakana i vodonepropusnog veziva (Walczak i sur., 2023).



Slika 13. Dijagram toka vode kroz spužvasti filter i njegova punila (Walczak i sur., 2023)

Filtar u jednom bloku s četiri sekcije (slika 14) se sastoji od taložne komore, komore s filter prostirkama, mineralni filter i mehanički filter. Voda ulazi u taložnu komoru, zatim prolazi kroz komoru s najmanje tri filter prostirke, kroz mineralni filter i naposljetku kroz mehanički filter koji je kombiniran s usisnom komorom koja ima pumpu koja usisava vodu iz filtra i vraća je u bazen. Dodatna oprema filtra je raspršivač ugljikovog dioksida i pumpa za doziranje koagulanata. Filtar se najčešće koristi u tipu bazena sa sporim protokom i vrlo je ekološki prihvatljiv jer štiti zooplankton, koji sprječava rast algi i cijanobakterija u bazenu, od uništavanja pumpama i drugim uređajima (Walczak i sur., 2023).



Slika 14. Dijagram protoka vode kroz filter sa četiri sekcije (prema Walczak i sur., 2023)

Većinski dio mehaničke filtracije odvija se u poroznom sloju supstrata, pumpajući vodu, uz pomoć cirkulacijske pumpe, odozgo. U tom sloju se odvijaju cijeđenje, sedimentacija, flotacija i filtracija, a krajnji rezultat ovisi o stupnju onečišćenja vode koja prolazi kroz sloj supstrata, vrsti filter materijala, veličini zrna i visini sloja, vrsti filtera i brzini protoka kroz sloj. Dio obrade su i UV lampe koje dezinficiraju vodu tako što inaktiviraju više od 90 % štetnih mikroorganizama, ali njihova negativna strana je što uklanjaju i korisne mikroorganizme. Mehaničkoj filtraciji pomažu i slapići, fontane, aeratori, dozatori ugljikovog dioksida (Walczak i sur., 2023).

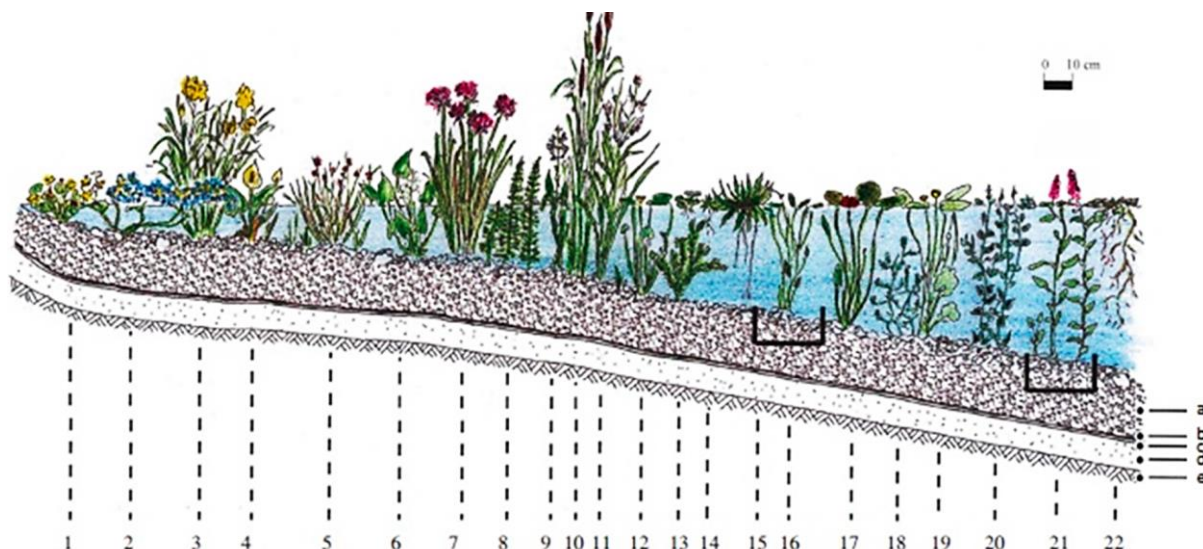
2.5. BILJKE I MIKROORGANIZMI U BIOLOŠKIM BAZENIMA

Biljke i mikroorganizmi čine važnu ulogu u pročišćavanju vode kod bioloških bazena. Uloga biljaka u biološkim bazenima jest: održavanje koncentracija biokemijskih parametara unutar zadanih Pravilnikom; eliminacija ili inaktivacija biogenih tvari; ograničavanje prekomjernog širenja algi i cijanobakterija; uništavanje opasnih bakterija; uklanjanje toksičnih spojeva, nitrata, teških metala, fenola i cijanida iz vode; stvaranje optimalnih uvjeta za razvoj vodene faune (Walczak i sur., 2023).

Ovisno o načinu kretanja vode unutar bazena, načina filtracije, izgradnji biološkog bazena, biološke bazene dijelimo na: biološki bazen bez kretanja vode s gusto zasađenim biljkama za filtraciju, biološki bazen s površinskim protokom i biljkama, biološki bazen sa propusnim zasađenim dijelom i biljkama i na biološki bazen brzog protoka kroz filter na kojemu se stvara biofilm od mikroorganizama koji vrlo učinkovito filtrira vodu, a biljke većinom služe kao ukras. U biološkim bazenima gdje su kretanje vode minimalne veći je rizik od porasta razine organskih tvari u vodi zbog čega se koristi širok raspon vrsta biljaka za filtraciju. S druge strane, u bazenima u kojima postoji protok vode, zbog procesa nitrifikacije i denitrifikacije, razina dušika u vodi opada. Nizak sadržaj dušika može čak dovesti do uvjeta koji su siromašni hranjivim tvarima. Zbog toga većina biljaka koje se obično koriste za filtriranje vode slabo rastu, posebno u složenijim sustavima pročišćavanja vode (Kircher i Thon, 2017).

Sprječavanje pojave algi i održavanje vode u bazenima čistom zahtijeva ograničenje razine ugljika i fosfora. Kako bi se to postiglo, u bazenima je potrebno postići uvjete koji su kontradiktorni s obzirom da se ograničenje ugljika najbolje postiže u mekoj vodi i pri niskoj pH-vrijednosti, dok se fosfor eliminira sedimentacijom kao netopljivi spojevi, poput apatita, u tvrdoj vodi s pH oko 8,3. Bazeni sa jednostavnijim sustavom za pročišćavanje vode su prihvatljivi ograniči li se ili razina ugljika ili fosfora. U bazenima sa složenijim sustavima pročišćavanja trebalo bi se usredotočiti na ograničavanje razine fosfora. Posljedice uklanjanja ugljika i fosfora uzrokuju vode s niskim razinama hranjivih tvari i nepovoljne uvjete za rast biljki pa je raspon biljnih vrsta koje to podnose, uz to i dubinu vode veću od 20 cm, vrlo nizak (Kircher i Thon, 2017).

Za smanjenje razine ugljika u vodi preporučuje se sadnja slijedećih biljaka: *Allium angulosum*, *A. Suaveolens*, *Caltha palustris*, *Cardamine pratensis*, *Carex viridula*, *Dactylorhiza Hybr.*, *Epipactis palustris*, *Eriophorum latifolium*, *Iris setosa* subsp. *Canadensis*, *Gentiana asclepiadea*, *Liatris spicata*, *Parnassia palustris*, *Schoenus ferrugineus*, *S. Nigricans*, *Tofieldia calyculata*, *Zigadenus elegans*. Biljne vrste preporučene za smanjenje razine fosfora u vodi biološkog bazena su: *Aster nemoralis*, *Erica tetralix*, *Eriophorum russeolum*, *E. vaginatum*, *Kalmia polifolia*, *Ledum groenlandicum*, *Lobelia sessilifolia*, *Pogonia ophioglossoides*, *Sarracenia purpurea*, *Sphagnum palustre*, *S. squarrosum*, *Trichophorum alpinum*, *Vaccinium corymbosum cultivaris*, *V. macrocarpon*, *V. oxycoccus*. Neke od navedenih vrsta biljaka su prikazane ilustracijom na slici 15 (Kircher i Thon, 2017).



Slika 15. Ilustracija biljaka koje se koriste za biološku obradu vode (prema Walczak i sur., 2023): 1 – *Caltha palustris*; 2 – *Myosotis palustris*; 3 – *Iris pseudoacorus*; 4 – *Calla palustris*; 5 – *Juncus sp.*; 6 – *Alisma plantago-aquatica*; 7 – *Butomus umbellatus*; 8 – *Hippuris vulgaris*; 9 – *Sagittaria sagittifolia*; 10 – *Typha angustifolia*; 11 – *Sparganium erectum*; 12 – *Nymphoides peltata*; 13 – *Cerathophyllum demersum*; 14 – *Hydrocharis morus-ranae*; 15 – *Stratiotes aloides*; 16 – *Aponogeton distachyos*; 17 – *Nymphaea alba*; 18 – *Elodea canadensis*; 19 – *Nuphar lutea*; 20 – *Potamogeton natans*; 21 – *Pontaderia cordata*; 22 – *Trapa natans*; a – šljunak; b – obloga; c – geotekstil; d – pijesak; e – prirodno tlo

Osim biljaka, u biološkoj filtraciji bazenske vode sudjeluju i bakterije, gljive, protozoe, alge, makrofiti i životinje razgradnjom organske tvari. Organske tvari koriste u dva oblika: kao otopljene tvari izravno u staničnom disanju ili kao čestice tvari izlučujući egzoenzime koji razgrađuju te čestice na jednostavnije koje je lakše apsorbirati (Kircher i Thon, 2017).

Bakterije i gljive su heterotrofni organizmi s sličnim ulogama u biološkoj razgradnji (aerobnoj i anaerobnoj). Razgrađuju tvari biljnog i životinjskog podrijetla i dalje ih prenose u cirkulaciju u prirodi. Protozoe koriste biomasu nakupljenu u bakterijama i gljivama i preuzimaju organske tvari u koloidnom obliku. Alge koriste otopljene organske tvari i iz njih preuzimaju organski dušik i spojeve s ugljikom, a transformiraju i masne kiseline, ureu, aminokiseline i peptone. Važnu ulogu imaju i alge koje sadrže klorofil i proizvode kisik jer uz kisik proizvode i različite fotosintetske pigmente koji služe kao hrana za protozoe, mekušce, plosnate i valjkaste crve, ličinke vodenih insekata i druge životinje. Alge često izlučuju i jake toksine. Mora se pripaziti kod porasta biomase algi koje čine fitoplankton gdje dolazi do cvjetanja algi, koje je uvjetovano porastom koncentracije biogenih elemenata (frakcija fosfora i dušika) što uzrokuje prekomjernu eutrofikaciju odnosno intenzivan rast algi te dolazi do neravnoteže u ekosustavu

i trovanja vodenih tijela. U biološkim bazenima možemo pronaći flagelate, cijanobakterije, dijatomeje, Zygnematophyceae i zelene alge (Walczak i sur., 2023).

Biljke, osim što služe u biološkoj filtraciji vode, također su i mehanička zaštita u obalnom području bazena tako što sprječavaju mutnoću koju uzrokuje podizanje sedimenta kretanjem u vodi. Stanište su i za veliki broj beskralješnjaka i vodozemaca, kao i mnogih vrsta zooplanktona (protozoa, rotifera, mikroskopskih rakova i larvi insekata), koji putem trofičkih veza djeluju kao biološki regulatori nastanjivanja i aktivnosti algi i cijanobakterija (Walczak i sur., 2023).

Biljke zadužene za biološku filtraciju bazena se mogu nalaziti u obliku živog zida. Živi biljni zidovi su pogodni za smanjenje buke, poboljšanje kvalitete zraka, sprječavanje pregrijavanja, hlađenje putem zasjenjivanja i isparavanja, ljepšeg ambijenta te filtraciju otpadnih voda. Biljke živog zida učinkovito tretiraju vodu koja nije jako zagađena na način da apsorbiraju dušik i fosfor, smanjena je biokemijska i kemijska potrošnja kisika, ukupna koncentracija suspendiranih čestica čvrste tvari i *E. coli* (Farb, 2020a).

2.6. ODRŽAVANJE BIOLOŠKIH BAZENA

Biološki bazeni, kao i konvencionalni, zahtijevaju održavanje kako bi voda u bazenu bila čista, bistra i prihvatljiva za kupače te u skladu sa zahtjevima Pravilnika.. Jedan od faktora koji zahtijevaju ljudsko djelovanje jest udio hranjivih tvari u biološkom bazenu. Hranjive tvari služe kao hrana biljkama tijekom biološke filtracije, ali i algama kod kojih potiču njihov rast i širenje bazenom. Rast algi u biološkom bazenu jest nepoželjna pojava jer uništavaju vizualan izgled bazena i koriste hranjive tvari koje inače služe biljkama i mikroorganizmima za filtraciju čime ometaju filtraciju i uzrokuju okolinu opasnu za ljudsko zdravlje. Kako bi se spriječio dodatni unos hranjivih tvari iz okolice bazena, potrebno je nakon jeseni ukloniti biljke vani i oko bazena te obrezati do 50 % biljaka u regeneracijskoj zoni kako bi se očuvala bioraznolikost (Farb, 2020a).

Kvalitetu vode u biološkim bazenima potrebno je kontrolirati svaki dan. Provjerom kvalitete vode određuje se koncentracija hranjivih tvari u bazenu i bistroća. Iz površinskih usisavača (engl. skimmers) potrebno je povremeno ukloniti listiće, grančice i druge stvari koje se u njima nakupljaju kako bi površinski usisavači dalje mogli obavljati svoju zadaću (Farb, 2020a).

Biljke zadužene za filtraciju, osim što je potrebno ih povremeno orezivati, u nekim slučajevima potrebno ih je i pognojiti te ukloniti korove s vremena na vrijeme. Nakon određenog perioda oligotrofni nasadi prekriju supstrat te sprječavaju širenje korova, od tog trenutka plijevljenje je neizbježno. Urea, koja dolazi od strane kupača, osim što ulazi u dušikov

ciklus, može se otopiti u vodi bazena i služi kao dušično gnojivo za biljke. Dušika u vodi biološkog bazena inače nedostaje zbog njegove razgradnje tijekom biološke filtracije i denitrifikacije na anaerobnim dijelovima bazena (na dubljim dijelovima bazena i u dijelovima gusto posađenih biljaka) (Farb, 2020a).

Razina vode u biološkom bazenu se s vremenom smanjuje uslijed evaporacije zbog vremenskih uvjeta, odnosno vrućina. U tom slučaju potrebno je nadopuniti svježom vodom, a ta voda se ulijeva u dijelu mehaničke filtracije te prolazi kroz biološku filtraciju, kako ne bi došlo do nagle promjene mikroflore (Farb, 2020a).

2.7. USPOREDBA BIOLOŠKIH BAZENA SA KONVENCIONALNIM BAZENIMA

Glavna razlika između bioloških i konvencionalnih bazena jest upotreba kemikalija, prvenstveno klora. Biološki bazeni u svojoj obradi bazenske vode se oslanjaju na biljke i mikroorganizme i uređaje koji potpomažu pri biološkoj ili mehaničkoj filtraciji bez upotreba kemikalija. Male doze klora u konvencionalnim bazenima nemaju značajan utjecaj na čovjekovo zdravlje, ali s malim koncentracijama klora postoji mogućnost da se ne postigne odgovarajuća dezinfekcija vode u bazenu. S druge strane, veće koncentracije klora mogu uzrokovati zdravstvene probleme kod ljudi, većinom se radi o manjim problemima poput isušivanja kože i kose, umoru, crvenilu, iritacijama očiju, međutim često izlaganje kloru može dovesti do respiratornih problema, kožnih oboljenja, problema sa srcem, rane senilnosti. Konvencionalni bazeni ipak predstavljaju manji rizik od sanitarnih problema za razliku od bioloških bazena s obzirom da je znanstveno dokazano da kemikalije uspijevaju u suzbijanju nepoželjnih, zdravstveno opasnih mikroorganizama poput *E. coli*. Biološki bazeni su pak učinkovitiji u eliminaciji protozoa nego konvencionalni bazeni i predstavljaju manji rizik od infekcija dermatofita, legionela, *Pseudomonas aeruginosa* i *Staphylococcus aureus* (Dold, 2008; Farb, 2020a)

Negativna strana bioloških bazena jest što zahtijevaju puno veću površinu za izgradnju od konvencionalnih bazena s obzirom da, pored zone za kupanje, potrebno je uračunati i površinu za zonu regeneracije. Izgradnja većeg bazena znači i veće novčane troškove (Dold, 2008).. Kao rješenje ovog problema jest peti tip bazena u kojem se za filtraciju vode upotrebljavaju uređaji bez potrebe za sadnju biljaka i time zauzimanja veće površine (Farb, 2020b).

Filtri koji se koriste kod bioloških bazena ne zahtijevaju toliki pritisak kao što se koristi kod konvencionalnih bazena te zahtijevaju upotrebu manje količine energije kako bi postigli isti protok. Takva količina energije može se zadovoljiti korištenjem obnovljivih izvora energije poput solarnih panela što odgovara ekološkom načelu bioloških bazena (Farb, 2020a).

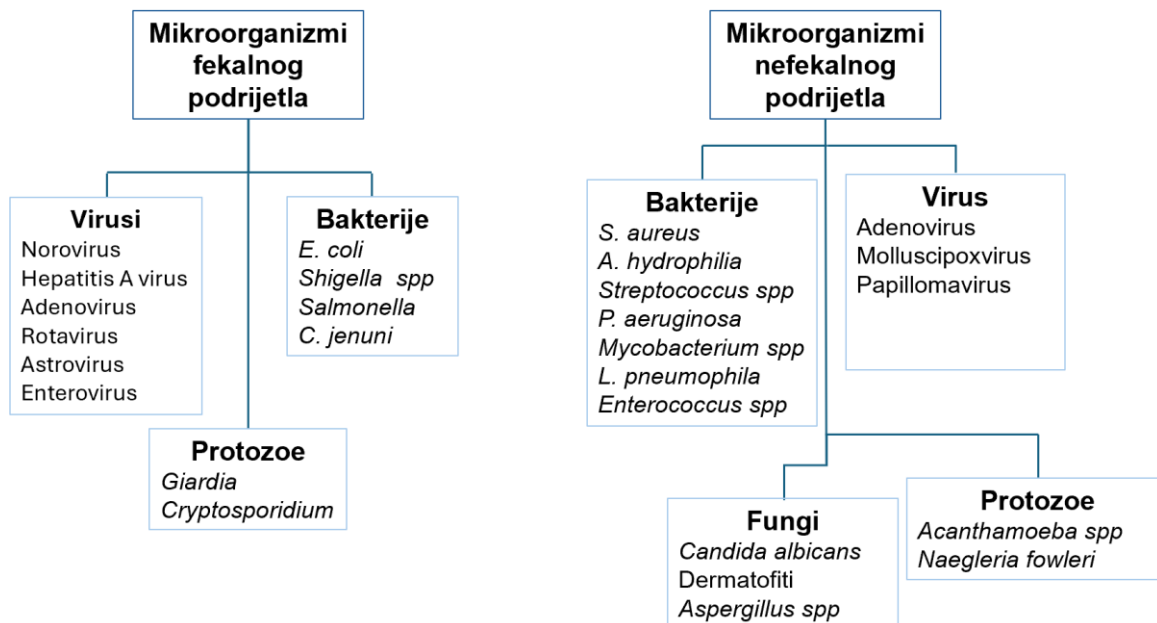
Izgled i princip bioloških bazena ima i pozitivne i negativne strane. Iako se svojim izgledom uklapa u okolinu i prirodu, za razliku od konvencionalnih bazena koji su većinom odvojeni od prirode barem nekim pločama oko ruba, nisu svi ljubitelji algi koje se mogu nalaziti u biološkim bazenima kao ni kukaca i insekata koji lete i prebivaju oko bioloških bazena (Dold, 2008).

2.8. RIZICI ZA KUPAČE U BIOLOŠKIM BAZENIMA

Biološki bazeni mogu predstavljati određene zdravstvene rizike za korisnike bazena ukoliko se bazeni ne održavaju i loša je mikrobiološka kvaliteta vode. Porijeklo zdravstvenih rizika za kupače je biološko, a kako bi se spriječili rizici potrebna je kontrola kvalitete vode (Mahy i Luizi, 2023).

Voda kojom se pune biološki bazeni po zakonu moraju biti iz vodovoda, tako da se pretpostavlja da od te vode ne može doći do zdravstvenog rizika za kupače. Dakle, do zdravstvenog rizika dolazi zbog biološkog onečišćenja unosom od strane ljudi i/ili okolice bazena (Mahy i Luizi, 2023).

Mikrobiološko onečišćenje može biti fekalnog ili nefekalnog podrijetla, a radi se o bakterijama, virusima i protozoama od kojih su najčešći povezani s biološkim bazenima prikazani na slici 16. U biološkim bazenima najčešći onečišćivači su fekalnog podrijetla osim *Pseudomonas aeruginosa* koji nije mikroorganizam fekalnog podrijetla (Mahy i Luizi, 2023). Do mikrobiološkog onečišćenja vode bazena može doći kroz izravan fekalni unos od strane ljudi ili životinja; ili ispuštanja onečišćene vode u bazen iz kanalizacije ili postrojenja obrade otpadnih voda (Schets i sur., 2020). Fekalno zagađenje dovodi do povećane koncentracije *Escherichie coli* i *Enterococca* u onečišćenim biološkim bazenima. *E. coli* može uzrokovati gastroenteritis i urinarne infekcije u ljudi, a dezinfekcija se vrši UV zračenjem s dodatnom oksidacijom kao što je fotokatalitički UV. *Enterococcus* su bakterije koje kod ljudi uzrokuju sepsu, urinarne infekcije ili crijevne infekcije (Mahy i Luizi, 2023). Kvalitetu vode mogu narušiti mikroorganizmi koji su dio prirodne vodene flore kao što su *Pseudomonas aeruginosa*, vrste *Vibrio* i cijanobakterije (Schets i sur., 2020). *P. aeruginosa* je bakterija vrlo otporna i ima veliku sposobnost umnožavanja. Kod ljudi *P. aeruginosa* uzrokuje razne infekcije, a dezinfekcija vode za njeno uklanjanje se ostvaruje fotokatalitičkim UV-om (Mahy i Luizi, 2023). Mikroorganizmi povezani sa životinjama su također prijetnja čovjekovom zdravlju pa tako ličinke *Trichobilharzia*, parazit u vodenih ptica, može kod čovjeka izazvati svrbež. Mikroorganizmi vrste *Leptospira* mogu uzrokovati leptospirozu nastanjujući bubrežni trakt u ljudi. Kako ne bi došlo do pojave rizika za ljudsko zdravlje potrebno je održavati biološke bazene i držati se koncentracija mikroorganizama određenih Pravilnikom (Schets i sur., 2020).



Slika 16. Mikroorganizmi fekalnog i nefekalnog podrijetla (prema Mahy i Luizi, 2023)

Onečišćenje od strane ljudi ovisi o higijeni kupaća, njihovoj aktivnosti u bazenu i temperaturi vode. Kako bi se spriječilo onečišćenje poželjno je tuširanje kupaća prije ulaska u bazen, kako bi se uklonili potencijalni onečišćivači poput znoja, urina, fekalija, kozmetike i drugih kontaminanata, te prolazak kroz bazen za pranje stopala čime bi se umanjio rizik za prijenos *Pseudomonas aeruginosae* i papiloma virusa koji uzrokuje bradavice. Aktivnost kupaća podrazumijeva korištenje bazena u svrhu odmora, rekreacijska aktivnost ili intenzivna aktivnost. S aktivnošću kupaća dolazi i do izlučivanja znoja koji odlazi u vodu bazena i onečišćuje ju. Veća aktivnost u bazenu podrazumijeva i veće lučenje znoja. Temperatura vode je usko povezana sa lučenjem znoja (Mahy i Luizi, 2023). Nizozemski znanstvenik Maarten Keuten je proveo istraživanje u kojem je mjerio lučenje znoja kupaća dok su mirovali ili se bavili nekom aktivnošću. U svojem istraživanju se koncentrirao na količinu znoja koju kupać izluči, a rezultati istraživanja su uspoređeni i sa ostalom znanstvenom literaturom kako bi usporedili utjecaj temperature na količinu lučenja znoja. Iz dobivenih rezultata je zaključeno da pri temperaturi vode višoj od 29 °C, dolazi do značajnog lučenja znoja kod kupaća. Porastom temperature do 32 °C, lučenje znoja je dvostruko veće, a pri temperaturama između 25 i 29 °C ne dolazi do promjene lučenja znoja u kupaća. Pravilnikom RH je određeno da maksimalna temperatura vode može iznositi 26 °C. Prema istraživanju pri temperaturi od 26 °C ka nižim temperaturama lučenje znoja nije značajno i ne dolazi do rizika onečišćenja od strane ljudi (Keuten i sur., 2014).

Rizik predstavljaju i protozoe *Cryptosporidium* i *Giardia* te ostale protozoe koje su otporne čak i na kemijsku dezinfekciju, stoga je nužno da voda prođe filtraciju. Filtracija se u biološkim bazenima odvija nešto sporije pa je time i sporije uklanjanje protozoa. Međutim, u biološkim bazenima obitavaju zooplanktoni koji su učinkoviti u uklanjanju protozoa te je stopa eliminacije protozoa veća ukoliko je i veća koncentracija zooplanktona u bazenu (Bruns i Peppler, 2019). Protozoe je moguće ukloniti i UV lampama. Osim patogenih protozoa, UV zračenje ubija i bakterije i sporogene oblike. Postoje određene doze zračenja potrebnih za inaktivaciju pojedinih mikroorganizama pa je primjerice doza za inaktivaciju *Pseudomonas aeruginosa* 5,5 mJ cm⁻² (Mijatović i Matošić, 2020).

3. ZAKLJUČCI

1. Biološki bazeni koriste biljke i mikroorganizme za filtraciju vode, čime zamjenjuju kemikalije.
2. Biološki bazeni se sastoje od zone za kupanje i zone za regeneraciju. Osnova filtracije bioloških bazena je biološka obrada vode. Koriste se biljke i mikroorganizmi te filtri s mineralnim slojem, pumpe i drugi uređaji kojima se postižu mehanički procesi odvajanja nečistoća.
3. Razni tipovi bazena razlikuju se zbog protoka vode kroz zonu regeneracije. Ovisno o protoku koriste se samo biljke ili biljke zajedno sa uređajima ili samo uređaji za filtraciju. Zone regeneracije i zone za plivanje mogu biti u sklopu jednog bazena ili razdvojene.
4. Biološki bazeni predstavljaju određene zdravstvene rizike za kupače, no ukoliko se održavaju i pravilno kontroliraju, pridržavajući se zakona određenih Pravilnikom, sigurni su za korištenje.
5. Biološki bazeni imaju raznih prednosti u usporedbi sa konvencionalnim gledajući ekološku stranu bazena. Oba tipa bazena predstavljaju određene zdravstvene rizike za kupače, a negativna strana bioloških bazena jest površina koju zauzima s obzirom da je uz zonu za plivanje potrebno graditi i zonu za regeneraciju.

4. POPIS LITERATURE

- Biotop Biotop - Swimming Ponds: Eco-Pool Alternative | Harmony & Aesthetics.
<https://gb.bio.top/natural-pool>. Pristupljeno 2 July 2024.
- Bruns S, Peppler C (2019) Hygienic quality of public natural swimming pools (NSP). *Water Supply* **19**, 365–370. <https://doi.org/10.2166/ws.2018.076>
- Casanovas-Massana A, Blanch AR (2013) Characterization of microbial populations associated with natural swimming pools. *Int J Hyg Environ Health* **216**.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2012.04.002>
- Dold S (Univerits of G (2008) Integrating Natural and Engineered Wetland Water Purification Processes Into Natural Swimming Pool Environments. University of Guelph
- Farb A (2020a) DigitalCommons @ USU A Deep Dive Into Natural Swimming Pool Filtration : Living Walls as Technical Wetland Filters
- Farb A (2020b) A Deep Dive Into Natural Swimming Pool Filtration : Living Walls as Technical Wetland Filters. UTAH STATE UNIVERSITY
- Hoffman MC (2013) Nutrient Removal in Natural Swimming Pools a Mass Balance Analysis
- Keuten MGA, Peters MCFM, Daanen HAM, de Kreuk MK, Rietveld LC, van Dijk JC (2014) Quantification of continual anthropogenic pollutants released in swimming pools. *Water Res* **53**, 259–270. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.01.027>
- Kircher W, Thon A (2017) Natural Swimming Pools (NSPs)-Principles and Trials with Site-Conform Vegetation. In: Yang B, Chen S (eds) Council of Educators in Landscape Architecture Conference ProceedingsArchitecture Conference Proceedings. Council of Educators in Landscape Architecture, Beijing, China, p 82.
- Mahy JG, Luizi F (2023) Review on the management of water quality for bio-mineral swimming pools in Western Europe. *Environ Monit Assess* **195**, 872.
<https://doi.org/10.1007/s10661-023-11502-4>
- Mijatović Ivan, Matošić Marin (2020) Tehnologija vode (interna skripta). Prehrambeno - biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Pravilnik (2020) Pravilnik o sanitarno-tehničkim i higijenskim uvjetima bazenskih kupališta te o zdravstvenoj ispravnosti bazenskih voda. NN 59/2020. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_05_59_1186.html. Pristupljeno 20 March 2024.
- Schets FM, van den Berg HHJL, Lynch G, de Rijk S, de Roda Husman AM, Schijven JF (2020) Evaluation of water quality guidelines for public swimming ponds. *Environ Int* **137**, 105516. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105516>
- Walczak W, Serafin A, Siwec T (2023) Natural Swimming Ponds as an Application of Treatment Wetlands—A Review. *Water* **15**, 1878. <https://doi.org/10.3390/w15101878>

Izjava o izvornosti

Ja Mandiana Petrović izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristila drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.


Vlastoručni potpis