

# Integracija sustava vode

## SAŽETAK

U nekim granama industrije godišnja davanja za vodu veća su od davanja za toplinsku i električnu energiju zajedno, kako zbog stalnog porasta cijene svježe vode, tako i zbog troškova obrade otpadnih voda. Ovi zabrinjavajući trendovi potiču na racionalno gospodarenje vodom.

Gospodarenje vodom prerasta u svojevrsni pokret pod motom "svježe vode - nula". Cilj je vodu koja jednom uđe u sustav stalno vraćati, uz odgovarajuću obradu, tako da se uzimanje svježe vode svede na minimum. Svesti potrošnju svježe vode na nulu u pravilu je nemoguće, ali se pronalaze razna rješenja za smanjenje potrošnje vode, smanjenje onečišćenja, a time i troškova poslovanja. Integracijom sustava vode može se minimizirati potrošnja svježe vode i nastanak otpadnih voda. U radu će se dati kratak pregled tehnika i vještina za minimizaciju potrošnje vode u industriji, kao i osvrt na pitanje koliko je naša industrija spremna za provođenje IPPC direktiva i BAT tehnika, kada su u pitanju vode na procesima.

Ključne riječi: integracija procesa, minimizacija vode, ponovna uporaba vode

Dr. sc. Ljubica Matijašević, izv. prof.; Igor Dejanović, dipl. ing.  
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

## 1. UVOD

Voda je jedinstven i nezamjenjiv prirodni resurs ograničenih količina. Kako su svi oblici života i sve ljudske aktivnosti više ili manje vezane uz vodu, iz toga jasno pro-

izlazi važnost odnosa prema vodi. To se odražava i na cijenu vode koja je iz godine u godinu sve veća.

Kada su industrijske vode u pitanju, moguća su dva osnovna pravca djelovanja:

- smanjenje količine upotrije-

bljene vode u tehnološkom procesu (ponovnim iskorištavanjem, smanjenjem gubitaka u mreži i sl.)

- smanjenje troškova crpljenja i raspodjele vode raznim tehničkim rješenjima (regulacijom dobave, sniženjem tlaka u mreži, automati-

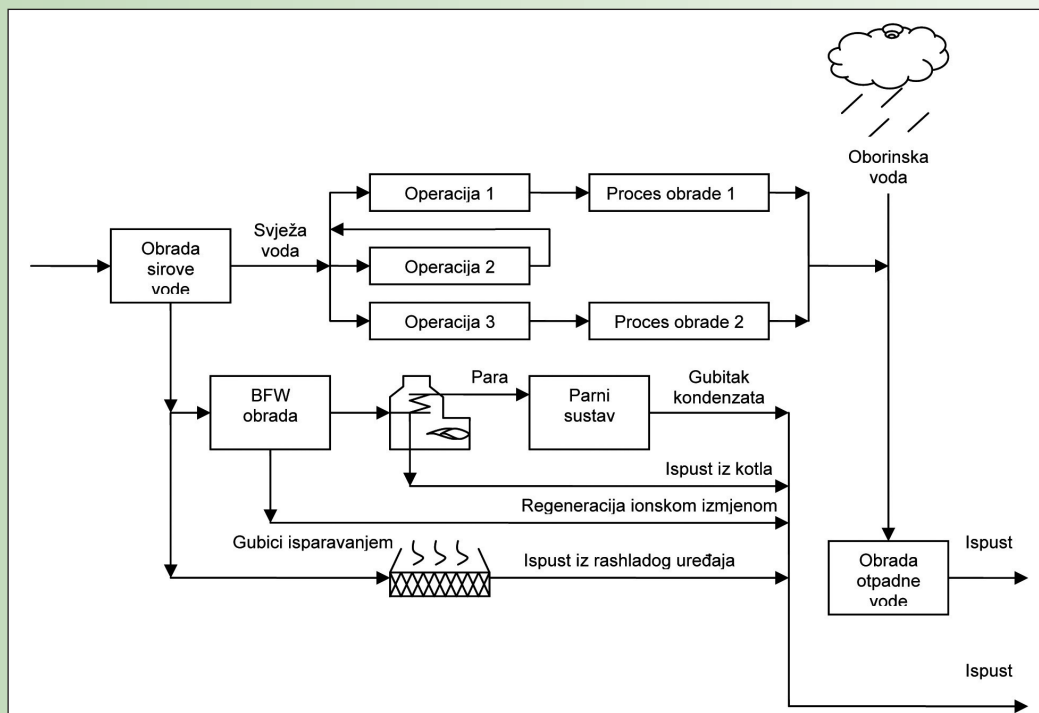
zacijom rada i nadzora raspodjele vode, zamjenom pitke vode tehnološkom i sl.)

S obzirom da se voda na procesima koristi i kao sirovina i kao energent, te se pri tome onečišćuje, jasno je da utječe na djelotvoran rad procesa.

### 1.1 Tokovi vode na procesima

Tradicionalno, svježa voda se koristi u procesima, a otpadna voda nastala tijekom procesa obrađuje se u centralnom uređaju za obradu otpadnih voda. Danas se teži upravljanju vodom u industriji kroz pravilan raspored operacija koje koriste vodu/otpadnu vodu između procesa, s ciljem ponovnog korištenja vode, te kroz raspodijeljeni sustav obrade efluenta (slika 1) [1].

Radi ponovne upotrebe vode između operacije 2 i 1, na izlazu iz operacije 1 provodi se odijeljena obrada efluenta, kao i na izlazu operacije 3. Značajka ovakvog raspodijeljenog sustava je da se veći efluenta ne mora obrađivati prije ispusta, jer zbog predobrade



■ Slika 1. Sustav tokova vode s raspodijeljenim (odijeljenim) sustavom obrade efluenta



# e u industrijskim procesima

izlaza iz operacija 1 i 3 više nije potrebno razrjeđivanje prije završne obrade efluenta i ispuštanja. Znači, tokovi koji sadrže niske razine onečišćenja ne moraju se dodatno obrađivati.

Troškovi obrade otpadnih voda su proporcionalni ukupnoj količini otpadnih voda, a pogonski troškovi se povećavaju sa zahtjevom za smanjenje koncentracije onečišćenja u obrađenoj vodi. Prema tome, ako dva toka zahtijevaju različite procese obrade, nema ih smisla pomiješati i obrađivati. Ideja raspodijeljenih sustava je da se efluenti obrađuju prije miješanja. Obrada se usmjerava na pojedina onečišćenja ili mali broj onečišćenja dok su koncentracije onečišćenja visoke, tj. dok još nisu razrijeđena miješanjem različitih tokova. Izbjegavanjem miješanja tokova povećava se mogućnost regeneracije, smanjuje se nastali otpad i troškovi sirovina, a najveća korist je u tome što se smanjuje volumen efluenta koji ide na konačnu obradu, a time i ukupni troškovi obrade.

Općenito, postoje četiri pristupa smanjenju potrošnje vode [2,3]:

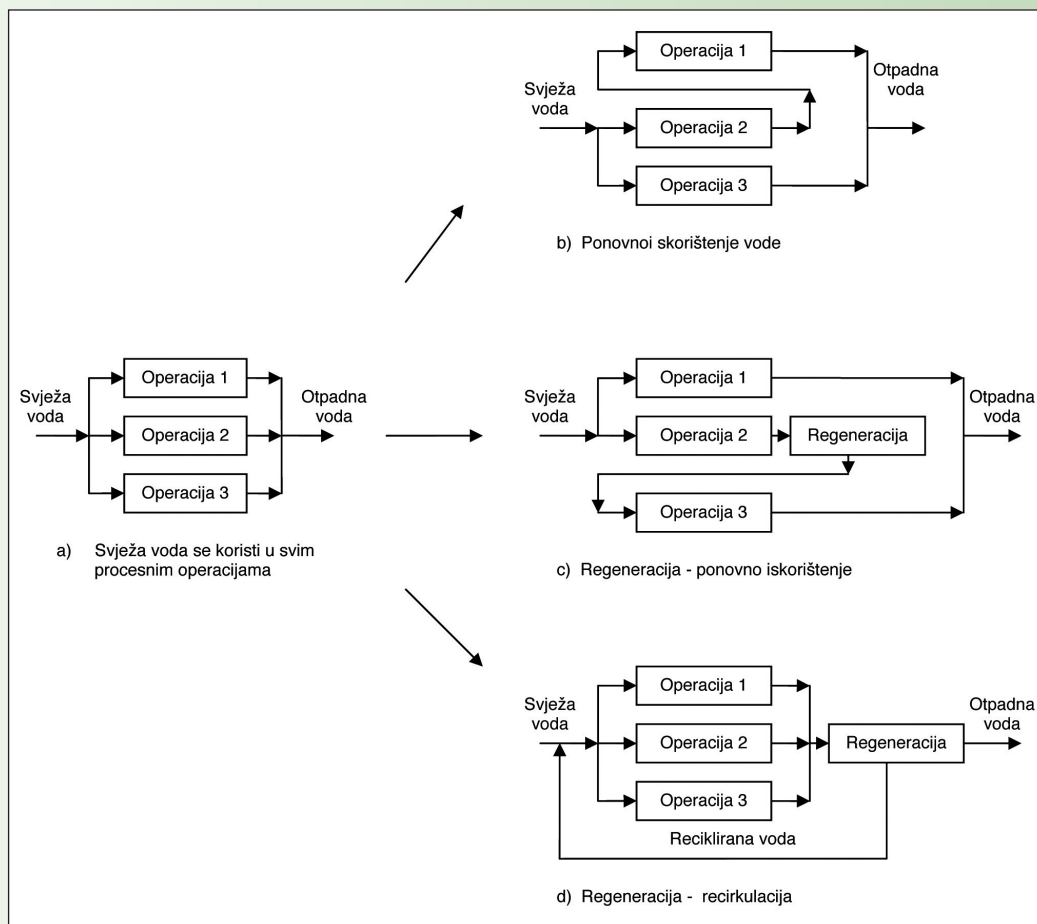
**1. Izmjene u procesu** (npr. povećanje jedinica prijenosa u procesima ekstrakcije s vodom, prelazak s vodenih rashladnih uređaja na zračne rashladne uređaje, povećanje povrata kondenzata iz parnih postrojenja, itd.)

**2. Ponovno iskorištenje** - otpadna voda se koristi izravno za druge operacije, ako postojeće onečišćenje ne smeta sljedećem procesu

**3. Regeneracija** - ponovno iskorištenje - otpadna voda se pročišćava i ponovno koristi u drugoj operaciji ili procesu. Regenerativni procesi mogu biti: filtracija, sedimentacija, stripiranje, adsorpcija, centrifugiranje, itd.

**4. Regeneracija - recirkulacija** - onečišćenja iz otpadne vode se djelomično uklanjaju, nakon čega se otpadna voda vraća u isti proces.

Na slici 2a prikazane su tri pro-



■ Slika 2. Rješenja za smanjenje potrošnje vode na procesima

cesne operacije, od kojih svaka zahtijeva svježu vodu i stvara otpadnu. Slike 4b, 4c i 4d prikazuju moguća rješenja za smanjenje otpadnih voda i ujedno smanjenje potrošnje svježe vode.

Slika 2b prikazuje raspored operacija u kojem se voda iz operacije 2 ponovno koristi u operaciji 1. Time se smanjuje volumen svježe vode i volumen otpadne vode jer se ista voda upotrebljava dva puta. Da bi se izveo ovakav raspored operacija, razina onečišćenja na izlazu iz operacije 2 mora biti prihvatljiva ulazu u operaciju 1. Sve operacije ne zahtijevaju najveću kvalitetu vode. Postoji puno primjera u kojima je voda s određenom razinom onečišćenja prihvatljiva za upotrebu umjesto vode više kvalitete; npr., desalinizacija sirove nafte ne zahtijeva kvalitetu vode kao destilaci-

ja. Sljedeći primjer je proces višekratnog pranja u kojem se voda niže kvalitete može upotrebljavati u početnim stupnjevima, a voda više kvalitete u završnim stupnjevima.

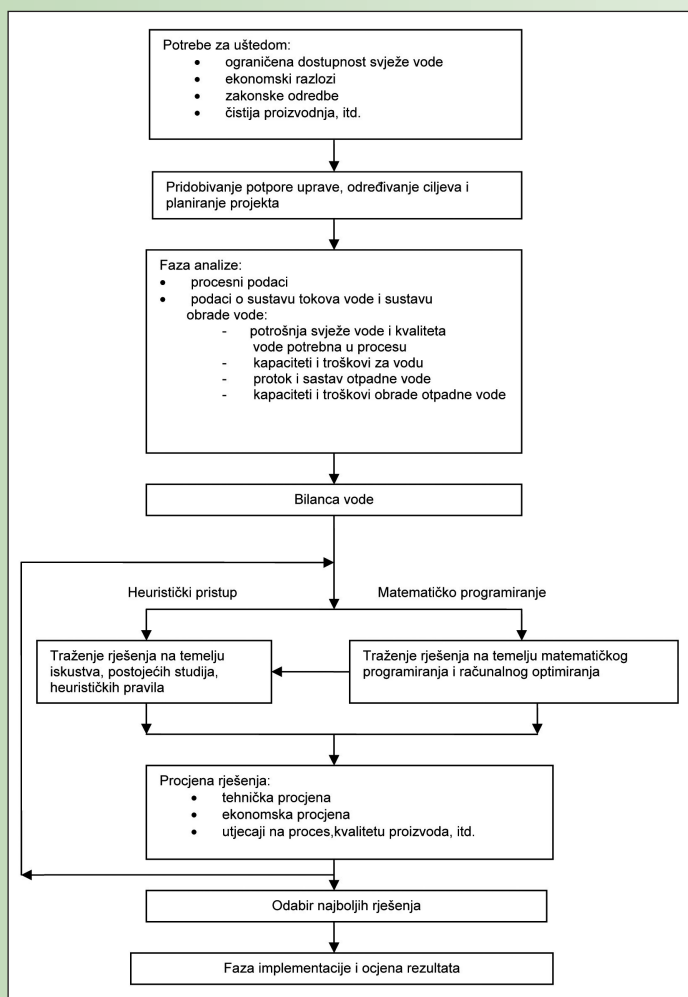
Slike 2c i 2d prikazuju raspored operacija koje uključuju regeneraciju. Regeneracija je postupak kojim se označava svaki proces obrade koji obnavlja kvalitetu vode do te mjere da se može dalje koristiti.

Slika 2c prikazuje regeneraciju - ponovno iskorištenje. Izlazna voda iz operacije 2 je previše onečišćena da bi se izravno upotrijebila u operaciji 3. Regeneracija vode između ove dvije operacije omogućuje njenu ponovnu uporabu, što ima za posljedicu smanjenje potrebne količine svježe vode, a samim time i količine nastale otpadne vode. Ujedno uklanja i dio opterećenja efluenta, koji bi inače morao biti uklonjen u

završnoj obradi prije odlaganja.

Slika 2d prikazuje treći postupak, u kojem se regeneracija koristi na izlazu vode iz svih operacija, a regenerirana voda se vraća u proces. Razlika je u tome da u sustavu regeneracija - ponovno iskorištenje voda prolazi kroz svaku jediničnu operaciju jedanput, dok prilikom recikliranja voda kroz istu jediničnu operaciju prolazi više puta. Ovakav pristup smanjuje količinu svježe vode, količinu otpadne vode i opterećenje efluenta.

Regeneracija - ponovno iskorištenje i regeneracija - recikliranje su slični procesi s obzirom na njihove ishode. Omogućuju veće uštede vode i smanjuju količinu otpadne vode. Problemi koji se javljaju kod ovih procesa su visoki troškovi regeneracije i akumulacija neželjenih onečišćenja prilikom reciklira-



■ Slika 3. Sustavski pristup za smanjenje potrošnje vode u procesnoj industriji

nja. Ako se ova onečišćenja ne uklanjaju, može doći do velikih problema u procesu.

## 1.2 Pregled metoda za smanjenje potrošnje vode

Sustavski pristup za smanjenje potrošnje vode u procesnoj industriji prikazan je na slici 3.

Prema literaturi, problemi upravljanja vodom u industriji promatraju se kao problemi prijenosa tvari između jedinичnih operacija u procesu.

Općenito, problemi minimizacije potrošnje vode u procesima mogu se podijeliti na one kod kojih je u vodi prisutna samo jedna vrsta onečišćenja i na one kod kojih postoji više različitih vrsta onečišćenja.

Grafičke metode se temelje na znatno pojednostavljenim pretpostavkama i nisu pogodne za analizu sustava u kojima je prisutno više onečišćenja, ali su vrlo važne u praksi, jer omogućuju procesnim inženjerima uključivanje veličina koje matematičko programiranje ne uzima u obzir [4]. U nekim slučajevima moguće je da se više različitih vrsta onečišćenja grupira u pseudo pojedinačna (npr. ukupne organske tvari, ukupne suspendirane čestice, ukupne otopljene soli i sl.), što omogućuje primjenu tih metoda i za takve složene slučajeve.

Metode temeljene na matematičkom programiranju pružaju globalna, optimalna i suboptimalna rješenja, pri čemu se heuristički pristup koristi za stvaranje dobrih modela procesa koji se dalje koriste pri programiranju. Pri analizi složenih sustava neophodno je korištenje ovog pristupa koji se temelji na optimiranju superstrukture [2]. Superstruktura predstavlja model procesa u kojemu su ugrađene sve moguće operacije i sva moguća međudjelovanja između njih. Svaka operacija koja koristi vodu opisana je

matematičkim modelom. Odabir funkcije cilja ovisi o modelu i ograničenjima modela. Ograničenja se mogu odnositi na bilance tvari i energije, termodinamičke uvjete, zahtjeve zaštite okoliša, tehničke zahtjeve i sl. Konačni rezultat optimiranja su optimalni parametri pojedinih operacija, kao i optimalna struktura mreže izmjene tvari. Rješenja dobivena optimiranjem mogu se koristiti i za kreiranje kompozitnih krivulja u grafičkim metodama.

### 1.2.1 Water pinch postupak

Water pinch postupak je sustavska metoda za analizu mreže tokova vode i smanjenje troškova vode u procesima. Metoda koristi napredne algoritme za utvrđivanje i optimiranje mogućih načina ponovnog iskorištenja vode, regeneracije, te obrade otpadnih vodenih tokova. Osnovni pristup je analogan iskorištenju topline u slučaju izvedbe mreže izmjenjivača topline. Ova metoda omogućuje inženjerima u preliminarnoj fazi izrade projekta analizu procesa koji koriste vodu, a isto tako omogućuje naknadno smanjenje potrošnje svježe vode i smanjenje stvaranja otpadne vode.

Ciljevi mogu biti sljedeći:

- minimalna količina svježe vode
- minimalno stvaranje otpadne vode

Na temelju zadanih ciljeva dobivaju se smjernice za sustavsku sintezu mreže tokova vode u procesu i sustava obrade efluenta koji će zadovoljavati ciljeve, a isto tako dobivaju se smjernice za modifikaciju postojećih sustava.

Svaka operacija koja koristi vodu opisuje se prijenosom tvari - određenog onečišćenja, iz procesnog toka u tok vode. Voda dolazi u kontakt s procesnim materijalom i pri tome se onečišćuje. Ako se protok vode u procesu smanji nekim izmjenama u procesu, tada se, kako bi se ostvario isti prijenos tvari, koncentracija onečišćenja u vodi na izlazu povećava. Smanjivanje protoka je ograničeno minimalnim protokom koji zahtijeva operacija ili maksimalno dozvoljenom koncentracijom onečišćenja u vodi na izlazu iz operacije.

Maksimalna koncentracija onečišćenja vode na izlazu iz operacije može se odrediti s obzirom na maksimalnu topljivost, korozivna ograničenja, minimalnu razliku koncentracija za prijenos tvari, minimalni protok vode kroz operaciju i maksimalnu ulaznu koncentraciju koju zahtijeva sljedeća operacija u nizu.

Ako sve operacije koriste svježu vodu, smanjenjem protoka na minimalnu vrijednost dolazi do uštede svježe vode. Međutim, operacija ne mora nužno koristiti svježu vodu, jer ako u procesu postoji još operacija čije izlazne koncentracije onečišćenja u vodi zadovoljavaju ulaznu koncentraciju za danu operaciju, tada se otvara mogućnost ponovnog iskorištenja vode. Dakle, ulazna koncentracija onečišćenja u vodi za određenu operaciju ne mora nužno biti 0 ppm, a da koncentracija na izlazu ne prijeđe svoju maksimalnu vrijednost.

Takav način postavljanja operacije, gdje su obje koncentracije na svojim maksimalnim vrijednostima, može se iskoristiti za određivanje ograničenja za danu operaciju [1].

Ograničavajući profil se koristi za definiranje granica između dozvoljenih i nedozvoljenih koncentracija. Koncentracije su dozvoljene sve dok se nalaze ispod ograničavajućeg profila vode (slika 4).

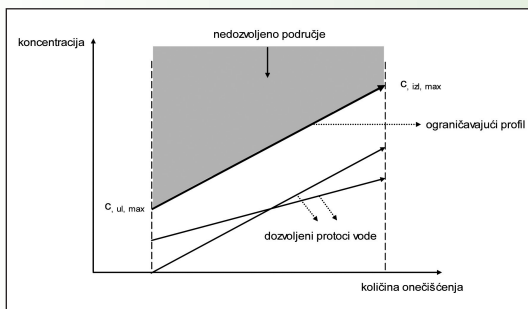
Iz ograničavajućih profila pojedinih operacija dobiva se granični protok, a to je maksimalni mogući protok vode kroz pojedinu operaciju, izračunat s obzirom na maksimalnu ulaznu i minimalnu izlaznu koncentraciju onečišćenja u vodi za pojedinu operaciju.

Na navedenim principima razvijene su dvije grafičke metode.

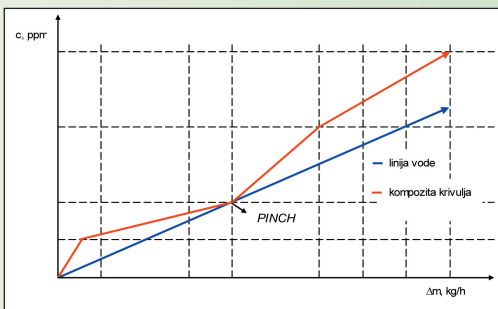
WSD [5] (Water Sources Diagram) metoda koristi ograničavajuće profile pojedinih operacija koje koriste vodu za dobivanje koncentracijskih intervala pomoću kojih se razvija mreža tokova vode, a na kraju se iz ukupnih protoka u svakom koncentracijskom intervalu određuje mjesto pinch točke.

Metoda Wanga i Smitha [6] koristi ograničavajuće profile pojedinih operacija za konstruiranje kompozitne krivulje pomoću koje se od-





■ Slika 4. Prikaz profila tokova vode



■ Slika 5. Kompozitna krivulja i linija vode s pinch točkom

mah dobije pinch točka te se nakon toga pristupa sintezi mreže tokova vode.

Pinch točka predstavlja minimalni protok vode za dio procesa do pincha te uzima u obzir maksimalno iskorištenje vode unutar procesa. Isti postupak traženja minimalnog protoka se ponavlja i za dio procesa od pincha.

Koncentracijski intervali i kompozitna krivulja su jedinstveni za određeni proces.

## 2. METODIKA

Analiza procesa kod grafičkih metoda sastoji se u sljedećem:

- Prikupljanje podataka o tokovima vode

Razvija se jednostavna shema, mreža, sustava tokova vode u kojoj se može vidjeti količina upotrijebljene vode kao i mjesta na kojima nastaje otpadna voda.

- Prikupljanje podataka o onečišćenjima.

Određuju se ključna onečišćenja, te se izražavaju kao otopljene soli, suspendirane čestice ili neke druge veličine. Ključna onečišćenja mogu biti sva ona koja svojim svojstvima sprečavaju direktno korištenje otpadnih struja.

- Utvrđivanje *pinch* područja odabranim metodama

Definira se mjesto na kojem se dvije struje međusobno najviše približavaju, te se uočavaju optimalne

moćnosti ponovnog iskorištenja ili regeneracije vode u procesu.

### 2.1 WSD (Water Sources Diagram) metoda

WSD je postupak koji se temelji na izračunima bez korištenja složenih programa. Cilj postupka je istovremeno razvijanje mreže tokova vode i pronalaženje *pinch* točke.

Cijeli postupak razvija se u četiri koraka i slijedi određena pravila.

a) Podjela sustava na koncentracijske intervale

Voda s određenim koncentracijama onečišćenja smatra se unutarnjim izvorom vode. Svježa voda koja nije onečišćena je vanjski izvor vode (primarni izvor vode).

Koncentracijski intervali slažu se s obzirom na koncentracije onečišćenja vanjskih i unutarnjih izvora vode, od najmanje prema najvećoj.

b) Smještanje operacija u koncentracijske intervale s obzirom na koncentracije onečišćenja

Svaka operacija prikazana je strelicom koja započinje i završava na koncentracijama onečišćenja.

c) Izračunavanje  $\Delta m$  (kg/h), količine onečišćenja u vodi za svaki koncentracijski interval

Količina onečišćenja izračunava se pomoću izraza 1:

$$\Delta m_{k,j} = f_{k,j} (c_{kon.,j} - c_{poč.,j})$$

d) Razvijanje mreže tokova vode  
Tri pravila se moraju zadovoljiti

kako bi se dobio optimalan raspored izvora vode, s minimalnom potrošnjom primarnog izvora vode za svaku operaciju i za svaki koncentracijski interval:

1. koristiti vanjski izvor vode samo u slučaju kada unutarnji izvor vode nije dostupan

2. pokušati ukloniti zadanu količinu onečišćenja unutar koncentracijskog intervala za tu operaciju

3. operacije koje su prisutne u više koncentracijskih intervala ne mogu se dijeliti, znači da se voda iz tih operacija može koristiti tek kada operacija završi

Za svaki koncentracijski interval potrebno je prepoznati sve moguće izvore vode. Broj vanjskih izvora vode ( $N_{viz.,j}$ ) za svaki interval  $j$  jednak je broju vanjskih izvora vode u procesu. Protok vanjskog izvora vode za operaciju  $k$  i interval  $j$  označen je kao  $f_{viv.,k,j}$ . Broj unutarnjih izvora vode ( $N_{uiz.,j}$ ) za interval  $j$  ovisi o broju operacija koje odvijaju u intervalu  $j - 1$ . Protok unutarnjeg izvora vode za operaciju  $k$  i interval  $j$  označen je kao  $f_{uiv.,k,j}$ .

Protoci koji će osiguravati uklanjanje zadane količine onečišćenja u koncentracijskim intervalima računaju se prema izrazu 2:

$$f_{viv./uiv.,k,j} = \Delta m_{k,j} / (c_{kon.,j} - c_{poč.,j})$$

*Pinch* točka se određuje zbrajanjem ukupnih protoka kroz operaci-

je za svaki koncentracijski interval. Vrijednosti protoka očitavaju se sa cjelovitog WSD-a. Mjesto na kojem ukupni protok mijenja vrijednost je *pinch* točka. Minimalni protok svježe vode može se izračunati iz *pinch* točke i prema izrazu 3:

$$f_{sv} = \sum_{k=1}^{N_{op}} \sum_{j=1}^{N_{int}} f_{sv,k,j}$$

### 2.2 Metoda Wanga i Smitha

Kako bi se pronašla minimalna količina svježe vode u procesu, konstruira se dijagram, koncentracija - količina onečišćenja pomoću ograničavajućih profila za svaku operaciju. Kombinacijom ograničavajućih profila za svaku operaciju crta se kompozitna krivulja s obzirom na koncentracijske intervale. Za svaki koncentracijski interval zbrajaju se količine onečišćenja pojedinih operacija prisutnih u tom koncentracijskom intervalu. Kompozitna krivulja uzima u obzir maksimalno iskorištenje vode unutar procesa. Kompozitnoj krivulji pridružuje se linija vode. Linija vode povlači se tako da siječe kompozitnu krivulju u jednoj točki te da ima što strmiji nagib. Točka u kojoj se dodiruju ove dvije krivulje naziva se *pinch* točka, a nagib pravca predstavlja ciljano minimalno potrebnu količinu svježe vode, odnosno, što je nagib veći, protok svježe vode biti će manji (slika 5).

Ciljana minimalno potrebna količina svježe vode računa se za količinu onečišćenja do *pinch* točke, te za koncentraciju u *pinch* točki (prema izrazu 4):

$$f_{cijl} = \Delta m_{pinch} / \Delta c_{pinch}$$

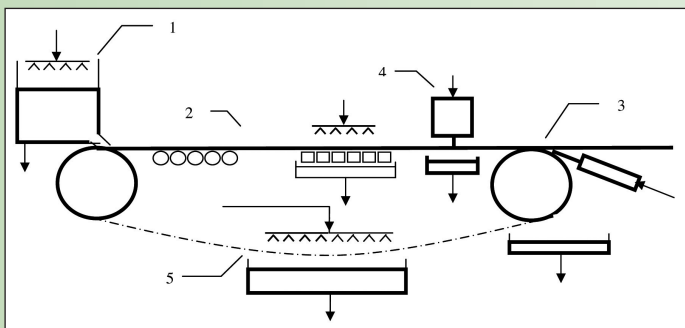
Dakle, *pinch* točka dijeli kompozitnu krivulju na dva područja: područje ispod *pincha* i područje

■ Tablica 1. Ograničavajući podaci pojedinih operacija

Operacija	Onečišćenje	$c_{ul,max.}$ / ppm	$c_{izl,max.}$ / ppm	$\Delta m$ / (kg / h)	$f_{lim}$ (t / h)
1	TSS	0	200	7000	35,0
2	TSS	100	500	22400	56,0
3	TSS	200	650	62550	139,0
4	TSS	0	200	2000	10,0
5	TSS	50	300	8750	35,0
6	TSS	50	200	1050	7,0
7	TSS	50	300	13200	52,8

■ Tablica 2. Potrebni podaci za analizu sustava

	Protok, $th^{-1}$	$C_{in}$ , ppm	$C_{out}$ , ppm	$\Delta m$ , $kg h^{-1}$
Parni striper	6	0	391	2,35
VT sekcija HDS	5,5	350	16 300	87,73
Odsoljivač	14	20	43	0,32



■ Slika 6. Pojednostavljena shema dijela papirnog stroja za formiranje papirne trake

iznad *pincha*. Za područje iznad *pincha* ponavlja se postupak crtanja linije vode koja će tada predstavljati minimalnu ciljanu količinu vode za taj dio procesa. Ta voda ima manji protok od vode u području ispod *pincha* te ima početnu koncentraciju *pincha*.

Na temelju ostvarenog ciljanog minimalnog protoka vode ispod i iznad *pinch* točke dobiva se smjernica za razvijanje mreže tokova vode. Za razvijanje mreže korišten je programski sustav Water Design [7,8].

U Water Design upisuju se podaci za proces na temelju kojih

program konstruira kompozitnu krivulju i pronalazi *pinch* točku. Iz dobivenih rezultata program razvija preliminarnu mrežu tokova vode i njenim optimiranjem daje konačno rješenje.

### 3. REZULTATI

Rezultati su prikazani na dva radna primjera.

#### 3.1 Radni primjer 1. Smanjenje potrošnje vode u tvornici papira [9].

Industrija poluceluloze i papira jedan je od najvećih potrošača vode

u industriji. U procesu proizvodnje sirovina se višekratno pere, pročišćava i transportira do papirnog stroja u obliku papirne mase koja sadrži 99% vode i 1% vlakana koja će formirati papirnu traku.

Papirni stroj se sastoji od tri dijela: dijela za formiranje, dijela za prešanje i dijela za sušenje papirne trake (slika 6):

- 1 - natok papirne mase
- 2 - sustav valjaka koji izravnava površinu papirne trake, odvodnjavaju papirnu traku i prenose na sustav preša
- 3 - odvajač rubova papirne trake
- 4 - rezač rubova papirne trake
- 5 - beskonačno sito

Upravo ovaj dio papirnog stroja troši najveće količine vode i za taj dio je napravljena analiza. Voda koja se ovdje koristi može se podijeliti u tri kategorije:

1. voda za razrjeđivanje i čišćenje papirne mase prije natoka na papirni stroj
  2. voda za čišćenje i pranje dijelova stroja
  3. voda za brtvljenje i hlađenje
- Ključna veličina za analizu i izra-

du mreže tokova vode je ukupna količina suspendiranih čestica u tokovima vode. Proces se sastoji se od sedam jediničnih operacija koje koriste vodu:

- Operacija 1 - čišćenje papirne mase prije natoka na papirni stroj
- Operacija 2 - pranje papirne mase
- Operacija 3 - odvajanje rubova papirne trake pomoću visokotlačnih mlaznica
- Operacija 4 - rezanje rubova papirne trake pomoću visokotlačnih mlaznica
- Operacija 5 - pranje beskonačnog sita
- Operacija 6 - rashladna voda
- Operacija 7 - voda za brtvljenje

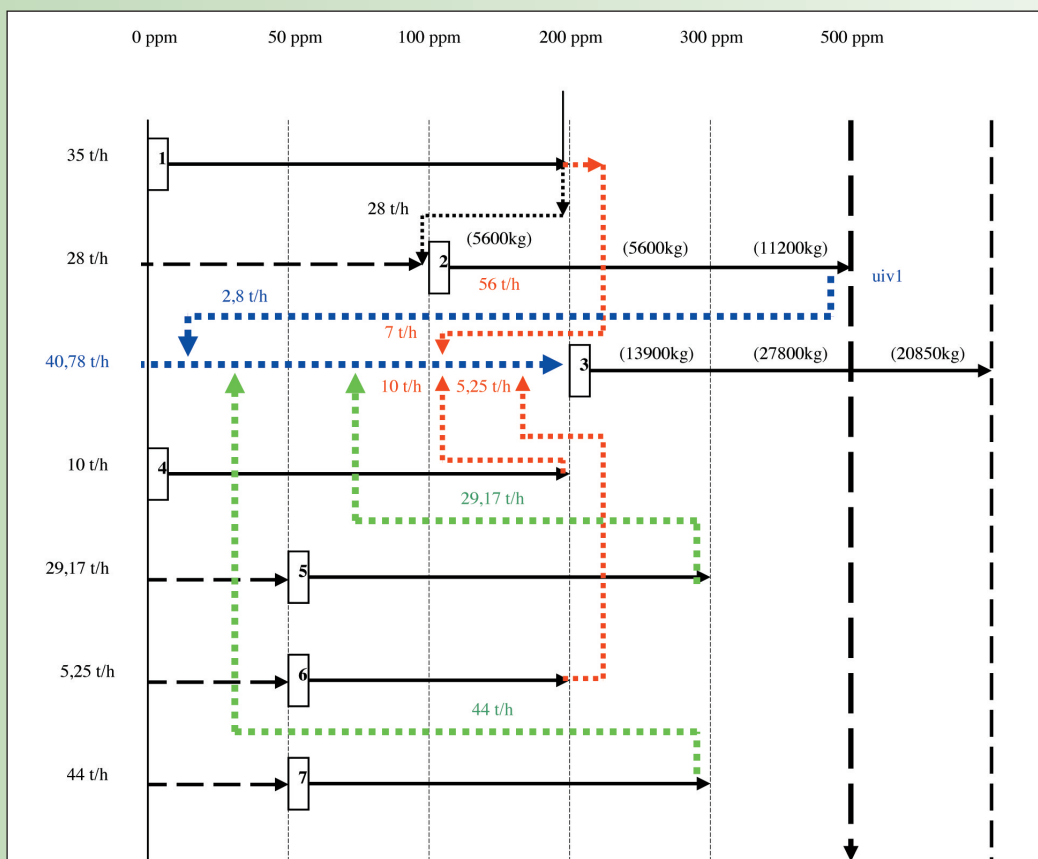
Prije smanjenja potrošnje vode proces koristi 264,45 t/h svježe vode. Voda se kroz operacije onečišćuje ukupnim suspendiranim česticama (*Total suspended solids - TSS*). Prilikom razvijanja postupaka, WSD metoda i metoda Wanga i Smitha, uzimati će se u obzir ponovno iskorištenje vode i prisutnost jednog onečišćenja. U Tablici 1 dani su podaci radnog primjera [9]. Proces se sastoji od jednog vanjskog izvora vode, koncentracije onečišćenja,  $c_{(viv)} = 0$  ppm, te od više unutarnjih izvora vode koncentracije onečišćenja,  $c_{(uiv)} = 50, 100, 200, 300, 500, 650$  ppm.

Koncentracijski intervali slažu se s obzirom na koncentracije onečišćenja vanjskih i unutarnjih izvora vode. Nakon izračuna količine onečišćenja u vodi u svakom koncentracijskom intervalu prema jednačbi 1 i razvoja mreže, dobiven je konačni WSD dijagram tokova vode (slika 7).

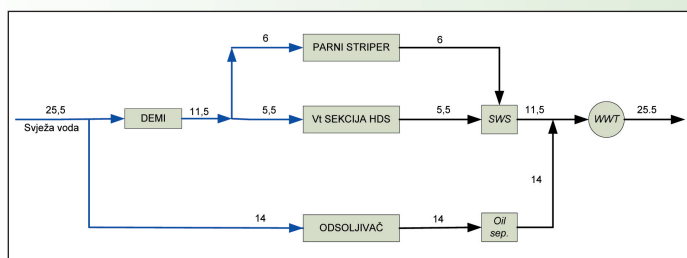
Isto rješenje se dobije metodom Wanga i Smitha. Količina svježe vode smanjena je s 264,5 t/h na 192,2 t/h, tj. ušteda je 72,35 t/h, što godišnje iznosi 578 400 m<sup>3</sup> vode.

#### 3.2 Radni primjer 2. Smanjenje potrošnje procesne vode u rafineriji nafte

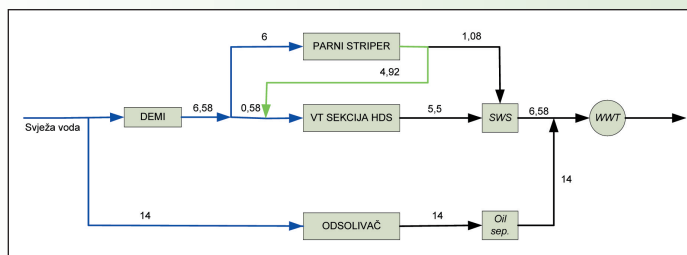
Analizom su obuhvaćena tri podsistema koja koriste procesnu vodu i sadrže gotovo sve procese



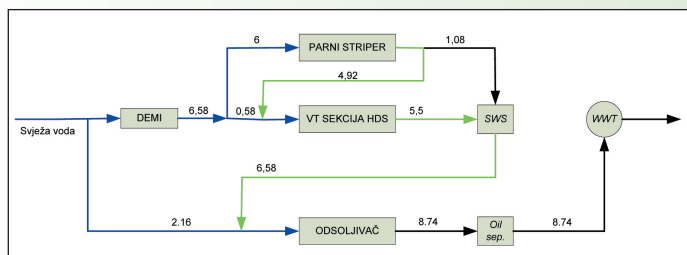
■ Slika 7. Cjeloviti WSD za zadani primjer s pinch točkom



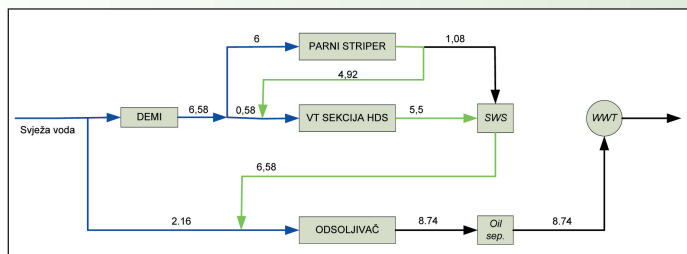
■ Slika 8. Postojeće stanje tri podsistema koja zagađuju vodu



■ Slika 9. Smanjivanje potrošnje vode ponovnom upotrebom ( $th^{-1}$ )



■ Slika 10. Smanjivanje potrošnje vode ponovnom upotrebom i regeneracijom ( $th^{-1}$ )



■ Slika 11. Smanjivanje potrošnje vode ponovnom upotrebom, regeneracijom i recirkulacijom ( $th^{-1}$ )

u rafineriji. Prvi podsistem, parni stripier, sastoji se od različitih procesa u kojima se koristi para. Taj podsistem koristi vodu točno određene čistoće i ispušta zaujenu otpadnu vodu s manjim onečišćenjima. Drugi podsistem sadrži procese odsumporavanja vodikom u kojima se koristi injektirana voda u visokotlačnoj sekciji. Ovaj podsistem zahtijeva blago onečišćenu vodu i ispušta zaujenu otpadnu vodu s većim količinama sumporovodika. Treći podsistem je odsoljivač uključen u proces destilacije sirove nafte. Ovaj podsistem zahtijeva blago onečišćenu vodu i ispušta zaujenu otpadnu vodu s

blagim onečišćenjima. Tri najveća zagađivača su sumporovodik, ulje i otopljene čestice. Oni se u slučajevima ponovne upotrebe uz regeneriranje otpadne vode uklanjaju pomoću dva procesa za obradu otpadnih voda koja postoje u rafineriji: stripier za otkiseljavanje i jedinicu za odvajanje ulja. U ovom primjeru promatrat će se sumporovodik kao granično zagađenje, jer se ograničenja ostalih onečišćavala nalaze ispod ograničenja za sumporovodik (slika 8).

Prije smanjenja potrošnje vode proces koristi 25,5 t/h svježe vode. Podaci o limitirajućim koncentracijama sumporovodika i potrebni pro-

toci nalaze se u tablici 2.

Slijedom osnovnih principa metodologije dobivena su rješenja prikazana na slikama 9, 10 i 11.

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je dan sažeti prikaz smanjenja potrošnje vode na dva industrijska procesa. Detaljan proračun nije prikazan u radu jer bi zahtijevao previše prostora.

Analiziranjem rješenja za smanjenje potrošnje vode na procesima vidi se da je moguće doći do znatnih ušteda, kako na samoj potrošnji vode, tako i na smanjenju troškova vezanih uz obradu vode i plaćanja naknada za vodu. Za procjenu isplativosti ulaganja u promjene treba napraviti detaljnu analizu procesa. Ono što je sigurno problem koji je uočen na danim procesima je nedostatak mjerenih podataka o onečišćenjima na izlazima iz procesnih jedinica, što bi po IPPC direktivi trebalo napraviti. Uglavnom se zagađenja mjere prije sustava obrade otpadne vode što nije dovoljno za ovakvu analizu.

#### 5. POPIS OZNAKA

$C_{ul, max}$  - maksimalna koncentracija onečišćenja u vodi na ulazu u operaciju, ppm

$C_{izl, max}$  - maksimalna koncentracija onečišćenja u vodi na izlazu iz operacije, ppm

$C_{kon, j}$  - konačna koncentracija za interval  $j$ , ppm

$C_{poč, j}$  - početna koncentracija za interval  $j$ , ppm

$\Delta m$  - količina onečišćenja u vodi koja prolazi kroz operaciju, kg/h

$\Delta m_{k, j}$  - količina onečišćenja za operaciju  $k$  u intervalu  $j$ , kg/h

$c_{lim}$  - granični protok, t/h

$f_{k, j}$  - protok za operaciju  $k$  u intervalu  $j$ , t/h

#### Skraćenice:

BFW - napojna kotlovska voda

D - raspodjelnik tokova

M - mješač tokova

Nint. - broj intervala

N op. - broj operacija

$N_{uiv, j}$  - broj unutarnjih izvora vode za interval  $j$

$N_{viv, j}$  - broj vanjskih izvora vode za interval  $j$

$u_{iv}$  - unutarnji izvor vode

$v_{iv}$  - vanjski izvor vode

TSS - ukupne suspendirane čestice

#### 6. LITERATURA

1. Smith, R.: *Chemical process design and integration*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 2005.
2. Mann, J.G.; Liu, Y.A.: *Industrial water reuse and wastewater minimization*, Mc Graw-Hill, New York, 1999
3. Smith, R.: *Wastewater minimization*; In: Rossiter A. Editor. *Waste minimization through process design*, Mc Graw-Hill, New York, 1995., str.3-108
4. Bagajewicz, M.: *A review of recent design procedures for water networks in refineries and process plants*, Computers and Chemical Engineering 24, (2000.), str. 2093-2113.
5. Gomes, J.F.S.; Quieroz, E.M.; Pessoa, F.L.P.: *A design procedure for water/wastewater minimization: single contaminant*, Journal of Cleaner Production xx, (2005.), str. 1 - 12
6. Wang, Y.P.; Smith, R.: *Wastewater minimization*, Chemical engineering Science, vol 49. (1994.), str 981-1006
7. Mann, J.; Liu, Y.A.: *Programski sustav "Water design"*, CD
8. Yang, Y.H.; Lou, H.H.; Huang, Y.L.: *Synthesis of an optimal wastewater reuse network*, Water management, vol. 20., (2000.), str. 311-319
9. Kauzlaric Z., *Minimizacija potrošnje vode na procesima*, Diplomski rad, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2006.

Napomena: Rad će biti prezentiran na Znanstveno-stručnom skupu Tehnologije obrade voda, koji će se održati u Zadru od 21.-24. listopada 2007. ♻️