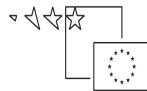




REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT



Naložba v vašo prihodnost
OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA
Evropski socialni sklad

OSKRBA Z VODO

PAVEL ŽEROVNIK

Višješolski strokovni program: Varstvo okolja in komunala

Učbenik: OSKRBA Z VODO

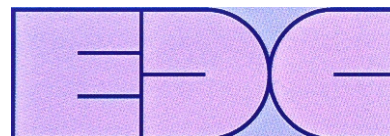
Gradivo za 1. letnik

Avtor:

dr. Pavel Žerovnik uni. dipl. ing.

EDC-KRANJ

Višja strokovna šola



Strokovni recenzent: prof. dr. Ivana Bajsiča uni. dipl. ing.

Lektor: prof. dr. Ivana Bajsiča uni. dipl. ing.

Ljubljana, 2009

© Avtorske pravice ima Ministrstvo za šolstvo in šport Republike Slovenije.

Gradivo je sofinancirano iz sredstev projekta Impletum 'Uvajanje novih izobraževalnih programov na področju višjega strokovnega izobraževanja v obdobju 2008–11'.

Projekt oz. operacijo delno financira Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada ter Ministrstvo RS za šolstvo in šport. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa razvoja človeških virov za obdobje 2007–2013, razvojne prioritete 'Razvoj človeških virov in vseživljenjskega učenja' in prednostne usmeritve 'Izboljšanje kakovosti in učinkovitosti sistemov izobraževanja in usposabljanja'.

Vsebina tega dokumenta v nobenem primeru ne odraža mnenja Evropske unije. Odgovornost za vsebino dokumenta nosi avtor.

KAZALO VSEBINE

1 SPLOŠNA OBRAVNAVA VODOVODNIH SISTEMOV.....	5
1.1 Potrebe po pitni vodi.....	5
1.2 Načini oskrbe s pitno vodo.....	6
1.3 Splošna obravnava vodovodnih sistemov.....	8
1.3.1 Zasnova vodovodnega omrežja.....	8
1.3.2 Vodovodno omrežje.....	9
1.3.3 Tipi vodovodnih sistemov.....	10
1.3.4 Delitev vodovodnih sistemov na tlačne cone.....	11
2 PRAVNE IN DRUGE ZAHTEVE PO KAKOVOSTI	
PITNE VODE.....	14
2.1 Fizikalne lastnosti vode.....	14
2.2 Končni vidiki pitne vode.....	15
2.2.1 Vzorčenje.....	15
2.2.2 Konzerviranje vzorcev.....	15
2.2.3 Lokalne preiskave.....	15
2.2.4 Laboratorijske analize.....	16
2.3 Naprave za štetje delcev v vodi kot mehanizem	
za kontrolo kakovosti vode.....	16
3 TEHNIČNE ZNAČILNOSTI OBJEKTOV IN	
NAPRAV ZA ZAŠČITO VODNIH VIROV.....	20
3.1 Sistemi drenažne zaščite pred vplivom podzemnih voda.....	20
3.2 Horizontalne drenaže.....	20
3.2.1 Drenaže, pri katerih so cevi preluknjane prečno glede na smer cevi...20	
3.3 Pasovne drenaže.....	23
3.4 Drenažna zaščita pred drsenjem zemlje.....	26
3.5 Drenažni filterski sloj.....	26
4 ONESNAŽEVANJE VODNIH VIROV.....	28
4.1 Hidrične epidemije v svetu in pri nas.....	28
4.2 Mikrobiološki vidiki pitnih vod.....	29
4.3 Prisotnost bakterij v pitni vodi.....	29
4.4 Koliformne bakterije v pitni vodi.....	29
4.5 Virusi v pitni vodi.....	30
4.6 Bakteriofagi v pitni vodi.....	30
4.7 Onesnaževanje podtalnice.....	31
4.7.1 Načini onesnaževanja podtalnice.....	31
4.7.2 Mehanizem onesnaževanja podtalnice.....	33
5 POSTOPKI IN TEHNIČNE KARAKTERISTIKE	
PRIPRAVE IN ČIŠČENJA ODPADNIH VODA.....	37
5.1 Postopki čiščenja odpadnih voda.....	37
5.1.1 Biološko čiščenje odpadnih vod.....	37

5.1.2	Potreba po nitrifikaciji.....	38
5.1.3	Potreba po denitrifikaciji.....	38
5.1.4	Izločanje fosforja.....	39
5.2	Čiščenje odpadnih vod s pomočjo usedanja.....	39
5.3	Procesne tehnike pri vnosu kisika.....	39
5.3.1	Prezračevanje s stisnjenim zrakom.....	40
5.3.2	Površinsko prezračevanje.....	40
5.3.3	Prezračevanje s kisikom.....	41
5.4	Onesnaževanje voda z odtokom padavin iz avtocest.....	43
5.5	Odvod odpadnih vod, ki niso priključena na kanalizacijo.....	44
5.5.1	Zbirne jame.....	45
5.5.2	Greznice.....	45
5.6	Analiza vzorcev odvedene odpadne vode.....	47
5.7	Upoštevani zakonski predpisi, pravilniki in normativi.....	48
6	DIMENZIONIRANJE IN HIDRAVLJIČNE LASTNOSTI	
	VODOVODNEGA OMREŽJA.....	50
6.1	Dimenzioniranje vodovodnega omrežja.....	50
6.2	Hidravlične lastnosti vodovodnega omrežja.....	55
6.2.1	Izgube tlaka v ceveh.....	55
6.2.2	Laminarni tok.....	56
6.2.3	Turbulentni tok.....	57
7	SPLOŠNA PORABA VODE Z IZRAČUNI PORABE VODE.....	58
7.1	Splošna poraba vode.....	58
7.2	Osnovni izračuni za analizo porabe vode.....	58
7.3	Neenakomernost porabe vode.....	62
7.4	Določanje minimalne prostornine vodohrana.....	65
8	NEVARNOSTI VODNEGA UDARA.....	68
8.1	Osnove vodnega udara.....	68
8.2	Potek vodnega udara.....	68
8.3	Karakteristike vodnega udara.....	69
8.4	Nevarni pojavi povzročeni z vodnim udarom.....	71
8.5	Načini blažitev vodnega udara.....	72
9	IZDELAVA KARTOTEK ZA KONTROLO	
	VODOVODNIH SISTEMOV.....	74
9.1	Namen zbiranja kartotek.....	74
9.2	Potek zbiranja in prioriteta podatkov.....	74
9.2.1	Kartoteka o poškodbah na omrežju.....	76
9.2.2	Kartoteka priključkov.....	76
9.2.3	Kartoteka vodovodnih objektov.....	77
9.2.4	Kartoteka črpališč.....	77

9.2.5	Kartoteka vodohranov.....	77
9.2.6	Kartoteka razbremenilnikov.....	78
9.2.7	Kartoteka zajetij.....	78
9.3	Mehanizmi izdelave kartotek.....	78
10	AVTOMATIZACIJA IN PROČESNO VODENJE	
	VODOVODNIH SISTEMOV	81
10.1	Namen avtomatizacije.....	81
10.2	Elementi Avtomatizacije.....	82
10.3	Avtomatizacija črpališč.....	83
10.4	Avtomatizacija vodovodnega omrežja.....	85

1 SPLOŠNA OBRAVNAVA VODOVODNIH SISTEMOV

Uvod

V Sloveniji imamo za oskrbo s pitno vodo preko 1000 vodovodnih sistemov, ki skupaj oskrbujejo preko 90 % prebivalcev. Kot značilnost lahko navedemo veliko število individualnih oziroma majhnih vodovodov, ki pa oskrbujejo v celoti majhen delež prebivalcev. Mali vodovodi imajo pogosto pomanjkljivosti, ki se odražajo na slabši kakovosti vode.

Poleg kakovosti zraka predstavlja preskrba s pitno vodo enega izmed najpomembnejših problemov za zagotavljanje zdravega in prijetnega bivalnega okolja.

Industrijska revolucija je v začetku 11. stoletja dosegla v Evropi kontinentalno razsežnost in je v šestdesetih letih tega stoletja postala globalni problem. Danes smo že soočeni z dejstvom, da je v določenih delih Evrope zaradi naraščajoče stopnje onesnaženosti in nekontroliranih posegov v okolje, veliko vode za pitne namene neuporabne. Logično je, da se ob tem tudi vprašamo, kakšno okolje zapuščamo mlajši generaciji, ki prihaja. Voda, ki jo uporabljamo za pitne namene in pripravo hrane mora ustrezati fizikalnim, kemičnim, biološkim, mikrobiološkim ter radiološkim kriterijem.

1.1 Potrebe po pitni vodi

Celotno zemljino površino, ki znaša $5,10 \times 10^8 \text{ km}^2$, voda prekriva $3,61 \times 10^8 \text{ km}^2$ ali 71 %. Celokupna količina vode na zemlji znaša $1,45 \times 10^9 \text{ km}^3$. Od te količine je $1,34 \times 10^9 \text{ km}^3$ ali 92 % vode v morjih in oceanih. V zgornjih plasteh zemljine skorje je 4 % vode, ostalih 4 % proste vode pa predstavljajo jezera, reke, ledeniki, vodna para itd. Od vseh prikazanih količin so zelo omejene količine take vode, ki jo človek brez večjih tehničnih težav lahko uporabi za pitne namene. Po ocenah je na razpolago za pitne namene le $2,5 - 3,5 \times 10^4 \text{ km}^3$ vode.

Med vsemi navedenimi količinami je dominantna količina vode v morjih in oceanih. Zaradi zelo velike površine in globine je dobila morska voda v dotiku z naslagami raztopljenih soli in elementov okus in vonj. Prav zaradi tega ima morska voda v sodobni civilizaciji omejeno uporabnost v pitne namene, kmetijstvu in industriji. Po drugi strani pa je izrednega pomena za obstoj življenja v vodi in na kopnem. Pod vplivom sončne energije morska voda izhlapeva ter v obliki vodne pare z gibanjem zraka in pod vplivom sile zemljine teže nadomešča atmosfersko vodo, s tem pa omogoča obstoj življenja tudi na večjih razsežnostih kot so morske površine. Hkrati je to zelo pomembna oblika za obstoj in razvoj rastlinskega sveta, indirektno pa temelji celotna fauna na teh bioloških fenomenih. V morski vodi obstaja sila enovit ekosistem, v katerem prevladujejo osnove živega sveta ter proizvajalci organskih materij, ki izločajo kisik.

Večji del sladke vode je v polarnih ledenih masah, druge količine sladke vode pa so zelo neenakomerno porazdeljene na zemlji. Največje količine se nahajajo na področju Južne Amerike, kjer se tudi sorazmerno zelo majhne količine vode uporabljajo v pitne namene.

Nasprotno temu pa se v Severni Ameriki, Evropi in še posebej v Afriki že čuti pomanjkanje pitne vode. Tudi napredujoča nerazumljiva stopnja onesnaženja voda samo še dodatno zmanjšuje vodne količine za pitni namen. V Sloveniji se srečujemo z omejenimi vodnimi količinami na sorazmerno majhnem področju krasa.

V zadnjem času ima pri izkoriščanju voda v pitne namene zelo pomembno vlogo stopnja onesnaženosti voda. Z ozirom na nerazumljivo dejstvo, da ta stopnja onesnaženosti stalno narašča, je pričakovati v bodočnosti še bolj zahtevne izvedbe vodovodnih sistemov.

Kako je voda pomembna za življenje ter njeno fiziološko vlogo je opisoval že Aristotel. Po Darwinovi teoriji so v vodi nastale prve oblike življenja. Očitno je voda nujna tako za življenje kot za razvoj oziroma napredek. Po podatkih svetovne zdravstvene organizacije je 25 % bolniških kapacitet vključenih pri zdravljenju obolelih za dizenterijo, kolero, infektivnim hepatitisom ter drugimi gastrointestinalnimi obolenji, do katerih pride samo zaradi uporabe oporečne pitne vode.

Glede na prikazana dejstva lahko povzamemo, da sta skrb za vodo ter kvaliteta vode ozko povezani z razvojno stopnjo vsake družbe.

1.2 Načini oskrbe s pitno vodo

Razne načine oskrbe s pitno vodo lahko razdelimo na individualno oskrbo z vodo kamor spadajo:

- majhni izviri,
- individualni vodnjaki in
- kapnice, ki prihajajo v poštev predvsem na krasu, v hribovitih predelih, kjer ni v bližini stalnih izvirov ali kakšne druge organizirane vodooskrbe.

V javno ali organizirano preskrbo z vodo štejemo vse družbeno nadzorovane načine preskrbe z vodo, kar pomeni, da je kvaliteta pitne vode pod stalno kontrolo ustreznih družbenih institucij.

Za kontinentalni nekraški predel v glavnem ločimo naslednje vodne vire, ki jih v obliki blokovne sheme prikazuje slika 1.

Ločimo naslednje vire pitne vode:

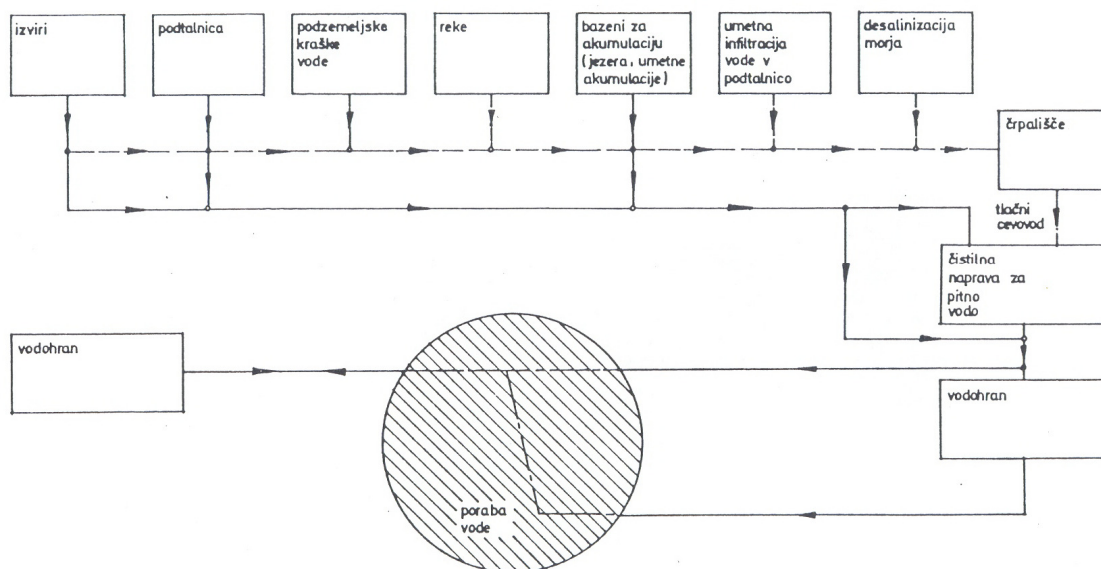
- izviri,
- podtalnice v naplavinah,
- podzemlske vode v kamenicah,
- površinske akumulacije in
- reke.

Izviri z nenaseljenim padavinskim področjem imajo najkvalitetnejšo in najcenejšo vodo. Oddaljenost večjih izvirov, ki so ponavadi v hribovitih predelih, predstavlja največjo

pomanjkljivost. V kolikor je višinska lega izvira takšna, da omogoča izvedbo gravitacijskega vodovodnega sistema je vrednost preskrbe s pitno vodo povečana in cena vode zelo ekonomična.

Podtalnica je drugi najkvalitetnejši vir za preskrbo s pitno vodo in se največkrat nahaja v ravninah ob rekah. V kolikor je zaščitna plast nad podtalnico dovolj debela in ustrezne granulacije ter v kolikor je reka, ki podtalnico napaja dovolj oddaljena, je lahko kvaliteta podtalnice takšna, da jo lahko uporabimo direktno za pitne namene.

Način pridobivanja vode iz podtalnice je tudi dokaj poceni, ker je tehnika izgradnje vrtanih vodnjakov in potopnih (podvodnih) črpalk zelo napredovala. Bistvena prednost podtalnice je, da nudi izkoriščanje podzemne akumulacije, ki je lahko zelo velika zaradi poroznosti proda in peska. V času suše zato lahko črpamo večje količine vode kot je najmanjši pretok podtalnice. Bistvena prednost podtalnice je njena velika zmogljivost v sušnem obdobju, ki predstavlja seštevek naravnega pretoka in podzemne akumulacije.



Slika 1. Shema pridobivanja pitne vode
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999

Podzemeljske vode v razpokanih kameninah so na področju krasa in v obmorskem predelu. To področje se lahko preskrbuje z vodo s pomočjo:

- izvirov,
- podzemeljskih voda krasa,
- površinske akumulacije (potrebno je delno čiščenje) in
- dovoda vode iz drugih področij – regionalni vodovodi

Večji izviri so zelo pomembni in zahtevajo ustrezno zaščito pred onesnaženjem. Za podzemeljske vode krasa je značilno to, da je samočistilna sposobnost krasa precej manjša, kakor samočistilna sposobnost prodnato peščenih naplavin, zato je tudi kakovost

podzemeljske vode krasi slabša kakor podtalnica. Koristna prostornina podzemskih kraških akumulacij je ponavadi omejena zaradi majhne kameninaste gmote.

Desalinizacija morske vode omogoča preskrbo z vodo na obmorskem področju. V glavnem poznamo za desalinizacijo morske vode dva postopka in sicer električno dializo ter izhlapevanje s kondenzacijo. Bistvena pomanjkljivost desalinizacije so zelo visoki obratovalni stroški. Naprave za desalinizacijo so v glavnem ekonomsko upravičene na manjših otokih. Perspektivni razvoj te problematike gre v smer kombiniranja velikih nuklearnih termoelektrarn in naprav za desalinizacijo vode.

Površinske akumulacije (bazene) gradimo na neonesnaženih vodotokih in opravljajo tudi hkrati funkcijo vsedalnikov, ker se nečistoče v vodi vsedajo. Kakovost vode je nekoliko slabša, predvsem zaradi temperaturnih sprememb. Akumulacija lahko opravlja tudi funkcijo vodohrana, iz katerega voda izteka v vodovodni sistem gravitacijsko ali s pomočjo črpalk.

Kondicionirana voda iz rek v glavnem služi za oskrbo večjih mest. Tehnika kondicioniranja vode za pitne namene je danes tako napredovala, da je možno praktično kondicioniranje vseh rečnih voda.

Preglednica 1: Dnevna poraba pitne vode po področjih v Sloveniji

zap. št.	PORABA VODE	l (oseba-dan)	%
1.	za pitne namene in kuhanje	5	3
2.	pomivanje posode	11	7
3.	osebna higiena (umivanje)	11	7
4.	pranje perila	16	11
5.	ostalo	16	11
6.	sanitarna poraba vode	48	32
7.	kopanje, tuširanje	43	29
Norma splošne porabe: $n_{sp} = 150$ l (oseba dan)			100%

Vir: E. Petrešin, *Vodovodni sistemi*, Ljubljana 1980

Infiltracija vode v podtalnico se uporablja le v posebnih razmerah. V namakalna polja dovajamo vodo v glavnem iz rek in s pomočjo infiltracije povečujemo kapaciteto podtalnice v pitne namene.

Analize, ki so bile opravljene v zadnjem obdobju kažejo, da je povprečna poraba vode v Sloveniji cca. 150 do 180 litrov po osebi na dan, ki pa se bo v bodočnosti zniževala na Evropsko raven. Posamezna področja uporabe pitne vode so prikazana v preglednici 1.

1.3 Splošna obravnava vodovodnih sistemov

1.3.1 Zasnova vodovodnega omrežja

Vodovodno omrežje je eden izmed osnovnih elementov sistema za oskrbo z vodo. Povezano je s črpalnimi postajami in vodohrani ter s točkami za zvišanje ali znižanje obratovalnega tlaka. Vsako vodovodno omrežje mora ustrezati osnovnim zahtevam:

- zagotoviti mora zadosten transport vodnih količin na vsa mesta porabe po vnaprej določenih zahtevah,
- zagotovljena mora biti varnost neprekinjenega obratovanja in
- ustrezati mora čim manjšim gradbenim in obratovalnim stroškom, ki so ozko povezani z elementi vodovodnega sistema

Samo oblikovanje vodovodnega omrežja pa odvisi od terenskih razmer. Predvsem so pomembni:

- geografski položaj in konfiguracija terena
- obstoj naravnih in umetnih zaprek, ki ovirajo polaganje vodovodnega omrežja
- oblikovanje naselja in lokacija industrije ter razporejenost porabnikov
- lokacija vodnih virov itd.

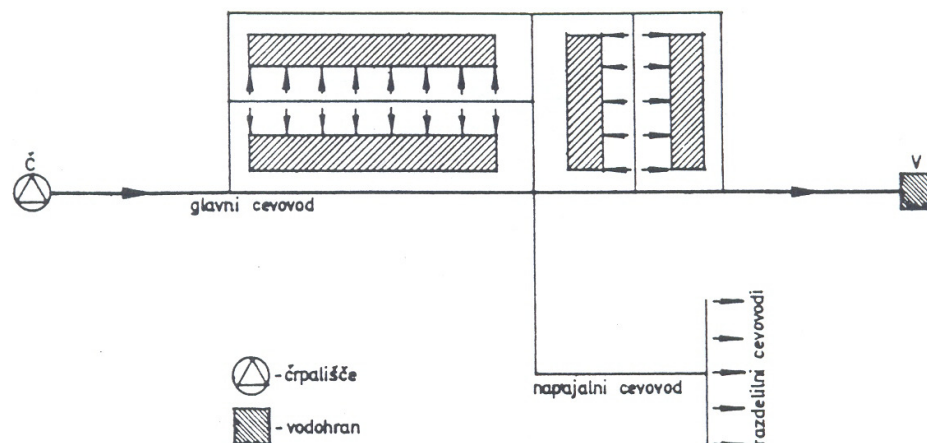
Iz navedenega lahko povzamemo, da mora vodovodno omrežje ustrezati predvsem zadostni prepustni kapaciteti, varnosti obratovanja ter ekonomičnosti.

1.3.2 Vodovodno omrežje

Pri vodovodnem omrežju ločimo:

- glavni cevovod, ki dovaja vodo v mesto, naselja in je v glavnem speljan po načelu težiščnice lika,
- napajalni cevovod nam služi za transport vode iz glavnega cevovoda v posamezne mestne predele,
- razdelilni cevovod nam služi za dovod vode k porabnikom in je lahko direktno vezan na napajalni ali glavni cevovod.

Temeljno načelo vodovodnega omrežja nam prikazuje slika 2.



Slika 2. Shema vodovodnega omrežja
Vir: E. Petrešin, *Vodovodni sistemi*, Ljubljana 1980

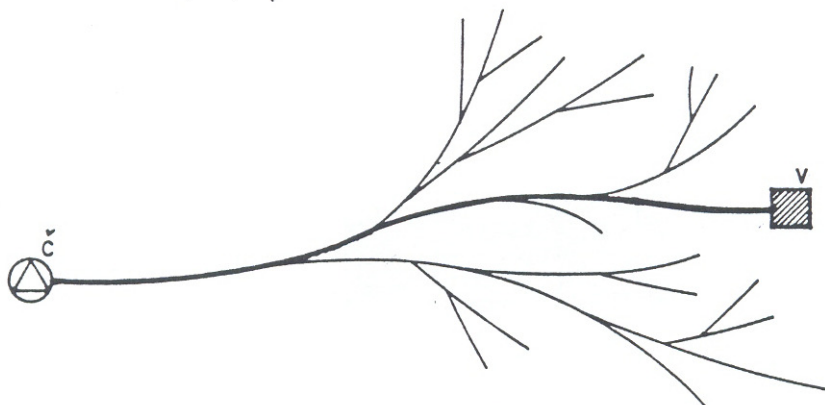
1.3.3 Tipi vodovodnih sistemov

Z ozirom na medsebojno povezavo glavnih, napajalnih in razdelilnih cevovodov ali primarnega in sekundarnega vodovodnega omrežja s črpališči, vodohrani, ločimo naslednje vodovodne sisteme

- vejičasti vodovodni sistem in
- zankasti vodovodni sistem.

Za vodovodno omrežje večkrat uporabljamo tudi izraze primarno in sekundarno vodovodno omrežje. V primarno vodovodno omrežje štejemo večje profile. Meja med primarnim in sekundarnim vodovodnim omrežjem je ponavadi že vnaprej določena in je odvisna od velikostnega razreda celotnega vodovodnega sistema (vodovodni sistem = vodovodno omrežje + vodni viri in vodohrani).

Povsod tam, kjer je to mogoče, je potrebno stremeti za tem, da posamezne veje povežemo med seboj zaradi tega, ker vejičasti vodovodni sistem ne nudi zadostne varnosti obratovanja. Slabe strani vejičastega vodovodnega sistema pridejo še posebej do izraza pri nepredvidenih poškodbah vodovodnega omrežja ter v primeru požara. Ustrezna povezava vodovodnega omrežja v zaključen krogotok vode omogoča ugodnejše pogoje medsebojnega delovanja.



Slika 3. Načelo vejičastega vodovodnega sistema
Vir: E. Petrešin, *Vodovodni sistemi*, Ljubljana 1980

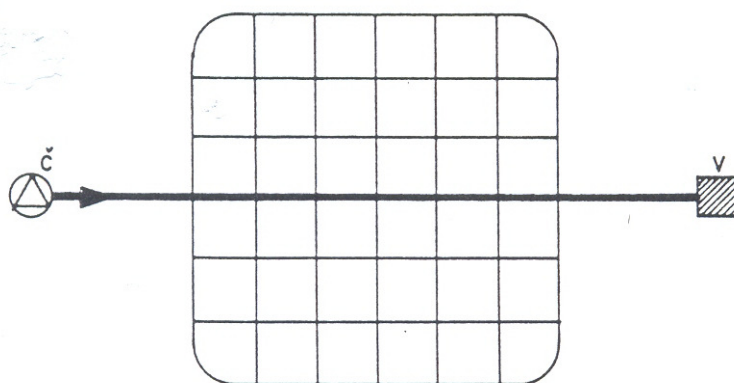
Načelo vejičastega vodovodnega sistema prikazuje slika 3.

Zankasti vodovodni sistemi se pojavljajo v večjih mestih in naseljih. Glede na funkcijo glavnega cevovoda, lahko zankaste vodovodne sisteme delimo nadalje na:

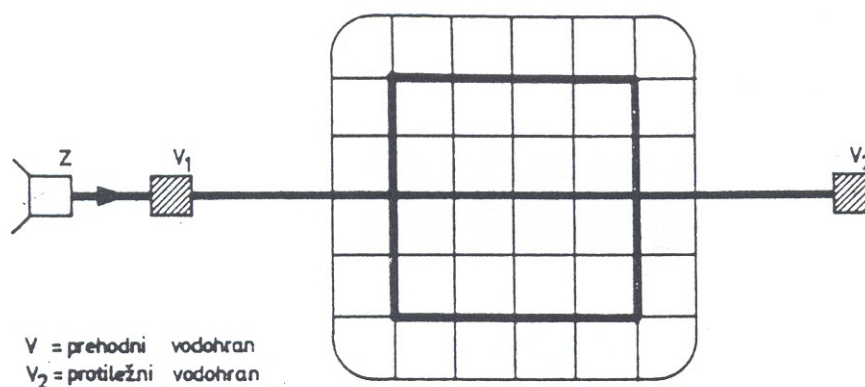
- mrežaste in
- krožne

Slika 4 nam prikazuje načelo mrežastega vodovodnega sistema, slika 5 pa načelo krožnega sistema.

Mrežasti in krožni vodovodni sistem, pri katerih je krogotok vode v zaključenih zankah, zato imenovan tudi zankasti vodovodni sistem, zagotavlja dobro medsebojno sodelovanje vodovodnega omrežja, kar pomeni večjo varnost pri obratovanju, še posebej v primeru kritične porabe vode. Vsaka nova razširitev zankastega vodovodnega sistema je z ozirom na zahteve povečane porabe vode precej enostavnejša od razširitve vejičastega vodovodnega sistema. Hidravlični preračun vodovodnega omrežja za mrežasti in krožni sistem je enak.



Slika 4. Načelo mrežastega vodovodnega sistema
Vir: E. Petrešin, *Vodovodni sistemi*, Ljubljana 1980



Slika 5. Načelo krožnega vodovodnega sistema
Vir: E. Petrešin, *Vodovodni sistemi*, Ljubljana 1980

1.3.4 Delitev vodovodnih sistemov na tlačne cone

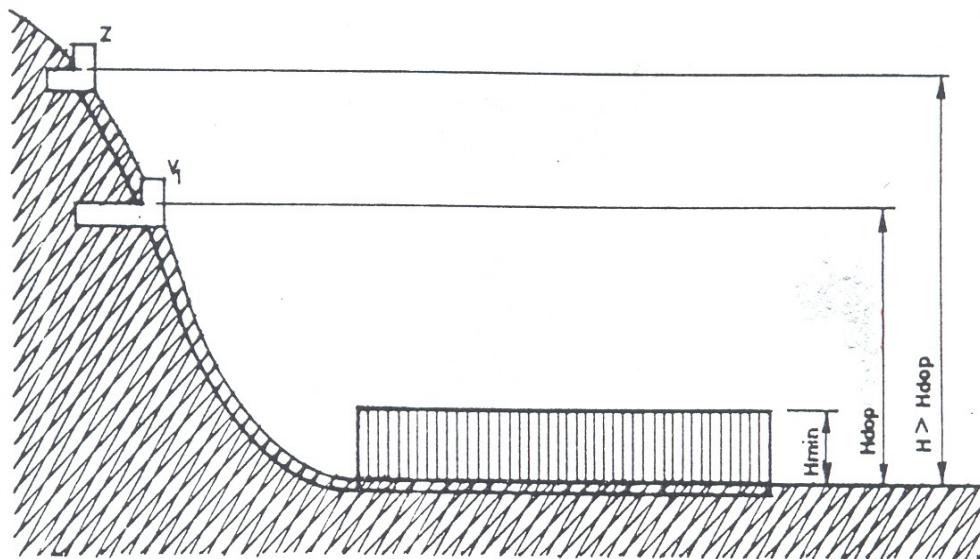
Poleg omenjenih so možne še razne druge variante vodovodnih sistemov. V praksi je zelo težko zaslediti dva ista vodovodna sistema. V bistvu je vsak vodovodni sistem za sebe v nekem smislu unikat, zaradi tega je potrebno tudi vsak vodovodni sistem za sebe temeljito predelati, le tako so končni rezultati kakovostni.

Glede na obratovalni tlak v vodovodnem omrežju in na vrsto vgrajenih cevi, moramo upoštevati največje dopustne tlake v času obratovanja pri najneugodnejši porabi vode. V normalnih razmerah je obratovalni tlak od 6 do 8 bar za tlačne, glavne in napajalne cevovode pa od 12 do 14 bar. Večji tlaki prihajajo v poštev le v izjemnih primerih.

Na razdelilnem vodovodnem omrežju na mestih, kjer so priključeni posamezni porabniki je obratovalni tlak lahko tudi od 3 do 6 bar. V kolikor lahko pričakujemo večje tlake, potem vgradimo ventile za redukcijo tlakov. Z dopustno mejo tlaka 8 bar je podan tudi tehnični pomen tlačne cone. V kolikor bi za material vgrajenih cevi presegli dopustno tlačno mejo, izvajamo vodovodno omrežje v dveh ali celo v treh tlačnih conah. Hkrati pa delitev na tlačne cone omogoča razen zmanjšanja tlaka v cevovodih še zmanjšanje porabe energije, ki je potrebna za dvig vode in s tem tudi zmanjšanje obratovalnih stroškov. Vsaka takšna tlačna cona ima svoje omrežje, črpališča in po potrebi vodohran ali koristno prostornino v cevovodih za regulacijo tlaka. Glede na elemente, ki nastopajo v tlačnih conah ločimo:

- težnostne (gravitacijske) vodovode,
- vodovode z umetnim dviganjem vode (črpališča) in
- kombinacija gravitacije in črpanja vode.

Težnostni vodovod ponavadi tvori zajetja, vodovodno omrežje ter prehodni ali protiležni vodohran. Zajetje lahko leži višje kot to dopušča ena tlačna cona (6 do 8 bar). Za razbremenitev tlaka se uporabi prehodni vodohran, ki obenem v sistemu učinkuje kot razbremenilnik. Primer težnostnega vodovoda z zajetjem in prehodnim vodohranom prikazuje slika 6.



Slika 6. Shematični prikaz težnostnega vodovodnega sistema
Vir: E. Petrešin, *Vodovodni sistemi*, Ljubljana 1980

Povzetek

V prvem poglavju so predstavljene osnovne potrebe po spoznavanju in razumevanju kvalitativnih zahtev po pitni vodi. Obravnavani so individualni in javni, oziroma organizirani načini oskrbe s pitno vodo, tako za kraški kot nekraški predel. V nadaljevanju so predstavljeni različni tipi vodovodnih sistemov s primerjavo oziroma njihovimi prednostmi in slabostmi.

2 PRAVNE IN DRUGE ZAHTEVE PO KAKOVOSTI PITNE VODE

Uvod

Predpis, ki ureja kakovost pitne vode, je Pravilnik o pitni vodi. Pravilnik je usklajen z ustrežno direktivo Evropske unije. Kakovost mora biti pod stalnim nadzorom. Po naši zakonodaji je ta nadzor notranji in zunanji. Notranji nadzor zagotavlja upravljalec vodovoda. Ta nadzor mora biti urejen na osnovah HACCP sistema, kar pomeni, da je treba pitno vodo spremljati od zajema do porabnika. Nadzor zagotavlja stalen visok nivo varnosti pitne vode, ki ga samo z vzorčenjem ne bi mogli zagotoviti. Zunanji nadzor izvaja država in ga imenujemo monitoring. Monitoring (spremljanje) je oblika nadzora oziroma preverjanja ali pitna voda izpolnjuje zahteve pravilnika o pitni vodi (Ur.l.RS št. 19/04, 35/04, 26/06 in 92/06). Izvaja se po vnaprej pripravljenem letnem programu, ki ga potrdi minister za zdravje.

2.1 Fizikalne lastnosti vode

Med fizikalne lastnosti vode štejemo temperaturo, motnost, barvo, okus in vonj vode. Pri normalnem atmosferskem tlaku voda pri 0 °C prehaja v led. Največjo gostoto doseže voda pri temperaturi 4 °C in vre pri 100 °C. Priporočljiva temperatura pitne vode se nahaja v mejah med 8 °C in 12 °C. V naših klimatskih razmerah ta pogoj dosežemo, vendar opozoriti je potrebno, da se spodnja temperatura 8 °C počasi viša zaradi onesnaženosti podtalnice. Temperatura podtalnice zavisi od:

- klimatskih razmer,
- geomorfološke zgradbe terena,
- povezave s površinskimi vodami in
- dinamike podtalnice.

Ponavadi dnevne spremembe temperature lahko vplivajo na temperaturo vode do globine 1 do 2 m pod površino terena. Sezonska sprememba temperature v klimatskem pasu ima vpliv za odprte vodonosne sloje do 20 m pod površino terena. Na globini okrog 20 m se nahaja nevtralni temperaturni sloj. Na tej globini je temperatura podtalnice konstantna in je približno enaka povprečni letni temperaturi zraka na površini terena. Izpod nevtralnega temperaturnega sloja temperatura podtalnice narašča z globino. V splošnem velja povečanje temperature podtalnice izpod nevtralnega temperaturnega sloja za + 1 °C na vsakih 33 m globine.

Motnost vode povzročajo v glavnem suspendirane organske in anorganske snovi v obliki koloidov ali kosmov katere imenujemo tudi flokule. Motnost vode se izraža v stopinjah silikatne lestvice. Pitna voda naj ne preseže 10 °C.

Najpogosteje barva vode prihaja od raztopin soli železa in mangana različnih kislin itn. Barvo vode izražamo s kobaltno platinsko lestvico. V načelu barva vode pomeni njeno onesnaženost. Voda mora biti brez vonja in okusa, vonj vode se določa pri temperaturi 50 °C.

2.2 Končni vidiki pitne vode

Vsaka voda ima svoje značilnosti, katere bi lahko tudi poimenovali kot tip vode. Morska voda, ter v velikih primerih podzemne vode so visoko mineralizirane. Odpadne vode so nestabilne in zelo različne sestave. Pitne vode vsebujejo nekatere parametre v zelo nizkih koncentracijah, ki jih moramo obvezno analizirati.

Posebnega pomena je določanje onesnaževalcev, ki so v našem okolju nesprejemljivi. Primeri takšnih onesnaževalcev so prav gotovo težke kovine in toksični anioni. Velike težave so povezane z analizo organskih snovi, ki so vedno pogostejše prisotne. Zato je razvoj, ter izpolnjevanje metod za reševanje problemov analize vod ena od vidnih nalog sodobne kemije. Naravne vode so v osnovi raztopine, ki vsebujejo katione (natrij, kalij, kalcij, magnezij), anione (klorid, sulfat, hidrogenkarbonat), nedisociirane spojine (ogljikovo in metaborovo kislino) in sestavine v koloidni obliki (metasilicijevo kislino).

V vodah delujejo značilna kemijska ravnotežja, ki lahko z ozirom na pogoje privedejo do hidrolize in sproščanja plinov, kar vse vodi k spreminjanju vsebine vode. Ti procesi so izrazitejši v višje mineraliziranih vodah in prihajajo do izraza po odvzemu vzorcev, ter med njegovim shranjevanjem. Takšne spremembe moramo upoštevati pri načrtovanju in izvedbi analiz.

Raziskave vsebin vod lahko v grobem razdelimo na nekaj stopenj, in sicer:

- vzorčenje,
- konzerviranje vzorcev,
- lokalne preiskave in
- laboratorijske analize organskih in anorganskih spoj.

2.2.1 Vzorčenje

Vzorčenje je ena od najpomembnejših stopenj postopka analize. Že v fazi načrtovanja moramo upoštevati želeni obseg raziskav in značilnosti vodnega vira. Odločilno vpliva izbira ustreznih posod (steklo, polietilen, teflon), ter načini in tehnike odvzemanja vzorcev za različne fizikalno kemijske in plinske analize.

2.2.2 Konzerviranje vzorcev

V primerih, ko ni možnosti pristopiti takoj k analizi vzorcev jih moramo ustrezno shraniti in konzervirati. Priporoča se shranjevanje vzorcev v temnem in hladnem prostoru na temperature + 4 °C. To velja tudi za prevoz do laboratorija v katerem bo potekala analiza. Postopki in spojine za konzerviranje so različni in specifični za posamezne sestavine.

2.2.3 Lokalne preiskave

Lokalne preiskave opravljamo na mestu odvzema vzorcev in obsegajo merjenje temperature vode in zraka, zračnega tlaka, globine, vidljivosti, oceno izgleda vode, barve, motnosti, vonja in okusa, določanje količine lebdečih snovi, gostote, vrednosti *pH*, električne prevodnosti, sproščenih plinov O₂, O₃, Cl₃ in ClO₂ ter določitev radionuklidov s kratkimi razpolovnimi

časi. Za lokalne preiskave in hitre ocene koncentracij snovi so primerni hitri testi in priročni kompleti, ki pogosto temeljijo na barvnih reakcijah. Njihova uporaba je enostavna in ne potrebuje večje strokovnosti.

2.2.4 Laboratorijske analize

Po odvzemu vzorcev moramo opraviti v najkrajšem času laboratorijske analize konzerviranih vzorcev. Približno jih lahko razdelimo v določanje anorganskih in organskih parametrov.

Anorganski parametri obsegajo določanje količin raztopljenih in neraztopljenih snovi, trdote, analizo anionov, kationov, spojin v sledovih, nedisociranih in plinastih snovi, ter merjenje radioaktivnosti. Popolnejše analize anionov običajno vsebujejo določitev fluorida, klorida, bromida, jodida, nitrita, nitrata, sulfata, fosfatov, karbonata, hidrogenkarbonata in raztopljenega CO₂. Med kationi prevladujejo določitev litija, natrija in kalija. Skoraj obvezno določamo amonij, magnezij, kalcij, stroncij, barij, železo in mangan. Med anorganskimi snovmi v sledovih določamo aluminij, arzen, antimon, berilij, svinec, kadmij, krom, kobalt, baker, molibden, nikelj, živo srebro, selen, talij, titan, uran, vanadij, cink, in kositer. Najpogosteje določana plinasta sestavina je raztopljen ogljikov dioksid. Spekter organskih parametrov je zelo širok in kaže tendenco naraščanja.

Glavni onesnaževalci, ki se pojavljajo v pitnih vodah so cianidi, površinsko aktivne snovi, ogljikovodiki, različne organske kisline, dušikove spojine, policiklični aromatski ogljikovodiki, fenoli, različni pesticidi, herbicidi itd. Za analizo omenjenih snovi so na razpolago klasične in instrumentalne metode. Gravimetrija se manj uporablja vendar je v nekaterih primerih dokaj zanesljiva. Volumetrija je nepogrešljiva pri določanju nekaterih kationov (kalcija in magnezija), ter anionov klorida, hidrogenkarbonata, karbonata). S številnimi instrumentalnimi metodami lahko določamo ostale anorganske in organske snovi zlasti v nižjih koncentracijskih območjih. Najpomembnejše metode za analizo vod so plamenska fotometrija, atomska absorpcijska spektroskopija, spektrometrija v vidnem območju, številne elektrokemijske in kromatografske metode. Kromatografske metode pokrivajo določanje večine organskih onesnaževalcev, ionska kromatografija pa pomembno posega tudi na področje določanja anionov in kationov.

2.3 Naprave za štetje delcev v vodi kot mehanizem za kontrolo kakovosti vode

V publikaciji "Water management Europe - 1994/95" je izšel prispevek Pacific Scientific, ki ga je napisal Dr. Jef T. Grenger. V prispevku je obravnavano štetje delcev na osnovi absorbirane svetlobe. To metodo je prvi razvil Hiac v začetku devetdesetih let. Za razliko od drugih vrst naprav za štetje delcev, kot je npr. naprava izdelana v tovarni Coulter, ki dela na osnovi nevtraliziranja absorbiranih ionov na delcih v vodi. Naprava meri zmanjšanje intenzivnosti svetlobe pri prehodu skozi vzorec vode podobno kot naprava za merjenje gostote delcev v vodi.

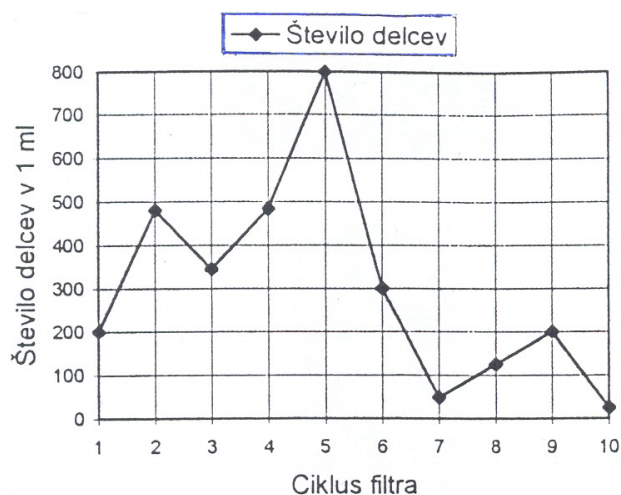
Naprava je zasnovana na osnovi uporabe fotodiode za merjenje intenzitete laserskega žarka. Zmanjšanje intenzitete se pojavi, ko se delec pojavi med izvorom svetlobe in sprejemnikom. Sistem se umeri s pomočjo lateksa, ki vsebuje okrogle znane delce različnih dimenzij. Ker vzorec vode teče skozi merilno mrežo, naprava primerja velikost sence, ki jo povzroča delec

iz vzorca vode, z velikostjo delca v lateksu, ki bi povzročil senco z isto površino. Pri merjenju je ključna zadeva ta, da se posamezni delci izmerijo in štejejo samo enkrat, saj so samo v takem primeru dobljeni rezultati točni.

V današnjem času obstajajo naprave za merjenje in štetje delcev velikosti od 0.1 μm do 2.5 mm. Velikosti delcev, ki pridejo v poštev za vodovode so od 2 μm do 15 μm . Razširjena uporaba naprav za štetje delcev v vodi se je začela v ZDA s spremljanjem primerov gastro intestinalnih infekcij pitne vode z organizmi *Cryptosporidium*.

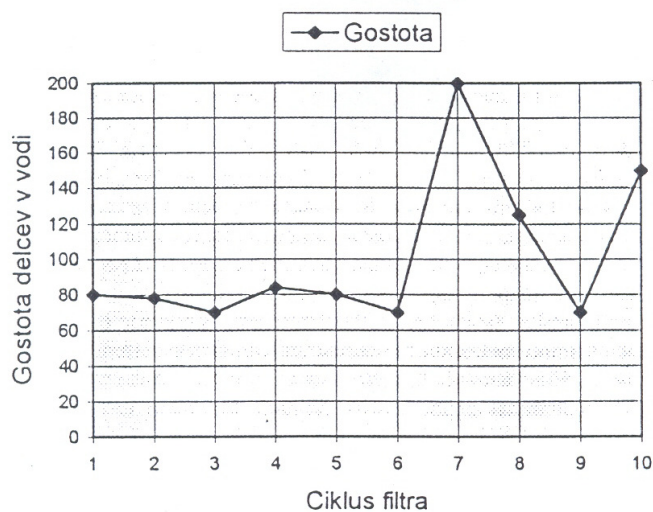
Tako se lahko ta problem oceni tudi iz komercialnega pogleda. Na primer, ko je prišlo v mestu Milwaukee leta 1993 do okužbe pitne vode z organizmi *Cryptosporidium* ssp, je bilo okuženih od 200000 do 400000 ljudi. Malo je poznano, da je administracija za hrano in zdravila naknadno zahtevala prepoved prodaje najmanj 96 prehrambenih izdelkov, ki so bili izdelani z uporabo potencialno onesnažene vode. Škoda takšnih dogodkov še ni ocenjena, vendar je v vsakem primeru velika. Zaradi takšnih dogodkov je zvezna država Georgia leta 1993 izdala zakon, ki pravi, da morajo imeti vse čistilne naprave za prečiščevanje površinske vode v pitno vodo vgrajene naprave za merjenje delcev velikosti od 3 μm do 15 μm . Da bi se dobili izčrpni podatki o kakovosti vode imajo mnoga podjetja v Angliji, ki se ukvarjajo z oskrbo pitne vode vgrajene poleg merilnikov gostote delcev tudi merilnike števila delcev. Razlog je zelo enostaven. Bakterije kot so *Cryptosporidium* ssp in *Gardia* ssp se s konvencionalnimi metodami ne morejo uničiti. Številne študije so pokazale, da lahko veliko hitreje zaznajo preboj delcev skozi filter naprave, ki delce štejejo, kot pa merilci gostote delcev. Kritična velikost delcev je od 5 μm do 10 μm .

Pri uporabi teh naprav je prvo vprašanje, ki se nam postavi, koliko naprav za merjenje delcev rabimo. Ena naprava, ki je postavljena na skupnem izhodu bo zaznala preboj nekje v sistemu, vendar ne bo zaznala točnega mesta preboja. Za takšno informacijo potrebujemo senzor na vsakem filtru. Prednost takšnega pristopa je v tem, da daje odgovorni osebi možnost, da razpolaga z informacijo o trenutnem številu delcev v realnem času in verjetno še bolj pomembno, da razpolaga z isto informacijo za vsako filtersko enoto.



Slika 7. Število delcev v 1 ml vode, merjeno v 10 - ih filterskih ciklih
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999

Iz grafa na sliki 7 in grafa na sliki 8 lahko ugotovimo, da pride do opazne spremembe števila delcev v filtru pri zelo mali spremembi gostote delcev v vodi.



Slika 8. Gostota delcev v 1 ml vode, merjeno v 10 - ih filterskih ciklih
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999

Uporaba naprav za merjenje števila delcev se lahko razširi na ta način, da se vgradi dodatna naprava na vходу v filter. Tako lahko določimo spreminjanje faktorja redukcije števila delcev za vsako filtersko enoto v realnem času.

V ZDA je agencija za zaščito bivalnega okolja sprejela pravilnik o prečiščevanju površinske vode. Pravilnik med drugim omogoča, da se za izgradnjo vodovoda najame kredit. Novi Hiac - Royoco Versacount sistem se je specializiral posebej za testiranja v vodovodih. Zaradi umerjanja zahtevajo te merilne naprave za merjenje števila delcev konstanten in poznan pretok vzorca skozi senzor. Konstantna kontrola pretoka služi tudi temu, da se ugotovi, če je

bil kdaj pretok iz katerega koli razloga prekinjen. Pred časom je bil sestavljen eksperimentalni sistem v katerega so vgradili 32 podenot za merjenje števila delcev in 32 podenot za merjenje gostote delcev (po eden na izhodu iz vsakega filtra in še podenote na zbirnem dotoku v filter). S pomočjo takšnega eksperimentalnega sistema lahko brez problema merimo število in gostoto delcev tako, da se zadovolji predpisanim zahtevam porabnikov vode.

Povzetek

Kakovostna ozirom varna pitna voda nam omogoča življenje in predstavlja enega izmed osnovnih pogojev zdravja. Čeprav je tako dragocena dobrina jo prepogosto dojemamo kot nekaj samo po sebi danega. Tudi pomen stalnega in nujnega preventivnega delovanja za zagotavljanje njene količine in kakovosti je največkrat spregledan.

V predstavljenem poglavju so prikazane fizikalne lastnosti vode in kriteriji za določanje kakovosti pitne vode. Predstavljene so tudi raziskave vsebnosti voda s povdarkom na sodobnih napravah za štetje števila delcev in gostote delcev v volumski enoti vode.

3 TEHNIČNE ZNAČILNOSTI OBJEKTOV IN NAPRAV ZA ZAŠČITO VODNIH VIROV

Uvod

Poleg tega, da je prisotnost podzemnih voda na večjih lokacijah ugodnost, ki omogoča biološki razvoj in zadostno oskrbo s pitno vodo, je lahko vpliv podzemne vode zaradi njenega gibanja, spremembe višine gladine in možne agresivnosti tudi zelo negativen. Zaradi tega je nujno projektirati in graditi ustrezne drenažne obrambne sisteme.

3.1 Sistemi drenažne zaščite pred vplivom podzemnih voda

Drenažni obrambni sistem lahko ščiti širšo cono večjih mest ali kmetijskih površin. Drenažni sistem pri izgradnji objektov zelo pogosto predstavlja lokalno zaščito vkopanih delov objektov (temeljna jama, podporni in temeljni zidovi, itn.). Podzemne vode so del hidravličnih ciklusov, ki v odvisnosti od reliefa in geoloških pogojev, direktno vplivajo na režim, oziroma na spremembe njihovih gibanj, pretočnih količin, višine gladine in tlaka. Vsi navedeni pogoji direktno vplivajo na izbor tipa, smeri odtekanja, dimenzije in globine izgradnje drenažnih sistemov, in sicer:

1. horizontalnih cevni drenaž in podzemnih galerij,
2. drenažnih vodnjakov,
3. vertikalnih drenaž,
4. drenažnih podkopov, in
5. kombiniranih drenaž.

Horizontalna drenaža se uporablja v primeru nizke podzemne vode in pri relativno majhnem zahtevanem znižanju višine gladine podzemne vode. Horizontalna drenaža je učinkovita v homogeni in dobro prepustni sredini, posebno v primeru, ko leži na vodonepropustnem sloju (popolna drenaža). Pri odprtem načinu izvajanja je iz ekonomskih razlogov globina polaganja horizontalne drenaže omejena od 5 m do 6 m (največ 8 m), pri zaprtem načinu izvajanja del pa globina polaganja cevi ni omejena. Med horizontalne drenaže spadajo odprti jarki, žlebi, cevne drenaže (armiranobetonske, betonske, keramične in lesene), drenažne galerije, drenažni podkopi, horizontalne vrtine.

Vertikalna drenaža se uporablja v primeru globokega gladine podzemne vode, če se zahteva večje znižanje nivoja podzemne vode. Med vertikalne drenaže spadajo vertikalni vodnjaki za znižanje nivoja podzemne vode in filtri po celi višini vodnjaka.

3.2 Horizontalne drenaže

3.2.1 Drenaže, pri katerih so cevi preluknjane prečno glede na smer cevi

Najpogostejši način drenaže objektov je postavljanje horizontalne cevne drenažne mreže ali vodozbirnih galerij. V splošnem primeru je horizontalna cevna drenaža sestavljena iz vodoprejemnega (zbirnega) in transportnega dela mreže, kot tudi iz kontrolnih vodovodnih

oken. Vodosprejemni del mreže, prek katerega se vrši odtekanje skozi sloj, ki nosi vodo, je sestavljen iz vkopanih cevi z odprtinami (na zgornji strani). Nad cevmi se formira predpisan filterski sloj. Oblika, velikost, vkopavanje in konstrukcijske karakteristike vodosprejemnega dela se izbirajo na osnovi sestava vodonosne sredine, hidravličnih karakteristik tal in ravni vkopavanja objekta, ki se zaščiti.

Vodotransportni del služi za odvod vode, katero zbirajo drenažni odseki (delovanje je isto, kot pri zaprti cevni kanalizaciji za odvod meteornih vod). To praktično pomeni, da moramo pri dimenzioniranju drenažnih vodoprejemnih kanalov za formiranje živega toka v cevi računati samo na spodnjo polovico cevi. Zgornja polovica je preluknjana in mora biti prazna, da se omogoči prejem drenažnih voda. Pri dimenzioniranju transportnih odsekov se upošteva cel profil.

Cevni material za izgradnjo drenažne mreže je lahko različen in je odvisen od globine in mesta polaganja, granulometrijske sestave vodonosnih slojev, obremenitve cevi in korozivnega vpliva okolice. Različna so lahko tudi mesta in metode izvajanja del. Najpogostejše so v uporabi keramične in betonske cevi, ki imajo krožno perforacijo, betonske porozne cevi RAUDRIL, cevi iz trdega PVC-ja ali rebraste fleksibilne drenažne cevi tipa "MIDREN".

Pri dimenzioniranju cevne mreže moramo biti zelo pozorni na to, da ustvarimo dovolj veliko pretočno moč, ekonomske premere in optimalne padce cevi, kateri bodo poleg predvidene evakuacije drenažne vode onemogočili sprotno nabiranje peska, ki lahko v nekaterih slučajih prodre v cevi skozi filterske sloje in skozi luknje v ceveh.

Preglednica 2: Predlagani nagibi v odvisnosti od premera drenažne cevi

D mm	75	100	125	150	200	250	300	350	400
e m/m	0,015	0,010	0,009	0,007	0,005	0,004	0,003	0,002	0,0015

Vir: E. Petrešin, *Vodovodni sistemi*, Ljubljana 1980

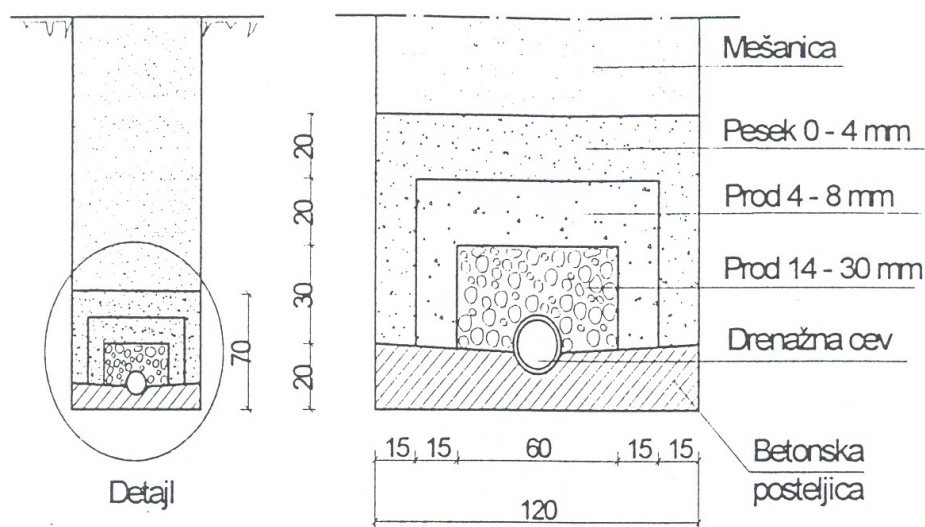
Formiranje filterskega sloja je odvisno od višine vodonosnega sloja nad drenažnimi cevmi. Višina tega sloja je med 30% in 40% višine vodonosnega sloja. Če drenaža ščiti objekt samo pred podzemnimi vodami, se nad tem slojem postavi in nabije lokalni material z glinenim zaslonom. V primeru, da drenaža ščiti objekt pred precednimi in poplavnimi površinskimi vodami, se nad filterskimi granuliranimi sloji postavi še filter iz naravne peščene mešanice brez glinenega zaslona.

V praksi je najpogostejši primer, da se drenažni sistem uporablja za zaščito pred podzemnimi vodami ter pred precednimi in poplavnimi vodami (zlasti v fazi izgradnje objekta). V odvisnosti od sloja zemlje, stopnje vodopropustnosti, višine podzemne vode, globine na kateri se nahaja neprepustni sloj in predvsem od funkcije katero mora drenaža zadovoljiti, razlikujemo naslednje tipe cevne drenaže:

1. Plavajoča precedna drenaža, ki služi za zaščito pred precednimi in poplavnimi vodami. Cevi se postavljajo v vodoprepustnem sloju, na višini potrebni za zaščito objekta ali na vodoneprepustnem sloju.

2. Plavajoča potopljena drenaža služi iskjučno za zaščito pred podzemno vodo, za znižanje nivoja podzemne vode. Cevi se postavljajo znotraj vodonosnega sloja. Voda se infiltrira v cevi od zgoraj in od spodaj.
3. Kombinirana plavajoča potopljena drenaža, ki služi za zaščito pred podzemnimi, kot tudi pred precdnimi vodami. Cevi se postavljajo znotraj sloja podzemne vode.
4. Popolna drenaža služi za znižanje nivoja podzemne vode ali za kombinirano zaščito pred podzemnimi in precdnimi vodami. Cevi se postavljajo na dnu vodonosnega oziroma neprepustnega sloja.

Slika 9 prikazuje primer drenažne zaščite vkopanega prostora.

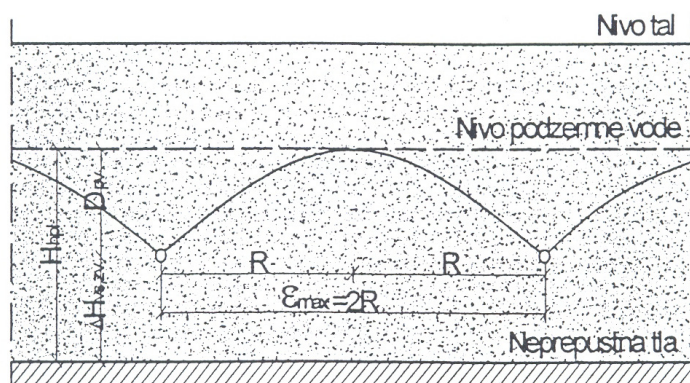


Slika 9. Drenažna zaščita vkopanega prostora s filtrom na obeh straneh cevi

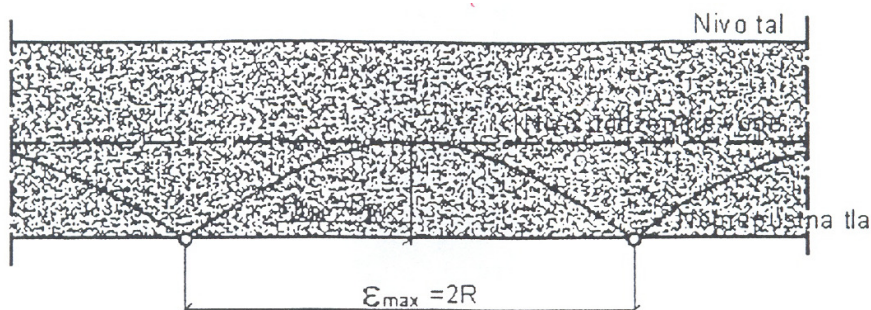
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999

Osnovna tipa horizontalne drenaže (plavajoča in popolna) sta prikazani na sliki 10 in sliki 11. Horizontalna drenaža se uporablja za dolgoročno zaščito temeljev in vkopanih etaž objektov visokogradnje, kot tudi za odvodnjavanje takozvanih posteljic pod cestami. Zaradi tega je zaželeno, da drenaža deluje na gravitacijski (težnostni) način.

V primeru, da je potrebno prčrpavanje, moramo zagotoviti 100% rezervo pri izboru agregatov za črpanje. Zagotoviti je treba tudi rezervni agregat za oskrbo z električno energijo. Trase glavnih zaščitnih drenažnih cevi se po pravilu polaga vzporedno oz. ob temeljih in podpornih zidovih. Filterski sloj moramo formirati po celi višini zidu ali do vodoneprepustnega sloja, če je ta nad dnom zidu.



Slika 10. Horizontalna plavajoča drenaža
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999

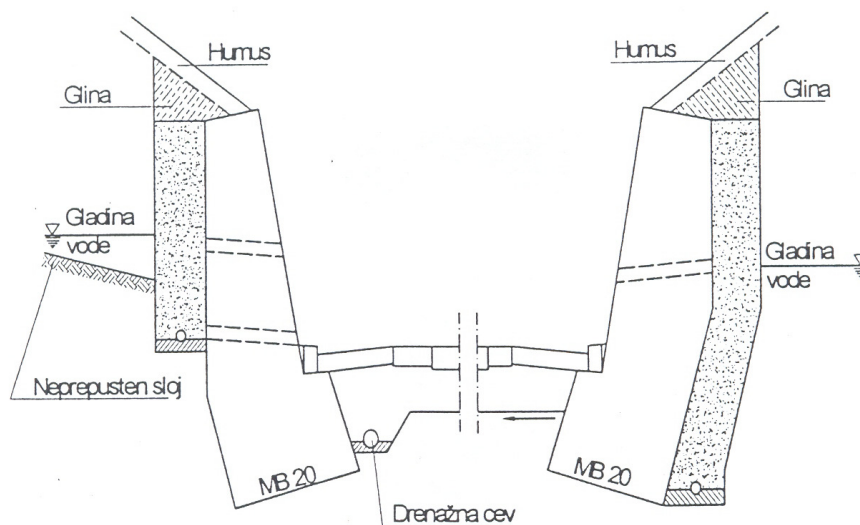


Slika 11. Horizontalna popolna drenaža
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999

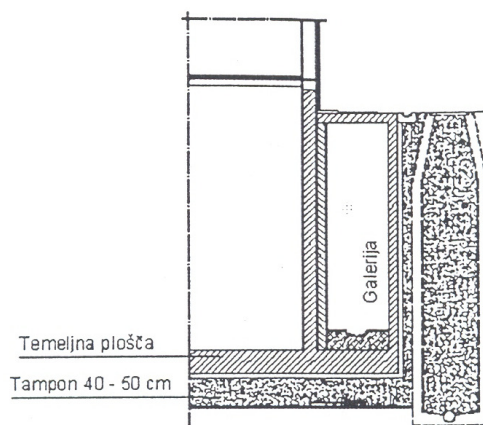
Poleg glavnih obodnih drenažnih cevi, se lahko med pasovne ali točkovne temelje vklopijo tudi sekundarne cevi, vendar s potrebnimi izračunanimi globinami, zaradi doseganja ustreznosti sistema.

3.3 Pasovne drenaže

V primeru, ko je objekt postavljen na temeljni plošči, se predvideva zaščita pred podzemnimi vodami s pasovnim drenažnim sistemom, ki objekt objame. V pasovno drenažo se voda zliva iz zunanje strani po parabolični površini, iz notranje strani pa skozi peščeni filterski tampon, ki je nameščen pod temeljno ploščo. Na ta način je omogočeno vzdrževanje in kontrola celotne drenažne mreže.



Slika 12. Odvodnavanje peščenega tampona in pribrežne strani ceste
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999



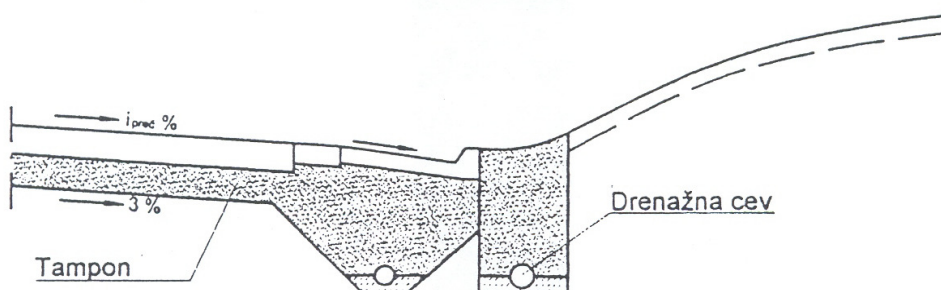
Slika 13. Zaščita objekta z vzporedno grajeno galerijo
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999

Peščeni tampon služi kot kakovostna podloga za izgradnjo temeljne plošče, kot tudi raven sloj za betoniranje le te. Služi tudi kot filterski sloj za pospešitev evakuacije podzemne vode. Debelina filterskega sloja pod ploščo mora biti med 40 do 50 cm. Površina na kateri se rasprostira prod mora imeti padec najmanj 0,5 % in mora biti fizično povezana z filterskimi spoji v obodnem rovu.

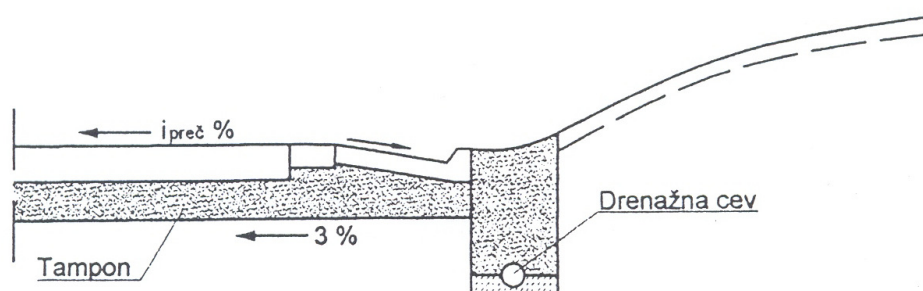
Odvodnjavanje peščenega tampona in pribrežne strani ceste v vkupu s podpornimi zidovi se rešuje z drenažo za pribrežno vodo, ki je ločena od drenaže za odvodnjavanje peščenega tampona (sl. 12).

Vkopani deli objektov se lahko ščitijo tudi z vzporedno zgrajenimi galerijami. Kombinacija obeh zaščit je idealna zaščita objektov pred vdorom vode (sl. 13).

Za odvodnjavanje peščenega tampona pod cestami in kolovozi se v primeru močnejšega priliva vode iz pribrežne strani uporablja takozvana plitka drenaža (sl. 14 in 15)

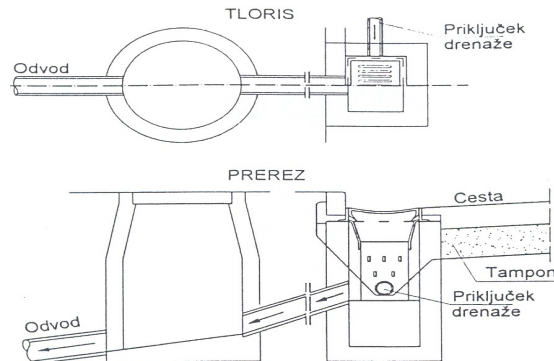


Slika 14. Odvodnavanje tampona pod cesto
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999



Slika 15. Odvodnavanje tampona pod cesto
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999

Odvodnjavanje posteljice cestne konstrukcije v mestnih urbanih središčih ali ob avtocestah se rešuje s povezovanjem drenažnih izlivov s kanali kanalizacije, ki služi za zbiranje vode iz cestne površine (sl. 16).



Slika 16. Odvodnjavanje posteljice cestne konstrukcije v mestnih urbanih središčih
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999

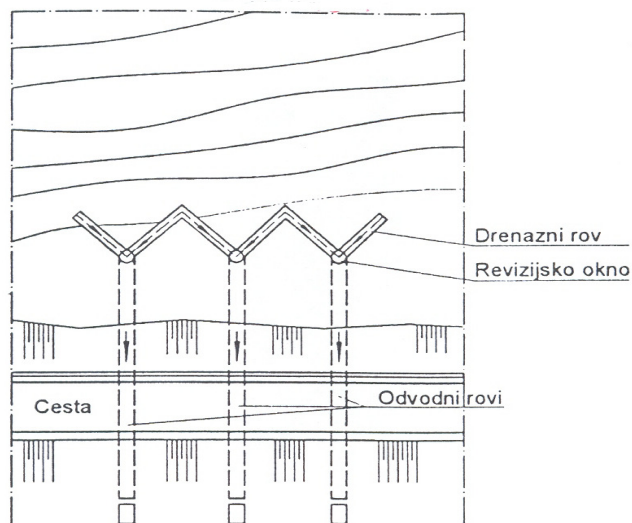
Drenažne cevi, ki se uporabljajo za evakuacijo podzemne vode iz pribrežne strani ceste (za podpornimi zidovi), se predvidevajo za odvodnjavanje nižjih slojev podzemne in precedne vode, ki se nahaja poleg ceste. Višji sloji pa se spuščajo skozi odprtine v zidu, ki so velikosti 15 x 25 cm. Horizontalni razmik med luknjami mora biti od 3 do 5 m.

3.4 Drenažna zaščita pred drsenjem zemlje

Postavljanje drenažnih cevi poleg zaščitnega temeljnega ali podpornega zidu na terenih, kjer obstaja nevarnost drsenja zemljine, lahko povzroči negativne posledice. Pri odvodnjavanju zemljišča pride do hitrih premikov terena in do zdrsa le tega. To se najpogosteje dogaja pri nestabilnih in razmočenih pobočjih. V takem primeru se mora predvideti kakovostno drenažno zavarovanje segmentnega tipa ali tipa krovne drenaže, ki sta prikazani na sl. 17 in sl. 18.

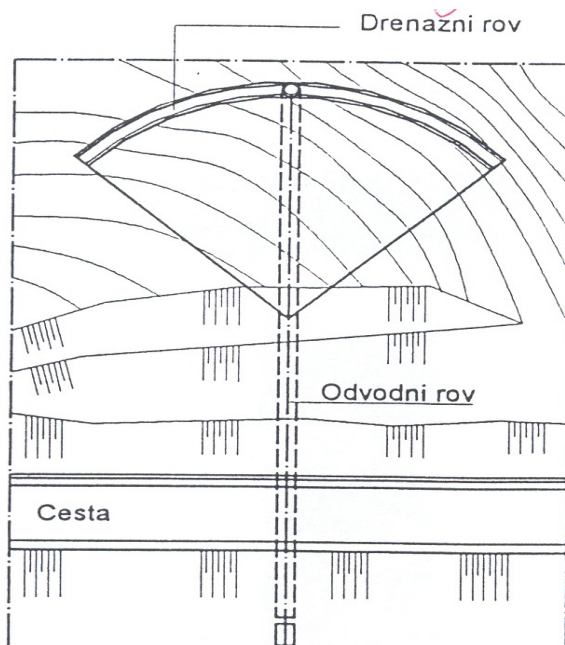
3.5 Drenažni filterski sloj

Pri izgradnji objektov so zemeljska pobočja in temeljni ali podporni zidovi izpostavljeni direktnemu vplivu mirujočih podzemnih voda ali podzemnih tokov, kateri poleg nevarnosti drsenja zemlje povzročajo tudi dodatne hidrostatske tlake. Ti tlaki pogosto povzročajo drsenje, krivljenje ali celo zlome samih zidov. Izgradnja ugodne drenaže prepreči negativne vplive saj se zniža gladina vode. Za podpornimi zidovi mora biti filtersko-drenažni rov oddaljen od obodnega pločnika okoli objekta od 1 do 2 m.



Slika 17. Drenažna zaščita segmentnega tipa
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999

V vsakem primeru mora biti drenažni rov čim bližje temeljnemu zidu. Izgradnja zaščitne drenaže ne izključuje tudi izgradnje izolacije zidov, kot dodatno zavarovanje v posebnih slučajih. Filterski sloje se izdelajo iz peščenega materiala ustrežne granulacije. Filter mora ustrezati strukturi zemljišča, saj mora hitrost gibanja vode skozi filter omogočiti učinkovito evakuacijo vode, ampak brez nevarnosti infiltracije koloidnih delcev zemeljskega materiala skozi filterske sloje, saj bi to povzročilo nabiranje mulja na filtru ali oblog v drenažnih ceveh.



Slika 18. Drenažna zaščita krovnega tipa
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999

Povzetek

V tretjem poglavju smo se omejili na drenažno zaščito posameznih objektov in naprav. Študentom so predstavljeni posamezni tipi drenažne zaščite z mehanizmi delovanja.

4 ONESNAŽEVANJE VODNIH VIROV

Uvod

V vodovodnih sistemih za oskrbo s pitno vodo se izvaja v prvi fazi notranji nadzor, ki ga izvaja nosilec dejavnosti (vodovod) oz. upravljalec. V nadaljevanju sledi še zunanji nadzor oziroma spremljanje (monitoring) pitne vode, ki ga zagotavlja Ministrstvo za zdravje. Upravljalec je izvajalec javne službe oskrbe s pitno vodo. O rezultatih notranjega nadzora vas mora upravljalec obveščati, rezultati monitoringa pa so dostopni pri upravljalcu in objavljeni na spletni strani. Če upravljalec ni določen, izvaja omenjene obveznosti upravljalca lokalna skupnost.

Upravljalci vodovodnih sistemov za oskrbo s pitno vodo, ki oskrbujejo 5000 ali več uporabnikov, morajo pripraviti letno poročilo in z njim seznaniti uporabnike preko sredstev javnega obveščanja. Poleg tega mora upravljalec obvestiti uporabnike preko sredstev javnega obveščanja:

- takoj v primerih omejitve ali prepovedi uporabe pitne vode, vključno z ustreznimi priporočili,
- ko se izvajajo ukrepi za odpravo vzrokov neskladnosti, razen če komisija za pitno vodo oceni, da je neskladnost nepomembna in
- pri dovoljenem odstopanju od mejne vrednosti kemijskih parametrov.

4.1 Hidrične epidemije v svetu in pri nas

Praviloma se hidrične epidemije pojavijo "eksplozivno", razširjajo se izredno hitro, ter zajemajo večje število ljudi na področju, ki je napajano z onesnaženo (kontaminirano) vodo. Do onesnaženja pitne vode prihaja ponavadi zaradi:

- neposrednega vdora fekalnih odplak v vodovodno omrežje,
- zaradi poškodb vodovoda na mestu križanja s kanalsko cevjo in
- zaradi zastoja vode pri transportu skozi omrežje, kar ima za posledico povišanje temperature, zaradi zastoja vode v vodovodnih objektih, kot so vodohrani, razbremenilniki itn.

Napačno je prepričanje, da zaradi notranjega nadtlaka na vodovodnem omrežju na poškodovanih mestih voda odteka samo ven. V vodovodnem omrežju je prisotna oscilacija obratovalnega tlaka. Prav sprememba obratovalnega tlaka omogoča enkrat iztok iz vodovodnega omrežja in drugič dotok zunanje onesnaženosti v notranjost cevovoda. V novejšem času se na cevovodih pojavlja takozvana frekvenčna regulacije črpalk, ki vzdržuje konstantni tlak v vodovodnem omrežju.

Tudi cevovodi z oblogami to so cevovodi v katerih je prisoten sediment ponujajo dovolj možnosti za preživetje mikroorganizmov tudi v primerih dezinfekcije vode. Prav zaradi tega se pri novih cevovodih pred priključitvijo v obratovanje priporoča izvedba "šok" dezinfekcije (čiščenje s posebnimi krtačami in nato pregled s TV kamero oziroma boreskopom).

Ugotovimo lahko, da formirani "žepi" v cevovodih predstavljajo zaščito za mikroorganizme, ki so preživeli fazo kondicioniranja in celo dezinfekcijo.

Osnovna sanitarno-higienska zahteva je, da voda ne sme vsebovati patogenih mikroorganizmov. Ta zahteva ni vedno spoštovana in mnoge epidemije so prav hidričnega pomena. Tako danes med prve opisane hidrične epidemije štejemo epidemijo kolere leta 1854 v Londonu. Leta 1872 je izbruhnila epidemija trebušnega tifusa v Loussanni, leta 1892 epidemija kolere v Hamburgu, leta 1926 griža v Detroitu, leta 1952 nalezljiva zlatenica v New Delhiju, leta 1960 amebna griža v Chicagu, letu 1971 v Istanbulu itd. Navedene epidemije so zajele zelo veliko število ljudi. V Sloveniji so od leta 1947 do 1962 registrirane hidrične epidemije tifusa in paratifusa. Po letu 1980 so registrirane predvsem hidrične epidemije griže.

4.2 Mikrobiološki vidiki pitnih vod

Mikrobiološka kontrola pitne vode ima več vidikov med katerimi so pomembnejši tisti, ki so vezani na problematiko javnega zdravstva in preventive. To so predvsem:

- ugotavljanje in ocenitev stopnje eventuelne fekalne onesnaženosti vodnega vira,
- ocena kakovosti vode ob vstopu v preskrbovalni sistem,
- ugotavljanje bakteriološke kakovosti vode z ozirom na povečano število mikroorganizmov in
- bakteriološka kontrola kakovosti vode v preskrbovalnem sistemu.

Hitrost razmnoževanja mikroorganizmov v vodi je odvisna od naslednjih pogojev:

- količina in vrsta organskih in anorganskih hranilnih snovi,
- pogoji in faktorji okolja (temperatura, pH itn.) in
- stopnja dezinfekcijskega sredstva v vodi.

4.3 Prisotnost bakterij v pitni vodi

Mikrobiološka onesnaženost pitne vode obsega zelo širok spekter. Standardna kontrola pitne vode ne vsebuje identifikacije in količinskega določanja patogenih bakterij tudi v primerih, ko je fekalno onesnaženje pitne vode očitno. Ugotavljanje patogenih bakterij je dolgotrajen in dolg postopek, večkrat tudi neuspešen. Od trenutka fekalnega onesnaženja do odvzema vzorca za bakteriološko preiskavo lahko patogene bakterije izginejo zaradi dodatne vsebnosti kisika, delovanje temperature in svetlobe. Zaradi tega pri preiskavi vode iskoriščamo pokazatelje fekalne onesnaženosti, kar pomeni ugotavljamo tiste bakterije, ki so v velikem številu prisotne v črevesju in izločkih človeka in živali. Če v vzorcih vode teh bakterij ni, lahko z veliko verjetnostjo sklepamo na odsotnost patogenih bakterij. Primarni bakterijski indikator nam predstavlja število fekalnih in nefekalnih bakterij. Prisotnost fekalnih koliformov kaže na svežo fekalno onesnaženost, kar kaže na nujnost ugotavljanja patogenih črevesnih bakterij. Prisotnost nefekalnih koliformov nam kaže na staro fekalno onesnaženje vode.

4.4 Koliformne bakterije v pitni vodi

Smernice svetovne zdravstvene organizacije (WHO) za kakovost pitne vode definirajo koliformne bakterije kot paličaste bakterije, ki lahko rastejo v prisotnosti žolčnih soli ali

drugih površinsko aktivnih snovi s podobnimi lastnostmi. Bakterije, ki imajo enake lastnosti pri 4 °C ali 44,5 °C označujemo kot fekalne (termotolerantne) koliforme.

Za ugotavljanje in štetje koliformnih bakterij v pitni vodi uporabljamo dva postopka, in sicer:

- metodo multiplih epruvel (MF). Z multiplimi fermentacijskimi testi določimo verjetnostno število koliformnih bakterij v 100 ml vode. Verjetnostna kalkulacija temelji na predpostavki, da so bakterije naključno ali slepo razporejene po vzorcu vode ter da se vsaka posamezna za življenje sposobna bakterija v gojišču, ki vsebuje fermentativni sladkor laktozo, prične razmnoževati,
- metodo membranske filtracije.

4.5 Virusi v pitni vodi

Virusi ne predstavljajo normalno črevesno floro, kot so to koliformne bakterije. Viruse izločajo okuženi posamezniki, predvsem otroci v šolskem in predšolskem obdobju. Številne raziskave so potrdile prepričanje, da so virusi veliko bolj odporni proti dezinfekciji s klorom, kot so to koliformne bakterije.

V primerih, ko pitna voda ne vsebuje koliformnih bakterij in je prisoten prosti klor takrat virusi niso prisotni. V primerih, ko voda vsebuje večje količine organskih snovi in nima klora ne moremo trditi, da v pitni vodi ni virusov celo v primerih, ko nismo našli koliformnih bakterij. Pitna voda je ustrezno obdelana proti virusu takrat, ko je opravljena dezinfekcija z najmanj 0,5 mg/l prostega klora pri kontaktnem času najmanj 30 min in vrednosti pH < 8.

Učinkovito dezinfekcijsko sredstvo proti virusom za bistro vodo je prosti ozon in sicer pri koncentraciji od 0,2 do 0,4 mg/l, ter ob kontaktnem času 4 min. Za ugotavljanje biološke kontaminacije z virusi je najbolj občutljiv virus test. Ocenjujemo, da v pitni vodi ni virusov, če voda ne vsebuje niti ene virusne enote.

4.6 Bakteriofagi v pitni vodi

Bakteriofagi ali bakterijski virusi nam služijo, kot indikator fekalnega onesnaževanja vode še zlasti v primerih kjer bakterijskih indikatorjev zaradi manjše odpornosti proti ekološkim razmeram v vodi ni več mogoče dokazati. Bakteriofagi so pomembni tudi v primerih retrogradnega vzorčnega ugotavljanja povzročiteljev hidričnih epidemij. Bakteriofagi nas lahko opozorijo na možno virusno kontaminacijo vode.

Številne raziskave v svetu nakazujejo možnost, da odsotnost bakteriofagov v vzorcu vode pomeni tudi odsotnost enterovirusov oziroma, da pri velikih koncentracijah bakteriofagov lahko z gotovostjo sklepamo na prisotnost enterovirusov.

Kljub temu, da najboljši indikator virusne kontaminacije ne more zamenjati postopka direktne izolacije virusov, za kar potrebujemo ustrezne laboratorije so bakteriofagi bolj primerni za rutinske analize pri katerih potrebujemo hitro rezultate.

Z visokoločljivostno spektrometrijo gama VLG, in z uporabo metod koncentracije, kar je pri vodi izhlapevanje pri nizkih temperaturah, je mogoče ugotavljati prisotnost velike večine radionuklidov ali sevalcev gama tudi neposredno v vzorcih iz okolja. V okolje prihajajo tudi

radionuklidi ali čisti sevalci beta. Za vodo sta pomembna Sr-90 in H-3, kar zahteva kombiniranje metode VLG s specifičnimi radiokemičnimi metodami. Pri radiološki zaščiti okolja pred umetnimi viri sevanja je potrebno upoštevati načelo, ki je v osnovi usmerjeno na zmanjševanje obremenitev v okolju, kar zahteva pravočasno uvedbo ustreznih preventivnih ukrepov. Za pitno vodo je to izgradnja filtrov pred vodohrani ali padavinskimi vodami. Ti filtri so se med nesrečo v Černobilu izkazali kot zelo učinkovit zadrževalec cezijevih radionuklidov. Tudi pri pitnih mineralnih vodah katere v osnovi kažejo visoko obremenjenost z naravnimi radionuklidi še posebej z Ra-226 moramo s pomočjo filterskih naprav zmanjšati njihovo obremenjenost.

4.7 Onesnaževanje podtalnice

Onesnaženje voda je nasplošno zelo širok pojem in pod njim razumemo zmanjšanje obstoječe kakovosti vode zaradi naknadno sprejetih snovi. V osnovi pod vplivom onesnaženja nastopi zmanjšanje kakovosti vode in sicer fizikalnih, kemijskih, bioloških in radioloških lastnosti. Pod zmanjšanjem kakovosti vode razumemo tudi že spremembo na slabše vseh ali samo enega od navedenih parametrov. Pod onesnaženjem pitne vode razumemo tudi to, da je nadaljnja uporaba vode v pitne namene zdravju škodljiva.

Onesnaženje površinskih voda permanentno narašča z razvojem urbanizacije in industrije, ter že danes dosega izredne razmere. Enako usodo doživlja tudi podtalnica. Na žalost tega ne moremo ugotoviti za podtalnico katere je osnovna karakteristika počasen pretok. Zaradi počasnega pretoka je tudi počasno širjenje onesnaženja. Prav zaradi te lastnosti podtalnico moramo obravnavati, kot poseben ekološki problem z daljnosežnimi posledicami.

Primere onesnaženja podtalnice na žalost zasledimo tudi pri nas v Mariboru, Celju, Ljubljani in drugih vodovodih. Načini preskrbe s pitno vodo so naslednji:

- individualni (kapnice, vodnjaki itn.),
- javni (z vodovodnimi sistemi),
- večji izviri (zajem vode nad minimumom),
- podtalnica,
- podzemeljske vode (kras),
- površinske akumulacije (dolinske pregrade),
- reke in jezera in
- desalinizacija morja.

4.7.1 Načini onesnaževanja podtalnice

Pri možnih načinih onesnaževanja podtalnice ločimo:

- fizikalno onesnaženje,
- kemijsko (organsko in anorgansko) onesnaženje,
- biološko (mikrobiološko onesnaženje) in
- radiološko onesnaženje.

Fizikalno onesnaženje se izraža pri povečanju temperature vode, pojav motnosti, pojav barve ali okusa in vonja vode. Sprememba temperature podtalnice zaradi zunanjih vplivov ne predstavlja bistvenih težav za njeno izkoriščanje. Motnost je bolj značilna za kraške vode in manj za podtalnico. Naravni procesi filtracije skozi porozno sredino in prehod vode skozi filterske sloje vodnjaka bistveno prispevajo k zmanjšanju motnosti v obliki suspenzij. Barva, okus in vonj so predvsem manifestacije fizikalnih onesnaženj.

Kemijsko organsko onesnaženje je predvsem produkt intenzivnega razvoja organske kemije in uporabe njenih produktov v industriji, kmetijstvu ter gospodinjstvu. Zelo pogosto srečamo organska onesnaženja z nafto, fenoli, kislinami itn. Med kemijsko anorganska onesnaženja štejemo onesnaženja z kromom, bakrom, svincem itn.

Biološko ali mikrobiološko onesnaženje podtalnice se manifestira v obliki prisotnosti patogenih bakterij, virusov in drugih mikroorganizmov v vodi. Največji del mikroorganizmov je v bližini izvora onesnaženja in se počasi razširja s filtracijo skozi porozno sredino.

Radiološka onesnaženost podtalnice je posledica kontakta podtalnice z naravnimi radioaktivnimi elementi v rudnikih, ter kontakta podtalnice v skladiščih radioaktivnih odpadkov, uporaba nuklearnega orožja, nesreče jedrskih central in podobno.

Z ozirom na rezultate raziskav v USA so registrirane naslednje oblike in pogostost onesnaženja podtalnice. Podatki v preglednici 4.1. nas opozarjajo na nujnost uvajanja čistilnih naprav brez katerih ni aktivne zaščite okolja. Poleg industrijskih odpadnih vod močno onesnaženje okolja dosežejo tudi komunalne odpadne vode.

Preglednica 3: Procentualni deleži onesnaženja podtalnice v USA v zadnjem obdobju

zap. št.	ONESNAŽEVANJE	POGOSTNOST (%)
1.	Industrijske odpadne vode	31
2.	Nafta in naftni derivati	18
3.	Organske odpadne snovi	15
4.	Kloridi (v zimskem času soljenje cest)	13
5.	Deponija komunalnih odpadkov	7
6.	Hlevski gnoj (uporaba)	3
7.	Pesticidi (skladiščenje in uporaba)	2
8.	Radioaktivni odpadki	2
9.	Odpadne vode rudnikov	1
10.	Neznani povzročitelji	8

Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999

Intenziteta onesnaženja podtalnice, ter razširjenje onesnaženja v tleh je v veliki meri odvisno tudi od tipa izvora onesnaženja. Izvori onesnaženja se ločijo med seboj po načinu delovanja in obliki. Način delovanja onesnaženja je lahko:

- aktivno ali
- potencialno.

Aktivni izvor onesnaženja predstavlja infiltracijo onesnaženja v podtalnico in je lahko permanentno ali občasno. Permanentno onesnaženje podtalnice pomeni v času opazovanja neprekinjeno ali kontinuirano onesnaževanje (infiltracija onesnaženosti v podtalnico iz kontaminiranih rek). Med občasno onesnaženje podtalnice štejemo razna gnojila na kmetijskih površinah in podobno.

Potencialne izvore onesnaženja predstavlja kanalizacijsko omrežje (problematika vodotesnosti stikov), transport nafte po cevovodih in drugo.

Z ozirom na obliko izvora onesnaženja ločimo:

- točkovna,
- linijska in
- površinska onesnaženja.

Točkovno onesnaženje predstavlja onesnaženje na enem mestu (nevodotesna greznica). Linijski izvor onesnaženja je vzdolž premice ali krivulje (onesnaženi odprti kanali ali vodotoki).

Površinske izvore onesnaženja predstavljajo večje površine s katerih se infiltrira onesnaženost v podtalnico (gnojila na obdelovalnih kmetijskih površinah).

4.7.2 Mehanizem onesnaževanja podtalnice

V velikih primerih se podtalnica izkorišča za pitne namene. Izkoriščanje plitve podtalnice je tehnično enostavno in ne zahteva velikega finančnega vlaganja. V plitvi podtalnici se izvajajo popolni in nepopolni vodnjaki za individualno preskrbo s pitno vodo. Za javno preskrbo s pitno vodo v plitvi podtalnici se izvajajo tudi razne oblike drenaž ali galerije, ki omogočajo zajem večjih količin pitne vode. Plitve podtalnice so tudi najbolj ogrožene pred onesnaženjem. Do onesnaženja podtalnice najpogosteje pride z:

- infiltracijo onesnaženosti skozi konstrukcijo vodnjaka,
- vertikalno infiltracijo onesnaženosti,
- medsebojno onesnaženje posameznih vodnih plasti in
- infiltracija slane vode v podtalnico zaradi razlike tlaka.

Na sliki 19 si lahko ogledamo nekatere možnosti onesnaženja podtalnice. Mehanizme onesnaženja je lažje definirati v primerih, ko poznamo hidrogeološke razmere, efektivno poroznost, hidravlični gradient itn. V osnovi se onesnaženost giblje v isti smeri kot podtalnica in je lahko enaka ali manjša od hitrosti toka podtalnice.

Oznake na sliki 19 imajo naslednji pomen:

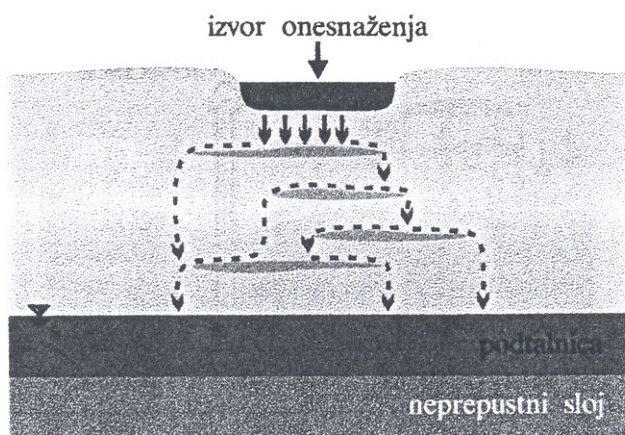
1. Padavine na poti skozi zrak pobirajo plinske in prašne delce
2. Izhlapevanje
3. Izpust industrijske odpadne vode v laguno in infiltracija v podtalnico
4. Odlagališče smeti
5. Površinski odtok
6. Tok podtalnice

7. Kmetijska dejavnost z uporabo herbicidov in pesticidov
8. Onesnažen površinski vodotok
9. Predelava in skladiščenje nafte
10. Odvod odpadnih vod v podtalnico
11. Skladiščenje nevarnih industrijskih odpadkov
12. Odvzem pitne in tehnološke vode iz podtalnice.

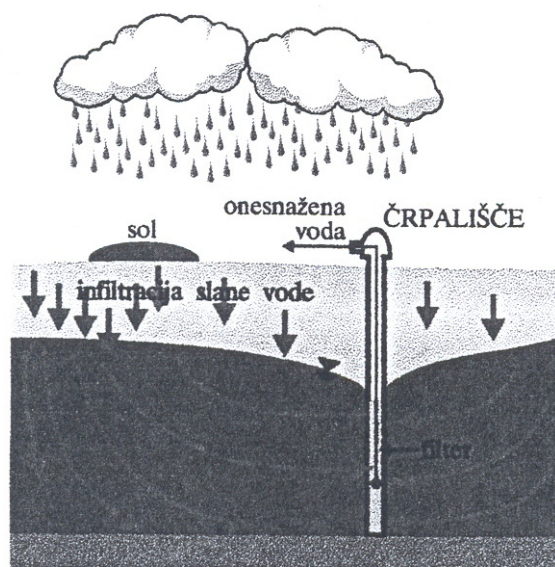


Slika 19. Najbolj pogosti primeri onesnaženosti podtalnice
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999

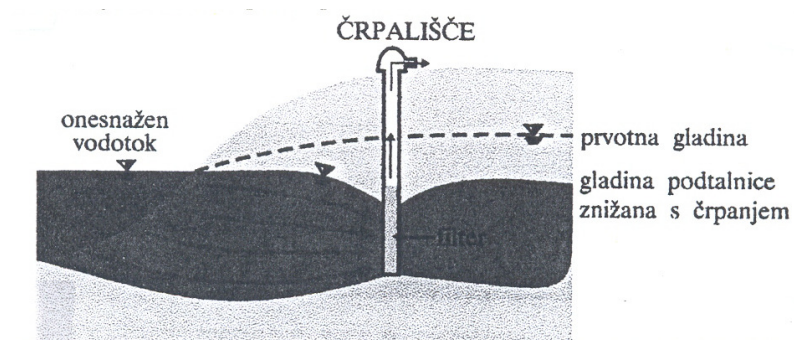
V nadaljevanju si lahko ogledamo še nekaj značilnih načinov onesnaženosti podtalnice:



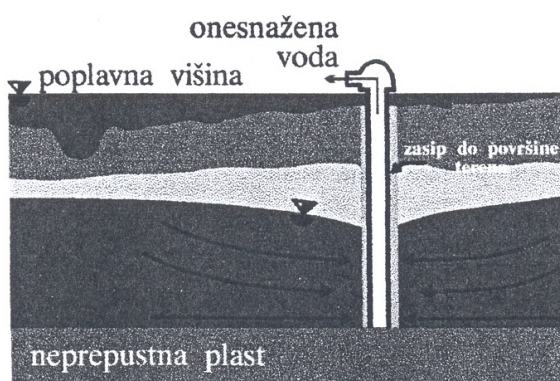
Slika 20. Gibanje onesnaženosti skozi cono z glinenimi "lečami" v podtalnico s prosto gladino
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999



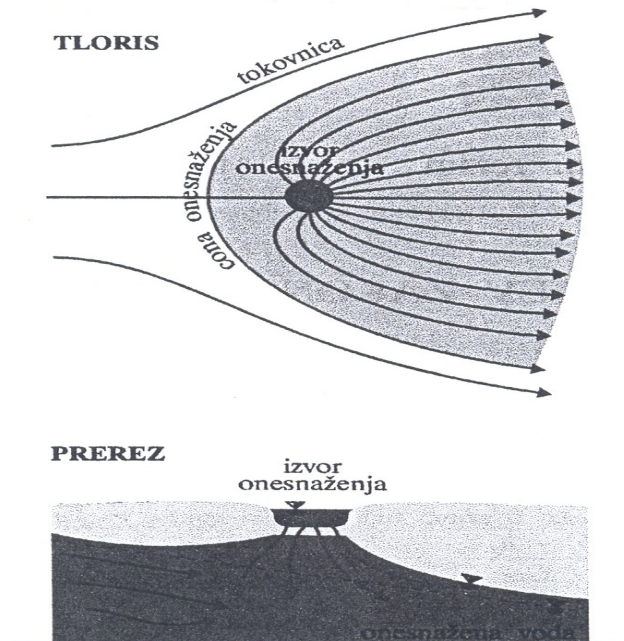
Slika 21. Infiltracija slane raztopine v podtalnico
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999



Slika 22. Infiltracija onesnažene rečne vode v vodnjak pitne vode
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999



Slika 23. Primer onesnaženja, ko imamo namesto vodnjaka obrežni zajem z drenažo ali galerijo pod vplivom poplavne vode
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999



Slika 24. Gibanje onesnaženja iz točkovnega izvora v podtalnico s prosto gladino
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999

Povzetek

Odgovorno obnašanje kot del celovitega odnosa do okolja, na primer spoštovanje režima določenega na vodovarstvenih območjih, lahko prispeva k ohranjanju in izboljšanju kakovosti pitne vode. Ko priteka v objekt zdravstveno ustrezna pitna voda, se lahko v hišnem omrežju (to je cevna napeljava v hiši, bloku ...), njena kakovost hitro poslabša. S pravilnim ravnanjem lahko to preprečimo tako, da:

- v prvi fazi dobro poznamo interni sistem za oskrbo s pitno vodo,
- poteka pravilno vzdrževanje vodovodnega sistema in da
- po posegih opravimo dezinfekcijo v ocevju.

Četrto poglavje zajema mikrobiološke vidike pitne vode, kjer so prisotni tako virusi, bakterije kot bakteriofagi. Prav tako so predstavljeni tudi posamezni mehanizmi onesnaževanja podtalnice.

5 POSTOPKI IN TEHNIČNE KARAKTERISTIKE PRIPRAVE IN ČIŠČENJA ODPADNIH VODA

Uvod

Pri spremljanju kakovosti pitne vode razdelimo parametre na mikrobiološke, kemijske in fizikalne. Zaradi najpogostejših akutnih posledic je največja pozornost posvečena mikrobiološkim parametrom. Kemijske snovi so običajno prisotne v nižjih koncentracijah in so predvsem povezane z možnimi kroničnimi učinki. Pri vsaki detekciji pa moramo seveda, poleg neposrednih nevarnosti, ki jih lahko posamezna presežena vrednost parametra povzroča, pretehtati tudi indikatorski pomen pojava in seveda dinamiko, ali gre za enkratni pojav, stalen pojav, naraščanje itd. Odstopanja bodo vedno s seboj prinašala zdravstvena tveganja. Zdravstvena tveganja bomo bolje razumeli in jih reševali, če bomo pitno vodo bolje spoznali. Zavedati pa se moramo, da je ocena posameznega vzorca le odsev trenutka, za oceno dejanskega stanja je potrebno stalno spremljanje.

Dezinfekcija pitne vode je postopek s katerim uničujemo bolezenske mikroorganizme. Z dezinfekcijo pitne vode preprečujemo širjenje nalezljivih bolezni, ki jih povzročajo mikroorganizmi, ki se prenašajo s pitno vodo. Zaradi tega je tako nujen postopek pri pripravi pitne vode.

5.1 Postopki čiščenja odpadnih voda

Zakon o varstvu okolja in zakon o vodah ter druga v Uradnem listu objavljena strokovna navodila v svojih določenih predpisujejo varstvo voda kot "naravno javno dobro".

5.1.1 Biološko čiščenje odpadnih vod

Kadar se neprečiščena odpadna voda odvede direktno v površinski odvodnik z nizkimi odvodnimi hitrostmi, oziroma, če se odvede v zaježitveno območje takšnega odvodnika, tvorijo usedljive snovi v odpadni vodi gnijoče - blato. Če se usedljive snovi zaradi spremenjenih hidravličnih pogojev dvignejo, povzročijo zaradi svoje razgradnje hiter padec koncentracije kisika. Na isti način porabljajo snovi v odpadnih vodah kisik v usedalniku. Z biološko razgradnjo organskega blata s porabo kisika mikroorganizmi pridobivajo energijo za svojo rast. Odsotnost kisika v fazi usedanja pa privede nadalje do eliminacije mikroorganizmov.

Pomanjkanje kisika v vodah vpliva na spremembo sestave življenskih združb (biocenoze). Življenske oblike, ki so odvisne od dobre oskrbe s kisikom, se pri tem nadomestijo z manj prilagojenimi vrstami. Sunkovit padec kisika v vodah (npr. zaradi povečanja sedimentov) privede do odmiranja vseh od kisika odvisnih živih organizmov (npr. pogin rib). Usedline ter zamuljenost dna privedejo do spremembe rečne morfologije. Oblike življenja, ki so odvisne od prodnatega dna, izpodrinejo manj zahtevni organizmi. Zmanjša se tudi število različnih vrst organizmov. Samočistilna sposobnost odvodnika je potrebna tudi pri dobro delujočih čistilnih napravah za razgradnjo ostanka onesnaženja, ki se z iztokom dovaja vanj. Pri intenzivnem dovodu odpadne vode v bazen pride postopoma do zaviranja samočistilne sposobnosti odvodnika.

5.1.2 Potreba po nitrifikaciji

V odpadni vodi vezane dušikove spojine ter mikrobiološki procesi presnove so odločilnega pomena tako za področje varstva voda, kakor tudi za delovanje čistilnih naprav. Obdelavi dušikovih spojin je potrebno v tem kontekstu posvetiti prav posebno pozornost. Dušik pride na čistilno napravo z organsko vezanimi dušikovimi spojinami (N) ter amonijačnim dušikom ($\text{NH}_4\text{-N}$). Ti dve vrednosti izražamo pogosto s parametrom imenovanim totalni Kjeldahl-ov dušik (TKN). V komunalnih čistilnih napravah se cca. 90 do 95 % dovedenega dušika v postopku obdelave spremeni v amonijačni dušik $\text{NH}_4\text{-N}$. Če v bazenih z ozračevanjem ne pride do oksidacije amonijačnega dušika v nitratni dušik ostane dušik v svoji reducirani obliki na celotni poti skozi čistilno napravo. V odvodniku pride zaradi tega do reducirane dušikove spojine zaradi delovanja mikroorganizmov ter porabe kisika v odtočnih vodah.

Ta pojav označimo kot nitrifikacija. Poraba kisika pri nitrifikaciji zmanjša vsebnosti kisika v vodah. Dodatna nevarnost se pojavlja pri pH vrednostih, pri katerih pride do pretvarjanja amonija v amonijak. Amonijak se namreč vede že pri zelo majhnih koncentracijah močno toksično za žive organizme, predvsem ribe ter njihov zarod. V ekstremnih primerih lahko pride do pomora rib v vodotoku.

Pri nadzorovani nitrifikaciji v komunalnih čistilnih napravah moramo aktivnemu blatu namensko dodajati posebne bakterije. Te bakterije, ki opravijo nitrifikacijo amonijevega dušika, rastejo počasneje kot bakterije, ki razgrajujejo ogljikove spojine. Zaradi tega jih dodajamo šele takrat ko dosežemo primerno starost blata.

5.1.3 Potreba po denitrifikaciji

Odpadni vodi ne odvezemamo drugega dušika, kot tistega, ki ga potrebujejo organizmi v aktivnem blatu za prirastek celične mase. V postopku nitrifikacije se dušik spremeni v obliko, ki manj obremenjuje deluje na odvodnik. Zaradi obratovalnih ter vodnogospodarskih vidikov je tako smiselno načrtno izločanje dušika iz odpadnih vod.

Dušik je rastlinsko hranilo, ki prispeva k eutrofikaciji površinskih vod, kar pomeni povečevanje rastlinskega prirastka. Vsak prekomeren prirastek dušika tako v tekočih vodah zaradi razgradnje biomase zmanjšuje količino kisika. Preko tekočega odvodnika pride dušik v podtalnico, kar lahko pri pitni vodi privede do povečane vsebnosti nitratov.

Izločanje dušika se opravi po nitrifikaciji v bazenih z aktivnim muljem s procesom denitrifikacije. Po pretvorbi dušika v nitratni dušik $\text{NO}_3\text{-N}$ lahko z namenskim koriščenjem mikrobiološke izmenjave snovi oksidirani dušik reduciramo na N_2 , ki v plinskem stanju uhaja v atmosfero. Iz obratovalnih razlogov je tako smiselno po izvršeni nitrifikaciji uvesti še denitrifikacijo. Z denitrifikacijo se namreč del kisika, ki se je porabil pri nitrifikaciji za razgradnjo ogljikovih snovi pridobi zopet nazaj.

Pri nekontroliranih procesih denitrifikacije se lahko v sekundarnem usedalniku čistilne naprave pojavijo plavajoči kosmiči blata. Učinek čiščenja čistilne naprave se lahko z padcem pH vrednosti zaradi nitrifikacije zmanjša.

5.1.4 Izločanje fosforja

Organske fosforne spojine se navadno pojavljajo samo v obliki sledov raztopljenih v vodi. Fosfor predstavlja esencialno hranilo pri primarni produkciji ter nastopa pogosteje kakor dušik. Pri nastajanju celične substance potrebujejo organizmi različne elemente ter različne koncentracije elementov. Substanca, ki jo potrebujemo za optimalno koncentracijo mikroorganizmov se ponavadi pojavlja v manjših koncentracijah, s čimer omejuje hitrost rasti. Stalno dodajanje fosforja v vodotoke pospešuje evtrofikacijo. Določen del fosforja se organsko vezan pojavi v sedimentu, ki ga lahko zopet sprostimo ter uporabimo kot rastlinsko hranilo. Na prebivalca pride preko ostankov hrane ter izločkov, kakor tudi preko pralnih sredstev cca. 1,9 do 2,5 g fosforja v litru odpadne vode na dan.

5.2 Čiščenje odpadnih vod s pomočjo usedanja

Usedanje ne spada k biološkemu čiščenju odpadnih vod, vendar ga je potrebno zaradi povezanosti sistema upoštevati pri vrednotenju nadaljnih bioloških stopenj. Pred biološkimi stopnjami postavljene usedalne naprave (primarni usedalniki) pripomorejo k razbremenjevanju bioloških stopenj, kar posledično vpliva na zmanjševanje volumnov bazenov. Razlikujemo:

- usedalnice s popolnim praznjenjem,
- usedalnice konične oblike in
- bazene za odstranjevanje mulja (primarni usedalniki).

Odvečno blato lahko glede na končno koncepcijo obdelave blata prav tako primerno obdelamo. Za usedanje se predvidi okrogli ali pravokotni bazen s pretežno horizontalnim pretokom. V fazi gradnje lahko primarne usedalnice koristimo tudi kot sekundarne usedalnice.

5.3 Procesne tehnike pri vnosu kisika

Namen prezračevanja pri postopkih s poživljanjem je vnos kisika za oskrbo aerobnih bakterij. Hkrati zagotovimo mešanje odpadne vode s poživljenim blatom. Načini konvencionalnega prezračevanja so:

- prezračevanje s finimi mehurčki (stisnjen zrak),
- površinsko prezračevanje (površinske turbine, plavajoče cevi za prezračevanje) in
- prezračevanje s kisikom.

Pri vseh naštetih tehnikah je dovajanje zraka ter mešanje v bazenih sočasno. Prednost tehnik, pri katerih se vnos kisika ter mešanje v bazenih izvaja ločeno, je boljša izkoriščenost ter lažje projektiranje delovanja posameznih sklopov. Oblika bazena je odvisna od vrste izbranega načina prezračevanja ter od vrste naprav za prezračevanje. Medsebojno morata biti primerno usklajena, saj lahko le tako dosežemo dobro mešanje odpadnih vod s poživljenim blatom, ki ji glede na željeno stopnjo čiščenja dovedemo potrebno količina kisika. Prav tako moramo paziti, da v bazenih za poživljanje ne pride do usedanja blata. To preprečimo s hitrostjo mešanja, ki naj bo pri dnu bazena večja od 0,25 m/s.

5.3.1 Prezračevanje s stisnjenim zrakom

Prezračevanje se vrši z dovajanjem drobnih mehurčkov v bazen za poživljanje. V bazenih z vzdolžnim tokom se za prezračevanje uporabljajo filterske cevke. Količina dovedenega kisika pa odvisi od:

- vrste odpadnih vod,
- globine vpihovanja,
- optimalnega pretoka zraka skozi prezračevalec in
- velikosti mehurčkov izhajajočega stisnjenega zraka.

Količina dovedenega kisika je sorazmerna globini vpihovanja do cca. 5 m. Porazdelitev odpadne vode se lahko regulira s prelivnimi robovi ali z zasuni.

Pri ustrezni izbiri učinka puhal lahko dosežemo zelo dobro prilagajanje nihajoči potrebi po kisiku. Precizna regulacija učinka puhal ni potrebna, saj so pri vnosu kisika podane meje natančnosti, ki kažejo, da se pri majhnih napravah zniža učinek vpihovanja. Zmogljivost puhal se nastavi na tlak največ 5 bar, kar znaša približno 20 % več, kot je potrebno pri obratovanju. Tako je pri zagonu na razpolago zadostna rezerva, ki je zadovoljiva tudi pri nenadnem povečanju tlaka. Vnos kisika se vrši kontinuirno, saj se celokupna odpadna voda v intervalih po 30 s znova vodi k prezračevalnikom. Koncentracija kisika je tako na vsakem mestu ista. Globinsko vpihovanje omogoča dobro cirkuliranje (ni usedanja na dnu bazena za poživljanje). V kolikor se vodna masa v bazenu za poživljanje privede do gibanja, le-ta rotira brez bistvenega povečanja dovoda energije.

Tudi izpad puhal ne povzroči prekinitve biološkega čiščenja v bazenu. Na površini ne pride do razprševanja vode ter s tem do ohlajevanja medija pri nižjih zunanjih temperaturah. Prav tako veter ne more razpršiti finih vodnih kapljic.

5.3.2 Površinsko prezračevanje

V vzdolžnih, prečno prezračevanih bazenih se uporabi večje število krožnih turbin. Večje oblike valjev se uporabljajo predvsem v manjših oksidacijskih jarkih. Pri dovajanju zadostne količine kisika smo omejeni, saj jo lahko dovajamo v relativno majhen del bazena. Šele razvoj mamut motorjev je omogočil razvoj večjih obtočnih bazenov. Vtok v bazen je pred rotorjem, iztok se vrši preko zapornice. Krmiljenje dovoda kisika poteka preko gibljive zapornice z povezavo z avtomatskim merjenjem kisika v bazenu za poživljanje (regulacija potopne globine).

Na podlagi različnih konstrukcij ter učinkov krožnih turbin moramo več ali manj prilagoditi obliko bazena za mešanje tipu krožne turbine. Krožne turbine lahko pritrdimo na betonske ali kovinske stebre, na mostne konstrukcije ali pa so plavajoče ter sidrane na mestu. Vnos kisika pri krožnih turbinah pa odvisi od:

- potopne globine,
- obodne hitrosti,
- premera turbine in
- dimenzij bazena.

Pri takšnem prezračevanju se v bazenu pojavi spiralni tok, katerega vrsta je odvisna od učinka turbine ter oblike in velikosti bazena. Nadaljnje regulacije dovoda kisika so možne na podlagi spremembe števila obratov ter potopne višine prezračevalnika.

Iz aeracijske turbine odtekajoči vodni curki izhajajo v različnih dolžinah na celotnem območju kroga na vodno površino ter povzročajo valovitost celotne vodne površine. Zaradi močno povečane vodne površine pride do stalnega stika velikega števila vodnih kapljic z zrakom, kar poveča kontaktni čas vode in zraka. Voda pri padanju skozi zrak absorbira velike količine kisika. Padajoči curek ob vodno površino še dodatno poveča prezračevanje odpadne vode na vodni površini. Plinska izmenjava je hitra. Raztopljen kisik kakor tudi fini zračni mehurčki, ki pri tem nastanejo se zaradi intenzivnega obtoka enakomerno porazdelijo po celotnem bazenu.

5.3.3 Prezračevanje s kisikom

Topnost nekega plina v vodi je po Henry-evem zakonu odvisna od tlaka plina ter mu je direktno sorazmerna. Ker znaša parcialni tlak kisika v zraku 160 torrov, pri čistem kisiku pa 760 torrov, je možno 4,8 kratno povečanje koncentracije kisika. Zaradi tega lahko pri postopkih s kisikom uporabimo dosti manjše količine v primerjavi s konvencionalnimi postopki z zrakom. Te male količine plina pa seveda ne zadoščajo za zadostno turbulenco (mešanje) v bazenu za poživljanje. Zaradi tega moramo dovesti dodatno energijo za pogon mešal turbin. Zaradi večje količine raztopljenega kisika nam oskrba flokul blata s kisikom ne predstavlja omejevalnega faktotja. Ugotovljeno je, da pri postopkih z kisikom dosežemo večje koncentracije poživiljenega blata v aeracijskih bazenih. To pomeni, da pri istem volumnu bazena pade obremenitev z blatom, kar ima za posledico ugodnejše pogoje razgradnje. Pri isti obremenitvi z blatom lahko zmanjšamo volumen bazena. Prav tako so pri teh postopkih napram klasičnim manjše tudi količine plinov, ki izhajajo iz vode. V določenih primerih kot napr. pri industrijskih odpadnih vodah je to velika prednost, saj se zmanjša možnost nastanka neprijetnih vonjav ter s tem dodatnega obremenjevanja okolja. Samo 20 % količine dovedenega plina se izpusti kot odpadni plin iz naprave. To je manj kot 1 % vseh količin, ki nastanejo kot odpadni plini pri konvencionalnih postopkih z zrakom. Ozračevanje s kisikom izvajamo na več načinov. Pri večini postopkov se kisik dovaja iz s kisikom obogatenih plinskih mešanic, v mešanico odpadne vode ter blata pri čemer so v ospredju plinotesni eno ali več bazenski objekti kaskadne izvedbe. V nekaterih primerih se lahko dodaja tudi s kisikom obogaten zrak. Oblika bazena je podobna konvencionalnim bazenom za poživljanje. Pri več bazenskih napravah se drug za drugim razporedijo dva, trije ali štirje bazeni, ki so med sabo ločeni s steno. Kisik se preko cevi dovaja v plinski prostor prvega bazena. Za nadaljnje ozračevanje sosednjih bazenov služijo odprtine v vmesnih stenah bazenov. Vnos kisika se v splošnem vrši z istimi napravami kot pri klasičnih postopkih. V nekaterih primerih so bile razvite posebne naprave za prezračevanje. Količina dovedenega kisika se kontrolira z merjenjem kisika v bazenu za poživljanje ali pa s tlakom v plinskem prostoru. Z avtomatsko delujočo dozirno napravo se doseže maksimum izkoriščenosti porabe kisika. V posameznih bazenih pride do recirkulacije kisika, kar ima za posledico, da ga lahko večkrat dovajamo v mešanico odpadne vode ter blata. V več bazenskih napravah lahko dodatno stopenjsko izkoriščamo zaporedno vezane bazene. Plinski tok se, pogojen od bioloških procesov razgradnje v bazenu za poživljanje obogati z ogljikovim dioksidom. Pri eno bazenskih napravah se zaradi tega del plina odvede iz naprave. Pri več bazenskih napravah pa zaradi

tega pojava celoten odpadni plin odvedemo iz zadnjega bazena v atmosfero. Z dodatnimi pripravami lahko iz plina v celoti odstranimo ogljikov dioksid. Pri nekaterih napravah se ne poslužujemo pokritja bazena za poživiljanje. Pri tem dovedemo kisik v mešanico odpadne vode in blata s posebnimi napravami za prezračevanje.

Obstaja mnogo faktorjev, ki vplivajo na končne rezultate čiščenja. K najpomembnejšim štejemo koncentracijo ter velikost flokul, ki jih tvorijo bakterije. Da zagotovimo učinkovitost aktivnega blata, je poleg zadostne oskrbe biomase z organskimi substrati, kisikom ter hranljivimi snovmi potrebno tudi učinkovito ločevanje odpadnih vod od blata, ki jo izvedemo v sekundarnih usedalnikih. Prav tako se je ugotovilo, da pri dovajanju čistega kisika v bazene za poživiljanje le-to privede do relativno majhne količine presežnega blata. Razen tega je v nasprotju z ugotovitvami, ki so nastale pri klasičnih čistilnih napravah s podaljšano aeracijo, kjer prihaja z večanjem obremenitve do izboljšane lastnosti blata. Pri postopkih z dovajanjem kisika le te ostanejo konstantne tudi pri velikih obremenitvah. Biološki ter biokemijski procesi, ki bodo pripomogli k boljšemu razumevanju učinkov pri nastajanju flokul v poživiljenem blatu so predmet številnih raziskav.

K pogojem, ki so potrebni za doseg željenega efekta spada, optimalna obremenitev blata, zadostna količina kisika v notranjosti biomase (bolj raztopljen kisik) kakor tudi zadostna količina hrane. V blatu, ki ga dobimo pri postopkih z kisikom so flokule gostejše, blato bolj kroglasto ter premore večje število življskih združb kot so Ciliata, Vorticella ter Flagellata.

Prav tako je bilo ugotovljeno, da pri postopkih s čistim kisikom ni prisotnih toliko nitastih bakterij, saj je pri mešalnih razmerjih ter po razporeditvi organskih substratov, ki se nahajajo oz. so razporejeni v kaskadnih predelih, rast nitastih bakterij močno ovirana. Na drugi strani pa kaže praksa, da ti mikroorganizmi ob določenih pogojih lahko tudi nastopijo v mediju, vendar bolj redko ter ne v takšnih razsežnostih, da bi bilo onemogočeno pravilno delovanje čistilne naprave.

Preglednica 4: Primerjava med prezračevanjem odpadnih vod s finimi mehurčki pod tlakom, površinskim prezračevanjem ter prezračevanjem z dovajanjem čistega kisika.

	fini mehurčki			površinsko prezračevanje			čisti kisik		
	varira	varira	varira	3	4,5	6	1	1,5	2
čas zadrževanja (h)									
globina vpihovanja (m)	3	3	3						
vnos O ₂ /m globine (g/m)	9	9	9						
poraba el.energije na globino vpihovanja (Wh/m)	5	5	5						
potreba O ₂ /m ³ odpadne vode (g/m ³)	222	282	342	222	282	342	222	282	342
potrebna količina zraka (Nm ³ /m ³)	8,2	10,5	12,7						
potreba po el.energiji/m ³ odpadne vode (Wh/m ³)	123	158	191	132	168	211	110	141	171
spec.poraba el.energije/kg BPK ₅	0,67	0,67	0,67	0,71	0,71	0,71	0,58	0,58	0,58
α	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
efekt.poraba el.energije kg BPK ₅ (kWh/kg)	0,96	0,96	0,96	0,79	0,79	0,79	0,64	0,67	0,68
potreba O ₂ /m ³ bazena				74	63	57			
tot. Potrebna el. Energija/m ³ Wh/m ³	123	158	191	132	168	211	128	168	207

Vzrok za različne lastnosti blata je v različnih difuzijskih stopnjah, pri katerih lahko ob določenih okoliščinah kisik ter organski substrati prodrejo v flokule poživiljenega blata. Ker vsako flokulo sestavljajo celično številni mikroorganizmi, ki jih moramo oskrbovati z organskimi substrati, kisikom ter hranljivimi snovmi je očitno, da so za življenje takšne flokule potrebne prav te komponente. Tako lahko pričakujemo, da pojavljanje večjih, aktivnih ter bolj razgradljivih flokul v postopkih z čistim kisikom poveča možnost difuzije O₂ proti notranjosti flokule. To je mogoče pri koncentracijah kisika od 6 do 10 mg/l. Prav tako lahko predpostavimo, da je flokula do središča notranjosti aerobna. Zaradi tega se zmanjša obremenitev blata, kar posledično vpliva tudi na zmanjšanje količine presežnega blata.

Kot pri konvencionalnih postopkih je učinek postopka s čistim kisikom odvisen od obratovalnih značilnosti naknadnega čiščenja. Ker v tem primeru biološki reaktor deluje tudi pri večjih organskih koncentracijah s krajšimi intervali prezračevanja je pomembno, da so objekti za naknadno čiščenje zgrajeni gospodarno oz. ekonomično. Zaradi tega mora sekundarni usedalnik zadovoljiti naslednjemu:

- poveča se naj koncentracija povratnega blata ter zmanjša njegova količina,
- možno naj bo delovanje tudi pri večji površinski obremenitvi ter nižjimi koncentracijami v odtoku.

Na podlagi raziskav ter poizkusov na velikih napravah lahko potrdimo, da so ti pogoji zadovoljeni pri postopkih prezračevanja s čistim kisikom.

Postopek čiščenja odpadnih vod vpliva na količine blata. Nekateri aerobni postopki vodijo do odnašanja biološkega blata ter s tem do manjše količine blata. To lahko preprečimo z povečanjem dodajanja energije. Da zadovoljimo današnje zahteve pri čiščenju odpadnih vod, je v večini primerov potrebno izločanje fosfatov, ki jo vršimo s pomočjo obarjanja. To praviloma privede do povečanja količine blata za cca. 20 %. Glavni delež fosfatov prispevajo hišne odpadne vode, čeprav se je delež fosfatov zaradi pralnih sredstev v zadnjih letih močno zmanjšal. Gnitje kot najbolj razširjen postopek za stabilizacijo privede do reduciranja suhe snovi v blatu za cca. 30 %, saj se pri tem določen del organskih snovi uplini. Večji je delež organske snovi v surovem blatu, večja je redukcija organske suhe snovi v gniliščih. Sedimentirano in visoko obremenjeno blato vodi k večji specifični razgradnji suhe snovi ter količini plina. Z gnilišči uravnotežimo količine blata, ki varirajo pri klasičnih metodah za čiščenje odpadne vode. Poraba vode ter odvodnja odpadne vode pri tem nimajo večjega vpliva na količino blata. V nasprotju z odstranjevanjem smeti pri odstranjevanju blata iz čistilnih naprav na zmanjšanje blata ne vpliva količina odpadne vode. Škodljive snovi v blatu iz čistilnih naprav vplivajo sicer na področja ponovne uporabe, nimajo pa dosti vpliva na količino, ki jo moramo odstraniti iz čistilnih naprav. Prirastek blata se lahko določi iz karakteristik postopkov čiščenje na podlagi masne bilance.

5.4 Onesnaževanje voda z odtokom padavin iz avtocest

Presoja količine onesnaževanja voda in zemljine s padavinskimi vodami iz cestišč in določitev potrebnih ukrepov za zmanjšanje in preprečevanje onesnaževanja zahteva celovito presojo onesnaževanja iz avtocest. Padavinsko izplakovanje cestišč predstavlja le določen (verjetno manjši) delež, ki ga je mogoče kontrolirati.

Potrebno je upoštevati, da se izpušni plini in ostali škodljivi produkti prometa tekom celega leta z vetrom disperzno širijo v prostor, pri čemer se predvsem partikularni delci onesnaženja "aerosoli" v pretežni meri odlagajo v neposredni bližini cestišča, kar pa je z doslej znanimi tehničnimi rešitvami nemogoče kontrolirati.

Na voljo ni dovolj podatkov, po katerih bi bilo mogoče natančneje oceniti razmerje med širjenjem onesnaženja v prostor oziroma okolico in onesnaževanjem cestišča. Vendar pa je mogoče presoditi, da se manjši del letnega onesnaževanja odplakne iz cestišč s padavinami, ki trajajo letno le omejeno število dni.

Ta tip onesnaževanja voda lahko razdelimo na:

- onesnaževanje zaradi možnih katastrofalnih razlitij in
- onesnaževanje s padavinskim izpiranjem cestišč.

Koncentracija onesnaženosti je v času padavin večja, kot v sušnem obdobju. Prav tako je ob samem začetku naliva večja kot ob trajnem dežju. Posledično je večja specifična onesnaženost voda in zemljine s polutanti, ki se prevažajo po cestišču in pri nesrečah razlijejo v neposredno okolje cestišča.

Skladno z navedenim, je potrebno presoditi, s katerimi ukrepi je mogoče in potrebno preprečiti oz. zmanjšati onesnaževanje voda in zemljine s padavinskim izplakovanjem cestišč.

Pri presoji potrebnih ukrepov za preprečevanje in zmanjšanje onesnaževanja okolice in cestišča je potrebno razlikovati med:

- vrsto onesnaževanja in
- prepustnostjo tal območja, kjer poteka trasa avtoceste in bližnje okolice.

Pri načrtovanju odvodnje avtoceste je potrebno ločiti med:

- odvodnjo utrjenih cestišč,
- odvodnjo brežin in usekov in
- zalednih površin cestišča.

Načeloma mora biti odvodnja načrtovana z ločenim odvodom iz cestišč in speljana v lovilne bazene. Padavinski odtok iz brežin, usekov in širšega območja se načeloma odvaja ločeno v odprtih jarkih. V primerih, če je odvodnja cestišča načrtovana z obcestnimi jarki, je potrebno kritične nalive speljati v lovilnik olj - usedalnik. Pri izračunu padavinskega odtoka iz utrjenih površin cestišč se uporabi koeficient odtoka, za ostale neutrjene površine ob cestišču se določijo koeficienti v odvisnosti od naklona in namembnosti teh površin.

5.5 Odvod odpadnih vod, ki niso priključena na kanalizacijo

Individualno čiščenje odpadnih vod oziroma hišne odpadne vode iz objektov, ki niso priključeni na kanalizacijo, se ne smejo neprečiščene izpuščati v naravno okolje. Njihovo prečiščevanje spremlja niz specifičnih problemov, kateri niso prisotni v urbaniziranih okoljih.

Naprava za prečiščevanje je v prvi vrsti drag investicijski prijem, dražji po ekvivalentni enoti od skupnega. Velik problem individualnih naprav je njihovo vzdrževanje in kontrola.

5.5.1 Zbirne jame

So podzemne posode določene prostornine za skladiščenje hišnih odpadnih vod. Občasno se ti objekti praznijo. Te naprave ne smejo imeti preliva vode, temveč imajo pokrov velikosti 60 x 60 cm, ki je izveden tako, da omogoča izhajanje plinov. Te zbirne jame niso naprave za prečiščevanje odpadnih vod, temveč le skladiščni prostor.

Zbirne jame so skupna rešitev in nujno zlo, ki ga koristimo, če nimamo ugodnejše rešitve. Stroški se kažejo predvsem v velikih volumnih pri pogostem praznjenju vsebin. Na mestih, kjer jo zgradimo mora biti omogočen pristop posebnega vozila za praznenje. Izogibamo se gradnji z opeko ali s kamnom, ker onemogočajo potrebne vodonepropustnosti in so najpogosteje betonske. Odporne morajo biti za agresivno delovanje odpadnih vod in snovi, ki so produkt njihovega razpadanja. Velikokrat so samo z eno komoro kvadratne ali pravokotne tlorisne oblike.

5.5.2 Greznice

Greznice za razliko od zbirne jame v kateri se odpadne vode zbirajo, se v greznicah pretakajo. Zaradi tega so tudi bistveno manjših dimenzij za isto število koristnikov. Zaradi pretakanja z zelo majhno hitrostjo se odpadna voda osvobodi težjih delcev, ki padajo na dno in lažjih, ki splavajo na površino. Na ta način se formirajo v greznici trije karakteristični sloji:

- površinska skorja,
- srednji pretočni del odpadne vode, ki je osvobojen usedljivih in plavajočih snovi in
- sloj blata na dnu greznice.

Plavajoča skorja in blato ostanejo dalj časa v greznici, a tekoči del odpadne vode, katera vsebuje koloidne in topljive snovi se spušča direktno v naravno okolje.

Čeprav se greznica smatra za mehansko napravo, se v njej odvijajo tudi biološki procesi prečiščevanja. Proces biološkega prečiščevanja vode, ki se pretaka v greznici, se tu začne, vendar se ne konča.

Blato in skorja, ki se dalj časa zadržujeta v greznici oziroma septični jami se razgrajujeta z anaerobnim procesom. Ta proces se odvija v dveh etapah.

V prvi etapi so najbolj značilni produkti razgradnje kislin. Te dajo celotnemu procesu posebno karakteristiko s kislim vrenjem. V teh pogojih se proces razgradnje odvija počasi z razvojem plinov zelo neprijetnega vonja.

V drugi etapi po razgradnji kislin, se kislost izgubi in nastane alkalno vrenje z ustvarjanjem plina metana. Ta proces imenujemo metansko vrenje. Rezultati metanskega vrenja so mnogo ugodnejši, ki se odražajo v zmanjšanju količine blata do štirikrat in je tekoče oblike. Lahko se odvaja od vode, ne smrdi in se prepozna po črni barvi ter je neškodljiv. V pravilno dimenzionirani greznici se voda zadrži 2 do 30 dni, povprečna hitrost toka pa je 1 do 3

mm/s. Koloidni delci v vodi, ki priteče v tem času, precej spremenijo lastnosti od katerih je najznačilnejša želatinasta sestava. Osnovni faktorji, ki vplivajo na odvijanje procesov v greznici so:

- njena geometrija (velikost in oblika),
- temperatura mase v greznici in okolici in
- števila prekatov v greznici.

Intenzivnost vsedanja je močno pogojena s potjo toka vode, ki naj ima čim manjšo hitrost tečenja, brez razburkanja vode in blata. Posamezne mere od oblike do konstruktivnih podrobnosti so v industrijsko razvitih državah regulirane s predpisi in normami.

Zaradi pomanjkanja predpisov niso redki slučajji, da se pri nas sprejemajo v praksi greznice takšnih oblik in dimenzij, ki ne odgovarjajo modernim spoznanjem. Vse to pa se odraža v manjših učinkih. V praksi se uporablja veliko število greznic zelo različnih tlorisnih oblik z dvema do štirimi precati. Tlorisna oblika je lahko krog, kvadrat ali pravokotnik.

Krožna oblika je v pogledu statike najugodnejša in s tem najbolj ekonomična. Ta oblika se velikokrat uporablja, ker lahko uporabimo industrijsko izdelane betonske cevi večjega premera. Vendar pa se pri teh ceveh pojavlja vprašanje vodonepropustnosti.

Kvadratna tlorisna oblika je v pogledu zadovoljevanja hidravličnih zahtev prav tako neugodna. Najprimernejša oblika je pravokotnik z razmerjem (dolžina proti širini) večjim od 4:1, čeprav je to razmerje stranic največkrat v praksi z razmerjem 2: 1. S podolgovato obliko dosežemo enakomernejšo hitrost pretoka po celi širini greznice. Boljši je učinek vsedanja in kar je zelo pomembno, kompenzira se neenakomernost dotoka, tako, da je odtok iz greznice znatno mirnejši.

Praviloma naj bi se greznice praznile vsaj enkrat letno. Neredno praznjenje povzroča večje območje nihanja srednjih mas v greznici. Čeprav so majhne čistilne naprave sporne bomo morali tudi v bodoče pri zelo razčlenjenih področjih oziroma pri posamični pozidavi odplake čistiti na ta način, preden jih bomo spuščali v vodotoke. V naših finančnih razmerah, ko ni, oziroma ne bo dovolj denarja za gradnjo kanalizacijskih omrežij in čistilnih naprav moramo skušati zvišati čistilni efekt hišnih čistilnih naprav.

Trenutno dosegajo greznice relativno slabe rezultate, z naknadnim talnim filtriranjem pa lahko dosežemo znatno boljše čistilne učinke.

Splošne določbe, ki veljajo pri nas na področju urejanja gnojišč in greznic pravijo, da se na območju izvirov in talne vode v nobenem primeru ne smejo odvajati odpadne vode v izvirne in talne vode. Gnojišča in greznice pa morajo biti urejene tako, da ni nevarnosti pronicanja in prelivanja v podtalne vode. Živalski iztrebki se skladiščijo na ustrezno urejenih gnojiščih ali v zbiralnikih. Izven teh objektov se sme na kmetijskih površinah odlagati le odležan in fermentiran gnoj. Gnoj (živalski iztrebki pomešani s steljo) in gnojnice (seč živali in tekočine, ki se izceja iz gnoja) se lahko skladiščita le na ustreznih gnojiščih in v gnojničnih jamah. Gnojevka (živalski iztrebki - blato in seč - pomešani z vodo ter ostanki krme in stelje) se lahko skladišči v ustreznih zbiralnikih ali v lagunah.

Na območjih, kjer ni sistemov za odvajanje odplak se urejajo greznice za suha stranišča z nepropustnimi stenami in dnom.

V greznice sme odtekati le hišna odpadna voda (to je odpadna voda iz sanitarij in kuhinj). Padavinske vode ne smejo biti speljane v greznice. Greznice morajo biti prezračevane. Eno greznico lahko stalno uporablja največ 50 oseb, če je oseb več pa je treba zgraditi čistilno napravo z mehanskim in biološkim čiščenjem. Pri velikosti greznic je treba upoštevati dnevno porabo vode, ki znaša pri nas 150 l po osebi. Koristna prostornina greznice za suha stranišča mora biti najmanj 3000 litrov na osebo, pretočna pa najmanj 2000 litrov na osebo, pri čemer mora biti minimalna prostornina 6000 litrov. Greznice za suha stranišča in nepretočna greznica imata po dve celici, ne glede na število oseb, ki jo uporabljajo.

Glede na vrsto in količino odpadne vode, se lahko priporoči oziroma obveže onesnaževalca, da na lastno odgovornost in sam opravlja potreben nadzor in meritve odpadne vode na vtoku v javno čistilno napravo in sicer predno odpadna voda priteče v glavni zbirni kolektor javne čistilne naprave. Poleg tega mora kontrolirati tudi proces predčiščenja v svojem obratu oziroma tovarni. Vsi izvidi meritev in analiz morajo biti evidentirani v posebnem dnevniku. Seveda pa vrsto in obseg meritev in analiz določi onesnaževalec sam in jih tudi izvaja sam. Dnevnik in vse računalniške izpise je potrebno hraniti vsaj tri leta. Vse izpise o meritvah in analizah (in dnevnik), ki jih v dogovorjenem obsegu opravlja onesnaževalec sam, mora na zahtevo upravljalca javne čistilne naprave predložiti letemu na vpogled.

5.6 Analiza vzorcev odvedene odpadne vode

Da bi dobili zanesljive analize izvide o kakovosti odpadnih voda, morajo biti vzorci odvzeti pravilno in če je potrebno, jih tudi shranimo (konserviramo). Praviloma mora biti onesnaževalec prisoten pri odvzemu vzorcev. Med odvzemom vzorca se morajo ugotoviti tudi ostala bistvena dejstva in okoliščine, ki se nanašajo na vtok oz. kanalski priključek. To se lahko naredi le s pomočjo reprezentativnih, naključno odvzetih posameznih vzorcev ali s pomočjo ti. kompozitivnega vzorca.

Zaradi racionalnosti in zmanjševanja stroškov, je vzorce možno jemati tudi v večjih časovnih presledkih. V ta namen je treba pred določitvijo števila in obsega meritev in analiz to narediti na podlagi podrobne razčlenitve proizvodnega procesa v katerem nastajajo odpadne vode in sicer:

- sestava odpadne vode,
- količina odpadnih voda in
- eventuelne časovno pogojene spremembe.

Opozoriti moramo, da je pri opravljanju meritev in analiz pri manjših obrtnih proizvodnih obratih opaziti veliko manj izvedenih meritev in analiz. Fizikalne in kemijske lastnosti odpadne vode se določa s pomočjo analiz navedenih v DIN standardu (nemški predpis), ki se nanaša na metode analiz odpadne vode. V analiznem protokolu mora biti navedena tudi uporabljena metoda analize. V kolikor pride tu do kakršnegakoli odstopanja, mora biti to posebej utemeljeno. Pri odvzemu vzorcev, odpadne vode se praviloma upošteva namen analize in krajevne razmere. Odvzeti vzorec mora ustrezati namenu, kar pomeni, da analizni

izvid mora pojasniti določena vprašanja glede kakovosti odpadnih voda. Naključno odvzeti posamezni vzorci morajo podati kakovost odpadne vode ob predpisanem času.

Kompozitni vzorec jemljemo tedaj, če se odpadna voda časovno spreminja glede na kakovost, da bi dobili neke povprečne vrednosti. Posebej je treba paziti, da se vzorci ne odvezemajo iste dneve v tednu ali celo na iste dneve v mesecu. Dobljene analize izvide primerjamo z zakonskimi predpisi, če obstajajo, v primeru ko jih ni, pa jih primerjamo z vrednostmi navedenimi v prilogah.

Če se ugotovi prekoračitev v teku posamezne analize, ki jo onesnaževalec ne bi mogel deklarirati kot neškodljivo in jo v kratkem času tudi ne bi mogel zmanjšati na določeno raven, se morajo analize opravljati pogosteje in skupno z ustrezno strokovno institucijo se nato odloči o ukrepih, ki jih je potrebno izvesti, da bi se saniralo stanje.

5.7 Upoštevani zakonski predpisi, pravilniki in normativi

Čiščenje odpadnih voda v javni čistilni napravi je točno določeno z ustreznimi akti kot so pravilniki, pravni predpisi in privatne pogodbe. V tem delovnem listu so podani napotki kako izdelati pravilnik o priključitvi odpadnih voda v javno čistilno napravo in vsi ostali akti in pogodbe. Takšno ravnanje z odpadno vodo bo zagotovilo, da bodo izpolnjeni vsi pogoji, ki jih bodo uporabnikom kanalizacije predpisali. Pri ureditvi ali spreminjanju odvoda voda iz zemljišč, morajo biti prav tako upoštewane ustrezne DIN norme in sicer neodvisno od tega ali je izdano gradbeno dovoljenje s pogoji in ali se gradi v skladu z vsemi tehničnimi normativi.

Za obratne čistilne naprave, oziroma ureditve, za njihovo obratovanje kot tudi za vse bistvene spremembe je potrebno pridobiti ustrezna soglasja in dovoljenja pristojnih upravnih organov, vse ostale naprave pa morajo biti tako urejene in upravljane, da ne bo zaradi njihovega obratovanja nobenih škodljivih vplivov na okolje ali če se to ne da zagotoviti, da bodo škodljivi vplivi omejeni.

Blato iz javnih čistilnih naprav (centrifugirano ali iz filterske stiskalnice) in trde odpadke je treba obravnavati po zakonu o ravnanju z odpadki, pri čemer je izvzeta odfiltrirana in odcentrifugirana voda, če jo vodimo bodisi nazaj v čistilno napravo ali vodotok.

Ravnanje z odpadno vodo in odpadki urejajo predpisi posameznih dežel. Upoštevati je treba vse potrebne varnostne ukrepe, da bi zavarovali zdravje zaposlenih in napravo pred ev. eksplozijo, posebno pri jemanju vzorcev na mestih vzorčevanja in v sami kanalizaciji.

Povzetek

Pitna voda ne sme vsebovati mikroorganizmov, parazitov in njihovih razvojnih oblik v številu, ki lahko predstavlja nevarnost za zdravje ljudi. Bakteriološka preskušanja nam pokažejo obseg in stopnjo fekalne ali druge onesnaženosti pitne vode z mikroorganizmi. Zato v pitni vodi rutinsko določamo bakterije: fekalne (*Escherichia coli*, enterokoki), ki imajo izvor v človeških in/ali živalskih iztrebkih in indikatorske (*Clostridium perfringens* s sporami, koliformne bakterije, število kolonij pri 22 °C in pri 37 °C), v embalirani pitni vodi pa še bakterije *Pseudomonas aeruginosa*. Viruse in parazite določamo v posebnih primerih, npr.: ob epidemiološki indikaciji, pri raziskavah.

Kadar rezultati preiskav vzorcev pokažejo, da pitna voda ni skladna, mora upravljalec nemudoma ugotoviti vzroke neskladnosti in izvesti ukrepe za njihovo odpravo. Pri izbiri ukrepov omejitve ali prekinitve dobave pitne vode je treba upoštevati tveganje za zdravje ljudi. Upravljalec mora prenehati z dobavo vode ali omejiti njeno uporabo, ali pa sprejeti ukrep, ki je potreben za varovanje zdravja ljudi, če taka voda predstavlja potencialno nevarnost.

V petem poglavju so predstavljeni biološki postopki čiščenja odpadnih voda s poudarkom na čiščenju odpadnih voda, ki niso priključena na javno kanalizacijo.

6 DIMENZIONIRANJE IN HIDRAVLJIČNE LASTNOSTI VODOVODNEGA OMREŽJA

Uvod

Pri analizi vodovodnega omrežja je potrebno najprej določiti računski pretok za posamezne vodovode. V kolikor obravnavamo že obstoječe stanje, potem računske pretoke določimo na podlagi analiz porabe vode. Pri novo projektiranem vodovodnem omrežju predvsem ugotovimo približne razmere obstoječega stanja porabe vode, ki se med seboj razlikuje, glede na značilnosti porabe vode.

6.1 Dimenzioniranje vodovodnega omrežja

Pri ugotavljanju porabe vode se večkrat srečamo z izrazom specifična poraba vode, ki je tista poraba, ki pripada 1 m dolžine vodovodnega odseka in se lahko izrazi v naslednji obliki:

$$Q_{sp.} = \frac{Q}{\sum L}$$

$Q_{sp.}$ - specifična poraba vode (l/s/m)

Q - pretok vode v cevovodu (l/s)

$\sum L$ - skupna dolžina vodovodnega odseka (m)

Omeniti je potrebno, da je specifični pretok zelo spremenljiv, kar je v glavnem odvisno od diagrama spremembe dnevne porabe vode. V večjih mestih z različno zazidavo ni dovoljeno vzeti enotno specifično porabo, temveč je potrebno obravnavati dejanske razmere specifične porabe.

Pretok vode za posamezne odseke pa izračunamo:

$$Q_{po.} = Q_{sp.} \cdot L$$

$Q_{sp.}$ - specifična poraba vode (l/s/m)

$Q_{po.}$ - pretok vode za posamezni odsek (l/s)

L - posamezne dolžine vodovodnih odsekov (m)

Zadostiti moramo kontinuitetni enačbi, ki pravi, da kolikor vode priteče v vodovodno omrežje, se je tudi porabi. Pri dimenzioniranju uvedemo še eno poenostavitev in sicer, da je poraba vode na vodovodnem odseku konstantna na določeni dolžini.

Pri posameznem vodovodnem omrežju moramo strmeti za tem, da zadostimo dvema osnovnima pogojema:

- količini vode in
- kvaliteti vode.

Oba pogoja sta lahko izpolnjena pod določeno stopnjo varnosti, pri čemer pod stopnjo varnosti razumemo lastnost vodovodnega sistema, s katero vodovodni sistem varno oskrbuje porabnike z zahtevano količino in kvaliteto vode.

Samo ugotavljanje osnovnih načel glede na funkcijo varnosti vodovodnega sistema mora temeljiti predvsem na analizi morebitne nastale škode, s katero so prizadeti porabniki, zaradi začasne zapore ali zmanjšanega dotoka vode. Pri tem v glavnem ločimo naslednje kategorije porabnikov vode:

- prebivalci,
- potrebe vode za industrijo in
- gašenje požarov.

Na področju oskrbe z vodo prebivalstva in gospodinjstva je zelo težko doseči enotne kriterije. Priporočljivo je, da v tem primeru sodelujejo ustrezni sanitarni organi, ki definirajo predvsem poslabšanje sanitarnih pogojev življenja ter na splošno sam življenjski standard.

Dejansko škodo, ki lahko nastane, je najlažje oceniti pri industriji, kjer pride zaradi slabe dobave vode do poškodb na instalacijah ali do slabega proizvodnega procesa. V takšnih primerih povečani stroški zaradi večje varnosti obratovanja vodovodnega sistema preprečujejo možnost škode, ki bi sicer nastala.

Zahteve na področju požarne varnosti so regulirane z ustreznimi normativi. To je hkrati tudi najbolj stroga zahteva med navedenimi kategorijami porabe vode zaradi tega, ker lahko v primeru požara nastane katastrofalna škoda.

Glede na navedeno je jasno, da vse tri kategorije porabnikov ne morejo imeti istih zahtev glede varnosti. Lahko rečemo, da so zahteve pogojene glede na:

- dopustne meje zmanjšanja oskrbe porabnikov z vodo in
- dopustno pogostnost zmanjšanja oskrbe z vodo.

Glede na dopustne meje zmanjšanja oskrbe porabnikov z vodo, je to v bistvu pogojeno z dodatnimi tehničnimi ukrepi ter z uvedbo rezervnih kapacitet.

Zahteve v obliki dopustne pogostnosti zmanjšanja oskrbe z vodo pa povzročajo v vodovodnem sistemu določene izrazitejšje motnje v obratovanju. Da bi lahko kvantitativno ovrednotili te zahteve je potrebna detajlna analiza vseh elementov, ki povzročajo motnje v normalnem obratovanju vodovodnega sistema.

Z ozirom na navedeno problematiko si bomo ogledali le najosnovnejše možnosti s katerimi se srečujemo, glede na stopnjo varnosti obratovanja vodovodnega sistema. Vodovodni sistem, ki

ga lahko sestavljajo zajetja, črpališča, vodohrani, itn., morajo izpolnjevati vse pogoje za varno obratovanje, sicer ima lahko nepravilna funkcija ali izpad iz obratovanja enega od navedenih elementov vodovodnega sistema za posledico prekinitev obratovanja celotnega vodovodnega sistema. Zaradi tega je nujno potrebno, da vsi objekti, razen pravilnega dimenzioniranja ter ustrezne medsebojne tehnološke povezave, zadoščajo tudi zahtevam določene varnosti pri obratovanju. Na splošno to varnost obratovanja lahko izrazimo v obliki:

$$V = V_1 \cdot V_2 \cdot V_3 \cdot \dots \cdot V_n$$

V - verjetnost stalnega obratovanja vodovodnih objektov

$V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ - verjetnost stalnega obratovanja posameznih objektov vodovodnega sistema

Iz zgornje enačbe lahko sklepamo, da posamezni elementi vodovodnega sistema dajo vrednosti manjše od ena in je zato tudi $V < 1$. To pa pomeni, da varnost obratovanja celotnega vodovodnega sistema, nikakor ne more biti večja kot je varnost obratovanja posameznega objekta, ki tvori vodovodni sistem.

Povsem logično je, da več kot je posameznih vodovodnih objektov medseboj povezanih v tehnološko enoto, manjša je varnost obratovanja celotnega vodovodnega sistema. Varnost obratovanja celotnega vodovodnega sistema je tudi manjša od varnosti obratovanja najslabšega objekta, ki je v sestavi vodovodnega sistema, predvsem zato ker v varnosti obratovanja sodelujejo tudi drugi vodovodni objekti s svojo nezanesljivostjo. To lahko zapišemo kot $V < V_1$.

Iz tega tudi sledi, da v kolikor želimo povečati varnost obratovanja celotnega vodovodnega sistema, moramo v prvi fazi poskrbeti za izboljšanje obratovanja najslabšega objekta v vodovodnem sistemu.

Z ozirom na varnost obratovanja vodovodnega sistema lahko ugotovimo, da na stopnjo varnosti vplivajo naslednji parametri:

- neprekinjeno obratovanje objektov,
- pogoji za vzdrževanje in popravilo in
- trajnost ter kvaliteta izvedbe ali gradnje.

Pogoji za vzdrževanje in popravilo se odražajo v obstoječih možnostih za preprečitev in ugotavljanje okvar. Na te pogoje bistveno vpliva stopnja avtomatizacije v vodovodnem sistemu ter pravilnost projektiranja in izvedbe posameznih objektov.

Trajnost, ali kot temu pravimo življenjska doba trajanja naprave, je lastnost določenega objekta, da vzdrži dobo obratovanja do programirane meje ob tem, da je pri rednem obratovanju bilo prisotno redno vzdrževanje, tehnični pregledi in manjša popravila.

Za natančno določitev vseh teh elementov je potrebno imeti na razpolago pregled statističnih podatkov o prekinitev obratovanja posameznih objektov. V kolikor želimo doseči povečano

stopnjo varnosti obratovanja vodovodnega sistema, potem moramo imeti določeno rezervo. To rezervo lahko ustvarimo pri vseh elementih vodovodnega sistema kot naprimer:

- pri zajetjih možnost zajema nove količine pitne vode,
- pri črpališčih vgraditev rezervnih črpalk večje, iste ali manjše kapacitete,
- pri čistilnih napravah izgradnje rezervnih filterskih polj,
- pri vodohranih izgradnja večjega koristnega volumna in
- pri izgradnji dovodnih cevovodov polaganje paralelnih vodov v dveh ali več linijah.

Lahko ugotovimo, da je možnost prav te zadnje rezerve oziroma alineje praviloma v vodovodnih sistemih najslabše zastopana.

Razpoložljiva rezerva je lahko aktivnega ali pasivnega značaja. Večkrat je aktivna rezerva bolj ekonomsko upravičena zaradi tega, ker se rezervne naprave in objekti vključujejo v program rednega obratovanja. Pasivna rezerva pa je tista, ki se v obratovanje vključi samo v primeru prekinitve obratovanja osnovnih naprav. Občasno vključevanje rezervnih naprav vodovodnega sistema je zelo redek pojav, ker do tega prihaja predvsem v posebnih razmerah. Pri analizi oskrbe porabnikov z vodo iz večih strani ugotovimo, da imamo že s tem določeno varnost rezervne količine vode, zato tudi določeno varnost obratovanja. Na podlagi praktičnih izkušenj je ugotovljeno, da je polaganje paralelnih cevovodov kot možnost rezerve zelo slabo zastopana.

Povsem logično je, da se kot prvo postavlja vprašanje izgradnje enega cevovoda večjega premera ali izgradnja paralelnih cevovodov. Z ozirom na hidravlične lastnosti majhno povečanje premera cevovoda bistveno poveča pretočno množino vode. V kolikor si faze izgradnje vodovoda sledijo dokaj hitro ena za drugo, potem ima gotovo določena rezerva s povečanjem premera cevovoda prednost. Toda, na podlagi praktičnih izkušenj vemo, da je vodovod iz več razlogov zelo težko v kratkem časovnem obdobju v celoti zgraditi in, da je potreben čas za njegovo popolno realizacijo precej dolg, kar pomeni, da izgradnja vodovoda poteka v posameznih fazah. K temu nas večkrat prisilijo tudi objektivni razlogi, ker se zahtevane količine pitne vode ne morejo dobiti samo na enem mestu.

Za primer si oglejmo problematiko oskrbe z vodo na sliki 25.

Pri varianti enega črpališča prihaja celotna količina pitne vode od enega črpališča, kar pomeni da obstoja verjetnost dobave 100 % količine vode po enem cevovodu, dočim v drugi varianti dosežemo 100 % količino iz večih črpališč, s tem pa obstoja tudi večja možnost prekinitve obratovanja posameznih dovodnih cevovodov. V kolikor vzamemo, da je stopnja prekinitve obratovanja $\epsilon = 3,35$ dobimo neprekinjenost obratovanja, ki znaša:

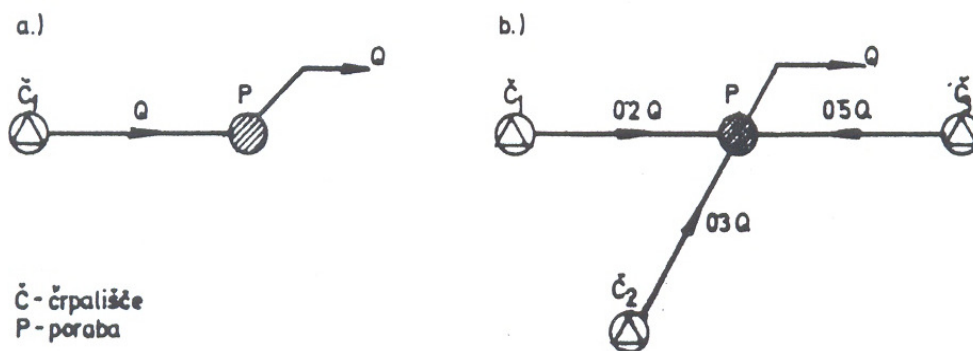
$$T = \frac{1}{\epsilon} = \frac{1}{3,35} = 0,3(\text{leta})$$

To znaša približno 110 dni in pomeni verjetnost, da bo enkrat v 110-ih dnevih prišlo do prekinitve obratovanja.

Pri varianti oskrbe z vodo iz treh črpališč ob predpostavki, da je stopnja prekinitve obratovanja ε vseh obravnavanih črpališč enaka stopnji prekinitve enega voda, je čas neprekinjenega obratovanja celotnega sistema nekoliko spremenjen in znaša:

$$T = \frac{1}{\varepsilon} = \frac{1}{10} = 0,1(\text{leta}) \approx 36 \text{ dni}$$

To pa pomeni, da je verjetnost prekinitve obratovanja enega od obravnavanih vodov na 36 dni. Iz tega tudi izhaja zaključek, da bo porabnik v drugi varianti po verjetnostnem izračunu veliko preje ostal brez 100 % količine vode, za razliko od porabnika, ki dobiva vodo iz enega črpališča.



Slika 25. Primerjava oskrbe z vodo iz enega in treh črpališč
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999

Nasprotno pa lahko ugotovimo, da imamo pri oskrbi z vodo iz več črpališč večjo verjetnost oskrbe z vodo in sicer v našem primeru s 50, 70 ali 80 % celotne potrebne količine vode zaradi tega, ker je te količine možno zagotoviti glede na možnosti dobave vode, kar pomeni, da v obravnavanem primeru lahko pride do prekinitve obratovanja enega ali dveh črpališč. Večjo skrb pa je pri tem treba posvetiti tistemu delu, ki ima možnost dobave večje količine vode.

V obravnavani prvi varianti bi si lahko ogledali še primer aktivne rezerve, tj. ko se namesto enega cevovoda polagata dva cevovoda enakega profila in istih lastnosti, kar pomeni, da imata cevovoda isto propustno količino, enako dolžino in enako stopnjo prekinitve obratovanja.

Na podoben način lahko obravnavamo tudi primer, ko imamo položene tri paralelne cevovode, pri katerih je verjetnost, da bodo hkrati odpovedali vsi trije cevovodi zelo majhna, saj vsak vod transportira 33 % od celokupne količine vode. Stopnjo varnosti lahko povečamo tudi s povečanjem rezervoarskega prostora. V kolikor ugotovimo potreben čas za popravilo okvare na cevovodu ali črpališču, dobimo s tem glede na porabo vode potrebno rezervno prostornino v vodohranu. Ta dodatna koristna prostornina vodohrana pa predstavlja v bistvu pasivno rezervo spričo verjetnosti, da bo ta prostornina v obratovanju enaka verjetnosti okvare na cevovodu. Za določitev, katera rešitev je ekonomsko bolj upravičena, pa je potrebno izvesti detaljno primerjavo vseh stroškov izgradnje kot tudi stroškov vzdrževanja.

Očitno je, da s postopkom uvajanja določenih rezervnih kapacitet v vodovodnem sistemu lahko dosežemo poljubno stopnjo varnosti obratovanja posameznih elementov in s tem tudi celotnega vodovodnega sistema.

Kot posledica uvajanja rezervnih kapacitet pa se pojavljajo večji stroški izgradnje, kar pomeni, da je potrebno zagotoviti večja investicijska vlaganja. Stopnjo povečanja investicijskih vlaganj moramo opravičiti le z zahtevo porabnikov, ki takšne pogoje potrebujejo zaradi nemotenega delovanja (bolnice, industrija itn.). Pri občasnem vključevanju rezervnih kapacitet, ki niso stalno v obratovanju, je verjetnost izpada iz obratovanja zelo majhna. Rezerve, katere občasno vključujemo v proces obratovanja in s tem tudi v proces oskrbe z vodo porabnikov, imajo rezervni del večkrat dimenzioniran tako, da so možne 100 % nadomestila obstoječe kapacitete.

6.2 Hidravlične lastnosti vodovodnega omrežja

Z ozirom na funkcijo vodovodnega omrežja lahko ugotovimo, da imamo v vodovodnem omrežju laminarno, prehodno in turbulentno področje gibanja vode v odnosu na stacionarne in nestacionarne razmere, ki jih v glavnem tudi obravnavamo. Kvaliteta cevi je zelo različna, tako da imamo lahko hidravlično gladke in hidravlično hrapave cevi. Glede na-porabo vode na vodovodnem omrežju imamo lahko na istem cevovodu v 24 urah ali v poljubnem času pretok vode s hitrostjo:

$$0 \leq V \leq V_{\max.}$$

Še posebej je to izrazito v bližini systemske vododelnice, kjer se z ozirom na porabo vode spreminja lega same vododelnice na določenem področju. Na mestu kjer je vododelnica pa velja, da je $V = 0$, kar pomeni, da je v vodovodnem omrežju dvostranski dotok vode proti točki najnižjega tlaka.

6.2.1 Izgube tlaka v ceveh

Izgube tlaka $h_{iz.}$ v ceveh lahko delimo glede na premagovanje hidravličnih uporov na:

- izgube tlaka zaradi uporov vzdolž cevovoda (to vrsto tlačnih izgub označuje proporcionalen padec tlaka glede na dolžino cevovoda, zato jih tudi večkrat imenujemo linijske in označujemo s h_1 in
- izgube tlaka zaradi lokalnih uporov $h_{lok.}$, ki nastajajo zaradi fazonskih komadov in vodovodne armature, ki spremlja vsako vodovodno omrežje

Celotne izgube tlaka pa predstavljajo vsoto tlačnih izgub vzdolž cevovoda (linijske) in tlačne izgube zaradi lokalnih uporov, kar lahko zapišemo kot:

$$h_{iz.} = h_1 + h_{lok.}$$

Lokalne izgube zaradi fazonskih komadov in spremljajoče vodovodne armature smo si že ogledali. V nadaljevanju pa posvetimo nekaj več pozornosti tlačnim izgubam vzdolž cevo-

voda ter posameznim parametrom, ki vplivajo nanje. Splošno je znano, da so tlačne izgube vzdolž cevovoda h_1 v vodovodnem omrežju tudi največje.

Največkrat izgube tlaka zaradi uporov izražamo v odnosu na hitrost pretoka, kar lahko zapišemo v obliki:

$$h_{iz.} = \xi \cdot \frac{V^2}{2g}$$

ξ - koeficient tlačnih izgub

Koeficient tlačnih izgub za cevi krožnega prereza lahko zapišemo kot:

$$\xi = \lambda \cdot \frac{L}{D}$$

λ - koeficient trenja

L - dolžina cevovoda

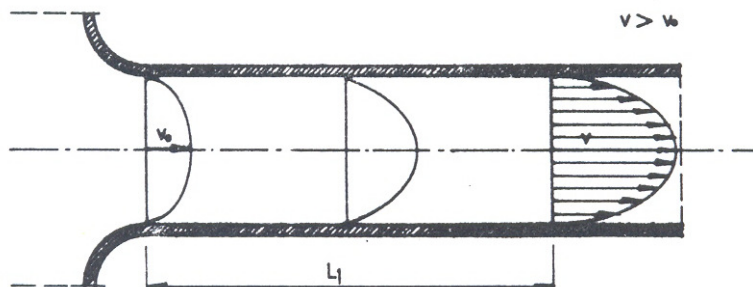
D - premer cevovoda

Iz obeh zgornjih enačb pa tako dobimo Darcy - Weisbachov izraz za tlačne izgube:

$$H = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

6.2.2 Laminarni tok

Pri laminarnem toku so tlačne izgube linearno proporcionalne povprečni hitrosti v cevovodu. Ko obravnavamo laminarni tok, moramo obravnavati področje, ki je dovolj oddaljeno od vstopne odprtine. Vstopna hitrost V_0 je manjša od končne laminarne hitrosti V_1 . V tem začetnem območju cevovoda je tudi trenje dokaj drugačno kakor v nadaljevanju, kar nazorno prikazuje slika 26.



Slika 26. Razmere v cevovodu pri laminarnem toku

Območje začetnega laminarnega toka v cevovodu je raziskoval Boussinesq ki je za dolžino L_1 podal naslednjo enačbo:

$$L_1 = 0,058 \cdot Re \cdot D$$

V kolikor je celotna dolžina cevovoda krajša kakor dolžina L_1 na sliki, potem nimamo nikjer še izrazitega laminarnega profila.

Pri kritičnem Reynoldsovem številu $2000 < Re_{krit.} < 5000$ pa preide laminarni tok v turbulentnega. Prehod laminarnega toka v turbulentni se ustvari zelo hitro in sicer je lahko to že na dolžini cevovoda, ki znaša $30D \leq L \leq 50D$.

6.2.3 Turbulentni tok

Kot je bilo že omenjeno, da v področju laminarnega toka kakovost sten cevi nima nobenega vpliva.

Pri turbulentnem toku pa ločimo naslednja delna območja:

- območje hidravlično gladkih cevi,
- prehodno območje delne hrapavosti in
- območje popolne hrapavosti.

Prehodno območje delne hrapavosti je območje med hidravlično gladkimi in hidravlično hrapavimi cevmi in odvisi od Reynoldsovega števila.

Za močno hrapave cevi se izvrši ta prehod zelo hitro in sicer že po prehodu laminarne mejne podplasti ob steni v turbulento. V območju popolne hrapavosti je torni količnik λ neodvisen od Reynoldsovega števila in zavisi le od relativne hrapavosti. Za območje popolne hrapavosti pravimo, da velja zakon kvadratične upornosti.

Pri turbulentnem toku se pojavljajo tangencialne napetosti, ki izvirajo iz hitrostnih fluktuacij. Pri uporabi Navier Stokesovih enačb lahko trdimo, da veljajo tudi za turbulentni tok nestisljivih tekočin. S pomočjo Navier - Stokesovih enačb in enačb kontinuitete, smemo po integriranju in ureditvi za začasno povprečje napisati le-te enačbe, ki pa jih gleda na naš predpisani učni načrt v nadaljevanju ne bomo analizirali.

Povzetek

V šestem poglavju smo se omejili na dimenzioniranje vodovodnega omrežja glede na posamezne parametre, kot so:

- specifična poraba vode in
- verjetnost stalnega obratovanja sistema pri oskrbi vode iz enega ali več črpališč.

Prikazane so tudi hidravlične lastnosti vodovodnih sistemov pri laminarnem in turbulentnem toku vode.

7 SPLOŠNA PORABA VODE Z IZRAČUNI PORABE VODE

Uvod

Poraba vode ni konstantna veličina, temveč se spreminja tekom leta in tekom dneva. Na spremembo vpliva letni čas, zima ali poletje, klimatske razmere, število prebivalcev, življenjski pogoji in stopnja gospodarskega razvoja.

7.1 Splošna poraba vode

Celotno porabo vode delimo na naslednje porabnike:

- splošna poraba, *ki* predstavlja porabo vode v stanovanjih, javnih zgradbah, bolnicah, porabo vode za potrebe obrti (ločeno od industrije), komunalno porabo vode za spiranje cestišč *in* javnih sanitarnih naprav,
- industrijska poraba vode, *ki* jo porabi industrija za svoj proizvodni proces,
- poraba vode za gašenje požarov,
- poraba vode za slučaj okvar in tlačnih preizkusov ter poraba vode, *ki* je potrebna za dezinfekcijo cevovodov *in*
- posebni porabniki vode, kot so veliki turistični objekti *itn.*

Splošno, industrijsko porabo, ter porabo vode za potrebe gašenja požarov, okvar *in* posebnih porabnikov imenujemo s skupnim imenom celotna poraba vode.

Splošno *in* industrijsko porabo vode imenujemo s skupnim imenom tudi fluktuirajoča voda, kateri v vodohranu pripada določena prostornina, omejena s svojo najvišjo *in* najnižjo koto v vodohranu, med katerima niha gladina vode v času 24 ur.

Celotno porabo vode ponavadi izražamo z normo porabe vode, ki je podana v litrih na osebo *in* dan (l/oseba/dan).

Spreminjanje porabe vode je podano z diagramom neenakomernosti porabe vode, ki je hkrati osnovni pokazatelj, kako živi ali kako poteka življenje na obravnavanem področju. Vsem značilnostim diagrama neenakomernosti porabe vode mora slediti vodovodni sistem *in* zahtevam tudi zadostiti. V trenutku, ko se spremeni diagram neenakomernosti porabe vode, se spremeni tudi funkcija vodovodnega sistema.

7.2 Osnovni izračuni za analizo porabe vode

Vodovodni sistem mora biti dimenzioniran na neko perspektivno porabo, katero pričakujemo koncem *n*-tega leta. Perspektivna poraba vode, kot tudi drugi parametri, morajo biti izpeljani ob upoštevanju čim večjega števila parametrov, ki karakterizirajo obravnavano področje. Ponavadi smo pri tej prognozi vezani predvsem na urbanistične *in* druge razvojno planske osnove, iz katerih so razvidne osnovne značilnosti obravnavanega področja.

V primeru prognoze porabe vode, le-to zapišemo v splošni obliki:

$$Q_p = A_n \cdot n_p \cdot k \cdot g$$

Q_p - potrebna količina vode

A_n - prognozirano število prebivalcev

n_p - norma porabe vode

k - koeficient neenakomernosti porabe vode (koeficient spremembe porabe vode tekom dneva ali leta)

g - koeficient nekontrolirane vode v vodovodnem sistemu

Poleg navedenih parametrov vplivajo na porabo vode tudi drugi faktorji, ki so v zgornji enačbi neupoštevani, v nadaljevanju pa jih bomo skušali obravnavati natančneje.

Predvsem je potrebno razjasniti dva osnovna pojma, ki se zelo pogosto zamenjujeta, in sicer število porabnikov vode in število prebivalcev.

Pod številom porabnikov razumemo le del prebivalcev, ki so priključeni na vodovod. Število porabnikov vode in število prebivalcev na obravnavanem področju se zaradi tega med seboj razlikujeta, kar je še posebej izrazito v prvih fazah izgradnje vodovoda, vsekakor pa težimo za tem, da se ti dve številki izenačita.

Prognozo porabe vode na kraju n -tega leta perspektivnega razvoja pa lahko računamo na celotno število prebivalcev obravnavanega področja ali regije, predvsem zaradi tega, ker je le končni cilj da bi bili vsi prebivalci priključeni na vodovodno omrežje. Prognoza števila prebivalcev je ponavadi podana z urbanističnim ali drugim razvojnim planom. Tam, kjer teh planov ni, pa se lahko poslužimo prognoze števila prebivalcev po naslednji formuli:

$$A_n = A_0 \left(1 + \frac{p}{100} \right)^n$$

A_n - prognozirano število prebivalcev

A_0 - obstoječe število prebivalcev

p - procent porasta prebivalstva ali procent naraščanja porabe vode

n - predvideno obdobje trajanja vodovoda

Ko imamo določeno število prebivalcev, je potrebno večkrat definirati tudi število porabnikov vode po posameznih fazah izgradnje vodovoda. Število porabnikov vode lahko dobimo po enačbi:

$$A_n^1 = a_n \cdot A_0 \left(1 + \frac{P}{100}\right)^n$$

A_n^1 - število priključenih porabnikov vode na vodovod

a_n - koeficient priključenih prebivalcev na vodovod

Obravnani porabi vode lahko prištejemo v turističnih krajih posebne porabnike vode kot so turistični kompleksi, hoteli, kampi itn. Turistični objekti so definirani s kapaciteto postelj, kapaciteto restavracij ter številom servisnega osebja. Celotna poraba vode v turističnih objektih je določena s številom hotelskih gostov kot tudi z odgovarjajočo specifično porabo, ki vsebuje tudi ustrezni ekvivalent za spremljajočo porabo vode.

Kapaciteta turističnih objektov je tudi planirana z urbanističnimi ter razvojnimi programi. V kolikor želimo določiti za turistične objekte porabo vode, moramo ločiti med seboj tudi posamezne kategorije kot so:

- hoteli A kategorije,
- ostale kategorije hotelov,
- privatne kapacitetein
- kampi.

Iz navedenega lahko določimo celokupno število turistov po enačbi:

$$T = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

T - celokupno število turistov

A_1 - število postelj v hotelih A kategorije

A_2 - število postelj v ostalih kategorijah hotelov

A_3 - število privatnih postelelj

A_4 - število ležišč v kampih

Pri določevanju turistične porabe vode moramo ločiti:

- maksimalno kapaciteto v poletnem času,
- povprečno letno kapaciteto in
- minimalno kapaciteto v zimskem času.

Industrijska poraba vode, ki jo porabi industrija za svoj proizvodni proces, je odvisna od tehnološkega postopka, kar je različno za posamezno vrsto industrije. Za to kategorijo porabe vode, ki je ponavadi zelo velika, je potrebno določiti zahtevane količine vode posebej.

Poraba vode za gašenje požarov pa je podana z ustreznimi predpisi. Zelo pomembna je tudi norma porabe vode. Določanje perspektivne norme porabe vode temelji na zelo velikem številu elementov. Ti elementi so predvsem naravni, tehnični ter drugi. Pravilna ocena porabe vode omogoča pravilen razvoj naselja ali mesta. Pri oceni porabe vode se morajo pravilno vrednotiti programi perspektivnega razvoja ter na osnovi teh določati optimalno normo porabe vode. V kolikor je ocena optimalne perspektivne porabe vode narejena brez zadostnega poznavanja vseh faktorjev, ki vplivajo na oceno porabe, bo v primeru visoke ocene težko ekonomsko realizirati vse objekte, pri nizki oceni, kar je tudi najbolj pogost slučaj, pa bo pomanjkanje vode prav gotovo zavrlo nadaljni razvoj mesta ali regije.

Pri določanju norme porabe vode za prebivalce imajo vpliv naslednji faktorji:

- velikost ter tip mesta,
- karakter ter specifičnost gradbenih območij,
- struktura porabnikov vode,
- stopnja opremljenosti stanovanj ter na splošno sam standard,
- klimatski pogoji,
- potrebna količina vode,
- kvaliteta vode ,
- cena vod,
- stopnja urejenosti zelenih površin, parkov in nasadov,
- stopnja dograjenega vodovodnega omrežja in
- dinamika razvoja posameznih področij.

Povsem logično je, da ima vsak od omenjenih faktorjev določen vpliv na porabo vode. Točno definirati posamezne vplive je zelo težko zaradi tega, ker se posamezni faktorji s spremembo okolja bistveno spremenijo.

Večji porabniki vode v mestih so tudi bolnice. Dosedanje praktične izkušnje kažejo, da je norma celokupne porabe vode po eni postelji tudi do 800 l/dan. Vsekakor pa je poraba vode v bolnišnicah odvisna predvsem od stopnje opremljenosti. Za prognozo porabe vode lahko prevzamemo naslednjo klasifikacijo bolnišnic:

- dobro opremljene bolnice z bazeni za rekreacijo imajo v povprečju norma porabe vode 600 do 800 l/dan na posteljo,
- dobro opremljene bolnice brez bazenov z normo porabe 500 l/dan na posteljo,
- srednje opremljene bolnice z normo porabe 400 l/dan na posteljo in
- slabo opremljene bolnice z normo porabe 300 l/dan na posteljo.

Z ozirom na prevzeto normo celokupne porabe vode in predvideno število prebivalcev lahko izračunamo povprečno porabo vode koncem n-tega leta po enačbi:

$$Q_p = c^n p \cdot A_n$$

Q_p - Povprečna dnevna poraba vode (l/dan)

$c^n p$ - norma celokupne porabe vode (l/oseba/dan)

Za praktični preračun potrebujemo tudi vrednost povprečne porabe vode v določenem času, ki znaša:

$$q_p = \frac{Q_p}{T}$$

q_p - povprečna poraba (l/s)

T - obravnavani čas (s)

7.3 Neenakomernost porabe vode

Poraba vode je po času spremenljiva veličina. Te spremembe se kažejo v letnem, dnevnem in časovnem ciklusu in so v odvisnosti od:

- temperature zraka,
- vlažnosti,
- letnega časa in
- razporeditve delovnega časa.

Da bi lahko to spremenljivo veličino uporabljali, jo moramo definirati kot matematični model v funkciji ustreznih komponent.

Značilna neenakomernost porabe vode se kaže v letu in dnevu, zato tudi ločimo koeficienta neenakomernosti dnevne porabe vode tekom leta in dneva. Za pravilno funkcijo obratovanja vodovodnega sistema je ocena ali analiza teh dveh koeficientov zelo pomembna.

Povprečna dnevna poraba vode tekom leta se spreminja in doseže ponavadi maksimalno vrednost v času poletnih mesecev. To maksimalno vrednost, ki je dosežena v nekem dnevu, lahko imenujemo kritična dnevna poraba vode Q_k , dan v katerem je bila dosežena poraba pa kritični dan.

Kritično dnevno porabo vode lahko izrazimo z enačbo:

$$Q_k = K_1 \cdot Q_p$$

Q_k - kritična dnevna poraba vode (l/dan)

K_1 - koeficient neenakomernosti dnevne porabe vode tekom leta

Q_p - povprečna dnevna poraba vode (l/dan)

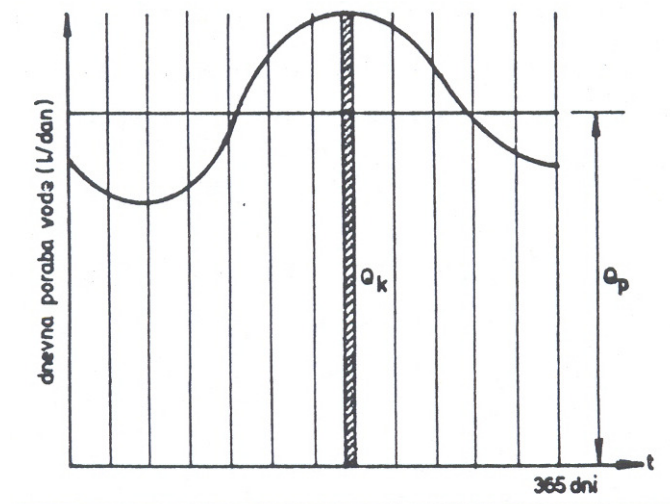
Kritično porabo vode preračunamo v l/sec in znaša:

$$q_k = \frac{Q_k}{T}$$

q_k - kritična dnevna poraba vode (l/s)

T - število sekund v enem dnevu (s)

Kritično dnevno porabo vode lahko prikažemo tudi v diagramu, ki ga prikazuje slika 27.



Slika 27. Kritična dnevna poraba vode v letu

Koeficient K_1 je definiran z razmerjem med maksimalno vrednostjo dnevne porabe vode v letu in med ustrezno povprečno letno dnevno porabo.

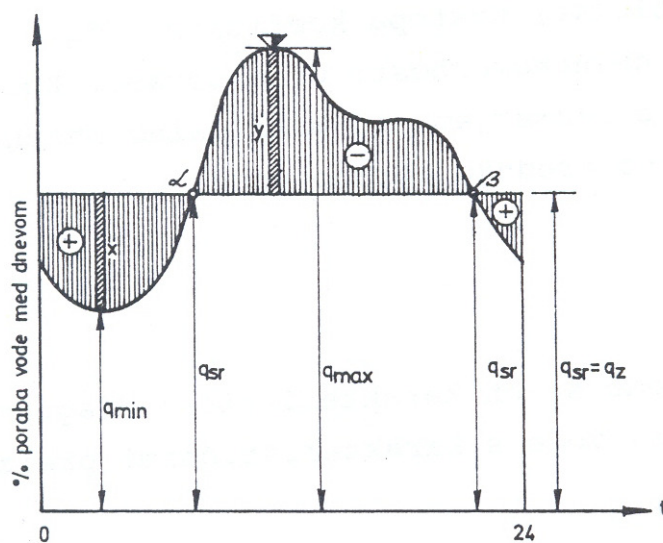
$$K_1 = \frac{q_k}{q_p}$$

Koeficient K_1 lahko ugotovimo na podlagi analize obratovanja vodovodnega sistema, lahko je podan glede na velikost obravnavane aglomeracije tudi s predpisom.

Ena izmed osnovnih karakteristik diagramov neenakomernosti porabe vode je v tem, da je amplituda nihanja porabe vode tem večja čim manjše je mesto ali naselje, v vaseh pa je zelo izrazita.

Poraba vode tekom dneva ni konstantna temveč se tudi spreminja ter podnevi doseže maksimalno, v nočnem času pa minimalno vrednost. Očitno je, da neenakomernost porabe vode izraža direktno način življenja.

Diagram neenakomernosti urne porabe vode med dnevom je prikazan na sliki 28.



Slika 28. Potek spreminjanja urne porabe vode med dnevom

Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999

Iz diagrama neenakomernosti urne porabe vode med dnevom so razvidne naslednje karakteristične porabe vode:

- minimalna poraba vode q_{\min} . je najmanjša poraba vode v kritičnem dnevu,
- srednja poraba vode q_{sr} . je tista poraba vode s katero lahko nadomestimo spreminjajočo porabo vode med dnevom s konstantno vrednostjo. V kritičnem dnevu imenujemo srednjo porabo vode kritična poraba in
- maksimalna poraba vode q_{\max} . je največja poraba vode v kritičnem dnevu in zato jo uporabimo kot najugodnejši pogoj za dimenzioniranje.

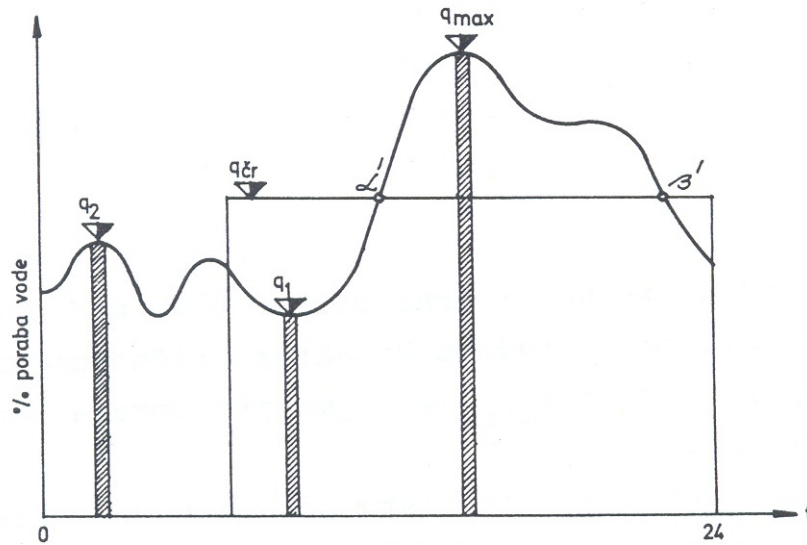
Zapišemo jo lahko v obliki:

$$q_{\max.} = K_1 \cdot K_2 \cdot q_p \text{ (l/s)}$$

Vidimo, da v zgornji enačbi nastopa koeficient K_2 , ki ga imenujemo koeficient neenakomernosti urne porabe in je definiran z razmerjem med maksimalno dnevno porabo vode in med ustrezno srednjo porabo vode.

$$K_2 = \frac{q_{\max.}}{q_{sr.}}$$

Na sliki 29 pa je prikazan še en karakterističen diagram neenakomernosti urne porabe vode s karakterističnimi vrednostmi.



Slika 29. Potek spreminjanja urne porabe vode med dnevom
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999

7.4 Določanje minimalne prostornine vodohrana

Diagram neenakomernosti urne porabe vode je diferencialna krivulja. V primeru, da posamezne podatke seštejemo dobimo kumulativno integralno krivuljo s pomočjo katere lahko ugotovimo potrebno minimalno prostornino vodohrana, ki je prikazana na sliki 7.4.

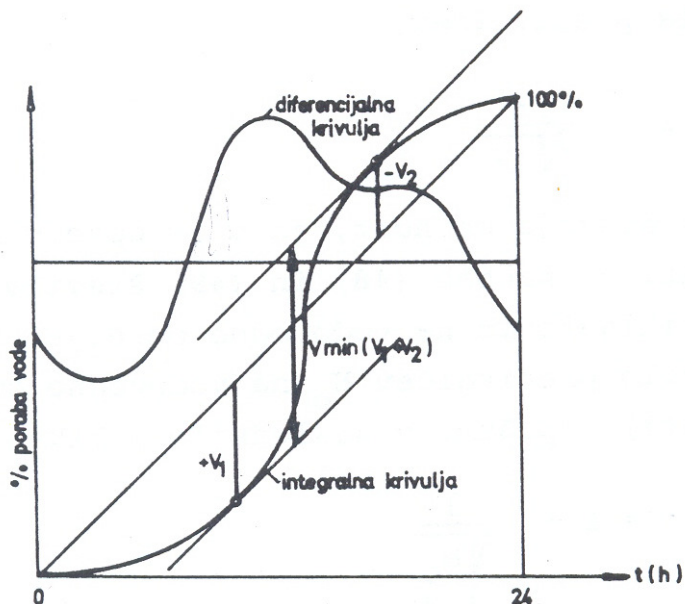
Minimalna prostornina vodohrana V_{\min} predstavlja v bistvu fluktuirajočo vodo vodohrana. Da dobimo koristno prostornino moramo fluktuirajoči vodi prišteti še rezervo za požare in okvare.

Da bi vodohrani lahko opravili uspešno svojo funkcijo, morajo, razen obstoječih točnih dimenzij koristne prostornine, biti tudi višinsko nameščeni, tako da je:

- zagotovljeno enakomerno maksimalno polnjenje ali praznjenje vodohranov pri ustrezni porabi vode,
- da so vodohrani izven funkcije obratovanja v času, ko je poraba vode na vodovodnem omrežju enaka dotoku vode v vodovodni sistem,
- koristna prostornina vodohranov določena tako, da vodohrani hranijo celotno nabiro vode za značilne porabe, še posebej za slučaj požara in okvare na vodovodnem omrežju,
- v primeru kritične porabe vode zagotovljen minimalni oskrbovalni tlak tudi v najbolj kritični točki vodovodnega sistema in
- glede na ekonomično obratovanje vodohrana v vodovodnem sistemu vpliva na višinsko namestitev vodohrana tudi sama velikost vodohrana, katero pogojujejo dinamične razmere vodovodnega sistema s pripadajočo porabo vode.

Iz osnovnih pogojev višinske namestitve vodohranov, ki hkrati omogočajo rešitev hidravlično določenih in nedoločenih vodovodnih sistemov, jasno sledi, da vsi vodohrani ne morejo biti višinsko nameščeni na isto geodetsko višino.

V primeru, ki je prikazan na sliki 30, kjer imamo določeno koristno prostornino le enega vodohrana. Ko pa obravnavamo prostorsko večje vodovodne sisteme, prihaja v poštev tudi večje število vodohranov različnih koristnih prostornin.



Slika 30. Določanje minimalne prostornine vodohrana

Za določitev prostornine vodohranov moramo poznati sistemsko vododelnico, s katero definiramo elemente notranje hidravlične nedoločnosti in hkrati s tem tudi porabo vode. Velikost vodohrana je odvisna predvsem od porabe vode, ki jo omejuje vododelnica. V glavnem poraba vode ni enakomerno razdeljena po vsem vodovodnem omrežju in zaradi tega se prostornine vodohranov med se seboj razlikujejo. V kolikor prihaja do spremembe funkcije vodovodnega omrežja (poraba vode tekom dneva ali z ozirom na požar in okvaro) pa moramo upoštevati funkcijo vodnih virov v vodovodnem sistemu, predvsem črpališč in zajetij.

Z ozirom na določanje lokacij posameznih vodohranov je potrebno paziti, da so po možnosti proti vodohranom speljani glavni cevovodi po principu težiščne obravnavanega lika. Z ozirom na to lahko ugotovimo naslednjo funkcijsko odvisnost, katero zapišemo v splošni obliki:

$$\sum V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

$$\sum P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

$\sum V$ celokupna prostornina vodohranov v vodovodnem sistemu

V_1, V_2, \dots, V_n .. prostornina posameznih vodohranov

$\sum P$ celokupna poraba vode v vodovodnem sistemu

P_1, P_2, \dots, P_n ...poraba vode na posameznih področjih

$\sum Q$ celokupna kapaciteta vodnega vira

Q_1, Q_2, \dots, Q_n ...kapaciteta vode na posameznih virih

Iz zgornjih enač lahko ugotovimo, da se lahko vodovodni sistem razdeli na poljubno število in vsakemu delu vodovodnega sistema pripada ustrezna poraba vode, koristna prostornina vodohrana ter kapaciteta vodnega vira. Izbrano prostornino vodohrana, ki jo aproksimiramo po prvem izračunu, moramo prekontrolirati najmanj na 24 urno obratovanje vodovodnega sistema, priporočljiva pa je tudi večdnevna analiza, s katero so obravnavani dnevi z največjo porabo vode. Pri hidravličnem preračunu vodovodnega sistema je potek kontrole prostornine vodohranov istočasen z ostalimi izračuni.

Povzetek

Zagotavljanje ustreznih količin varne pitne vode vsakemu človeku, vedno in povsod sodi med osnovne elemente zdravja. Pri zagotavljanju količin pitne vode, naj se upoštevajo za oskrbo v okviru doma oziroma gospodinjstva naslednje količine izražene na osebo na dan:

- minimalna količina 20 l pitne vode na osebo na dan je tista minimalna količina, ki je potrebna za pitje, pripravo hrane in osnovno osebno higieno - umivanje rok, pranje živil in drugo,
- količina vode od 50 l pa do 100 l zadošča poleg potreb za pitje, pripravo hrane in osnovno osebno higieno, še za osnovno pranje perila in kopanje – umivanje in
- količine preko 100 l, ki zadovoljijo dodatne potrebe udobja in dobrega počutja.

V sedmem poglavju smo prikazali osnovne izračune z analizo porabe vode. Prikazani so preračuni povprečne dnevne porabe vode (l/dan), preračuni povprečne letne porabe vode, prognoza porabe vode na kraju n-tega leta, preračuni neenakomernosti porabe vode na dan in na leto z določanjem minimalne prostornine vodohranov.

8 NEVARNOSTI VODNEGA UDARA

Uvod

Težnja vodovodnih sistemov je, da obratujejo povečini v stacionarnem režimu. V takšnih razmerah obratovanja vodovodnega sistema so prehodi iz enega stanja v drugo stanje umirjeni brez kakršnih koli posledic za sam sistem

8.1 Osnove vodnega udara

Vodni udar lahko v osnovi razdelimo na popolni in nepopolni vodni udar. Ta porazdelitev se nanaša na razmere med trajanjem potovanja elastičnega vala od mesta nastanka motnje ali deformacije, do povratka motnje na isto mesto. Ponavadi je tudi nadaljna delitev na pozitivni in negativni vodni udar, ki določa pojav z ozirom na to, da je mesto, ki povzroča motnjo v cevovodu na začetku ali koncu sistema po katerem potuje elastični val. Ta elastični val lahko imenujemo tudi val propagacije.

Spremembe do katerih prihaja v vodovodnem sistemu so spremembe porabe vode (sprememba individualne in javne porabe vode, gašenje požarov, iztok vode zaradi defektov itn.), vklop in izklop črpalk, izpad električnega toka itn. Vse hitre spremembe v vodovodu povzročajo lahko vodni udar katerega imenujemo tudi nestacionarni režim obratovanja ali nestacionarni pojav. Ta nestacionarni pojav je za vodovode zelo nevaren zaradi možnosti nastanka poškodb. Prav tako med nevarne pojave za obratovanje vodovodnega sistema štejemo tudi potres, na katerega bi morali misliti že v fazi projektiranja. Podoben problem je tudi položaj cevovoda v slabo nosilnih tleh kot so to barjanska tla itn.

Na podlagi navedenega lahko še enkrat povzamemo, da v tlačnih cevovodih v osnovi vsaka sprememba pretoka povzroča nastanek elastičnih valov nadtlakov ali podtlakov, ki se od mesta nastanka deformacije širijo v obeh smereh cevovoda. Vodni udar lahko nastopi v tlačnih cevovodih kot so to cevovodi hidroelektrarn, vodovodno omrežje, sistemi za namakanje ali zalivanje itn. Nastanek vodnega udara lahko povzroči tudi odpiranje ali zapiranje zasunov in drugih zapornih ventilov ter sprememba pretoka pri obratovanju črpalk in turbin. Ob nastanku vodnega udara se val nadtlakov ali podtlakov (elastični val) ter posledično razširjanje ali ožjenje cevi širi z določeno hitrostjo, ki jo označimo s črko c . Hitrost elastičnega vala je odvisna od premera cevovoda, debeline stene cevi, od načina vgraditve, vrste uporabljenega cevne materiala ter od fizikalnih lastnosti tekočine, ki se pretaka po cevovodu.

8.2 Potek vodnega udara

Spoznali smo, da vodni udar nastane v primeru ko se hitro spremenijo mejni pogoji obratovanja. Pri tem na tekočino delujejo sile tlaka, inercije, trenja, teže, stisljivosti tekočine, elastičnost sistema itn. Potek pojava vodnega udara je shematično prikazan na sliki 8.1. V primeru 1 voda izteka iz vodohrana R v cevovod poleg odprtega zasuna v prerezu A, in z hitrostjo v . Pri tem je profil cevovoda brez deformacije. Nato sledi na primeru 2 zelo hitro zapiranje zasuna, ki povzroči prekinitev pretoka zaradi katerega se poveča tlak v cevovodu

(primer 3). Pojav nadtlaka stiska vodo v cevi, ki se malo razširja zaradi elastičnosti stene cevi. Val nadtlaka od prereza A proti vodohranu R se giblje z hitrostjo c , toda pred njim je gibanje vode enako kot pred nastankom deformacije. V primeru 4 val nadtlakov doseže vodohran R in v v tem momentu je pretok vode v cevovodu prekinjen in tlak je višji od tlaka v vodohranu R. Voda začne teči nazaj v vodohran R (primer 5) in tlak se zniža na začetno vrednost (primer 6). Val nadtlaka c se odbije na mestu vtoka v vodohran R in začne potovati od vodohrana R proti zasunu. Tlak v cevovodu je enak kot v vodohranu R, toda voda teče od prereza A in zasuna v nasprotni smeri od začetne (primer 7). Sedaj začne tlak padati in se pojavi val podtlaka, ki je ponovno usmerjen proti vodohranu (primer 8), voda v cevovodu ne teče in tlak v cevovodu je nižji od tlaka v vodohranu R. Zaradi tega voda iz vodohrana R teče v cevovod (primer 9) in tlak se vrača na začetno vrednost. Na ta način se s primerom 10, ciklus procesa konča.

8.3 Karakteristike vodnega udara

Vodni udar smo v uvodnem delu tega poglavja opredelili kot povečanje ali znižanje tlaka v dovodnem ali odvodnem cevovodu, pri hipni spremembi hitrosti pretoka. Oba pojava sta nezaželena v tlačnih sistemih. Povečanje tlaka ogroža varnost obratovanja ter zahteva ustrezno dimenzioniranje debeline stene cevovoda. Preveliko zmanjšanje obratovalnega tlaka pa lahko povzroči pojav vacuma in povratnega vala, ki pri vodnem udaru lahko poškoduje črpalko, cevovod ali povzroči kakšno drugo škodo na sistemu. Do podobnega pojava prihaja tudi pri hitrem povečanju tlaka, kar povzroča posredno tudi padec tlaka itn. Že v fazi izdelave tehnične dokumentacije se srečamo z dvema problemoma:

- ali je obravnavan sistem ogrožen od vodnega udara in
- ali je potrebno in kakšno zaščito uporabiti pred vodnim udarom.

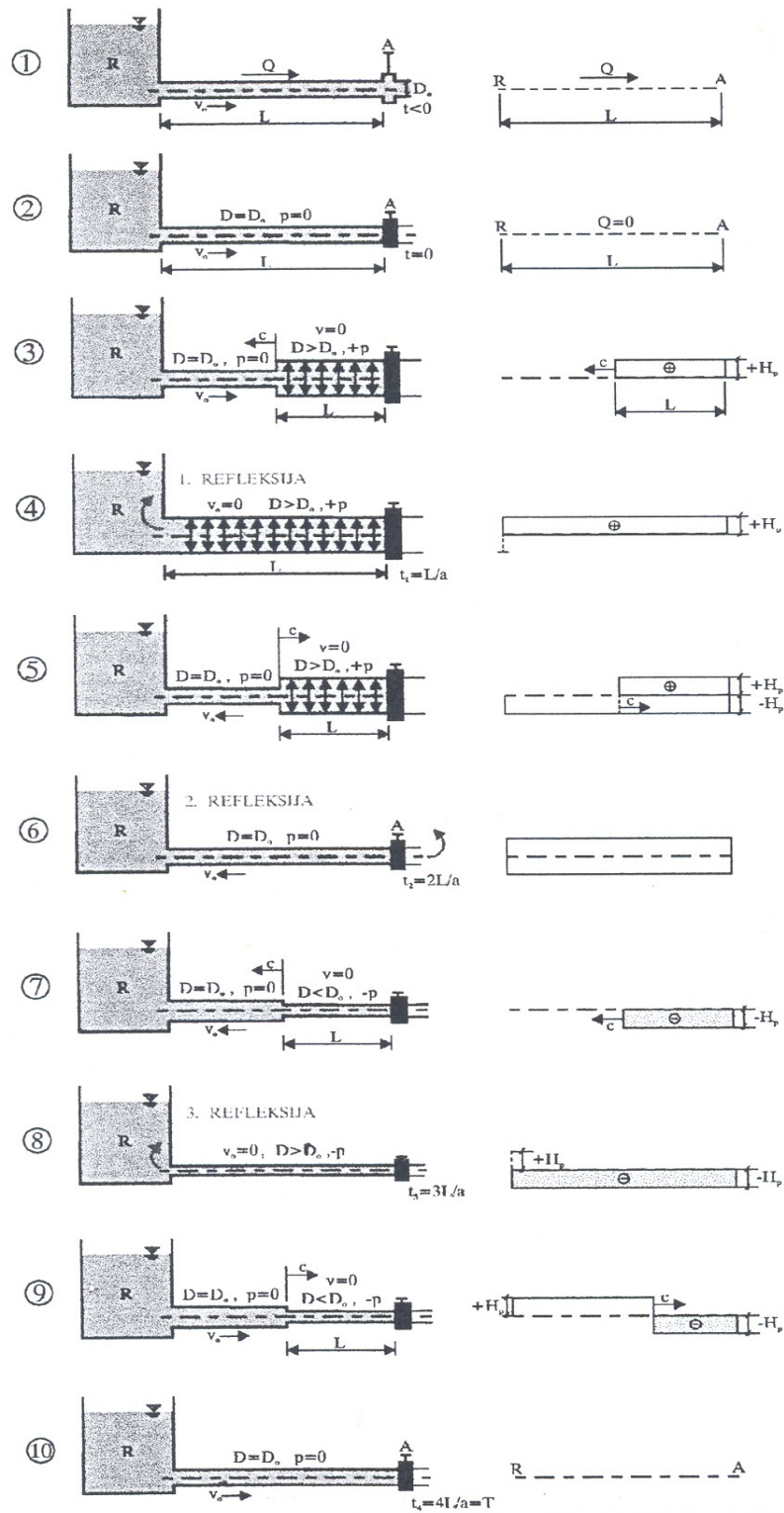
Pri tovrstni problematiki je zato dobro, če razpolagamo z določenimi izkušnjami. Pri vodovodnih sistemih je nevarnost vodnega udara enako prisotna za črpalne (izpad električnega toka itn.) kakor tudi za gravitacijske sisteme (manipulacija z zasuni in drugo vodovodno armaturo na vodovodnem omrežju). V primeru obravnavanja vodovoda moramo upoštevati pri vodnem udaru celotni vodovodni sistem, kar pomeni, da moramo obravnavati črpališča, vodovodno omrežje in vodohrane hkrati skupaj in ne ločeno.

Pri izbiri kategorije tlačnega cevovoda ter dimenzioniranju ali kontroli debeline stene cevovoda moramo biti pozorni na:

- maksimalno povečanje tlaka v cevovodu in
- največje znižanje tlaka v cevovodu.

Maksimalno povečanje tlaka je merodajno za dimenzioniranje ali kontrolo debeline stene cevovoda. Največje znižanje tlaka lahko povzroči nastanek podtlaka, kar ima lahko za posledico poškodbo cevovoda. V primerih nastopa nevarnosti pojava podtlaka je med drugim potrebno preštudirati tudi možnost izbire druge trase cevovoda. Ta možnost se zelo malo uporablja predvsem zaradi terenskih razmer razporejene porabe vode itn., vendar kljub vsemu na to možnost ne bi smeli prehitro pozabiti. Lahko tudi ugotovimo, da za dimenzioniranje cevovoda moramo upoštevati obratovalni tlak kateremu je potrebno dodati še povečanje tlaka zaradi vodnega udara. Pri obravnavi vodnega udara moramo upoštevati lastnosti realne

tekočine in cevovoda z elastičnimi stenami. Povečanje tlaka v cevovodu povzroča elastično deformacijo cevovoda tako, da se prečni prerez cevovoda D poveča.



Slika 31. Proces vodnega udara pri zapiranju zasuna na cevovodu
Vir: E. Petrešin, *Vodovod in kanalizacija*, Ljubljana 1999

Ta deformacija cevovoda se potem v obliki valovnih udarov prenaša vzdolž dolžine L cevovoda s hitrostjo c, ki jo lahko izračunamo po spodnji enačbi.

$$c = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{E_v}{K}}}$$

- c - hitrost širjenja udarnega vala
E_v - modul elastičnosti vode
K - koeficient deformacije površine prečnega prereza cevovoda

V primeru ko povratni val pride do zasuna pred njegovim zapiranjem pa povečanje tlaka ne doseže maksimalne vrednosti. Takšno obliko manevra imenujemo hidravlično postopno zapiranje in dobljeni vodni udar imenujemo nepopolni vodni udar. Pri opisanem dogajanju nastopa v cevovodnem sistemu nižji tlak, ki se hitreje približa obratovalnemu tlaku. To pomeni, da nepopolni vodni udar nastopi takrat, ko je čas zapiranja zasuna večji ali enak od časa povratka odbitega vala in je v vodovodnih sistemih zelo pogosto prisoten že zaradi načina obratovanja vodovoda, programskega vklapljanja in izklapljanja črpalk, spremembe porabe vode itn. Vodovodna črpališča pretežno uporabljajo postopno zapiranje elektromotrnega zasuna z večjo ali manjšo hitrostjo, kar je povezano s pogoji obratovanja.

8.4 Nevarni pojavi povzročeni z vodnim udarom

Do nastopa vakuma v cevovodih prihaja predvsem zaradi:

- nepredvidenega izpada črpalke iz obratovanja,
- nekontrolirano zapiranje ali odpiranje zasuna ali lopute,
- prelom cevovoda,
- hitro odpiranje izpusta vode in
- napake osebja pri kontroli vodovodnega sistema.

Če tlak v vodovodnem sistemu ostane višji od atmosferskega vodovodni sistem ne bo ogrožen. Težave pa se pojavijo tudi v naslednjih primerih:

- pri znižanju notranjega tlaka v cevovodu narašča vpliv zunanjskega pritiska in že se zastavlja vprašanje, ali je cevovod dimenzioniran za takšno obremenitev,
- lahko pa nastopi pretrganje vodnega stebra, ki ob poznejši združitvi pretrganih vodnih mas lahko povzroči močne poškodbe na cevovodu.

V najbolj pogostih primerih do preloma cevovoda ne prihaja takoj in naenkrat temveč nastopa utrujanje materiala z naknadno poškodbo. Pri tem je tudi značilno da togi cevovodi težje prenašajo trenutne oscilacije tlaka.

Zaradi vodnega udara vodovodni sistem ogrožajo predvsem vakumi, ki jim lahko pripišemo naslednje nevarne pojave:

- sploščenje cevovoda,
- izločanje plinov in
- infiltracija onesnaženosti v cevovodu.

Pri cevovodih za katere velja večje razmerje med notranjim premerom in debelino stene cevovoda nam nasatanek vakuma lahko povzroči sploščenje cevovoda.

Nevarnost zaradi vakuma je tudi pojav izločanja plinov. Izločeni plini iz vode so večkrat agresivni za cevne materiale ter hkrati negativno vplivajo na obratovanje celotnega vodovodnega sistema.

Na mestih nastanka vakuma je mogoča skozi defektna mesta filtracija onesnaženosti v cevovodu. V primerih ko se tlak tekočine zniža pod vrednost tlaka zasičene vodne pare na temperaturi okolice lahko nastopi lokalno izhlapevanje tekočine. Formirajo se srebrni mehurčki (cavitatio), ki se prenašajo vzdolž cevovoda s pretokom tekočine ter se razblinijo ali utekočinijo na prehodu v višji tlak. Prav na teh mestih nastopajo poškodbe cevne materiala. Kavitacijo lahko ločimo po posameznih stopnjah in sicer:

- začetek kavitacije karakterizirajo mehurčki velikosti do 5 mm,
- razvita kavitacija spreminja obratovalne karakteristike črpalke, cevovoda itn.,
- kritična kavitacija povzroča močan šum hrup, vibracije konstrukcije in v končni fazi vidne poškodbe

Za definiranje kavitacijskih pogojev uporablja kavitacijsko število, ki nam kaže rezervo tlaka pred nastopom popolnega izhlapevanja celotne mase tekočine. Pri tlaku 0,24 barov se plini izločijo iz tekočine.

8.5 Načini blažitev vodnega udara

Namen blažitev vodnega udara je preprečevanje previsokih in prenizkih tlakov v obratovalnem sistemu. To lahko dosežemo na različne načine vendar nekatere bolj znane oblike so:

- povečanje časa zapiranja,
- projektiranje večjega cevovoda,
- uvajanje zraka,
- vgraditev ovalnega prereza,
- načini s povratno loputo (loputa z odprtino),
- črpalka z vztrajnikom,
- povratni izpust skozi črpalko,
- paralelni cevovod,
- tlačni kotel (klasična izvedba ter izvedba z elastično membrano),
- razbremenitev tlaka (razbremenilni ventili),
- zračni ventil in
- kalibrirana membrane.

Povzetek

Vodni udar nastane v primeru ko se hitro spremenijo mejni pogoji obratovanja. Pri tem na tekočino delujejo sile tlaka, inercije, trenja, teže, stisljivosti tekočine itn. Hitrost elastičnega vala odvisi od premera cevovoda, debeline stene cevi, od načina vgraditve, vrste uporabljenega cevne materiala ter od fizikalnih lastnosti tekočine, ki se pretaka po cevovodu.

V osmem poglavju smo prikazali nastanek vodnega udara z mehanizmi, ki se pojavljajo po posameznih fazah. Podrobno so opisani tudi nevarni pojavi povzročeni z vodnim udarom in načini blažitev vodnega udara.

9 IZDELAVA KARTOTEK ZA KONTROLO VODOVODNIH SISTEMOV

Uvod

Glede na investicijska vlaganja pri izgradnji vodovodnega sistema, ugotavljamo, da je od 60 do 70 % investicij usmerjeno v komunalno dejavnost. Vodovodno omrežje je potrebno stalno vzdrževati in obnavljati. Amortizacijska doba za vodovodno omrežje je 25 do 50 let, pri čemer ne smemo pozabiti, da imajo določeni novi materiali življenjsko dobo tudi 100 in več let. Predčasna zamenjava vodovodnega sistema tako ni smotrna, ker je takšen postopek neekonomičen.

9.1 Namen zbiranja kartotek

Kartoteka za elektronsko obdelavo vodovodnega sistema ali kot jo imenujemo tudi banka podatkov, ima za redno službo vzdrževanja in pregleda dejanskega stanja vodovodnega sistema, zelo velik pomen. Prednost banke podatkov ni le v možnosti hitre kontrole vodovoda in njegovega poslovanja temveč tudi v tem, da so na voljo praktično ob vsakem trenutku bistveni podatki za hidravlični preračun obstoječega stanja ter priprava podatkov za preračun perspektivnega vodovodnega sistema z različnimi variantami.

Cilj moderne kartoteke vodovodnega omrežja, nuditi podatke za stalno vzdrževanje vodovodnega omrežja s pravilnim vlaganjem finančnih sredstev.

Vsaka komunalna organizacija vodi tudi kataster vodovodnega omrežja. Zelo uporaben postopek za kataster je oleatni sistem pri katerem je geodetska podlaga v merilu 1 : 1000 ali 1 : 500. Oleate z vodovodnim omrežjem ter drugimi objekti se lahko uporabijo samostojno. Zelo primerno je v oleatah vnašati s posebno oznako poškodbe na objektih in omrežju.

9.2 Potek zbiranja in prioriteta podatkov

Posamezne podatke najprej zbiramo jih stalno dopolnjujemo in nato poteka shranjevanje obdelanih podatkov na kartice, magnetne plošče (diske) ali trakove. Prednost je v tem, da tako shranjene podatke v zelo kratkem času po določenem operativnem postopku lahko sortiramo ter ovrednotimo.

Velika hitrost in obsežen spomin elektronskih naprav omogočata večkratno povečanje podatkov, tako da se dobijo obsežni pregledi o stanju posameznih vodovodnih omrežij. V kartoteki vodovodnega omrežja naj bodo tisti podatki, ki imajo prioriteten pomen za komunalno organizacijo in sicer v obstoječih razmerah ter v perspektivi.

Lahko povzamemo, da so na vodovodnem odseku zanimivi naslednji podatki:

- številka geodetske situacije (katero povzamemo iz seznama kart),
- številka odseka (katero povzamemo iz katastra),
- profil cevovoda v (mm),

- dolžina cevovoda v (m),
- število priključenih prebivalcev,
- celotno število prebivalcev,
- povprečna poraba vode v (l/s),
- točkovna poraba vode v (l/s),
- specifična poraba vode (l/s/m),
- normirana porabe vode (l/oseba/dan).
- tranzit vode po cevovodu (l/sec),
- število priključkov na odseku,
- število in vrsta zasunov,
- število hidrantov,
- vrsta materiala cevovoda,
- datum vgradnje cevovoda,
- globina cevovoda,
- poškodbe o cevovodu,
- podatki o avtomatizaciji vodovodnega odseka,
- podatki o izolaciji cevovoda in
- podatki o katodni zaščiti cevovoda.

Iz prikazanih podatkov lahko povzamemo naslednjo skupino podatkov iz kartoteke:

- kartoteka obremenitve vodovodnega omrežja,
- kartoteka o poškodbah na omrežju in
- kartoteka o priključkih.

Za črpališča, vodohrane in ostale objekte v vodovodnem sistemu je zanimiva:

- kartoteka vodovodnih objektov.

Podatki vseh teh kartotek se lahko poljubno med seboj kombinirajo in obdelujejo. Številka geodetske situacije in odseka je ista za vse kartoteke in jo imenujemo:

- kartoteka obremenitve vodovodnega omrežja.

Kartoteka o obremenitvi vodovodnega omrežja daje vpogled o oskrbovalnih pogojih, zaradi tega štejemo sem naslednje podatke:

- profil cevovoda,
- dolžina cevovoda,
- število priključenih prebivalcev (porabnikov),
- število prebivalcev,
- povprečna poraba vode,
- točkovna poraba vode,
- specifična poraba,
- normirana poraba vode,
- tranzit vode po cevovodu (povzamemo iz preračuna vodovodnega sistema),

- obratovalni tlak v cevovodu,
- število in vrsta zasunov,
- število hidrantov,
- vrsta materiala cevovoda,
- datum izgradnje cevovoda (po tehničnem prevzemu in uporabnem dovoljenju),
- globina cevovoda,
- fazonski kosi,
- podatki o izolaciji cevovoda,
- podatki o katodni zaščiti cevovoda,
- podatki o avtomatizaciji vodovodnega odseka,
- številka inkasantskega okoliša in
- redukcijski ventili obratovalnih tlakov.

Celotno vodovodno omrežje razdelimo na vodovodne odseke, ki so odvisni od krajevnih razmer. Zelo primerna je delitev na vodovodne odseke po principu od križišča do križišča, manj primerna pa po inkasantskem okolišu. Povsem logično je, da moramo pri delitvi na odseke paziti tudi na:

- razdelilne odcepe,
- vertikalne in horizontalne lome cevovoda,
- meje tlačnih con,
- spremembe prečnega profila,
- spremembe vrste materialov in
- letnico polaganja in položitve cevovoda.

9.2.1 Kartoteka o poškodbah na omrežju

Namen kartoteke o poškodbah je predvsem registracija vseh slučajnih in namernih poškodb vodovodnega omrežja. Na podlagi teh se preštudirajo vzroki poškodb in njihova preprečitev v bodoče. Zato je primerno, da ta kartoteka za vsak odsek vsebuje naslednje podatke:

- datum poškodbe,
- kraj poškodbe,
- vrsta poškodbe in
- vzrok za poškodbo.

V to kartoteko se lahko vpišejo tisti podatki, ki so potrebni za hitro orientacijo o mestu okvare.

9.2.2 Kartoteka priključkov

Vodovodi kot komunalna podjetja posebnega družbenega pomena vodijo za obračun s porabniki kartoteko, katero lahko imenujemo kartoteka strank. Takšne kartoteke z mesečnimi izkazi porabljene vode večkrat niso popolne in le redko so uporabne za tehnične namene. V vsakem primeru lahko ugotovimo, da je prav ta kartoteka vezni člen med komercialnimi in tehničnimi nalogami. Ta kartoteka mora vsebovati tudi številke vozlišč, katere prevzamemo iz hidravličnega preračuna vodovodnega sistema. Razumljivo je, da moramo imeti že v fazi

oštevilčenja vozlišč koncept za obstoječe razmere, ki bodo vključene v perspektivni razvoj vodovodnega sistema. Za to vrsto kartoteke so zanimivi naslednji podatki:

- porabniki vode (število, naslov in tarifna skupina),
- vrsta priključka (zasebna poraba, obrt, industrija),
- profil priključka,
- vrsta materiala, s katerim je izveden priključek,
- dolžina priključka in
- številka vozlišča, v katerem je upoštevana poraba vode.

V kolikor imamo zbrane vrednosti iz obračuna porabe vode na karticah, je npr. omogočena hitra kontrola plačanih računov za tekoči mesec.

9.2.3 Kartoteka vodovodnih objektov

Namen te kartoteke je registracija vseh objektov v vodovodnem sistemu. V to kartoteko štejemo naslednje objekte:

- črpališča,
- vodohrani,
- razbremenilniki in
- zajetja.

9.2.4 Kartoteka črpališč

Za posamezna črpališča so pomembni naslednji podatki:

- številka črpališča,
- tip črpalke,
- zmogljivost črpalke,
- manometrična višina črpanja,
- moč motorja,
- kota gladine vode,
- posamezno ali paralelno delo črpal in
- elementi avtomatizacije črpališča.

Pri črpalnih postajah, kjer je v obratovanju več črpal, je potrebno registrirati tudi celotno načrpano vodo in porabljeno električno energijo, pri zahtevnejših izvedbah tudi vse podatke za zaščito od vodnega udara.

9.2.5 Kartoteka vodohranov

Za vodohrane pa so pomembni naslednji podatki:

- številka vodohrana,
- konstrukcija vodohrana (dvojni, dvocelični itd.),
- tloris vodohrana (okrogli, pravokotni, površina itd.),

- koristna višina vodohrana,
- volumen vodohrana,
- kota dotočne cevi,
- kota gladine vode,
- kota dna vodohrana,
- kota odtočne cevi,
- prehodni ali protiležni vodohran,
- leto izgradnje vodohrana,
- profil dotočne cevi v vodohran,
- profil odtočne cevi iz vodohrana (pri prehodnem vodohranu) in
- elementi avtomatizacije vodohrana.

9.2.6 Kartoteka razbremenilnikov

Pri razgibanem terenu in večjih višinskih razlikah oskrbe z vodo so v vodovodnem sistemu potrebni razbremenilniki zaradi zmanjšanja obratovalnega tlaka. Namesto razbremenilnikov se uporabljajo tudi redukcijski ventili za zmanjšanje obratovalnega tlaka v vodovodnem sistemu.

Pri razbremenilnikih ali redukcijskih ventilih so pomembni naslednji podatki:

- številka razbremenilnika,
- kota razbremenilnika (kota gladine vode),
- koristna prostornina razbremenilnika,
- leto izgradnje,
- za redukcijski ventil tip ventila ter stopnja redukcije tlaka in
- številka redukcijskega ventila.

9.2.7 Kartoteka zajetij

Za zajetja so naslednji pomembni podatki:

- zmogljivost zajetja,
- številka in naziv zajetja,
- kota zajetja,
- tip zajetja (z drenažo, z objektom itd.),
- površinski zajem ali zajem izvira in
- elementi avtomatizacije.

Zelo primerno je tudi pri črpališčih in zajetjih evidentirati tudi bistvene karakteristike kvalitete pitne vode ter karakteristike dezinfekcije vode.

9.3 Mehanizmi izdelave kartotek

Ko odpremo novo kartoteko, se morajo vnesti vsi pridobljeni statistični podatki. V kolikor imamo obdelane podatke iz zadnjih 10 let, je praktično to že zelo primeren material za

uporabo. Večkrat pa imamo nepopolne podatke, v takem primeru si pomagamo s subjektivno oceno posameznih vrednosti, dokler ne dosežemo zadostnega števila meritev.

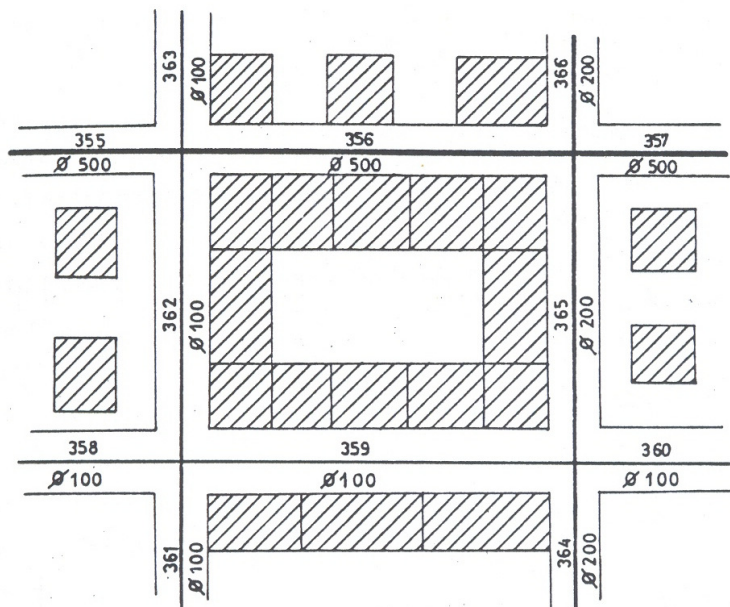
Ko je enkrat kartoteka odprta, je potrebno redno vnašati vse spremembe in dopolnitve na vodovodnem sistemu.

Uvedba kartoteke je zelo zahtevna naloga. Predvsem se zahteva zelo temeljito poznavanje funkcije vodovodnega sistema. Priporočljivo je, da se izvedba kartoteke poveri za to strokovno usposobljenim osebam, ki imajo zadostne izkušnje pri analizi vodovodnega sistema.

Cilj kartoteke za elektronsko obdelavo vodovodnega sistema je, omogočiti ob vsakem času hitro vrednotenje podatkov glede na tehnične in komercialne zahteve. Na ta način je omogočeno optimalno vzdrževanje ter načrtovanje razvoja vodovodnega sistema. Zelo pomembno je vprašanje, katere podatke vnesti v kartoteko, veliko podatkov lahko eliminiramo že na začetku, ker npr. ne izpolnjujejo določenih pogojev.

Da takšna eliminacija podatkov ne bi potekala stihijsko, uvedemo za kritično primerjavo različne baze podatkov. Pod tem razumemo ureditev velikega števila podatkov po prioriteten vrstnem redu. Vrednosti sestavljajo različne komponente, med katerimi posebej izstopata funkcionalna in ekonomska uporabnost.

Za to vrsto dela so potrebne v sodobnih vodovodnih sistemih ustrezne senzorske enote, ki so povezane z računalniškim centrom z ustrezno programsko podporo. Če so posamezni odseki vodovoda označeni s številkami potem lahko na ta način dobimo v vsakem trenutku tudi podatke o eventualni poškodbi vodovodnega sistema. Slika 9.1. prikazuje del vodovodnega sistema označenega z zaporednimi številkami.



Slika 32. Del računalniško nadzorovanega vodovodnega sistema

Povzetek

Uvedba kartoteke je zelo zahtevna naloga. Predvsem se zahteva zelo temeljito poznavanje funkcije vodovodnega sistema. Priporočljivo je, da se izvedba kartoteke poveri za to strokovno usposobljenim osebam, ki imajo zadostne izkušnje pri analizi vodovodnega sistema.

V devetem poglavju učbenika smo prikazali nepogrešljivi del na področju vodovodnih sistemov, ki zajema izdelavo kartotek za elektronsko obdelavo vodovodnih sistemov.

10 AVTOMATIZACIJA IN PROCESNO VODENJE VODOVODNIH SISTEMOV

Uvod

Za nemoteno delovanje različnih vodovodnih sistemov, človek kot faktor usklajevanja pomembnih funkcij ne more več predstavljati zadovoljivega jamstva za nemoteno delo vseh naprav, posebno ne zaradi subjektivne narave odločanja. Prav zaradi odstranjevanja subjektivnih napak in zaradi zanesljivejšega delovanja vodovodnega sistema ima avtomatizacija in procesno vodenje velik pomen. Če želimo doseči dobro avtomatizacijo vodovodnega sistema, moramo poznati najsodobnejše dosežke elektronike na tem področju. Ker se elektronika stalno in hitro izpopolnjuje, je zelo težko podati takšno rešitev avtomatizacije, ki ji ne bi čez nekaj časa sledile tehnične izboljšave.

10.1 Namen avtomatizacije

Ker večkrat prihaja do zamenjave pojmov avtomatika in avtomatizacija poizkusimo na kratko razčleniti ta dva pojma:

- pod avtomatiko razumemo posebno vejo tehniških ved in
- avtomatizacija pa predstavlja uporabo izsledkov avtomatike v praktične namene, kar pomeni neposredno aplikacijo avtomatike v praksi.

Ker je podobnost teh dveh pojmov očitna, je logično pričakovati tudi njihovo zamenjavo, kar je popolnoma razumljivo, ker gre za predmete, ki so vezani na oba pojma.

Ne glede na zahtevnost vodovodnega sistema mora biti zagotovljena oskrba porabnikov vode ob vsakem času. Vsaka avtomatizacija mora spremljati osnovne hidravlične parametre vodovodnega sistema in zagotoviti, da ti parametri pravilno delujejo. Vsekakor je logično, da za rešitev navedenih problemov potrebujemo dobro obdelane parametre, po možnosti za čim daljše obdobje.

Pri presoji o smotnosti uvajanja avtomatizacije v vodovodnem sistemu je potrebno analizirati vsak sistem zase, v nobenem primeru pa ne prenašati avtomatizacijo šablonsko z enega sistema na drugega. Avtomatizacija vodovodnega sistema naj bo po možnosti izvedena po posameznih fazah, ki se med seboj dopolnjujejo.

Opravičenost avtomatizacije se pokaže šele z njenim ekonomičnim in varnim obratovanjem. Praksa je že dokazala, da so stroški za avtomatizacijo vodovodnega sistema v odnosu na druge stroške najmanjši. Iz navedenega lahko povzamemo da je namen avtomatizacije naslednji:

- povečanje obratovalne vrednosti,
- ekonomičnejše obratovanje celotnega sistema,
- zagotovljena kontrola kvalitete in kvantitete vode in

- eliminiranje težkega manualnega dela.

10.2 Elementi Avtomatizacije

Z avtomatizacijo dosežemo točnejše meritve in ustrežnejšo signalizacijo obratovalnih veličin za vnaprej določene mejne pogoje obratovanja. Vse te veličine je potrebno prenašati s pomočjo daljinskega krmiljenja v komandni center, kjer je pregled nad celotno funkcijo vodovodnega sistema. Pri tem ločimo naslednje elemente avtomatizacije celotnega vodovodnega sistema:

1. **MERITVE**, ki predstavljajo osnovne podatke in jih delimo na dve skupini, in sicer:
 - meritve obratovalnih veličin, med katere štejemo merjenje pretočnih množin vode v črpališčih, cevovodih in vodohranu
 - meritve gladin vode podtalnice in gladine vode v vodohranu
 - meritve števila obratov črpalk, porabe električne energije, frekvence in
 - meritve fizikalnih in kemičnih lastnosti vode, kamor štejemo kemično sestavo vode kot so klor, amonij, fosfati, trdota, temperatura, pH itd.
2. **REGULACIJA**, ki mora biti zagotovljena z avtomatičnimi regulatorji, npr. z regulatorji gladin vode v vodohranih ter z regulatorji za vklop in izklop črpalk, kar je odvisno od porabe vode. Na vodovodnem omrežju pridejo v poštev še zasuni ter razni ventili in zaklopke, ki morajo biti opremljene z elektromotorji. V kolikor imamo v omrežju cevi iz elektro prevodnega materiala, moramo paziti še na katodno zaščito. Posebno pomembna je avtomatična regulacija pri napravah za razna doziranja kemikalij. Po možnosti naj bo potek regulacije neprekinjen tudi v primeru izpada električnega toka. Za takšno regulacijo pa potrebujemo drug način dobave električne energije (elek. generator).
3. **SIGNALIZACIJA** v vodovodnem sistemu je največkrat usmerjena na določene mejne vrednosti kot je npr. maksimalna in minimalna gladina podtalnice, s čimer dosežemo, da smo zavarovani pred poplavo v objektu in pred tem, da črpalka ne dela na suho. Pri črpalkah moramo paziti na temperaturo ležajev. Čim se ta temperatura doseže, je potrebno črpalko izklopiti in hkrati blokirati motor. Signale je potrebno prenesti v komandne in dispečerske centre Signal je lahko zvočen ali svetloben. Zvočni signal, npr. sirena, se lahko izključi s pritiskom na gumb, svetlobni pa mora ostati toliko časa, dokler se ne izda ukaza. Prenos posameznih signalov zahteva večjo varnost kot npr. prenos nekaterih izmerjenih veličin.
4. **KRMILJENJE** se zelo hitro razvija. Poznamo več načinov posredovanja podatkov od mesta operacije do komandnega ali dispečerskega centra. Glede na omejene možnosti mehaničnih, pnevmatskih in hidravličnih metod v vodovodnih sistemih največkrat uporabljamo električne metode. V glavnem ločimo naslednje metode:
 - Direktna zveza po fizičnih vodih, kar pomeni, da je potrebno imeti lasten kabel. To je posebno ugoden način pri gradnji novih vodovodnih sistemov. Pri obstoječih vodovodnih sistemih je to težje zato si pomagamo s polaganjem kabla

v samo cev vodovoda ali kanalsko, toda tudi pri tem so določene težave posebno pa, nevarnost poškodbe kabla.

- Ton-frekvenčni multipleks ali zveza preko pošte pride v poštev le na določenih relacijah, kjer že obstajajo proste telefonske zveze. Glede na naše razmere je ta način dokaj težko realizirati.
- UKV zveza pomeni eno izmed cenejših rešitev, je pa delno nezanesljiva, ker je izpostavljena določenim motnjam. Uvedbo UKV zveze mora dovoliti ustrezen organ.
- Kombinacija prej omenjenih načinov se uporablja pri že obstoječih večjih vodovodnih sistemih. Povsod tam, kjer je možno, se polagajo lastni kabli ob cevovodu. To je ponavadi pri obstoječih vodovodih na periferiji mest. Kjer ni mogoče polagati lastnega kabla ob cevovodu zaradi ponovnega prekopavanja, polagamo kabel v cevovod in to z namenom navezave na obstoječi poštni kabel. Če so te možnosti izkoriščene uvedemo UKV zvezo.

10.3 Avtomatizacija črpališč

Glede na opremo in način obratovanja se črpališča dokaj lahko avtomatizirajo. Danes praktično velja pravilo za nova črpališča, da se že v fazi projektiranja projektira tudi avtomatizacija.

V galvnem avtomatizacijo črpališč lahko delimo na:

- delno avtomatizacijo, pri kateri mehanik ročno daje komande v samem črpališču ali iz kontrolnega centra in
- popolno avtomatizacijo, pri kateri so vse komande urejene avtomatično in se vsi delovni parametri prenašajo v kontrolni center s pomočjo ustrezne signalizacije.

Stopnja avtomatizacije črpališč je v veliki meri odvisna tudi od same funkcije črpališča, ki ga ima v vodovodnem sistemu. V vodovodnih sistemih, pri katerih črpalke črpajo vodo neposredno k porabnikom, ima vsaka prekinitev obratovanja črpališča za posledico, da večji del porabnikov ostane brez vode in v takih primerih je zaželjena popolna avtomatizacija.

Kljub popolni avtomatizaciji mora biti v takšnih črpališčih tudi stalna kontrola obratovanja od strani strokovne osebe. Avtomatizacija črpališča je tudi odvisna od celotne avtomatizacije vodovodnega sistema, saj črpališče in ostali del vodovodnega sistema tvorijo nedeljivo celoto.

Glede na funkcijo črpališča znotraj vodovodnega sistema ločimo:

1. Najenostavnejši sistem je ena črpalka in en vodohran. Zmogljivost črpalke je manjša od izdatnosti vodnjaka. V takem primeru je avtomatizacija sestavljena iz naprav za merjenje gladin vode v vodohranu in gladin podtalnice v vodnjaku. Črpalka se vklaplja glede na minimalno gladino vode v vodohranu in izklaplja glede na maksimalno gladino vode v vodohranu ter minimalno gladino podtalnice. Izklop črpalke glede na minimalno gladino vode v vodnjaku je potreben zato, da črpalka ne dela na suho.

2. Vodovodni sistem z enim vodohranom in večjim številom črpalk. Črpalke so lahko medseboj vse enake ali različnih kapacitet. Pri tem ločimo:
 - Delo ene črpalke ali več s ciljem, da se čim hitreje napolni vodohran. Čas polnitve vodohrana je odvisen tudi od porabe vode, vendar se zahteva čim krajši čas obratovanja črpalk (na splošno je to tudi zahteva pri vseh drugih vodovodnih sistemih, ker so lahko v tem primeru obratovalni stroški minimalni),
 - Čim boljša prilagoditev izdatnosti posameznih vodnjakov in
 - Kombinacija prejšnjih variant.

3. Vodovodni sistem z več vodohrani in več črpališč, v katerem se mora obratovanje črpalk prilagajati dejanskim zahtevam, ki so lahko:
 - Izdatnost posameznih vodnjakov in njihov sistem medsebojnih vplivov
 - Najmanjši potreben dvig vode (ta črpalka največ obratuje),
 - Razpoložljive količine vode glede na letni čas in
 - Poraba električne energije po cenejši drugi tarifi.

4. Zaradi razsežnosti vodovodnega sistema se lahko zgodi, da na določenih mestih vodovodnega omrežja prevladuje nizek tlak. Iz objektivnih razlogov, kot so večja varnost pred požari, varnejša oskrba porabnikov z vodo, moramo ta tlak višati. To lahko dosežemo s pomočjo prečrpalnih postaj. V takem primeru je priporočljiva uporaba črpalk, ki se montirajo direktno na cevovod. Da se takšne črpalke ne bi stalno vklaplajale in izklaplajale zaradi spremembe tlaka v vodovodnem omrežju, je dobro, da črpalke ustrezno zavarujemo. Eno izmed vprašanj notranje avtomatizacije črpališč je zagon in ustavitev črpalnega agregata pri odprtem ali zaprtem zasunu na tlačnem cevovodu. V novejšem času se do sedaj veljavno pravilo - zagon črpalke pri zaprtem zasunu opušča in posebno pri črpalkah z vgrajeno povratno zaklopko za črpalko je možen zagon pri odprtem zasunu. V črpališčih, kjer obratuje več črpalk, je potrebno vpeljati v odvisnosti od diagrama porabe vode programsko kaskadno obratovanje črpalk. To še posebej pride v poštev pri vodovodnih sistemih, kjer je oskrba z vodo kombinacija črpanja in gravitacije. V takšnih primerih morajo črpalke čim manj obratovati, kar dosežemo s programskim upravljanjem. Namen programskega upravljanja je, da čim bolj izkoristimo cenejšo gravitacijsko vodo iz zajetja. V tem primeru črpalke obratujejo samo takrat, ko je to potrebno. Osnova regulacije je, da določimo minimalno količino vode v vodohranu za določen čas. V času nižje tarife skušamo vodohran napolniti do maksimalne gladine, tako, da mora biti v vodohranu še dovolj prostora za vodo iz zajetja. V času višje tarife pa lahko gladina vode doseže minimum, kar pomeni, da je gladina vode na višini rezerve za požar.

10.4 Avtomatizacija vodovodnega omrežja

I

Avtomatizacija vodovodnega omrežja je predvsem usmerjena na primarno in manj na sekundarno vodovodno omrežje. Vodovodno omrežje, katero kontroliramo iz komandnega ali dispečerskega centra, moramo opremiti z elektromotornimi zasuni, z ustreznimi manometri za merjenje tlakov in z merilci pretokov. Kritične točke, npr. pri mostovih ali v nezadostno konsolidiranih tleh, ki so izpostavljene lomom, moramo opremiti z zasuni, ki reagirajo na programirano maksimalno hitrost vode v cevovodu.

Vse merjene vrednosti se prenašajo v dispečerski center, od koder se lahko opravlja krmiljenje. Da bi avtomatizacija vodovodnega omrežja nemoteno potekala, je potrebno izbrati čim več podatkov, kar pomeni, da je zaželeno imeti čim več merskih mest. To ni vedno mogoče zaradi velikih dolžin vodovodnega omrežja in bi telekomunikacijski kabli povzročili visoko ceno. Zato mora biti izbira merskih točk zelo skrbno preiščena glede na specifične pogoje, ki jih diktira vodovodno omrežje, kot tudi celotni vodovodni sistem. V vsakem primeru morajo biti izbrane točke reprezentančne, tako, da se na podlagi meritev v teh točkah lahko dobi zadostna preglednost nad celotnim sistemom. Izbira samo ene reprezentančne točke ne nudi zadostne varnosti za pregled dejanskega stanja v vodovodnem omrežju. Dobro izpeljana avtomatizacija vodovodnega omrežja nam omogoča, da lahko po vodovodnem omrežju usmerjamo vodo iz komandnega ali dispečerskega centra po omrežju glede na trenutne zahteve. Ta možnost je dobrodošla posebno v primeru večjega požara ali drugih okvar, ko moramo zagotoviti maksimalno količino vode na določenem mestu.

Povzetek

Tekst, ki je zajet v zadnjem desetem poglavju ima za namen predvsem opozoriti bralca na spremljajočo problematiko avtomatizacije vodovodnega sistema, pri čemer je potrebno do podrobnosti poznati princip obratovanja vsakega vodovodnega sistema posebej. Pri prehodu od klasičnega obratovanja vodovodnih sistemov na avtomatizirane sisteme zapuščamo klasično delo in prehajamo v novo obdobje s sodobnejšimi metodami dela. Ta prehod ni tako lahek in nujno zahteva določene spremembe, ki so predvsem vezane na človeka in njegovo miselnost. Radikalne spremembe, ki so nujne pri uvajanju sodobne tehnologije, zahtevajo spremembo klasičnih metod dela, predvsem pa se omejuje manualno delo. Z zmanjšanjem manualnega dela se povečuje psihična obremenitev in so potrebne zahtevnejše specifične psihofizične lastnosti.

11 LITERATURA

- F. Bremšak, D. Matko, E. Petrešin: Analiza dinamičnih pojavov v vodovodnih sistemih, Ljubljana 1975.
- F. Bremšak, D. Matko, E. Petrešin: Računalniško obravnavanje vodovodnih sistemih z uporabo električne analogije, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana 1974.
- H. Cross: Analysis of Flow in Networks of Conduits and Conductors, University of Illinois Experiment Station, 1986.
- Č. Maksimovič, M. Radojkovič: Problemi proračuna distribucije fluida kroz mrežne Cevovode, Jugoslovenski kongres racionalne I primenjene mehanike, Sarajevo 1976.
- E. Petrešin: Vodovod in kanalizacija, Ljubljana 1999.
- E. Petrešin: Vodovodni sistemi, Ljubljana 1980.
- N. Shokri, P. Lehman, P. Vontobel: Drying Front and Water Content Dynamics During Evaporation from Sand Delineated by Neutron Radiography, Water Resources Research V 22, Ar. Nu. W06418, 2008.
- E. Shlyapunova, G. Sergeev: Anion Chromatography and Redox Photometry in Potable Water Analysis, Russian Journal of Applied Chemistry, V 81, 2008, 765 – 770.
- M. Šerek: Matrix Conception of the Flow Analysis in Complex Water Supply System, Brno 1968.

