

# 1. ODVODNJA PROMETNICA

U periodu 90-tih godina u svijetu je pokrenut veći broj nacionalnih programa za kontrolu raspršenih izvora onečišćenja okoliša, što je rezultiralo uvođenjem niza novih tehničkih mjera koji osiguravaju povećanu razinu zaštite okoliša od negativnog djelovanja oborinskih dotoka s prometnica.

Ova iskustva potrebno je prenijeti u našu sredinu, te ih u jednom dijelu pretočiti u odgovarajuće zakonske odredbe, a u drugom uvesti u postupke planiranja, projektiranja i izvođenja prometnica.

Pošto dionice prometnica s posebnim uvjetima odvodnje u pravilu traže veća ulaganja, pristup optimalizacije je neminovan, jer se mogu postići velike uštede u relativnom i apsolutnom iznosu. S druge strane najveća se pažnja mora posvetiti učinkovitosti sustava zaštite kako s gledišta postojećih zakona i propisa, tako i s gledišta primjene najmodernijih ekoloških iskustava u Europi i Svijetu.

## 1.1 IZVORI ONEČIŠĆENJA U PROMETU

Kao nezaobilazni dio u razvoju i urbanizaciji, sustavi prometnica su potencijalni izvori različitih vrsta onečišćenja zraka, tla, nadzemnih i podzemnih voda. Štetne tvari skupljaju se na površinama prometnica, razdjelnih pojasa i dijelovima sliva uz prometnicu, kao rezultat korištenja, održavanja, prirodnih doprinosa i taloženja iz atmosfere.

Glavni izvori onečišćenja su vozila, taloženje iz zraka, i oborine. Drugi mogući izvori koji se rjeđe javljaju su slučajna prolijevanja goriva, ulja i maziva i onečišćenja kod prometnih nesreća. Osim nabrojenog, onečišćenja sa prometnica nastaju pri održavanju kao što je posipavanje sipinom i solju, ili uporabom herbicida za sprječavanje rasta korova. U Tabl. 1 nabrojene su najčešće vrste onečišćenja na prometnicama i njihov izvor.

Na vrstu i obim akumulacije onečišćenja utječu:

- Karakteristike prometa (obim, brzina, kočenje)
- Klimatski uvjeti (intenzitet i oblik padalina, vjetar, temperatura)
- Postupci održavanja (metenje, košenje, popravci, soljenje, herbicidi, bojenje)
- Korištenje okolnog zemljišta (stanovanje, komercijalno industrijsko ili poljoprivredno korištenje)
- Odnos učvršćenih i neučvršćenih površina
- Starost i tehničko stanje vozila
- Zakonska regulativa o dozvoljenim emisijama onečišćenja od vozila
- Korištenje posebnih dodataka za rad motora vozila.
- Vrsta vegetacije u eksproprijacijskom pojasu autoceste
- Slučajna onečišćenja

Od nabrojanih onečišćenja najveći utjecaj na vrstu i koncentraciju imaju karakteristike prometa (posebno obim), atmosferski talog (suhi i mokri), i lokalni uvjeti sliva (korištenje zemljišta, površina prometnice, način održavanja).

**Tabl. 1** Vrste onečišćenja i njihov izvor

<b>Vrsta onečišćenja</b>	<b>Osnovni izvor</b>
Krute čestice	Trošenje kolnika, vozila, atmosfera, održavanje, abrazivi za snijeg i led
Dušik, Fosfor	Atmosfera, korištenje umjetnih gnojiva za travnate površine, talozi
Olovo	Gorivo s olovom, trošenje auto-guma, ulja i masti za podmazivanje, trošenje ležajeva, atmosfera
Cink	Trošenje auto-guma, motorno ulje, masti
Željezo	Korozija karoserije vozila, čelične konstrukcije autoceste, dijelovi motora
Bakar	Galvanizirani metali, trošenje ležajeva, dijelovi motora, trošenje obloge kočnica, fungicidi i insekticidi
Kadmij	Trošenje auto-guma, insekticidi
Krom	Kromirani metali, dijelovi motora, trošenje kočionih obloga
Nikal	Diesel gorivo i benzin, ulja za podmazivanje, poniklani metali, trošenje kočionih obloga, asfalt
Mangan	Dijelovi motora
Bromidi	Ispušni plinovi
Cijanidi	Dodaci za održavanje soli u granulama
Natrij, kalcij	Soli, masti
Kloridi	Soli
Sulfati	Gorivo, soli, planum prometnice
Naftni derivati	Proljevanje i curenje goriva, sredstva za podmazivanje, antifriz, hidrauličke tekućine, ispiranje površine asfalta
PCB, pesticidi	Prskanje korova, atmosfera, PCB katalizatori u sintetskoj gumi
Patogene bakterije	Organski otpad, fekalije ptica, auto-cisterne za prijevoz fekalnih otpadnih voda, prijevoz stoke
Guma	Trošenje auto-guma
Azbest	Obloga kvačila i kočnica

Soli = soli za topljenje snijega i leda

**Tabl. 2** Pokazatelji kakvoće dotoka oborinskih voda s prometnica – raspon srednjih vrijednosti iz literature

<b>Pokazatelj kakvoće</b>	<b>Koncentracija</b> (mg/l ili kako je označeno)	<b>Opterećenje</b> (kg/ha/god)	<b>Opterećenje</b> (kg/ha/oborini)
Krutine			
Ukupne	437-1147		58,2
Otopljene	356	148	
Raspršene	45-798	314-11862	1,84-107,6
Otopljene, isparne	131		
Raspršene, isparne	4,3-79	45-961	0,89-28,4
Ukupne isparne	57-242	179-2518	10,5
<b>Kovine (ukupne)</b>			
Zn	0,056-0,929	0,22-10,40	0,004-0,025
Cd	0-0,04	0,0072-0,037	0,002
As	0,058		
Ni	0,053	0,07	
Cu	0,022-7,033	0,03-4,67	0,0063
Fe	2,429-10,3	4,37-28,81	0,56
Pb	0,073-1,78	0,08-21,2	0,008-0,22
Cr	0-0,04	0,012-0,010	0,0031
Mg	1,062		
Hg ·10 <sup>-3</sup>	3,22	0,007	0,0007
<b>Hranjiva</b>			
Amonijak, ukupni kao N	0,07-0,22	1,03-4,60	
Nitriti, ukupni kao N	0,013-0,25		
Nitrati, ukupni kao N	0,306-1,4		
Nitriti+nitrati	0,15-1,636	0,8-8,00	0,078
Organski, kao ukupni N	0,965-2,3		
TKN	0,335-2,3	1,66-31,95	
N ukupni	4,1	9,80	0,17
P ukupni	0,113-0,998	0,6-8,23	0,02-0,32
<b>Ostalo</b>			
Ukupni koliformi/100 ml	570-6200		
Fekalni koliformi/100ml	50-590		
Kalij		1,95	
Kloridi		4,63-1344	
pH	7,1-7,2		
Ukupni organski ugljik	24-77	31,3-342,1	0,88-2,35
KPK	14,7-272	128-3868	2,90-66,9
BPK <sub>5</sub>	12,7-37	30,60-164	0,98
Poliaromatski ugljikovodici		0,005-0,018	
Ulja i Masti	2,7-27	4,85-767	0,09-0,16
Specif. vodljivost (µS na 20°C)	337-500		
Mutnoća (JTU)	84-127		
Mutnoća (NTU)	19		

## 1.2 SLUČAJEVI IZNENADNOG ONEČIŠĆENJA

Prometnicama svih kategorija nesmetano, ili sa ograničenjem koje propisuje Zakon o prijevozu opasnih tvari (NN 97/93) prometuju različite vrste vozila s različitim vrstama tereta. Prevoze se robe u različitim: količinama, agregatnim stanjima, ambalaži i različitog stupnja toksičnosti. Pod određenim uvjetima realno je moguće, da dođe do udesa u kojem će doći do izlivanja i/ili prosipanja opasnog tereta iz vozila. Udes može nastati uslijed ljudske greške pri upravljanju vozilom, tehničke greške na vozilu, loših meteoroloških prilika, lošeg stanja kolnika prometnice i signalizacije ili zbog međudjelovanja više navedenih uzroka.

Opasni teret, ovisno o konkretnoj situaciji može brzo ili sporije doprijeti u površinske i/ili podzemne vode i tako ih onečistiti, te ih učiniti na kraće ili duže vrijeme neuporabivim za osnovnu namjenu. Uz štete koje nastaju onečišćenjem voda povezane su i druge štete koje se odnose na ugrožavanje biljnog i životinjskog svijeta, te neposrednu ugrozu ljudskog zdravlja i imovine.

S gledišta zaštite voda tereti ne moraju biti toksični da bi bili opasni za onečišćenje podzemnih i površinskih voda i obrnuto, pojedini toksični materijali ne moraju pod određenim okolnostima biti opasnost za te iste vode. Tako na primjer prolivene namirnice mogu biti izvor velikog udara organskog onečišćenja, a prolivene kiseline mogu reagirati s tlom i preći u bezopasne soli.

Unatoč što se prometnicama prijevoze najrazličitiji materijali, najveći strah u našoj stručnoj javnosti je od masovnog prolijevanja naftnih derivata iz vozila cisterni. Ovi proizvodi, u malim količinama, mogu onečistiti i onesposobiti za uporabu velike količine vode. Samo u slučaju kad se cijeli prosuti teret može u cijelom volumenu odstraniti iz okoliša, postoji sigurnost da neće biti negativnog djelovanja u bliskoj i dalekoj budućnosti. U svim ostalim slučajevima negativne posljedice je teško ili nemoguće sanirati.

Akcidente s prosipanjem opasnih tvari nije moguće u potpunosti izbjeći. Njih nije moguće izbjeći na prometnici, a isto tako u preostalom dijelu utjecajnog područja, gdje ima bilo kakvih ljudskih aktivnosti.

### 1.2.1 Strategija zaštite

U strategiji cjelovite zaštite određenog područja, potrebno je štititi sve prirodne resurse (voda, zemlja, zrak) od svih aktivnih i potencijalnih izvora onečišćenja, bez obzira na način njihova nastanka i mjesto pojave. Zbog rečenog je normalno da se zaštita nekog područja promatra prije svega integralno, a tek poslije na lokalnim razinama.

Dakle, ako se žele štititi površinske i podzemne vode od akcidentnog onečišćenja s prometnice, tada je to onečišćenje samo jedno od mogućih koje se može dogoditi u pripadnom slivu. Slijedeći korak koji se mora procijeniti, su vrste i obim ostalih mogućih iznenadnih onečišćenja u slivu (prolijevanje opasnih tvari iz poljoprivrede, industrije, domaćinstava i sl.) Svako od ovih mogućih onečišćenja ima svoju vjerojatnost pojave i veličinu utjecaja.

Na temelju tako napravljene analize može se procijeniti važnost pojedine vrste akcidenta, odnosno ukupna vjerojatnost iznenadnog onečišćenja u slivu.

Po logici stvari, ako se vjerojatnost akcidenta želi smanjiti tehničkim mjerama, onda će se prvo razmotriti mjere za one vrste akcidenta koje imaju najveće negativno djelovanje i najveću vjerojatnost pojave. Ako se problem rješava po načelima metode koristi -troškova, tada će se za poznatu sumu novca projektirati one zaštitne mjere, koje će dati najveći doprinos sigurnosti.

Ako se radi o prometnici, onda nije svejedno jeli ista gradska, prigradska, ruralna, ili u tzv. "netaknutoj prirodi". U prva tri slučaja udio iznenadnog onečišćenja s prometnice u vjerojatnosti iznenadnog onečišćenja cijelog sliva, biti će manji ili veći, a u četvrtom gotovo isključivi dio. Iz toga proizlazi da će povećanje sigurnost od iznenadnog onečišćenja s prometnice u prva tri slučaja dati manji doprinos ukupnoj sigurnosti, nego u četvrtom slučaju.

Ako bi postojala mogućnost da se svaki projekt sagledava u integralnom smislu i ako bi se određeni iznosi investicija za povećanje sigurnosti mogli trošiti prema metodi koristi i troškova (moguće i za neki drugi potencijalni izvor onečišćenja), tada bi se u smislu zaštite dobili najbolji rezultati. Kako takav način financiranja nije praksa, a ne postoji baza podataka i priznata metodologija kojom bi se mogla u ovom slučaju definirati metoda koristi i troškova, preostaje da se definira po određenim kriterijima minimum tehničkih zahtjeva u pogledu sigurnosti od iznenadnog onečišćenja s prometnice. Ovi minimalni zahtjevi opet bi trebali biti posljedica analize povećanja sigurnosti u odnosu na cijenu koštanja.

### **1.2.2 Tehnička rješenja**

Tehnička rješenja kojima se smanjuje mogućnost pojave akcidenta s nepovoljnim posljedicama na kakvoću površinskih i podzemnih voda, oslanjaju se s jedne strane na vjerojatnost pojave akcidenta i s druge strane na ekonomski prihvatljivu cijenu koštanja.

Granica primjene pojedinih tehničkih rješenja je u onoj točki ili području primjene, kad inkrementalno povećavanje učinkovitosti (smanjenja vjerojatnosti pojave akcidenta) rezultira nesrazmjerno velikim inkrementalnim troškom. Ovu je zakonitost moguće poštivati, ako su učinkovitost i troškovi matematički definirani. U konkretnom slučaju moguće je egzaktno definirati samo troškove izgradnje, a procjena sigurnosti moguća je samo u kvalitativnom smislu. U takvoj situaciji potrebno je poštivati određene kriterije koji postoje u praksi, ili su preuzeti iz tuđe prakse. Pri tom je važno da se isti bez jake argumentacije, a zbog straha ili podcjenjivanja, ne postrožuju ili ublažuju.

Isto tako je bitno kod analize pojedinih tehničkih rješenja, uvijek prvo analizirati njihov utjecaj na sigurnost prometa (život čovjeka), a tek po tom na sigurnost zaštite površinskih i podzemnih voda.

### 1.2.2.1 Pasivne mjere

Tehnička rješenja kojima se barata u odvodnji prometnica, a u smislu povećanja sigurnosti od iznenadnog zagađenja, odnose se gotovo isključivo na mogućnost prevrtanja vozila-cisterne s tovarom tekućine lakše od vode. Povećana opća sigurnost prometa, zbog same konstrukcije prometnice (autocesta) obično se ne uzima u obzir.

Tehnički zahvati i rješenja koja se koriste u odvodnji prometnica, a u svrhu povećanja sigurnosti su:

- Ojačani odbojnici i ograde koje smanjuju mogućnost izlijetanja vozila s trupa prometnice i ispuštanje opasnog tereta u dio sliva koji nije obuhvaćen odvodnjom.
- Sustav vodonepropusne kanalizacije kojim se prolivene tekućine i oborine određenog intenziteta odvede do zaštitnih građevina i NPU.
- Osiguranje volumena za prolivene tekućine lakše od vode u odjeljivačima ulja i masti.
- Osiguranje svih rasterećenja i ispusnih građevina uronjenom pregačom koja sprječava istjecanje tekućina lakših od vode.
- Rigoli sa ili bez bankine u suprotnom padu koji sprječavaju prelijevanje prosutih tekućina preko pokosa nasipa.
- Niske ograde i rigoli na mostovima i prijelazima preko vodotoka, koji sprečavaju prelijevanje prolivenih tekućina direktno u vodotoke.

### 1.2.2.2 Aktivne mjere

Aktivne mjere kod akcidentnih situacija podrazumijevaju djelovanje službi za održavanje i hitne intervencije, mjere ograničenja prometa vozilima s opasnim teretima, te mjere obavještanja i signalizacije.

Ove su mjere u svakom slučaju najvažnije i presudne za konačni ishod svakog iznenadnog onečišćenja. Sustav pasivne zaštite koji se sastoji od građevina i instalacija, rijetko kad je dovoljan za potpunu neutralizaciju negativnih posljedica. Konačno, ako isti sustav i prihvati cjelokupno onečišćenje, potrebna je hitna intervencija pražnjenja, čišćenja i sanacije, da se spriječi moguće istjecanje u tlo i/ili vodu. Na mjestima gdje je onečišćenje prešlo granice sustava zaštite, ili na mjestima gdje sustava zaštite nema, djelovanje ljudskog faktora je presudno. Sigurnost cijelog sustava zaštite bitno je smanjena, ako ne postoji dobro organizirana i opremljena služba održavanja i jedinica za hitne intervencije.

### 1.3 ČIŠĆENJE OBORINSKIH VODA

Zbog prirode oborinskih voda da se javljaju povremeno i u velikim količinama u usporedbi s ostalim otpadnim vodama, teško je primijeniti klasične postupke čišćenja. Posebno je to teško kad se radi o onečišćenim oborinskim vodama s prometnica izvan naseljenih mjesta.

U gradskim sredinama moguće je oborinske vode neovisno o primijenjenom sustavu odvodnje pročistiti na gradskim uređajima za čišćenje otpadnih voda, obično u kombinaciji s građevinama za regulaciju dotoka. Mogu se primijeniti gotovo sve tehnologije primarnog, sekundarnog i tercijarnog pročišćavanja. Ovisno o zadanim standardima i kriterijima konačnog ispuštanja otpadnih voda u prijamnik, određuje se udio od ukupnih oborina koji će se na uređaju pročistiti. Na uređajima se čiste prvi najopterećeniji oborinski dotoci, a ostali se vode mimo uređaja direktno u prijamnik. Kroz sve faze čišćenja na gradskim uređajima provodi se obično oborinski dotok jednak tzv. sušnom dotoku, a mehanički se pročišćavaju i veći dotoci. Razlog je svakako u cijeni čišćenja, jer dodatno hidrauličko opterećenje bitno povećava cijenu izgradnje i poslovanja. Ugradnjom kišnih retencija ispred uređaja, moguće je čišćenjem obuhvatiti volumene prvog najonečišćenijeg oborinskog dotoka.

Autoceste se grade izvan naseljenih područja i vrlo se rijetko oborinski dotoci s prometnice priključuju na gradske sustave odvodnje. Konačni ispusti obično su na usamljenim mjestima gdje nema stalnih energetskih izvora. Biološke postupke čišćenja bilo bi teško primijeniti zbog sušnih razdoblja kad dotoka nema, podopterećenosti zakašnjelih dotoka i nemogućnosti brzog stvaranja aktivnog mulja. Vrlo skupi uređaji koji bi radili u prosjeku tek manji dio vremena ekonomski su neprihvatljivi.

Zbog svega navedenog za čišćenje oborinskih dotoka s prometnica izvan gradskih naselja, potrebno je primijeniti postupke koji su prilagodljivi slučajnoj pojavnosti oborina, različitim klimatskim i hidrogeološkim uvjetima, koji su učinkoviti, pouzdani i jeftini u građenju, pogonu i održavanju.

Ovakvi uređaji se u stručnoj literaturi grupno nazivaju građevinama najboljih postupaka upravljanja (NPU), (Engl.: *Best Management Practice, BMP*). Dakle, takve građevine objedinjuju jednostavnost, prihvatljivu učinkovitost i niske troškove građenja, pogona i održavanja u usporedbi s klasičnim tehnologijama čišćenja gradskih otpadnih voda.

Građevine najboljih postupaka upravljanja u odvodnji prometnica nastale su s jedne strane na iskustvima jeftinih i učinkovitih postupaka čišćenja komunalnih otpadnih voda, a s druge na originalnim tehnološkim rješenjima primjene, vezanim isključivo uz prometnice.

Druga odlika tih građevina je što u najvećoj mjeri koriste postojeće prostorne i prirodne pogodnosti, uklapaju se u okoliš, a ponekad ga i obogaćuju. Osim osnovne funkcije čišćenja oborinskih voda s prometnice služe i za regulaciju dotoka, odnosno očuvanje vodnog režima koji je prethodio izgradnji prometnice.

Navedene građevine prilagođene su tehničkim uvjetima odvodnje prometnice, a masovnom primjenom i oblikovanje prometnice prilagođeno je funkciji građevina najboljih postupaka upravljanja, odnosno su iste uključene u profil prometnice.

Osim građevina tj. konstruktivnih zahvata postoji i cijeli niz nekonstruktivnih mjera i postupaka kojima se smanjuje negativni učinak prometnica na okoliš u fazi izgradnje i korištenja.

### **1.3.1 UČINKOVITOST GRAĐEVINA NAJBOLJIH POSTUPAKA UPRAVLJANJA**

Građevine najboljih postupaka upravljanja koje se najčešće koriste svojom konstrukcijom i načinom rada ne spadaju u tehnologije kojima se mogu strogo odrediti granice učinkovitosti. Njihova učinkovitost ovisi o nizu čimbenika koje je teško kontrolirati, pri čemu je ljudski i klimatski faktor presudan.

U principu konstruktivno i tehnološki iste građevine daju na različitim lokacijama različite rezultate učinkovitosti rada, a učinkovitost se bitno mijenja s globalnim promjenama klimatskih uvjeta. Ponekad razlozi slabije učinkovitosti leže u oblikovanju i građenju pojedinih dijelova NPU koji bitno utječu na stvaranje tehnoloških pretpostavki za učinkoviti rad. To se odnosi na elemente građevine koji kontroliraju režim tečenja, taloženja, smjerove strujanja i istjecanja.

Tzv. biljni ili vegetacijski NPU osjetljivi su na održavanje biljnog pokrova i erozijske procese, a postupci filtracije i infiltracije na začepljenje pora taloživim materijalom. Zbog nemara u održavanju kod nekih NPU može potpuno izostati učinkovito djelovanje, a može doći i do negativnog djelovanja. Građevine NPU u usporedbi s klasičnim gradskim uređajima za čišćenja otpadnih voda zahtijevaju bitno manje održavanje, ali je opasno ako se zbog njihove jednostavnosti pomisli kako ih uopće ne treba održavati.

U Tabl. 3 je dat prikaz učinkovitosti pojedinih NPU, napravljen na temelju velikog broja terenskih istraživanja. Svaki od navedenih postupaka može se izvesti u više podvarijanata koje se odnose na izbor osnovnih ulaznih podataka za proračun, a u tablici su označene kao određeni projekti. Ovi su projekti samo neke od mogućih konfiguracija za postizanje željene učinkovitosti.

Neki od NPU sigurno se neće moći koristiti u specifičnim terenskim i klimatskim uvjetima, a za neke još nisu ostvarene pretpostavke u koncepciji poprečnog profila autoceste (širina razdjelnog pojasa, širina eksproprijacijskog pojasa i dr).



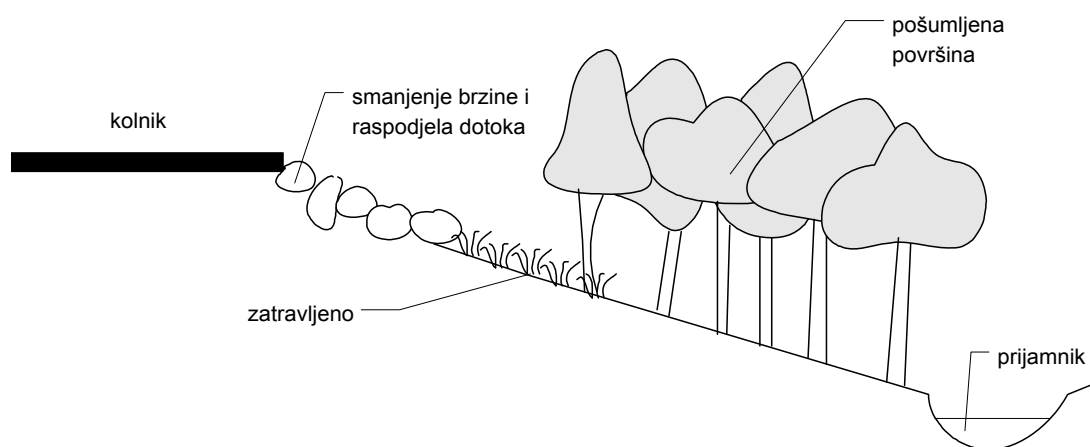
**Tabl. 3** Učinkovitost pojedinih NPU

Zaštitna građevina/projekt		Učinkovitost (%)						
		Suspendirana tvar	Ukupni fosfor	Ukupni dušik	BPK <sub>5</sub>	Metali	Bakterije	Ukupna učinkovitost
Laguna s produženim zadržavanjem LPR	Projekt 1	60-80	20-40	20-40	20-40	40-60	Nepoznata	Umjerena
	Projekt 2	80-100	40-60	20-40	40-60	60-80	Nepoznata	Umjerena
	Projekt 3	80-100	60-80	40-60	40-60	60-80	Nepoznata	Visoka
Mokra laguna ML	Projekt 4	60-80	40-60	20-40	20-40	20-40	Nepoznata	Umjerena
	Projekt 5	60-80	40-60	20-40	20-40	60-80	Nepoznata	Umjerena
	Projekt 6	80-100	60-80	40-60	40-60	60-80	Nepoznata	Visoka
Infiltracijski jarak IJ	Projekt 7	60-80	40-60	40-60	60-80	60-80	60-80	Umjerena
	Projekt 8	80-100	40-60	40-60	60-80	80-100	60-80	Visoka
	Projekt 9	80-100	60-80	60-80	80-100	80-100	80-100	Visoka
Infiltracijski spremnik IS	Projekt 7	60-80	40-60	40-60	60-80	40-60	60-80	Umjerena
	Projekt 8	80-100	40-60	40-60	60-80	80-100	60-80	Visoka
	Projekt 9	80-100	60-80	60-80	80-100	80-100	80-100	Visoka
Građevine za kontrolu kakvoće	Projekt 10	0-20	Nepoznata	Nepoznata	Nepoznata	Nepoznata	Nepoznata	Niska
Biljni pojasevi BP	Projekt 11	20-40	0-20	0-20	0-20	20-40	Nepoznata	Niska
	Projekt 12	80-100	40-60	40-60	40-60	80-100	Nepoznata	Umjerena
Zatravljeni jarci ZJ	Projekt 13	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20	Nepoznata	Niska
	Projekt 14	20-40	20-40	20-40	20-40	0-20	Nepoznata	Niska
Umjetne močvare UM	Projekt 15	80-100	60-80	40-60	40-60	60-80	Nepoznata	Visoka
Pješčani filtri PF	Projekt 16	60-80	40-60	40-60	20-40	60-80	20-30	Umjerena
	Projekt 17	80-100	50-70	55-75	40-60	80-90	30-50	Visoka
	Projekt 18	80-100	55-80	70-90	50-70	80-90	60-80	Visoka

**Projekt 1:** VPOD (13 mm), zadržan za 6-12 h. **Projekt 2:** VPOD (25 mm) zadržan 24 h. **Projekt 3:** Kao u projektu 2, ali sa plitkim močvarnim biljem. **Projekt 4:** Stalni volumen jednak oborini od 13 mm po hektaru učvršćene slivne površine. **Projekt 5:** Stalni volumen jednak 3VPOD. **Projekt 6:** Stalni volumen jednak 4VPOD (prosječna dvotjedna retencija). **Projekt 7:** Kroz NPU se infiltrira prvih 13 mm oborine po hektaru učvršćene slivne površine. **Projekt 8:** Kroz NPU se infiltrira prvih 25 mm oborine po hektaru učvršćene površine. **Projekt 9:** Kroz građevinu se infiltrira cijeli najveći dvogodišnji oborinski dotok. **Projekt 10:** 27 m<sup>3</sup> volumena po učvršćenom hektaru. **Projekt 11:** 6 m dugi travnati pojas. **Projekt 12:** 30 m široki pošumljeni pojas s raspodjelom dotoka. **Projekt 13:** Travnati jarci s strmim pokosima bez pregrada. **Projekt 14:** Travnati jarci s blagim pokosima i zagatima. **Projekt 15:** Umjetna močvara volumena ¼ od VPOD. **Projekt 16:** suha laguna s pješčanim filtrom na dnu. **Projekt 17:** Austinski pješčani filtar s djelomičnim taloženjem. **Projekt 18:** Odvojeno taloženje/irigacijska laguna i pješčani filtar.

### 1.3.2 BILJNI POJASEVI, BP, (Engl: Vegetated Buffer Strips; Filter Strips)

Biljni pojasevi su blago položeni dijelovi terena oko prometnice obrasli vegetacijom preko kojih se kontinuirano ispušta oborinski dotok. Mogu se oblikovati u bilo kojoj biljnoj formi, od travnjaka do šume, a zadatak im je da prihvate jednoliko raspršene dotoke s prometnice, smanje im brzinu tečenja i rasprostru ih preko cijele vlastite površine. Gusta vegetacija pospješuje čišćenje oborinskih dotoka s prometnice putem procesa, retencije, biljne filtracije i infiltracije u tlo. Pošumljeni i zatravljeni BP pokazali su nisku do umjerenu učinkovitost u uklanjanju onečišćenja, s malom prednosti pošumljenih BP. Uklanjanje otopljenih tvari je slabo, opet s boljim rezultatima za pošumljene BP, zbog dužeg zadržavanja vode i djelovanja biljne zajednice.



SI. 1 Moguće rješenje biljnog pojasa

BP ne mogu uspješno pročistiti dotoke s velikim brzinama i zadržati veće volumene vode da bi djelovali regulacijski. Učinkovita primjena ovisi najviše o postizanju jednolikog nekoncentriranog protoka preko površine. Da se izbjegne stvaranje koncentriranih tokova BP mora biti:

- opremljen napravama za smirenje brzine i raspodjelu dotoka
- obrasli mješavinom guste vegetacije otporne na eroziju
- poravnat u blago nagnute plohe

Koncepcijsko rješenje jednog BP vidi se na Sl. 1.

Obično je BP jedna od komponenti ukupnog rješenja odvodnje. U takvom složenom rješenju BP služi za umirenje toka, malo smanjenje volumena dotoka, doprinosi boljem estetskom doživljaju, smanjuje eroziju, stvara stanište za divlje životinje. BP mogu trajati uz dobro održavanje preko 20 godina, a očekivani vijek im bitno smanjuje uništenje biljnog pokrova i remećenje plošnog tečenja.

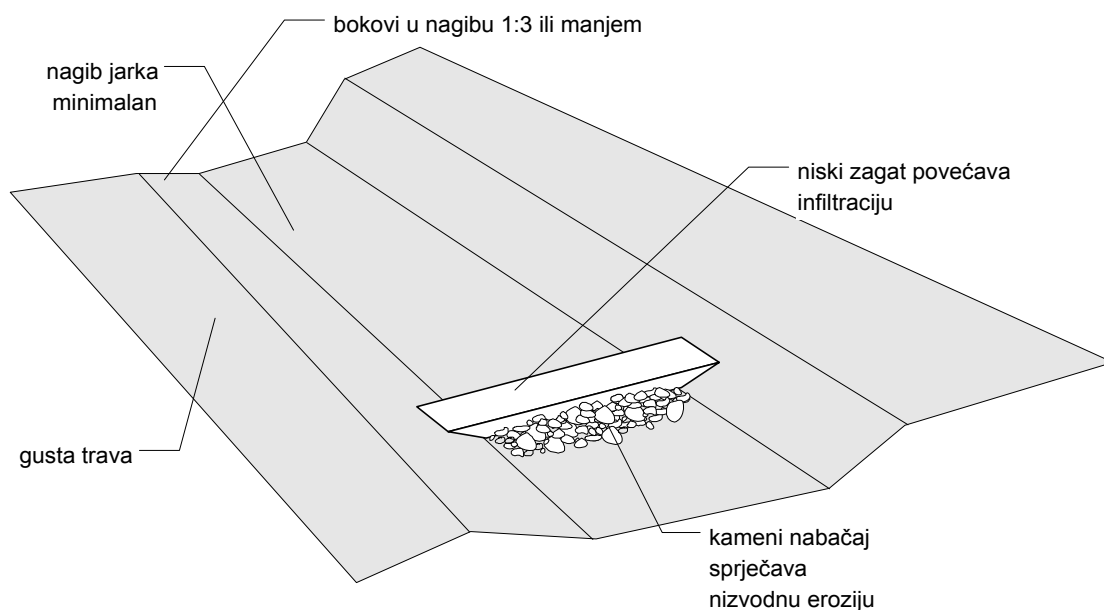
BP treba postaviti na lokacijama, gdje oborinski dotoci s prometnice direktno otječu u osjetljivi prijamnik. Oni mogu biti zaštita niže smještenim vodotocima, močvarama i jezerima, ili zaštita na ispustima iz drugih regulacijskih građevina. Najvažniji elementi pri odabiru lokaciju su: vrsta tla, prostor i nagib terena.

Tlo i vlaga moraju biti pogodni za rast guste vegetacije. Propusnost tla mora bit mala, između 0,15 i 4,5 mm/h. Obično su to tla iz klase glina, ilovača i pjeskulja. Prisustvo organskih primjesa povećava mogućnost čišćenja. Najbolje je kad je razina podzemne vode unutar 1 m površinskog sloja i kad klimatski uvjeti dozvoljavaju bujnu vegetaciju tijekom većeg dijela godine.

Učinkovitost BP najviše ovisi o ostvarenju plošnog tečenja po cijeloj površini i veličini priključene slivne površine. Da se spriječe koncentrirani tokovi, priključena slivna površina na jedan BP ne bi smjela biti veća od dva hektara.

Uzdužni nagib BP mora bit manji od 5%, jer u suprotnom dolazi do izrazitog erozijskog djelovanja.

### 1.3.3 ZATRAVLJENI JARAK, ZJ, - (BIOFILTRACIJSKI JARAK) (Engl: Grassed Swalle)



**Sl. 2** Zatrvljeni jarak s zagatom

Biofiltracija je simultani postupak filtracije, taloženja, adsorpcije i biološke razgradnje onečišćenja u oborinskoj vodi, kada ista teče preko površina pokrivenim biljkama. Biofiltracijski jarak je obostrano nagnuti kanal ili prokop koji istovremeno uz čišćenje odvodi oborinski dotok s prometnice. On ne utječe na regulaciju dotoka, već odvodi vodu do uređaja za tu namjenu. Na Sl. 2 je prikazan tipični ZJ sa zagatom.

- Jarak mora biti dug najmanje 60 m. Najveća širina dna je 3 m, a dubina vodenog toka ne smije biti veća od 10 cm za ½ godišnju kišu.
- Uzdužni nagib jarka treba biti između 1% i 5%.
- Jarak se može dimenzionirati kao zaštitna građevina na ½ godišnju kišu i kao provodnik za vršni dotok veće mjerodavne kiše (na pr. 10 ili 50 god.), ako je u linijskom sustavu odvodnje.
- Idealni poprečni presjek je trapezni s nagibom stranica ne većim od 1:3.
- Ovaj oblik zaštite ima značajni učinak biofiltracije i treba ga primijeniti gdje god je to moguće.
- Ako se dotok u jarak usmjerava preko otvora u rubnjaku, kolnik ili pločnik treba biti nešto viši od razine biofiltra. Otvori u rubnjaku trebaju biti bar 30 cm dugi, kako bi se spriječilo začepijavanje.
- ZJ mora biti obrašten vegetacijom kako bi se osigurala određena učinkovitost čišćenja.
- Potrebno je osigurati što veći kontakt s vegetacijom i tlom. Općenito je potrebno odabrati fine guste vodootporne trave. O vrstama je potrebno konsultirati hortikulturene stručnjake.
- Biofiltracijski jarci ne bi smjeli provoditi oborinske dotoke za vrijeme građenja. Ako to nije moguće izbjeći, potrebno je dotok prethodno istaložiti.
- Prije no što jarci obrastu vegetacijom, po mogućnosti skrenuti dotoke oborina izvan jarka. Ako to nije moguće, zaštititi nagnute plohe materijalima za kontrolu erozije.

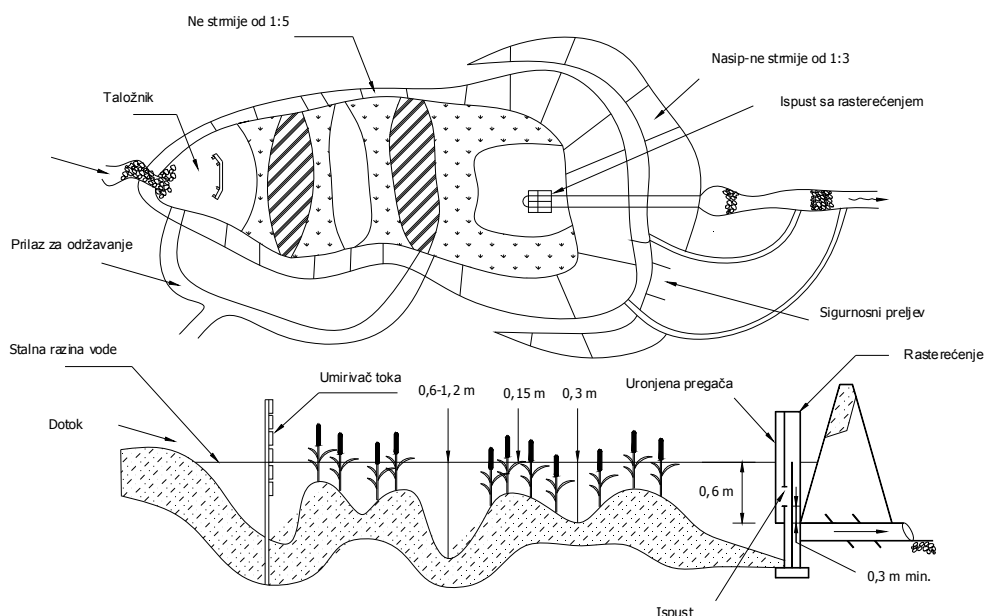
#### **1.3.4 UMJETNE MOČVARE, UM, (Engl: Constructed Wetlands)**

U močvarnom zemljištu odvijaju se fizikalni, kemijski i biološki postupci čišćenja otpadnih voda. Fizikalno djelovanje rezultat je malih brzina tečenja i iskazuje se kao isparavanje, taloženje, adsorpcija, i/ili filtracija. Kemijski postupci uključuju obaranje i kemijsku adsorpciju.

Biološki procesi sastoje se od razgradnje, trošenja hranjiva od biljaka i biološke razgradnje i pretvorbe. Hidrološki čimbenici presudno djeluju na uklanjanje onečišćenja, jer utječu na taloženje, aeraciju, biološku pretvorbu i adsorpciju na sedimentu dna močvare. Velike površine dna močvara pospješuju adsorpciju,

apsorpciju, filtraciju, mikrobiološku razgradnju i hranjenje, više nego bi bilo moguće postići u kanaliziranim vodotocima.

Prirodne močvare određene su tipom tla, hidrološkim čimbenicima, i vrstom vegetacije kojom su prekrivene. U prirodnim močvarama prevladavaju nedrenirana tla, saturirana ili potopljena tankim slojem vode, stalno ili tijekom vegetacije. Močvare su staništa hidrofita, biljaka koje su stalno ili povremeno u vodi. Za čišćenje oborinskih dotoka s autoceste koriste se prirodne i umjetne močvare. Korištenje postojećih močvara je svakako ekonomičnije, ali teže provedivo zbog niza ograničenja zakonske i ekološke prirode. Na Sl. 3 prikazana je UM za obradu oborinskih voda s autoceste.



**Sl. 3** *Tlocrt i uzdužni presjek umjetne močvare*

UM imaju estetsku vrijednost, staništa su biljaka i životinja, služe za kontrolu erozije i uklanjanje onečišćenja. U kombinaciji s mokrom lagunom ili drugim zaštitnim objektima daju visoku učinkovitost čišćenja i mogu zadovoljiti veće slivove. Nedostatak im je što trebaju stalni dotok vode, mogu se vremenom zasoliti i zamočvariti, a tijekom velikih dotoka može doći do ispiranja u vodotoke i podzemlje. Potrebno ih je redovito održavati košenjem biljaka i odstranjivanjem taloga.

Dobrim planiranjem i oblikovanjem mogu se smanjiti negativne osobine UM i troškovi održavanja. To najviše ovisi o korištenju biljaka, životinja, mikroorganizama i hidrološkim veličinama. Potrebno je uvažavati prirodno okruženje i karakteristike vodotoka u smislu vodnog režima. Potpuno učinkovita UM ne može nastati spontano. Potrebno je vrijeme da se uspostave biljne i životinjske zajednice i postigne željena učinkovitost. UM moraju što više sličiti prirodnim, tako da oblikovanje u strogim geometrijskim oblicima ne dolazi u obzir.

## **Prirodna močvara**

Ako postoji mogućnost obrade oborinskih voda s prometnice u prirodnoj močvari, potrebno je prije odluke o njenom korištenju razmotriti različite zakonske i ekološke zahtjeve i uvjete. Potrebno je razmotriti vegetaciju močvare, tip močvare, hidrologiju i geomorfologiju lokacije.

Vegetacija može biti djelomično u vodi, plivati na vodi, ili biti potopljena. Biljke koje su dijelom u vodi, zakorijenjene su u tlo, a rastu kroz vodu i izvan vode, dok plivajuće biljke imaju vodeno korijenje, a drugi su dijelovi potopljeni ili plivaju na površini. Potopljena vegetacija sastoji se od algi i biljaka zakorijenjenih u dno, i potopljenih u cijeloj svojoj veličini.

Tip močvare definiran je dominantnim biljnim zajednicama i hidrološkim režimom. Tako postoje močvare visokih drvenastih biljaka ili pretežito travnate, otvorene i zatvorene, u stalnom ili povremenom režimu rijeka, jezera ili mora. Močvare koje imaju stalno vode, manje su osjetljive na onečišćene oborinske vode s prometnice, jer njihov ekosustav ne ovisi o dotoku oborinskih voda, a udar onečišćenja je razblažen.

Pliće močvare imaju veću učinkovitost zbog veće adsorpcije na pridneni sediment. Potrebno je istražiti vodni režim močvare procjenom volumena vode, srednjeg vremena zadržavanja vode, dotoka podzemnih voda, evapotranspiracije i dotoka oborinskih voda s prometnice. Osnovna shema tečenja u močvari direktno utječe na učinkovitost, tako da tečenje prečacem u uskom toku s većim brzinama, daje manju učinkovitost od meandriranog i plošnog tečenja s malim brzinama, gdje je učinkovito taloženje. Učinkovitost povećava plitko plošno tečenje s pojačanom asimilacijom, a veće dubine pospješuju postupak denitrifikacije, tako da optimalnu učinkovitost daje miješani režim tečenja.

## **Umjetna močvara**

Kod UM potrebno je razmotriti razinu podzemne vode, vrstu tla i potrebni prostor za smještaj. Pošto UM treba stalni izvor vode, poželjno je da isti bude što bliže s vodnim licem u razini ili ispod razine tla. To nije uvijek moguće postići, a ako su izvor vode samo oborinski dotoci s prometnice, tada količina raspoložive vode jako varira i uspostava biljnih zajednica je otežana.

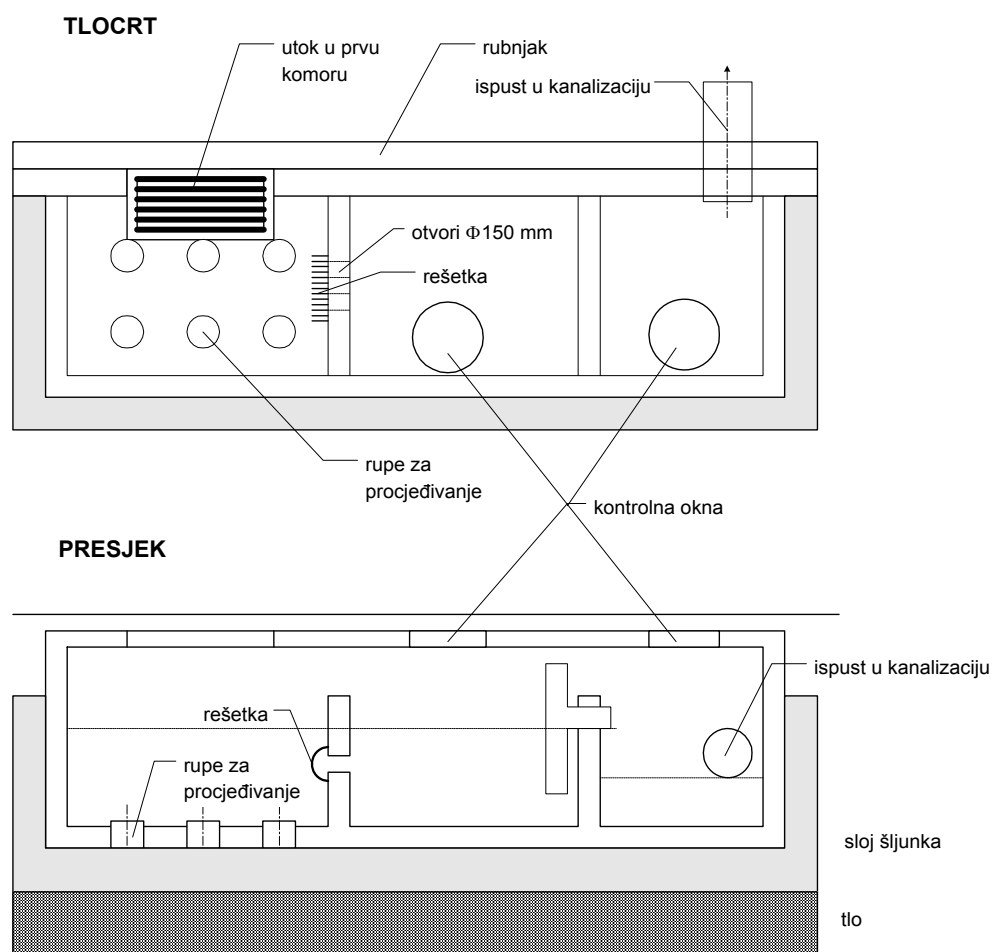
Tlo ili supstrat UM, trebala bi biti rahla pjeskovita glina ili glina. Potrebno je osigurati stalni dotok vode potreban za razvoj močvarnih biljaka. Poželjno je koristiti lokacije na kojima su, ili pored kojih su, prije bile močvare,. Također su povoljne lokacije sa čestim prirodnim plavljenjem.

### 1.3.5 GRAĐEVINE ZA KONTROLU KAKVOĆE VODE, GKK, (Engl: Water Quality Inlets)

Ovim terminom u anglo-saksonskoj praksi nazivaju se građevine NPU koje iz oborinskog dotoka s prometnih površina uklanjaju sediment, ulje, masti, i velike lako taložive čestice, prije nego što dotok dospije u kanalizaciju ili neku drugu građevinu NPU. Drugi nazivi za iste građevine su odjeljivači ulja i masti, uljni separatori, mastolovi. U našoj su praksi ovi objekti u uporabi od 80-tih godina, a projektiraju se po kriterijima tzv. "Švicarskih propisa".

U SAD se ove građevine koriste za čišćenje oborinskih voda s površina gdje ima velikih količina otpadne tvari s vozila, naročito ulja i masti, a to su velika parkirališta, radionice, skladišne i pretovarne površine i benzinske postaje. Često se grade u kombinaciji s pješčanim filtrima, jer su isti osjetljivi na uljna onečišćenja. Potreba za ovakvim objektima postoji i u našoj praksi, pa je će biti zanimljivo iznijeti načela dimenzioniranja, koja su drugačija od tzv. "Švicarskih propisa".

#### Odjeljivač ulja i masti, OUM



SI. 4 OUM u infiltracijskoj izvedbi

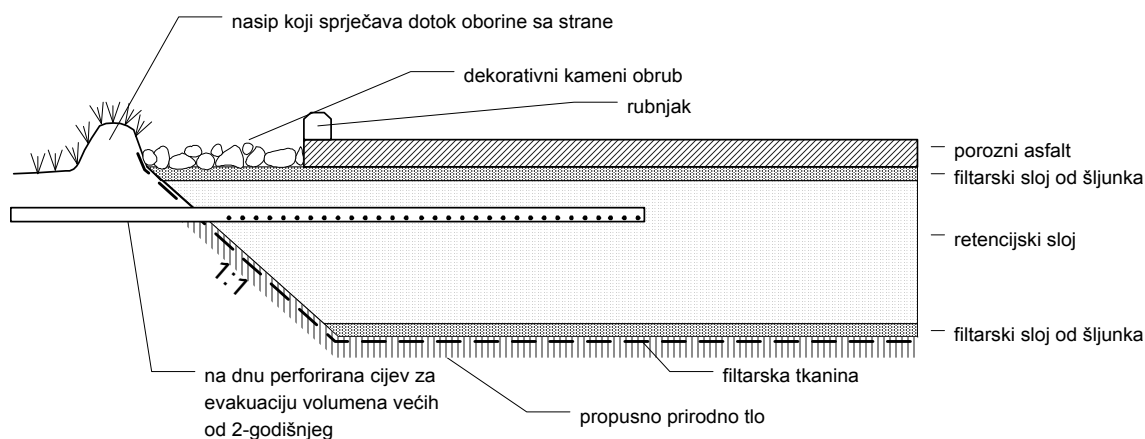
OUM se može sastojati od dvije ili tri komore. Oborinski dotok prolazi kroz građevinu vrlo brzo, s kratkim zadržavanjem, tako da su rezultati uklanjanja grubog sedimenta, ulja, masti i krutog otpada umjereni. Koriste se obično za slivne površine do 0,5 ha. Talog koji se istaloži na dnu taložne komore može se kod velikih dotoka resuspendirati i pobjeći iz građevine. Zbog toga je potrebno redovito čišćenje i odvoženje taloga. Ako se OUM izvede sa tri komore onda se može očekivati učinkovitost i u uklanjanju prašinih čestica.

Studije taloženja pokazale su, da se ovisno o početnim uvjetima taloženja, 20-40% taložive tvari iz oborinskog dotoka s prometnice istaloži u prvih jedan sat zadržavanja. Kako je zadržavanje u OUM najviše do jednog sata, može se zaključiti da će se učinkovito istaložiti samo veće i teže čestice onečišćenja. Dio ulja i goriva ispliva na površinu odjeljivača, a dio se adsorbira na krute čestice i istaloži na dno.

### 1.3.6 POROZNI ZASTORI PZ, (Engl.: Porous Pavement)

Porozni zastori sastoje se od posebnog poroznog asfaltnog sloja koji omogućava brzu infiltraciju oborina s površine u donji vrlo porozni sloj koji ima funkciju retencije. Zahvaćeni dotok ostaje u tom "spremniku" sve dok se ne infiltrira u tlo, ili ne odvede drenažnim sustavom do konvencionalnog kanalskog sustava.

PZ djeluju na način vrlo sličan infiltracijskim jarcima, pa im je tako i učinkovitost vrlo slična. Pored povoljnog učinka na uklanjanju onečišćenja PZ djeluju vrlo uspješno kao regulatori otjecanja, jer u sebi zadržavaju i do 90% od ukupnog dotoka. Zbog navedene osobine smanjuje se ili ukida potreba za ugradnjom rubnjaka i rigola, slivnika, kanala, retencijskih spremnika i dr. Dodatna pogodnost može biti i u obogaćenju vodonosnika.



SI. 5 Shematski prikaz poroznog zastora



Odabir lokacije je presudan za konačnu učinkovitost PZ. PZ se primjenjuju na površinama s malim prometnim opterećenjem, ne zbog manje nosivosti poroznog zastora, već zbog opasnosti od brzog začepjenja. Zbog toga su najpovoljniji slučajevi primjene na parkiralištima, pristupnim cestama s malim prometom i zaustavnim trakovima na autocestama.

Tlo ispod kolničke konstrukcije mora imati odgovarajući infiltracijski kapacitet od najmanje 7 mm/h, ili bolje 13 mm/h, sve do dubine od najmanje 1,2 m.

Dno "spremnika" mora biti najmanje 1,2 m iznad najviše sezonske razine podzemne vode. Udaljenost od zdenaca s pitkom vodom mora biti najmanje 30 m, a udaljenost od temelja objekata najmanje 30 m u uzvodnom, odnosno 3 m u nizvodnom smjeru. Zbog opasnosti od onečišćenja podzemnih voda PZ se ne primjenjuju na benzinskim postajama i drugim lokacijama s povećanim rizikom od prolijevanja opasnih tekućina.

Površine pod poroznim zastorom potrebno je zaštititi od dotoka s ostalih slivnih površina u kojima ima sedimenta. Isto tako treba izbjegavati lokacije izložene vjetrovima koji donose sediment na slivnu površinu.

Za postizanje učinkovitosti u hladnim klimatskim područjima, podložni sloj koji služi kao spremnik, mora se protezati ispod zone smrzavanja. Veliku opasnost predstavlja moguće začepjenje prilikom čišćenja snijega i uporabe soli i abraziva.

Veličina priključenog sliva ograničena je na površine od 0,1 – 4,0 ha. Pad sliva može biti najviše 5%.

### **1.3.7 LAGUNE S PRODUŽENOM RETENCIJOM, LPR, - (Engl: Extended Detention Ponds)**

Uz pomoć LPR uklanjaju se iz oborinskog dotoka onečišćenja i smanjuju vršni protoci na razinu prije izgradnje prometnice. Iz oborinskog dotoka uklanjaju se taložive i plivajuće tvari, a s njima i hranjiva, teške kovine i toksične tvari. Regulacijom otjecanja štite se od erozije nizvodni objekti i smanjuje mogućnost plavljenja. Mogu se graditi u formi nasipom ograđenih kaseti, iskopanih laguna ili spremnika. LPR nemaju stalni volumen vode između oborina.

Dakle, LPR su depresije koje povremeno retenciraju dio oborinskog dotoka. Učinkovitost u uklanjanju onečišćenja raste im s povećanjem vremena zadržavanja vode. Moguće je ukloniti 90% suspenzija, ako je zadržavanje vode 24 ili više sati. Unatoč tome u LPR se ne smanjuju bitno koncentracije otopljenog fosfora i dušika.

LPR se mogu primijeniti u slučajevima:

1. Kad se očekuje posebno veliko onečišćenje prijarnika (obično kad je srednje dnevno prometno opterećenje preko 30000 vozila/dan, i/ili za opterećene gradske prometnice).

2. Kad je potrebno smanjiti utjecaj onečišćenja s prometnice, a ne mogu se primijeniti biljni NPU.
3. Kad vodoprivredne vlasti traže da se ne poremeti vodni režim uslijed promjene namjene površina.

Ova je NPU u pravilu jeftinija od vlažnih laguna i umjetnih močvara, ali skuplja od travnatih jaraka, biofiltra i sporih tresetno-pješčanih filtara.

Zemljište potrebno za LPR iznosi od 0,5-2,0% od ukupne slivne površine. Potrebno je razmotriti infiltracijski kapacitet tla ispod lagune s pretpostavkom da će se bitno smanjiti kolmatacijom. Visoka razina podzemne vode ne mora ograničiti mogućnost primjene ili rada LPR, ali se mora razmotriti u projektu i izvedbi.

Zbog najčešćeg lociranja unutar eksproprijacijskog pojasa autoceste, LPR su uske i izdužene. Mogu se smjestiti uz pokos nasipa, u širokom razdjelnom pojasu ili u slobodnim prostorima prometnih petlji.

Gornja granica za primjenu LPR su slivne površine od najviše 20-30 ha. Iznad spomenute granice pogodnija je primjena vlažnih laguna.

### Učinkovitost

Učinkovitost je velika u uklanjanju taloživih onečišćenja, a slabija za otopljene tvari i hranjive soli. To se može popraviti dodavanjem močvare kao biološkog filtra na kraju. Učinkovitost za 13 mm prvog oborinskog dotoka može se procijeniti pomoću jednadžbe:

**Jedn. 1**

$$R = a \cdot t_d^b$$

gdje je:

R = učinkovitost (%)  
 $t_d$  = retencija (h)  
 a, b = parametri

U Tabl. 4 je prikazana očekivana učinkovitost ovisna o vremenu zadržavanja vode u laguni.

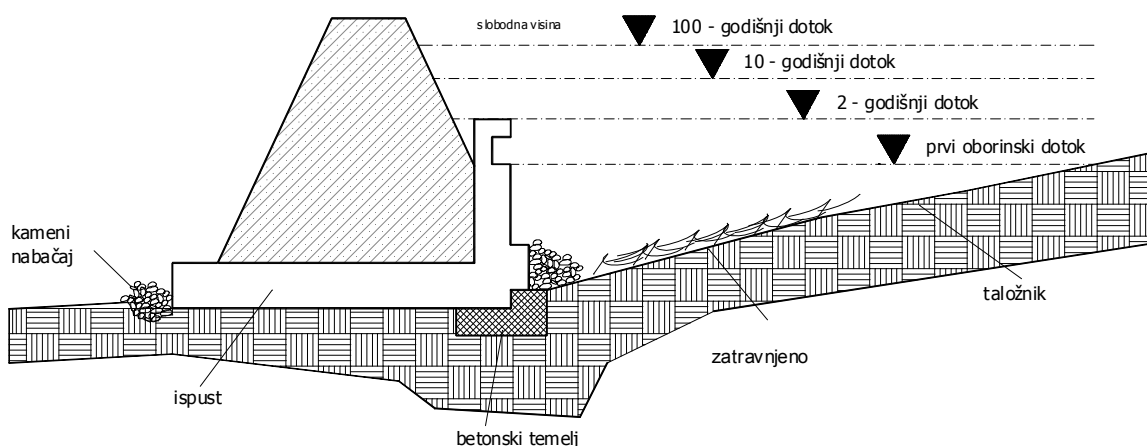
**Tabl. 4** Učinkovitost lagune s produženom retencijom

Onečišćenje	Vrijeme zadržavanja vode (dan)				Parametri	
	½	1	1½	2		
	Učinkovitost (%)				a	b
Ukupne suspenzije	68	75	82	90	41,5	0,2
Olovo	68	75	82	90	41,4	0,2
Cink/bakar	42	45	47	50	31,4	0,12
Fosfor	42	45	47	50	31,4	0,12
Ukupni KPK	42	45	47	50	31,4	0,12
Dušik	28	32	36	40	15,2	0,25

## Ispusna građevina

LPR se potpuno isprazne neko vrijeme nakon što završi dotok oborinskih voda. Vrijeme pražnjenja potpuno ispunjene lagune traje od 24 – 48 h, kako bi se u tom vremenu iz vode uklonio najveći dio onečišćenja.

U projektu se obično zadovoljavaju kriteriji regulacije 2-godišnjeg i 10-godišnjeg najvećeg dotoka na stanje prije izgradnje prometnice, te prihvata, zadržavanja i ispuštanje VPOD. Modifikacije se mogu odnositi na regulaciju 2-godišnjeg ili 10-godišnjeg najvećeg dotoka ili samo VPOD.



SI. 6 Karakteristične razine vode u LPR

Karakteristične razine vode u laguni prikazane su na SI. 6. Pripadni volumeni se kroz ispusnu građevinu ispuštaju sustavom, perforacija, preljeva i rasterećenja.

### Volumen POD i detalji perforacija (otvora) na ispustu

Prvi oborinski dotok (POD) zadržava se u laguni. Obično se uzima da je to prvih 13 mm oborine sa učvršćene površine sliva.

Proračuni koji su ovdje prikazani odnose se na lagunu s ravnim dnom i okomitim stranicama. POD od 13 mm obično predstavlja srednju oborinu velikog trajanja (između 80 i 90 %) i ukupnog srednjeg godišnjeg volumena od 50-70 %.

Volumen prvog oborinskog dotoka (VPOD) izračuna se iz:

Jedn. 2

$$V_Q = H_{ff}(A_I)$$

gdje je:

$$V_Q = \text{VPOD (m}^3\text{)}$$

$H_{ff}$  = visina oborine POD (m)  
 $A_l$  = učvršćena površina sliva ( $m^2$ )

Za perforacije na ispustu kroz koji se propušta VPOD vrijedi:

**Jedn. 3**

$$H_p = \frac{V_Q}{L \cdot w}$$

gdje je:

$H_p$  = dubina od površine do simetrale perforacija (m)  
 $L$  = duljina lagune (m)  
 $w$  = širina lagune (m)

**Jedn. 4**

$$N_p A_p = \frac{L \cdot w}{c_0 \cdot t_d \sqrt{\frac{g}{2H_p}}}$$

gdje je:

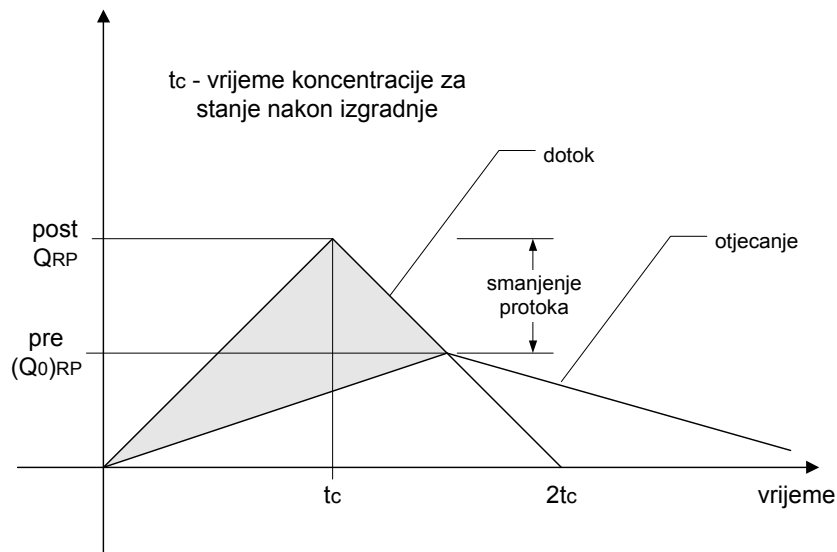
$N_p$  = broj perforacija  
 $A_p$  = površina svake perforacije ( $m^2$ )  
 $t_d$  = vrijeme zadržavanja ili retencije od pune do prazne lagune (h)  
 $c_0$  = koeficijent otvora (0,66 za kružni otvor s oštrim rubovima)

### **Smanjenje vršnih dotoka**

Ako se u LPR reguliraju vršni dotoci, tada se osim za VPOD rezervira i prostor za poravnanje 2-godišnjeg i 10-godišnjeg najvećeg dotoka, odnosno onog najvećeg dotoka koji je propisan Vodopravnim uvjetima.

Za procjenu najvećeg dotoka može dobro poslužiti racionalna metoda, jer se uvijek radi o relativno malim slivnim područjima. Za njenu uporabu potrebno je poznavati veličinu slivne površine i koeficijente otjecanja za karakteristične dijelove sliva, te raspolagati karakterističnim ITP krivuljama za predmetno područje. Osim racionalne metode moguće je koristiti i druge naprednije modele.

Uz poznate podatke za stanje prije izgradnje autoceste i stanje nakon izgradnje potrebno je izračunati mjerodavne najveće dotoke, a potom izračunati potreban retencijski prostor u laguni, tako da se najveći dotok u prijamnik održi na razini stanja prije izgradnje.



**SI. 7** Trokutasti hidrogram dotoka za određivanje retencijskog volumena

Za proračun retencijskog prostora potrebno je poznavati hidrograme dotoka oborina karakterističnog povratnog perioda. Za praktične potrebe dovoljno je točan jednostavni postupak konstrukcije trokutastog hidrograma dotoka prikazan na Sl. 7.

Pošto se proračunaju hidrogrami dotoka za prethodno stanje i stanje nakon izgradnje prometnice, razlika hidrograma predstavlja potrebni retencijski volumen. Za slučaj prema prikazu na Sl. 7 volumen retencije jednak je razlici vršnih dotoka pomnoženom s vremenom koncentracije.

Kod dimenzioniranja lagune računaju se tri volumena, odnosno razine vode:

1. Volumen 10-godišnjeg povratnog perioda koji je najveći i obuhvaća ostala dva.
2. Volumen 2-godišnjeg povratnog perioda koji je manji i obuhvaća VPOD.
3. Volumen POD.

Za volumen 10-godišnjeg povratnog perioda odredi se dubina 1,2 m i potom izračunaju ostale dimenzije lagune. Ova se dubina odabire zbog sigurnosti. Ako je dno lagune nagnuto i ako je ograničen pristup nepozvanim osobama dubina može postepeno rasti i preko 1,2 m.

Površina otvora kojim se evakuira 2-godišnji najveći dotok  $Q_2$ , može se izračunati iz:

**Jedn. 5**

$$A_p = \frac{Q_2}{1,41\sqrt{g(H - H_p - 1/2h)} \cdot c_0}; \quad c_0 \cong 0,9$$

gdje je:

- $Q_2$  = 2-godišnji najveći dotok prije izgradnje autoceste ( $m^3/s$ )  
 $H$  = dubina volumena 2-godišnjeg povratnog perioda (m)  
 $H_0$  = nazivna visina otvora (m)  
 $A_p$  = površina poprečnog presjeka otvora ( $m^2$ )  
 $c_0$  = koeficijent otvora (0,9)

10-godišnji najveći dotok evakuira se preko visoko postavljenog kružnog preljeva ili poplavnog rasterećenja čija se duljina može izračunati iz:

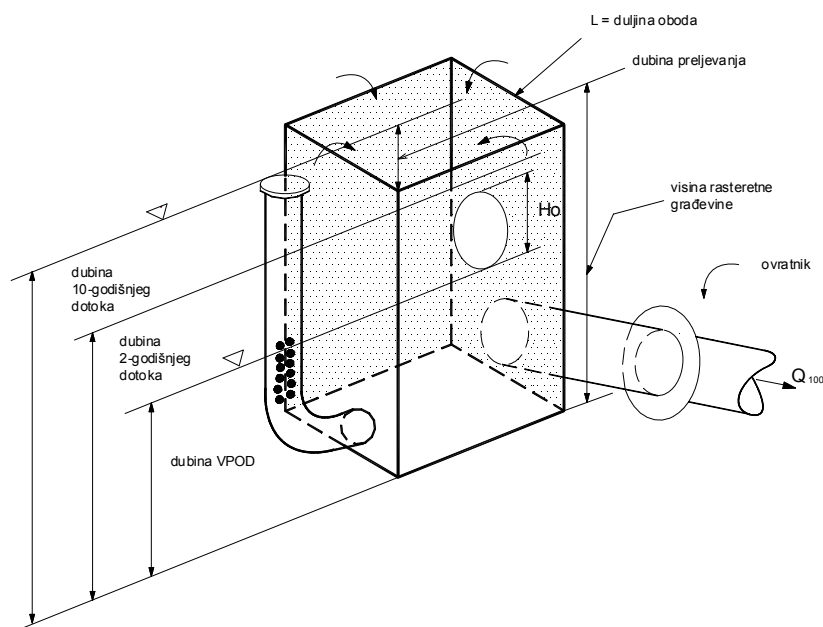
**Jedn. 6**

$$L = \frac{(Q_{10} - Q_2)}{0,544 \sqrt{g} \cdot H^{3/2} c_w}; \quad c_w \cong 0,9$$

gdje je:

- $Q_{10}$  = 10-godišnji najveći dotok prije izgradnje autoceste ( $m^3/s$ )  
 $H$  = dubina vode na preljevu (m)  
 $L$  = razvijena duljina krune preljeva (m)  
 $g$  = ubrzanje polja gravitacije ( $m/s^2$ )  
 $c_w$  = koeficijent preljeva (0,9)

Iznad najviše proračunske razine treba osigurati slobodnu visinu za slučajeve ekstremnih dotoka i zaštite nasipa. Ekstremni dotoci, veći od proračunskih, prihvaćaju se u lagunu i evakuiraju putem sigurnosnog rasterećenja, ili se rasterećuju prije lagune. Na Sl. 8 nalazi se shematski prikaz ispusne građevine s karakterističnim razinama vode u laguni i otvorima za evakuaciju vode.



**Sl. 8 Shematski prikaz ispusne građevine**

## Primjer

Zadatak:

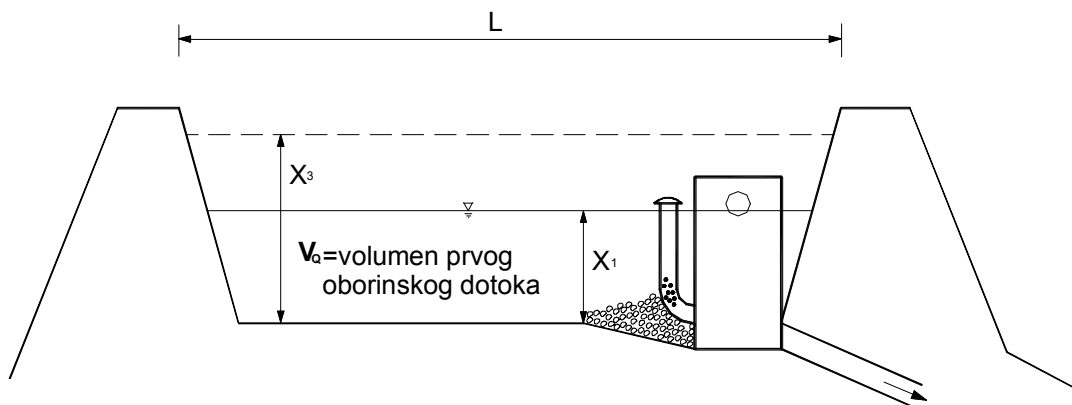
Dimenzioniraj LPR za autocestu sa ukupnom slivnom površinom od 4,6 km s 45% kolnika i 55% zatravljenih površina.

Ulazni podaci:

Vrijeme koncentracije za stanje prije izgradnje je 30 min, a nakon izgradnje 20 min. Intenzitet 2-godišnje oborine 20 minutnog trajanja je 88 mm/h, a 30-minutnog trajanja 71 mm/h. Za 10-godišnju oborinu 20-minutnog trajanja intenzitet je 114 mm/h, a 30-minutnog trajanja 97 mm/h. Za 10-godišnji dotok usvoji dubinu lagune od 1,2 m, reduciraj najveće 2-godišnje i 10-godišnje dotoke na stanje prije izgradnje i predvidi pražnjenje korisnog volumena za 48 h. Pretpostavi ravno dno lagune i okomite zidove.

Za praćenje proračuna i detalja vidi Sl. 8 i Sl. 9.

Ulazni podaci	Simbol	Vrijednost	Početna vrijednost/komentar
Površina Kolnik	$A_1$	2,1 ha	
Ostale površine	$A_2$	2,5 ha	
Koeficijenti otjecanja Kolnik	$C_1$	0,9	0,9
Ostale površine	$C_2$	0,2	0,2
Prije izgradnje	$C_P$	0,2	0,2
Vrijeme koncentracije Nakon izgradnje	$t_c$	20 min	Tipična vremena tečenja tlom i rigolom 10 min
Prije izgradnje	$t_p$	30 min	15 min
Intenziteti iz ITP krivulja 100 godina	$i_{100}$	160 mm/h	
10 godina			
Prije izgradnje	$(i_0)_{10}$	97 mm/h	
Poslije izgradnje	$i_{10}$	114 mm/h	
2 godine			
Prije izgradnje	$(i_0)_2$	71 mm/h	
Poslije izgradnje	$i_2$	88 mm/h	
Odnos duljina/širina lagune	$L/W$	4	4 da se izbjegne strujanje prečacem
Visina ispusnog otvora	$h$	300 mm	300 mm
Veličina prvog dotoka	$z$	13 mm	13 mm
Nominalna dubina lagune za 10-godišnji dotok	$x_3$	1,2 m	<1,2 zbog sigurnosti
Visina prelijevanja na preljevu 10-god. dotoka	$d$	75 mm	50-100 mm
Površina otvora na ispustu VPOD	$a$	1134 mm <sup>2</sup>	Otvor promjera 38 mm



**Sl. 9** Shematski prikaz oznaka dimenzija koje se koriste u proračunu

1. Proračun najvećih dotoka uz pomoć racionalne metode

Nakon izgradnje:

$$\begin{aligned}
 Q_{100} &= (0,9 \cdot 21000 \text{ m}^2 + 0,2 \cdot 25000 \text{ m}^2) \cdot 0,16 \text{ m/h}/3600 = 1,062 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{10} &= (0,9 \cdot 21000 \text{ m}^2 + 0,2 \cdot 25000 \text{ m}^2) \cdot 0,14 \text{ m/h}/3600 = 0,929 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_2 &= (0,9 \cdot 21000 \text{ m}^2 + 0,2 \cdot 25000 \text{ m}^2) \cdot 0,088 \text{ m/h}/3600 = 0,584 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Prije izgradnje:

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= (0,2 \cdot 46000 \text{ m}^2) \cdot 0,071 \text{ m/h}/3600 = 0,181 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{10} &= (0,2 \cdot 46000 \text{ m}^2) \cdot 0,097 \text{ m/h}/3600 = 0,248 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

2. Proračun volumena LPR prema Jedn. 2:

VPOD (za prvi dotok od 13 mm najviše opterećenih oborina)

$$V_Q = 0,013 \text{ m} \cdot 21000 \text{ m}^2 = 273 \text{ m}^3$$

Volumen kojim se reducira 2-godišnji i 10-godišnji najveći dotok na razinu prije izgradnje autoceste.

Za 2-godišnju kišu:

$$V = 20 \text{ min} \cdot 60 \text{ s/min} \cdot (0,584 \text{ m}^3/\text{s} - 0,181 \text{ m}^3/\text{s}) = 483 \text{ m}^3/\text{s}$$

Za 10-godišnju kišu:



$$V = 20 \text{ min} \cdot 60 \text{ s/min} \cdot (0,929 \text{ m}^3/\text{s} - 0,248 \text{ m}^3/\text{s}) = 818 \text{ m}^3/\text{s}$$

3. Proračun dimenzija lagune:

$$\begin{aligned} \text{Najveća dubina } H &= 1,2 \text{ m (zadano)} \\ L/W &= 4 \text{ (zadano, dakle } W = L/4) \\ H \cdot L \cdot W &= 1,2 \cdot L \cdot (L/4) = 818 \text{ m}^3 \\ L &= 52,2 \text{ m} \\ W &= 13,0 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Dubina vode za 2-godišnji najveći dotok:

$$H_{2\text{-god}} = 483 / (52,2 \text{ m} \cdot 13,0 \text{ m}) = 0,71 \text{ m}$$

5. Dubina VPOD iz Jedn. 3:

$$H_p = 273 / (52,2 \text{ m} \cdot 13,0 \text{ m}) = 0,40 \text{ m}$$

6. Visina preljevnog ruba za rasterećenje 10-godišnjeg dotoka:

$$H = 1,2 - d = 1,2 - 0,075 = 1,125 \text{ m}$$

7. Uz pomoć Jedn. 4 izračunaj broj otvora na ispustu POD (iznad razine stalnog volumena). Voda se treba ispustiti u roku od 48 h.

$$N_p = \frac{52,2\text{m} \cdot 13,0\text{m}}{0,001134\text{m}^2 \cdot 0,66 \cdot 48\text{h} \cdot 3600\text{s/h} \cdot \sqrt{\frac{9,81\text{m/s}^2}{2 \cdot 0,55\text{m}}}} = 2 \text{ otvora}$$

8. Izračunaj opseg preljevnog okna (duljinu preljeva) tako da zadovolji visinu prelijevanja od 75 mm za 10-godišnji najveći dotok (Jedn. 6):

$$L = \frac{0,248\text{m}^3/\text{s} - 0,181\text{m}^3/\text{s}}{0,544 \cdot \sqrt{9,81\text{m/s}^2} \cdot (0,075\text{m})^{3/2} \cdot 0,9} = 2,13\text{m}$$

9. Izračunaj veličinu otvora za rasterećenje najvećeg 2-godišnjeg dotoka, ako je mjerodavna dubina razmak od središta ispusnog otvora do razine 2-godišnjeg volumena (Jedn. 5):

$$A_p = \left( \frac{0,181\text{m}^3/\text{s}}{1,41 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{9,81\text{m/s}^2} (0,71\text{m} - 0,4\text{m} - 0,15\text{m})} \right) = 0,114 \text{ m}^2$$

10. Osiguraj odvod za 100-godišnji najveći dotok ( $1,06 \text{ m}^3/\text{s}$ ) uz pomoć preljevnog okna ili bočnog preljeva.
11. Osiguraj 0,3 m slobodne visine iznad 1,2 m dubine lagune za mogućnost dodatne akumulacije taloga i većih dotoka.
12. Osiguraj ispušt od ispusne građevine do prijamnika, tako da može propustiti najveći 100-godišnji dotok,  $Q_{100} = 1,06 \text{ m}^3/\text{s}$ .
13. Učinkovitost čišćenja

$$t_d = 48 \text{ h}$$

Uklanjanje suspendirane tvari	$= 41,5 \cdot 48^{0,2} = 90\%$
Uklanjanje fosfora	$= 31,4 \cdot 48^{0,12} = 50\%$
Uklanjanje teških metala	$= 31,4 \cdot 48^{0,12} = 50\%$

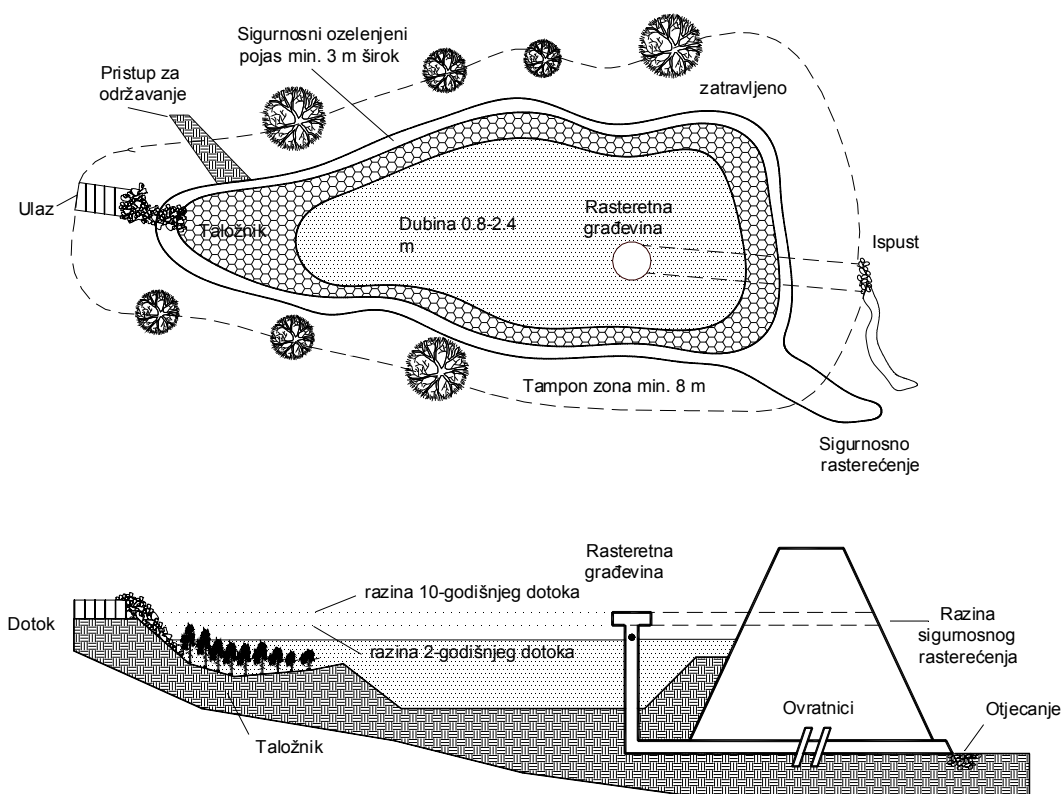
**Napomena:** LPR se može projektirati tako da se ispred lagune rasterete svi dotoci nakon što se ispuni korisni volumen.

### 1.3.8 MOKRA LAGUNA, ML, - (Engl: Wet Pond)

Mokra laguna je NPU koja koristeći stalnu prisutnost vode iz oborinskih dotoka s prometnice uklanja konvencionalna onečišćenja kroz taloženje, biološku razgradnju i biljnu filtraciju. Biološkim procesima koji se odvijaju u laguni uklanjaju se metali i otopljena hranjiva kao što su nitrati i ortofosfati.

Mokre lagune mogu također biti regulacijske građevine i kontrolirati dotok preko tzv. živog retencijskog volumena iznad stalne radne razine. Ako se grade u formi prirodnih stajačica mogu imati rekreacijsku i estetsku vrijednost. Mokra je laguna slična laguni s produženom retencijom, osim što ima stalni radni volumen.

Kod odvodnje prometnica koriste se za slučajeve, kad osim same prometnice postoji veći dio vanjskog sliva, i pouzdani stalni izvor vode. Za lokacije s manjom površinom izvan prometnice i bez stalnog izvora vode pogodnija je primjena LPR, ili neko drugo rješenje. Također su pogodne za primjenu kod velikih parkirališta i odmorišta. Pouzdani izvor vode treba osigurati stalni volumen lagune.



**Sl. 10** Shematski prikaz tipične mokre lagune

Mokra laguna pogodna je za primjenu kod slivova s pouzdanim izvorom vode većih od 4 ha, do najviše 260 ha. Za lagunu treba osigurati pouzdani izvor vode kroz cijelu godinu. Ako se laguna ne održava dobro, voda može postati ustajala, prekrivena algama i plivajućom otpadnom tvari, neprijatnog mirisa s mnoštvom insekta.

Zbog mogućeg gubitka vode laguna mora biti smještena na slabo propusnim materijalima, ili osigurana geomembranom ili glinenom oblogom. Za ML potrebno je osigurati 1-3% od ukupne pripadne slivne površine.

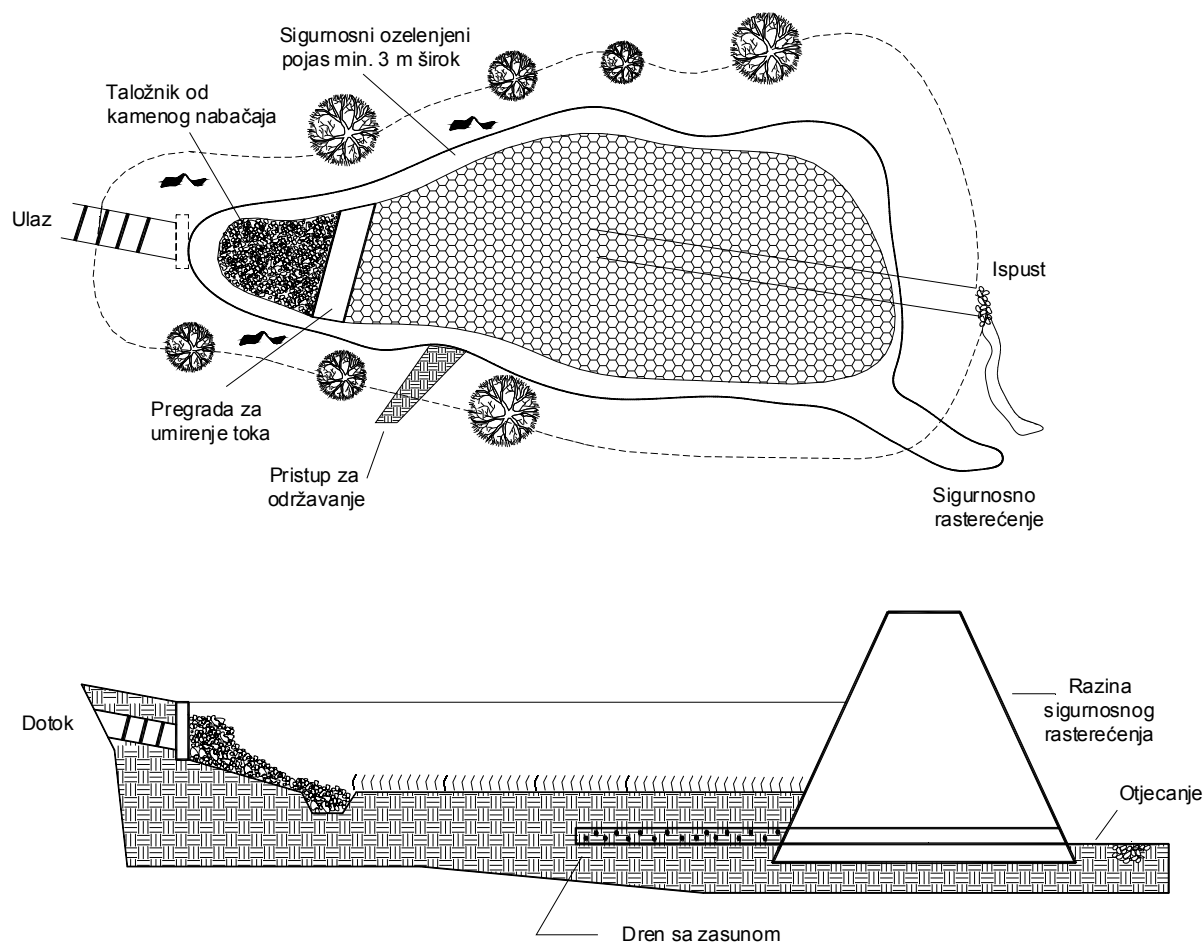
Laguna mora biti najmanje 6 m udaljena od ostalih građevina, linije eksproprijacije autoceste i možebitnog biljnog pojasa, i 30 m daleko od bilo kakvog septika/drenažnog polja. Lagune moraju biti najmanje 15 m udaljene od strmih kosina (većih od 15%), ako se geotehničkim istraživanjima ne dokaže suprotno.

### 1.3.9 INFILTRACIJSKI SPREMNICI (IS) (Engl: Infiltration Basins)

Infiltracijski spremnik je otvorena zemljana građevina koja zahvaća volumen prvog oborinskog dotoka i pročišćava ga procjeđivanjem kroz propusno tlo. Procjeđivanjem kroz tlo na onečišćenu oborinsku vodu djeluju fizikalni, kemijski i biološki procesi kojim se uklanjaju suspenzije i otopljena onečišćenja. Onečišćenja se zadržavaju u gornjim slojevima tla, a pročišćena voda otječe u podzemlje. IS se koriste za slivne površine između 2 i 20 ha. Za površine manje od 2 ha pogodni su infiltracijski jarci (IJ). Za slivne površine veće od 20 ha, održavanje postaje suviše složeno, pa je primjena LPR ili ML pogodnija. Infiltracijski spremnici su uglavnom suhi, osim neposredno nakon oborina.

#### Odabir lokacije

- Potrebno je oprezno odabrati lokaciju IS, naročito u pogledu propusnosti tla. Ako je tlo slabo propusno, procjeđivanje u tlo biti će presporo. Važan je i nagib tla u slivu, dubina vodonepropusnog sloja i razine podzemne vode, blizina zdenaca pitke vode i temelja objekata.
- Smatra se da tla s brzinom filtracije ispod 7 mm/h nisu pogodna za IS. Isto tako nisu pogodna tla s velikim dijelom gline (>30%). U svrhu definiranja karakteristika tla, potrebno je učiniti niz uzorkovanja sa dubine od najmanje 1,5 m ispod zamišljenog dna IS.



SI. 11 Potpuni infiltracijski spremnik

- IS se ne bi smjele graditi na slivovima s većim padom od 20%, a sam spremnik na padu većem od 5%. Dno spremnika trebalo bi biti barem 1,2 m iznad vodonepropusnog sloja, i 0,6 – 1,2 m iznad sezonske najviše razine podzemne vode.
- Udaljenost IS od zdenaca pitke vode ne bi smjela biti manja od 30 m, jer u suprotnom može doći do zagađenja. Isto je tako potrebno, zbog mogućeg ispiranja, IS smjestiti 3 m nizvodno od temelja nekog objekta, odnosno minimalno 30 m uzvodno.

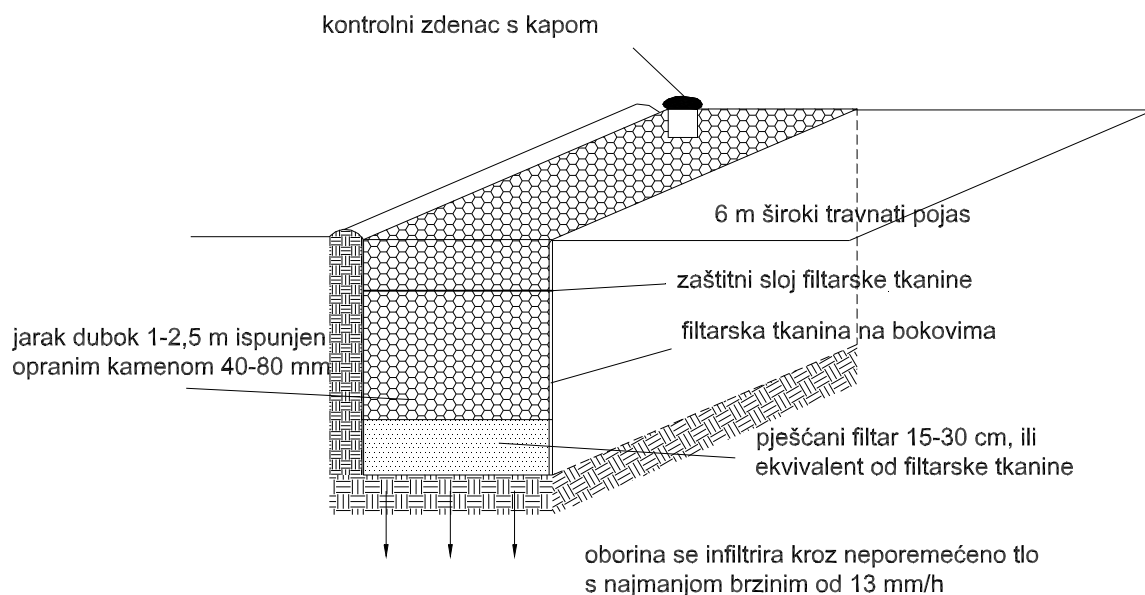
### **1.3.10 INFILTRACIJSKI JARCI, IJ, (Engl: Infiltration Trenches)**

Infiltracijski jarak, IJ predstavlja iskopani rov, jarak ili prokop obložen filtarskom tkaninom, ispunjen kamenom tako da čini podzemni spremnik. Oborinski dotok upušta se u jarak odakle se procjeđuje u okolno tlo, ili se upušta u perforiranu cijev koja završava u ispusnoj građevini. Dubina jarka je od 1-2,5 m i može se promijeniti kada to lokalni uvjeti dopuštaju. Manji jarci služe za pročišćavanje oborinskih dotoka, a veći mogu poslužiti i za regulaciju dotoka. IJ obično nisu pogodni za primjenu u gusto urbaniziranim područjima ili u slučajevima rekonstrukcije, ako tlo ima malu propusnost, ili mali udio šupljina. Treba ih graditi nakon što se slivno područje stabilizira, kako bi se smanjio dotok taloga.

IJ učinkovito uklanjaju otopljenu tvar i krutine. Oni obogaćuju podzemne vode vraćajući u tlo od 60 – 90% oborinskog dotoka. Koriste se za odvodnju slivnih površina, veličine do 4ha. Lokacije za gradnju obuhvaćaju urbanizirane površine, parkirališta, razdjelne pojaseve na autocestama, te prostor uz nasipe. Učinkoviti su samo na propusnim tlima (pijesak i šljunak), gdje je razina podzemne vode i nepropusnog sloja nisko ispod njihova dna. Koriste se često u kombinaciji s travnatim jarcima i drugim zaštitnim građevinama koje dobro uklanjaju sediment.

Kao zaštita od krupnog taloga mogu se ispred ulaza u IJ izgraditi taložnici. Za vrijeme izgradnje IJ, teško je kontrolirati unos sedimenta, moguće začepljenje ispune jarka i filtarskih slojeva. Zbog toga je za vrijeme građenja potrebno poduzeti zaštitne antierozijske mjere. Moguće je onečišćenje vodonosnika unosom otopljenih tvari kao što su nitrati, kloridi i ugljikovodici.

Ako se ne osigura učinkovito uklanjanje krupnog sedimenta prije utoka, očekivani vijek trajanja IJ je samo pet godina, dok je sa solidnim održavanjem vijek trajanja prije temeljite rekonstrukcije 10-15 godina. Na Sl. 12 shematski je prikazan tipični infiltracijski jarak.



**Sl. 12** Shematski prikaz infiltracijskog jarka

U praksi se koriste tri osnovna tipa koja se mogu izgraditi ispod ili iznad tla.

Prvi tip je potpuni infiltracijski jarak gdje je jedini mogući smjer infiltracije iz kamene ispune u okolno tlo.

Drugi tip je djelomični infiltracijski jarak, gdje se oborinski dotoci infiltriraju kroz perforiranu drenažnu cijev. Ovo se rješenje koristi u slučajevima kada postoji opasnost da se smanji propusnost nižih slojeva tla ili začepljenje na kontaktu tla i filtarske tkanine.

Djelomični infiltracijski jarak može imati umjesto nisko postavljene perforirane drenažne cijevi, visoko postavljenu perforiranu cijev, kako bi se osigurala infiltracija dotoka većih od prvog.

Infiltracijski jarci prvog dotoka su jarci koji imaju isključivo ulogu uklanjanja onečišćenja iz prvih najopterećenijih oborinskih dotoka (POD).

### 1.3.11 PJEŠĆANI FILTRI (PF) (Engl: Sand Filters)

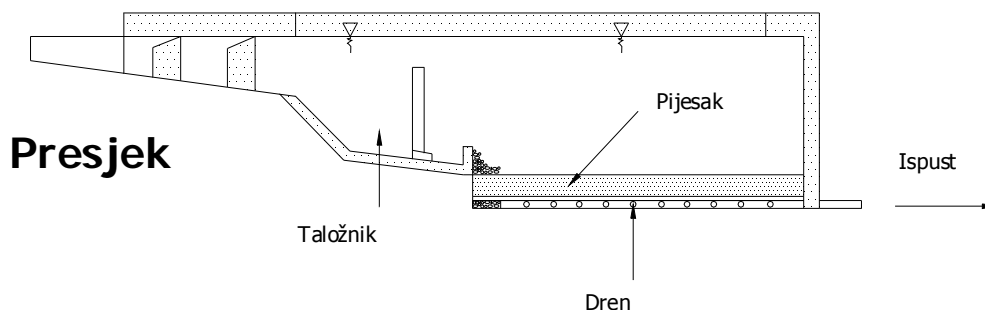
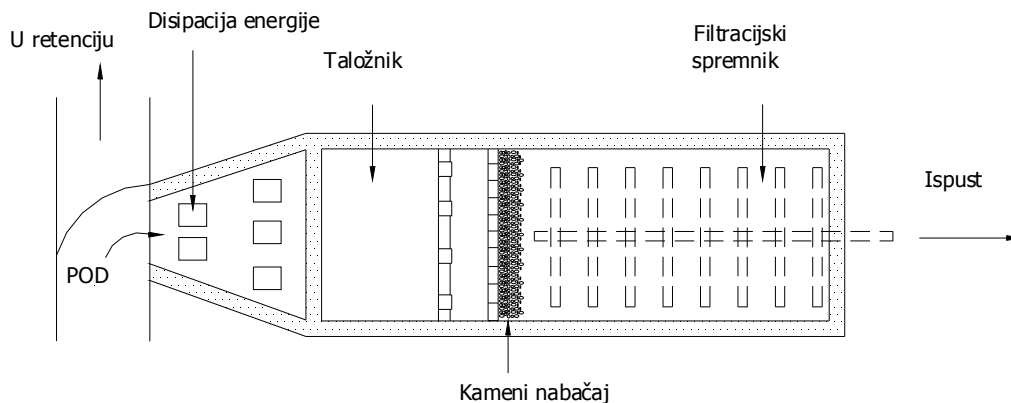
Namjena pješćanog filtra je da ukloni suspenzije i onečišćenja iz prvog kišnog dotoka. Filtracija hranjiva, organskih spojeva i koliformnih bakterija potpomognuta je djelovanjem biofilma koji se stvara u filtarskoj ispuni tijekom rada. Jedna od glavnih odlika PF je prilagodljivost, tako da se mogu koristiti u slivovima s tankim pokrovnim tлом, velikom evaporacijom, niskom infiltracijom i ograničenim prostorom, te u slučajevima kad se štite podzemne vode. Ove građevine su postojane u radu s

malom učestalosti podbacivanja u učinkovitosti ako su pravilno izgrađene i održavane.

Prvi su put PF korišteni 1829 u Londonu za tretman voda rijeke Temze. Spomenuti prvi PF bio je preteča sporih pješčanih filtra koji su se široko koristili početkom 20. stoljeća u pripremi pitke vode i čišćenju otpadnih voda.

Ranih 1980-tih grad Austin u Texasu, prvi je put iskoristio spori pješčani filter za obradu oborinskih voda s urbanih površina. Pustinjska klima Austina nije inženjerima dala veliki izbor mogućnosti kako riješiti problem, jer primjena klasičnih zaštitnih objekata nije primjerena. Male padaline i velika evapotranspiracija isključuju uporabu laguna i močvarnih biljaka. Korištenje biljaka ograničava i sušna klima s visokim ljetnim temperaturama. Zaštita podzemnih voda zbog tankog sloja tla bila bi ugrožena korištenjem infiltracijskih građevina. Gradnjom sporih filtara posebne konstrukcije problem je riješen. Izvorna konstrukcija PF prikazana je na Sl. 13.

## Tlocrt

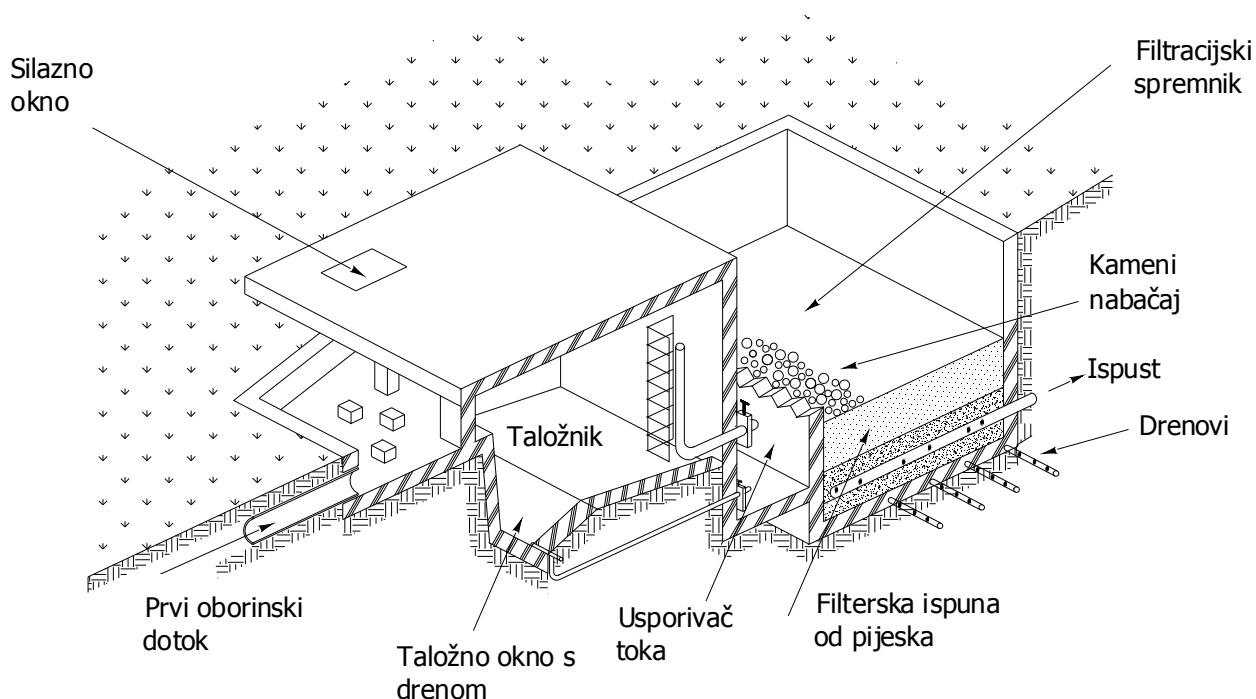


Sl. 13 Originalni Austin-ski pješčani filter

Na temelju originalnog rješenja korišteno je mnoštvo konstrukcija koje su nastale na temelju prethodnih iskustava i specifičnostima pojedinih lokacija. Tako su najpoznatije konstrukcije pored Austinskog PF još i: Podzemni PF Kolumbijskog distrikta, Suhi pješčani filter Alexandria, Delaware-ski PF i tresetno-pješčani filter.

### Odabir lokacije

PF ima dobru učinkovitost gdje zakazuju ostale zaštitne građevine. Može se koristiti u prostorom ograničenim urbanim sredinama, ili općenito na mjestima gdje se ne raspolože s dovoljno prostora. Može se izgraditi kao podzemna građevina.



**Sl. 14** Austin-ski pješčani filter sa zaštitnim taložnikom

Zbog autonomnosti u radu koristi se u klimatski nepovoljnim područjima. S te strane interesantan je za primjenu u našim kraškim toplim i suhim krajevima, gdje treba štiti podzemne vode.

Najveća opasnost za učinkoviti rad filtera je obilni dotok suspenzija koje prijete kolmatacijom. Zbog toga se preporučuje uporaba za čišćenje prvog oborinskog dotoka sa relativno malih nepropusnih površina kao što su parkirališta i prometne površine. Prije puštanja u pogon potrebno je sve površine u slivu zaštititi od erozije.



PF zahtijevaju za rad dosta veliku visinsku razliku. Visinska razlika između ulaza i izlaza mora uključiti slobodno nadvišenje iznad taložne komore, 0,3 m visine vode iznad filtra, filtarsku ispunu i drenove. Ako se ta visina ne može osigurati potrebno je predvidjeti crpljenje.

Oprezno treba postupiti u hladnijim klimatskim područjima, jer je tamo biološki učinak zbog niže temperature slabiji. Ako postoji mogućnost smrzavanja PF potrebno je osigurati protjecanje mimoilazim vodom.