

ZAŠTITA NASELJENIH PODRUČJA OD POPLAVA POMOĆU RETENZIONIH BAZENA *

Dr Miodrag JOVANOVIĆ
Građevinski fakultet - Beograd

REZIME

Uloga retenzionih bazena u zaštiti naseljenih područja od poplava razmatra se kroz svetska iskustva i tehničke preporuke. Predmetna problematika obuhvata niz inženjerskih zadataka, počev od dimenzionisanja bazena i određivanja njihove efikasnosti u smanjenju poplava, prečišćavanju voda i zadržavanju nanosa, preko projektovanja kontrolnih objekata i određivanja uticaja ispuštanja vode na nizvodno područje, do načina prostornog i pejzažnog uređenja i mera održavanja. Pored osnovne uloge u zaštiti od poplava, retenzioni bazeni daju i značajan doprinos zaštiti životne sredine. Za realizaciju projekata retenzionih bazena bitno je sticanje podrške šire javnosti, što nije moguće bez njenog upoznavanja sa raznim prednostima ovog vida zaštite od poplava. Razmatrana materija ilustrovana je primerom iz naše prakse.

Ključne reči: retenzioni bazeni, zaštita od poplava, zaštita životne sredine

1. UVOD

Retenzioni bazeni su najefikasnije sredstvo za kontrolu velikih voda u naseljenim područjima. Međutim, u novije vreme, ovoj osnovnoj nameni retenzionih bazena pridružuju se i druge namene vezane za poboljšanje kvaliteta voda i zaštitu životne sredine. Kako sa brzim razvojem urbanizacije nova uloga retenzionih bazena dobija sve veći značaj, tradicionalni način njihovog projektovanja se mora unaprediti, da bi se stari i novi ciljevi mogli usaglasiti i uspešno ostvariti.

U literaturi na engleskom jeziku čini se terminološka razlika između „privremenih retenzionih bazena“ („detention basins“) i „trajnih retenzionih bazena“ („retention basins“) [10, 20].

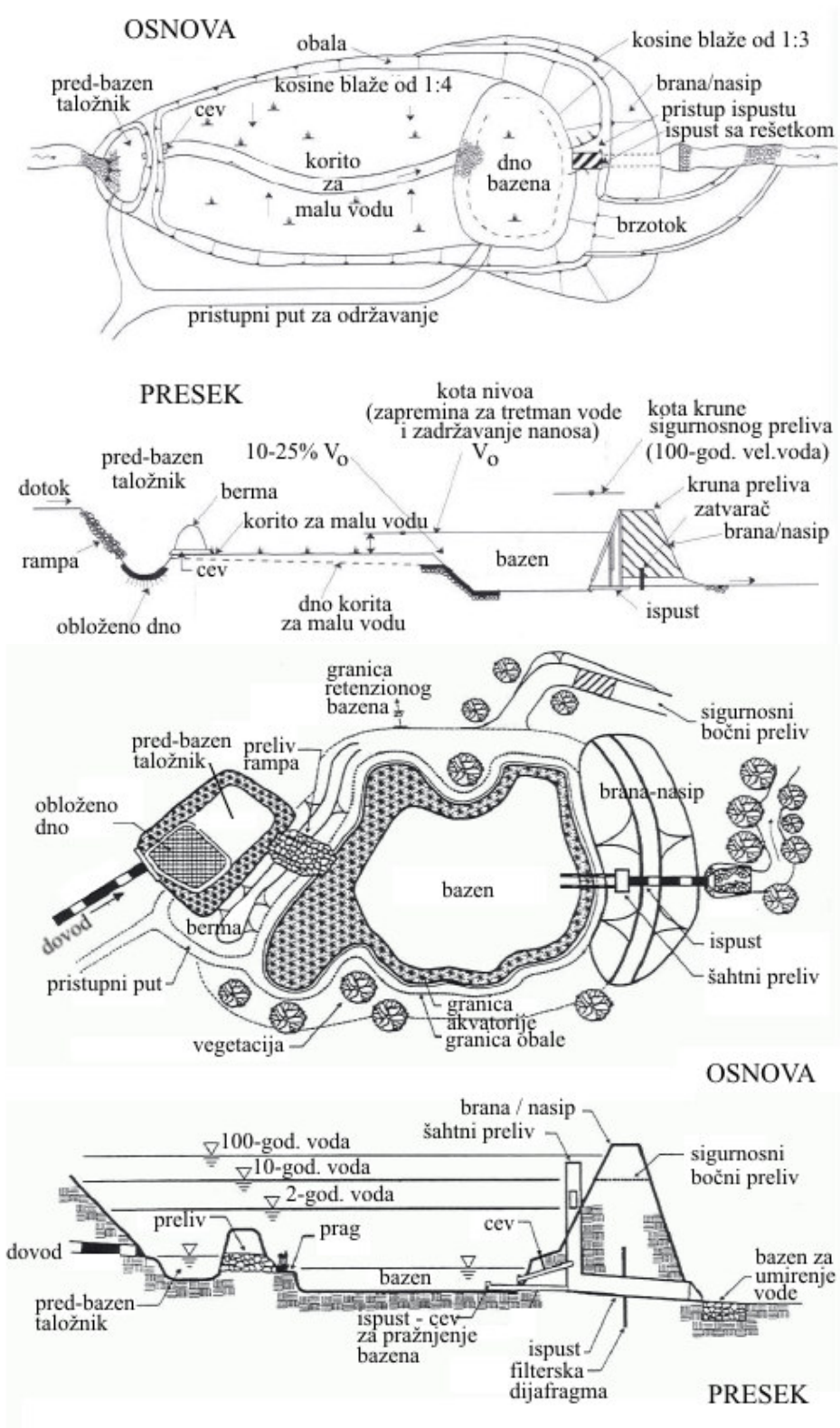
Privremeni retenzioni bazeni se koriste za ublaženje poplavnih talasa, sa pražnjenjem koje je prilagođeno kapacitetu nizvodnog kanalizacionog sistema. Ovi bazeni, tipično dimenzionisani za poplave povratnih perioda između 10 i 100 godina, omogućavaju zadržavanje suspendovanog nanosa i raznih zagadivača. U njima nije predviđeno zadržavanje vode između dve plavne epizode, pa otuda i naziv „privremeni“ ili „suvi“ bazeni. Shematski prikaz bazena ovog tipa dat je na Slici 1.

Zapremina privremenog bazena može biti veća od one koja je potrebna za ublaženje projektnog poplavnog talasa, ako se time postiže bolji kvalitet vode, ili smanjuje količina nanosa i štetnih materija vezanih za nanos. Efekti bazena zavise ne samo od njihove veličine, već i od niza drugih faktora, kao što su: najveći ispusni protok, krupnoća i mineralni sastav nanosa, količina aktivne gline i koloidnog sadržaja u vodi, vrsta i koncentracija zagadivača itd.

Trajni retenzioni bazeni su mala veštačka jezera, a dimenzionisani su za prijem velikih voda i zadržavanje nanosa i zagadivača. Po pravilu, trajni bazeni su u pogledu poboljšanja kvaliteta vode i zadržavanja nanosa efikasniji od privremenih bazena, jer se procesi prečišćavanja odvijaju i u periodima između plavnih epizoda. Ovo svojstvo trajnih bazena može se iskoristiti tako da se uklone nutrijenti i druge materije koje se teško uklanjaju pomoću privremenih bazena. Shematski prikaz tipičnog trajnog retenzionog bazena dat je na Slici 1.

Treći tip retenzionih bazena - „infiltracionih bazena“, koji se koriste za smanjenje zapremine poplavnih talasa i za obnavljanje podzemnih izdani, neće se razmatrati u ovom radu.

* Ovaj članak rezultat je rada na projektu - 410020 Integralno uređenje vodotoka i odbrana od poplava u kontekstu održivog razvoja i zaštite prirodnih bogatstava.



Slika 1. Shematski prikaz tipičnog privremenog retenzionog bazena (gore) i trajnog retenzionog bazena (dole) [10, 20].

2. USLOVI I PRINCIPI PROJEKTOVANJA

Ocena projekata sistema za zaštitu od poplava tradicionalno se u inženjerskoj praksi obavlja pomoću ekonomskih („benefit-cost“) kriterijuma. Međutim, danas se ta ocena mora proširiti i za niz „ne-inženjerskih“ zahteva, kao što su na primer, očuvanje biološke raznovrsnosti i ambijentalnog kvaliteta [21], a to su zahtevi koji se ne mogu lako kvantifikovati. Kako sve oštriji uslovi zaštite životne sredine daju upravo ovim kriterijumima sve veći značaj, vrednovanje nekog projekta zaštite od poplava mora se zasnivati na objedinjenom skupu tehničkih i „netehničkih“ kriterijuma, a optimalno rešenje ne mora uvek biti i ekonomski najpovoljnije. Imajući ove činjenice u vidu, pri projektovanju bazena za zaštitu od poplava mora se u zetu u obzir niz raznorodnih faktora, kao što su:

- fizičke karakteristike terena;
- zapremina bazena (neophodna za ublaženje poplavnih talasa, zadžavanje nanosa i zagađivača);
- kvalitet vode;
- tip brane i kontrolnih objekata;
- uticaj na nizvodno područje;
- vegetacija i pejzažno uređenje;
- eksploatacija, provera i održavanje;
- zakonske i društvene implikacije.

2.1 Fizičke karakteristike

Najznačajniji fizički faktori koji utiču na projektovanje retenzionih bazena su topografija i sastav tla.

Topografija. Vrsta i veličina retenzionog bazena zavise od lokalnih topografskih uslova. Na dubinu trajnih bazena u ravnici bitno utiče nivo podzemnih voda, pa se umesto visokih nasipa preporučuje formiranje bazena iskopom. S druge strane, u brdskim područjima, formiranje bazena može zahtevati veoma visoke nasipe. Topografski uslovi takođe utiču na izbor tipa ispusne građevine. U ravninarskim predelima, po pravilu se koriste prosti preliv, a na strmim terenima, ispusne građevine sa kaskadama.

Sastav tla. Vrlo propusna tla nisu pogodna za formiranje retenzionih bazena, zbog velikih gubitaka vode. Gubici se mogu smanjiti nizom mera, kao što su: nabijanje tla, dodavanje gline, ili oblaganje veštačkim materijalima. Iskop bazena do nivoa podzemne vode može osigurati njegovu održivost, ali to podrazumeva pretnodno izučavanje i dobro poznavanje režima podzemnih voda na predviđenoj lokaciji. Problemi su još složeniji u karstnim područjima, gde je režim podzemnih voda slučajan i teško predvidljiv, pa su neophodni opsežni geotehnički istražni

radovi. U tom slučaju, retenzioni bazeni mogu iziskivati oblaganje, što zantno poskupljuje izgradnju i održavanje. Bez obzira na lokaciju bazena, geotehnički istražni radovi i odgovarajuća laboratorijska ispitivanja svojstava tla (granulometrije, zapreminske mase, poroznosti, vodopropusnosti itd.) su preduslov za projektovanje retenzionih bazena [5, 8].

2.2 Zapremina bazena

Privremeni retenzioni bazeni. Korišćenje ovog tipa bazena počelo je krajem šezdesetih godina prošlog veka. Sa porastom urbanizacije, rasla je potreba za „suvim“ retenzionim bazenima pomoću kojih bi se smanjili najveći protoci poplavnih talasa do nivoa iz perioda pre urbanizacije. Projektne velike vode su tipičnih povratnih perioda 2, 10, 25, 50 i 100 godina. Izbor projektne velike vode i određivanje zapremine bazena zahteva veliku opreznost. Naime, poddimenzionisani bazeni „transliraju“ poplavne talase nizvodno, gde se mogu javiti velike štete usled erozije i plavljenja. Nakon dimenzionisanja bazena prema merodavnom poplavnom talasu, potrebno je proveriti da li usvojena zapremina bazena omogućava kontrolu kvaliteta vode, uz željeni procenat izdvajanja čvrstih i štetnih materija. Ukoliko ovaj kriterijum nije zadovoljen, potrebno je korigovati zapreminu bazena. Korekcije zapremine se ponavljaju sve dok period zadržavanja velikih voda ne bude dovoljno dug da se „uhvate“ svi zagađivači i istalože čvrste materije. Rešavanje ovog problema iziskuje analizu dugoročne produkcije nanosa u slivu i njegovog kretanja u vodotoku. Retenzioni bazeni su naročito korisni za istaložavanje prašinstih i glinovitih čestica, koje najčešće čine oko 80 % suspendovanog nanosa u poplavnom talasu [8].

Trajni retenzioni bazeni. Zapremina ovog tipa bazena određuje se na osnovu površine slivnog područja, hidroloških uslova (najvećeg protoka i zapremine projektnog poplavnog talasa), kao i kriterijuma vezanih za tretman nutrijenata i raznih zagađivača. Zapremine trajnih retenzionih bazena, koje često zavise i od specifičnih lokalnih uslova, kreću se od nekoliko hektara do nekoliko desetina hektara. Površina sliva koja odgovara trajnom bazenu treba da omogući njegovu održivost u toku letnjih perioda, što znači da zapremina vode mora biti dovoljna da „pokrije“ gubitke na procurivanje i isparavanje u toku sušne sezone.

Primarni mehanizam uklanjanja zagađivača je taloženje čvrstih materija, tako da veličina bazena mora da bude prilagođena toj funkciji.

Parametar za grube procene je hidrauličko vreme zadržavanja:

$$T_d = \frac{\nabla_b}{n_e \cdot \nabla_r} \quad [\text{god}], \quad (1)$$

gde je: n_e - prosečan broj plavnih epizoda u toku godine, a ∇_b, ∇_r - zapremine bazena i prosečnog poplavnog talasa.

Svetska iskustva pokazuju da retenzioni bazeni, dimenzionisani za uklanjanje nutrijenata sa vremenom zadržavanja $T_d = 2$ nedelje i najmanjom vrednošću odnosa $\nabla_b/\nabla_r = 4$, zadržavaju 80 – 90 % ukupnog sadržaja suspendovanih materija u vodi [8].

Pored zapremine, i dubina vode u bazenu je važan projektni parametar, jer utiče na taloženje. Bazen treba da je dovoljno plitak da bi se obezbedili aerobni uslovi i sprečila termalna stratifikacija, ali i dovoljno dubok da spreči cvetanje algi i resuspenziju već istaloženih materija usled dotoka velikih voda ili vetrom izazvanih strujanja. Prosečne dubine od 2-4 m obično zadovoljavaju navedene oprečne zahteve. Te dubine su veće od dubine prodora sunčane svetlosti, što sprečava bujanje algi i smanjuje rizik od termalne stratifikacije, a omogućava povoljne uslove za opstanak riba i drugih organizama.

Izloženi principi projektovanja su opšteg karaktera i moraju se dopuniti detaljnom analizom funkcionisanja retenzionog bazena u pogledu ublaženja poplavnih talasa i uklanjanja poplavom nošenih zagađivača i nanosa, kao što sledi u nastavku.

Ublaženje poplavnih talasa

Ovaj proračun je obavezan deo projektne dokumentacije, jer određuje neophodnu zapreminu bazena i kapacitet evakuacionih objekata po kriterijumima najvećeg dozvoljenog nizvodnog protoka i najvećeg prihvatljivog "opterećenja" zagađivačima.

Kod privremenih, malih retenzionih bazena, pretpostavlja se da su, zanemarujući infiltraciju, zapremine ulaznog i izlaznog poplavnog talasa jednake. Transformacija talasa se u inženjerskoj praksi standardno analizira pojednostavljenim postupkom, zasnovanim na rešavanju jednačine kontinuiteta:

$$\frac{d\nabla(t)}{dt} = Q_{ul}(t) - Q_{izl}(t), \quad (2)$$

gde je t - vreme, ∇ - zapremina bazena, a Q_{ul}, Q_{izl} - ulazni i izlazni protoci. Ako se zapremina bazena u jednačini (2) izrazi u funkciji površine vode (Ω) i kote nivoa (Z), jednačina kontinuiteta ima oblik:

$$\Omega(Z) \frac{dZ}{dt} = Q_{ul}(t) - Q_{izl}(Z). \quad (3)$$

Rešavanje problema, definisanog jednačinom (3), zahteva početni uslov: $Z(0) = Z_o$, gde je Z_o - zadata kota nivoa u trenutku $t = 0$, kao i unapred definisanu zavisnost $\Omega(Z)$, koja se dobija na osnovu geodetskih podloga. Matematički model zasnovan na jednačini (3) pretpostavlja da su inercijalni efekti zanemarljivi i da je nivo vode u bazenu u svakom trenutku horizontalan.

Dotok u bazen - ulazni hidrogram $Q_{ul}(t)$, određuje se hidrološkom analizom oticaja u slivu i predstavlja izbor projektnog poplavnog talasa (videti na primer [11]). Izlazni hidrogram se računa pomoću (Bernulijeve) jednačine održanja energije, izražene preko protoka. Ta jednačina je formulisana u skladu sa tipom evakuacionog objekta. Na primer, u slučaju širokog praga pravougaonog poprečnog preseka, važe izrazi za slobodno i potopljeno prelivanje:

$$Q_{izl}(Z) = \begin{cases} C_{Q,1} b \sqrt{2g} (Z - Z_w)^{3/2} \\ C_{Q,2} b \sqrt{2g} (Z - Z_w)(Z - Z_{tw})^{1/2}, \end{cases} \quad (4)$$

gde su b i Z_w - efektivna širina i kota krune praga, Z_{tw} - kota nivoa nizvodno od praga, $C_{Q,1}$ i $C_{Q,2}$ - koeficijenti protoka za slobodno i potopljeno prelivanje, a g - gravitaciono ubrzanje. Kriterijum za slobodno prelivanje je uslov: $Z_{tw} - Z_w \leq 2/3(Z - Z_w)$, a u protivnom, prelivanje je potopljeno [9, 17, 19].

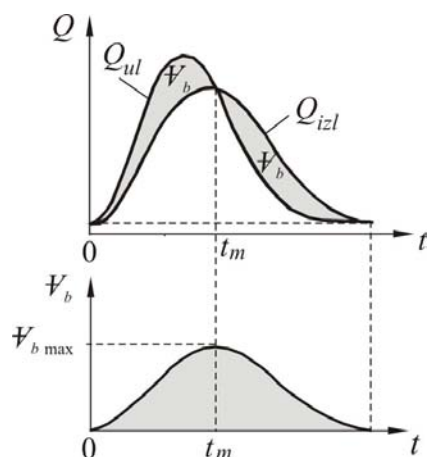
U graničnom slučaju je: $Z_{tw} - Z_w = 2/3(Z - Z_w)$, kada je $C_{Q,1} = 0.385 C_{Q,2}$. (Izraz sličan izrazu (4), može se koristiti i za hidraulički oblikovane prelive, ali sa odgovarajućim vrednostima koeficijenata protoka.)

Ako se voda iz bazena ispušta kroz potopljene cevasti ispuš, protok se računa pomoću izraza:

$$Q_{izl}(Z) = \begin{cases} C_{Q,3} A_o \sqrt{2g} (Z - Z_{tw})^{1/2} & \text{za } (Z - Z_{tw}) > 0 \\ 0 & \text{za } (Z - Z_{tw}) \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

gde je A_o - površina poprečnog preseka cevi, a $C_{Q,3}$ - koeficijent protoka, čija vrednost zavisi od razlike dubina u bazenu i u nizvodnom vodotoku.

Sa definisanim protocima, jednačina (3) se rešava po koti nivoa u bazenu (Z). Nelinearnost zahteva da se jednačina rešava numerički, nekom od iterativnih metoda (na primer poboljšanom Ojlerovom metodom, ili nekom iz klase Runge-Kutta metoda [14]). Shematski dijagram na Slici 2 prikazuje tipičan rezultat numeričke integracije.



Slika 2. Transformacija poplavnog talasa u retenzionom bazenu: računski hidrogrami i promena zapremine vode u bazenu

Izloženi postupak je prikladan za preliminarne analize, kada je neophodno brzo doći do rezultata za niz poplavnih talasa i za niz varijantnih rešenja evakuacionih objekata. Nakon usvajanja optimalne zapremine i odgovarajućeg tipa i kapaciteta evakuacionih objekata, mogu se srovesti hidraulički tačniji, ali numerički zahtevniji, pororačuni, zasnovani na rešavanju jednačina neustaljenog tečenja (San Venanovih jednačina) [9, 23].

Vrlo važan rezultat proračuna transformacije projektnog poplavnog talasa u retenzionom bazenu je "vreme zadržavanja" – prosečno trajanje zadržavanja vode i suspendovanih materija u bazenu. Pod pretpostavkom ustaljenog režima, kada su dotok i oticaj jednaki (Q),

vreme zadržavanja T_d predstavlja odnos zapremine bazena i protoka: $T_d = V_b/Q$. Pri neustaljenom dotoku i oticaju, svaka poplava ima svoje vreme zadržavanja. Parametar T_d je ključan faktor u analizama kvaliteta vode u retenzionim bazenima [26].

Zadržavanje nanosa

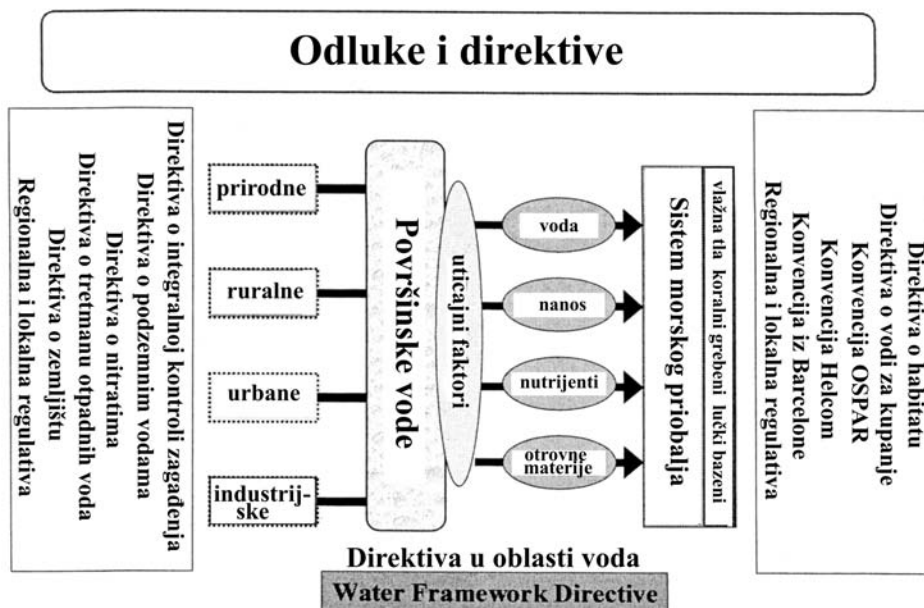
Količina i vreme produkcije nanosa pod uticajem erozionih procesa u slivu zavise od mnogih faktora, kao što su geologija, topografija, namena zemljišta, klima, hidrologija, ljudske delatnosti itd. Kontrola nanosa je dugoročni proces, koji se mora obavljati na nivou sliva. Dijagram na Slici 3 pokazuje da evropska regulativa, uvedena radi kontrole zagađenja, može bitno uticati na kvantitet i kvalitet nanosa u slivu.

Savremeni pristup u ovoj oblasti podrazumeva da su količina i kvalitet nanosa ulazni podaci za lanac numeričkih modela, integrisanih pod GIS okruženjem, koji se koriste ne samo za proračun erozije u slivu, pronosa nanosa i deformacije rečnog korita, već i za procenu uticaja raznih promena u slivu – namene površina, klimatskih uslova, društveno-ekonomskih okolnosti i dr. Sve ovo upućuje na zaključak da se projektovanje retenzionih bazena danas mora staviti u mnogo širi kontekst "upravljanja nanosom", nego što je to bio slučaj u prošlosti.

Proračun zadržavanja suspendovanog nanosa u retenzionim bazenima može se obavljati na raznim nivoima složenosti. Na jednoj strani su komplikovani matematički modeli zasnovani na jednačinama linijskog, ravanskog i prostornog tečenja (sa odgovarajućim modelima turbulencije) [24], a na drugoj strani su jednostavni modeli prilagođeni inženjerskoj praksi [5, 8, 12, 27]. U nastavku se daje kratak pregled uprošćenih modela.

Kapacitet retenzionog bazena za zadržavanje nanosa može se proceniti na osnovu najvećeg protoka projektnog poplavnog talasa, zapremine bazena i brzine taloženja čestica. Prema konceptu idealne taložnice, kritična brzina istaložavanja čestica je: $V_c = H/T_d = Q/\Omega$, gde je H - srednja dubina bazena, Ω - površina vodnog ogledala, T_d - vreme zadržavanja, a Q - najveći protok na prelivu.

Brzina tonjenja čestice zavisi od njenog mineralnog sastava i krupnoće. Za određivanje ove brzine mogu se koristiti razne empirijske formule i nomogrami [19].



Slika 3. Evropske direktive relevantne za kontrolu količine i kvaliteta nanosa u slivu [25]

Za vrlo sitne čestice važi Stoksov zakon, prema kome je brzina istaložavanja (W) usamljene čestice prečnika (d), u mirnoj vodi neograničene zapremine:

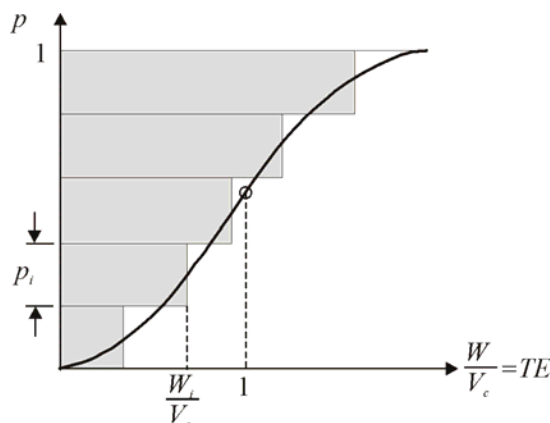
$$W = \frac{g(\rho_s - \rho)d^2}{18\mu}, \tag{6}$$

gde su gustine nanosa i vode ρ_s i ρ , a dinamička viskoznost vode μ je parametar čija vrednost zavisi od temperature.

Granulometrijski sastav nanosa se definiše sa nekoliko frakcija. "Efikasnost zadržavanja" svake frakcije je odnos brzina: $TE_i = W_i/V_c$, gde je $i = 1, 2, \dots, N$ broj frakcije. Čestice za koje je: $TE \geq 1$, imaju procenat istaložavanja 100 %. Čestice za koje je: $TE < 1$, imaju procenat istaložavanja W_i/V_c . Procenat ukupno istaloženih (u bazenu zadržanih) čestica iznosi (Slika 4):

$$P_t = \int_0^1 \left(\frac{W}{V_c}\right) dp \approx \sum_{i=1}^{i=N} \left(\frac{W_i}{V_c}\right) \Delta p_i = \sum_{i=1}^{i=N} TE_i \cdot \Delta p_i. \tag{7}$$

(Sabiranje u jednačini (7) podrazumeva da se za $TE_i = W_i/V_c \geq 1$, uzima $TE_i = 1$.)



Slika 4. Efikasnost zadržavanja čestica nanosa po frakcijama

Granulometrijski sastav istaloženog nanosa. Ako je procenjena produkcija nanosa u slivu M_s (za metode proračuna konsultovati specijalizovanu literaturu, na primer [7]), mase u bazenu istaloženog (zadržanog) nanosa - $m_{t,i}$ i nanosa koji je prošao kroz bazen - $m_{d,i}$, mogu se saračunati (po frakcijama) pomoću jednostavnih izraza:

$$m_{t,i} = \Delta p_i \cdot M_s \cdot TE_i \tag{8}$$

$$m_{d,i} = \Delta p_i \cdot M_s \cdot (1 - TE_i) \tag{9}$$

Ukupne mase zadržanog i propuštenog nanosa su:

$$M_t = \sum_{i=1}^{i=N} m_{t,i} = M_s \sum_{i=1}^{i=N} \Delta p_i \cdot TE_i \quad (10)$$

$$M_d = \sum_{i=1}^{i=N} m_{d,i} = M_s \sum_{i=1}^{i=N} \Delta p_i (1 - TE_i), \quad (11)$$

odakle sledi da je učešće pojedinih frakcija u ukupnoj masi zadržanog i propuštenog nanosa:

$$f_{t,i} = \frac{m_{t,i}}{M_t} = \frac{\Delta p_i \cdot TE_i}{\sum_{i=1}^{i=N} \Delta p_i \cdot TE_i} \quad (12)$$

$$f_{d,i} = \frac{m_{d,i}}{M_t} = \frac{\Delta p_i (1 - TE_i)}{\sum_{i=1}^{i=N} \Delta p_i (1 - TE_i)}. \quad (13)$$

Sadržaj glinovitih čestica. Kategorija glinovitih čestica obuhvata sve čestice sitnije od 0.062 mm. U svakoj od usvojenih frakcija nanosa postoji određen procenat glinovitih čestica $p_{c,i}$, sa masom: $(\Delta p_i M_s) \cdot p_{c,i}$. Ukupna masa zadržanih, odnosno propuštenih glinovitih čestica iznosi:

$$M_{t,c} = M_s \sum_{i=1}^{i=N} \Delta p_i \cdot p_{c,i} \cdot TE_i \quad (14)$$

$$M_{d,c} = M_s \sum_{i=1}^{i=N} \Delta p_i \cdot p_{c,i} (1 - TE_i). \quad (15)$$

Aktivna glina. Određivanje količine aktivne gline je bitno za procenu uticaja retenzionih bazena na prostiranje zagađivača i nutrijenata. Kao što je poznato, ove materije imaju određenu masu taloga koji se sorbiranjem vezuje za aktivnu glinu. Ako je $k = 1, 2, \dots, N_s$ zagađivača ili nutrijenata, sa masom u bazenu zadržanih istaložljivih čestica $m_{ts,k}$ i masom kroz bazen propuštenih čestica $m_{ds,k}$, dolazi se do odgovarajućih ukupnih masa:

$$M_{t,s} = \sum_{k=1}^{k=N_s} m_{ts,k} \quad (16)$$

$$M_{d,s} = \sum_{k=1}^{k=N_s} m_{ds,k}, \quad (17)$$

od kojih na aktivnu glinu otpada:

$$M_{t,ac} = M_{t,c} - M_{t,s} \quad (18)$$

$$M_{d,ac} = M_{d,c} - M_{d,s}. \quad (19)$$

Ako je ukupna produkcija glinovitih čestica na nivou sliva: $M_c = \sum_{i=1}^{i=N} M_s \cdot \Delta p_i \cdot p_{c,i}$, kapacitet retenzionog bazena za zadržavanje aktivne gline (a time i raznih zagađivača i nutrijenata) je:

$$TE_{ac} = \frac{M_{t,ac}}{M_c - M_{s,in}}, \quad (20)$$

gde je $M_{s,in} = \sum_{k=1}^{k=N_s} m_{s,in}$ ukupna masa svih N_s istaložljivih zagađivača ili nutrijenata, prisutnih u vodi koja je dospela u bazen.

Dinamička efikasnost zadržavanja. Prethodno definisana efikasnost zadržavanja (TE) može se koristiti za prognozu zadržavanja nanosa u jednoj poplavnoj epizodi. Kod trajnih retenzionih bazena, mora se uzeti u obzir i taloženje nanosa u periodima između poplavnih epizoda, računajući sa prosečnim vremenom između poplava. U idealnim uslovima, brzina istaložavanja jedne frakcije nanosa može se proceniti pomoću izraza:

$$Q_{r,i} = W_i \cdot \Omega_b \quad [m^3/s, m^3/dan], \quad (21)$$

gde je Ω_b - površina vodnog ogledala retenzionog bazena [m^2].

Ako je ∇_r - prosečna zapremina poplavnog talasa, a T_{st} - prosečno vreme između poplava, faktor zadržavanja bazena biće:

$$r_i = \frac{T_{st} \cdot Q_{r,i}}{\nabla_r}. \quad (22)$$

U dinamičkim uslovima – pri različitim najvećim protocima i zapreminama poplavnih talasa, efikasnost zadržavanja nanosa TE_i u retenzionom bazenu mora se odrediti na osnovu statističke analize poplavnih talasa. Kao merodavna usvaja se vrednost osrednjena za sve poplave.

Postoje različiti modeli za dugoročnu prognozu efikasnosti zadržavanja. Najčešće se koristi model EPA [12],

zasnovan na gama raspodeli protoka, sa zadatim vrednostima srednjeg protoka i koeficijenta varijacije CV_Q .

Prema ovom modelu, dinamička efikasnost zadržavanja je:

$$DTE_i = \left[\frac{1/CV_Q^2}{1/CV_Q^2 - \ln(TE_i)} \right]^{1/CV_Q+1}, \quad (23)$$

gde je TE_i - efikasnost zadržavanja "i"-te frakcije za prosečnu poplavu. Vrednost koeficijenta varijacije CV_Q u izrazu (23) približno je jednak vrednosti istog koeficijenta za intenzitet kiša.

Ukupna dugoročna efikasnost bazena u pogledu zadržavanja nanosa, koja obuhvata trajanje poplava i periode između poplava, može se grubo proceniti pomoću jednačine:

$$TTE_i = 1 - (1 - DTE_i)(1 - TE_Q), \quad (24)$$

gde je TE_Q - efikasnost zadržavanja u mirnoj vodi, u periodima između poplava. U proračunima se moraju koristiti empirijske zavisnosti prikazane na Slici 5.

Zadržavanje hemijskih zagađivača

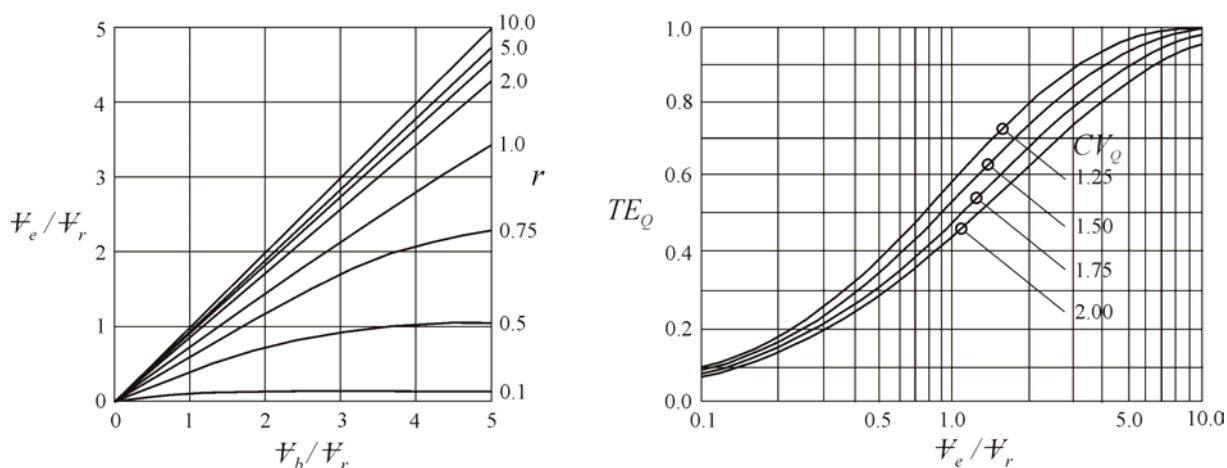
Hemijska zagađenja dospevaju u retenzione bazene površinskim spiranjem sa sliva. Kako su rastvorene hemijske materije u najvećem broju konzervativne (nerazgradljive), zadržavanje nastaje kao rezultat istaložavanja onih hemijskih komponenti koje su sorbiranjem vezane za

aktivnu glinu. Proračun taloženja čestica aktivne gline je prethodno prikazan. Procenat glinovih čestica koje su merodavne sa stanovišta istaložavanja hemijskih zagađivača određuje se na osnovu koncentracije zagađenja pri prosečnoj plavnoj epizodi. Masa sorbiranog zagađivača određuje se preko koncentracije čvrste faze, koristeći rezultate ispitivanja lokalnog tla. Detalji se mogu naći u specijalizovanoj literaturi [7, 29].

2.3 Poboljšanje kvaliteta vode

Pored zadržavanja suspendovanih materija, retenzioni bazeni imaju važnu ulogu u uklanjanju nutrijenata – azota i fosfora. Trajni retenzioni bazeni su u tom pogledu efikasniji od privremenih. Objašnjenje je u tome što se efikasnost privremenih bazena zasniva isključivo na taloženju čvrstih materija, dok se u trajnim retenzionim bazenima, uz taloženje, odvija i niz fizičkih, hemijskih i bioloških procesa. Poređenje efikasnosti privremenih i trajnih retenzionih bazena dato je u Tabeli 1.

Može se primetiti da su trajni bazeni pogodni za smanjenje opterećenja nutrijentima i da stoga povoljno utiču na smanjenje rizika od eutrofikacije u nizvodnim vodotocima, jezerima i zalivima. Međutim, ovi bazeni zahtevaju 2-7 puta veće zapremine od najvećih privremenih bazena, što povećava troškove izgradnje i održavanja za 50-100 % [8]. Veći troškovi su opravdani samo kada je primarna funkcija bazena zaštita od poplava i kada potencijalne štete od plavljenja nizvodnog područja prevazilaze troškove prečišćavanja vode.



Slika 5. Empirijski dijagrami za određivanje efikasnosti zadržavanja nanosa u periodima između poplava [12]

Tabela 1. Procenti zadržavanja u bazenima projektovanim za kontrolu kvaliteta vode [2, 8]

Tip bazena	Ukupno suspendovanih materija	Azot	Fosfor	Olovo	Cink	BOD
Privremeni	50-80	0 (rastvoreno) 10-30 (ukupno)	0 (rastvoreno) 10-50 (ukupno)	35-80	35-70	20-40
Trajni	70-85	50-70 (rastvoreno) 30-40 (ukupno)	50-70 (rastvoreno) 50-65 (ukupno)	25-85	25-85	20-40

2.4 Brane i objekti za kontrolu protoka

Privremeni retenzioni bazeni. Nasuti objekat – brana ili nasip, pomoću koga se formira bazen, dimenzioniše se na projektnu veliku vodu, sa sigurnosnim prelivom. Izbor povratnog perioda projektne velike vode zavisi od kategorizacije hazarda i rizika, koja je u raznim zemljama različita. Analiza potencijalnih hidrauličkih posledica usled naglog rušenja brane ili nasipa je obavezna i predstavlja sastavni deo projektne dokumentacije.

Nagibi kosina nasutih objekata moraju biti određeni tako da obezbede stabilnost objekata i u uslovima potpunog zasićenja tla. Ti nagibi su po pravilu vrlo blagi (manji od 1:4) i zbog javne sigurnosti i rekreativne namene prostora. Preporučuje se izgradnja “predbazena” zapremine od oko 10 % zapremine glavnog bazena, da bi se istaložavanje nanosa koncentrisalo na ulazu i smanjili troškovi čišćenja. Poželjno je da dno predbazena bude obloženo kako bi se čišćenje moglo često i lako obavljati.

Ulazne kontrolne građevine mogu biti raznih tipova, a najčešće se grade u vidu brzotoka ili strmih ravni, šahtova, ulaznih cevovoda sa bazenima za umirenje i dr. [3, 10]. Ove građevine treba da spreče eroziju dna i obala bazena na njegovom ulaznom delu, kao i resuspenziju već istaloženog nanosa.

Ispusne kontrolne građevine – evakuacioni objekti, treba da obezbede odloženo i usporeno pražnjenje bazena u predviđenom vremenskom periodu. Ovi objekti mogu imati više, visinski različito postavljenih, otvora za evakuaciju velikih voda različitih povratnih perioda, kao i za ispuštanje biološkog minimuma. Projektovanje kapaciteta evakuacionih objekata zasniva se na analizi brzine ispuštanja vode iz bazena [17, 18]. Ako se evakuacioni objekti predimenzionišu, brzina ispuštanja će biti isuviše velika za male poplavne talase, a odgovarajuća vremena zadržavanja isuviše kratka za taloženje finih čestica, tako da je uticaj bazena na poboljšanje kvaliteta vode nedo-

voljan. Problem osiguranja prave brzine ispuštanja za izabrani opseg poplavnih talasa, rešava se postavljanjem evakuacionih otvora na različitim kotama, kao što će kasnije biti ilustrovano jednim primerom.

Trajni retenzioni bazeni. Kao kod privremenih bazena, projektnim rešenjem se mora osigurati neutralisanje viška mehaničke energije toka na ulazu. Poželjno je difuzno širenje ulaznog mlaza u predbazenu. Disipacija energije može se kod ulaznih građevina povećati na razne načine: povećanjem apsolutne rapavosti korita (oblaganjem krupnim kamenom), postavljanjem šahtova ili kaskada, sadenjem vegetacije itd. Da bi se smanjila učestalost čišćenja glavnog bazena, obično se predviđa predbazen, kao taložnik sa obloženim dnom. Zapremina predbazena, koji je, od glavnog bazena, odvojen pragom i vodenom vegetacijom (Slika 1), iznosi oko 10 % zapremine glavnog bazena. Tipična ispusna građevina opremljena je rešetkom i uređajem za njeno čišćenje. Kapacitet evakuatora određen je prema najvećem projektnom protoku. U slučaju cevni ispusta koji prolaze ispod ili kroz trup brane/nasipa, mora se sprečiti procurivanje oko cevi. Za kontrolu protoka postavlja se zatvarač. Kapacitet evakuacionog objekta je obično tako određen da se bazen može isprazniti za nekoliko dana, a mehaničko čišćenje bazena obaviti u kratkom roku.

2.5 Uticaji na nizvodno područje

Retenzioni bazeni daju mogućnost smanjenja plavljenja i erozije korita vodotoka na nizvodnom području. Vrh merodavnog poplavnog talasa treba da bude snižen do kapaciteta kolektora postojećeg kanizacionog sistema - kapaciteta koji u jednom trenutku rastuće urbanizacije postaje nedovoljan. Ako postoji nekoliko bazena u nizu, hidrauličkim proračunima se mora proveriti da ne dođe do superpozicije izlaznih talasa i povećanja plavljenja nizvodnog područja. Ovo podrazumeva ne samo proveru najviših kota nivoa, već i najvećih brzina toka, zbog opasnosti od erozije korita.

Za proračune se obično koristi model linijskog tečenja, zasnovan na jednačinama održanja mase i količine kretanja [9, 19]:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad (25)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial Z}{\partial x} + I_e \right) = 0 \quad (26)$$

gde su redom: t, x, Q, Z - vreme, odstojanje duž toka, protok i kota nivoa vode. Promenljiva A je površina poprečnog preseka, q je bočni protok po jedinici dužine toka, a I_e nagib linije energije usled trenja, koji se standardno definiše pomoću Manningovog koeficijenta otpora (n):

$$I_e = \frac{n^2 Q |Q|}{R^{4/3} A^2}. \quad (27)$$

(Veličina R je hidraulički radijus.)

Sistem parcijalnih diferencijalnih jednačina (25)–(26), sa odgovarajućim početnim i graničnim uslovima, rešava se numerički, nekom od metoda konačnih razlika ili konačnih elemenata. U praksi se standardno koristi Prajsmanova shema metode konačnih razlika [9, 19].

Rezultati hidrauličkih proračuna mogu se koristiti za razne dopunske analize. Na primer, na osnovu vremenskog i prostornog rasporeda brzine $V(x, t) = Q(x, t)/A(x, t)$, kao i upoređenjem vrednosti brzine sa kritičnom brzinom, može se proceniti ugroženost od erozije rečnog korita i obala. (Alternativno, analiza stabilnosti korita može se obaviti i prema kriterijumu kritičnog tangencijalnog napona [19].) Mere zaštite korita obuhvataju izgradnju objekata za smanjenje brzine (slapište na izlazu iz bazena, kaskade duž vodotoka), kao i zaštitu obala raznim tipovima obaloutvrde.

Uticaj retenzionih bazena na nizvodno područje obuhvata i kontrolu hemijskog i termičkog zagađenja. Evidentno je prisutan i uticaj na biološke vrste. Već je ukazano na činjenicu da uticaj privremenih i trajnih retenzionih bazena na zadržavanje hemijskih zagađivača može biti veoma različit i da kvantifikovanje tog uticaja nije lak zadatak. Takođe se generalno može konstatovati da veći privremeni bazeni, a pogotovo trajni bazeni, umereno povećavaju termalno opterećenje vodotoka recipijentata, ali u kojoj meri ova pojava ugrožava životnu sredinu, do

sada nije dovoljno izučeno. Biološke posledice izgradnje retenzionih bazena, koje takođe nisu dovoljno izučene, zavise od brojnih faktora: veličine poplavnog talasa, vremena zadržavanja vode u bazenu, biološke raznovrsnosti vodotoka i priobalja i dr.

2.6 Vegetacija i pejzažno uređenje

Privremeni retenzioni bazeni. Vegetacija u bazenima je veoma bitna, jer sprečava eroziju i pospešuje zadržavanje nanosa. Izbor vegetacije zavisi od lokalnih uslova. Kosine bazena se zatravljaju, dok je dno bazena obično obraslo morčvarnim biljem, niskom trskom, ili je obloženo šljunkom. Retenzioni bazeni, kao deo životne sredine, moraju biti dobro uklopljeni u lokalni ambijent. Izgradnja ovih bazena je idealna prilika za promociju rekreativnih aktivnosti i unapređenje kvaliteta života građana [21]. U projektovanju moraju učestovati biolozi i pejzažni arhitekti [16], jer je, sa stanovišta estetskog uređenja, svaki retenzioni bazen slučaj za sebe. Projektanti moraju voditi računa ne samo o mnoštvu lokalnih faktora i ograničenja, o sigurnoj eksploataciji, redovnom pregledu i održavanju, već moraju prepoznati i zadovoljiti potrebe lokalne zajednice.

Trajni retenzioni bazeni. Kao u prethodnom slučaju, ovi bazeni zahtevaju poseban projekat pejzažnog uređenja. Da bi se obezbedio siguran prilaz i olakšalo održavanje, kosine bazena moraju biti blage (najviše 1:4), Priobalni pojas oko bazena mora biti pod odgovarajućom vegetacijom, da bi se smanjila erozija, sprečilo bujanje algi i potpomoglo zadžavanje nutrijenata. Ova vegetacija je takođe važna za opstanak vedenih organizama. Širina priobalnog pojasa treba da bude najmanje 3 m, sa dubinom vode 0.2-0.5 m, a njegova ukupna površina, 20-50 % površine vodnog ogledala u bezenu [8]. Pri izboru vodene vegetacije treba konsultovati specijaliste.

Naglašava se da projekti pejzažnog uređenja moraju biti sastavni deo projektne dokumentacije. To je važno zbog zoniranja, izbora vegetacije (lokalno zastupljenih vrsta), kao i izbora biološkog materijala koji će se koristiti pri izgradnji objekta, u duhu savremenih trendova i principa "naturalnog" uređenja (fašinske rolne, fašinski madraci itd.).

2.7 Eksploatacija, pregled i održavanje

Iako eksploatacija retenzionih bazena ne zahteva posebne uslove, funkcionalna pouzdanost bazena zavisi od dobrog održavanja.

Loše održavanje ima niz potencijalno negativnih posledica:

- povećan rizik od oštećenja, čak i rušenja nasutog objekta, što ugrožava živote i materijalna dobra na nizvodnom području;
- nestabilnost korita vodotoka nizvodno od brane;
- degradaciju izgleda bazena i okolnog ambijenta.

Negativne posledice se mogu izbeći redovnim pregledom i održavanjem. S obzirom da je reč o složenim vodenim ekosistemima, mere održavanja su ponekad "suptilne" i zahtevaju ekspertna znanja.

Pregled i provera objekta trebalo bi da se po pravilu obavlja jednom godišnje, ali i posle svake velike poplave. Provera treba da obuhvati: zasutost bazena nanosom i naplavom, stanje ulaza u bazen i nasute brane (sleganje, erozija kosina, procurivanje), stanje evakuacionog objekta, vegetaciju (gustina, visina), pojavu raznih oštećenja itd. U svetu je nadležnost u pogledu redovnog obilaska i pregleda podeljena između državnih/lokalnih regulatornih agencija i vlasnika bazena. Obaveza je svih koji u tome učestvuju da redovno stavljaju na uvid svoje izveštaje i da na taj način pokažu da su obaveze održavanja objekta u potpunosti ispoštovane.

Mere održavanja se mogu podeliti na mere funkcionalnog održavanja i mere estetskog održavanja. Funkcionalno održavanje ima dve komponente – preventivno i korektivno održavanje.

Preventivno održavanje, koje obezbeđuje punu funkcionalnost sistema i pogodne uslove korišćenja, obuhvata: čišćenje bazena, popravku mehaničke opreme, šišanje trave i seču rastinja, istrebljenje komaraca itd.

Korektivno održavanje, koje se preduzima povremeno i po potrebi, da bi se povratila funkcionalnost i sigurnost sistema, obuhvataju: uklanjanje naslaga nanosa, popravku kosina brane/nasipa, uklanjanje vegetacije čiji koreni sistem ugrožava branu/nasip, popravku evakuacionih objekata, saniranje erozijom oštećenih mesta, uklanjanje naslaga snega i leda itd.

Uklanjanje nanosa predstavlja interventnu meru koja ima dvojak karakter. To može biti manja intervencija koja se relativno često preduzima u cilju poboljšanja rada ulazne i/ili ispusne evakuacione građevine, ili to može biti velika intervencija koja se obavlja nekoliko puta u toku životnog veka objekta. U ovom drugom slučaju, broj čišćenja zavisi od površine sliva i godišnje produkcije nanosa.

Gruba procena prosečne godišnje količine nanosa u bazenu (δ_s) može se dati na osnovu izraza [4]:

$$\delta_s = P_e \cdot C \cdot \left(\frac{\Omega_c}{\Omega_b} \right) \cdot TE \quad [\text{mm}], \quad (28)$$

gde su: P_e – efektivne godišnje padavine [mm], C – prosečna godišnja zapreminska koncentracija suspendovanog nanosa u površinskom oticaju, TE – efikasnost zadržavanja nanosa u bazenu, a Ω_c, Ω_b – površine sliva i bazena.

Proračunom količine akumulisanog nanosa može se proceniti učestalost čišćenja i troškova. Međutim, preporučuje se velika obazrivost, jer su, zbog brojnih neizvesnosti, velike šanse da količina nanosa koji dospe u bazen bude znatno veća od procenjene količine i da su stoga, neophodna češća čišćenja. Ovo treba imati u vidu, jer su projekti čišćenja bazena veoma skupi; obuhvataju troškove geodetskih snimanja, angažovanja mehanizacije, transporta i odlaganja materijala, obnove dna bazena, obala i vegetacije. U slučaju trajnih retenzionih bazena, neophodno je isušivanje bazena pre njegovog čišćenja od nanosa. Ukonjeni nanos može se samo privremeno odložiti u blizini bazena, dok se ne pripremi trajna deponija na predviđenoj lokaciji.

Češće uklanjanje nanosa je neophodno kada je u njemu značajan sadržaj otrovnih materija, kao što su teški metali. Analizom uzoraka, mora se stalno pratiti prisustvo teških metala i drugih opasnih materija u bazenu. Ako se situacija drastično pogorša, mora se obaviti potpuno čišćenje i rehabilitacija bazena. Uklanjanje otrovnih materija regulisano je u svakoj zemlji na poseban način.

2.8 Zakonske i socijalne implikacije

Privremeni retenzioni bazeni se po pravilu formiraju u naseljenim područjima i projektuju se tako da se na najbolji način uklope u postojeći ambijent. Kada su suvi, mogu se koristiti za potrebe rekreacije kao sportski tereni. Zbog toga je važno da pored osnovnih funkcija bazena, estetika ambijenta i održavanje prostora budu podjednako važni delovi projekta.

Trajni retenzioni bazeni imaju potencijalno veći estetski kvalitet od privremenih (velika vodena površina u kojoj se ogleda vegetacija, naslage nanosa su "sakrivene" ispod nivoa itd.), kao i veće mogućnosti za razvoj turizma i rekreacije. Nedostatak može biti veće zagrevanje vode u toku letnjih meseci, o čemu treba voditi računa pri

određivanju zapremine bazena, naročito ako su nizvodni vodotoci-recipienti ekološki osetljivi na porast temperature.

Projekti retenzionih bazena mogu biti suočeni sa raznim zakonodavnim ili socijalnim implikacijama ograničavajućeg karaktera [1, 2, 22]. Naime, može se desiti da zakon sprečava izgradnju retenzionih bazena na određenim, za odbranu od poplava povoljnim, lokacijama, ili da tu izgradnju izuzetno dopušta, ali uz određene garancije, koje zahtevaju prikupljanje dopunskih podloga i izradu dopunske projektne dokumentacije. Implikacije u socijalnoj sferi vezane su najčešće za sukobe interesa zainteresovanih učesnika (lokalne uprave, planera, građevinskih izvođačkih firmi i dr. [21]), ili ograničenja koje postavljaju društva za zaštitu životne sredine ili nevladine organizacije.

3. PRIMER IZ NAŠE PRAKSE

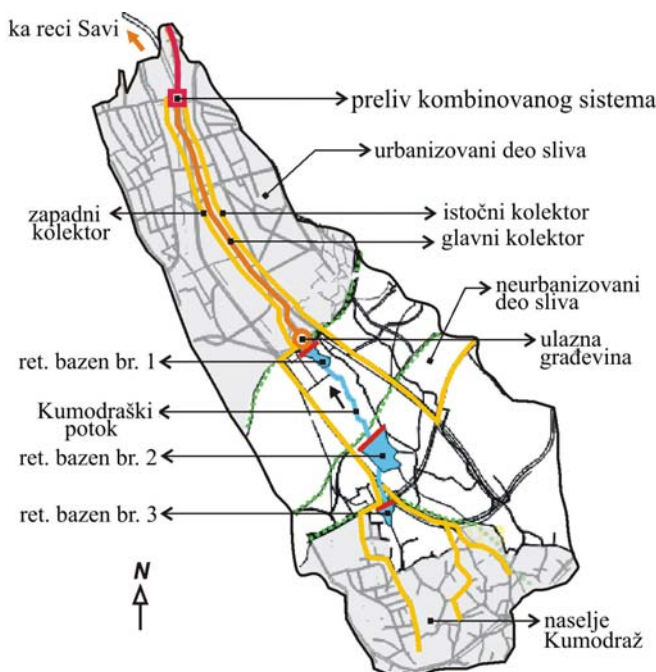
Za ilustraciju opisanih principa projektovanja retenzionih bazena, daje se primer projekta integralnog uređenja sliva Kumodraškog potoka u Beogradu. Sliv ovog potoka, ima površinu od 7.8 km². Namena površina varira od poljoprivrednog zemljišta u gornjem delu sliva, do gusto naseljenih kvartova u njegovom donjem delu.

Kumodraški potok je uveden u kolektor kanalizacionog sistema na sredini sliva (Slika 6). Reč je o sistemu od oko 1000 cevi, koji u gornjem delu sliva ima karakter separacionog sistema, a u donjem, mešovitog sistema.

Ciljevi projekta [11,13] su:

- efikasno odvođenje velikih voda povratnog perioda 2 godine bez zagušenja kolektora;
- zaštita urbanizovanog dela sliva od velikih voda povratnog perioda 10 godina;
- razdvajanje kišnih od otpadnih voda na delu sistema koji sada funkcioniše kao mešoviti sistem;
- izgradnja separacionog sistema na delu sliva koji je sada bez kanalizacije;
- smanjenje udarnog zagađenja pri nailasku poplavnih talasa;
- očuvanje prirode u gornjem, neurbanizovanom delu sliva.

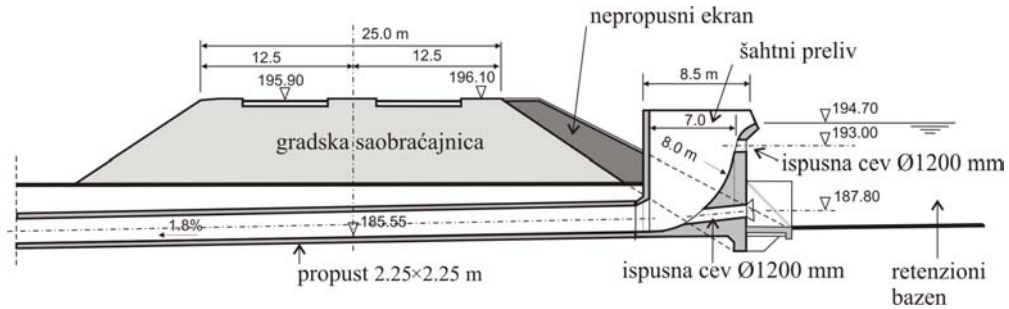
Projektom rešenjem je, između ostalog, predviđena izgradnja tri privremena retenziona bazena, locirana 0.5, 1.0 i 1.5 km uzvodno od mesta gde je Kumodraški potok uveden u kolektor (Slika 6). Svha ovih bazena je da smanje protoke velikih voda do prihvatljive mere za kanalizacioni sistem i da te vode zadrže dovoljno dugo za taloženje nanosa i zagađivača.



Slika 6. Sliv Kumodraškog potoka u Beogradu i predloženi sistem za zaštitu od poplava sa tri, u nizu postavljena, retenziona bazena [13]

Prema projektu, bazeni bi se formirali izgradnjom nasutih brana visine 6 - 9 m u pogodnim profilima, vodeći računa o lokalnim uslovima. Tako bi se na primer, bazen br. 3 formirao koristeći nasip lokalne saobraćajnice, sa dodat-

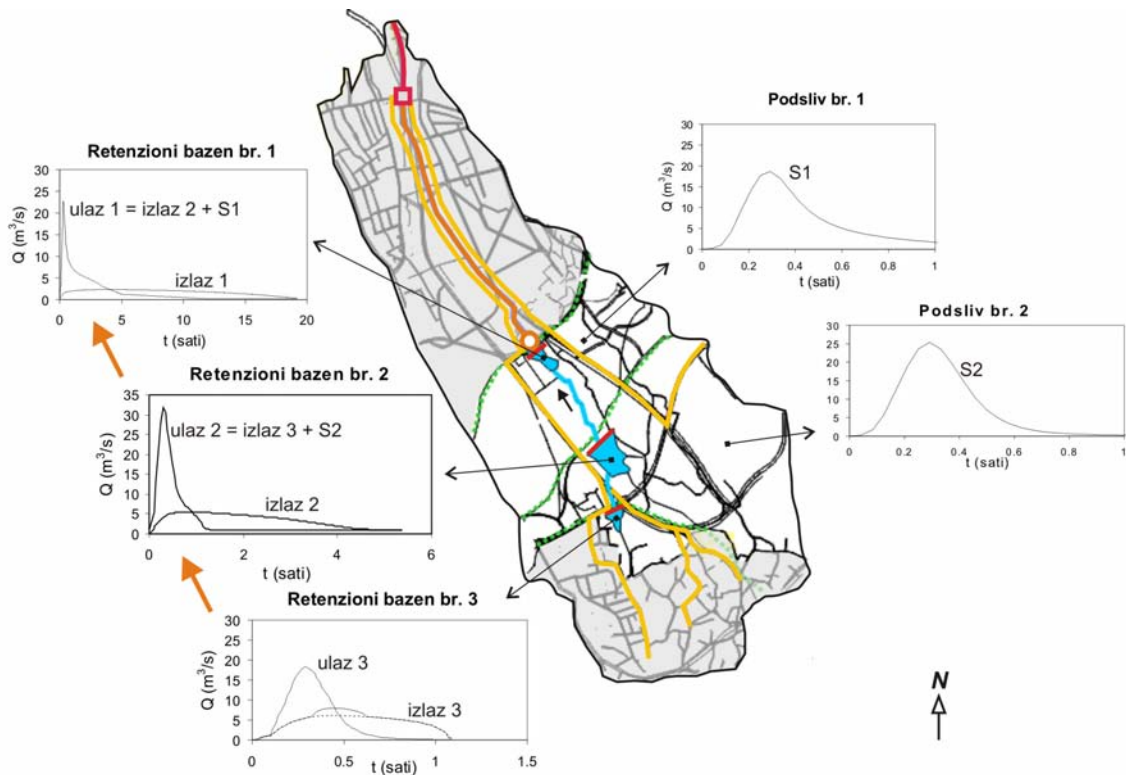
kom nepropusnog sloja (Slika 7). Njegov evakuacioni objekat, koji se sastoji od šahtnog preliva sa zahvatanjem na dva nivoa, omogućava optimalni režim ispuštanja vode u uslovima poplavnih talasa različitih intenziteta.



Slika 7. Nasip gradske saobraćajnice kao brana za formiranje jednog od retenzionih bazena [13]

Ukupna zapremina retenzionih bazena iznosi 170 000 m³. Predložena strategija upravljanja velikim vodama, predviđa da se oticaj sa gornjeg dela sliva (60 % površine sliva, ili oko 400 ha), kombinovanim uticajem sva tri bazena, u potpunosti prihvati i zadrži pri svim velikim vodama povratnih perioda do 10 godina, a u značajnoj meri zadrži pri velikim vodama povratnih perioda do 100 godina.

Evakuacioni objekti su dimenzionisani na 10-godišnju veliku vodu, što omogućava nesmetano funkcionisanje postojećeg glavnog kolektora kapaciteta 3 m³/s u normalnim uslovima. Rezultat hidrauličke analize ublaženja poplava pomoću kaskadnog sistema od tri bazena prikazani su na Slici 8.



Slika 8. Ublaženje poplave povratnog perioda 10 godina pomoću sistema od tri retenziona bazena u nizu [11,13]

Vreme zadržavanja 10-godišnje velike vode u bazenima varira od 1.2 do 19 sati. Procena je da se u bazenima zadržava 92 % količine krupnog nanosa (osrednjeno za sve poplave), dok je efikasnost zadržavanja glinovitih frakcija oko 56 %.

Kapacitet korita Kumodražskog potoka je prilagođen svim protocima do 10-godišnje velike vode. Kako se radi o urbanom području, predviđena je "naturalna" regulacija ovog vodotoka, što podrazumeva korišćenje kamena i biološkog materijala za izradu regulacionih građevina. Namera je da se estetske vednosti prirodnog ambijenta očuvaju u što većoj meri i da se obale ovog vodotoka i retenzionih bazena iskoriste kao šetališta i biciklističke staze.

4. ZAKLJUČAK

Nema opštih, tipskih rešenja kada je u pitanju zaštita od poplava, posebno kada se vodi računa i o drugim faktorima, kao što su na primer, kvalitet vode i očuvanje prirodnog ambijenta. U svakom konkretnom slučaju treba primeniti koncept integralnog uređenja vodotoka, prilagođenjem tehničkog rešenja lokalnim uslovima i zahtevima koji se često ne mogu kvantifikovati. Kada je reč o zaštiti od poplava, negativne posledice brze urbanizacije mogu se ublažiti aktivnim merama kao što je izgradnja retenzionih bazena, privremenih ili trajnih, pojedinačnih ili u nizu. Ovi bazeni mogu da omogućе smanjenje protoka od nivoa koji odgovara kapacitetu postojećih kolektora kanalizacionog sistema. Ustvari, reč je o primeni "proaktivnih" mera upravljanja velikim vodama, tako da se u svakom konkretnom slučaju može izabrati optimalna strategija zaštite naselja i čitavih rečnih dolina. Pored ove primarne funkcije, retenzioni bazeni mogu značajno uticati na poboljšanje kvaliteta vode, zadržavanjem suspendovanog nanosa i na njemu sorbiranih štetnih materija, tako da imaju značajnu ulogu u zaštiti životne sredine.

LITERATURA

- [1] Affeltranger, B., Public participation in the design of local strategies for flood mitigation and control. IHP-V, Technical Documents in Hydrology, No, 48, UNESCO, Paris, 2001.
- [2] ASCE, A Guide for Best Management Practice (BMP) Selection in Urban Developed Areas, ASCE, Reston, VA, 2001.
- [3] ASCE, Final Report of the Task Committee on Stormwater Detention Outlet Control Structures, ASCE, New York, 1985.
- [4] ASCE and WEF, Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems, ASCE Manuals and Reports of Engineering Practice No. 77, New York, WEF Manual of Practice FD-20, Alexandria, VA, 1992.
- [5] ASCE and WEF, Urban Runoff Quality Management, ASCE Manuals and Reports of Engineering Practice No. 87, Reston, VA, WEF Manual of Practice FD-23, Alexandria, VA, 1998.
- [6] Clar, M.L., Barfield, B.J., O'Connor, T.P., Stormwater Best Management Practice Design Guide – Volume 1: General Considerations, National Risk Management Research Laboratory, EPA/600/R-04/121, 2004.
- [7] Clar, M.L., Barfield, B.J., O'Connor, T.P., Stormwater Best Management Practice Design Guide – Volume 2: Vegetative Biofilters, National Risk Management Research Laboratory, EPA/600/R-04/121A, 2004.
- [8] Clar, M.L., Barfield, B.J., O'Connor, T.P., Stormwater Best Management Practice Design Guide – Volume 3: Basin Best Management Practices, National Risk Management Research Laboratory, EPA/600/R-04/121B, 2004.
- [9] Cunge, J., Holly, F.M., Verwey, A., Practical Aspects of Computational River Hydraulics., Pitman, Boston, London, Melbourne, 1980.
- [10] DeGroot, W.G., Stormwater Detention Facilities, ASCE, New York, 1982.
- [11] Despotović, J., Petrović, J., Jaćimović, N., Djordjević, S., Jovanović, M., Djukić, A., Babić, B., Prodanović, D., Preliminary Design for Reconstruction of Stormwater and Wastewater System in a Developed Urban Area – A Case Study. Proceedings of the 8th ICUSD, Sydney, Australia, 1999.
- [12] Driscoll, E.D., DiToro, D., Gaboury, D., Shelly, P., Methodology for Analysis of Detention Basins for Control of Urban Runoff Quality, EPA, Washington CD, Report No. EPA 440/5-87-01 (NTIS No. PB87-116562), 1986.

- [13] Građevinski fakultet Beograd, Idejni projekat uređenja sliva Kumodraškog potoka u Beogradu, 1999.
- [14] Ferziger, J.H., Numerical Methods for Engineering Application, John Wiley & Sons, New York, 1981.
- [15] Haan, C.T., Barfield, B.J., Hayes, J.C., Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments, Academic Press, San Diego, CA, 1994.
- [16] IRMA, NCL, w|l delft hydraulics, Interactive Flood Management and Landscape Planning in River Systems, 2001.
<http://ncrweb.org/downloads/pub13.pdf>
- [17] Jovanović, M., Varga, S., Dimenzionisanje preliva kod retencija za ublaženje poplavnih talasa, "Vodoprivreda", 1992/2-3, 1992.
- [18] Jovanovic, M., Varga, S., Flood Forecasting and Management by Retention Basins, XVII Congress of Danubian countries, Budapest, 1994.
- [19] Jovanović, M., Regulacija reka – rečna hidra-ulika i morfologija, Građevinski fakultet, Beograd, 2002.
- [20] Jovanović, M., Role of Detention and Retention Basins in Stormwater Management and Environmental Protection, Advances in Urban Flood Management, ed. Ashley et al., Taylor&Francis, London, 2007.
- [21] Mladenović Babić, M., Jovanović, M., Knežević, Z., The Integrated Flood Management – The Karas River Case Study, 3d European Conference on River Restoration, Zagreb, 2004.
- [22] NSDW – National SUDS Working Group, Interim Code of Practice for Sustainable Drainage Systems, ISBN 0-86017-904, 2004., <http://www.ciria.org/suds/>
- [23] Newman, T.L., Omer, T.A., Driscoll, E.D., SWMM Storage Treatment for Analysis/Design of Extended-Detention Ponds, Conference on Stormwater and Urban Water Systems Modeling, Toronto, Ontario, 1999.
- [24] Rubin, H., Atkinson, J., Environmental Fluid Mechanics, Marcel Dekker, New York, Basel, 2001.
- [25] SedNet – European Sediment Research Network, Contaminated Sediments in European River Basins, 2004. <http://www.SedNet.org>
- [26] Tapp, J.S., Ward, A.D., Barfield, B.J., Designing Sediment Ponds for Theoretical Detention Time, Proceedings of the ASCE, 108(HY1), 1982.
- [27] Urbonas, B. R., Stahre, P., Stormwater – Best Management Practices Including Detention, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1993.
- [28] USDA Natural Resources Conservation Service, Stream Corridor Restoration – Principles, Processes, and Practices, 2000. http://www.usda.gov/stream_restoration,
- [29] Whipple, W., Hunter, J.V., Settleability of Urban Runoff Pollution, Journal of the Water Pollution Control Federation, 53, 1726, 1981.

URBAN FLOOD PROTECTION BY RETENTION BASINS

by

Dr Miodrag JOVANOVIĆ
University of Belgrade
Faculty of Civil Engineering

Summary

The role of retention basins in urban flood water management, sedimentation/pollution control, and environmental protection, is evaluated by taking into consideration international best management practices and design recommendations and experiences. The considered subject matter includes various engineering tasks, such as: determination of the basin design volume, its sediment trapping efficiency, effects on water quality improvement, the design of water intake and discharge control structures, release impact evaluation, and landscape planning and maintenance measures.

In addition to their principal role in flood management, retention basins offer a major contribution to environmental protection as well. It is underlined that public support is needed for the realization of flood control basin projects, which is not possible without informing the public of the various advantages that this approach offers in flood management. A case study from Serbian engineering practice is used to illustrate the above assertion.

Key words: retention basins, flood management, environmental protection

Redigovano 08.12.2007.