

Projektiranje vodoopskrbnih sustava

Najprije je potrebno provesti **analizu potrošnje vode**, koja se odnosi na definiranje potrebnih količina vode pojedinih kategorija potrošača (za stanovništvo i industrijske potrebe, te za gašenje požara).

POTROŠNJA VODE ZA STANOVNIŠTVO

Određuje se na osnovu *specifične potrošnje vode* i broja stanovnika.

Specifična potrošnja vode q_{sp} (l/st/d) definira se kao utrošak vode po jednom stanovniku po danu. Određuje se prvenstveno na osnovi iskustva dok u nekim zemljama postoje zakonski propisi u skladu s veličinom naselja i opremljenosti domaćinstava sanitarno-tehničkim uređajima.

Broj stanovnika M_k ovisi o lokalnim i općim socijalno - ekonomskim faktorima, te vremenski nije stalan.

Definira se na temelju donešenog prostornog plana za usvojeno projektno razdoblje (20 – 50 godina).

Srednja dnevna potrošnja $Q_{sr,dn}$ (l/d) vode za stanovništvo određuje se pomoću izraza:

$$Q_{sr,dn} = q_{sp} \cdot M_k$$

Kod hidrauličkog dimenzioniranja vodoopskrbnih objekata mjerodavne su sljedeće količine vode:

a) **Maksimalna dnevna potrošnja** $Q_{max,dn}$ (l/d) dobije se kao umnožak srednje dnevne potrošnje i koeficijenta neravnomjernosti najveće dnevne potrošnje:

$$Q_{max,dn} = K_d \cdot Q_{sr,dn}$$

Maksimalna dnevna potrošnja, $Q_{max,dn}$, je mjerodavna za hidrauličko dimenzioniranje:

- vodozahvata
- crpnih stanica (za sve vodoopskrbne sustave osim potisnih)
- uređaja za kondicioniranje vode
- vodosprema
- glavnih dovodnih cjevovoda koji povezuju ove objekte

b) **Maksimalna satna potrošnja** $q_{max,h}$ (l/h) u odnosu na $Q_{max,dn}$ izražava se koeficijentom neravnomjernosti najveće satne potrošnje:

$$q_{max,h} = \frac{K_h \cdot Q_{max,dn}}{24} = \frac{K_h \cdot K_d \cdot Q_{sr,dn}}{24}$$

Maksimalna satna potrošnja, $q_{max,h}$, je mjerodavna za hidrauličko dimenzioniranje:

- crpnih stanica (kod potisnih stanica)
- glavnih dovodno – opskrbnih cjevovoda
- razdjelnih mreža

Koeficijenti neravnomjernosti potrošnje vode, K_d i K_h , su u funkciji veličine naselja, odnosno broja stanovnika i u Tablici 1. su prikazani kao iskustvene vrijednosti.

Veličina naselja (potrošača)	Koeficijenti neravnomjernosti	
	K_d	K_h
Ljetovališta i toplice	1.6 do 1.7	2.5
Sela i manja naselja	1.5 do 1.6	2.0
Gradovi ispod 25 000 stanovnika	1.4 do 1.3	1.6
Gradovi od 25 000 do 50 000 stanovnika	1.3 do 1.4	1.4
Gradovi od 50 000 do 100 000 stanovnika	1.3	1.3
Gradovi preko 100 000 stanovnika	1.2	1.2

Tablica 1. Vrijednosti koeficijenata neravnomjernosti potrošnje vode

POTROŠNJA VODE ZA INDUSTRIJU

Ovisi o vrsti industrije te o primijenjenom tehnološkom procesu.

Najpreciznije određivanje provodi se anketnim ispitivanjem kod proizvodnih tehnologa.

Potrošnja vode za industriju iskazuje se kao čimbenik srednje dnevne potrošnje po stanovniku ili odvojeno kao industrijska potrošnja, Q_{ind} .

POTROŠNJA VODE ZA GAŠENJE POŽARA

Načelo određivanja potrebne količine vode za gašenje požara bitno se razlikuje od načela normiranja prethodno analiziranih potrošnji vode.

Kod suvremenih sustava za gašenje požara predviđa se njegovo gašenje (a) *vanjskom hidrantskom mrežom* i (b) *unutarnjom hidrantskom mrežom*.

Zahtjevi za hidrantske mreže za gašenje požara i slučajevi u kojima se za zaštitu požara obvezatno primjenjuje hidrantska mreža za gašenje požara propisano je *Pravilnikom o hidrantskoj mreži za gašenje požara* ("Narodne novine RH", broj 8/06).

Ovime se pravilnikom, između ostaloga, propisuju tri temeljna parametra za gašenje požara hidrantskom mrežom:

- (1) potrebna količina vode (protok) za gašenje požara hidrantskom mrežom, koja je u funkciji *specifičnog požarnog opterećenja*,
- (2) najmanji tlak kod potrebne protupožarne količine vode,
- (3) najmanje trajanje za koje je potrebno osigurati propisani protok i tlak.

Specifično požarno opterećenje, P_{sp} [J m^{-2}], je izraženo topline koja se može razviti u nekoj elementarnoj jedinici - prostoriji (npr. sobi, hali, skladištu), svedeno na 1 [m^2] tlocrtne površine te prostorije. Određuje se sukladno HRN U. J1. 030, ovisno o osobinama gorivih materijala od kojih je izvedena i opremljena građevina, te materijala za koje je zgrada namjenski izgrađena.

Potrebna količina vode za gašenje požara hidrantskom mrežom mora se osigurati neovisno o drugim potrošačima koji se opskrbljuju vodom iz istog izvora (vodospreme).

(a) **Vanjska hidrantska mreža** za gašenje požara izvodi se izvan građevine i/ili prostora koji se štite, a završava (a1) *nadzemnim* ili (a2) *podzemnim hidrantom*.

Za zaštitu građevine i/ili prostora vanjskom hidrantskom mrežom za gašenje požara potrebno je osigurati najmanje protok, ovisno o specifičnom požarnom opterećenju i tlocrtnoj površini objekta koji se štiti, čije su vrijednosti prikazane u tablici 1.3::III, a u trajanju od najmanje 2 [h].

Specifično požarno opterećenje, [MJ m^{-2}]	Najmanji protok, [l s^{-1}], ovisno o tlocrtnoj površini objekta, [m^2], koji se štiti							
	≤ 100	101 do 300	301 do 500	501 do 1 000	1 001 do 3 000	3 001 do 5 000	5 001 do 10 000	$> 10 000$
≤ 200	10	10	10	10	10	10	10	15
≤ 500	10	10	10	10	15	20	20	25
$\leq 1 000$	10	10	10	15	20	20	25	30
$\leq 2 000$	10	10	15	20	25	30	35	*
$> 2 000$	10	15	20	30	30	35	*	*

Legenda: * - potrebno proračunati protok za svaki pojedini objekt

Tablica 1.3::III Potrebna količina vode za gašenje požara vanjskom hidrantskom mrežom

Za propisani minimalni protok i trajanje, najmanji tlak na izlazu iz bilo kojeg nadzemnog ili podzemnog hidranta ne smije biti manji od 2.5 [bara].

Pri navedenom tlaku i trajanju, za zaštitu naseljenih mjesta vanjskom hidrantskom mrežom za gašenje požara, potrebno je osigurati protok od najmanje 10 [l s⁻¹].

(b) **Unutarnja hidrantska mreža** za gašenje požara izvodi se u objektu koji se štiti, a završava (b1) *bubnjem s namotanim cijevima stalnog presjeka i mlaznicom* ili (b2) *vatrogasnom cijevi sa spojnicama i mlaznicom*.

Na najnepovoljnijem mjestu svakog požarnog sektora unutarnja hidrantska mreža za gašenje požara mora imati najmanje protok, ovisno o specifičnom požarnom opterećenju, prema tablici 1.3::IV, a u trajanju od minimum 1 [h].

Specifično požarno opterećenje, [MJ m ⁻²]	≤ 300	≤ 400	≤ 500	≤ 600	≤ 700	≤ 800	≤ 1 000	≤ 2 000	> 2 000
Najmanji protok mlaznicom, [l min ⁻¹]	25	30	40	50	60	100	150	300	450

Tablica 1.3::IV Potrebne količine vode za gašenje požara unutarnjom hidrantskom mrežom

Najmanji tlak na mlaznici kod propisanog minimalnog protoka i trajanja, također kao i kod vanjske hidrantske mreže, ne smije biti manji od 2.5 [bara].

Karakter opreme zgrade sanitarno-tehničkim uređajima	Specifična potrošnja q_{sp}
Naselja sa zgradama koje nisu opremljene vodovodom i kanalizacijom	30 do 50
Naselja sa zgradama opremljenim unutarnjim vodovodom i kanalizacijom bez kupaonice	125 do 150
Naselja sa zgradama opremljenim vodovodom, kanalizacijom i kupaonicom	150 do 230
Naselja sa zgradama opremljenim unutarnjim vodovodom, kanalizacijom i sistemom centralne opskrbe toplom vodom	250 do 400

Tablica 3. Specifična potrošnja vode

	Srednja dnevna potrošnja Q_{sr} (l/st/d)		
	1980.g.	1993.g.	1995.g.
Austrija	155 255	170 262	162 243
Belgija	104 163	120 157	120 160
Danska	165 261	155 229	145 215
Francuska	109 167	157 215	156 212
Italija	211 280	251 329	249 327
Nizozemska	142 179	171 203	175 210
SR Njemačka	137 211	136 177	132 168
Švedska	195 315	203 276	191 261
Švicarska	229 392	242 362	237 357
Velika Britanija	154 254	- 331	- 343

211 Podatak uključuje potrošnju vode u industriji

Tablica 4. Srednja dnevna potrošnja vode u nekim europskim državama

Primjer 1:

Za naselje s procijenjenim brojem stanovnika (za plansko razdoblje do 2030. godine) od 50 000 stanovnika, treba odrediti potrošnju vode po pojedinim kategorijama potrošača pretpostavljajući:

- specifičnu potrošnju vode za kućanske potrebe
 $q_{sp} = 200 \text{ l/st/d}$
- konstantnu industrijsku potrošnju
 $q_{IND,6-14h} = 20 \text{ l/s}$
 $q_{IND,14-22h} = 15 \text{ l/s}$
 $q_{IND,22-6h} = 10 \text{ l/s}$

Potrošnja vode za stanovništvo

$$Q_{sr,dn} = q_{sp} \cdot M_k$$

$$Q_{sr,dn} = 200/1000 \cdot 50000 = 10000 \text{ m}^3 / d$$

$$Q_{max,dn} = K_d \cdot Q_{sr,dn}$$

$$Q_{max,dn} = 1,3 \cdot 10000 = 13000 \text{ m}^3 / d$$

$$q_{max,h} = \frac{K_h \cdot Q_{max,dn}}{24} = \frac{K_h \cdot K_d \cdot Q_{sr,dn}}{24} = \frac{1,4 \cdot 1,3 \cdot 10000}{24}$$

$$q_{max,h} = 758,33 \text{ m}^3 / h = 210,65 \text{ l / s}$$

Potrošnja vode za gašenje požara

Prema tablici 1.3::III ukupna potrošnja vode za gašenje požara iznosi:

$$Q_{pož} = 10 \text{ l/s (minimalna količina)}$$

Potrošnja vode u industriji

$$q_{IND,6-14h} = 20 \cdot 3600/1000 = 72,0 \text{ m}^3/h$$

$$q_{IND,14-22h} = 15 \cdot 3600/1000 = 54,0 \text{ m}^3/h$$

$$q_{IND,22-6h} = 10 \cdot 3600/1000 = 36,0 \text{ m}^3/h$$

Ukupna dnevna potrošnja industrije:

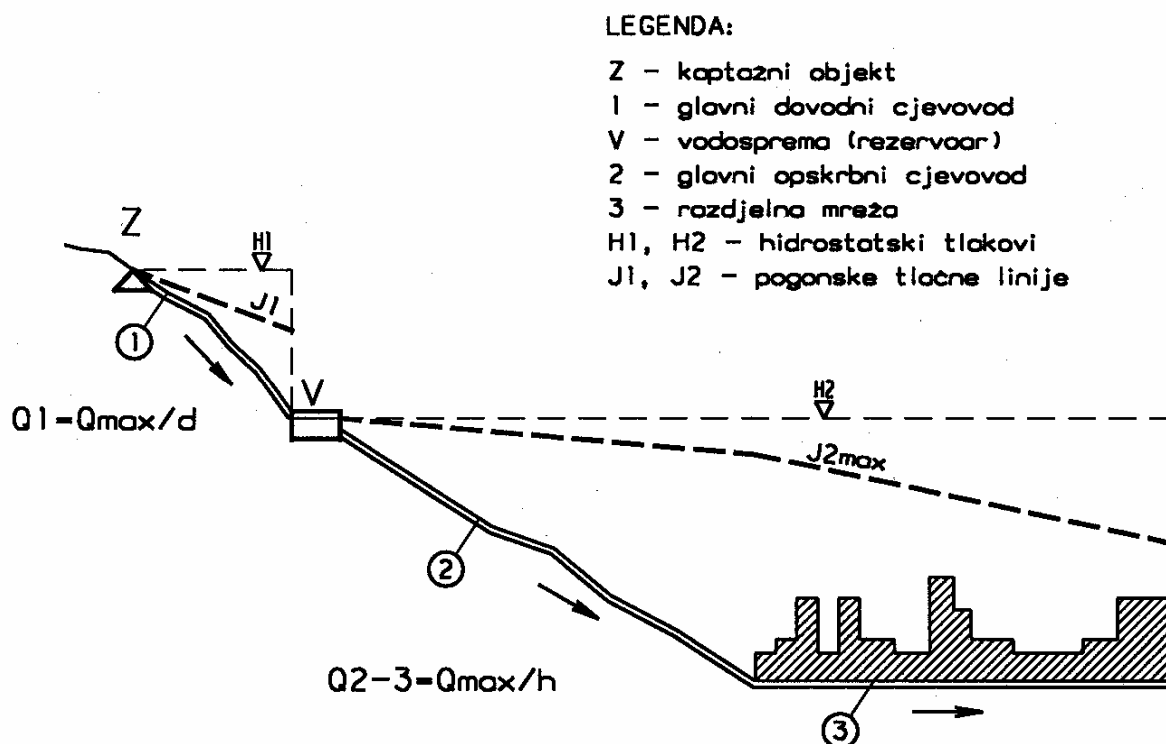
$$Q_{IND,DN} = (72,0+54,0+36,0) \cdot 8 = 1296,0 \text{ m}^3/d$$

DIMENZIONIRANJE SUSTAVA

Razmotrit ćemo gravitacijski i kombinirani sustav opskrbe vodom s obzirom na njihovo dimenzioniranje:

Gravitacijski sustav opskrbe vodom

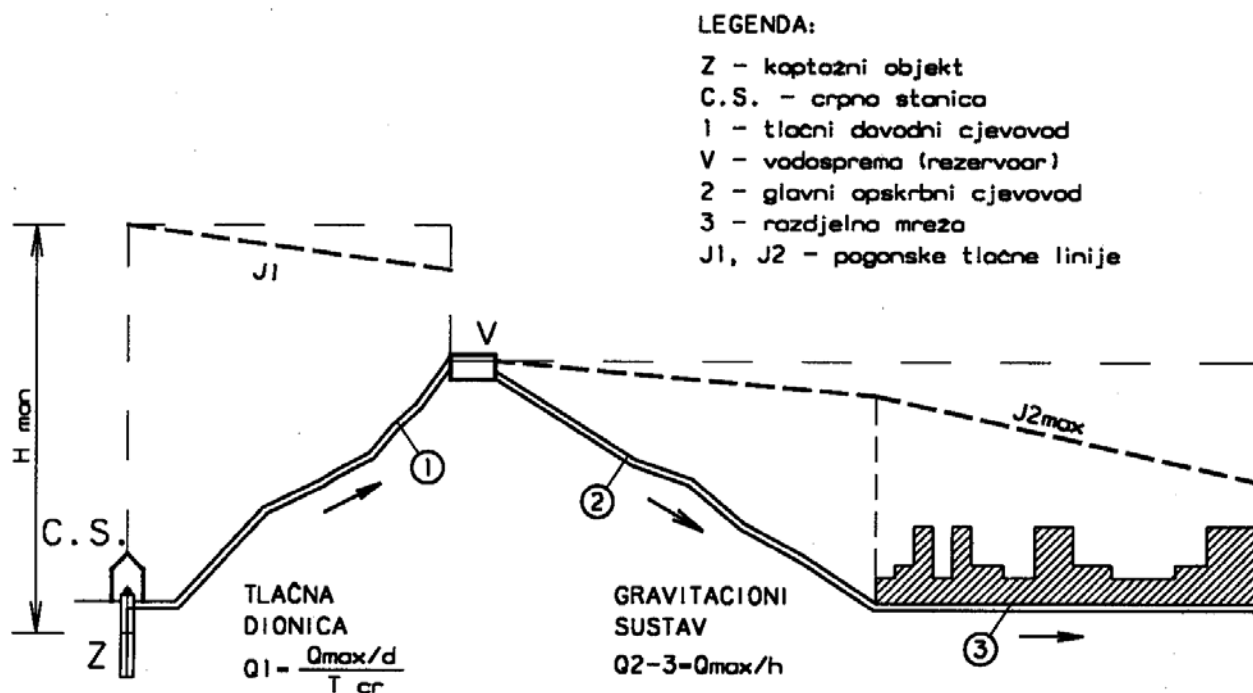
Obilježava ga gravitacijski dovod i gravitacijska raspodjela opskrbnih količina (Slika 1).



Slika 1. Gravitacijski sustav opskrbe vodom

Kombinirani sustav opskrbe vodom

Vodosprema ispred mjesta potrošnje



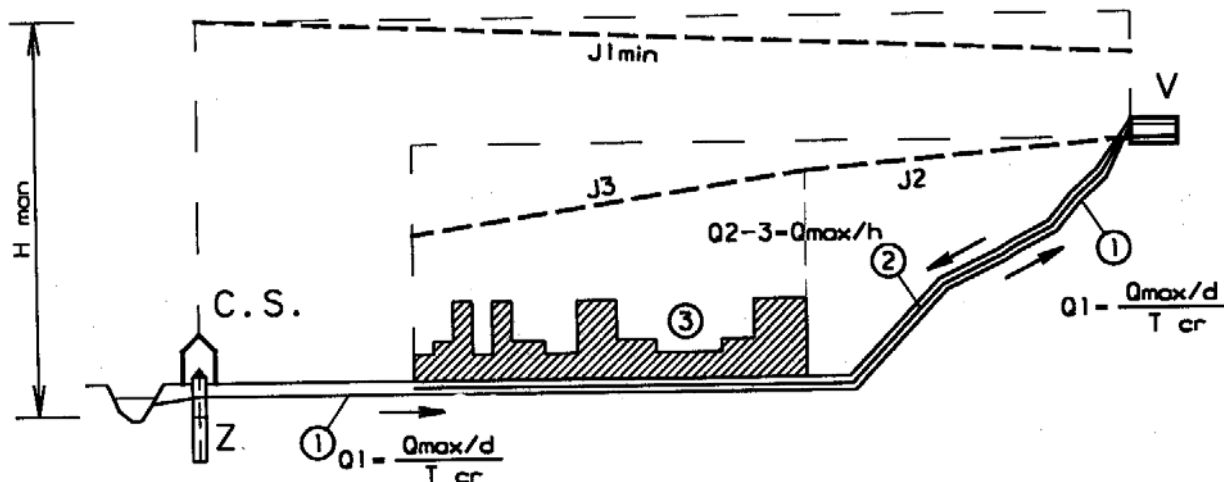
Slika 2. Kombinirani sustav opskrbe vodom – vodosprema ispred mjesta potrošnje

Količina $Q_{\max, dn}$ koja protječe tlačnim cijevnim vodom ovisi o radnom vremenu crpne stanice T_{cr} .

Radno vrijeme crpne stanice T_{sati}	Protok $Q \text{ (l/s)}$
8 sati	$Q_1 = \frac{Q_{\max, dn}}{8^h \cdot 3600} = \frac{Q_{\max, dn}}{28800}$
16 sati	$Q_2 = \frac{Q_{\max, dn}}{16^h \cdot 3600} = \frac{Q_{\max, dn}}{57600}$
24 sata	$Q_3 = \frac{Q_{\max, dn}}{24^h \cdot 3600} = \frac{Q_{\max, dn}}{86400}$

dionica 3: obilježava dionicu tlačnog cjevovoda na prolazu kroz naselje i to je cjevovod sustava raspodjele. Mjerodavni protok jednak je $Q_{max,h}$ dok se razlika između maksimalne satne potrošnje $Q_{max,h}$ i količine crpljene količine Q_1 nadoknađuje dotokom iz vodospreme.

Varijanta II.



Slika 4. Kombinirani sustav opskrbe vodom – vodosprema iza mjesta potrošnje

dionica 1: povezuje crpilište s vodospremom i djeluje isključivo kao tlačni dovodni cjevovod. Mjerodavni protok iznosi:

$$Q_1 = \frac{Q_{\max, dn}}{T_{cr}}$$

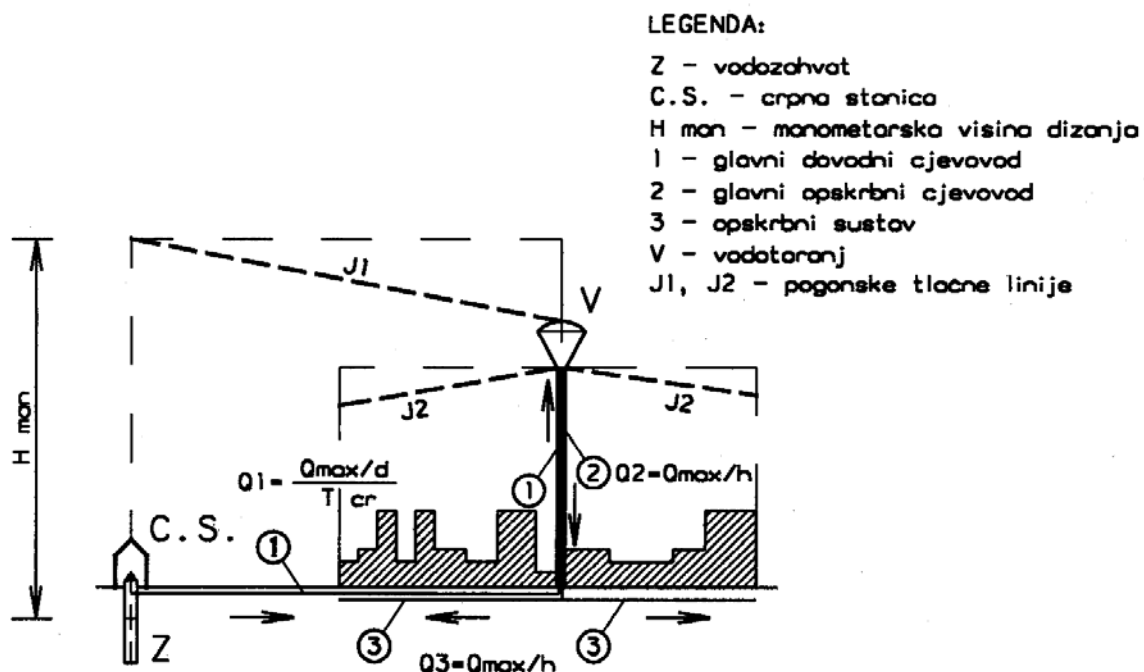
dionica 2: cjevovod vodosprema – opskrbno područje djeluje kao glavni opskrbni vod pa je mjerodavni protok:

maksimalna satna potrošnja $Q_{\max, h}$ (l/h)

dionica 3: sastavni je dio opskrbnog sustava u mjestu potrošnje pa se njegove dimenzije određuju u skladu s njegovom ulogom u sustavu raspodjele vode.

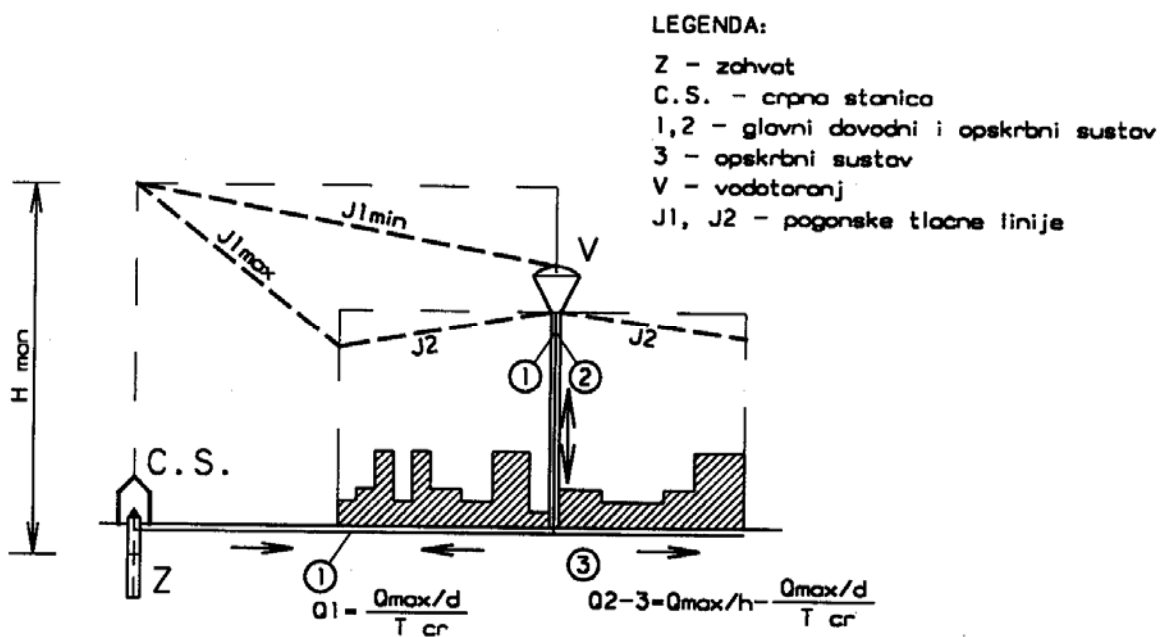
Sustav opskrbe vodom naselja u ravničarskom kraju

Varijanta I.



Slika 5. Opskrba vodom naselja u ravničarskom kraju

Varijanta II.

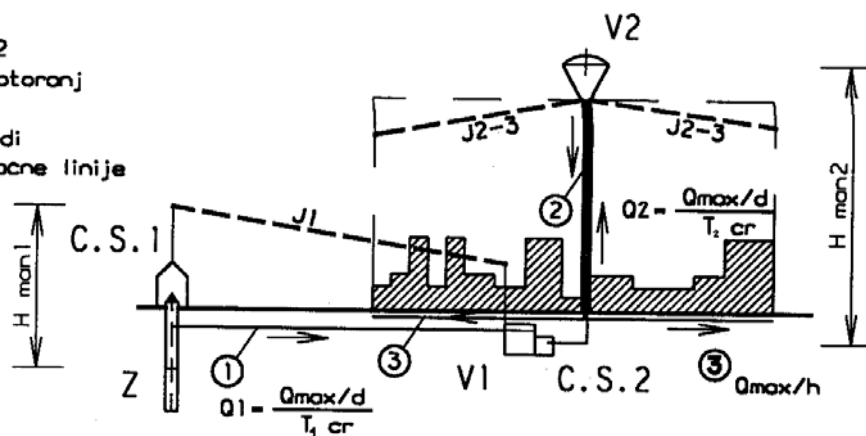


Slika 6. Opskrba vodom naselja u ravničarskom kraju

Varijanta III.

LEGENDA:

- Z - vodozahvat dubokim bušenim zdencem
- C.S.1 - crpna stanica 1
- 1 - glavni dovodni cjevovod
- V1 - niska vodosprema
- C.S.2 - crpna stanica 2
- 1' - tlačni dovod u vodotoranj
- V2 - vodotoranj
- 2, 3 - opskrbni cjevovodi
- J1, J2-3 - pogonske tlačne linije

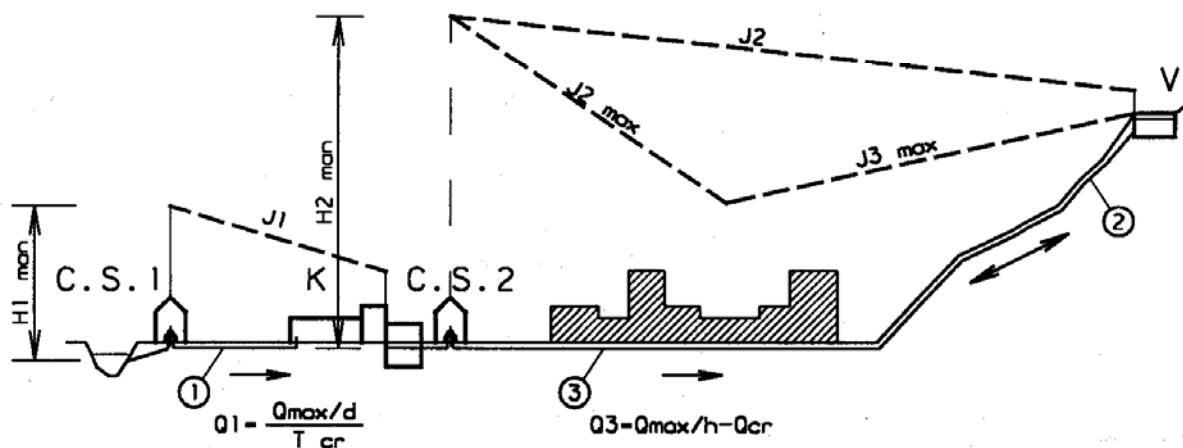


Slika 7. Opskrba vodom naselja u ravničarskom kraju : vodosprema podno vodotornja

Kondicioniranje vode u sklopu sustava opskrbe

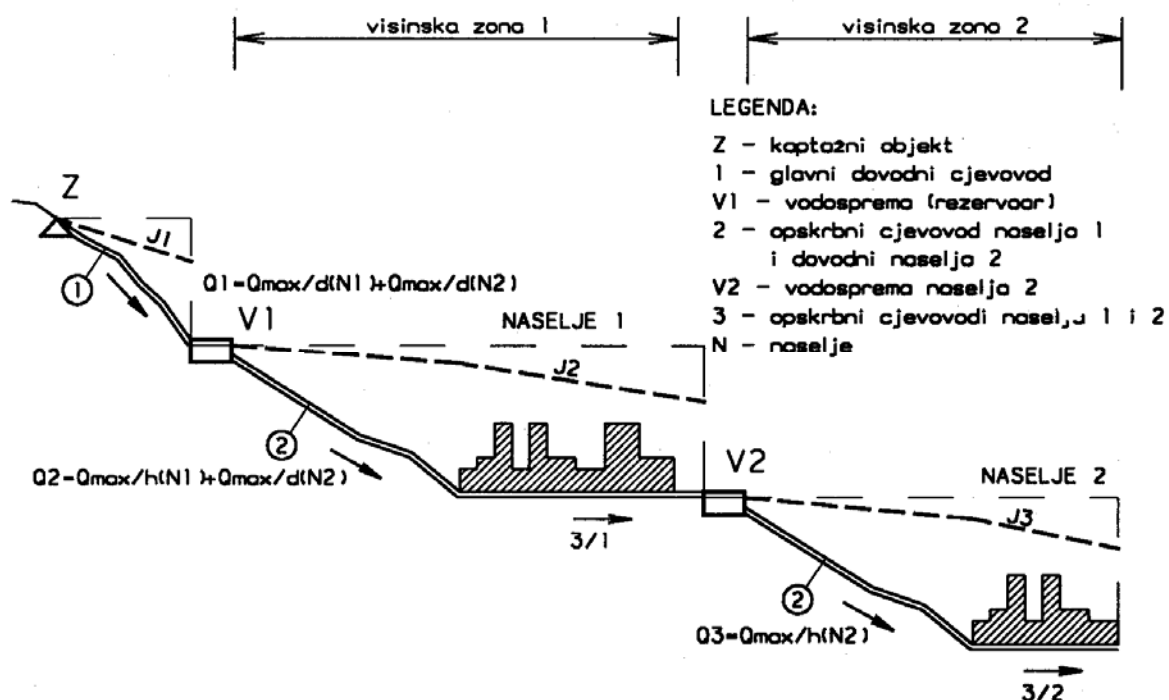
LEGENDA:

- Z - kaptazni objekt
- C.S.1 - crpna stanica 1
- 1 - glavni dovodni cjevovod
- H1 man - manometarska visina dizanja za uređaj kondicioniranja
- K - objekti kondicioniranja
- C.S.2 - crpna stanica 2
- H2 man - manometarska visina dizanja
- V - vodosprema
- 2-3 - glavni opskrbni cjevovodi

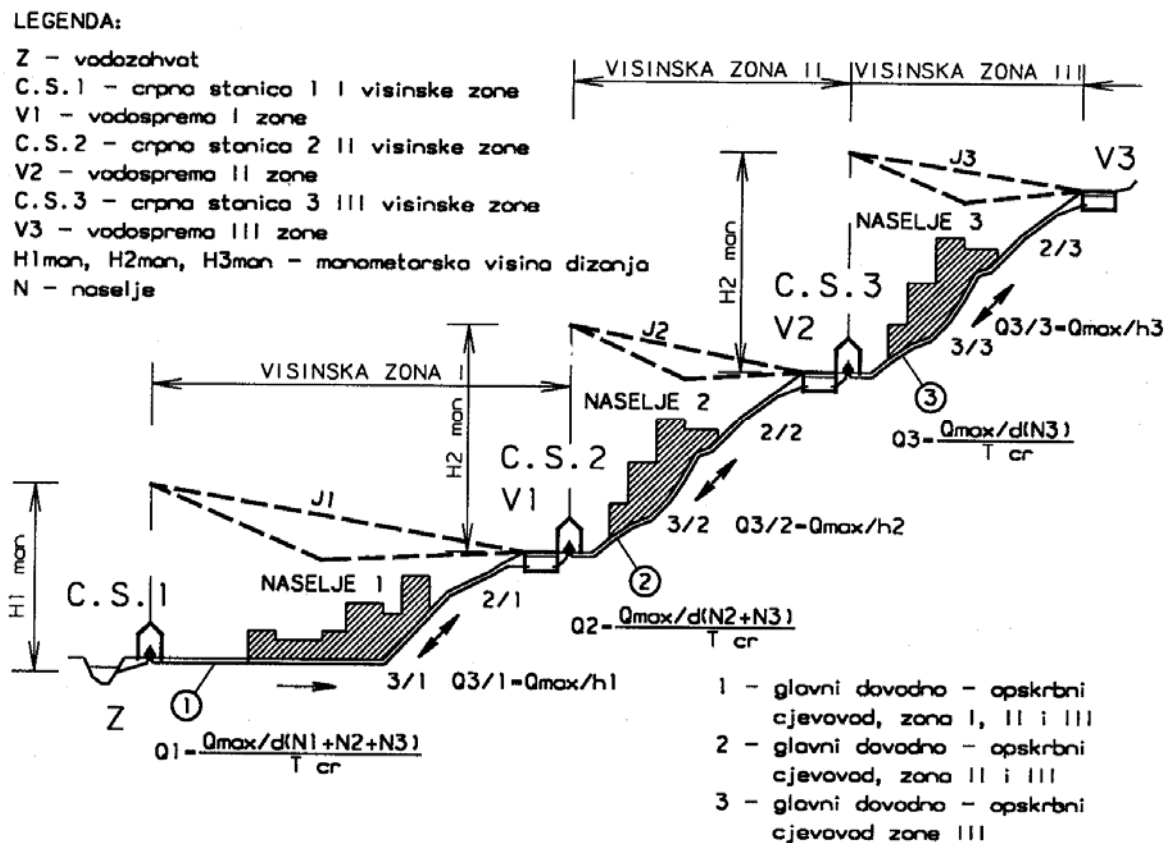


Slika 8. Shematski prikaz sustava opskrbe vodom uz primjenu kondicioniranja vode

Višezonska opskrba vodom



Slika 9. Višezonski sustav opskrbe vodom - gravitacijski



Slika 10. Višezonski sustav opskrbe vodom – kombinirani

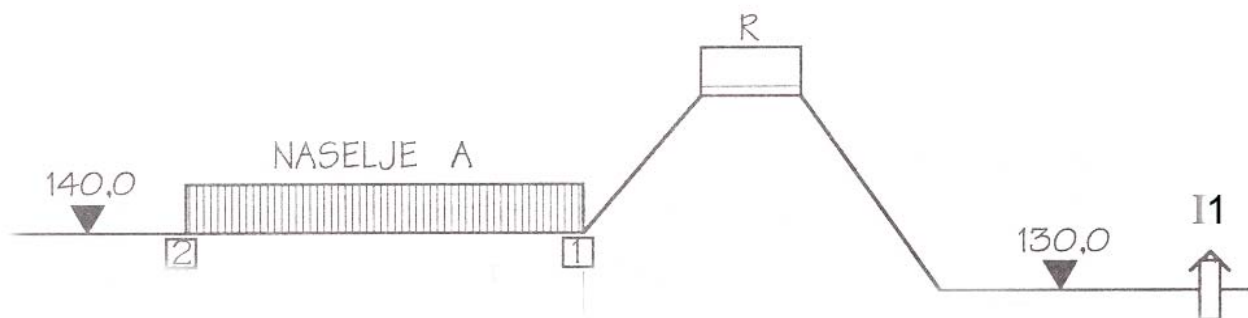
Primjer 2:

Naselje 'A' opskrbljuje se vodom iz izvorišta 'I1' iz kojeg se voda preko crpne stanice i cjevovoda 'I1-R' dovodi do vodospreme 'R' te dalje gravitacijski raspodjeljuje unutar naselja. Za plansko razdoblje do 2025. godine procjenjuje se da će naselje imati 24000 stanovnika sa specifičnom potrošnjom vode od $q_{sp} = 340 \text{ l/st/d}$. Također je pretpostavljena stalna potrošnja vode u industriji u iznosu $q_{ind} = 25 \text{ l/s}$.

Uz uvjet da brzina tečenja u oba cjevovoda ne bude veća od $1,5 \text{ m/s}$ te vrijeme crpljenja od $T_{cr} = 16 \text{ h/d}$, potrebno je dimensionirati cjevovode 'I1-R' i glavni opskrbeni cjevovod 'R - 1'.

Specifično požarno opterećenje za sve objekte iznosi $>2000 \text{ MJm}^{-2}$, s tlocrtnom površinom objekata u rangu $501-1000 \text{ m}^2$.

Dnevne i satne koeficijente neravnomjernosti potrošnje uzeti iz tablice 1.



Potrošnja vode za stanovništvo:

$$Q_{\max, dn} = K_d \cdot q_{sp} \cdot M_k$$

$$Q_{\max, dn} = 1,3 \cdot 340 / 1000 \cdot 24000 = 10608 \text{ m}^3 / d = 122,77 \text{ l / s}$$

$$q_{\max, h} = \frac{K_h \cdot Q_{\max, dn}}{24} = \frac{1,6 \cdot 10608}{24}$$

$$q_{\max, h} = 707,20 \text{ m}^3 / h = 196,44 \text{ l / s}$$

Potrošnja vode u industriji:

$$Q_{ind, dn} = 25 \text{ l / s} = 25 \cdot \frac{86400}{1000} = 2419,2 \text{ m}^3 / d$$

Potrošnja vode za gašenje požara

prema tablici 2. ukupna potrošnja vode za gašenje požara iznosi:

$$Q_{pož} = 30 \text{ l/s}$$

Najveća ukupna dnevna potrošnja vode:

$$Q_{\max, dn, uk} = Q_{\max, dn} + Q_{ind, dn} = 10608 + 2419,2 = 13027,2 \text{ m}^3 / d$$

Najveća ukupna satna potrošnja vode

$$q_{\max, h, uk} = q_{\max, h} + q_{ind} + q_{pož} = 196,44 + 25 + 30 = 251,44 \text{ l / s}$$

Cjevovod 'I1-R' se dimenzionira na protok:

$$Q_{I1-R'} = \frac{Q_{\max, dn, uk}}{T_{cr}} = \frac{Q_{\max, dn, uk}}{16^h \cdot 3600} = \frac{13027,2 \cdot 1000}{57600} = 226,16 \text{ l / s}$$

Za uvjet da brzina vode unutar cjevovoda ne smije prijeći iznos od 1,5 m/s vrijedi:

$$D_{I1-R'} \geq \sqrt{\frac{4Q_{I1-R'}}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,22616}{\pi \cdot 1,5}} = 0,438 \text{ m}$$

USVOJENO: DN_{I2-R'} 450mm

Glavni opskrbeni cjevovod 'R-1' dimenzionira se na protok $q_{\max, h, uk}$:

$$D_{R-1'} \geq \sqrt{\frac{4q_{\max, h, uk}}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,25144}{\pi \cdot 1,5}} = 0,462 \text{ m}$$

USVOJENO: DN_{R-1'} 500mm

Obilježja cjevovoda	Promjer cijevi D (mm)	Brzina protjecanja v (m/s)
Gravitacijski	100 < D < 300 400 < D < 600 D = 700	0,60 ≤ v ≤ 1,00 1,00 ≤ v ≤ 1,30 1,50 ≤ v ≤ 2,00
Tlačni		1,00 < v < 2,00

Tablica 6. Ekonomske brzine u postupku dimenzioniranja cjevovoda

Hidraulički proračun tečenja pod tlakom

Tečenje pod tlakom može biti gravitacijsko i kombinirano (gravitacijsko-potisno).

Hidraulički proračun vodovodne mreže pod tlakom najčešće se provodi pod pretpostavkom stacionarnog tečenja dionicom konstantne protjecajne površine, odnosno unutarnjeg promjera.

Kod proračuna se primjenjuje Bernoullijeva jednačba uz napomenu da se, kao posljedica znatne duljine vodovodne mreže, lokalni gubici zanemaruju.

Hidraulički gubici, odnosno linijski gubici definirani su Darcy-Weisbachovom jednačbom:

$$\Delta H_{tr} = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (m)$$

gdje su:

λ koeficijent trenja
 L duljina dionice (m)
 v srednja brzina strujanja (m/s)
 D unutarnji promjer cjevovoda (m)
 g ubrzanje uslijed sile teže (m/s²)

Zaključuje se da je otpor strujanju tekućine cjevovodom:

- neovisan o tlaku kojim tekućina struji
- proporcionalan dužini cjevovoda
- obrnuto proporcionalan unutarnjem promjeru cijevi
- proporcionalan brzini strujanja

Dijeljenjem hidrauličkih gubitaka na određenoj dionici, ΔH_{tr} , s duljom te dionice, L , dobijemo hidraulički pad, I_E :

$$I = \frac{\Delta H_{tr}}{L} = \frac{\lambda}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Zaključak:

Hidraulički proračun promatrane dionice vodovodne mreže poznate duljine i vrste cijevi svodi se na određivanje sljedeća tri parametra:

- **za zadani protok, Q , i unutarnji promjer cjevovoda, D , treba odrediti hidraulički pad, I**
- **za zadani hidraulički pad, I , i unutarnji promjer cjevovoda, D , treba odrediti protok, Q**
- **za zadani hidraulički pad, I , i protok, Q , treba odrediti unutarnji promjer cjevovoda, D**