



UNIVERZITET U BEOGRADU

GRAĐEVINSKI FAKULTET

DRENAŽNI SISTEMI

ŠKOLSKA 2012/2013

SISTEMI ZA ODVODNJAVANJE PUTEVA

Predmetni profesor:

Doc. Dr Miloš Stanić, dipl. građ. inž.

Predmetni asistent:

Željko Vasilić, dipl. građ. inž.

Beograd, 2013



Sistemi za odvodnjavanje puteva

SADRŽAJ

- Uvod
- Kriterijumi za projektovanje
- Prikupljanje kišnog oticaja
- Odvođenje kišnog oticaja
- Infiltracioni sistemi





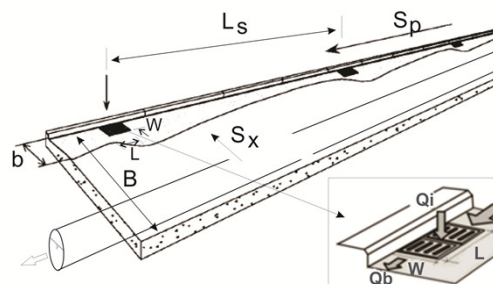
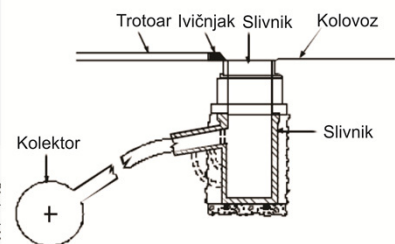
Uvod

- Sistem za odvodnjavanje se gradi za potrebe kontrolisanog prikupljanja i odvođenja kišnog oticaja sa kolovoza, pri pojavi merodavnih padavina.
- Osnovni problem je formiranje sloja vode na kolovozu što dovodi do smanjena vidljivost, pojave hidroplaninga ...
- Faktori koji utiču na zadržavanje vode na kolovozu su:
 - poprečni i podužni pad kolovoza
 - rastojanje između slivnika
 - intenzitet kiše
 - hrapavost kolovozne površine



Uvod

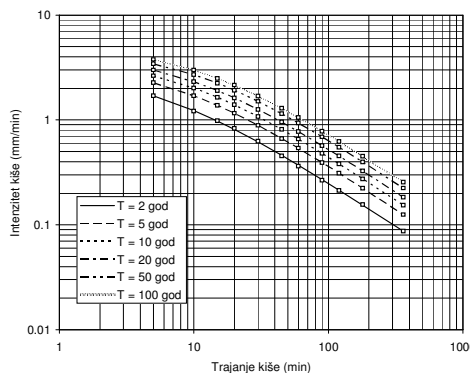
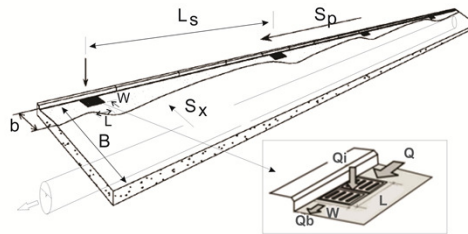
- **Ciljevi:**
Povećanje bezbednosti saobraćaja
Očuvanje životne sredine
- **Sistem za odvodnjavanje:**
Deo za **prikupljanje** kišnog oticaja
Deo za **odvođenje** prikupljenog oticaja do izliva





Kriterijumi za projektovanje

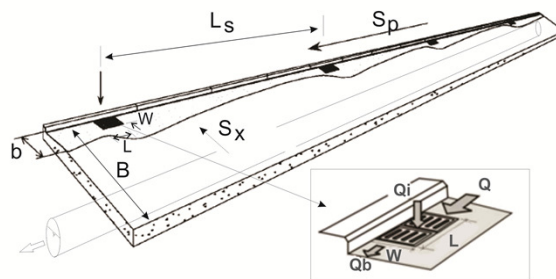
- Propisuje se dozvoljena širina plavljenja kolovoza (b), pri padavinama zahtevanog povratnog perioda (T)
- Izbor kriterijuma zavisi od:
 - projektovane računске brzine
 - očekivanog obima saobraćaja
 - potrebnog ulaganja u sistem
- Autoput i putevi sa računskom brzinom većom od 75 km/h – dozvoljeno plavljenje samo zaustavne trake i $T=10$ g
- Putevi nižeg ranga – dozvoljeno plavljenje polovine vozne trake i $T=5$ g



Kriterijumi za projektovanje

Elementi geometrije trase od interesa za odvodnjavanje

- Podužni pad (S_p) – min 0.5%, na kratkim deonicama 0.3%
- Poprečni pad (S_x) – min 1.5%, max 2.5%; za put sa više traka u jednom smeru, za svaku narednu traku pad se povećava za 0.5 do 1% do max 4%.
- Orijentacija poprečnog pada: prema razdelnom pojasu ili prema zaustavnim trakama
- Širina kolovoza (B)





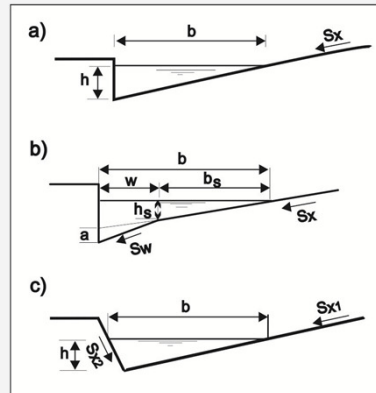
Prikupljanje kišnog oticaja

Tečenje uz ivičnjak

- Tri tipa kanaleta (rigol):
 - a) Trougaoni poprečni presek
 - b) Produbljeni poprečni presek
 - c) Kanalete sa obostranim nagibom
- Uobičajene vrednosti za produbljeni poprečni presek su:

$$w = 30 - 60 \text{ cm}$$

$$a/w = 8 - 12\%$$



Proračun propusne sposobnosti kanalete (Q):

$$\text{a) } Q = \frac{0.315}{n \cdot S_x} h^{8/3} \sqrt{S_p} \quad \text{c) } Q \text{ kao za a) } S_x = \frac{S_{x1} S_{x2}}{S_{x1} + S_{x2}}$$



Prikupljanje kišnog oticaja

Tečenje uz ivičnjak

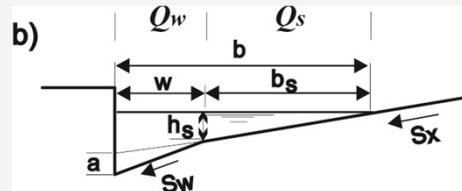
Proračun propusne sposobnosti složenog preseka - tip b):

$$Q = Q_w + Q_s$$

$$Q_s = \frac{0.315}{n \cdot S_x} h_s^{8/3} \sqrt{S_p}$$

$$Q_w = Q_s \frac{E_0}{1 - E_0}$$

$$Q_w = E_0 \cdot Q; \quad Q_s = (1 - E_0) \cdot Q$$



$$S_w = S_x + a/w$$

$$E_0 = \left[1 + \frac{S_w / S_x}{\left(1 + \frac{S_w / S_x}{b/w - 1}\right)^{8/3} - 1} \right]^{-1}$$



Prikupljanje kišnog oticaja

Tečenje uz ivičnjak

Proračun propusne sposobnosti složenog preseka - tip b):

PRIMER

$$S_x = 0.022$$

$$n = 0.015 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$$

$$S_p = 0.014$$

$$b = 1.6 \text{ m}$$

$$a = 5 \text{ cm}$$

$$w = 0.6 \text{ m}$$

Rešenje

$$b_s = b - w = 1.0 \text{ m}$$

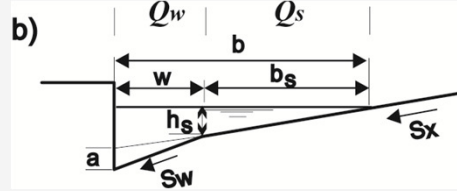
$$h_s = 1 \cdot 0.022 = 0.022 \text{ m}$$

$$Q_s = 0.0043 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$S_w = S_x + a / w = 0.11$$

$$E_0 = 0.883$$

$$Q = \frac{Q_s}{1 - E_0} = 0.0366 \text{ m}^3 / \text{s}$$



Za slučaj da je $S_w = S_x$:

$$E_0 = 0.714$$

$$Q = 0.015 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$



Prikupljanje kišnog oticaja

Slivnici

Tri tipa slivnika:

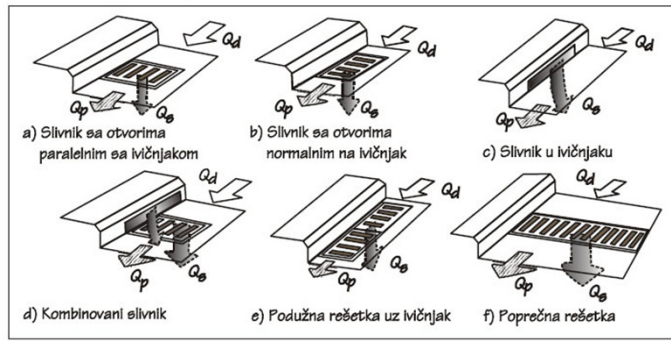
1) Slivnici uz ivičnjak:

Sa paralelnim otvorima

Sa normalnim otvorima

2) Slivnici sa otvorima u ivičnjaku

3) Kombinovani





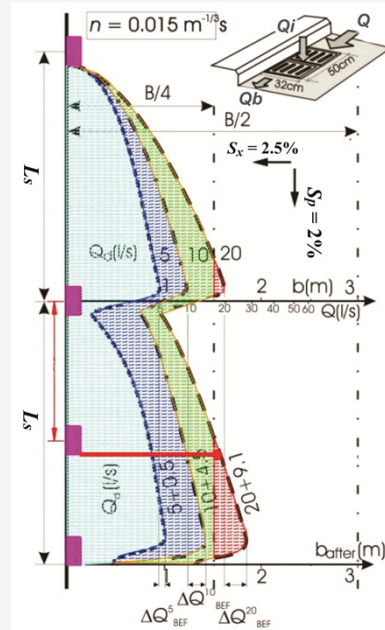
Prikupljanje kišnog oticaja

Efikasnost slivnika

$$E = \frac{Q_i}{Q}$$

Efikanost zavisi od:

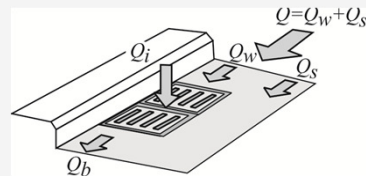
- elementa geometrije trase (podužni S_p i poprečni pad S_x)
- Tipa slivnika i geometrije (širine w i dužine L)
- Dotoka Q



Prikupljanje kišnog oticaja

Proračun efikasnosti slivnika

$$E = \frac{Q_i}{Q}$$



- ❑ Dotok Q se deli na čeonu Q_w i bočnu Q_s :

$$Q_w = E_0 \cdot Q$$

$$Q_s = (1 - E_0) \cdot Q$$

- ❑ Deo protoka koji prihvata slivnik (Q_i) zavisi od efikasnosti prijema čeonog (R_w) i bočnog dotoka (R_s):

$$Q_i = R_w \cdot Q_w + R_s \cdot Q_s$$

$$E = R_w \cdot E_0 + R_s \cdot (1 - E_0)$$



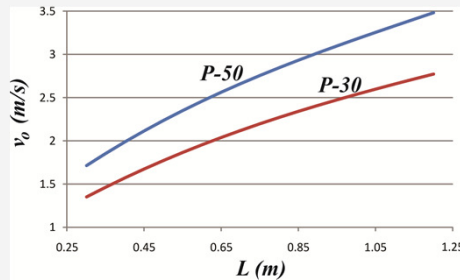
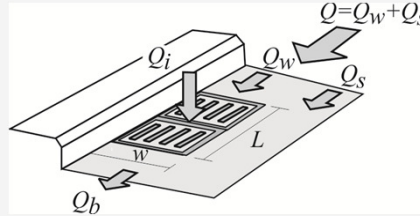
Prikupljanje kišnog oticaja

Proračun efikasnosti slivnika

- Koeficijent efikasnosti prijema čeonog dotoka (R_w)

$$R_w = \begin{cases} 1 - 0.295 \cdot (v - v_0) & v \geq v_0 \\ 1 & v < v_0 \end{cases}$$

- v - brzina toka Q koji stiže do slivnika
- v_0 - maksimalna brzina, čijim se prevazilaženjem smanjuje efikasnost slivnika



Prikupljanje kišnog oticaja

Proračun efikasnosti slivnika

- Koeficijent efikasnosti prijema bočnog dotoka (R_s)

$$R_s = \frac{1}{1 + \frac{0.0828 \cdot v^{1.8}}{S_x L^{2.3}}}$$

PRIMER

$$S_x = 0.022$$

$$n = 0.015 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$$

$$S_p = 0.014$$

$$b = 1.6 \text{ m}$$

$$a = 5 \text{ cm}$$

$$w = 0.6 \text{ m}$$

$$L = 0.6 \text{ m}$$

Rešenje

$$E_0 = 0.883$$

$$Q = 0.0366 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$A = \frac{b^2 S_x}{2} + \frac{a \cdot w}{2} = 0.043 \text{ m}^2$$

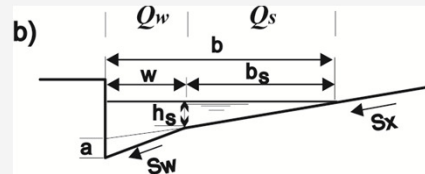
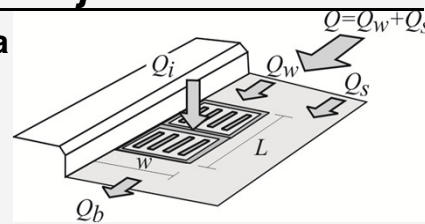
$$v = 0.85 \text{ m/s}$$

$$R_w = 1.0$$

$$R_s = 0.10$$

$$E = R_w E_0 + R_s (1 - E_0) = 0.89$$

$$Q_i = E \cdot Q = 0.033 \text{ m}^3 / \text{s}$$



Za slučaj da je $S_w = S_x$:

$$E_0 = 0.714$$

$$Q = 0.015 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$E = 0.77$$

$$Q_i = E \cdot Q = 0.012 \text{ m}^3 / \text{s}$$



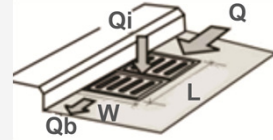
Prikupljanje kišnog oticaja

Koraci u proračunu efikasnosti slivnika

- Efikasnost slivnika se može sračunati na sledeći način:

$$E = R_w \cdot E_0 + R_s \cdot (1 - E_0)$$

$$R_w = R_w(v_0, v); \quad R_s = R_s(v, S_x, L)$$



- Deo protoka koji prihvata slivnik:

$$Q_i = E \cdot Q$$

- Deo protoka koji slivnik ne može da prihvati:

$$Q_b = Q - Q_i < Q/3$$

- Rastojanje između slivnika:

$$L_s = \frac{Q_i}{B \cdot i_k \cdot C}$$



Prikupljanje kišnog oticaja

Proračun rastojanja između slivnika

- Protok koji se prikuplja između dva slivnika (Racionalna teorija):

$$Q_i = i_k \cdot C \cdot B \cdot L_s$$

- Maksimalna vrednost protoka za $t_o = t_k$: $t_o = t_{o1} + t_{o2}$

t_{o1} - vreme putovanja do ivičnjaka:

t_{o2} - vreme putovanja duž ivičnjaka:

$$S = \sqrt{S_x^2 + S_p^2}$$

$$B_s = B \sqrt{1 + (S_p / S_x)^2}$$

$$t_{o1} = 1.36 \frac{B_s^{0.6} n^{0.6}}{i_c^{0.4} S^{0.3}}$$

$$t_{o2} = \frac{L_s}{v_a}$$

- Proračun se sprovodi iterativno:

Iteracija	t_k	...	t_o
1	$t_k^1 = 2 \text{ min}$		t_o^1
2	$t_k^2 = t_o^1$		t_o^2
...			
n			



Prikupljanje kišnog oticaja

Proračun rastojanja između slivnika

PRIMER

Ulazni podaci:

Karakteristike kolovoza Karakteristike slivnika Zavisnost $i_k(t_k, T_p=10 \text{ god})$

$$B = 11.5 \text{ m}$$

$$L_s = 25 \text{ m}$$

$$i_k(t_k) = \frac{25.08}{(8.65 + t_k)^{0.862}}$$

$$S_x = 2\%$$

$$w = 0.5 \text{ m}$$

$$S_p = 3\%$$

$$L = 0.5 \text{ m}$$

$$n = 0.012 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$$

$$C = 0.9$$

Kriterijumi za projektovanje

1. Širina plavljenja manja od širine zaustavne trake koja iznosi 2.75 m
2. Efikasnost slivnika ne sme biti manja od 2/3



Prikupljanje kišnog oticaja

Proračun rastojanja između slivnika

PRIMER

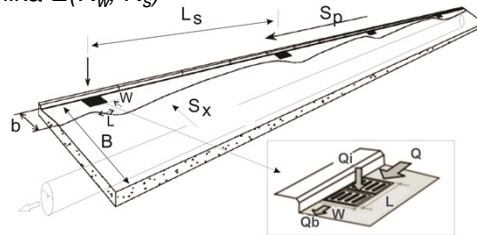
- Postupak iterativnog proračuna:

(Za početak proračuna se pretpostave t_0 i E)

1. Merodavni intezitet kiše $i_k(t_k=t_0)$
2. Primenom Racionalne teorije Q_i a zatim Q_b i Q
3. Proračun novog vremena koncentracije $t_0=t_{01}+t_{02}$
4. Proračun efikasnosti slivnika $E(R_w, R_s)$

- Rezultati:

1. $t_0 = 1.54 \text{ min}$
2. $b_{max} = 1.56 \text{ m} < 2.75 \text{ m}$
3. $E = 0.66 = 2/3$





Odvođenje kišnog oticaja

Mreža kolektora i/ili otvorenih kanala, ima ulogu da prikupljeni kišni oticaj sa kolovoza odvede do mesta izliva.

Odvođenje vode može biti zasnovano na:

- otvorenim kanalima
- zatvorenim kolektorima
- kombinovan sistem.



Odvođenje kišnog oticaja

Proračun merodavnih protoka Q

Merodavan protok (Q) se računa za potrebe određivanja hidrauličkog opterećenja sistema, radi projektovanja osnovnih geometrijskih elemenata objekata: nagib dna, geometrije poprečnog preseka, vrste obloge.

Primena Racionalne teorije:

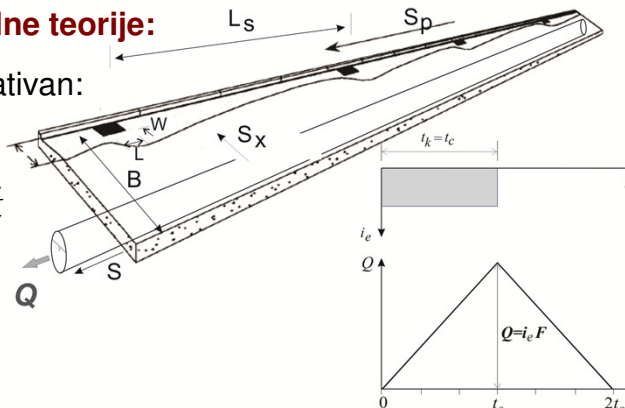
Proračun Q je iterativan:

$$t_c = (t_o + \sum_i \frac{L_i}{V_i}) + \frac{L}{V}$$

$$i_e = C \cdot i_k (t_k = t_c)$$

$$Q = i_e \cdot F$$

$$Q \Rightarrow V$$





Odvođenje kišnog oticaja

Kriterijumi za dimenzionisanje

- Dovoljan kapacitet da propusti merodavan protok (Q)
- Dodatni uslovi: brzine toka (v_{min} i v_{max}) i ispunjenost proticajnog profila
- Geometrijska ograničenja: minimalna i maksimalna dubinu ukopavanja, visinski položaj izliva, ograničenja koja se odnose na ukrštanje sa postojećom infrastrukturom (saobraćajnom infrastrukturom, vodotocima i kanalima, kanalizacionim i vodovodnim cevima)
- Ograničenja iz projektantske prakse



Odvođenje kišnog oticaja

Dimenzionisanje kolektora kružnog poprečnog preseka

Protok punog profila uz pretpostavku jednolikog tečenja:

$$Q_{pp} = \frac{0.312}{n} D^{8/3} \sqrt{S}$$

n - Maningov koeficijent (0.011 - 0.014 m^{-1/3}s)

Usvajaju se **D** i **S** tako da budu ispunjeni uslovi:

- $Q < Q_{pp}$
- $v_{min} < v < v_{max}$
- dubine ukopavanja kolektora između min. i maks.
- $D > D_{min}$

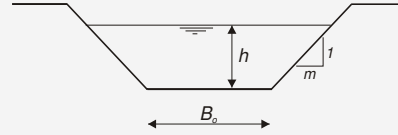


Odvođenje kišnog oticaja

Dimenzionisanje otvorenih kanala

$$Q = \frac{1}{n} h^{8/3} F(h) \sqrt{S}$$

$$F(h) = \frac{(B_0 / h + m)^{5/3}}{(B_0 / h + 2\sqrt{1 + m^2})^{2/3}}$$



B_0 - početna širina kanala 30 do 50 cm

m - nagib kosina zavisi od karakteristika zemljišta (1 – 3)

n - Manningov koeficijent zavisi od: održavanja kanala, oblaganja kanala

Proračun:

Usvaja se S ($S=S_p$) i računa se normalna dubina $h=h(Q)$



Odvođenje kišnog oticaja

Provera eroziona stabilnosti kanala

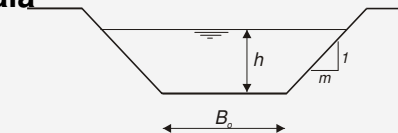
Tangencijalni napon po okvašenom obimu kanala: $\tau = \rho g R S$

Hidraulički radijus: $R = h \frac{B_0 / h + m}{B_0 / h + 2\sqrt{1 + m^2}}$

Oblaganje kanala: $\tau > \tau_d$

Proračun eroziona stabilnosti se može formulisati i preko maksimalne brzine (V_{max}):

$$v_{max} = \frac{1}{n} R^{1/6} \sqrt{\frac{\tau_d}{\rho g}}$$



Dozvoljeni napon: τ_d (N / m^2)

Kategorija	Opis	N/m ²
Kohезiono zemljište (indeks plastičnosti Pl≥10) (Preuzeto od USDA)	Peskovita glina	1.8-4.5
	Neorganska prašina	1.1-4.0
	Prašinast pesak	1.1-3.4
Kohезiono zemljište (indeks plastičnosti Pl≥20) (Preuzeto od USDA)	Peskovita glina	4.5
	Neorganska prašina	4.0
	Prašinast pesak	3.5
	Neorganska glina	6.6
Nevezana zemljišta ² (indeks plastičnosti Pl<10) (Preuzeto od USDA)	Sitnozrni pesak D ₇₅ <1.3 mm	1.0
	Sitan šljunak D ₇₅ =7.5 mm	5.6
	Šljunak D ₇₅ =15 mm	11
	Šljunak	Krupan šljunak D ₅₀ =25 mm
Veoma krupan šljunak D ₅₀ =50 mm		38
Kameni nabačaj	D ₅₀ =0.15 m	113
	D ₅₀ =0.30 m	227



Infiltracioni sistemi

Infiltracioni bazeni se najčešće predviđaju na mestima izlivanja na kojima postoji potreba za ublaženjem kišnog oticaja i/ili popravljanjem kvaliteta oticaja. Takođe se predviđa na mestima gde nema mogućnosti izlivanja u recipijent.

Metodologija proračuna

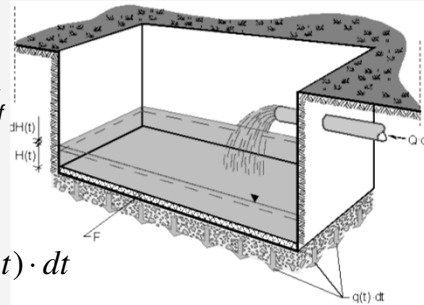
Pojednostavljenjem jednačine upijanja dobija se:

$$q(t) = \frac{H(t)}{R} + K_f$$

R je otpor upijanju (dan): $R = z / K_f$

Rešava se bilansna jednačina:

$$F \cdot dH(t) = Q \cdot dt - F \cdot q(t) \cdot dt$$



Infiltracioni sistemi

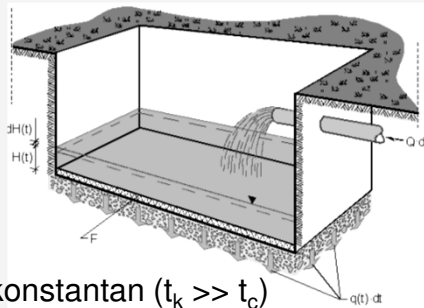
Metodologija proračuna

Dinamika promene nivoa $H(t)$, može se podeliti na prvi period u kome ima doticaja ($t < t_i$) i period u kojem se infiltracioni bazen prazni ($t > t_i$).

- pretpostavka je da je dotok Q konstantan ($t_k \gg t_c$)
- pretpostavlja se da punjenje počinje sa ispražnjenim bazenom: $H(t=0)=0$

Pražnjenje počinje sa početnim nivoom $H_0=H(t=t_i)$.

$$H(t) = \begin{cases} \frac{Q}{F} R \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{R}\right) \right) - K_f R \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{R}\right) \right), & t \leq t_i \\ H_0 \exp\left(-\frac{t}{R}\right) - K_f R \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{R}\right) \right), & t > t_i \end{cases}$$





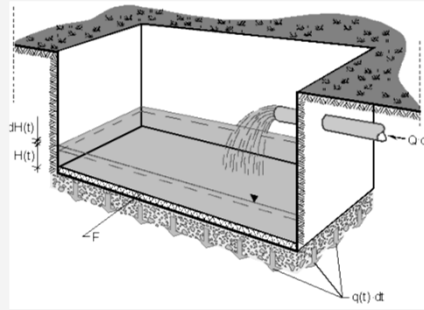
Infiltracioni sistemi

Metodologija proračuna

Potrebno vreme pražnjenja t_p se može dobiti iz uslova:

$H(t=t_p)=0$:

$$t_p = R \ln \left(\frac{H_0 + K_f R}{K_f R} \right)$$



Sračunata maksimalna dubina H_0 i potrebno vreme pražnjenja t_p , zavise od karakteristika zemljišta i površine F .

Proračun treba sprovesti za različita trajanja kiše.

Treba predvideti taložnik, kako bi se smanjio efekat kolmiranja i smanjenja infiltracione sposobnosti zemljišta.



Infiltracioni sistemi

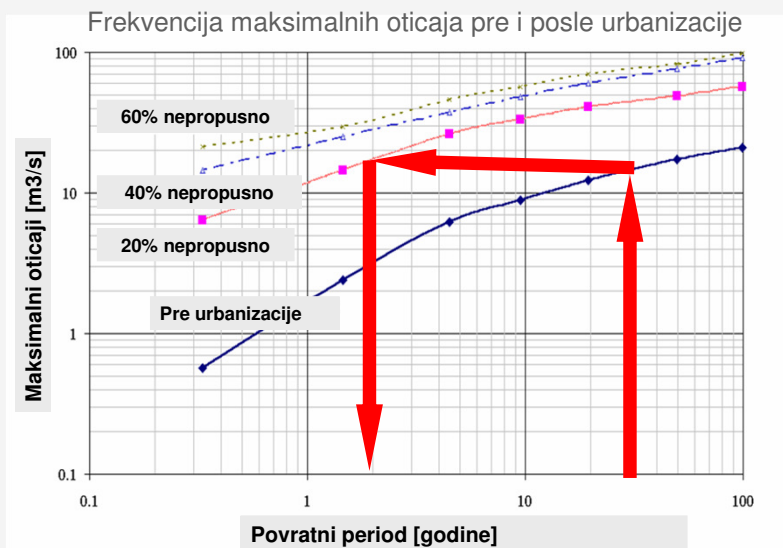


Zbog urbanizacije, količina kišnog oticaja se povećava dok se kvalitet pogoršava.



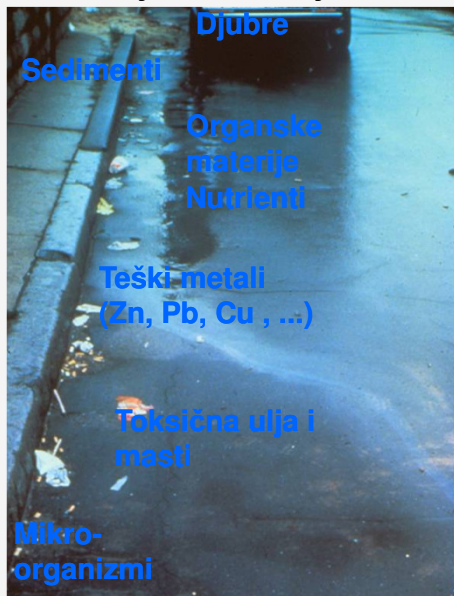
Infiltracioni sistemi

Uticaj urbanizacije na kvantitet kišnog oticaja



Infiltracioni sistemi

Uticaj urbanizacije na kvalitet kišnog oticaja



Uticaj zagađenog kišnog oticaja na vodoprijemnik:

- ▲ Zagađen oticaj je toksičan po živi svet
- ▲ Nutrienti mogu da dovedu do pojave cevtanja algi u stajaćim vodama

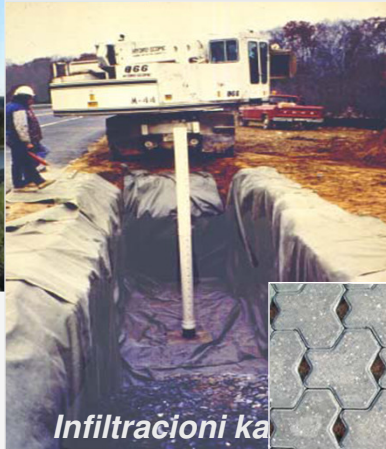


Infiltracioni sistemi

Infiltracioni sistemi za smanjenje i "popravljanje" kvaliteta kišnog oticaja



Infiltracioni bazeni



Infiltracioni ka



Porozne površine

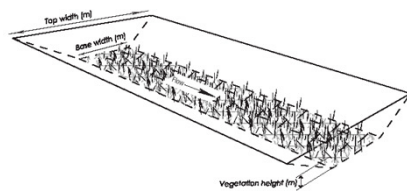


Infiltracioni sistemi

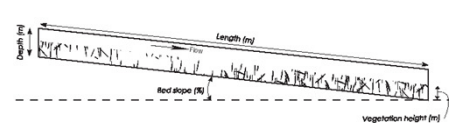
Infiltracioni sistemi za smanjenje i "popravljanje" kvaliteta kišnog oticaja

Zatravljivi kanali (swales)

3D Perspective



Longitudinal Section

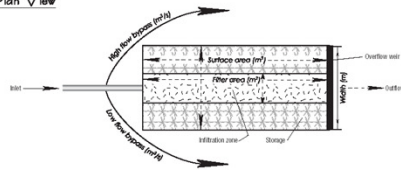




Infiltracioni sistemi

Infiltracioni sistemi za smanjenje i "popravljanje" kvaliteta kišnog oticaja Bio-retenzije (Bio-retentions)

Plan View



Longitudinal Section

