

# Izrada konceptualnih modela sustava za pročišćavanje vode

---

Ferenčak, Nikolina

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:189017>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-14**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

**Završni rad br. 251/GR/2017**

**Izrada konceptualnih modela sustava za pročišćavanje vode**

**Nikolina Ferenčak, 0423/336**

Varaždin, rujan 2017. godine



# Sveučilište Sjever

Odjel za Graditeljstvo

Završni rad br. 251/GR/2017

## Izrada konceptualnih modela sustava za pročišćavanje vode

**Studentica**

Nikolina Ferenčak, 0423/336

**Mentorica**

dr. sc. Lovorka Gotal Dmitrović, pred.

Varaždin, rujan 2017. godine

## **Zahvala**

Zahvaljujem se svojoj mentorici, dr.sc. Lovorki Gotal Dmitrović, pred., na nesebičnoj pomoći i posvećenom vremenu tokom pisanja ovog rada. Svojim stručnim mišljenjima i korisnim sugestijama uvelike je olakšala te pomogla nastanak ovog završnog rada.

Također, zahvaljujem i svim kolegama koji su mi pomagali oko završnog rada i uspješnog završetka studija.

Također, zadnje, ali jednako veliko hvala mojim roditeljima i cijeloj obitelji, koji su mi omogućili studiranje, te svojom podrškom i razumijevanjem kada mi je bilo najpotrebnije, učinili da ga pamtim kao jedno prekrasno iskustvo.

## **Sažetak**

Ovim radom se ukazuje na postupke pročišćavanja otpadnih voda, te sa željom za očuvanjem vode potrebno je redovito provoditi kontrolu odnosno nadzor nad dolaznim i ispusnim vodama.

Rad je koncipiran u nekoliko cjelina. U uvodnom djelu upućeni smo u opće informacije o vodi, načinu kruženja u prirodi te problemima koje donosi njihovo onečišćenje, dok su u drugom dijelu opisane otpadne vode, njihova fizikalna svojstva te glavna podjela. U trećem djelu objašnjene su glavne metode pročišćavanja otpadnih voda te daljnja podjela postupaka i uređaja.

U četvrtom i petom djelu objašnjen je pogon za pročišćavanje podzemne vode u Ravniku, te su prikazani konceptualni modeli i njihove funkcije.

**Ključne riječi:** otpadna voda, sustavi za pročišćavanje, konceptualni modeli

## **Abstract**

This article refers to the processes of wastewater treatment, and with the desire to preserve the water it is necessary to regularly carry out control and supervision of the incoming and outgoing water.

The work is divided into several sections. In the introductory part we addressed the general information on water circulation mode in nature and problems brought on their pollution, while the second part describes the waste water, their physical properties and main division. The third part explains the main methods of wastewater treatment and subdivision methods and devices.

In the fourth and fifth part, an explanation of the groundwater treatment plant in Ravnik is presented, and conceptual models and their functions.

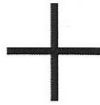
**Keywords:** waste water, purification systems, conceptual models

## Popis korištenih kratica

<b>UNESCO</b>	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
<b>BPK</b>	Biološka potrošnja kisika
<b>KPK</b>	Kemijska potrošnja kisika
<b>BPK</b>	Biokemijska potrošnja kisika
<b>A/D</b>	Anaerobna digestija
<b>DCA</b>	Dijagram ciklusa aktivnosti
<b>CLD</b>	Causal loop diagram
<b>CSL</b>	Conceptual Schema Language
<b>UML</b>	Unified Language Modeling
<b>DFM</b>	Data flow modeling
<b>ERM</b>	Entity-relationship modeling
<b>EPC</b>	Event-driven process chain
<b>DSDM</b>	Dynamic systems development method
<b>CSL</b>	Control & Simulation Language
<b>ECSL</b>	Extended Control & Simulation Language







SVEUČILIŠTE  
SJEVER



IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, NIKOLINA FERENČAK (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom IZRADA KONCEPTUALNIH MODELA SUSTAVA ZA PROJEKTOVANJE UJDE (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Ferenčak Nikolina  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, NIKOLINA FERENČAK (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom IZRADA KONCEPTUALNIH MODELA SUSTAVA ZA PROJEKTOVANJE UJDE (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Ferenčak Nikolina  
(vlastoručni potpis)

# Sadržaj

1.	Uvod .....	1
2.	Otpadne vode.....	3
3.	Metode pročišćavanja vode.....	5
3.1.	Mehanički postupci.....	6
3.1.1.	<i>Sedimentacija (taloženje)</i> .....	7
3.1.2.	<i>Gravitacijska sedimentacija</i> .....	8
3.1.3.	<i>Centrifugalna sedimentacija</i> .....	9
3.1.4.	<i>Filtracija</i> .....	10
3.1.5.	<i>Flotacija</i> .....	11
3.1.6.	<i>Aeracija</i> .....	13
3.2.	Fizikalno-kemijsko pročišćavanje .....	14
3.2.1.	<i>Neutralizacija</i> .....	15
3.2.2.	<i>Flokulacija / koagulacija</i> .....	16
3.2.3.	<i>Oksidacija</i> .....	18
3.3.	Biološki načini obrade.....	19
3.3.1.	<i>Proces aktivnim muljem</i> .....	20
3.3.2.	<i>Biološka filtracija</i> .....	21
3.4.	Anaerobni procesi .....	22
4.	Konceptualni modeli.....	24
4.1.	Povijest .....	24
4.2.	Uvod u konceptualni model .....	25
4.3.	Modeliranje .....	26
4.3.1.	<i>Vrste modela podataka</i> .....	28
4.3.2.	<i>Tehnike modeliranja</i> .....	29
4.4.	Uzrok - posljedica dijagram .....	31
4.5.	Dijagram ciklusa aktivnosti .....	34
4.6.	Dijagram uzročnih petlji.....	37
4.7.	Petrijeve mreže .....	39
4.8.	Dijagram toka .....	42
5.	Pogon za pročišćavanje vode Ravnik .....	45
5.1.	Povijest razvoja pogona .....	45
5.2.	Pogon u Ravniku.....	45
5.3.	Prerada vode .....	45
6.	Zaključak.....	50
7.	Literatura.....	52
8.	Popis slika .....	54
9.	Popis tablica .....	55



# 1. Uvod

Čak 71% Zemljine površine (odnosno 365 milijuna kvadratnih kilometara) zauzima voda. Kemijska i fizikalna svojstva vode oblikuju lice Zemlje, omogućuju život vodenih i kopnenih organizama te određuju klimu. Upravo jer nas voda okružuje na svakom koraku, uzimamo ju „zdravo za gotovo“ i malo je onih koji uistinu shvaćaju njenu ulogu u opstanku života na našem planetu i nas samih.

Međunarodna organizacija UNESCO u Parizu 2003. godine je objavila rezultate istraživanja o svjetskim vodnim zalihama kojim obuhvaća 188 zemalja u svijetu. Prema tim podacima najsiromašnija zemlja je Kuvajt, a slijede Oblast Gaze, Ujedinjeni Arapski Emirati, Bahami i Katar. Najbogatije zemlje slatkom vodom po glavi stanovnika godišnje je Francuska Grijana, a slijede Island, Gvajana, Surinam i Kongo.

Današnje vrijeme obilježeno je sve većom potrošnjom vode u urbanim sredinama i industriji. Upotrijebljena voda opterećena onečišćenjima ispušta se u vodotoke, jezera ili mora. Kako bi se mogao primijeniti odgovarajući proces pročišćavanja i kako bi učinak bio što bolji važno je poznavanje vrste i sastava otpadne vode te obrada otpadnih voda i izgradnja uređaja za pročišćavanje na odgovarajućim mjestima.

Najstariji ostaci kanala i dijelova za pročišćavanje otpadnih voda potječu čak iz 6000 godina prije n.e. Jeruzalem je imao sustav za odvodnju otpadnih voda sličan današnjoj kanalizaciji. Velike količine otpadnih voda od stanovništva i industrija odvodile su se u najbliži vodotok, te su se tako postizala dovoljna razrjeđenja, što se smatralo da je to najboljim i najjeftinijim načinom zbrinjavanja otpadnih voda.

Prvi uređaj za pročišćavanje vode izgradio je James Simpson, a radio je na principu procjeđivanja otpadne vode kroz pješčani filter. Svijest o važnosti očuvanja okoliša, pa tako i vode javlja se početkom 21. stoljeća.

Prikaz sustava koji koristi ideje i koncepte za oblikovanje navedenog prikaza zove se konceptualni model. Konceptualno modeliranje se koristi u mnogim područjima, od znanosti do socioekonomije do razvoja softvera.

Jedne od glavnih karakteristika ili ciljeva konceptualnih modela su poboljšavanje razumijevanja osobe koja se temelji na modelu, ona komunicira detalje između ljudi koji ih trebaju upoznati. To daje referentnu točku za ljude da bi došli do specifičnih planova koji može upućivati u budućnosti i koristi se kada ljudi rade zajedno.

Konceptualni modeli su u znanosti pojednostavljeni oblici objašnjenja ili prikazivanja pojmova, koji pomažu u razumijevanju i stvaranju složenih ideja. Međutim, postoje problemi ili ograničenja s konceptualnim modelima.

Konceptualni modeli obično su namjerno pojednostavljeni, jer to ih čini korisnim. Međutim, jednostavnije sredstvo nije uvijek točno precizno. Ponekad, stvarni svijet je složeniji nego što to omogućuje konceptualni model. Ali čak i u tom slučaju konceptualni model može biti dobra polazna točka.

Kroz ovaj rad istražiti ćemo vrste konceptualnih modela, njihove prednosti i mane te gdje se najčešće primjenjuju.

## 2. Otpadne vode

Otpadne vode su vode koje su upotrebom promijenile svoj prvobitni sastav (svoje fizikalne, kemijske i biološke karakteristike). Otpadne vode su potencijalno onečišćene tehnološke, kućanske, oborinske i druge vode, koje su nastale upotrebom vode za određene namjene, pri čemu dolazi do promjena njihovih osnovnih osobina, i to fizikalnih, kemijskih i mikrobioloških.

Također sudjeluju u hidrološkom ciklusu (voda uzeta za opskrbu stanovništva ili izgradnjom vodoopskrbnog sustava, nakon uporabe kanalizacijskim sustavom odvodi se na pročišćavanje i vraća u prirodni okoliš).

Iako međusobno povezane, površinske i podzemne vode često su proučavane kao zasebni resursi. Površinska voda dospije kroz tlo i postaje podzemne. S druge strane, podzemne vode također mogu hraniti površinske izvore voda.

Po svojoj prirodi, podzemne vode su osjetljive na onečišćenja iz izvora koji ne mogu izravno utjecati na tijela površinske vode, a razlika točke zagađenja u odnosu na nonpoint izvor može biti nevažna. Nonpoint zagađenje ili tzv. zagađenje bez točkastih izvora obično je uzrokovano kišom ili snijegom, a proizlazi iz mnogih izvora kao što su taloženja, otjecanja zemljišta, odvodnje, itd.

Države izvješćuju da je onečišćenje izvornih izvora vodeći preostali uzrok problema kvalitete vode. Učinci nepoželjnih izvornih onečišćujućih tvari na specifičnim vodama razlikuju se i ne moraju uvijek biti u potpunosti procijenjeni. Međutim, znamo da ti zagađivači imaju štetne učinke na opskrbu pitkom vodom, rekreaciji, ribarstvu i divljini.

Kretanje oblaka onečišćenja, može se analizirati kroz model hidrološkog prijevoza ili modelom podzemnih voda. Analiza onečišćenja podzemnih voda može se usredotočiti na karakteristike tla i stranice geologije, hidrogeologije, hidrologije, te o vrsti onečišćenja.

Specifični zagađivači vode do onečišćenja u vodi uključuju širok spektar kemikalija, patogena i fizičkih promjena kao što su povišena temperatura i promjene boje. Iako mnoge kemikalije i tvari koje su regulirane mogu biti prirodne (kalcij, natrij, željezo, mangan, itd.) koncentracija je često ključ u određivanju prirodnog sastojaka vode.

Visoke koncentracije tvari mogu imati negativan utjecaj na vodene biljne i životinjske vrste. Kratkotrajne tvari mogu biti prirodni materijali kao što su biljne tvari (npr. lišća i trave), kao i umjetne kemikalije. Ostali prirodne i antropogene tvari mogu uzrokovati zamućenost (naoblaka) koja blokira svjetlost i ometa rast biljaka i život nekih ribljih vrsta.

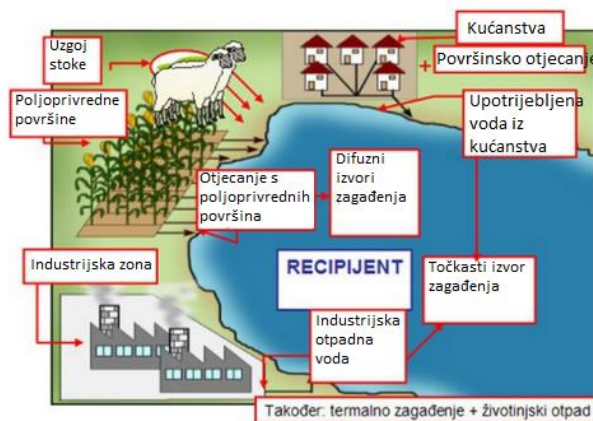
Mnoge kemijske tvari su toksične. Uzročnici mogu proizvesti bolesti u bilo ljudskim ili životinjskim životima. Izmjena fizikalnih svojstva vode uključuje kiselost (promjena pH-vrijednosti), električnu vodljivost, temperaturu i eutrofikacije.

Eutrofikacija je povećanje koncentracije kemijskih hranjivih tvari u ekosustavu u mjeri u kojoj se povećava u primarnoj produktivnosti ekosustava. Ovisno o stupnju eutrofikacije, mogu se javiti naknadne negativne posljedice na okoliš, kao što su anoksije (potrošnje kisika) i smanjenje kvalitete vode. Koliformi koje nisu stvarni uzrok bolesti se obično koriste kao bakterijski pokazatelji onečišćenja vode.

Kontaminanti mogu uključivati organske i anorganske tvari. Antropogena organska onečišćenja vode su detergentski, otpad od prerade hrane, insekticidi i herbicidi, naftni ugljikovodici, uključujući i goriva itd.

Otpadne vode dijele se prema:

- Onečišćenosti (slabo, srednje i jako onečišćene)
- Biološkoj razgradivosti (lako, srednje, teško i toksične)
- Porijeklu (kućanske, industrijske, atmosferske, infiltracijske)



Slika 1. Izvori onečišćenja

(Izvor: <http://ekologija.ba/index.php?w=c&id=27> ; download: 09.06.2017.)

Na slici 1. prikazani su izvori onečišćenja (uzgoj stoke, poljoprivredne površine, industrijske zone, kućanstva, itd.) koja se ispuštaju u vodu te ju tako onečišćuju.

### 3. Metode pročišćavanja vode

Prije ispuštanja u prijemnike otpadne vode je uvijek neophodno pročistiti, kako bi se iz njih uklonila različita onečišćenja koja su prisutna. Glavni pokazatelji svojstava otpadnih voda su krupni (površinski) otpaci, raspršene (suspendirane) i otopljene tvari, mikroorganizmi, hranjive soli, postojane tvari, otrovne tvari, radioaktivne tvari, otopljeni plinovi i povišena temperatura vode.

U krupne otpatke uvrštavamo papir, krpe, kore od voća i ostali krupniji organski i sintetski otpaci. Za razgradnju krupnih otpadaka se troši kisik te se tako smanjuje količina otopljenog kisika u vodi.

Raspršene i otopljene tvari su tvari organskog i anorganskog porijekla. Raspršene tvari su krupnije čestice od otopljenih tvari koje se u otpadnim vodama nalaze u obliku iona i molekula.

Mikroorganizmi (virusi, bakterije, plijesni, alge) su jednostanični i višestanični organizmi koji se nalaze u svim otpadnim vodama. Mikroorganizmi razlagači i mikroorganizmi iz probavnog trakta ljudi i životinja su od naročitog značenja za procese pročišćavanja otpadnih voda.

Postojane tvari su organske i sintetske biološki nerazgradive ili teško (sporo) razgradive tvari. U razdoblju dok traje njihova razgradnja nepovoljno djeluju na akvatični život, a mogu se i nakupljati u organizmima. Otrovnost tvari su tvari koje prema svojim količinama i svojstvima uzrokuju bolesti živih organizama, kancerogene i genetičke promjene, fiziološke smetnje, fizičke deformacije i smrt.

U otpadnim (prvenstveno industrijskim) vodama opasne tvari su predstavljene teškim metalima (živa, kadmij, olovo, mangan, krom, bakar, željezo) i otrovnim spojevima (cijanidi, kromati, flouridi). Radioaktivne tvari mogu u vodi biti prirodnog i umjetnog porijekla. Prirodni izvori zračenja su radioaktivni elementi litosfere i svemirska zračenja.

Otopljeni plinovi su u otpadnim vodama prisutni u različitim koncentracijama. Među najvažnijima je kisik koji je bitan za život velikog broja organizama u vodi. Povišena temperatura vode posljedica je ispuštanja rashladnih voda iz industrijskih postrojenja, posebice termoelektrana i nuklearnih elektrana.

Pročišćavanje otpadnih voda je proces za smanjenje onečišćenja do onih koncentracija, vrsta ili količina s kojima pročišćene otpadne vode ispuštene u prijamnike postaju neopasne (prihvatljivo opasne) za život i ljudsko zdravlje i ne uzrokuju neželjene promjene u okolišu. Postoje tri glavne vrste metoda, a to su mehanička, fizikalno-kemijska i biološka, ovisno o tipu postupaka pročišćavanja vode.



### 3.1. Mehanički postupci

Mehaničko ili prethodno (primarno) pročišćavanje čisti vodu od čvrstih suspenzija koje se lako talože. To su najčešće nečistoće mineralnog porijekla (šljunak i pijesak) i ulja.

Ovim se procesom također biološka potrošnja kisika (BPK) reducira za četvrtinu ili trećinu. Pročišćavanje voda na ovakav način može se provesti preko sljedećih uređaja: rešetka, sito, mehanički filter, pjeskolov, flokator, pješčani filter, taložnik uzdužni i dr.

Prva stvar koja će se dogoditi sa otpadnom vodom kod ulaza u uređaj je da prođe kroz rešetke. One uklanjaju objekte u otpadnim vodama koje su dovoljno velike da se uhvate u nizu rešetki. Postoje tri različite vrste rešetki (ekrana) koje se mogu koristiti.

Prve rešetke imaju najveće otvore, od 40 do 150 mm, a koriste se za uklanjanje najvećih predmeta da uđu u tvornicu. Drugi imaju manje otvore, od 25 do 50 mm, te se često ne koristi, osim rijetko za zaobilazne kanale. U češće korištenim kanalima koriste se najmanji otvori, od 1 do 40 mm, za prikupljanje malog materijala.

„Grit“ je izraz koji se koristi za male, ali guste materijale kao što su pijesak, blato ili razbijeno staklo. Ako nije uklonjen može uzrokovati trošenje i oštećenja mehaničkih uređaja u postrojenju za obradu. Postoji nekoliko načina kako ukloniti prašinu, a najčešći je pustiti vodu kroz kanal u kojem je brzina vode takva da rješava i uklonjena sve guste materijale, a ostatak vode može teći na daljnje liječenje.

Nakon što su veći i manji predmeti uklonjeni, ostatak suspendiranih tvari se uklanja pomoću gravitacije u velikim sedimentacijskim cisternama (koji se nazivaju i spremnici za razjašnjavanje). Ovi spremnici mogu biti okrugli ili kvadratni, ovisno o tome što je važnije za one koji ih koriste.

Kružni spremnici mogu imati promjer bilo gdje od 3 do 90 metara u promjeru, i jednostavniji dizajn i energetski su učinkovitiji. Kvadratni variraju od 15 do 100 metara dužine i 3 do 24 metara širine, a preferiraju ga oni koji imaju ograničen prostor.

Nakon što se voda pumpa u taložnik, tamo mora odstajati nekoliko sati dok se ne suspendira materijal, potone na dno ili ostane popeo na vrhu spremnika. Mulj se skuplja na dnu, struže i pumpa iz spremnika, ulja i masti završavaju plutajući na površini vode (koja ima manju gustoću). Mulj, ulja i masti su zatim poslani u sekundarnu obradu otpadnih voda.

Pročišćena voda koja je ostala ide u treći stupanj pročišćavanja otpadnih voda. Ako se samo sekundarni tretman provodi, voda iz primarnog pročišćavanja može biti ispuštena kao efluent.

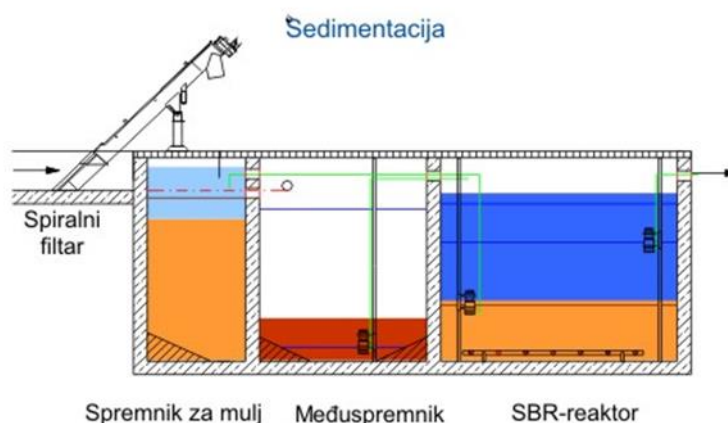
### 3.1.1. Sedimentacija (taloženje)

Postupak stvaranja taloga, odnosno uklanjanje suspendiranih čestica. U postupku se nastoji dobiti krupnozrnati talog koji se lako filtrira i ispire, a to se postiže taloženjem iz toplih razrijeđenih otopina laganim dodatkom reagensa uz konstantno miješanje.

Kada umnožak koncentracija kationa i aniona bude veći od konstante umnoška topljivosti nastaje talog. Za vrijeme taloženja, uvjeti u otopini moraju biti tako podešeni da talog bude što pogodnijeg oblika i što manje onečišćen.

Kristalinični talozi ostavljaju se neko vrijeme na toplom mjestu u otopini iz koje su. Tokom starenja taloga dolazi do otapanja manjih i rasta većih čestica na račun otopljenih.

Želatinaste taloge koji naginju površinskom ili unutrašnjem onečišćenju treba filtrirati odmah nakon taloženja tople ili ih nakon filtriranja otopiti i ponovo istaložiti (dvostruko taloženje). Postupak sedimentacije kod pročišćavanja otpadnih voda se uglavnom obavlja u samom početku kako bi se smanjila količina onečišćenja i koloidnih tvari (Slika 3).



Slika 2. Uređaj za sedimentaciju

(Izvor: <http://www.terrigena.hr>; download: 09.06.2017.)

Na slici 2. prikazan je postupak sedimentacije koji se odvija tako da se uzorak zagađene vode uvodi u uređaj, gdje u spremniku za mulj ostaje talog, a daljnjim prolaskom vode dobije se očišćena voda.

Iako se sedimentacije može pojaviti u spremnicima drugih oblika, uklanjanje nakupljenih tvari je najlakše sa pokretne trake u pravokutnim spremnicima. Taloženje bazena i pročistača je bazirano na brzini taloženja najmanje čestice (teoretski 100% uklonjen).

Loši ulazni i izlazni dizajn može proizvesti izuzetno slabe karakteristike protoka za sedimentaciju. Učinkovitost sedimentacija ne ovisi o dubini spremnika. Ako je napredna brzina

dovoljno niska da nataloženi materijal od poda spremnika, područje je još uvijek glavni parametar prilikom dizajniranja bazena, pazeći da dubina nije preniska.

Taložni bazeni su dizajnirani da zadrže vodu, tako da suspendirane tvari mogu smiriti. Načelima sedimentacije, prikladne tehnologije obrade treba izabrati ovisno o specifičnoj težini, veličini i otporu čestica.

Nesmetano naseljavanje je proces koji uklanja diskretne čestice u vrlo niskim koncentracijama. Općenito, ako je koncentracija manja od 500 mg/l suspendiranih tvari, sedimentacija će se smatrati diskretnom.

Bazen je podijeljen u četiri dijela: ulaznu zonu, zonu rješavanja, zonu mulja i izlazna zona. U ulaznoj zoni, protok je u istom smjeru.

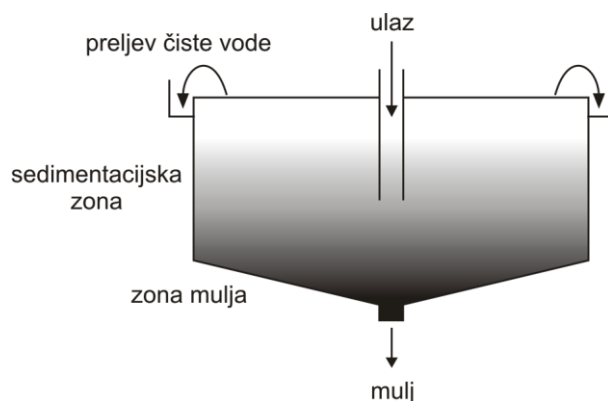
Sedimentacija se događa u zoni rješavanja kao i protok vode na izlaznoj zoni. Pročišćena tekućina će onda iscuriti iz izlazne zone. U zoni mulja će se prikupiti naslage.

### **3.1.2. Gravitacijska sedimentacija**

Postupak kojim se zbog djelovanja polja sile teže, čvrste čestice odvajaju od kapljevine s ciljem da se osigura visoki efekt zgušnjavanja u toku i visoki stupanj izbijenosti u predtoku (slika 3). Gravitacijsko razdvajanje je jednostavnije i jeftinije od centrifugalnoga, iako su mu učinci slabiji. To je najčešće mehaničko taloženje krutih čestica raspršenih u kapljevini (suspenzija).

U metodama gravitacijske sedimentacije, veličina čestica je određena brzinom taloženja i premalim frakcija, promjenama koncentracije i taloženja suspenzije. Gravitacijska metoda sedimentacije je promjena koncentracije s vremenom i dubinom sedimentacije se prati pomoću svjetla točke ili linija zrake.

Ove metode daju stalnu evidenciju o promjeni optičke gustoće s vremenom i dubinom, a imaju dodatnu prednost da snop može biti skenirani na površinu kako bi se smanjilo vrijeme mjerenja. Ispravak se mora primijeniti na naknadu za odstupanje od zakona geometrijske optike.



Slika 3. Uređaj za gravitacijsku sedimentaciju

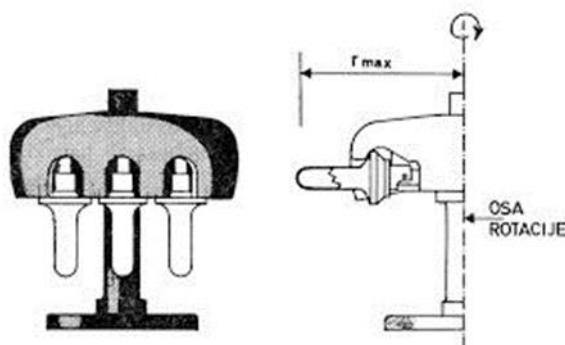
(Izvor: <https://glossary.periodni.com/rjecnik.php?hr=sediment> ; download: 04.09.2017.)

Na slici 3. prikazan je uređaj za gravitacijsku sedimentaciju koji se sastoji od tri zone: zona izbistrenja vode, sedimentacijske i kompresijske zone. Produkti su zgusnuti mulj i izbistreni preljev.

### 3.1.3. Centrifugalna sedimentacija

Postupak kojim se zbog djelovanja centrifugalne sile, čvrste čestice odvajaju od kapljevine. Postoje dvije vrste uređaja, uređaj s rotirajućim ili pokretnim zidom (sedimentacijske centrifuge, slika 4) i uređaj s nepokretnim zidom (hidrocikloni, slika 5).

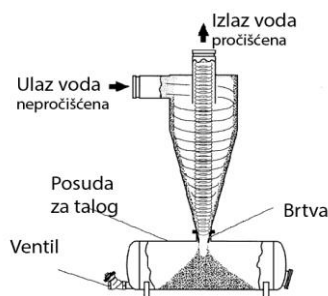
Razdvajanje nastaje zbog razlike u gustoći čvrstih čestica i kapljevine ili dviju kapljevina koje se ne miješaju. U nastalom polju centrifugalne sile brzina razdvajanja raste mnogo brže s povećavanjem brzine vrtnje nego s povećavanjem udaljenosti putanje čestica od središta vrtnje. Promjene koncentracije čestica mogu odrediti prostor i vrijeme tijekom centrifugiranja.



Slika 4. Uređaj s pokretnim zidom (sedimentacijska centrifuga)

(Izvor: Sedimentacija u centrifugi; download: 15.06.2017.)

Na slici 4. prikazan je uređaj s pokretnim zidom (sedimentacijska centrifuga). Uzorci zagađene vode se stavljaju u epruvete, uređaj se pali i počinje vrtjeti te se tako odvija talog od vode.



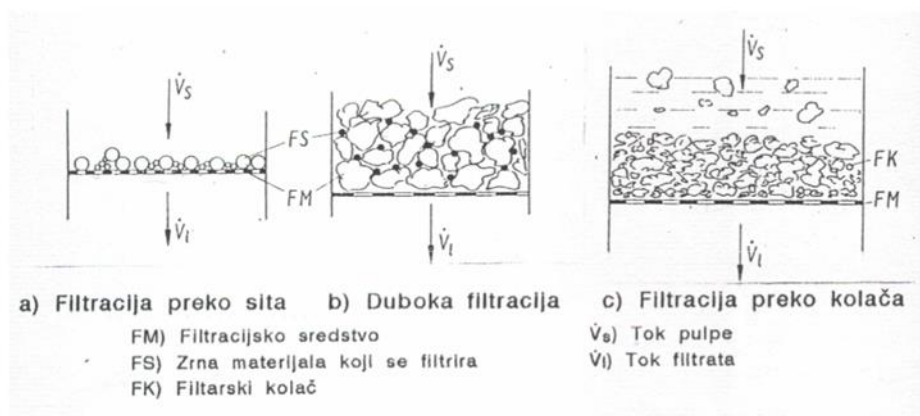
Slika 5. Uređaj s nepokretnim zidom (hidrociklon)

(Izvor: [www.pseno.hr](http://www.pseno.hr); download: 15.06.2016.)

Na slici 5. prikazan je uređaj s nepokretnim zidom (hidrociklon). Zagađena voda ulazi u uređaj, pomoću centrifugalne sile čvrste čestice se odvajaju od kapljevine.

### 3.1.4. Filtracija

Cilj filtracije je da se iz plina ili tekućine odstrane neželjene čvrste čestice na način da se propušta plin (često aerosoli) ili tekućine kroz polupropusnu pregradu (npr. filter-papir). Čvrste čestice zadržane u filtru nazivaju se talog, a pročišćeni plin ili tekućina filtrat. Postoje tri načina filtracije: filtracija kroz kolač, preko sita i centrifugalna filtracija (Slika 6).



Slika 6. Načini filtracije

(Izvor: Gotal, 2001; download: 15.06.2017.)

Na slici 6. prikazani su načini filtracije preko sita, duboka filtracija i filtracija preko kolača. Uzorak zagađene vode se stavlja u određeni uređaj te se filtrira. Rezultat je bistra voda i talog.

Koristi se za uklanjanje prvenstveno bakterija, mikroorganizama i koloidnih čestica koji su nakon procesa taloženja zaostali u vodi, naročito najsitniji koloidi koji su prosljedili tokom vode dalje. Kod procjeđivanja će i te čestice zaostati u dodiru s filtarskim materijalom. Tvar koja će proći kroz filter mora biti tekućina, tj. tekućina ili plin. Metode filtriranja variraju ovisno o mjestu ciljanog materijala, tj. da li se otapa u tekućoj fazi ili u suspenziji, kao krutina.

Filter mediji se mogu čistiti ispiranjem s otapalima ili deterdžentima. Alternativno, u inženjerskim aplikacijama, kao što su postrojenja za obradu vode, bazeni, mogu se čistiti ispiranjem. Samo-čišćenje zaslona filteri koriste point-of usisavanje ispiranjem za čišćenje zaslona bez prekidanja protoka sustava.

Protok tekućine kroz filter zbog razlike u tlaku: tekućina teče od strane visokog tlaka do niskog tlaka na filteru, ostavljajući neke materijale za sobom. Najjednostavniji način da se to postigne je pomoću gravitacije, a može se vidjeti u aparatu za kavu na primjer.

Neka filter pomagala mogu se upotrijebiti za pomoć pri filtraciji. Ta filterska pomagala mogu se koristiti na dva različita načina. Oni se mogu koristiti kao nanos prije suspenzije. To će spriječiti želatinozna krutina od umetanja medija filtera i dati jasniji filtrat. Oni se također mogu dodati u mulj prije filtracije. To povećava poroznost torte i smanjuje otpor kolača tijekom filtracije.

U rotacijskom filteru, potpora filtera može se primijeniti kao nanos. Upotreba filterskih pomagala je obično ograničena na slučajeve gdje se kolač baca ili gdje se talog kemijski odvaja iz filtra.

Filtracija je učinkovitiji postupak za odvajanje smjese od dekantiranja, ali zahtjeva više vremena. Ako se vrlo male količine otopine filtriraju, većina otopine može se upit od strane sredstva za filtriranje.

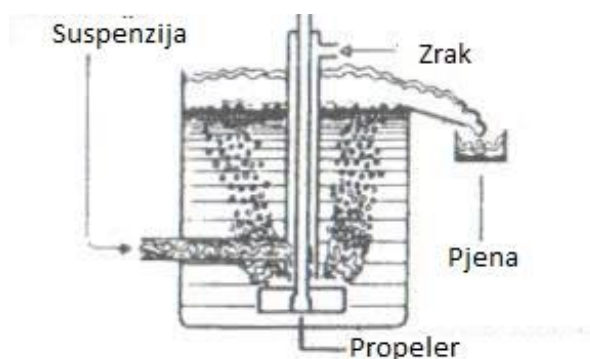
### **3.1.5. Flotacija**

Flotacija je postupak odjeljivanja hidrofilnih čvrstih tvari od hidrofobnih pomoću mjehurića zraka. Propuhivanjem zraka kroz suspenziju (u koju su dodane tvari za lakše stvaranje pjene) stvaraju se mjehurići zraka koji se hvataju na hidrofobnu tvar i iznose je na površinu. Ovaj postupak je pogodan za specifično lakše tvari, ali je moguće flotirati i teže tvari.

Postoje tri mehanizma:

- a) Adhezija (prianjanje, lijepljenje)-pojava međusobnog privlačenja površina dvaju tijela ili tijela i tekućine, zbog djelovanja elektromagnetskih sila među molekulama. Privlačne sile kratka su dosega, a vrijednost im ovisi o vrsti tvari u dodiru.
- b) Adsorpcija- sposobnost čvrste tvari da na svojoj graničnoj površini veže molekule plina ili otopljene tvari iz otopina, pritom formirajući tako molekularni ili atomski film kojeg nazivamo adsorbat. Adsorpcija se dešava u većini prirodnih, bioloških i kemijskih sustava, te je široko upotrjebljavana u industriji (npr. kod pročišćavanja voda aktivnim ugljenom).
- c) Uklapanje

Prednost flotacije je sta se u istom postupku se odvajaju teže i lakše čestice i ima veliku brzinu protoka. Veći troškovi, utrošak energije i skupa izvedba su neki od nedostataka.



*Slika 7. Postupak flotacije*

(Izvor: <http://www.ftn.kg.ac.rs> ; download: 17.06.2017.)

Na slici 7. prikazan postupak flotacije. Do razdvajanja dolazi pomoću zračnih mjehura u vodi zbog razlike u površinskim značajkama.

Postupak za flotaciju, kada se primjenjuju u obradi otpadnih voda, pomoću metode ubrizgavanja zraka na takav način da se mali mjehurići zraka ( $<0.1$  mm) treba oblikovati. To je potrebno zbog male veličine, male gustoće i obično hidrofilna svojstva krutih tvari koje treba ukloniti.

Ovi faktori kada je su u kombinaciji čine uklanjanje krutih tvari u otopini teško ili čak nemoguće. Stvaranje malih mjehurića može se provesti kemijski, elektrolizom otapanja zraka u vodi pri visokim tlakovima ili ejektora.

Ejektor se upotrebljavaju kao pumpe, miješalice, grijači, hladnjaci, što uređaji za stvaranje vakuuma, a također i kao generator mjehurića. Ejektori prikazuju važnu prednosti nad drugim uređajima zbog svoje jednostavnosti dizajna i izgrade. Nema mobilnih dijelova u ejektoru i

njegova ugradnja i održavanje je jednostavna i jeftina. Ejektor može biti izgrađen od bilo kakvog materijala koji, ovisno o potrebama, može biti kemijski otporan.

Izbacivač se u osnovi sastoji od tri komponente: mlaznice, usisne komore i odvodne cijevi. Protok je doveden u izbacivač kroz mlaznicu, koja bi trebala imati izlazni promjer puno manji od promjera punjenje cijevi.

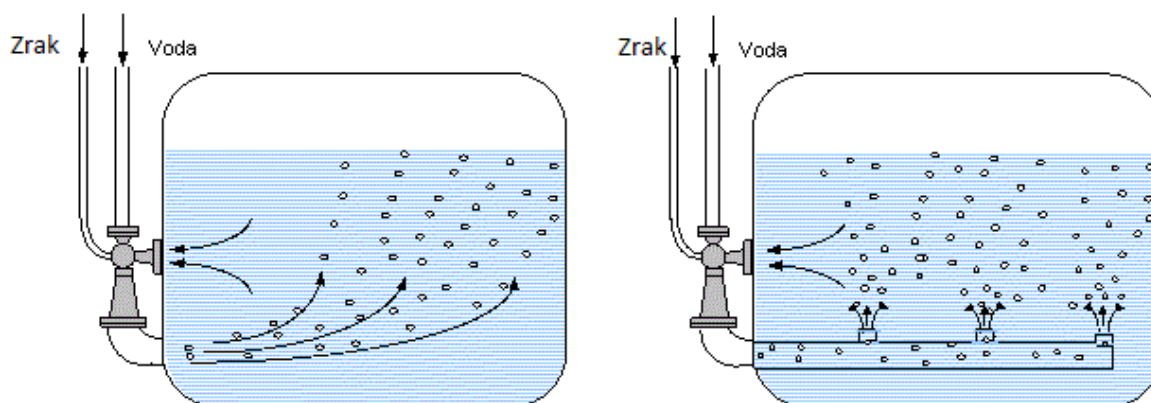
Flotacija pjenom je postupak za selektivno odvajanje hidrofobnih materijala iz hidrofilnih. On se koristi kod recikliranja papira i industriji za obradu otpadnih voda.

Proces flotacije se također široko koristi u postrojenjima za pročišćavanje vode industrijskog otpada, gdje se uklanjaju masti, ulja i suspendirane tvari iz otpadnih voda. Posebno, otopljeni zrak plutajuće jedinice se koriste u uklanjanju ulja iz otpadnih voda iz rafinerije nafte, petrokemijskih i kemijskih postrojenja, postrojenja za preradu prirodnog plina i sličnih industrijskih postrojenja.

### 3.1.6. Aeracija

Radi što boljeg prenošenja plinova ili isparljivih materijala u vodu i iz nje, plinovita se faza, obično plin i voda, dovode u kontakt. Pri obradi otpadnih voda koristi se za uklanjanje nepoželjnih otopljenih plinova koji su nosioci mirisa i okusa te uklanjanje otopljenih neorganskih tvari, itd.

Često je potrebna na vodenim objektima koji pate od uvjeta smanjene količine otopljenog kisika u vodi. Takve okolnosti nastaju nedostatkom prirodnih načina aeracije. Otopljeni kisik najviše doprinosi kvaliteti vode. Na slici 8. prikazan je proces aeracije u kojem se turbulencinom odvajaju neželjeni plinovi od vode.



Slika 8. Postupak aeracije

(Izvor: [www.ejektor.co.rs](http://www.ejektor.co.rs); download: 17.06.2017.)



Aeracija je proces u kojem se zrak i voda dovode u intimni kontakt. Turbulencija povećava prozračnost protoka.

U industrijskim procesima, protok vode je obično usmjeren suprotno od atmosferskog. Vrijeme kontakta, omjer zraka i vode mora biti dovoljan za djelotvorno uklanjanje neželjenog plina.

Prozračivanje kao praksa za pročišćavanje vode koristi se za sljedeće postupke: smanjenje ugljikovog (IV) oksida, oksidacija željeza i mangana koji se nalaze u mnogim i voda, smanjenje amonijaka i sumporovodika. Aeracija je također učinkovit način kontrole bakterija.

Mnoge varijacije principa pada vode se koristi za ovu vrstu aeracije. Najjednostavniji oblik koristi vertikalnu koja ispušta vodu slobodnim padom u bazenu.

Učinkovitost aeracije je poboljšana, jer smanjenje na udaljenosti se povećava. Također, koraci ili police mogu dodatno razbiti pad i širiti vodu na tanke listove ili filmove, čime se povećava vrijeme kontakta i učinkovitost prozračivanja.

Predtlačni pad vode se koristi za mnoge svrhe industrijskih voda. Horizontalna drva ili plastične letve ladice ili tornjevi raznih oblika i materijala, su dizajnirani kako bi se povećalo ometanje pada vode u malim potocima za veći kontakt zrak-voda.

Zrak je prisiljen kroz jedinicu ventilatora koji stvara ujednačenu distribuciju zraka po cijelom presjeku, preko struje ili suprotno od pada u vodu. Zbog tih značajki, predtlačna aeracija je učinkovitija za uklanjanje plina i zahtijeva manje prostora za određeni kapacitet.

U industrijskom kondicioniranju vode, jedan od glavnih ciljeva prozračivanja je ukloniti ugljikov (IV) oksid. Prozračivanje se također koristi za oksidaciju topivih željeza i mangana u netopljive taloge.

### **3.2. Fizikalno-kemijsko pročišćavanje**

Da otpad postane bezopasan i da se može koristiti u različite svrhe koristimo ovu vrstu obrade, koja podrazumijeva uporabu fizikalnih i kemijskih metoda. Oni se u pravilu koriste kao jedna od faze cjelovitog tretmana.

Kod čisto fizikalnih metoda odjeljivanje vode od sadržaja plinovitih, krutih i tekućih onečišćenja, ne dolazi do kemijskih promjena. Ti postupci uključuju postupke gdje je osnova odjeljivanja razlika u fizikalnim osobinama faza.

Osnova djelovanja kod kemijskih postupaka je u kemijskoj promjeni tvari (oksidacija). Određene metode sadrže i fizikalne i kemijske procese te su iz praktičnih razloga objedinjeni u odnosu na biološke postupke.

Fizikalno-kemijska obrada uključuje redukciju koloidnih čestica, suspendiranih tvari, boje, plivajućih i toksičnih tvari procesima flotacije, adsorpcije, koagulacije/flokulacije itd. Najčešće vrste otpada koje se podvrgavaju fizikalno-kemijskoj obradi su industrijskog podrijetla.

Standardnim fizikalno-kemijskim pokazateljima se definira osnovni sastav odlagališne otpadne vode. Fizikalni pokazatelji su standardni kao i kod drugih otpadnih voda, dok su samo neki znatno povišeni. Tu spadaju temperatura, boja, elektrovodljivost, ukupna otopljeni tvar, otopljeni kisik i suspendirana tvar.

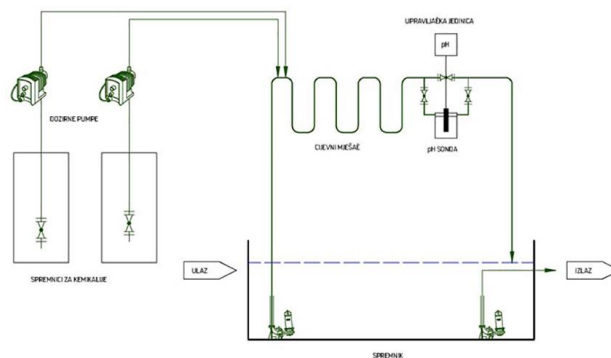
Fazu razgradnje otpada održava sastav eluata. Na početku u aerobnoj fazi je prisutna lako razgradiva organska tvar, a odmicanjem metaboličkih procesa u otpadu prestaju teže razgradive forme, a troši se lakše dostupna organska tvar.

Ioni koji se određuju mogu biti brojni, a jedni od standardnih su amonijak, nitriti, kloridi, kalcij, kalij i dr. Oni ovise o odloženom otpadu i metaboličkoj fazi. Ostale tvari koje se mogu naći u sadržaju procjednih voda su mnoge, jer sve što je završilo na odlagalištu otpada može dospjeti u okoliš ako je donekle topivo. Zbog svoje visoke biološke aktivnosti, iako su te tvari prisutne u relativno malim koncentracijama, predstavljaju veliku opasnost.

### **3.2.1. Neutralizacija**

Svrha neutralizacije je podešavanje pH vrijednosti kako bi se zadovoljile potrebe različitih procesorskih jedinica u sustavu za pročišćavanje otpadnih voda. Neutralizacija se može koristiti kako bi se tretirala kiselina otpadnih voda koje sadrže metale, a metoda sadrži povećanje pH kiseline otpada dodatkom alkalnim reagensa, da nastane talog. Ovaj korak se provodi prije glavnog korak pročišćavanja otpadnih voda.

Neutralizacije je često i neophodna faza obrade u kojoj uklanjanje pojedinih tvari ovisi o pH vrijednosti. Neutralizacija se provodi miješanjem alkalnih i kiselih otpadnih voda, jakim bazama i kiselinama, vapnom, ionskom izmjenom, itd. Na slici 9. prikazan je postupak neutralizacije, njime se kontrolira pH vode i smanjuje kiselost.



Slika 9. Postupak neutralizacije

(Izvor: [www.bor-plastika.hr](http://www.bor-plastika.hr) ; download: 18.06.2017.)

Osnovni pH sustav se sastoji od šest osnovnih komponenti: instrumenti za nadzor, kontrolu i snimanje, pH elektrode, tank, razina, kemijske pumpe i spremnik reagensa te miješalice. U ovom sustavu, otpadna voda teče u spremnik za držanje gdje senzor pH (također poznat kao pH elektrode ili pH sonda) osjeća pH otopine.

Senzor omogućava ulaz u kontrolor, uređaj za pH koji djeluje kemijski crpka (e) kako bi se uvele kiseline koliko je potrebno da neutraliziraju otpadne vode. Miješalica služi za ravnomjerni raspored neutralizacijskih kemikalija u cijelom tanku da bi se osigurala potpuna neutralizacija.

Neutralizacija se može provesti u obliku serija liječenja ili kontinuiranih tretmana. Koji god se način koristi, što više podataka se može prikupiti na očekivanom tijeku otpada i temperature, bolje će konačni sustav raditi.

Nakon što neutralizacija završena, ispuštaju se otpadne vode u otpad, dok je drugi senzor pH osjeta ispušta efluenta u pH. Mnogi operativni problemi u pH neutralizacijskom sustavu se vrte oko senzora pH i kemijske pumpe.

Preporučene metode za čišćenja: blagu 2%-5% klorovodičnu kiselinu (HCl) otopiti u većinu premaza. Potopiti senzor na 5 minuta, a zatim isprati vodom. Ako je potrebno za teške premaze, ponoviti i koristiti pamučnu zamjenu.

pH neutralizacije je ključni proces za pročišćavanje otpadnih voda u mnogim industrijskim proizvodnim okruženjima. Kroz pravilan dizajn sustava i izbor komponenti senzora, u tijeku rad sustava može biti optimiziran minimalnim održavanjem i troškovima.

### 3.2.2. Flokulacija / koagulacija

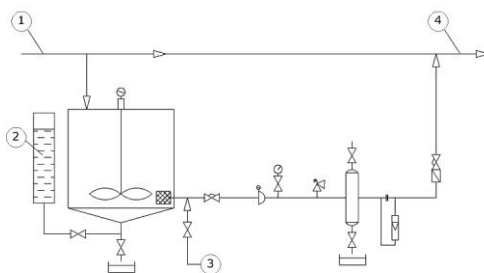
Ovi postupci nemaju dovoljnu učinkovitost za jako opterećene i zahtjevne otpadne vode, ali su pogodni kao jedna od faza procesa dizajniranog za stabilizirani eluat. U praksi se ovaj postupak

koristi kao predtretman drugih postupaka kako bi se voda pripremila za centralni postupak, jer je doseg uklanjanja tvari ovim postupkom i do 25% što dokazuje da je učinkovitost dobra.

Postupci se mogu koristiti kao završni postupak obrade za uklanjanje organskih tvari koje nisu podložne biološkoj razgradljivosti. Najčešće su korišteni koagulasni spojevi željeza i aluminija. Prednosti ovih postupaka su tehnološka jednostavnost, brzina provođenja i prihvatljiva cijena opreme, dok je nedostatak sličan kao i kod bioloških postupaka, stvaranje znatne količine sekundarnih otpadnih tvari i muljeva te imaju znatne količine metala iz uporabljenih kemikalija što predstavlja problem kod zbrinjavanja.

Flokulacija (fizički proces) - formiranje mase krupnih flokula od sitnih, stvaranjem povećanog gradijenta brzine u masi vode. Na slici 10. prikazan je uređaj za doziranje sredstva za flokulaciju, gdje se formira masa povećanjem brzine u masi vode.

Koagulacija (fizičko-kemijski proces) - destabilizacijom koloidnih čestica kemijskim sredstvima, prevođenje jednofaznog sustava u dvofazni.



Slika 10. Uređaj za doziranje sredstva za flokulaciju za manja postrojenja

(Izvor: [www.hr.wikipedia.org](http://www.hr.wikipedia.org) ; download: 18.06.2017.)

Otopljene i suspendirane čestice su prisutne u većini prirodnih voda. Ove suspendirane tvari uglavnom nastaju iz zemljišne erozije, otapanjem minerala i propadanja vegetacije i iz više domaćih i industrijskih ispusta.

Koagulacija i flokulacija je relativno jednostavan i ekonomičan postupak, pod uvjetom da su na raspolaganju i kemikalije, te doziranja prilagođena sastavu vode. Većina krute tvari suspendirane u vodi imaju negativan naboj, oni time odbijaju jedni druge.

Koagulacija destabilizira troškove čestica. Suspendirana krutina dodaje se u vodu da neutraliziraju negativne naboje na raspršenim nepodesivim krutim tvarima, kao što su glina i organske tvari.

Nakon neutraliziranja, male suspendirane čestice su u stanju držati se zajedno. Neznatno veće čestice nastale kroz taj proces nazivaju se mikroflokusi i još su premali da bi bili vidljivi golim

okom. Visoka energije zgrušava i promovira sudar čestica koji je potreban za postizanje dobre koagulacija i formiranje mikroflokusa.

Nakon koagulacije/flokulacije, blagi stadij miješanja, povećava veličinu čestica do vidljivih suspendiranih čestica. A mikroflukosi dovode u kontakt jedan s drugim procesom sporo miješanje.

### 3.2.3. Oksidacija

Na slici 11. prikazan je postupak oksidacije, proces smanjenja broja virusa i bakterija, uklanjanje amonijaka i preostalih organskih tvari sredstvima: klor, hipoklorit, itd. Kada završi metenogeneza i kada se potroše organske kiseline nastale u ranim fazama ponovo se uspostavljaju aerobni uvjeti i ostatak metana se metabolizira u ugljikov (IV) oksid i vodu.

Ovisno o debljini slojeva otpada, brzini i intenzitetu istiskivanja zraka favoriziraju se aerobni/anaerobni procesi. Metabolički procesi se odvijaju simulativno u različitim slojevima, a struktura odlagališta je heterogena.

Definiranje metaboličke faze zapravo označava prevladavajuće procese u najvećem dijelu volumena odloženog procesa. Mikrobnih procesi su u odloženom otpadu simulativni i složeni, te podliježu okolišnim uvjetima (koncentraciji kisika i drugih plinova, sadržaju vlage i temperaturi).

Sastav procjedne vode je posljedica sastava odloženog otpada. Starost odlagališta, tj. faza autohtonih i spontanih mikrobnih procesa u otpadu (gdje su najvažniji čimbenici raspoloživost kisika i oblik organske tvari) je drugi presudan čimbenik sastava odlagališnog eluata.



*Slika 11. Postupak oksidacije*

(Izvor: <http://www.ppttmo.rs>; download: 19.06.2017.)

### 3.3. Biološki načni obrade

Biološka (sekundarna) obrada obuhvaća biološke postupke u kojima se uklanjaju otopljeni organski sastojci i anorganski sastojci djelovanjem mikroorganizama, te suspendirane čestice preostale nakon primarne obrade. Ovisno o podrijetlu, za uklanjanje otopljenih sastojaka primjenjuju se biološki aerobni i anaerobni postupci temeljeni na različitom odnosu mikroorganizama prema otopljenom kisiku. Biološkim pročišćavanjem uklanja se oko 70 do 90% ukupne suspendirane i organske tvari.

Pročišćavanje se odvija u bioeracijskim bazenima, pomoću aerobnih, a djelomično i anaerobnih bakterija. Te bakterije koriste organsku tvar za svoj metabolizam te ju pritom mineraliziraju, čime otpadna voda postaje „čista“. Uređaji koji se primjenjuju su sljedeći: proces aktivnim muljem i biološka filtracija.

Biološki tretmani, koji koriste organizme za rušenje organskih tvari u otpadnim vodama, se široko koriste u cijelom svijetu. Za razliku od ostalih obrada otpadnih voda, koje se koriste samo mehaničkim ili kemijskim procesima, biološki postupci uključuju upotrebu bakterija ili drugih malih organizama. Tijekom vremena, znanstvenici su u stanju kontrolirati i poboljšati aerobne i anaerobne biološke procese kako bi se postiglo optimalno uklanjanje tvari iz otpadne vode.

Biološka obrada otpadnih voda često se koristi kao sekundarni proces obrade, što znači da se koristi za uklanjanje materijala preostalog nakon primarne obrade (u fazi u kojoj se naslage ili tvari kao što su ulja uklanjaju iz otpadnih voda). Nekoliko vrsta bioloških procesa mogu se koristiti za preradu otpadnih voda, uključujući i postupak s aktivnim muljem, izgradnja močvara, kao i razne vrste filtracije.

Općenito govoreći, ovi postupci se mogu podijeliti u aerobnim i anaerobnim procesima. Pojam "aerobni" odnosi se na proces u kojem je prisutan kisik, dok se "anaerobne" opisuje biološki proces u kojem je kisik odsutan .

Aerobni procesi za pročišćavanje otpadnih voda uključuju tretmane kao što su aktivni mulj, oksidacijski jarak, curi filter, tretmani lagune baze i aerobne razgradnje. Oprema može uključivati difuzno prozračivanje sustava ili mehaničke površinske aeratore, poput tornada za usisavanje vode, kako bi se povećao prijenos kisika i smanjio neugodni miris. Aeracija je jedan od prvih stupnjeva u procesu, od bakterija i drugih organizama zahtijeva kisik te ruši organske tvari u otpadnim vodama koje se prerađuju.

### 3.3.1. Proces aktivnim muljem

Uklanjanje organskog zagađenja iz otpadne vode pomoću aerobnih mikroorganizama. Mikroorganizmi (uglavnom bakterije) nalaze se na pahuljicama mulja u bazenu za aeraciju, gdje se uz pomoć oksidansa u procesu metabolizma mikroorganizama osigurava razgradnja supstrata (organskog zagađenja).

Izdvojeni mulj u taložniku vraća se u recirkulaciju. Tehnologija prečišćavanja otpadne vode se sastoji od tri osnovne operacije: aeracija ulazne otpadne vode sa povratnim aktivnim muljem, zadržavanje do dobivanja prečišćene vode, te taloženje i odvajanje faza prečišćene vode i mulja. Na kraju se prečišćena voda se ispušta. Period aeracije je 2-3h, a period reaeracije mulja 4-6h.

Optimalni uvjeti za ovaj proces su temperatura (20 – 30<sup>0</sup>C), pH vrijednost (6 – 8), intenzitet miješanja (intenzivan), nastajanje pahuljica, otopljeni kisik (1,5 – 2,5 mg/l). Na slici 12. prikazan je bazen za biološku obradu otpadne vode koji se provodi procesom aktivnog mulja.



*Slika 12. Bazeni za biološku obradu otpadne vode metodom aktivnog mulja*

(Izvor: [www.energetika-net.com](http://www.energetika-net.com); download: 19.06.2017.)

Proces aktivnim muljem je dokazano biološki tretman otpadnih voda koji se naširoko koristi za sekundarnu obradu domaćem i industrijskih otpadnih voda. Posebno je pogodna za liječenje tokova otpada bogatih organskim ili biorazgradivim sadržajima. Najčešće se koristi za liječenje komunalnih otpadnih voda, otpadne vode generira celuloze i papira, industrija hrane, itd.

Aktivni mulj se odnosi na masu mikroorganizama uzgojenih u procesu liječenja razbijanja organskih tvari u ugljikov (IV) oksid, vodu, te druge organske spojeve. Postupak ima tri osnovne komponente:

1. reaktor u kojem su mikroorganizmi drže u suspenziji, gazirano, te u doticaju s otpadom koji se liječi,
2. odvajanje tekućine i krute tvari i
3. sustav za recikliranje mulja za vraćanje aktivnog mulja na početak procesa.

Učinkovito uklanjanje BPK, KPK i hranjive tvari prilikom dizajnirana i profesionalno djeluje u skladu s lokalnim uvjetima. Sam proces ima fleksibilnost i brojne modifikacije koje se mogu prilagoditi kako bi se zadovoljile specifični zahtjevi (npr. za uklanjanje dušika).

Aktivno mulj je najbolji dokumentirani i najkorišteniji oblik sekundarne obrade otpadnih voda. Skupo u smislu kapitala i troškovima, zahtijeva stalnu opskrbu energijom, potrebni su obučeni operateri koji mogu pratiti sustav i reagirati na promjene odmah, a dostupnost rezervnih dijelova i kemikalija mogu biti prepreka.

### **3.3.2. Biološka filtracija**

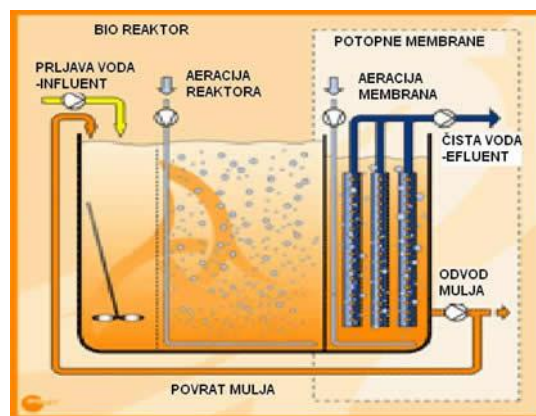
Biološka filtracija je proces koji zahtijeva prolazak prljave (zagađene) vode kroz medij koji je u potpunosti nastanjen nitrifikacijskim bakterijama. Svaki dobro porozan materijal može služiti kao filtracijski medij. Spužva filter je najučinkovitiji kod biološke filtracije.

Protok zraka dovodi do pojave vodene struje koja prljavu vodu provlači kroz filtracijsku masu. Bakterije ovdje razgrađuju biološki otpad i ostale organske tvari.

Tako mikroorganizmi rastu na površini punila tvoreći opnu. Imamo tri vrste bioloških filtracija a to su: prokopani filteri, submerzni filteri i bioreaktori u flundirajućem sloju. Na slici 13. prikazan je uređaj za biološku filtraciju gdje prljava voda ulazi u uređaj, te nakon cijelog procesa dobije se čista voda i nastali mulj koji se odvodi.

Biološka filtracija koristi pojedine obitelji nepatogenih mikroorganizama za aerobnu obradu. Filteri ovog tipa sadrže medije kao što su plastične loptice ili bio medije otvorenog profila, koji imaju ogromne površine za korisne bakterije da se pridržavaju i koloniziraju. To se može koristiti na izazovnim kemikalija kao što su metan, amonijak, željezo i mangan, kao i biorazgradivih organskih spojeva.





Slika 13. Uređaj za biološku filtraciju

(Izvor: <http://www.vanis.hr>; download: 19.06.2017.)

Bioški filtri se mogu koristiti u pročišćavanju vode zagađene fekalijama ili otpadnih voda iz primarnog naselje (taloženje) spremnika. Filter se sastoji od slučajnih ili modularnih plastičnih medija kroz koji se otpadne vode pročišćuju.

Rotirajuća distributer ruka ili niz fiksnih mlaznica na vrhu filtera rominja otpadnu voda na vrhu. Kanali u plastičnoj podlozi omogućuju prirodnu ventilaciju, osiguravajući kisik koji je potreban, od biomase za oksidaciju biokemijske potrošnje kisika (BPK). Odvodi ispod kreveta nose pročišćene otpadne vode u spremnik za humus na kojem sve tvari koje su otrgnute iz medija može riješiti.

### 3.4. Anaerobni procesi

Anaerobni proces je široko rasprostranjen u svijetu. Anaerobna digestija (A/D) je stabilizacija organskih tvari (prevođenjem u metan i neorganske produkte) uporabom mikroorganizama u odsustvu kisika.

Ciljevi anaerobnih procesa su smanjenje mulja, poboljšanje učinka uklanjanja vode iz mulja i stabilizacija primarnog i sekundarnog mulja. Kod anaerobnih procesima dolazi do smanjenja patogenih bakterija i parazitnih organizama.

Kod jako opterećenih industrijskih otpadnih voda primjenjuju se anaerobni procesi s ciljem pretvaranja organskog opterećenja u metan ( $\text{CH}_4$ ), a time se dobiva energija. Anaerobni postupci pročišćavanja otpadnih voda predstavljaju u pravilu prvi stupanj pročišćavanja. Nakon anaerobnih procesa, slijede aerobni procesi u drugom stupnju pročišćavanja.

Procesi razgradnje organskih tvari anaerobnim procesima odvijaju se obično u 4 stupnja. Prvi je hidroliza (dolazi do pretvorbe organskih makromolekula u topljive spojeve uz djelovanje

ekstracelularnih enzima), drugo je kiselinsko vrenje (razgradnja topljivih supstancija u butenu, propionsku, octenu kiselinu), treće vodikova i acetogena faza (razgradnja masnih kiselina i alkohola do octene kiseline) i četvrta faza je metanogena faza (nastajanje metana ( $\text{CH}_4$ ) reakcijom vodika ( $\text{H}_2$ ), ugljikovog (IV) oksida ( $\text{CO}_2$ ) i octene kiseline ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )).

Primarni i sekundarni mulj stajanjem podliježe anaerobnoj razgradnji, a pri tome nastaju niže masne kiseline neugodnih mirisa. Provodi se, stoga, anaerobna stabilizacija mulja u zatvorenim reaktorima.

Rezultati anaerobne stabilizacije je mulj, bez neugodnog mirisa, prikladnog za odlaganje. Poboljšava se sposobnost zgušnjavanja mulja, te mogućnost uklanjanja vlage, smanjuje se sadržaj suhih tvari u mulju, ujednačava se karakteristika mulja namijenjenog odlaganju, itd.

Anaerobna obrada je proces koji koristi bakterije koje razgrađuju organske tvari u okolišu bez kisika. Lagune i septičke jame su primjeri implementacije ove vrste anaerobnih metoda liječenja.

Možda najpoznatija vrsta anaerobnog tretmana je anaerobna digestija. Tipično, ovaj tretman uključuje razgradnju organske tvari anaerobno. Anaerobne digestije se koriste za tretiranje otpadne hrane i proizvodnje pića, kao i za liječenje komunalnih otpadnih voda, kemijskih efluenta i poljoprivrednih otpada.

Anaerobne digestije mogu se koristiti za proizvodnju bioplina i proizvodnju energije iz otpada i dalje biti važan dodatak pročišćavanja otpadnih voda, jer odvlači otpad i stvara energiju. To vam omogućuje prehrambeni sadržaji kao što su pivovare i klaonice, koje pretvaraju svoj otpad u izvor prihoda. Nakon što je anaerobni proces završen, voda može proći kroz dodatne tretmane.

## 4. Konceptualni modeli

### 4.1. Povijest

Konceptualno modeliranje je podijeljeno na tri desetljeća: 1970-ih, 1980-ih i 1990-ih godina. U 1970-ima vrlo je važan dizajn baze podataka. Peter Chenov rad "Model entiteta i odnosa: Prema jedinstvenom prikazu podataka" predstavlja prekretnicu u području modeliranja podataka i dizajnu baze podataka.

Smith i Smith uvode astrakciju i generalizaciju u dizajnu baze podataka. Također se pokušavaju razviti jezične definicije podataka visoke razine za definiranje konceptualnih shema.

Takav jezik je jezik Konceptualni shematski jezik (CSL). Također postaju vrlo zanimljivi informacijski sustavi i semantika informacija.

U radu CSL-a Breutmann, Falkenberg i Mauer opisuju jezik definicije podataka visoke razine za definiranje konceptualnih shema. Jezik pruža opisne i proceduralne elemente. Stoga se statički aspekti i dinamičko ponašanje podataka mogu opisati pomoću konceptualnog shematskog jezika.

CSL također pruža opće rješenje problema s imenovanjem i identificiranjem te uvodi vremenske okvire i kalendarske sustave. Konstrukcije konceptualnih shema mogu se potpuno i eksplicitno opisati pomoću konceptualnog shema jezika. CSL nudi standardne tipove, vrste objekta i vrste asocijacije. Standardne operacije su: =, <, >, +, -, \*, itd.

U 1980-ima postoji nekoliko pristupa za proširenje Chenovog entitetskog odnosa. Također se fokusiralo na radionicu parkova Pingree u 1980. godini. Također je u ovom desetljeću važna REMORA Rolanda Colettea.

REMORA metodologija pruža dosljedan skup modela, jezika, metoda i softverskih alata za dizajn i implementaciju velikih i semantički složenih informacijskih sustava. Kao rezultat REMORA-e postoji izravnija i učinkovitija interakcija između korisnika i dizajnera. Konceptualni model omogućuje definiranje konceptualne sheme informacijskog sustava.

Informacijski sustav može se okarakterizirati kao skup objekata koji imaju statičke i dinamičke odnose jedni s drugima i okolišem. Struktura se odnosi na stanja i statička svojstva kao što su entiteti i njihovi odnosi. Ponašanje se odnosi na državne prijelaze i dinamička svojstva poput operacija i događaja na entitetima i njihovim odnosima.

REMORA povezuje statička i dinamička svojstva za projektiranje velikih i složenih informacijskih sustava. Konceptualna shema informacijskog sustava je cjelovit, dosljedan i ekonomičan prikaz strukture i ponašanja u stvarnom svijetu.

Na početku 1990-ih postoji nekoliko pitanja kao što su integracijska shema, shema transformacije i mjere kvalitete za konceptualne sheme u području dizajna baze podataka. Ali ovaj put utječu i metode modeliranja objekata i jezici u programskom inženjerstvu.

U 1980-ima objektno orijentirani programski jezici postaju sve važniji. Kao rezultat ove evolucije objektno orijentirano programiranje vodi do objektno orijentiranog modeliranja te tako modeliranje podataka u programskom inženjerstvu postaje sve važnije.

Početakom 90-ih godina istodobno je postojalo više od pedeset različitih jezika modeliranja. Booch, Jacobson i Rumbaugh odlučili su zajedno raditi i razvili jedinstveni modelni jezik (UML) koji je 1997. postao standard u objektno orijentiranom modeliranju.

## **4.2. Uvod u konceptualni model**

Konceptualni model je model napravljen od sastava pojmova, koji se koristi kako bi ljudi razumjeli, shvatili ili simulirali predmet koji model predstavlja. Neki modeli su fizički objekti, a može funkcionirati kao objekt koji predstavlja.

Pojam konceptualni model se može koristiti kada se odnosi na modele koji se formiraju nakon konceptualizacijskog ili generalizacijskog procesa. Konceptualni modeli su često apstrakcija stvari u realnom svijetu, bile fizičke ili društvene.

Model koncepta da bi bio dobar model ne mora imati korespondenciju. Konceptualni modeli i konceptualni grafikoni koriste se za izgradnju ekspertnih sustava i sustava temeljenih na znanju, ovdje se analitičari zabrinjavaju da predstave stručno mišljenje o tome što je istina a ne svoje vlastite ideje.

Konceptualni modeli variraju s obzirom na opseg predmeta koji uzimaju za zastupanje. Model može, na primjer, predstavljati jednu stvar (npr. Kip slobode), cijeli razred stvari (npr. elektrona), pa čak i vrlo prostrana domena predmeta poput fizičkog svemira. Raznolikost i opseg konceptualnih modela je s obzirom na različite potrebe koje su imali ljudi koji ih koriste.

Modeli imaju pet glavnih namjena, a to su predviđenje, prognoziranje, upravljanje, društveno učenje te razvoj sustava za eksperimentiranje. Vrste dostupnih podataka su kvalitativni (podaci dobiveni kroz ankete ili stručna mišljenja) i kvantitativni (npr. protoci kroz sustav ili mjerljive karakteristike). Svaka koncepcija sustava mora imati tri glavne dimenzije: vrijeme, prostor i struktura.

Također, konceptualni model mora biti razvijen na takav način da daje tumačenje lako za razumjeti sustav korisnicima modela. Konceptualni model kada se provodi ispravno, treba zadovoljiti četiri temeljna cilja:

1. Poboljšati razumijevanje pojedinca predstavničkog sustava
2. Omogućiti učinkovitost odašiljanja podataka sustava među dionicima
3. Dati referentne točke za sustav dizajnera za izdvajanje specifikacije sustava
4. Osigurati sredstva za suradnju

Pri izradi modela veliku važnost imaju primjena i razvoj konceptualnih modela koji omogućuju prikaz ideja o radu sustava. Na taj način olakšavaju razumijevanje i komunikaciju ljudi koji rade na izradi modela.

Kako bi prikupili sve potrebne podatke prvo trebamo obaviti kvalitativno i kvantitativno istraživanje, napraviti plan istraživanja i proučiti sve načine prikupljanja primarnih podataka, nakon čega podaci idu na obradu.

Svaka metoda ima karakteristične simbole i modele koji se rabe u grafičkom prikazu tih modela. Dijagrami ciklusa aktivnosti (DCA) i Petrijeve mreže su najvažniji konceptualni modeli u diskretnoj simulaciji, a dijagrami toka i dijagrami uzročnih petlji čine konceptualne prikaze modela sustavske dinamike.

Izgradnja modela započinje s izradom grafičkih prikaza (dijagrami uzročnih petlji, uzorak–posljedica dijagrami, itd.). Na taj način dobije se opis načina rada, veze s okolinom, komponenta sustava. Nastali konceptualni modeli opisuju podsustave i omogućuju rješenje zadanih problema.

Kroz sve različite implementacije konceptualnih modela pojavile su se nekoliko najboljih u praksi. Konceptualni model bi trebao biti dostupan svim članovima tima kako bi se olakšala suradnja i iteracija, lako se mijenjati, sadržati vizualne i pisane oblike dijagrama, uspostaviti relevantne pojmove i koncepte, definirati navedene pojmove i pružiti osnovnu strukturu za entitete projekta.

Unatoč imenu, konceptualni modeli nisu samo konceptualni, već se često koriste u stvarnim scenarijima. Savezna agencija za upravljanje hitnim slučajevima (FEMA) koristila je konceptualno modeliranje za razvoj sustava za upravljanje hitnim odgovorima, kao i druge vitalne institucije, uključujući američku agenciju za raketnu obranu i Nacionalni institut za standarde i tehnologiju.

### **4.3. Modeliranje**

Konceptualno modeliranje je aktivnost koja formalno opisuje neke aspekte fizičkog i društvenog svijeta oko nas u svrhu razumijevanja i komunikacije. Primarni cilj konceptualnog modela jest prenijeti temeljna načela i osnovne funkcionalnosti sustava u kojem se predstavlja.

Zbog širokog spektra koncepata koje može predstavljati, konceptualno modeliranje se koristi u širokom rasponu projekata, kroz desetine polja. U okviru razvoja softvera, konceptualno modeliranje najčešće se koristi kao oblik modeliranja podataka, koji predstavljaju apstraktne poslovne subjekte i odnose u njemu.

Uspon brzog razvoja aplikacija predstavlja drugu vrlo uobičajenu primjenu konceptualnog modeliranja, koja koristi apstraktne modele koji predstavljaju razvojne procese koji se brzo mijenjaju i ponavljaju. Nadalje, unutar svake faze brzog razvoja aplikacija, konceptualni se modeli obično koriste za komunikaciju podsustava.

Čak i osnovna praksa modeliranja su, po svojoj prirodi, oblici konceptualnih modela. Jedan od takvih primjera je Unified Language Modeling, koji je nastao sredinom 90-ih godina, a jezik je za modeliranje opće namjene koji pokušava dati standardnu metodu za vizualizaciju dizajna sustava.

Potencijalne prednosti konceptualnog modeliranja implementacije konceptualnog modela su mnoge s obzirom da konceptualni modeli samo predstavljaju apstraktne koncepte i njihov odnos, ali isto tako u velikoj mjeri ovise o vlastitoj sposobnosti da na prvom mjestu osmislite snažan model. Primarne prednosti konceptualnog modela uključuju uspostavu i definiranje svih različitih entiteta i pojmova koji će se vjerojatno pojaviti tijekom životnog ciklusa razvoja softvera.

Konceptualni model može pomoći da se osigura manje iznenađenja uz put, gdje bi subjekti ili odnosi mogli biti zanemareni ili zaboravljeni. Čvrsti konceptualni model može se koristiti kao način definiranja opsega projekta koji pomaže upravljanju vremenom i raspoređivanjem.

Temeljni model za druge modele je taj da je za većinu projekata potrebno generirati dodatne, manje apstraktne modele iznad grubih koncepata definiranih u konceptualnom modelu. Konceptualni modeli mogu poslužiti kao dobar početak kako bi se mogli stvoriti konkretniji modeli, kao što su logički modeli podataka i slično.

Na visokoj razini konceptni modeli služe kao izvrstan alat osiguravajući razumijevanje sustava na visokoj razini tijekom životnog ciklusa razvoja softvera. Za rukovoditelje koji se možda ne bave izravno kodiranjem ili implementacijom to može biti osobito korisno, ali zahtijevaju solidno razumijevanje sustava i odnosa u njemu.

Budući da je konceptualni model koristan onoliko koliko ga možete napraviti, može se pojaviti nekoliko nedostataka ili upozorenja koje treba paziti prilikom implementacije vlastitog konceptualnog modela. Dok konceptualni modeli trebaju biti prilagodljivi, pravilno stvaranje i održavanje konceptualnog modela zahtijeva temeljno i robusno razumijevanje projekta, zajedno sa svim povezanim entitetima i odnosima.

Do velikog trošenja vremena i potencijalnih potonulih troškova može dovesti nepravilno modeliranje entiteta ili odnosa unutar konceptualnog modela, pri čemu su razvoj i planiranje u velikoj mjeri zanemareni od onoga što je bilo prijeko potrebno. Mogući sukobi sustava su ti da je

moгуće stvaranje sukoba između različitih komponenti, budući da se konceptualno modeliranje koristi za predstavljanje takvih sažetaka entiteta i njihovih odnosa.

U ovom slučaju, sukob jednostavno označava da jedna komponenta može biti u sukobu s drugom komponentom. To se može vidjeti kada se kodiranje ili dizajn sukobljavaju s implementacijom, budući da su početne pretpostavke skaliranja tijekom dizajna i kodiranja bile dokazane pogrešno kada je došlo do stvarne implementacije.

Dok konceptualni modeli nisu baš prikladni za velike aplikacije, može doći do izazova za razvijanje i održavanje pravilnog konceptualnog modela za posebno složene projekte. Tako se povećava veličina sustava budući da će broj potencijalnih problema ili sukoba eksponencijalno rasti.

### 4.3.1. Vrste modela podataka

Postoje tri razine modeliranja podataka: konceptualni model podataka, logički model podataka i fizički model podataka.

Svojstvo	Konceptualni	Logički	Fizički
Entiteska imena	✓	✓	
Entitetski odnosi	✓	✓	
Značajke		✓	
Primarni ključevi		✓	✓
Strani ključevi		✓	✓
Nazivi tablica			✓
Nazivi stupaca			✓
Vrste podataka stupaca			✓

*Tablica 1. Značajke modela podataka*

Tablica 1. uspoređuje različite značajke konceptualnih modela, logističkih i fizičkih model podataka. Iz tablice se jasno vidi da entitetska imena sadrže i konceptualni i logički modeli, dok nazive tablica i stupaca samo fizički modeli.

Kod usporedbe dizajna konceptualnih, logističkih i fizičkih modela vidimo da se složenost povećava od konceptualne do logičke do fizičke. Zato uvijek počinjemo s konceptualnim modelom podataka, kako bi razumjeli na visokoj razini koji su različiti subjekti u našim podacima i kako se

one međusobno odnose, a zatim se prebacujemo na logični model podataka kako bi razumjeli detalje naših podataka.

Na kraju i fizički model tako da točno znamo kako implementirati naš model podataka. U projektu skladištenja podataka ponekad se konceptualni model podataka i logički model podataka smatraju jednom isporukom.

### 4.3.2. Tehnike modeliranja

Uloga konceptualnog modela dramatično se proširuje kako su sustavi postali sve složeniji. S tim proširenjem ostvaruje se učinkovitost konceptualnog modeliranja. Na temelju te realizacije stvorene su brojne tehnike konceptualnog modeliranja.

Te se tehnike mogu primijeniti na više disciplina kako bi se korisnicima povećalo razumijevanje sustava za modeliranje. U nastavku je ukratko opisano nekoliko tih tehnika. Neke korištene tehnike i metode konceptualnog modeliranja uključuju modeliranje tijekom rada, modeliranje radne snage, brzi razvoj aplikacija, modeliranje objekti-uloga i UML (Unified Modeling Language).

#### ❖ Modeliranje protoka podataka

Temeljna tehnika konceptualnog modeliranja koja grafički predstavlja elemente sustava je Modeliranje protoka podataka (DFM). DFM je prilično jednostavna tehnika, međutim, kao i mnoge tehnike konceptualnog modeliranja, moguće je izraditi dijagrame reprezentativnih viših i nižih razina.

Dijagram obično ne prenosi složene detalje o sustavu kao što su paralelni razvitak razmatranja ili informacije o vremenu, već radi da dovede glavne funkcije sustava u kontekst. DFM je središnja tehnika koja se koristi u razvoju sustava koji koristi metodu analize i dizajniranja strukturiranih sustava.

#### ❖ Modeliranje entitetskih odnosa

Modeliranje entitetskog odnosa (ERM) je tehnika konceptualnog modeliranja koja se prvenstveno koristi za predstavljanje softverskog sustava. Dijagrami se obično koriste za predstavljanje modela baze podataka i informacijskih sustava. Entiteti i odnosi su glavne komponente dijagrama.

Subjekti mogu predstavljati neovisne objekte, funkcije ili događaje. Za povezivanje entiteta jedni s drugima odgovorni su odnosi. Da bi se formirao proces sustava, odnosi se kombiniraju s



entitetima i svim atributima potrebnim za daljnji opis procesa. Za ovu tehniku oostoji više prikaza dijagrama; IDEF1X, Bachman i EXPRESS, itd. Ove su konvencije samo razni načini gledanja i organiziranja podataka koji predstavljaju različite aspekte sustava.

#### ❖ Lanac procesa vođenih događajima

EPC je tehnika konceptualnog modeliranja koja se uglavnom koristi za sustavno poboljšanje tokova poslovnih procesa. Procesni lanac vođenih događajem sastoji se od entiteta i funkcija koje omogućuju razvijanje i obradu odnosa. EPC se sastoji od događaja koji definiraju pravila ili stanje u kojem je proces.

Da bi napredovali kroz događaje, mora se izvršiti funkcija/aktivni događaj. Funkcija ima sposobnost transformiranja stanja događaja ili povezivanja s drugim procesnim lancima ovisno o procesu protoka. Postoje i drugi elementi unutar EPC-a koji zajedno rade kako bi definirali kako i kojim pravilima sustav funkcionira. EPC tehnika može se primijeniti na poslovne prakse kao što su planiranje resursa, poboljšanje procesa i logistika.

#### ❖ Zajednički razvoj aplikacija

DSDM (Metoda dinamičkih sustava razvoja) koristi specifičan proces zvan JEFFF za konceptualno modeliranje životnog ciklusa sustava. Namjera je da se više usredotoči na planiranje razvoja na višoj razini.

Proces poziva na niz radionica u kojima sudionici rade na definiranju i prepoznavanju uspješnog projekta od početka do završetka. Ova metoda ne funkcionira dobro za aplikacije velikih razmjera.

#### ❖ Prijelazna mreža

Također poznat kao Petri mreže, ova tehnika konceptualnog modeliranja omogućuje da se sustav konstruira s elementima koji se mogu opisati izravnim matematičkim sredstvima. Petrijeva mreža je korisna tehnika za modeliranje istovremenog ponašanja sustava, tj. istodobnog izvršavanja procesa.

#### ❖ Modeliranje državne tranzicije

Ova metoda koristi dijagrame prijelaza u stanju za opisivanje ponašanja sustava. Ove dijagrame upotrebljavaju različite države kako bi se definiralo ponašanje sustava i promjene. Većina modernih alata za modeliranje sadrži neku vrstu sposobnosti da predstavlja modeliranje državne tranzicije.

#### 4.4. Uzrok - posljedica dijagram

Prof. Kaoru Ishikawa počeo je razvijati uzrok - posljedica dijagram (Ishikawa dijagram, C&E dijagram, "riblja kost") na Sveučilištu u Tokiju 1943. godine. Dijagram predstavlja vrlo korisnu i jednostavnu metodu za sagledavanje što više mogućih uzroka koji dovode do problema/posljedice koji se analizira, a sve u cilju poboljšanja i unapređenja poslovnih procesa.

Vizualni prikaz uzroka koji ova metoda pruža olakšava analizu njihovog međusobnog odnosa i značaja. Uzorak i posljedica dijagram grafički ilustrira odnos svih faktora koji utječu na izlaz i odnos između danog izlaza .

Uzorak i posljedica dijagram (u pravilu) izrađuje grupa djelatnika/stručnjaka koji imaju dostatna saznanja o razmatranom problemu. Poželjno je da su u grupi pojedinci različitih kvalifikacija i raznih stručnih područja.

Prema iskustvu Ishikawe, najefikasniji učinci postižu se radom u grupi (od 4 do 8 ljudi), pri čemu rad grupe (izradu dijagrama) koordinira voditelj grupe (imenovan od strane vodstva, tj. uprave). Rasprave tijekom izrade dijagrama trebaju biti svedene na minimum.

Konstruiranje i analiziranje dijagrama uzrok-posljedica odvija se u nekoliko koraka (Gotal Dmitrovic et al, 2016):

- ❖ Prvi korak je identificiranje i jasno definiranje posljedica ili izlaza koji će biti analizirani. Zavisno o pitanju o kojem se diskutira, posljedica može biti pozitivna (cilj) ili negativna (problem).
- ❖ Drugom korak je crtanje posljedice.
- ❖ Treći korak je identificiranje uzroka koji doprinose posljedici.
- ❖ U četvrtom i petom koraku se provodi identificiranje ostalih faktora za svaki od glavnih uzroka i identificiranje uzroka do što dubljih nivoa uzroka.
- ❖ Šesti korak je analiza dijagrama. Ona nam služi za identifikaciju uzroka koji opravdavaju daljnje istraživanje. Tokom analize provjerava se „ravnoteža“ dijagrama, kako bi se poduzela akcija na određenim uzorcima.

Analiza pomaže da se identificiraju uzroci koji opravdavaju daljnje istraživanje. Tim u daljem radu može odrediti uzroke na koje će se prvo fokusirati, jer dijagram uzrok-posljedica identificira samo moguće uzroke.

Tokom analize dijagrama najvažnije je identificirati uzroke na kojima se mogu poduzeti prikladne i odgovarajuće aktivnosti kako bi se postojeći utjecaj minimizirao na najmanju moguću mjeru ili uklonio. Kroz izradu ovakvog dijagrama može se puno toga naučiti o konkretnom

problemu, tj. o uzrocima problema, te je zbog toga izrada ovakvog dijagrama edukativnog karaktera. Dijagram također predstavlja razinu znanja koju posjeduje tim za rješavanje problema.

Taj dijagram je isto tako jako dobar jer rezultira s aktivnim traženjem za uzrocima problema. Svrhom koncentriranja na težinu određenih uzroka, na osnovi ovog dijagrama mogu se ispitati, potvrditi ili odbaciti različiti mogući uzroci. Ne treba smetnuti s uma i da ovakav dijagram također ima i nedostataka. Jedan od nedostataka je kada se radi o nekom vrlo složenom problemu, pa dolazi do nepreglednosti i glomaznosti dijagrama, jer ima mnogo mogućih uzroka i poduzroka.

Uzorak-posljedica dijagram je univerzalno primjenjiv, naročito za poboljšanje procesa sa svrhom optimiziranja, produktivnosti, troškova itd., te za analizu grešaka, reklamacija i drugih nedostataka. Primjena dijagrama je također vrlo dobra kada se radi o nekim kompleksnim strukturama. Tada se pomoću dijagrama vrlo dobro mogu vizualizirati te kompleksne strukture kako bi one postale preglednije.

Analiza posljedica uzroka je učinkovit alat pri potvrđivanju da su operativne sigurnosne značajke uzete u obzir već u fazi projektiranja. Metoda se može primijeniti posebno kod ispitivanja složenih lanaca događaja gdje postoji mnogo mogućih posljedica štete za jedan primarni događaj.

Rezultati analize uzročno-posljedičnih posljedica uključuju između ostalog:

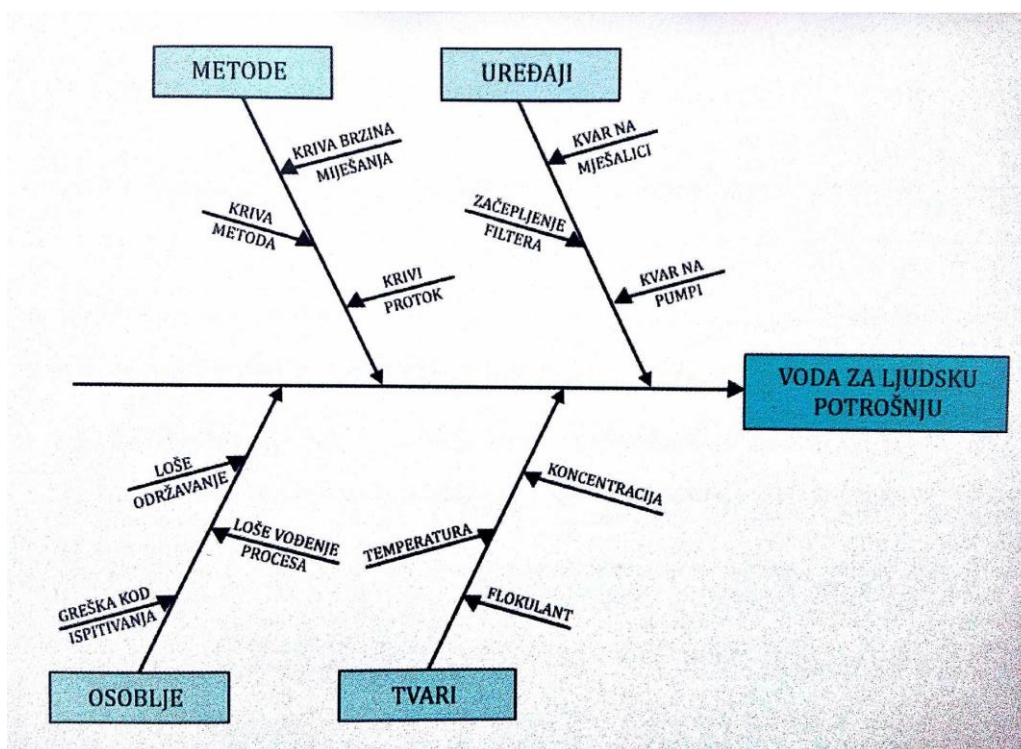
- Vizualni i logički opis lanca posljedica koji se razvija iz ispitivanog primarnog događaja,
- Vjerojatnosti za konačnu posljedice štete na osnovi uzročne posljedice,
- Uzroci i posljedice (uzročnosti) između događaja,
- Zahtjevi za sigurnosne značajke.



Slika 14. Simboli uzrok–posljedica dijagrama

(Izvor: [www.edrawsoft.com/ishikawa-diagram-symbols.php](http://www.edrawsoft.com/ishikawa-diagram-symbols.php) ; download: 24.07.2017.)

Slika 14. prikazuje simbole Ishikawa dijagrama kao što su efekti, riblji okvir, kategorija, primarni uzrok, sekundarni uzrok, glavni okvir i mnoge druge koje ovdje nisu prikazane kao npr. savije strelice, fleksibilne strelice, strelice linije, dvostruki luk strelice, itd.



Slika 15. Primjer uzrok-posljedica dijagrama

(Izvor: Modeliranje informacijskih sustava za zaštitu površinskih voda, doc.dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović, prof.dr.sc. Vesna Dušak, prof.dr.sc. Marin Milković, Sveučilište Sjever, Varaždin, travanj 2017., download: 19.09.2017.)

Slika 15. prikazuje Uzrok-posljedica dijagram koji ima jednu posljedicu, četiri uzroka koji doprinose posljedici i svaki od uzorka po tri poduzroka. Glavni uzorci su osoblje, tvari, metode i uređaji.

Faktori koji utječu na metode su kriva metoda, kriva brzina miješanja i krivi protok. Na uređaj utječe kvar na pumpi i miješalici te začepljenje filtera. Kod osoblja poduzroci su greška kod ispitivanja, loše održavanje i loše vođenje, a kod tvari temperatura, koncentracija i flokulant.

## 4.5. Dijagram ciklusa aktivnosti

Dijagram ciklusa aktivnosti (DCA), dijagram toka ili dijagram aktivnosti opisuje cilj u ciklusima aktivnosti resursa i entiteta, koji su bilo u pasivnom ili aktivnom stanju. 1960-tih dijagram je bio poznat kao dijagram toka, ali su ga kasnije znanstvenici preimenovali u dijagram ciklusa aktivnosti.

DCA je sastavljen od ciklusa aktivnosti resursa i entiteta. Svaki ciklus aktivnosti opisuje aktivna i pasivna stanja resursa ili entiteta u sustavu. Obično, aktivno stanje resursa ili entiteta predstavlja pravokutnik, pod nazivom "aktivnosti", pasivno stanje resursa ili subjekta predstavlja krug, pod nazivom "red".

Luk se koristi za povezivanje aktivnosti i reda. Aktivnost predstavlja interakciju između entiteta i resursa, što obično treba duže vremena za završiti. Token se koristi da predstavlja stanje čekanja i aktivnosti.

Za izvođenje simulacije najčešće se koristi pomak vremena na sljedeći događaj. Nakon izvođenja jednog događaja pronalazi se događaj koji je sljedeći na redu, vrijeme simulacije se pomiče na vrijeme izvođenja tog novog događaja. Taj se novi događaj izvede (tom prilikom se događa i promjena stanja sustava, tj. mijenjaju se atributi jednog ili više entiteta).

Kako bi se izgradio model prikladan za diskretnu simulaciju događaja, potrebno je: prepoznati važne klase entiteta, razmisliti o aktivnostima, veza aktivnosti zajedno i princip štednji. Jedan od načina modeliranja interakcije entiteta su naročito su korisni za sustav s jakim redovima čekanja strukture.

Ako se traži da opiše situaciju ili problem koji treba biti predmet studije simulacijskog modela, većina ljudi intuitivno slijedi opis procesa u kojem se svaki važan korak opisuje redom. Razlog za to je jasno kada razmišljate o putu. Međutim, za složenije probleme, postoje nedostaci tog pristupa.

Važno je da je koncepcija problema logično dosljedna i potpuna u svim važnim aspektima. S opisom postupka nijedan od ovih uvjeta nije zadovoljen. Ako je više od jedne osobe uključeno u definiranje logike modela to bi također bilo jasno prednost ako su svi suradnici koristili zajednički lako razumljiv opisni jezik.

Iako niti jedan opisni jezik ne može osigurati cjelovitost ili valjanost modela, jednostavan, logički samo-konzistentan opis modela jezikom koji se temelji na nekoliko uobičajenih simbola jasno je prednost u opisu složenih sustava. Dok postoji modeliranje jezika koji mogu prevesti dijagram aktivnosti izravno u izvršni kod, mora se priznati da je većina jezika čvrsto usmjerena u paradigmi procesnog opisivanja.

Stoga je razvijen opis modela kao dijagram ciklusa aktivnosti koji služi za prevođenje u opis procesa za računalnu simulaciju. Objašnjenje dijagrami ciklusa aktivnosti (ACD) počinje s

konceptom entiteta. U ovom kontekstu entitet je bilo koji predmet čija promjena stanja (između korištene i neiskorištene ili neaktivne i aktivne) može utjecati na pojavu događaja unutar modela.

Metodologija za izradu dijagrama ciklusa aktivnosti sastoji se od nekoliko koraka: navesti domenu modela, navesti sve entitete i njihove ključne atribute, za svaki entitet definira se pojedinačni zatvoreni ciklus aktivnosti - red čekanja i spajaju se pojedinačni ciklusi aktivnosti.

Nakon dovršetka dijagrama potrebno je provjeriti je li logika ispravna i dali će se model oponašati na željeni način. Provjeru je najlakše postići "prohodnim" dijelovima modela koja se može olakšati pomoću brojača za predstavljanje entiteta.

Izvorna implementacija ciklusa aktivnosti na modeliranju bila je zajednički razvoj u Ujedinjenom Kraljevstvu između IBM-a i Essa. To je postala prva programirana verzija poznata kao CSL (Control & Simulation Language, Buxton & Laski 1962). Uspješan daljnji razvoj ovog rada bio je ECSL (Extended Control & Simulation Language) tvrtke Clementson (1991).

Trenutačna verzija ECSL-a radi na različitim platformama. Sustav sada uključuje i brojne alate za podršku koji omogućuju korisniku povezivanje ECSL-a s određenim urednicima i proračunskim tablicama za analizu.

### ❖ Upotreba DCA u specifikaciji modela

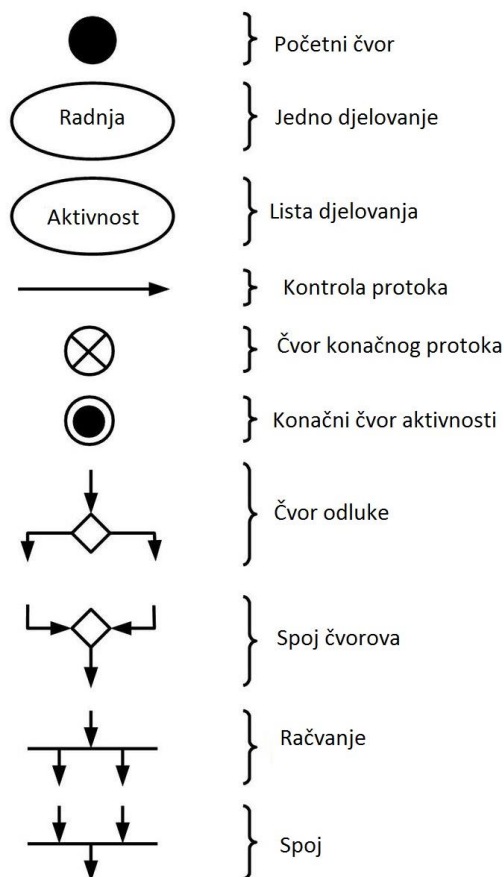
Analitičar simulacije će obično razviti model procesa s koji neće biti potpuno poznat na početku. On treba razviti točno razumijevanje dinamike problematične domene. Razvijanje dijagram ciklusa aktivnosti sustava s krutom logičkom strukturom niske razine je vrlo dobar način postizanja tog razumijevanja.

Nakon što je analitičar razvio ACD, može simulirati ključne dijelove modela premještanjem brojača kako bi predstavio entitete preko dijagrama i izračunavanjem vremena, itd. To će lako otkriti logičke pogreške u modelu (poput znakova koji nedostaju).

Sljedeća ključna faza nakon što je razvijen simulacijski model je provjera. ACD ima ulogu u dizajnu postupaka provjere. U razumno složenom modelu nije moguće testirati svaku moguću kombinaciju događaja koja se može pojaviti tijekom rada. U jednom trenutku model može imati dramatičan učinak u daljem dijelu modela.

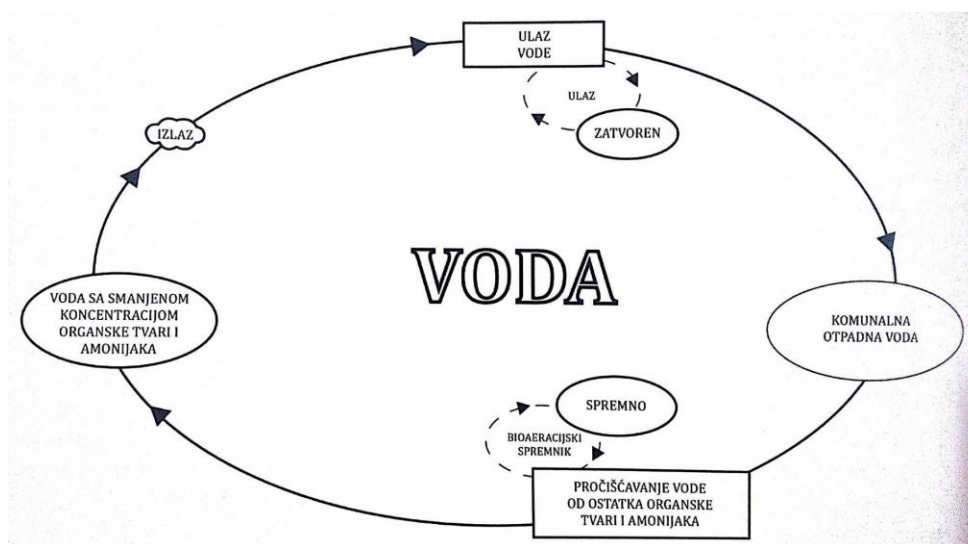
Ako je razvijen sveobuhvatni ACD, potrebno je to prevesti u procesnu paradigmu za implementaciju računala. To uključuje odabir "Primarnih entiteta" i "Sekundarnih entiteta" koji će postati entiteti koji se kreću kroz simulaciju procesa.

Slika 16. prikazuje simbole za Dijagram ciklusa aktivnosti, kao što su početni i završni čvor, račvanje, kontrola podataka, itd.



Slika 16. Simboli dijagrama ciklusa aktivnosti

(Izvor: [www.pinterest.com/dicobrosco/uml-activity-diagram/](http://www.pinterest.com/dicobrosco/uml-activity-diagram/) ; download: 24.07.2017.)



Slika 17. Primjer DCA

(Izvor: Modeliranje informacijskih sustava za zaštitu površinskih voda, doc.dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović, prof.dr.sc. Vesna Dušak, prof.dr.sc. Marin Milković, Sveučilište Sjever, Varaždin, travanj 2017., download: 19.09.2017.)

Na slici 17. prikazan je DCA sustava za pročišćavanje otpadne komunalne vode. Sustav opisuje ciklus aktivnosti resursa i entiteta. Pravokutnici predstavljaju entitet, krug pasivno stanje, a luk se koristi za povezivanje. Dijagram se mora odvijati po redu, nakon jednog događaja ide sljedeći po redu.

#### 4.6. Dijagram uzročnih petlji

Upotrijebu čvorova i strelica za izradu modela se koristi od izuma analize puta od strane Sewall Wrighta 1918. godine, a mnogo prije sustava Dynamics. Ovi rani grafikoni nisu sadržavali petlje.

Prvu formalnu upotrebu dijagrama uzročnih petlji objasnio je dr. Dennis Meadows. Tokom svog rada na Wolrd3 modelu (1970.-72.) shvatio je da za prezentiranje svih rezultata neće moći koristiti računalni prikaz, te je odlučio sve prikazati koristeći strelice koje povezuju nazive glavnih komponenti, te tako prikazati petlje povratnih informacija (bez dionica, tokova i svake varijable).

Dijagram uzročnih petlji (CLD) je uzročni dijagram koji pomaže u vizualizaciji različitih varijabli u sustavu i njihove povezanosti. Dijagram se sastoji od skupa čvorova i rubova, gdje su čvorovi i rubovi varijable koje predstavljaju vezu ili odnos između dviju varijabli. Veza označena plusom označava pozitivan odnos, a veza označena minusom označava negativni odnos.

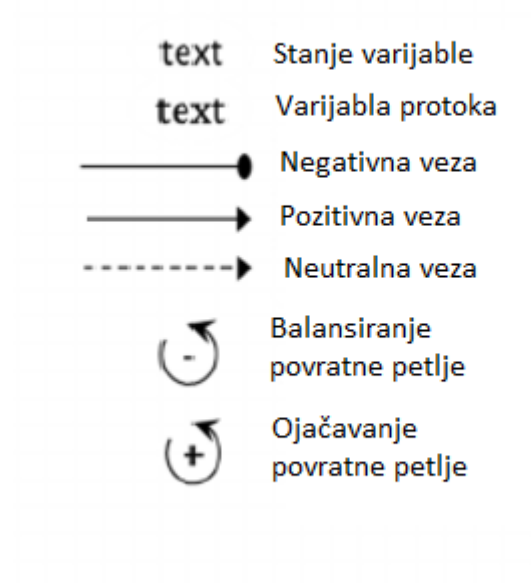
Pozitivna uzročna veza znači da se dva čvora mijenjaju u istom smjeru, tj. ako se čvor u kojem počinje veza smanjuje, drugi čvor se također smanjuje. Slično tome, ako se čvor u kojem počinje veza povećava, povećava se i drugi čvor. Negativna uzročna veza znači da se dva čvora mijenjaju u suprotnim smjerovima, tj. ako se čvor u kojem počinje veza povećava, drugi čvor se smanjuje i obrnuto.

Zatvoreni ciklusi u dijagramu vrlo su važni elementi ovog dijagrama. Zatvoreni ciklus je definiran kao ojačanje ili balansiranje petlje. Ojačana petlja je ciklus u kojem se učinak varijacije u bilo kojoj varijabli propagira kroz petlju i vraća se na varijablu pojačavajući početno odstupanje, tj. ako varijabla povećava petlju za pojačanje, učinak kroz ciklus vratit će povećanje do iste varijable i obrnuto. Balansna petlja je ciklus u kojem se učinak varijacije u bilo kojoj varijabli propagira kroz petlju i vraća varijablu odstupanja suprotno inicijalnom, tj. ako varijabla povećava petlju uravnoteženja učinak kroz ciklus će vratiti na istu varijablu i obrnuto.

Ako varijabla varira u petlji za pojačanje, učinak promjene pojačava početnu varijaciju. Učinak varijacije će tada stvoriti još jedan učinak pojačanja. Bez prekidanja petlje sustav će biti uhvaćen u začaranom krugu kružnih reakcija lanca. Zbog toga su zatvorene petlje kritične značajke dijagramu uzročnih petlji.



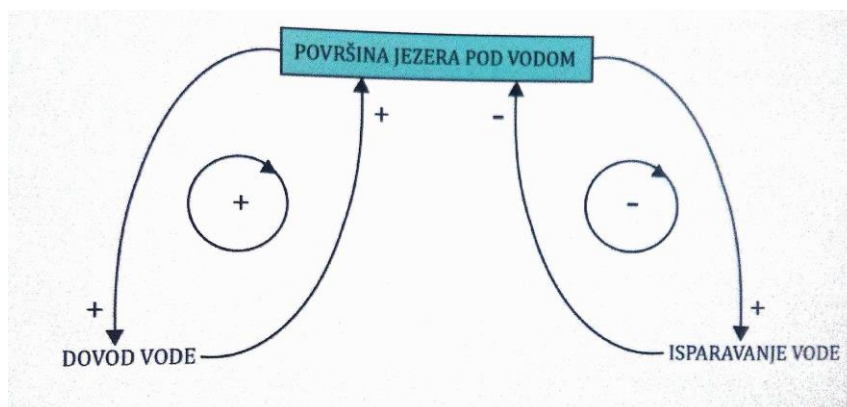
Da bi se utvrdilo je li kauzalna petlja ojačanje ili balansiranje, može se početi s pretpostavkom da čvor 1 povećava i slijedi petlju. Petlja je pojačavajuća ako se nakon kruženja petlje završi s istim rezultatom kao i početna pretpostavka, u suprotnom je balansiranje. Ojačavajuće petlje imaju čak i broj negativnih veza, dok balansirane petlje imaju neparan broj negativnih veza. Identifikacija petlje za pojačanje i balansiranje važan je korak za prepoznavanje obrasca referentnih ponašanja, tj. moguća dinamička ponašanja sustava. Ako sustav ima kašnjenja (često se označava crtanjem kratke crte preko uzročne veze), sustav može varirati.



*Slika 18. Oznake dijagrama uzročnih petlji*

(Izvor: [www.researchgate.net/figure](http://www.researchgate.net/figure) ; download: 24.07.2017.)

Na slici 18. prikazane su oznake za crtanje Dijagrama uzročnih petlji. „Text“ označuje stanje varijable ili varijablu protoka, strelice vrstu veza, itd.



Slika 19. Primjer dijagrama uzročnih petlji

(Izvor: Modeliranje informacijskih sustava za zaštitu površinskih voda, doc.dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović, prof.dr.sc. Vesna Dušak, prof.dr.sc. Marin Milković, Sveučilište Sjever, Varaždin, travanj 2017., download: 19.09.2017.)

Slika 19. pokazuje dijagram uzročnih petlji na jezero. Ovaj dijagram prikazuje uzročno-posljedinu vezu između elemenata. Strelice sa „+“ i „-“, oznakama pokazuju nam da li se uzrok i posljedica mijenjaju u istom smjeru ili u suprotnom. Ako se mijenjaju u istom onda raste i uzrok i posljedica. U sredini petlje, polukružna strelica sa oznakom „+“, odnosno „-“, označava pozitivnu, odnosno negativnu povratnu vezu.

#### 4.7. Petrijeve mreže

Petrijeva mreža, poznata i kao mjesto-prijelazna mreža, jedan je od nekoliko matematičkih jezika modeliranja za opis distribuiranih sustava. To je klasa dinamičkog sustava diskretnog događaja.

Petrijeva mreža je usmjereni bipartitni grafikon, u kojem čvorovi predstavljaju događaje koji se mogu pojaviti, prikazani šipkama i uvjeti, predstavljeni krugovima. Neki izvori navode da je Petrijeve mreže izumio Carl Adam Petri u kolovozu 1939. u svrhu opisivanja kemijskih procesa.

Klase Petrijevih mreža su mreže stanja i prijelaza, mreže visoke razine, vremenske Petrijeve mreže i stohastičke Petrijeve mreže. Petrijeve mreže nude grafički zapis za postupne korake koji uključuju izbor, iteraciju i istovremenu izvedbu. Za razliku od ovih standarda, Petrijeve mreže imaju točno matematičku definiciju njihove izvršne semantike s dobro razvijenom matematičkom teorijom za analizu procesa.

Petrijeva mreža sastoji se od mjesta, prijelaza i lukova. Lukovi kreću od mjesta do prijelaza ili obratno, nikada između mjesta ili između prijelaza. Mjesta kod kojih luk prelazi na prijelaz

nazivaju se ulaznim mjestima prijelaza. Mjesta na kojima se lukovi izvode iz tranzicije nazivaju se izlaznim mjestima prijelaza.

Grafički, mjesta u Petrijevoj mreži mogu sadržavati diskretni broj oznaka nazvanih tokeni. Svaka distribucija žetona nad mjestima predstavlja konfiguraciju mreže koja se zove oznaka. Ako nije definirana izvršna politika, izvršavanje Petrijevih mreža je neodređeno.

Budući da je pucanje neodređeno, a višestruke oznake mogu biti prisutne bilo gdje u mreži (čak i na istom mjestu), Petrijeve mreže su dobro prilagođene za modeliranje istodobnog ponašanja distribuiranih sustava.

Grafikon Petrijeve mreže sadrži šest oznaka, pri čemu je:

S - konačan skup mjesta

T - konačan skup prijelaza

(S i T su razdvojeni, tj. niti jedan objekt ne može biti mjesto ni prijelaz)

W – težišna strelica

F – skup strelica

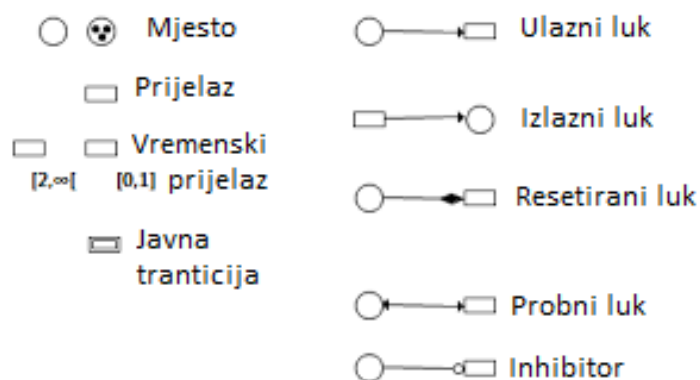
K – kapacitet pozivija

$M_0$  – položaj marki

Zajednička varijanta je zabranjivanje višestrukostih lukova i zamjena vrećice lukova W s jednostavnim skupom, nazvanim odnosom protoka,  $F \subseteq (S \times T) \cup (T \times S)$ . To ne ograničava ekspresivnu moć, jer oboje mogu predstavljati jedan drugoga.

Jedna od stvari koja čini Petrijeve mreže zanimljiva činjenica da one pružaju ravnotežu između modeliranja moći i analize: mnoge stvari koje bi netko želio znati o istovremenim sustavima može se automatski odrediti za Petrijeve mreže, iako su neke od tih stvari vrlo skupe za odrediti. Proučeno je nekoliko podklasa Petrijevih mreža koje još uvijek mogu modelirati zanimljive klase istovremenih sustava. Pregled takvih problema s odlukama, odlučnošću i složenosti za Petrijeve mreže i neke podklase, može se naći u Esparza i Nielse, 1995.

Problem postizanja Petrijevih mreža je da se odluči, s obzirom na N i oznaku M, da li  $M \in R(N)$ . Očigledno je da se radi o kretanju grafikona doseg, dok se ne dođe do tražene oznake. To je teže nego što se na prvi pogled može činiti: grafikon dostizanja obično je beskonačan i nije lako odrediti kada je sigurno zaustavljanje.

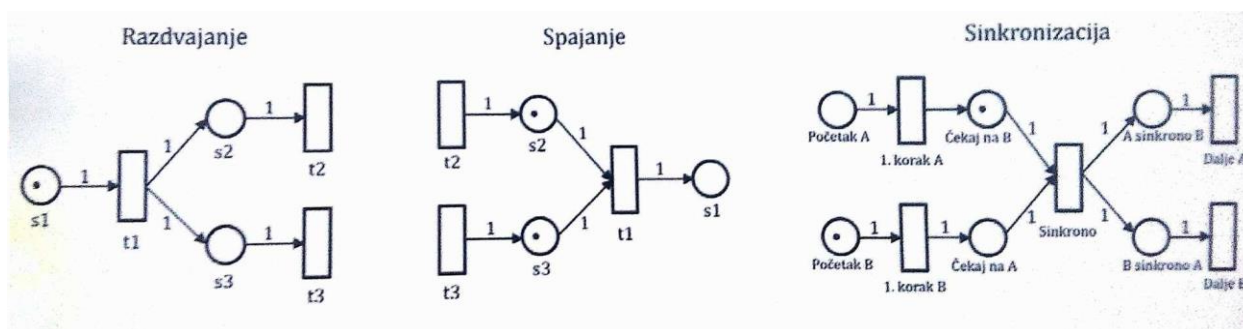


Slika 20. Simboli petrijeve mreže

(Izvor: <https://lip6.github.io/ITSTools-web>; download: 24.07.2017.)

Na slici 20. prikazani su neki od simbola pri crtanju Petrijeve mreže, gdje krug prikazuje mjesto, pravokutnik prijelaze, a kombinacija krugova i kvadrata povezanih strelicama ulazne ili izlazne lukove, itd.

Dok je dostupnost čini dobar alat za pronalaženje pogrešnih stanja, za praktične probleme konstruirani grafikon obično ima previše stanja za izračunavanje. Kako bi se ublažio ovaj problem, linearna vremenska logika obično se koristi zajedno s metodom tablice kako bi se dokazalo da se takva stanja ne mogu postići.



Slika 21. Primjeri razdvajanja, spajanja i sinkronizacije

(Izvor: Modeliranje informacijskih sustava za zaštitu površinskih voda, doc.dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović, prof.dr.sc. Vesna Dušak, prof.dr.sc. Marin Milković, Sveučilište Sjever, Varaždin, travanj 2017., download: 19.09.2017.)

Slika 21. prikazuje razdvajanje, spajanje i sinkronizaciju u Petrijevim mrežama. Ako od jedne sekvence nastaju dvije, onda dolazi do razdvajanja, dok do spajanja dolazi kada se dvije sekvence spoje u jednu. Do sinkronizacije dolazi kada procesi međusobno neovisno rade, ali u

jednom trenutku trebaju rezultat ostalih procesa. Nakon što se svi podaci sinkroniziraju svi procesi se nastavljaju u granama.

## 4.8. Dijagram toka

Dijagram toka je skupni izraz za dijagram koji predstavlja protok ili skup dinamičkih odnosa u sustavu. Izraz dijagram toka također se koristi kao sinonim za dijagram toka i ponekad kao protuteža dijagramu toka. Dijagram se koriste za strukturu i naručivanje složenog sustava ili za otkrivanje temeljne strukture elemenata i njihove interakcije.

Izraz dijagram toka koristi se u teoriji i praksi u različitim značenjima. Najčešće dijagram toka se koristi u smislu prikaza procesa (npr. informacijska grafika). Sveobuhvatna ilustrirana referenca Harrisa daje dvije zasebne definicije:

- Dijagram toka je dijagram koji vizualno prikazuje organizirane načine povezane informacije, kao što su događaji, koraci u procesu, funkcije itd., redom ili kronološki.
- Dijagram toka predstavlja grafički prikaz fizičkog puta ili tijeka ljudi, materijala, papira, vozila ili komunikacije povezanih s procesom, planom postupka ili istragom.

U drugoj definiciji značenje je ograničeno na prikaz fizičkog puta ili toka. Primjer takvog dijagrama je ilustracija protoka u nuklearnom propulzivnom sustavu podmornice koja pokazuje različite struje naprijed-nazad u sustavu. Prikaz takvog sustava može biti nadopunjen jednim ili više dijagramom toka, koji pokazuju slijed jednog od tokova u jednom smjeru, ili bilo koji od upravljačkih tokova za upravljanje sustavom.

U teoriji i praksi se specifični tipovi dijagrama još nazivaju dijagramom toka, kao što su: alluvialni dijagram, ističe i sažima značajne strukturne promjene u mrežama, kružni protok prihoda, kontrolni dijagram toka, dijagram koji opisuje kontrolni tok procesa ili programa, kumulativni dijagram toka, alat koji se koristi u teoriji čekanja, funkcionalni dijagram toka protoka, u inženjerstvu sustava, itd.

Prednosti dijagrama toka su univerzalno kreiranje koncepta za bilo koji programski jezik (pojedini blok se samo zamjeni naredbom pripadnog programskog jezika), laka provjera i kreiranje koncepta programske logike (grafički simboli lakši za praćenje u analizi), mogućnost povezivanja više različitih struka (bitno kod današnjih timskih radova i interdisciplinarnih projekata) i moguće automatsko kreiranje programskog koda (ubrzavanje učenja te izradu proizvoda).

Kreiranje dijagrama toka ima nekoliko pravila:

- Naredbe se izvršavaju po redu, od početka prema kraju dijagrama toka (smjer označen strelicom, nije moguća promjena smjera izvršavanja).
- Svaka vrsta naredbe ima svoj pripadni blok (blok nije moguće koristiti za neku drugu namjenu).
- Više smjerova izvršavanja programa omogućuje grananje programa (moguće je odabrati samo jedan smjer, svi smjerovi se na kraju moraju spajati prije završetka bloka).
- Dijelovi dijagrama toka se spajaju poveznicama.



Slika 22. Simboli dijagrama toka

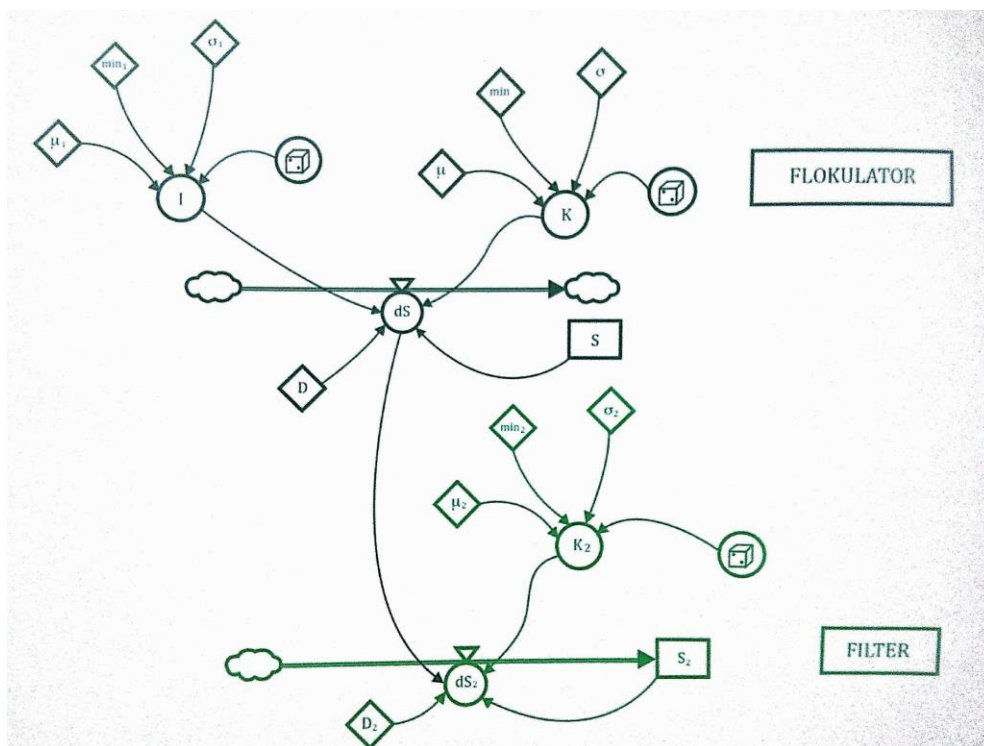
(Izvor: [www.edrawsoft.com/data-flow-model-symbols.php](http://www.edrawsoft.com/data-flow-model-symbols.php) ; download: 24.07.2017.)

Na slici 22. su prikazani simboli Dijagram toka. Ovdje su uključeni oblici kao što su petlja na centru, više stanja, opis objekta, objekt, dinamički korektor, itd.

Simbol procesa podataka predstavlja krug jer krugovi predstavljaju podatke u većini dijagrama toka. Entitet se koristi za prikazivanje izvora i primatelja podataka iz poslovnog sustava koji se istražuje. Simbol vanjskog entiteta predstavlja izvore podataka u sustav ili odredišta podataka iz sustav (oni mogu predstavljati ljude, organizacije, druge poslovne sustave i računalne sustave).

Kako bi se postigao određeni kraj poduzeto je nekoliko procesa (niz akcija ili koraka). Sučelje je uređaj ili program koji omogućuje korisniku komunikaciju s računalom.

Pohrana podataka je skladište podataka skup integriranih objekata. Pohrana podataka obuhvaća ne samo skladišta podataka kao što su baze podataka, već je opći koncept koji uključuje i ravne datoteke koje mogu pohraniti podatke.



Slika 23. Primjer sustava za pročišćavanje vode kao dijagram toka

(Izvor: Modeliranje informacijskih sustava za zaštitu površinskih voda, doc.dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović, prof.dr.sc. Vesna Dušak, prof.dr.sc. Marin Milković, Sveučilište Sjever, Varaždin, travanj 2017., download: 19.09.2017.)

Slika 23. prikazuje model rada sustava za pročišćavanje vode. Oblak sa ulaznom ili izlaznom strelicom pokazuje ponor ili izvor toka, dok sama strelica pokazuju smjer toka. Krugom su prikazane pomoćne varijable, a odjeljci gdje dolazi do akumulacije materijala prikazani su pravokutnicima. Simbolom ventila su prikazani tokovi materijala, te o njima ovisi propusnost materijala kroz neko vrijeme.

## **5. Pogon za pročišćavanje vode Ravnik**

### **5.1. Povijest razvoja pogona**

Kako grad Kutina i okolica po svom geološkom sastavu spadaju u teško propusne gline, pronalaženje pitke vode je od uvijek bilo problematično. Još prije 60-tih godina započela je vodoopskrba na tom području, te se tada voda crpila iz akumulacijskog jezera Bajer.

Tek 1977. godine na prijedlog Vodoprivrede Kutina uslijedili su istražni radovi na širjem području grada i bušenje proizvodno pokusnog zdenca u Ravniku. Kako su rezultati istražnih radova bili zadovoljavajući 1980-te je u Ravniku započeta izgradnja četiriju zdenaca za eksploataciju i izgradnja pogona prerade vode kapaciteta 80 l/s. Crpilište vode Ravnik je pušten u pogon 26.09.1983. godine.

### **5.2. Pogon u Ravniku**

Podzemne vode su općenito bolje za upotrebu jer se zagađenja s površine uspiju otkloniti prolaskom vode kroz propusne slojeve. Dubina bušotina kreće se od 102 do 110 m i oni zahvaćaju vodonosne slojeve na dubini 31-108 m.

Da bi voda bila za piće ona mora biti higijenski ispravna i tehnički prikladna. Na pogonu u Ravniku, koji opskrbljuje grad Kutinu i okolicu provjerava se doza klora u vodi svaka dva sata, dok se mutnoća, boja, miris, pH-vrijednost i količina kemijskih elemenata ispituje jedanput na dan.

Pored kontrole vode u pogonu, kontrolu kvalitete vode vrši i Zavod za javno zdravstvo iz čijih se rezultata vidi da je dobivena voda vrlo dobre kvalitete.

Crpilište vode u Ravniku prostire na površini od 22 km<sup>3</sup> i podijeljeno je u tri zone sanitarne zaštite. Voda se crpi iz 10 bušenih zdenaca raspoređenih oko postrojenja za proizvodnju vode.

### **5.3. Prerada vode**

Analizom vode 2003. godine dokazano je i potvrđeno u Zavodu za javno zdravstvo Sisačko-moslavačke županije da sustav za pročišćavanje vode u Ravniku pokazuje veliku učinkovitost rada uređaja. Tako je količina željeza u crpljenoj vodi smanjena sa 1830 Fe/l na 9,13 Fe/l, mangan sa 234 Mn/l na 19,4 Mn/l i amonijak sa 0,48 mg/l na 0,03 mg/l. Kako podzemna voda na crpilištu sadrži dosta željeza, mangana i amonijaka da bi dobili pitku vodu ona prolazi kroz sustav za



pročišćavanje vode u kojem se voda pročišćuje postupcima: aeracija, oksidacija, filtracija i kloriranje.

Glavni dio uređaja za pročišćavanje vode sačinjen je od sustava tlačnih posuda koje se sastoje od 7 pješčanih filtera te i od 2 oksidatora. Proces započinje tlačenjem vode tehnološkim crpkama, uz istovremeno dodavanje zraka, na sustav tlačnih posuda.

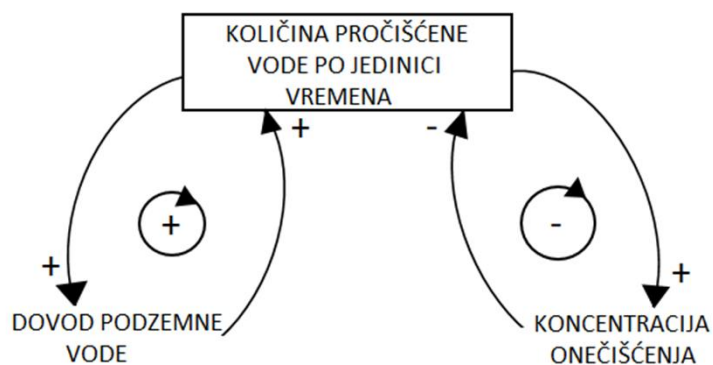
Pješčani filteri su ujedno i osnova mehaničke filtracije vode. Filtracijom se iz vode odstranjuju sve suspendirane čestice. Pješčana ispuna je od slojeva kvarcnog pijeska različitog granulacijskog sastava. Ti pješčani filteri zadržavaju čvrste čestice na površini, a sitne čestice na gornjem sloju ispune filtera stvarajući „kolač“ kojim se postiže još bolja kvaliteta filtracije.

Kratkotrajnom aeracijom vode povećava se efikasnost oksidacije i taloženja. Aeracijom se u ovom slučaju uklanja amonijak ( $\text{NH}_3$ ) oksidacijom, a koji vodi daje okus i miris. Nastavkom oksidacije (intenzivnim miješanjem zraka s vodom) povećava se koncentracija otopljenog kisika, a njome se dvovalentno željezo otopljeno u vodi prevodi u kruti željezni hidroksid koji se uklanja filtracijom.

Dobivena pročišćena voda je vrlo dobre kvalitete. Koncentracije mangana i amonijaka uglavnom se smanjuju ispod razine detekcije, a koncentracija željeza se smanjuje  $< 0,08 \text{ mg/l}$ .

Posljednji korak je dezinfekcija vode plinovitim klorom. Cilj kloriranja je održavanje bakteriološke ispravnosti vode i sprječavanje infekcija. Potrebna količina ovisi o zahtjevima dezinfekcije. Za kloriranje pitke vode postojati minimum preostalog klora u koncentraciji od  $0,1 \text{ mg/l}$ . Kako bi dezinfekcija bila učinkovita, ima i reakcijsko vrijeme od najmanje 20 minuta.

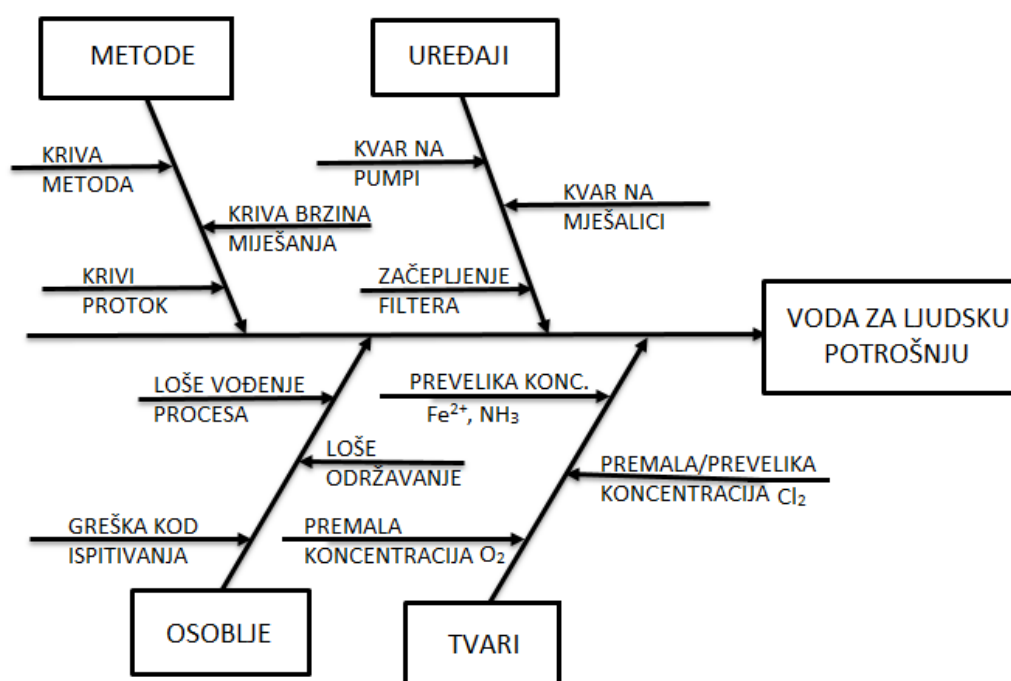
Nakon što voda prođe sve procese za pročišćavanje, te bude dezinficirana pusta se u distribuciju.



Slika 24. Dijagram uzročnih petlji količine pročišćene vode

Na slici 24. prikazan je dijagram uzročnih petlji za količinu pročišćene vode po jedinici vremena. Sa jedne strane imamo strelicu sa oznakom „+“ što nam pokazuje da u slučaju povećanja količine pročišćene vode, raste i dovod podzemne vode (raste uzrok, raste i posljedica). Sa druge strane imamo strelicu sa oznakom „-“ što nam pokazuje da se povećanje količine pročišćene vode u jedinici vremena mijenja u suprotnom smjeru od koncentracije onečišćenja.

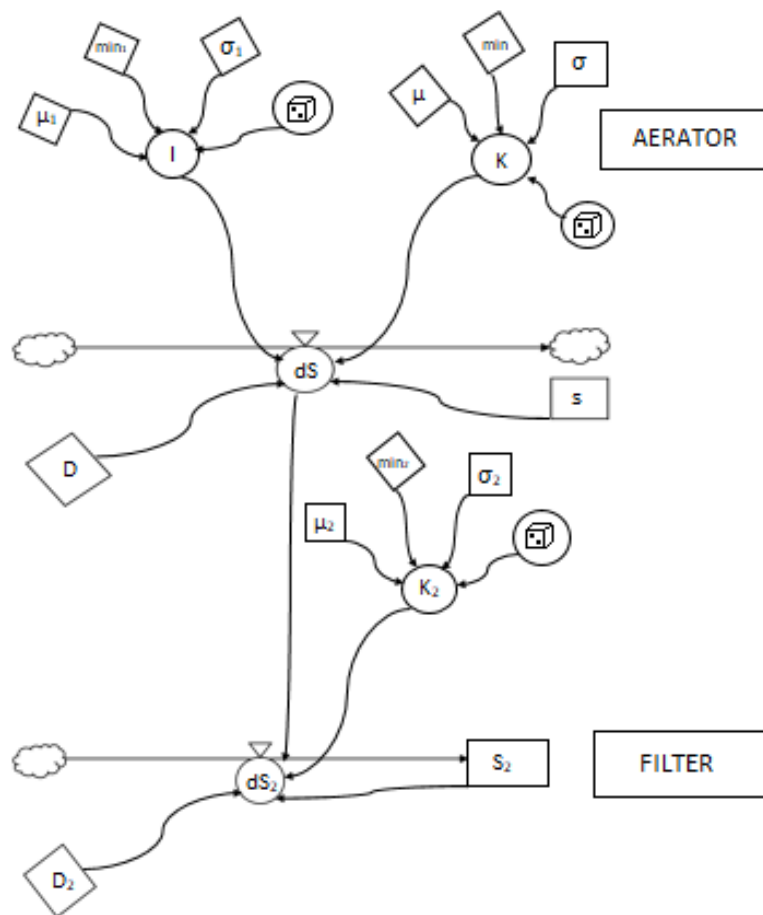
Polukružne strelice sa pozitivnim ili negativnim predznakom pokazuju pozitivnu, odnosno negativnu povratnu vezu. O tim vezama ovisi stalni rast/smanjenje veličine zadanih elemenata ili vraćanje sustava u ravnotežu.



Slika 25. Uzorak-posljedica dijagram vode za ljudsku potrošnju

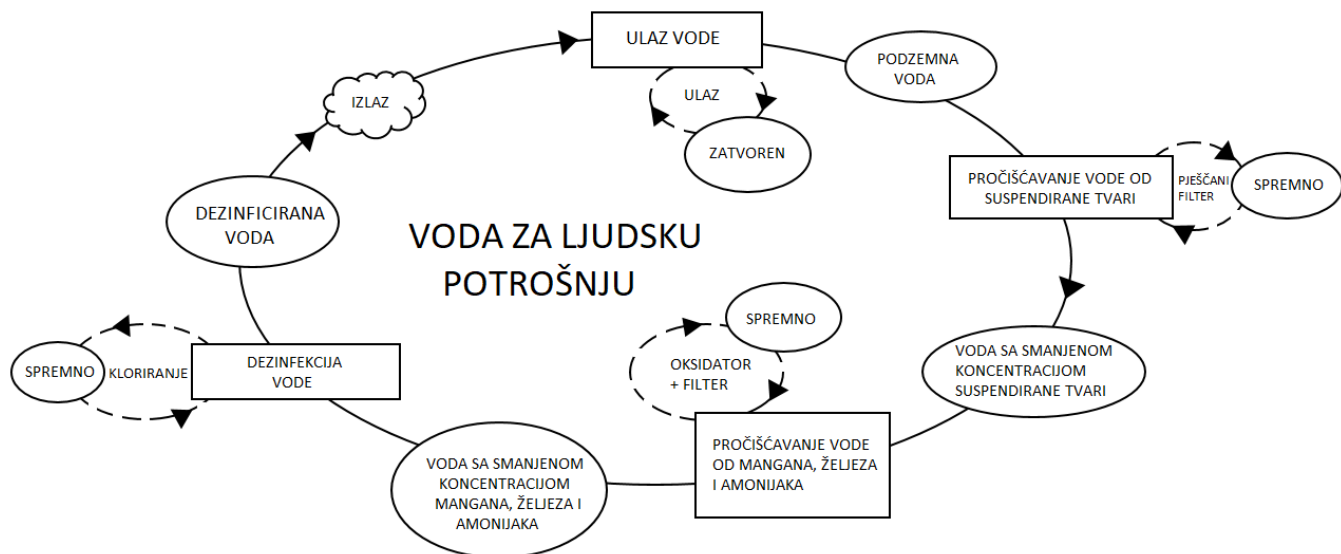
Na slici 25. prikazano je identificiranje uzoraka koji utječu na vodu za ljudsku potrošnju. Četiri glavna uzroka su metode, uređaji, osoblje i stvari. Poduzroci metode u ovom slučaju su krive metode, krivi protok i kriva brzina miješanja. Kod uređaja dolazi do kvara na pumpi, mješalici ili začepljenja filtera.

Kod osoblja može doći do greška kod ispitivanja, lošeg vođenja procesa ili lošeg održavanja. Kod stvari, poduzorci su premala koncentracija  $O_2$ , prevelika koncentracija  $Fe^{2+}$  i  $NH_3$  i premala/prevelika koncentracija  $Cl_2$ .



Slika 26. Primjer dijagrama toka sustava za pročišćavanje podzemne vode

U dijagramu toka, prikazanom na slici 26. prikazane su detaljne veze između razina, brzina i kašnjenja. Entiteti i događaji spajaju se u odjeljke. U odjeljcima dolazi do akumulacije materijala, a međusobno su povezani tokovima. Informacije između odjeljaka određeni su brzinom prijelaza. U prikazanom modelu rada, ulazna koncentracija u aerator (I), dobrota pročišćavanja u aeratoru (K) i filteru (K<sub>2</sub>) su varijable.



Slika 27. DCA sustava za pročišćavanje podzemne vode

Na slici 27. prikazan je dijagram ciklusa aktivnosti sustava za pročišćavanje podzemne vode. U ovom dijagramu opisan je životni ciklus objekta za pročišćavanje vode od ulaza podzemene vode, prerade do izlaza. Prikazana su aktivna i pasivna stanja resursa, entiteta, te njihova interakcija. Dijagram se sastoji od slijeda aktivnosti koje idu po redu. Nakon svakog izvođenja neke od akcija dolazi do promjene atributa entiteta te stanja sustava.

## 6. Zaključak

Svojim djelovanjem čovjek je doveo u pitanje vlastiti opstanak kao i svih ostalih živih bića na zemlji. To se najbolje vidi na primjeru vode.

S obzirom na nezaustavljiv trend porasta svjetske populacije, kao i potreba svjetskog stanovništva za vodom, predviđa se da će u ne tako dalekoj budućnosti jedan od gorih problema biti osiguravanje dostatnih količina pitke vode. Nestašica vode, koja već i danas se javlja u pojedinim krajevima svijeta, predstavlja ogroman problem.

Ta onečišćenja ugrožavaju biološku ravnotežu vodnih ekosustava. Površinske vode i sve veća potrošnja čiste podzemne vode ugrožavaju prirodne procese samopročišćavanja, odnosno kakvoću i opstanak izvora pitke vode. Zato je pročišćavanje otpadne vode nužnost koja daje poticaj istraživanju i razvoju novih tehnologija obrade.

Briga za uklanjanje otpadnih tvari i otpadne vode, te gradnja kanalizacijskih sustava i danas sporo napreduje. U Republici Hrvatskoj velik broj stanovnika nije priključen na kanalizacijski sustav, već probleme otpadnih voda rješavaju individualno.

Problem leži u neodgovarajućem ispuštanju otpadnih voda iz pojedinih naselja i industrija. Najučinkovitija zaštita površinskih i podzemnih voda te obalnog mora može se postići ako se otpadne vode pročiste prije ispusta i ako se dobro izvede kanalizacijski sustav (važno je osigurati nepropusnost).

Još uvijek nije prekasno za poduzimanje određenih mjera kako bismo sačuvali svjetske vodne zalihe od onečišćenja i zagađenja, te osigurali opstanak života na našem planetu. Velike odluke, nažalost ne donosimo sami, već svjetski vođe.

Možda izgleda da pojedinac ne može učiniti mnogo, no ukupan učinak bi mogao biti zamjetan. Prvi i najjednostavniji korak u nastojanju da učinimo nešto dobro za očuvanje vodnih zaliha je štednja i racionalno korištenje vode.

Ljudi vole predstavljati jednu stvar s drugom. Temelj konceptualnih modela je način predstavljanja određenog koncepta ili skupa koncepata koji pomažu ljudima razumijeti ili imulirati temu tog modela. Konceptualni modeli su često nacrtani kao dijagrami i pokazuju odnose između faktora i protok podataka ili procesa.

Pri korištenju konceptualnih modela za predstavljanje apstraktnih ideja, važno je razlikovati model koncepta u odnosu na konceptualni model. Model je u sebi stvar za sebe, ali taj model također sadrži koncept onoga što taj model predstavlja - kakav je model, za razliku od onoga što model predstavlja.

Prepoznavanje razlika između samog modela i onoga što predstavlja ključnu stvar za razumijevanje pravilne uporabe konceptualnih modela na prvom mjestu. Stoga su konceptualni modeli često korišteni kao apstraktni prikaz stvarnih svjetskih objekata.

Konceptualni model trebao bi poboljšati naše razumijevanje predmeta koji se modelira. Uostalom, veće razumijevanje je cilj znanosti.

U Varaždinu, \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_

## 7. Literatura

- [1] Zlatko Jurac, Otpadne vode, Karlovac : Veleučilište u Karlovcu, 2009.
- [2] <https://www.epa.gov/nps/what-nonpoint-source>
- [3] <http://www.ag-metal.net/otpadnevode.htm>
- [4] <http://water.worldbank.org/shw-resource-guide/infrastructure/menu-technical-options/wastewater-treatment>
- [5] <http://ekologija.ba/index.php?w=c&id=26>
- [6] [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-66322000000400005](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-66322000000400005)
- [7] <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=19949>
- [8] <http://www.sensorex.com/ph-neutralization/>
- [9] <http://www.sswm.info/content/coagulation-flocculation>
- [10] <https://www.rwlwater.com/biological-wastewater-treatment/>
- [11] <http://water.worldbank.org/shw-resource-guide/infrastructure/menu-technical-options/activated-sludge>
- [12] <http://www.watermaxim.co.uk/biological-filtration-secondary-treatment-system.php>
- [13] [http://www.gewater.com/handbook/ext\\_treatment/ch](http://www.gewater.com/handbook/ext_treatment/ch)
- [14] [https://en.wikipedia.org/wiki/Conceptual\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/Conceptual_model)
- [15] <http://www.1keydata.com/datawarehousing/data-modeling-levels.html>
- [16] <http://dhkang.org/activity-cycle-diagram/?ckattempt=1>
- [17] Vlatko Čerić, Simulacijsko modeliranje, Školska knjiga – Zagreb, 1. izdanje 1993.
- [18] doc. dr. sc. Lovorka Gotal Dmitrović, prof. dr. sc. Vesna Dušak, prof. dr.sc. Marin Milković, Sveučilište Sjever, Varaždin, travanj 2017.
- [19] [https://en.wikipedia.org/wiki/Ishikawa\\_diagram](https://en.wikipedia.org/wiki/Ishikawa_diagram)
- [20] [https://en.wikipedia.org/wiki/Causal\\_loop\\_diagram](https://en.wikipedia.org/wiki/Causal_loop_diagram)
- [21] [https://en.wikipedia.org/wiki/Petri\\_net](https://en.wikipedia.org/wiki/Petri_net)
- [22] Carl Adam Petri and Wolfgang Reisig (2008) Petri net. Scholarpedia
- [23] [https://en.wikipedia.org/wiki/Carl\\_Adam\\_Petri](https://en.wikipedia.org/wiki/Carl_Adam_Petri)
- [24] Winskel, G.; Nielsen, M. "Models for Concurrency" Handbook of Logic and the Foundations of Computer Science
- [25] [https://en.wikipedia.org/wiki/Flow\\_diagram](https://en.wikipedia.org/wiki/Flow_diagram)
- [26] Robert L. Harris. Information Graphics: A Comprehensive Illustrated Reference. 1999.
- [27] <http://www.informs-sim.org/wsc97papers/1127.PDF>
- [28] <https://repozitorij.mev.hr/islandora/object/mev%3A335/datastream/PDF/view>

[29] Modeliranje informacijskih sustava za zaštitu površinskih voda, doc.dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović, prof.dr.sc. Vesna Dušak, prof.dr.sc. Marin Milković, Sveučilište Sjever, Varaždin, travanj 2017.

[30] <http://www.moslavina-kutina.hr/DJELATNOSTI/Distribucijaiproizvodnjavode.aspx>

[31] <http://korak.com.hr/korak-046-lipanj-2014-dezinfekcija-pitke-vode/>



## 1. Popis slika

Slika 1. Izvori onečišćenja .....	4
Slika 2. Uređaj za sedimentaciju .....	7
Slika 3. Uređaj za gravitacijsku sedimentaciju .....	9
Slika 4. Uređaj s pokretnim zidom (sedimentacijska centrifuga) .....	9
Slika 5. Uređaj s nepokretnim zidom (hidrociklon) .....	10
Slika 6. Načini filtracije .....	10
Slika 7. Postupak flotacije.....	12
Slika 8. Postupak aeracije .....	13
Slika 9. Postupak neutralizacije.....	16
Slika 10. Uređaj za doziranje sredstva za flokulaciju za manja postrojenja .....	17
Slika 11. Postupak oksidacije.....	18
Slika 12. Bazeni za biološku obradu otpadne vode metodom aktivnog mulja .....	20
Slika 13. Uređaj za biološku filtraciju .....	22
Slika 14. Simboli uzrok–posljedica dijagrama .....	32
Slika 15. Primjer uzrok–posljedica dijagrama .....	33
Slika 16. Simboli dijagrama ciklusa aktivnosti .....	36
Slika 17. Primjer DCA .....	36
Slika 18. Simboli dijagrama uzročnih petlji .....	38
Slika 19. Primjer dijagrama uzročnih petlji .....	39
Slika 20. Simboli petrijeve mreže .....	41
Slika 21. Primjer razdvajanja, spajanja i sinkronizacije .....	41
Slika 22. Simboli dijagrama toka .....	43
Slika 23. Primjer sustava za pročišćavanje vode kao dijagram toka .....	44
Slika 24. Dijagram uzročnih petlji količine pročišćene vode .....	46
Slika 25. Uzorak-posljedica dijagram vode za ljudsku potrošnju .....	47
Slika 26. Primjer dijagrama toka sustava za pročišćavanje podzemne vode .....	48
Slika 27. DCA sustava za pročišćavanje podzemne vode .....	49

## 1. Popis tablica

Tablica 1. Značajke modela podataka.....	28
--	----