

## STUDIJA HAZARDA I OPERATIVNOSTI

Živodar ERČIĆ, Petar BJEGOVIĆ  
Energoprojekt-Hidroinženjering a.d. u Beogradu

### REZIME

Značajnu ulogu u planiranju i upravljanju složenim postrojenjima imaju aktivnosti i mere pomoću kojih se otkrivaju moguća odstupanja od projektnih intencija, definišu razlozi i posledice kao i odgovarajuće akcije koje treba preduzeti sa ciljem da se ispuni osnovna namena postrojenja. U ovom radu se izlaže jedna od metoda za otkrivanje mogućih odstupanja, poznata pod nazivom HAZOP. Metoda se ilustruje primerom u kome je postupak otkrivanja mogućih odstupanja primenjen na jednu komponentu postrojenja za prečišćavanje vode za piće i industriju.

**Ključne reči:** hazard, operativnost, postrojenje za prečišćavanje vode

### UVOD

Sva postrojenja u kojima se odvija neki proces projektovana su da ispune jedan sveobuhvatni cilj (npr.: proizvodnja određene količine vode za piće, prečišćavanje određene količine otpadne vode, proizvodnja određenog broja automobila itd.). Ovaj cilj je glavna projektna intencija postrojenja koju treba ostvariti upravljajući procesom na najsigurniji i najekonomičniji način. Shodno gornjem, projektuju se odgovarajuće komponente postrojenja koje će, radeći zajedno, ostvariti osnovnu projektnu intenciju. Međutim, svaka komponenta postrojenja (svaka pumpa, cev, zatvarač itd.) mora funkcionisati na unapred određeni način, tj. prema projektnoj intenciji za tu komponentu sistema. Ipak, i pored primene tehničkih standada zasnovanih na do sada akumulisanim saznanjima iz raznih tehničkih oblasti kao i pored velikog iskustva eksperata u projektovanju i upravljanju sličnim postrojenjima, moguća je pojava odstupanja od projektnih intencija tokom funkcionisanja postrojenja zbog, na primer, loše izabranog tipa pumpi, operatorove greške ili negativnih spoljnih uticaja. Ova odstupanja

mogu da budu uzrok neispunjavanja projektna intencije postrojenja, pa je od izuzetne važnosti da se, još u fazi projektovanja, otkriju mogući uzroci odstupanja, procene posledice i preporuče odgovarajuće akcije. Studija hazarda i operativnosti pruža mogućnost da se identifikuju moguća odstupanja i modifikuje projekat pre nego što izmene postanu vrlo skupe ili neizvodljive [1, 2, 3, 4].

Studija hazarda i operativnosti, skraćeno nazvana HAZOP (Hazard and Operability Studies), je standardna tehnika za analizu hazarda koja se koristi u preliminarnim procenama sigurnosti novih sistema ili pri modifikaciji postojećih. Ova tehnika je razvijena u sedamdesetim godinama prošlog veka u Velikoj Britaniji i najpre je primenjivana u hemijskoj procesnoj industriji, a ubrzo je uvedena u analize hazarda u svim postrojenjima u kojima se odvija neki proces. Danas se smatra da je HAZOP najviše korišćena metoda za sprečavanje potencijalnih šteta u ovoj vrsti postrojenja.

U sledećim poglavljima ovog rada najpre je generalno opisana HAZOP metoda, a na primeru jedne komponente postrojenja za prečišćavanje vode za piće pokazana je njena praktična primena.

### DEFINICIJE

U HAZOP studijama se obično koriste sledeće definicije [5]:

- **Hazard:** nešto (stvar ili događaj) sa potencijalom da izazove negativne posledice.
- **Operativnost:** spremnost postrojenja da izvrši postavljeni zadatak.
- **Studirani čvorovi:** lokacije u kojima će se ispitivati odstupanja procesnih parametara od projektnih intencija.

- **Intencija:** opis očekivanog ponašanja procesa u studiranom čvoru pri odsustvu odstupanja. Iskazuje se kao kvalitativni opis neke aktivnosti (npr. reakcija, sedimentacija i dr.) ili kao kvantitativan podatak za parametre procesa, kao što su temperatura, protok, pritisak i dr.
- **Odstupanje:** udaljavanje od projektnih intencija u studiranom čvoru.
- **Uzrok:** razlog zbog čega se može desiti odstupanje. Moguće je da se identifikuje više uzroka za jedno odstupanje. Osnovni tipovi uzroka su ljudska greška, otkaz opreme, nepredviđeno stanje procesa (npr. promena kompozicije) i spoljni uticaj.
- **Posledice:** rezultat odstupanja koje se desilo; posledice mogu biti procesni hazardi ili operativni problemi; jedna posledica može da ima više uzroka ali i više posledica mogu da proizađu iz jednog uzroka.
- **Ključne reči:** kratke reči koje se koriste za određivanje mogućih odstupanja od projektnih intencija. Dele se na primarne (parametri) i sekundarne (vodeće) reči. Kombinacija parametar/vodeća reč definiše moguće odstupanje od projektne intencije.
- **Zaštita:** inženjerski sistemi ili administrativne mere za sprečavanje uzroka ili ublaženje posledica odstupanja od projektnih intencija. Osnovni tipovi uređaja za zaštitu su uređaji koji: (1) identifikuju odstupanje, (2) kompenzuju odstupanje, (3) sprečavaju odstupanje, (4) sprečavaju dalju eskalaciju odstupanja i (5) štite proces od hazardnih odstupanja.

## GENERALNI OPIS METODE

U osnovi, HAZOP procedura se sastoji od detaljnog opisa procesa koji se odvija u razmatranom postrojenju i sistematskog ispitivanja ponašanja svakog njegovog dela, sa ciljem da se ustanovi kakva se odstupanja od projektnih ciljeva mogu desiti. Ako su odstupanja identifikovana, procenjuje se da li posledice odstupanja negativno utiču na siguran i efikasan rad postrojenja. Procedura se završava predlogom mera za poboljšanje situacije, ukoliko se zaključuje da su te mere neophodne.

Kritičku analizu realizuje tim eksperata na strukturalan način (komponente i parametri procesa proučavaju se kao elementi zavisni od celine u koju su uklopljeni), pokušavajući da otkriju verodostojne razloge manje očiglednih odstupanja. Naime, velika prednost timskog rada je da takav način rada podstiče tim kao celinu da

iznalazi manje očigledne prilike pod kojima se mogu desiti odstupanja, ma koliko one, u prvim analizama, izgledaju neverovatne. Zbog toga je HAZOP studija više od mehaničkog pregleda tipa »kontrolna lista«, jer pruža velike šanse da će tim identifikovati potencijalne nedostatke i probleme koji u dosadašnjoj praksi nisu bili zapaženi kod komponente postrojenja koja se upravo analizira.

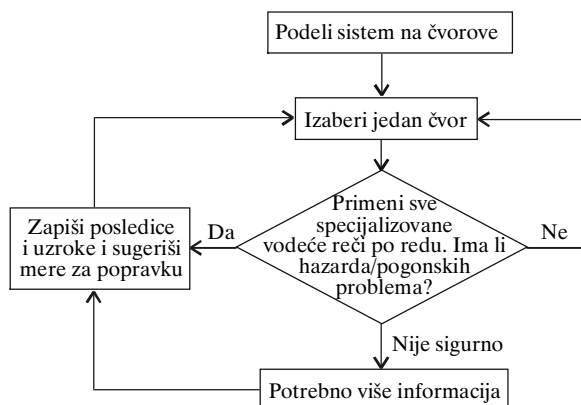
Tim eksperata obično ima 6÷8 članova i čine ga vođa HAZOP studije, nezavisni eksperti i vođa projektantskog tima. Poželjno je da sastancima prisustvuju predstavnici Klijenta i društvenih institucija (zdravlje, opšta sigurnost, ekologija i dr.).

Najpovoljnije vreme za početak izrade HAZOP studije unutar perioda projektovanja postrojenja je trenutak kada su komponente i parametri postrojenja prilčno čvrsto definisani tako da mogu da pruže verodostojne odgovore na pitanja koja se postavljaju tokom HAZOP procesa. U ovom trenutku je još uvek moguća izmena projekta bez velikih dodatnih troškova. Međutim, HAZOP studija se može realizovati u bilo kojoj fazi projektovanja, na primer, u fazi izrade studije za rekonstrukciju sistema za osmatranje i kontrolu procesa u već izgrađenom postrojenju, s obzirom na prirodni međuodnos između HAZOP-ovog pristupa (otkrivanje mogućih odstupanja od projektnih intencija) i uobičajene projektne filozofije za projektovanje sistema za kontrolu (potpuna zaštita od mogućih odstupanja).

Na početku HAZOP studije postrojenje se najpre deli na sekcije a u svakoj sekciji se zatim određuju specifične tačke postrojenja – »projekti čvorovi« - na koje tim eksperata usmerava svoja ispitivanja u toku razvoja HAZOP studije. Za svaki čvor se analiziraju odgovarajući parametri procesa i pogona uz korišćenje »ključnih reči« sa namerom da se otkriju odstupanja i definišu uzroci, posledice i eventualne akcije. Pitanja koja se postavljaju tom prilikom imaju za cilj identifikaciju sledećih problema:

- šta može izazvati odstupanja, s obzirom na upotrebenu ključnu reč;
- šta su posledice koje proističu, s obzirom na upotrebenu ključnu reč i
- koje se akcije zahtevaju da se preduprede neprihvatljivi efekti.

Na slici 1 prikazan je dijagram toka metode HAZOP [6].



Slika 1. Dijagram toka metoda HAZOP

Kao što se vidi iz slike 1, rezultat analize u jednom čvoru može da bude:

- zahteva se više informacija ili
- identifikovana su odstupanja, uzroci i posledice i preporučena samozaštita i akcije.

U HAZOP proceduri se koriste dve vrste ključnih reči: primarne i sekundarne [1, 6].

### Primarne ključne reči (parametri)

Ova vrsta ključnih reči usmerava pažnju ekspertskeg tima na partikularne aspekte projektne intencije, parametre i procesne uslove.

Tipične procesno orijentisane ključne reči su: protok, pritisak, nivo, temperatura, kompozicija, mešavina itd.

Tipične pogonski orijentisane reči su: izolovati, ventilirati, nadgledati, drenirati, očistiti, održavati, startovati, zaustaviti itd.

### Sekundarne ključne reči («vodeće reči»)

Ova vrsta ključnih reči se kombinuje sa primarnim, tako da kombinacija sugeriše potencijalno odstupanje ili problem. Najčešće u upotrebi je sledeći set vodećih reči:

- *Ne* – projektna intencija se neće desiti (protok/ne) ili pogonski aspekt nije postignut (izolovati/ne);
- *Manje* – desilo se kvantitativno sniženje projektne intencije (pritisak/manje);
- *Više* – desilo se kvantitativno povećanje projektne intencije (pritisak/više);
- *Deo od* – desilo se kvalitativno sniženje projektne intencije;
- *Isto kao* – dešavaju se dodatne aktivnosti;

- *Suprotno* – desila se logična suprotnost projektnoj intenciji;
- *Takođe* – projektna intencija je kompletno ispunjena ali su se desile neke dodatne povezane akcije (protok/takođe ukazuje na kontaminaciju protoka);
- *Drugačije* – aktivnost se dešava ali ne na predviđeni način (protok/drugačije indicira procurivanje ili da neki produkt teče gde ne bi trebalo da teče);
- *Fluktuacija* – projektna intencija je postignuta samo deo vremena (protok/fluktuacija) indicira da vazdušni čep u cevi može prouzrokovati fluktuaciju protoka);
- *Rano/kasno* – indicira da je neka operacija počela u pogrešno vreme;
- *Preostatak* – kombinacija primarna reč/preostatak označava da, posle nekoliko ustanovljenih odstupanja (protok/ne; protok/manje itd.) nisu identifikovana dodatna potencijalna odstupanja (npr.: protok/više, protok/fluktuacija itd.);
- *Sve* – kombinacija primarna reč/sve označava da potencijalno odstupanje nije identifikovano ni za jednu od kombinacija primarna reč/sekundarna reč.

Treba naglasiti da u praksi nisu prikladne sve kombinacije primarna/sekundarna ključna reč kao, na primer, temperatura/ne.

Poželjno je da se, u procesu ispitivanja i sistematske analize HAZOP postupkom, svaka od primarnih ključnih reči kombinuje sa svim sekundarnim ključnim rečima (kombinacije koje imaju smisla) i da se na taj način zaključuje o mogućim odstupanjima od projektne intencija i njihovim uzrocima. Ispitivanja odstupanja, uzroka, posledica i akcija mora se realizovati za svaku stavku opreme, svaku cev i svaki pogonski proces.

## ODVIJANJE HAZOP PROCEDURE

Napred opisana procedura se u praksi odvija u sledećim koracima [1]:

- definisane svrhe, ciljeva i obuhvata HAZOP studiju,
- izbor tima eksperata,
- priprema ekspertskeg tima za realizaciju studije,
- realizacija studije (timski rad eksperata),
- prikaz rezultata studije.

Tim eksperata obično realizuje sledeće aktivnosti u toku izrade HAZOP studije [2]:

### 1. Studija i izbor projektne čvorova

Preporučuje se da se izabrani čvorovi prikažu na odgovarajućim crtežima (hidraulički profil postrojenja, distozicija postrojenja i dr.).

**2. Prikaz projektnih intencija**

Projektne intencije se obično prikazuju tabelarno za svaki od izabranih čvorova.

**3. Studija odstupanja**

Odstupanja se analiziraju za svaki čvor posebno, koristeći prikladne kombinacije primarnih i sekundarnih ključnih reči.

**4. Utvrđivanje uzroka**

Najčešći uzroci odstupanja su otkaz funkcionisanja opreme, ljudska greška, nepredviđeno stanje procesa (npr.: promena kompozicije) i spoljni otkazi i uticaji (prekid napajanja električnom energijom, poplave i dr.).

**5. Utvrđivanje posledica**

Registrovaće se samo bitne posledice u odnosu na ciljeve studije. Manje uticajne posledice mogu se zanemariti. U okviru ove aktivnosti utvrđuju se posledice odstupanja od projektnih intencija na: (1) sigurnost osoblja, (2) javnu sigurnost, (3) opremu u postrojenju, (4) proizvodnju postrojenja i (5) životnu sredinu. U praksi je uobičajeno da se ozbiljnost posledica iskazuje sa sledećih pet kategorija šteta: (A) minorne, (B) znatne, (C) velike, (D) vrlo velike i (E) katastrofalne.

U vezi sa donošenjem odluka o akcijama koje treba preduzeti, korisno je da se za svaki čvor odredi i navede oblast uticaja i ozbiljnost posledica (šteta). Tako, na primer, oznaka (4)/(C) označava da se posledice odnose na proizvodnju postrojenja i da su štete velike.

**6. Analiza postojećih zaštitnih mera**

Registruju se svi projektom predviđeni zaštitni uređaji koji sprečavaju uzrok ili štite od negativnih posledica i analizira njihova pogonska pouzdanost i efikasnost. Takođe se analizira pouzdanost i efikasnost zaštitnih mera koje imaju proceduralni aspekt kao što je, na primer, regularna inspekcija postrojenja pri čemu se posebna pažnja obraća na procenu da će se inspekcije realizovati prema predviđenom planu i proceduri.

**7. Određivanje akcija**

Ukoliko evidentirani uzrok prouzrokuje negativnu posledicu najpre se procenjuje da li se mora preduzeti neka akcija. Ukoliko se potvrdi adekvatnost projektovanih mera zaštite ne treba preduzimati bilo kakve akcije. U protivnom, potrebno je preduzeti ili akcije koje otklanjaju uzrok ili akcije koje ublažavaju ili eliminišu posledice. Premda su prve poželjnije, nisu

uvek moguće, naročito kada je reč o lošem funkcionisanju opreme. Ipak, uvek treba najpre pokušati da se spreče razlozi odstupanja, a samo kada je neophodno, ublažavati posledice. Pri izboru akcija koje će se preporučiti obično se uzima u obzir sledeće:

- ne treba automatski izabrati inženjersko rešenje (dodatni instrumenti, alarmi, oprema i dr.), već analizirati i rešenja koja su u vezi sa procedurama procesa;
- dodatna oprema povećava troškove pogona zbog njenog održavanja, regularne kalibracije i dr.;
- trening i iskustvo osoblja koje će upravljati postrojenjem može da bude na niskom nivou, pa je izlišan sofisticirani sistem zaštite (a može biti i opasan) ako osoblje ne razume, i nikad neće razumeti, kako on funkcioniše i kako se održava i kalibriše. Odsustvo održavanja i kalibracije je u mnogim slučajevima razlog za kvar i nefunkcionisanje sofisticiranih zaštitnih uređaja.

**RADNI LISTOVI I IZVEŠTAJI**

Proces određivanja mogućih odstupanja, uzroka, posledica i akcija obično se prikazuje na radnim listama sledećeg tabelarnog oblika [1]:

ČVOR No.		NAZIV KOMPONENTE			TABELA No.
Odstupanje		uzrok	posledica	zaštita	akcija
vodeća reč	parametar				

Raspoloživ je veći broj komercijalnih računarskih programa koji ubrzavaju izradu radnih listova i konačnog izveštaja. U širokoj upotrebi su paketi HAZOP-RS (Prima Tech, USA), HAZOP+Version 2.0 (ISOGRAPH) i dr.

**PRIMER PRIMENE HAZOP METODE**

U Energoprojekt-Hidroinženjering izrađena je Studija hazarda i operativnosti (HAZOP) u okviru projektovanja jednog postrojenja za prečišćavanje vode za piće i industriju. Komponente potrojenja su pumpna stanica u koritu reke sa potisnim cevovodom, prekidna komora i pumpna stanica (PS1) za izdizanje vode do jedinice za bistrenje, filtraciona jedinica, rezervoar čiste vode sa pumpom za pranje filtra, jedinica za recirkulaciju vode od pranja filtra, pumpne stanice za izdizanje čiste vode do kule za odstranjivanje kiseonika, kule za odstranjivanje kiseonik i pumpne stanice na izlazu iz postrojenja (PS2).

Početni (količina i kvalitet vode na ulaznu u PPV) i granični uslovi (količina, pritisak i kvalitet vode na izlazu iz PPV) određeni su u projektnom zadatku. Projektne intencije za svaku funkcionalnu jedinicu i upravljačku proceduru propisane su u projektnim kriterijumima.

U radu tima eksperata učestvovali su procesni, mašinski, elektro, tehnološki, hidrotehnički i konstruktivni inženjeri-specijalisti. Ponašanje u pogonu svih projektovanih funkcionalnih jedinica analizirano je standardnom HAZOP metodologijom. Ukupno je analizirano 26 stavki, uključujući i napajanje električnom energijom.

U ovom radu se, kao primer, prikazuje radni list HAZOP studije za objekat za izdizanje vode do jedinice za bistrenje (tabela 1). Analizirane su promene protoka, nivoa vode u crpilištu, razlika nivoa vode ispred i iza rešetke, pogona transportera uz rešetku kao i uticaj nivoa podzemne vode na statičku stabilnost ovog objekta. U odnosu na prvobitni projekat preporučeno je nekoliko akcija od kojih građevinski aspekt imaju preporuke za dodavanje posebnih niša za zatvarače tipa stop-log i preporuke za kontrolu objekta na isplivavanje. Ostale preporuke se odnose na dopunu sistema za osmatranje procesa i dopunu uputstava za održavanje.

## ZAKLJUČAK

Analiza hazarda i operativnosti, skrćeno HAZOP, je strukturno orijentisana tehnika pomoću koje

višedisciplinarni tim eksperata realizuje sistematsku studiju procesa, koristeći »ključne reči«. Cilj analize je da se otkriju moguća odstupanja od projektnih intencija u opremi, pogonu i materijalima i proceni da li ova odstupanja imaju karakter hazarda. Moguća odstupanja u toku normalnog pogona, starta, zaustavljanja i održavanja, diskutuju se na sastancima tima eksperata i beleže u radne listove na osnovu kojih se sastavlja konačni izveštaj.

## LITERATURA

- [1] Mike Lihou, Hazard & Operability Studies (1 and 2), publikacija kompanije Lihu Technical & Software Services.
- [2] University of Florida, Hazard & Operability Studies, Internet publikacija.
- [3] AcuTech, Process Risk Management, The HAZOP method, publikacija kompanije AcuTech.
- [4] RS C – Royal Society of Chemistry, Hazard and Operability Studies (HAZOP), Saopštenje komiteta za okolinu, zdravlje sigurnost (Environment, Health and Safety Committee – EHSC), 13.03.2001.
- [5] TNO Environment, Energy and Process Innovation, Productsheet HAZOP, Internet publikacije kompanije TNO.
- [6] CSIRO Minerals, HAZOP (Hazard and Operability Studies), Internet publikacija.

## HAZARD AND OPERABILITY STUDIES

by

Živorad ERČIĆ, Petar BJEGOVIĆ  
Energoprojekt-Hidroinženjering a.d., Belgrade

### Summary

In planning and managing of complex plants, the activities and procedures for detecting possible deviation from design intentions, defining the causes and consequences as well as corresponding actions to be undertaken in order to fulfil the basic role of the installation, are of primary importance.

This paper is exposing one of the methods for detecting possible deviation, known under the title of HAZOP. This method is illustrated by the example in which the procedure for detecting possible deviation, is applied on one component of water power plant.

Key words: hazard, operability, water power plant

Redigovano 12.11.2004.



TABELA 1. RADNI LIST HAZOP STUDIJE

ČVOR No. 1		PREKIDNA KOMORA I PUMPNA STANICA ZA VODE DO JEDINICE ZA BISTRENJE (PS 1)			TABELA No. 1
ODSTUPANJE		UZROK	POSLEDICA	PROJEKTOVANA ZAŠTITA	AKCIJA
VODEĆA REČ	PARAMETAR				
MANJE	Kvalitet sirove vode	Kontaminacija rečnog toka	Prečišćena voda nije propisanog kvaliteta		U uputstvu za pogon predvideti zaustavljanje PPV
NE/MANJE	Protok	Blokiran dovod do prekidne komore Blokada rešetki	Zaustavljanje pumpne stanice No. 1	Prekidač koji reaguje na nivo zaustavlja rad pumpne stanice No. 1	
MANJE	Nivo vode u crpilištu PS 1	Dotok iz pumpne stanice na zahvatu manji od kapaciteta PS 1 zbog pada sistema za kontrolu i upravljanje pumpnom stanicom na zahvatu	Nenormalne fluktuacije protoka u PPV	Alarm za nizak nivo vode u PS 1	
VIŠE	Nivo vode u crpilištu PS 1	Prekid napajanja električnom energijom PS1	Prelivanje u odvodni kanal	Sigurnosni preliv	
		Protok vode na zahvatu veći od kapaciteta PS 1 zbog pada sistema za kontrolu i upravljanje pumpnom stanicom na zahvatu		Alarm za visoki nivo i sigurnosni preliv	
		Blokada rešetki	Moguće zaustavljanje rada pmp i prelivanje u odvodni kanal	Alarm za visoki nivo i sigurnosni preliv	Dodati posebne niše za zatvarače tipa stop-log nizvodno od rešetke
NE	Razlika nivoa vode ispred i iza rešetke	Merač razlike nivoa u kvaru pa je čistila neprestano u pogonu	Oprema čistilice pod velikim opterećenjem		Indikacija rada na procesnoj tački
NE	Pogon transportera rešetke	Prekid napajanja električnom energijom transportera	Nečistoća se zadržava na transporteru i rešetki. Voda preliva	Sigurnosni preliv	
VISOK	Razlika nivoa vode ispred i iza rešetke	Prekid napajanja električnom energijom	Nečistoća se zadržava na rešetki. Voda preliva preko sigurnosnog preliva	Sigurnosni preliv	Instrukcije u uputstvu za pogon za češće inspekcije
SUVIŠAN	Količina nanosa	Ne funkcioniše zatvarač na ispustu za pesak	Zadržavanje peska u vodnom kanalu; pesak dolazi do pumpi		Posebna ručna oprema za odstranjivanje peska
		Ne funkcioniše ispust za pesak	Zadržavanje peska u vodnom kanalu Pesak se taloži neposredno uz rešetku. Čistilica se zaustavlja; moguća oštećenja		
		Ne funkcioniše kanal za razmeštaj peska	Zadržavanje peksa u vodnom kanalu		
VISOK	Nivo podzemne vode	Vrlo visok nivo vode u reci; obilne kiše	isplivavanje objekta		Provera sigurnosti objekta na ispitivanje pod pretpostavkom da je objekat prazan a nivo podzemne vode vrlo visok