

MODEL ANGAŽOVANJA JEDINICA ABH SLUŽBE PRILIKOM HEMIJSKOG UDESA

Dejan R. Inđić, Zoran T. Luković, Spasoje D. Mučibabić
Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, Beograd

DOI: 10.5937/vojtehg62-3876

OBLAST: hemijske tehnologije, zaštita životne sredine
VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

Hemijski udesi kao neminovnost savremenog tehnološkog razvoja društva prouzrokuju brojne posledice na ljude, materijalna dobra i životnu sredinu. Jedinice atomsko-biološko-hemijske (ABH) službe, kao specijalizovane jedinice Vojske Srbije, izvršavaju određene zadatke u okviru otklanjanja posledica hemijskih udesa. U radu je prikazano modeliranje efekata hemijskog udesa i jedan od načina za izbor jedinice ABH službe za angažovanje na otklanjanju posledica hemijskog udesa, korišćenjem metode analitičkih hijerarhijskih procesa.

Ključne reči: nesreće; metoda AHP; ABH služba; otklanjanje posledica; hemijski udesi.

Uvod

Kako su hemijske materije po samoj prirodi agresivne u odnosu na čoveka i životnu sredinu, svako njihovo nekontrolisano oslobađanje može dovesti do nesagledivih posledica i katastrofa. Rizik od takvih udesa¹ postoji kod rada i korišćenja objekata hemijske industrije, strojenja, uređaja, instalacija i opreme, transportnih sredstava i drugo, gde se proizvode, prerađuju, prevoze, skladište ili na neki drugi način koriste hemijske materije.

Hemijski udesi (H udesi) imaju različite nivoe težine u zavisnosti od posledica, a uzroci su najčešće ljudska, tehnička ili druga greška, kvar, havarija, saobraćajni udes, a u ratu i kriznim situacijama sabotaze, diverzije i bombardovanja. Otklanjanje posledica hemijskih udesa jedan je od brojnih složenih zadataka i problema sa kojima se suočava svako savremeno društvo.

¹ Udes – nesreće većih razmera, slučajno ili namerno izazvane, u kojima je poginulo, povređeno ili ugroženo od 1000 do 10000 ljudi.

Vojska Srbije (VS) kao element države takođe ovom problemu pridaje veliki značaj. Ona u svom sastavu ima jedinice ABH službe, koje su osposobljene i opremljene za planiranje, otkrivanje i otklanjanje posledica nastalih hemijskim udesima u miru.

Bataljon ABH službe, kao najveća jedinica ove službe u VS, realizovao bi veći deo zadataka otklanjanja posledica pri hemijskom udesu. Na osnovu zahteva nadležnih organa Republike Srbije i odobrenja resornog ministarstva (Ministarstvo odbrane), deo snaga ABH službe bi se uputio u zonu hemijskog udesa, radi pružanja pomoći državnim organima koji rukovode svim snagama na ugroženom području. Međutim, zbog specifičnosti situacije (visoke koncentracije opasnih materija, kratko vreme za reagovanje, specifični požari) veoma je teško odrediti adekvatne snage ABH službe koje bi trebalo angažovati u konkretnim uslovima.

U ovom radu ćemo prikazati jednu od mogućih varijanti za izbor jedinice ABH službe koja bi se angažovala na otklanjanju posledica hemijskih udesa, korišćenjem metode analitičkih hijerarhijskih procesa.

Modelovanje efekata hemijskih udesa

Prema definisanim scenarijima izračunavaju se i modeluju efekti udesa, a na osnovu dobijenih podataka određuju se širine povredljivih zona i predviđaju snage za otklanjanje nastalih posledica.

Za modelovanje se koriste parametri proizašli iz prirode opasnih materija koje učestvuju u udesu ili nastaju u udesu i njihove fizičko-hemijske, toksikološke, eko-toksikološke i druge osobine.

U cilju dobijanja validnih podataka u obzir se moraju uzeti i trenutni meteorološki parametri i konkretne topografske karakteristike lokacije, na kojoj je došlo do udesa (u ovom modelu to je grad Šabac).

Udesni scenario

Na lokaciji hemijske fabrike je došlo do oštećenja ispusnog ventila automobil-cisterne napunjene sa rastvorom fluorovodonične kiseline (HF), koncentracije 40% (m/m), što je dovelo do izlivanja kompletnog sadržaja iz rezervoara po okolnom prostoru.

Opasnost od HF: letalna doza u kojoj 50% testiranih životinja umre pri izloženosti HF je oko 1,3 grama po kilogramu telesne težine, na pacovima kada se konzumira oralno. Fluorovodonična kiselina se obično klasifikuje kao „vrlo otrovna“ i „korozivna“, a predstavlja ekstremnu opasnost za svakog ko radi sa njom.

Po formiranju lokve tečne faze dolazi do isparavanja HF i nastajanja sekundarnog kontaminacionog oblaka u prizemnom sloju atmosfere.

Ulazni podaci:

- masa rastvora HF: 20 t
- podloga: ravna, betonska
- okolina: gradski uslovi (urbana sredina)
- temperatura vazduha (okoline): 20°C
- relativna vlažnost vazduha: 70% (vreme: mirno, bez padavina)
- vetar: severozapadni, brzina 2 m/s (na visini 2 m od nivoa tla)
- stanje u prizemnom sloju atmosfere: stabilno, klasa stabilnosti – F.

Rezultati proračuna (procena zagađenja – opasnosti)

Razliveni rastvor fluorovodonične kiseline na ravnoj podlozi formira lokvu tečnosti, za koju se može uzeti da iznosi ~ 10 mm (U.S. Environmental Protection Agency, 1987).

Iz formirane lokve isparava HF, pri čemu brzina isparavanja zavisi od koncentracije HF u rastvoru. Uporedo sa isparavanjem HF isparava i voda iz rasutog rastvora u skladu sa svojim naponom pare i koncentracijom vlage u okolnom vazduhu. Isparavanje HF je vremenski zavisna veličina, tako što sa vremenom usled isparavanja HF dolazi do opadanja parcijalnog pritiska para HF (usled smanjenja koncentracije HF u rastvoru), s jedne strane i povećavanja koncentracije HF u rastvoru u lokvi (usled povećanja koncentracije HF u rastvoru, na račun otparavanja vode iz rastvora). Ova dva procesa se odvijaju uporedno, u dinamičkim uslovima:

– početna masa HF u izlivenoj tečnosti: $m_0^{HF} = 0,4 \cdot 20000 = 8000 \text{ kg}$

– početna masa vode u izlivenoj tečnosti:

$$m_0^{H_2O} = 0,6 \cdot 20000 = 12000 \text{ kg}$$

Početne brzine isparavanja (emisije) HF ili H₂O, iz nastale lokve izračunavane su prema jednačini (Mackay, Matsugu, 1973, pp.434-439), (Francois, et al., 2008):

$$\dot{m} = 4,87 \cdot 10^{-3} \cdot A \cdot \frac{M \cdot \Delta p^*}{R \cdot T} \cdot v^{0,78} \cdot X^{-0,11} \cdot \left(\frac{v}{D_{AB}} \right)^{-0,67}, \text{ g/s} \quad (1)$$

gde su:

- A – površina isparavanja, ($A = 1724 \text{ m}^2$)
- M – molekulska masa, ($M = 20 \text{ g/mol}$ za HF i 18 g/mol za H₂O)
- Δp^* – napon pare HF za navedene uslove ($\Delta p^* = 3300 \text{ Pa}$ za HF i $700,8 \text{ Pa}$ za H₂O)
- R – univerzalna gasna konstanta, ($R = 8,314 \text{ J/mol K}$)
- T – temperatura okoline, ($T = 293 \text{ K}$)
- v – brzina vetra, ($v = 2 \text{ m/s}$)
- X – karakteristična dimenzija lokve, (prečnik lokve, $X = 46,85 \text{ m}$)

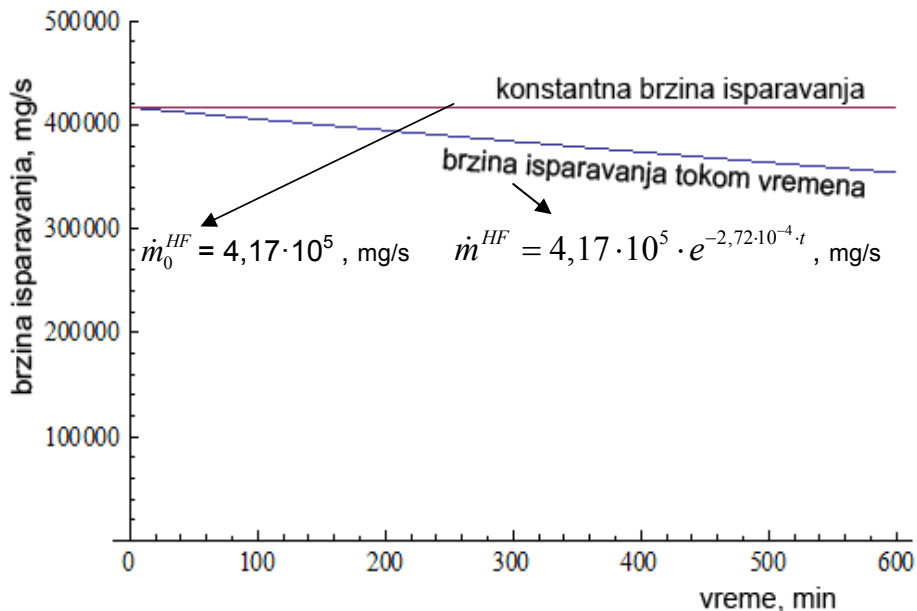
- ν – kinematička viskoznost vazduha, ($\nu = 1,05 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)
- D_{AB} – koeficijent difuzije HF u vazduhu, ($D_{AB} = 2,18 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ za HF i $2,20 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ za H_2O)².

Početne brzine isparavanja (emisije) HF i vode iz nastale lokve, pri navedenim uslovima, i prema navedenoj korelacionoj jednačini se opisuju na sledeći način: $\dot{m}_0^{HF} = 4,17 \cdot 10^5 \text{ mg/s}$ i $\dot{m}_0^{H_2O} = 8,02 \cdot 10^4 \text{ mg/s}$.

Promena brzine isparavanja (emisije) HF iz nastale lokve tokom vremena, pri navedenim uslovima, može se opisati sledećom jednačinom:

$$\dot{m}^{HF} = 4,17 \cdot 10^5 \cdot e^{-2,72 \cdot 10^{-4} \cdot t}, \text{ mg/s} \quad (\text{vreme} - t \text{ u min.}) \quad (2)$$

Promena brzine isparavanja HF iz rasutog rastvora tokom vremena, u skladu s datom jednačinom prikazana je na slici 1.



Slika 1 – Promena brzine isparavanja HF iz rasutog rastvora tokom vremena, nastalog izlivanjem iz auto-cisterne s 20 t rastvora HF, koncentracije 40% (m/m)

Figure 1 – Speed of evaporation from the bulk solution of HF over time, resulting from outpouring of car tanks with 20 t HF solution, a concentration of 40% (m/m)

Prema prikazanim zavisnostima sa slike 1 uočava se da se za kraća vremena može uzeti da je brzina isparavanja konstantna, jer sporo opada s vremenom, te je za određivanje disperzije nastalih para korišćena

² Za vodu izračunato na osnovu razlike između maksimalne (100%) i trenutne (aktuelne) vrednosti vlažnosti vazduha (70%).

takva vrednost (disperzije posmatrane nakon 10 min i 30 min od početka izlivanja). Značajniji efekat trajanja procesa isparavanja na samu brzinu isparavanja uočava se posle dužeg perioda praćenja procesa (slika 1).

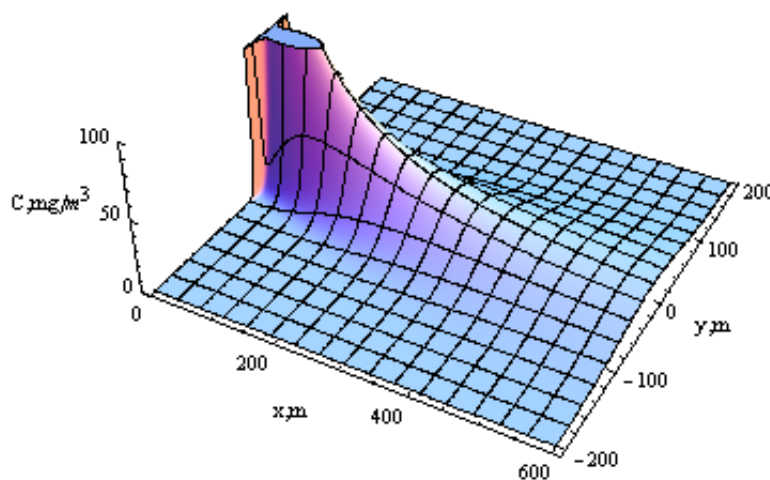
Nastale pare HF su lakše od okolnog vazduha (gustina HF je $0,857 \text{ kg/m}^3$, a vazduha $1,20 \text{ kg/m}^3$ na 20°C), te je za prostiranje para HF u prizemnom sloju atmosfere korišćen model „lakog“ gasa (Briggs, 2003, pp. 327-366). Podizanje struje „lakog“ gasa (z_p) izračunavano je prema jednačini:

$$z_p = \left(19 \frac{\rho_{HF} \cdot w_0^2 \cdot D_0^2}{4 \cdot \rho_a \cdot v^2} \cdot x - 4,2 \frac{g \cdot (\rho_{HF} - \rho_a) \cdot w_0 \cdot D_0^2}{4 \cdot \rho_a \cdot v^3} \cdot x^2 \right)^{1/3} \quad (3)$$

gde su:

- w_0 – brzina strujanja para HF, m/s
- D_0 – početna širina oblaka, m.

Na slici 2 prikazana je promena koncentracije para HF u prostoru pre vremena usrednjavanja koncentracija (za period usrednjavanja koncentracija uzeto je vreme od 10 min od početka izlivanja), za karakterističnu udesnu situaciju. Nastali sekundarni kontaminacioni oblak je oblika perjanice, jer nastaje iz kontinualnog izvora zagađenja.



Slika 2 – Promena koncentracije para HF u prostoru nakon izlivanja iz auto-cisterne sa 20t, 40%–ne HF, u uslovima stabilne atmosfere i pri brzini vetra od 2 m/s

Figure 2 – Changing of the concentration of HF in the vapor space after a spill from the tanker car with 20t, 40%-no HF in stable atmospheric conditions and a wind speed of 2 m/s

U cilju određivanja zona prostiranja opasnih koncentracija HF, neophodno je definisati koje su to karakteristične koncentracije za slučaj nastalog hemijskog udesa. U skladu s propisanom metodologijom za ocenu

opasnosti od toksičnih materija (U.S. Environmental Protection Agency, 1987), (Službeni glasnik RS, 2010), za takve koncentracije su odabrane:

– LC₅₀ – srednja smrtna koncentracija, pri ekspoziciji od 1 h (LC₅₀ ≈ 1100 mg/m³, za miševe)

– IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) – koncentracija opasna po zdravlje ljudi, pri ekspoziciji od 30 min (IDLH = 25 mg/m³)

– 0,1 IDLH – koncentracija opasna za osetljivu populaciju (deca, starije ili bolesne osobe).

Pošto je formiranje kontaminacionog oblaka dinamičkog karaktera, analiza opasnosti od trovanja parama HF, za koncentracije nivoa LC₅₀ provedena je primenom *Probit-funkcije*, koja u slučaju HF glasi (World Bank, 1988):

$$Y = -26,4 + 3,35 \cdot \ln(C \cdot t) \quad (4)$$

gde su:

– Y – *Probit-funkcija*

– C – koncentracija para HF, ppm

– t – vreme izlaganja (ekspozicije), min.

Pretpostavljajući da je vreme izloženosti ljudstva parama HF iznosi 10 odnosno 30 min (dve varijante), moguće posledice po nezaštićeno ljudstvo u zoni prostiranja kontaminacionog oblaka para HF, na osnovu testiranja verovatnoće (preko *Probit-funkcije*) prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1 – Moguće posledice po nezaštićene ljude nakon izlivanja automobil-cisterne s rastvorom HF u zoni prostiranja smrtnih koncentracija, pri brzini vetra od 2 m/s i stabilnom stanju u atmosferi, za različito vreme izlaganja

Table 1 – Possible consequences for unprotected humans after a car-tanker spill with an HF solution in the zone of deadly concentrations, with a wind speed of 2 m / s and the steady state in the atmosphere for different times of exposure

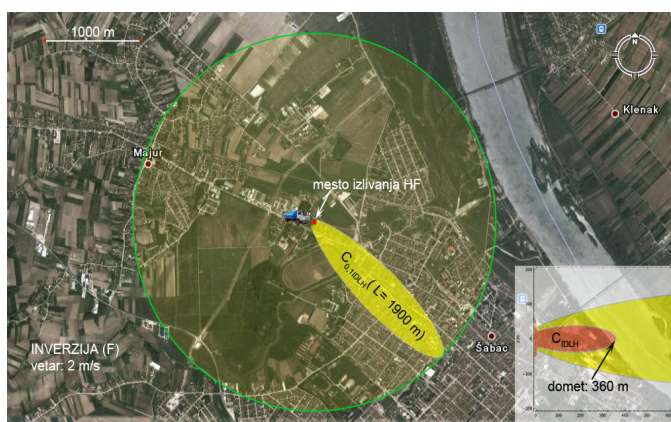
Rastojanje od mesta ispusta HF (m)	Koncentracija para HF (mg/m ³ i ppm)	Vrednost <i>Probit-funkcije</i>		Verovatnoća smrtnog stradanja (%)	
		10 min	30 min	10 min	30 min
15	623,2/750,0	3,49	7,17	7	98,5
25	379,4/456,3	1,82	5,51	0	70
50	183,3/220,5	-0,61	3,07	0	3
75	116,1/140,0	-2,13	1,55	0	0

Prema podacima iz tabele 1 uočava se da zona smrtnog stradanja ljudi koji ne poseduju sredstva zaštite disajnih organa nije velika, a uzimajući u obzir gustinu naseljenosti u opštini Šabac (prosečno 150 stanovnik/km²) i činjenicu da je u uslovima inverzije ta zona uža, realno mali broj ljudi bi smrtno stradao.

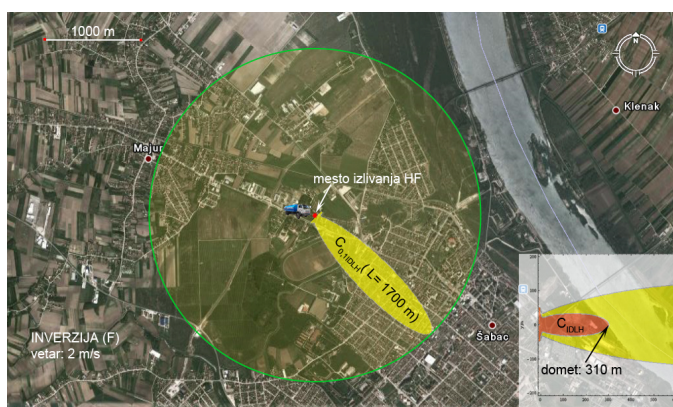
Zahvaćene površine za koncentracije para HF od 750 ppm bi iznosi-
le oko 850 m², a koncentracije nivoa 456,3 ppm oko 15 ar.

Iz tabele 1 lako se zapaža i značaj vremena saniranja nastale ude-
sne lokve sa izlivenim rastvorom HF, što ide u prilog potrebi što bržeg
sprovođenja dekontaminacije.

Na slici 3 prikazane su zone prostiranja opasnih koncentracija HF na
konkretnoj lokaciji, za početne uslove disperzije (do 10 min od početka
izlivanja), a na sl. 4 zone posle vremena od 30 min (sa periodom usred-
njavanja koncentracija od 10 min).

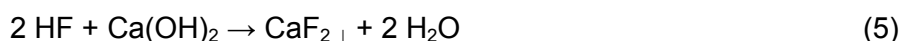


Slika 3 – Zone prostiranja opasnih koncentracija HF, za početne uslove disperzije
(do 10 min od početka izlivanja) u uslovima stabilne atmosfere i pri brzini vetra od 2 m/s
Figure 3 – Zone of the spreading of hazardous concentrations of HF, the initial conditions
of dispersion (up to 10 min from the beginning of the spill) in stable atmospheric
conditions and a wind speed of 2 m/s



Slika 4 – Zone prostiranja opasnih koncentracija HF, nakon 30 min od početka disperzije,
u uslovima stabilne atmosfere i pri brzini vetra od 2 m/s
Figure 4 – Zone of the spreading of hazardous concentrations of HF, 30 min after the
start of the dispersion in stable atmospheric conditions and a wind speed of 2 m/s

Prema podacima na sl. 3 i sl. 4 evidentno je da zone naročito opasnih koncentracija (IDLH) dosežu preko 300 m od mesta izlivanja (žarišta kontaminacija), te je u sklopu odgovora na nastalu udesnu situaciju *neophodno sprovesti mere sanacije udesa, odnosno izvođenje dekontaminacije nastale lokve od izlivenog rastvora HF*. Kao optimalni rastvor za dekontaminaciju preporučuje se primena rastvora kalcijum-hidroksida (u obliku kaše ili krečnog mleka), koji se mogu primenjivati iz automobil-cisterne za dekontaminaciju (ACD M-78) koju imaju jedinice VS, bez ikakvih modifikacija u primeni dekontaminacionog rastvora.³ Hemizam navedene reakcije se može opisati sledećom jednačinom:



Kao alternativna rešenja mogu da posluže sledeće varijante:

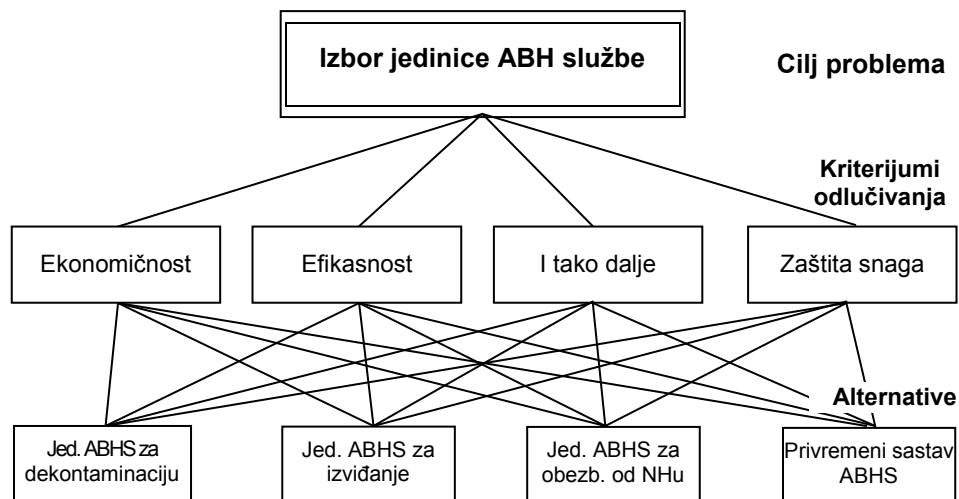
- primena rastvora NaOH u vodi (koncentracije do 2%),⁴ ili
- razblaživanje lokve velikim količinama vode (primena ACD-M78 ili automobil-cisterne za vodu ACV-M70), uz naknadno dodavanje negašenog kreča u cilju neutralizacije izlivenne kiseline.

Metoda AHP

Metodu analitičkih hijerarhijskih procesa (AHP) je razvio Tomas Saaty početkom sedamdesetih godina prošlog veka i ona predstavlja jedan alat u analizi odlučivanja. (Saaty, 1980) Područje primene metode jeste višekriterijumsko odlučivanje, gde se na osnovu definisanog skupa kriterijuma i vrednosti atributa za svaku alternativu vrši izbor najprihvatljivijeg rešenja, odnosno prikazuje se potpuni raspored važnosti alternative u modelu. Zbog jednostavnije primene metode, na konkretnom primeru razvijen je softver iz klase sistema za podršku odlučivanju Expert Choice. Pri tome su evidentirane četiri faze primene metode: 1) struktuiranje problema, 2) prikupljanje podataka, 3) ocenjivanje relativnih težina, 4) određivanje rešenja problema. (Čupić, Suknović, 1995, pp.125-128). *Struktuiranje problema* se sastoji od dekomponovanja određenog složenog problema odlučivanja u seriju hijerarhija, gde svaki nivo predstavlja manji broj upravljanih atributa. Grafički prikaz struktuiranja problema (na konkretnom primeru) predstavljen je na slici 5.

³ Zbog velikog broja opasnih materija ovo predstavlja najveći problem za jedinice ABHSI.

⁴ Povoljnija je znatno primena Ca(OH)_2 jer nastali CaF_2 nije rastvorljiv u vodi i ne menja sastav okolnog zemljišta za razliku od eventualno nastalog NaF (posle primene NaOH).



Slika 5 – Strukturiranje problema
Figure 5 – Structuring the problem

Na slici se uočava da je cilj problema izbor adekvatne jedinice ABH službe koja bi se angažovala na rešavanju složenog problema otklanjanja posledica H udesa.

Prikupljanjem podataka i njihovim merenjem, započinje druga faza metode AHP. Donosilac odluke dodeljuje relativne ocene parovima atributa jednog hijerarhijskog nivoa, i to za sve nivoe celokupne hijerarhije. Pri tome se koristi najpoznatija skala devet tačaka (tabela 2).

Tabela 2 – Skala devet tačaka
Table 2 – Nine-point scale

Skala	Objašnjenje / Rangiranje
9	Apsolutno najznačajnije/najpoželjnije
8	Veoma snažno ka apsolutno najznačajnijem / najpoželjnijem
7	Veoma snažno ka veoma značajnom / poželjnom
6	Snažno ka veoma snažnom
5	Snažnije više značajno/poželjno
4	Slabije ka više snažnijem
3	Slabije više značajno/poželjnije
2	Podjednako ka slabijem više
1	Podjednako značajno/poželjno
0,50	Podjednako ka slabijem manjem
0,33	Slabije manje značajno/poželjno
0,25	Slabije ka snažno manjem
0,20	Snažno manje značajno/poželjno
0,17	Snažno ka veoma snažnom/manjem
0,14	Izuzetno snažno manje značajno/ poželjno
0,13	Veoma snažno ka apsolutno manjem
0,11	Apsolutno najmanje značajno/poželjno

Po završetku ove faze, dobija se odgovarajuća matrica upoređivanja po parovima koji odgovaraju svakom nivou hijerarhije.

Procena relativnih težina je treća faza primene metode AHP. Matrica poređenja će se po parovima „prevesti“ u probleme određivanja sopstvenih vrednosti, radi dobijanja normalizovanih i jedinstvenih sopstvenih vektora, kao i težina za sve atribute na svakom nivou hijerarhije A_1, A_2, \dots, A_n , sa vektorom težina $t = (t_1, t_2, \dots, t_n)$.

Određivanje rešenja problema je poslednja faza metode AHP, a ona podrazumeva nalaženje tzv. kompozitnog normalizovanog vektora. Pošto se odredi vektor redosleda aktivnosti kriterijuma u modelu, u narednom krugu potrebno je, u okviru svakog posmatranog kriterijuma, odrediti redosled važnosti alternative u modelu. Na kraju, sveukupna sinteza problema se izvodi na sledeći način: učešće svake alternative množi se sa težinom posmatranog kriterijuma, a potom se te vrednosti sabere za svaku alternativu posebno. Dobijeni podatak predstavlja težinu posmatrane alternative u modelu. Na isti način se određuje težina i za sve ostale alternative, posle čega se određuje konačan poredak alternativa u konkretnom modelu.

Metoda AHP pripada grupi popularnih metoda, zbog toga što ima mogućnosti identifikacije i analize konzistentnosti donosioca odluke u procesu upoređivanja elemenata iz hijerarhije. Budući da je upoređivanje alternative bazirano na subjektivnoj proceni od strane donosioca odluke, potrebno je njeno stalno praćenje, kako bi se obezbedila neophodna tačnost. (Samanta, Mukherjee, 2002, pp.136-141). Ova metoda omogućava praćenje konzistentnosti procena u svakom trenutku u postupku upoređenja parova alternative. Pomoću indeksa konzistencije:

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (6)$$

proračunava se odnos konzistencije

$$CR = CI / RI, \quad (7)$$

gde je **RI** slučajni indeks (indeks konzistencije matrice veličine **n** slučajno generisanih poređenja parova), za šta se koristi tabela 3 (sa izračunatim vrednostima):

Tabela 3 – Vrednosti slučajnog indeksa RI (Saaty, 1980)
Table 3 – The values of the random index RI (Saaty, 1980)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Koeficijent λ_{\max} je maksimalna i glavna osobina vrednosti matrice upoređenja, dok je **n** veličina matrice upoređenja. Pri tome, važi da je $\lambda_{\max} \geq n$, a razlika $\lambda_{\max} - n$ koristi se u merenju konzistencije procene.

U slučaju nekonzistentnosti, ukoliko je λ_{\max} bliža n , procena je konzistentnija. Ako za matricu upoređenja važi da je $CR \leq 0,10$, procene relativnih važnosti kriterijuma (prioriteti alternativa) računaju se kao prihvatljive. U suprotnom, treba pronaći razloge zbog koje je nekonzistentnost procene neprihvatljivo visoka.

Angažovanje jedinica ABH službe na otklanjanju posledica hemijskog udesa

Radi realizacije zadataka iz domena otklanjanja posledica hemijskih udesa mogu se angažovati različite jedinice ABH službe. Donosilac odluke ima zadatak da izabere adekvatnu jedinicu za angažovanje na realizaciji konkretnog problema, od nekoliko mogućih alternativa. (Mučibabić, 1998, pp.85-90).

U radu je razmatrano angažovanje istovrsnih jedinica ABH službe (za izviđanje, dekontaminaciju, obezbeđenje od nuklearnih i hemijskih udesa) i privremenog sastava ABH službe (više različitih specijalnosti ABH službe koje se angažuju dok se zadatak ne realizuje).

Problem izbora jedinice ABH službe za zadatke otklanjanja posledica hemijskog udesa definisan je na sledeći način:

1. *Nivo*: izbor jedinice ABH službe (odluka)
2. *Nivo*: atributi (*kriterijumi odlučivanja*) definisani su na sledeći način:
 - A₁ – ekonomičnost
 - A₂ – efikasnost
 - A₃ – obučenost i opremljenost
 - A₄ – pouzdanost
 - A₅ – efektivnost
 - A₆ – pravovremenost
 - A₇ – zaštita snaga.

Zatim se mogu dati važnosti atributa na drugom nivou kroz sledeću matricu, odnosno tabelu 4:

Tabela 4 – Upoređenje atributa na drugom nivou
Table 4 – Comparison of attributes at another level

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	Težina
A ₁	1	7	7	5	6	7	7	0,483
A ₂	0,14	1	1	3	2	1	1	0,093
A ₃	0,14	1	1	3	7	1	1	0,127
A ₄	0,20	0,33	0,33	1	0,50	0,33	0,33	0,041
A ₅	0,17	0,50	0,14	2	1	0,50	0,50	0,053
A ₆	0,14	1	1	3	2	1	1	0,093
A ₇	0,14	1	1	3	2	1	1	0,093

gde je: $\lambda_{\max} = 7,123$; $CI = 0,0205$; $CR = 0,0152 \leq 0,10$

3. Nivo: atributi (*alternative*) definisani su na sledeći način:

B_1 – jedinica ABH službe za dekontaminaciju

B_2 – jedinica ABH službe za izviđanje

B_3 – jedinica ABH službe za obezbeđenje od nuklearnih i hemijskih udesa

B_4 – privremeni sastav ABH službe.

Odgovarajuće matrice upoređenja alternativa iz trećeg nivoa za svaki atribut i njihovi prioriteti prikazani su u tabelama 5 do 11, respektivno:

Tabela 5 – Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut A_1 (ekonomičnost)
Table 5 – Matrix of the relevant importance of alternatives to the attribute A_1 (economy)

	B_1	B_2	B_3	B_4	Težine
B_1	1	2	0,33	0,50	0,170
B_2	0,50	1	0,33	0,50	0,120
B_3	3	3	1	2	0,450
B_4	2	2	0,50	1	0,260

gde je: $\lambda_{\max} = 4,003$; $CI = 0,0001$; $CR = 0,0011 \leq 0,10$

Tabela 6 – Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut A_2 (efikasnost)
Table 6 – Matrix of the relevant importance of alternatives to the attribute A_2 (efficiency)

	B_1	B_2	B_3	B_4	Težine
B_1	1	0,50	2	3	0,293
B_2	2	1	2	3	0,412
B_3	0,50	0,50	1	2	0,187
B_4	0,33	0,33	0,50	1	0,312

gde je: $\lambda_{\max} = 4,004$; $CI = 0,0013$; $CR = 0,0015 \leq 0,10$

Tabela 7 – Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut A_3
 (obučenosť i opremljenost)

Table 7 – Matrix of the relevant importance of alternatives to the attribute A_3
 (training and equipment)

	B_1	B_2	B_3	B_4	Težine
B_1	1	3	0,20	0,25	0,114
B_2	0,33	1	0,14	0,17	0,054
B_3	5	7	1	2	0,506
B_4	4	6	0,50	1	0,326

gde je: $\lambda_{\max} = 4,005$; $CI = 0,0017$; $CR = 0,0019 \leq 0,10$

Tabela 8 – Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut A₄ (pouzdanost)
Table 8 – Matrix of the relevant importance of alternatives to the attribute A₄ (reliability)

	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	Težine
B ₁	1	0,50	0,20	0,25	0,075
B ₂	2	1	0,17	0,20	0,099
B ₃	5	6	1	2	0,503
B ₄	4	5	0,50	1	0,323

gde je: $\lambda_{\max} = 4,008$; $CI = 0,0027$; $CR = 0,0030 \leq 0,10$

Tabela 9 – Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut A₅ (efektivnost)
Table 9 – Matrix of the relevant importance of alternatives to the attribute A₅ (effectiveness)

	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	Težine
B ₁	1	2	0,33	3	0,268
B ₂	0,50	1	0,33	0,50	0,115
B ₃	3	3	1	2	0,441
B ₄	0,33	2	0,50	1	0,176

gde je: $\lambda_{\max} = 4,002$; $CI = 0,0007$; $CR = 0,00079 \leq 0,10$

Tabela 10 – Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut A₆ (pravovremenost)
Table 10 – Matrix of the relevant importance of alternatives to the attribute A₆ (timeliness)

	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	Težine
B ₁	1	4	0,25	0,33	0,157
B ₂	0,25	1	0,20	0,25	0,068
B ₃	4	5	1	2	0,478
B ₄	3	4	0,50	1	0,296

gde je: $\lambda_{\max} = 4,009$; $CI = 0,003$; $CR = 0,0034 \leq 0,10$

Tabela 11 – Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut A₇ (zaštita snaga)
Table 11 – Matrix of the relevant importance of alternatives to the attribute A₇ (Force Protection)

	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	Težine
B ₁	1	3	0,20	3	0,235
B ₂	0,33	1	0,17	0,20	0,060
B ₃	5	6	1	2	0,500
B ₄	0,33	5	0,50	1	0,203

gde je: $\lambda_{\max} = 4,005$; $CI = 0,0017$; $CR = 0,0019 \leq 0,10$

Na kraju postupka izvršena je sveukupna sinteza problema izbora jedinice ABH službe za otklanjanje posledica hemijskog udesa, tako što su sve alternative pomnožene sa težinama pojedinih kriterijuma odlučivanja, a dobijeni rezultati sumirani. Alternativa koja dobije najveću vrednost je, u stvari, najprihvatljivija ili optimalna alternativa.

Završni postupak primene AHP metode je prikazan u tabeli 12.

Tabela 12 – Sinteza tabela za izbor optimalne alternative
Table 12 – Synthesized table for a selection of the optimal alternative

Krit.	Težina kriterij.	B_1	Težina x B_1	B_2	Težina x B_2	B_3	Težina x B_3	B_4	Težina x B_4
A_1	0,483	0,170	0,082	0,120	0,058	0,450	0,217	0,260	0,126
A_2	0,093	0,293	0,027	0,412	0,038	0,187	0,017	0,312	0,029
A_3	0,127	0,114	0,014	0,054	0,007	0,506	0,064	0,326	0,041
A_4	0,041	0,075	0,003	0,099	0,004	0,503	0,021	0,323	0,013
A_5	0,053	0,268	0,014	0,115	0,006	0,441	0,023	0,176	0,009
A_6	0,093	0,157	0,015	0,068	0,006	0,478	0,044	0,296	0,028
A_7	0,093	0,235	0,022	0,060	0,006	0,500	0,047	0,203	0,019
			0,177		0,125		0,433		0,265

Na osnovu izvršenog izbora jedinice ABH službe (jedinica za obezbeđenje od N i H udesa⁵) koja će se angažovati na rešavanju problema pri udesu (izlivanje HF), aktivnosti se realizuju na sledeći način:

- vrši se odlazak na mesto udesa i ulazak jedinica ABH službe u sastav snaga koje deluju u okviru integrisanog odgovora na udes (snage lokalne samouprave, protivpožarne policije, sanitetske ekipe i dr.),

- realizuje se hemijsko izviđanje mesta udesa i

- realizuje se hemijska dekontaminacija mesta udesa (jedinice VS bi se angažovale na dekontaminaciji deonice puta značajne za prilaz mestu H udesa, a na dekontaminaciji žarišta H udesa – jedinice protivpožarne policije u skladu sa namenskim zadacima).

Nakon dolaska na mesto udesa snage za hemijsko izviđanje (najčešće izviđačka grupa od 3 lica) izvršile bi izviđanje mesta udesa upotrebom izviđačkog vozila i savremenih sredstava za detekciju kojima su opremljeni (automatski detektor hemijskih agenasa RAID M-100, detektor industrijskih gasova – DRAGER ACCURO i sl.). Imajući u vidu dužinu

⁵ Jedinica je sastavljena od snaga za hemijsko izviđanje, laboratorijske poslove (neće se koristiti za rešavanje modelovanog problema) i dekontaminaciju.

kontaminirane deonice (1,7 km), potrebno vreme za realizaciju zadatka (u skladu sa opitovanim normama na obuci i vežbama⁶) bilo bi oko 1 čas.

Hemijska dekontaminacija kontaminirane deonice puta izvršila bi se upotrebom ACD M-78 sa pripremljenim rastvorom za dekontaminaciju (kalcijum-hidroksid) i primenom metode jednovremene dekontaminacije.⁷ Potrebno vreme za izvršenje hemijske dekontaminacije je oko 1,5 čas.

Moramo napomenuti, da se jedinice ABH službe u svojim zadacima prevashodno bave problemima otklanjanja nastalih posledica (nakon upotrebe oružja za masovno uništavanje – OMU ili nastanka nuklearnih i hemijskih udesa), a mnogo manje se mogu koristiti za preventivno delovanje u ovoj i sličnim situacijama.

Veoma je važno navesti da jedinice ABH službe koje se budu angažovale na rešavanju navedenog problema H udesa, moraju biti podržane odgovarajućim informacionim sistemom, kako bi sve vreme rada imali adekvatno praćenje hemijske situacije u realnom vremenu (Indić, i dr., 2013, pp.210-225).

U Vojsci Srbije se trenutno koriste dva programa: HeSPRO (Program za brzu procenu hemijske situacije) i NBC ANALYSIS⁸ (Luković, i dr., 2004), (NBC-ANALYSIS, 2010).

Zaključak

U radu je prikazano modelovanje H udesa i primena metode analitičkih hijerarhijskih procesa kod izbora jedinice ABH službe koja bi se mogla angažovati na otklanjanju posledica modelovanog udesa. Jedan od većih problema kod primene ove metode je definisanje atributa odlučivanja na drugom nivou (kriterijumi odlučivanja) i procena njihovih relativnih težina. Autori rada su definisali kriterijume i procenili vrednosti njihove relativne težine na osnovu sopstvenih iskustva u prethodnim naučnim istraživanjima.

Preciznim sprovođenjem postupka primene ove metode dobili smo sledeći poredak alternativa u modelu:

- B₃ (treća alternativa) – 0,433 (prva u rangu)
- B₄ (četvrta alternativa) – 0,265 (druga u rangu)
- B₁ (prva alternativa) – 0,177 (treća u rangu)
- B₂ (druga alternativa) – 0,125 (četvrta u rangu).

⁶ Mogućnosti jedinica ABH službe pri hemijskom izviđanju klasičnih toksičnih hemikalija su oko 0,5 km na čas (pri obavljanju aktivnosti ručnim hemijskim detektorom, na terenu koji nije unapred poznat i za vrlo dobro obučeno ljudstvo). Pošto se ovde radi o opasnim materijama koje se detektuju automatskim detektorima, na poznatom terenu i sa poznatom materijom, vremena su znatno kraća (3 do 4 puta).

⁷ Tri automobil-cisterne za dekontaminaciju (ACD M-78) se postavljaju duž kontaminirane deonice (u dodeljenoj zoni) i vrše dekontaminaciju istovremeno.

⁸ "NBC-ANALYSIS" je napredno softversko rešenje za upravljanje rizicima, čiji se rad zasniva na kombinaciji senzora (detektora) sa računarskom tehnologijom. Softver kao takav pruža informacije u realnom vremenu od značaja za brzo reagovanje u konkretnoj situaciji, odnosno za pravovremenu prognozu učinaka i preduzimanje mera zaštite ljudi i životne sredine.

Iz ovoga zaključujemo da treća alternativa ima najveću ukupnu vrednost (**0,433**), pa je zbog toga ona najpovoljnija odnosno optimalna. Ova opcija jedinice ABH službe (za obezbeđenje od nuklearnih i hemijskih udesa) je sasvim prihvatljiva imajući u vidu njenu opremljenost odgovarajućim sredstvima i obučenost njenih pripadnika za zadatke iz domena obezbeđenja od nuklearnih i hemijskih udesa.

Kao sledeća alternativa za angažovanje na otklanjanju posledica H udesa nameće se privremeni sastav ABH službe (četvrta alternativa) što je takođe realna opcija, kada se sagledaju snage koje ulaze u njegov sastav (snage za izviđanje, dekontaminaciju, laboratorijske poslove). Ova alternativa bi u nekim situacijama mogla biti i dominantna, ako bi se ove snage više vremena zajednički obučavale za izvršavanje zadataka otklanjanja posledica hemijskih udesa.

Naredna alternativa po važnosti je jedinica ABH službe za dekontaminaciju (prva alternativa) što je takođe moguća opcija, pošto se radi o hemijskom udesu nastalom usled izlivanja (isticanja) opasne hemijske materije koja se može dekontaminirati postojećim sredstvima i materijama za dekontaminaciju. Međutim, kada se uzme u obzir široki spektar opasnih materija i da se pojedine mogu dekontaminirati samo posebnim materijama za neutralizaciju upotreba ovih jedinica u najvećem broju slučajeva bi bila isključena bez dodatnog opremanja.

Najmanje verovatna opcija, u konkretnom primeru, je samostalna upotreba jedinice ABH službe za izviđanje (druga alternativa), jer su ove jedinice prvenstveno opremljene sredstvima za hemijsko izviđanje OMU i njihova upotreba u navedenom slučaju bi bila veoma ograničena (pre svega hemijsko izviđanje mesta udesa, uzimanje kontaminiranih uzoraka i eventualno praćenje kontaminiranog oblaka).

Izabrana jedinica za rešavanje modelovanog H udesa realizovala bi namenske zadatke (hemijsko izviđanje i dekontaminacija) u vremenu od oko 2,5 časa, ne računajući vreme dolaska do mesta udesa koje može trajati i više časova. U tome je verovatno i najveći problem njihovog angažovanja na celoj teritoriji R. Srbije (koju u skladu sa dodeljenim zadacima „pokrivaju“) uzimajući u obzir razmeštaj jedinica ABH službe (locirane su u gradu Kruševcu). Ako želimo da ove snage namenski angažujemo u nekom narednom periodu, mora se rešiti način njihovog brzog „prebacivanja“ iz rejonu mimodopske lokacije na mesto upotrebe (koje može biti i više stotina kilometara).

Primena navedenog modela može se koristiti i u drugim situacijama kada se radi o izlivanju opasnih hemijskim materija sličnih karakteristika kao fluorovodonična kiselina.

Literatura

Briggs, G.A., 2003, *Plume rise and buoyancy effects, Atmospheric science and power production*, DOE/TIC-27601, pp. 327-366.

Čupić, M., Suknović, M., 1995, *Višekriterijumsko odlučivanje – metode i primeri*, Univerzitet Braća Karić, Beograd, pp. 125-128.

Francois, B., et al., 2008, *Dispersion, in the atmosphere of a pollutant drifting at the sea surface: Galerne project*, pp.491-494, 12th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Cavtat, 6–9 October.

Indić, D. i dr., 2013., *Informacioni sistemi u upravljanju rizicima u životnoj sredini*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 61, no.1, pp.210-225.

Luković, Z. i dr., 2004, *Privremeno uputstvo za procenu i prognozu hemijske situacije pri udesima sa opasnim materijama i pri dejstvu po objektima u kojima se nalaze opasne materije*, Uprava ABHO, VIZ, Beograd.

Mackay, D., Matsugu, R.S., 1973, *Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water*, *Can.J.Chem.Eng.*, 51, pp.434-439.

Mučibabić S., 1998, *Application of an expanded min-max theorem and tables of decision making for solving multi-criterion conflict situations*, *Mathematica Moravica*, Beograd, vol. 2, pp. 85-90.

NBC-ANALYSIS, 2010, *User Reference Guide (Version 11.2)*, Bruhn New Tech.

Saaty, T.L., 1980., *Analytic hierarchy process*, McGraw-Hill, New York,

Samanta, B., Mukherjee, S.K., 2002, *Selection of opencast mining equipment by a multi-criteria decision – making process*, Institute of Mining and Metallurgy, Australia, pp. 136-141.

Službeni glasnik RS, 2010, Pravilnik o sadržini politike prevencije udesa i sadržini i metodologiji izrade izveštaja o bezbednosti i plana zaštite od udesa, br. 41.

U.S. Environmental Protection Agency, 1987, *Technical Guidance for Hazard Analysis – Emergency Planning for Extremely Hazardous Substances*, December.

World Bank, 1998, *Tecnical Report NO 55: Techniques for assessing industrial hazards*, Washington, DC, World Bank.

ENGAGEMENT MODEL FOR NBC SERVICE UNITS DURING CHEMICAL ACCIDENTS

FIELD: Chemical Technology, Environment Protection

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Abstract:

Chemical accidents are inevitable in modern technological development and they cause a number of effects on people, property and the environment. The nuclear-biological-chemical (NBC) services as well as specialized units of the Army of Serbia perform particular tasks in the elimination of the consequences of chemical accidents. This paper presents a modeling of the effects of chemical accidents and one possible method for the selection of NBC services engaged in the elimination of the consequences of chemical accidents, using the method of analytic hierarchy processes.

Introduction

Chemical accidents are inevitable in modern society, and the consequences that arise degrade the environment and hinder the work of man. In an integrated response to chemical accidents, different social structures are involved, among which the most significant are the units of the Army of Serbia.

The paper presents a method of selecting a specialized Army unit (NBC service unit) that could be successfully engaged in eliminating the consequences of chemical accidents.

Modeling the effects of chemical accidents

In order to obtain valid data on the magnitude of consequences of chemical accidents, modeling has to be carried out through the Accident scenario. This paper presents a chemical accident in an urban environment during the transportation of hydrofluoric acid. Chemical accidents in transport are most common and account for 40% of all accidents. When a chemical accident occurs, it is necessary to determine the concentration of hazardous substances modeled as follows: LC_{50} - median lethal concentration; IDLH - concentration dangerous to human health and 0.1 IDLH - concentration dangerous for sensitive population (children, elderly and sick).

After the completion of calculations, the ranges of dangerous fumes of hydrofluoric acid are determined to be from 310 to 360 m for IDLH and from 1700 to 1900 m for 0.1 IDLH. All this leads to the conclusion that in the response to chemical accidents, NBC service units must be included in order to participate in the elimination of consequences.

AHP method

In the field of multiple criteria decision-making, the most important is the method of analytic hierarchy process (AHP method). Proper defining of objectives, criteria and decision alternatives results in the initial parameters for solving a specific problem - a choice of NBC service units for the elimination of consequences of chemical accidents.

Four application stages (problem structuring, data collection, evaluation and determination of the relative weights of decision problems) lead to the selection of the best or optimal alternative.

Involvement of the NBC service in eliminating the effects of chemical accidents

For a concrete example, the decision maker should select an appropriate NBC service unit for eliminating the consequences of chemical accidents by properly defining the decision making criteria based on the alternatives offered. The AHP method and Expert Choice

software program help us arrive at an optimal solution, as shown in the synthesis table for the selection of the optimal alternative.

The selected units for solving modeled chemical contamination accidents would carry out dedicated tasks (chemical reconnaissance and decontamination) in a period of about 2.5 hours, not including the time of arrival to the site of the accident (which can last for several hours), which is a major problem in their use due to their uneven distribution in the Republic of Serbia.

Conclusion

The precise implementation of the AHP method, led to the following ranking in the model:

- unit for protection against nuclear and chemical accidents – ranked the first with 0.433 index points;
- NBC service temporary staff - second in rank with 0.265 index points;
- decontamination unit - ranks third with the 0.177 index points;
- reconnaissance unit - fourth in rank with 0.125 points.

It can be thus concluded that, for the purposes of engaging in the elimination of the consequences of chemical accidents, we should opt for the unit for protection against nuclear and chemical accidents as the optimal solution, followed by the backup version of the NBC service with temporary staff. Decontamination and reconnaissance units can be used independently during limited time and only for pre-defined tasks.

If NBC service units are to be engaged in the future in dealing with similar problems, the method of their rapid "switch" from their peacetime locations to accident sites has to be developed.

Keywords: accidents; AHP metod; NBC service; recovery; chemical accidents.

Datum prijema članka/Paper received on: 10. 05. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 29. 05. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 31. 05. 2013.