

**UNIVERSITATEA BABEȘ-BOLYAI
FACULTATEA DE ȘTIINȚA ȘI INGINERIA MEDIULUI**

**Analize calitative și cantitative în
managementul riscului în sectorul
industrial chimic**

Rezumatul tezei de doctorat

**Conducător Științific
Prof. univ. dr. Emil CORDOȘ**

**Doctorand
Török Zoltán**

**Cluj-Napoca
2010**

Cuprins

- numerotarea paginilor și a capitolelor este identică cu cea din teza de doctorat -

Partea I – noțiuni și concepte teoretice

Introducere	1
Capitolul 1 - Introducere în Managementul Dezastrelor Tehnologice	4
1.1. Directivele Seveso	4
1.2. Managementul dezastrelor tehnologice	5
1.3. Definiții principale folosite în evaluarea și managementul riscului tehnologic	6
Bibliografie	9
Capitolul 2 - Evaluarea riscului tehnologic	10
2.1. Structura analizei de risc tehnologic	10
2.2. Identificarea hazardurilor și evaluarea calitativă a riscurilor tehnologice	12
2.2.1. Analiza proprietăților substanțelor periculoase	14
2.2.2. Metoda listelor de verificare (check list)	19
2.2.3. Metoda de analiză "Dar Dacă?"	20
2.2.4. Metoda „Analiza Preliminară de Hazarduri” (PHA)	21
2.2.5. Metoda „Analiza Modurilor de Defectare și a Efectelor” (FMEA)	22
2.2.6. Metoda „Studiul Hazardurilor și al Operabilității” (HAZOP)	24
2.2.7. Metoda de evaluarea riscului prin indicele DOW	28
2.3. Metode cantitative de analiză de risc	29
2.3.1. Probabilitatea evenimentelor	30
2.3.2. Determinarea probabilității prin Analiza istorică	33
2.3.3. Evaluarea frecvenței evenimentelor de vârf. Arborele Greșelilor	33
2.3.4. Evaluarea frecvenței scenariilor accidentale. Arborele evenimentelor	38
2.3.5. Analiza efectelor și a consecințelor	41
2.4. Vulnerabilitatea populației	52
Bibliografie	54
Capitolul 3 - Estimarea și prezentarea riscului tehnologic	57
3.1. Riscul Individual	57
3.2. Riscul Social	60
Bibliografie	62

Partea II – aplicații practice

Capitolul 4 - Planificarea utilizării terenurilor în contextul Directivelor Seveso	63
4.1. Instalații din România cu risc ridicat	63
4.2. Aspecte generale privind planificarea utilizării terenurilor	64
4.3. Evaluarea riscului în planificarea utilizării terenurilor	68
4.3.1. Metode bazate pe consecințe	69
4.3.2. Metode bazate pe risc	70
4.3.3. Abordarea „deterministă”	72
4.3.4. Metode combinate	73
4.4. Practici curente pentru planificarea utilizării terenurilor în UE	74
4.5. Metodologia de determinare a distanțelor de siguranță conform “Ghidului pentru Planificarea amenajării teritoriale”	76
4.6. Concluzii	78
Bibliografie	79
Capitolul 5 - Analiza consecințelor și planificarea utilizării terenurilor în cazul accidentelor la depozitarea propanului și a gazului petrolier lichefiat	81
5.1. Prezentarea substanței: Propan și GPL (gaz petrolier lichefiat)	81
5.2. Caracteristici toxicologice, eco-toxicologice și pericole pentru om și mediu	82
5.2.1. Caracteristici toxicologice	82
5.2.2. Efectele asupra mediului înconjurător	83
5.3. Comportamentul fizic și chimic, în condiții normale de utilizare și în condiții previzibile de accident	84
5.4. Explozia BLEVE	84
5.4.1. Modelarea matematică a fenomenului BLEVE	86

5.5. Studiu de caz: accidentul de la Feyzin	88
5.5.1. Prezentarea instalației și situația stocului	88
5.5.2. Cauzele și desfășurarea accidentului	89
5.5.3. Efectele și consecințele accidentului	93
5.5.4. Pierderi umane și materiale	97
5.5.5. Erori constatate și lecții învățate din accident	98
5.5.6. Concluzii legate de accidentul de la Feyzin	100
5.6. Analiza comparativă a efectelor și a consecințelor în urma fenomenului BLEVE	100
5.6.1. Estimarea consecințelor radiațiilor termice	102
5.6.2. Analiza efectelor și a consecințelor în contextul planificării utilizării teritoriului folosind metodologia franceză	106
5.6.3. Analiza efectelor și a consecințelor în contextul planificării utilizării teritoriului folosind metodologia italiană	110
5.6.4. Analiza efectelor și a consecințelor în contextul planificării utilizării teritoriului folosind metodologia austriacă	112
5.6.5. Analiza comparativă a rezultatelor obținute folosind cele trei metodologii	114
5.7. Concluzii	115
Bibliografie	116
Capitolul 6 - Analiza consecințelor și planificarea utilizării terenurilor în cazul accidentelor la depozitarea clorului	118
6.1. Prezentarea substanței: clorul	118
6.1.1. Proprietățile fizice ale clorului	119
6.1.2. Proprietățile chimice ale clorului	120
6.2. Caracteristicile toxicologice, eco-toxicologice și indicarea pericolelor pentru om și mediu	120
6.2.1. Aspecte privind expunerea umană la clor	120
6.2.2. Efectele clorului asupra vegetației	121
6.3. Obținerea clorului	122
6.4. Prelucrarea clorului	124
6.5. Studiul de caz: Depozitul de clor în localitatea Turda	124
6.5.1. Date generale	125
6.5.2. Localități și orașe învecinate	126
6.5.3. Geomorfologia zonei	127
6.5.4. Caracterizarea climatică	127
6.5.5. Arii de interes pentru conservarea naturii	129
6.5.6. Căi de acces	129
6.5.7. Schema de operații și a fluxului tehnologic	129
6.6. Fenomenul curgerii. Starea termodinamică a substanței chimice	131
6.6.1. Curgerea bifazică	131
6.6.2. Dinamica rezervorului	132
6.6.3. Moduri de deversări	133
6.7. Identificarea punctelor critice la instalația studiată	133
6.8. Estimarea calitativă a riscurilor	135
6.8.1. Alegerea scenariilor accidentale	137
6.8.2. Concluzii legate de evaluarea calitativă a riscului	138
6.9. Analiza comparativă a efectelor și a consecințelor în urma fenomenului de dispersie a clorului	138
6.9.1. Date de intrare utilizate în simularea scurgerii și dispersiei clorului	139
6.9.2. Simularea dispersiei clorului cu SEVEX View	139
6.9.2.1. Metodologia de lucru pentru planificarea utilizării terenurilor	142
6.9.2.2. Rezultate obținute prin simulările cu SEVEX View	143
6.9.3. Simularea dispersiei clorului cu SLAB View	152
6.10. Concluzii	155
Bibliografie	157
Capitolul 7 - Analiza consecințelor și planificarea utilizării terenurilor în cazul accidentelor la depozitarea azotatului de amoniu	159
7.1. Prezentarea substanței: azotatul de amoniu	159
7.2. Proprietățile fizice ale azotatului de amoniu	160

7.3. Proprietățile chimice ale azotatului de amoniu	160
7.4. Caracteristicile toxicologice, eco-toxicologice și indicarea pericolelor pentru om și mediu	161
7.4.1. Efecte asupra sănătății umane	161
7.4.2. Efectele azotatului de amoniu asupra mediului înconjurător	162
7.5. Comportamentul fizic și chimic a azotatului de amoniu în condiții normale de utilizare și în condiții previzibile de accident	162
7.6. Hazardurile și riscurile potențiale asociate azotatului de amoniu	162
7.6.1. Estimarea riscului legat de instabilitatea substanței	163
7.6.2. Incendiul	165
7.6.3. Explozia	168
7.7. Principii generale de securitate la depozitarea, manipularea și transportul azotatului de amoniu	171
7.7.1. Depozitarea și manipularea azotatului de amoniu	172
7.8. Studiu de caz: Evaluarea riscului la depozitarea azotatului de amoniu într-un port naval	175
7.8.1. Descrierea situației stocului de azotat de amoniu	176
7.8.2. Identificarea hazardurilor și a zonelor vulnerabile	176
7.8.3. Selectarea scenariilor accidentale	178
7.8.4. Evaluarea calitativă a riscurilor accidentelor majore identificate	181
7.8.4.1. Identificarea calitativă a consecințele accidentelor majore conform scenariilor identificate	182
7.8.4.2. Matricea de evaluare a riscurilor	184
7.8.4.3. Concluzii legate de evaluarea calitativă a riscurilor	187
7.8.5. Analiza efectelor și a consecințelor legate de depozitarea și manevrarea azotatului de amoniu	187
7.8.6. Analiza efectelor și a consecințelor în contextul planificării utilizării terenurilor folosind metodologia franceză, italiană și austriacă	192
7.9. Concluzii	194
Bibliografie	195
Capitolul 8 - Propunerea metodologiei de planificarea utilizării terenurilor	197
8.1. Metodologia recomandată	197
8.2. Contribuții originale	199
Anexa 1	200
Anexa 2	202
Anexa 3	208
Anexa 4	210
Anexa 5	228
Anexa 6	267
Lista de acronime și abrevieri	275
Lista de simboluri	277
Lista de lucrări	279

Cuvinte cheie: evaluare de risc, calitativ, cantitativ, planificarea utilizării terenurilor, consecințe

INTRODUCERE

Accidentele tehnologice majore sunt deosebit de importante din punctul de vedere al impactului și riscului asupra sănătății populației și mediului înconjurător. Directiva principală utilizată în UE pentru prevenirea accidentelor tehnologice este directiva Seveso III, care a fost implementată și în România prin Hotărârea de Guvern 804 din 2007 [1] și completată de Hotărârea de Guvern 79 din 2009 [2]. Aceste Directive Seveso reglementează măsurile privind prevenirea și controlul pericolelor de accidente majore în care sunt implicate substanțe periculoase.

Dezvoltarea industriilor de proces a determinat creșterea cazurilor incidentelor și accidentelor tehnologice și chimice în mod deosebit. Directivele Seveso au fost elaborate în UE în

urma accidentelor tehnologice istorice de la Flixborough (1974) [3], Seveso (1976) [3], Bhopal (1984) [3], Baia Mare (2000) [4], Toulouse (2001) [5] etc.. Aceste accidente au relevat necesitatea unui control mult mai riguros al proceselor chimice, pentru prevenirea dezastrelor tehnologice.

Teza de doctorat tratează o temă de mare interes atât la nivel național cât și internațional, datorită faptului că în foarte multe industrii se lucrează cu substanțe periculoase în cantități mari și cu parametri periculoși de proces (presiune, temperatură înaltă etc.). Directiva Seveso III aplicată în țările UE reglementează activitățile unde sunt folosite substanțele periculoase în cantități suficiente ca să producă accidente majore. Astfel, evaluarea riscului are un rol principal în toate activitățile industriale care intră sub incidența Directivei Seveso.

În conformitate cu prevederile HG nr. 804/2007 autoritățile publice locale responsabile cu planificarea amenajării și utilizării terenurilor, în colaborare cu autoritățile publice competente la nivel regional și județean, trebuie să ia măsurile necesare ca în politica de dezvoltare a teritoriului să fie luate în considerare obiectivele de prevenire a accidentelor majore și de limitare a consecințelor acestora. În multe țări membre ale Uniunii Europene există metodologii bine stabilite pentru evaluarea riscului în cazul planificării utilizării teritoriului. În România, în anul 2007 au fost inventariate 202 unități industriale tip Seveso [6], dar după trei ani de la aderarea în UE încă nu există o metodologie unică și acceptată care să fie folosită de evaluatorii de risc pentru planificarea utilizării terenurilor.

Scopul principal al tezei de doctorat este găsirea unor soluții eficiente de estimare a riscului tehnologic pentru planificarea utilizării terenurilor, planificare a urgențelor și propunere a unei metodologii care să poată fi folosită cu acest scop.

Teza de doctorat prezintă o abordare nouă a problemelor modelării și simulării accidentelor tehnologice, o abordare comparativă a tehnicilor de modelare mai vechi și mai noi.

Obiectivele generale ale lucrării sunt:

- Prezentarea procedurii de Evaluare a Riscului Tehnologic, prin prezentarea unor metode și tehnici utilizate în domeniu;
- Investigarea unor tipuri de accidente tehnologice la depozitarea substanțelor periculoase: propan, clor și azotat de amoniu;
- Compararea mai multor metodologii de planificare a utilizării terenurilor folosite în UE, în funcție de limitele prestabilite în ele, cu ajutorul studiilor de caz;
- Găsirea unor soluții practice, eficiente pentru reducerea riscului tehnologic, planificarea urgențelor chimice și planificarea utilizării terenurilor, folosind rezultatele simulărilor efectuate.

Între obiectivele specifice ale lucrării se pot enumera următoarele:

- Compararea rezultatelor obținute prin modelare și simulare cu computerul, pentru cazurile accidentale tratate, folosind metoda de analiză de risc bazată pe consecințele accidentelor;
- Compararea modelelor dezvoltate pentru evenimente tip BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion);
- Compararea rezultatelor modelărilor dispersiilor toxice efectuate cu ajutorul modelelor bi-dimensionale și tri-dimensionale.

Teza este structurată pe două părți: o primă parte de fundamentare teoretică (Capitolele 1-3), în care sunt prezentate conceptele fundamentale folosite în managementul dezastrelor tehnologice, structura analizei de risc tehnologic și metodele de analiză calitativă și cantitativă; o a doua parte (Capitolele 4-8) practică, care tratează necesitatea unei metodologii de evaluare a riscului pentru planificarea utilizării terenurilor și trei studii de caz despre depozitarea propanului, clorului și azotatului de amoniu, cu ajutorul cărora sunt analizate riscurile, iar rezultatele sunt comparate pentru propunerea metodologiei de evaluare.

Rezultatele analizelor de risc obținute în studiile de caz reflectă importanța planificării eficiente a utilizării terenurilor și necesitatea dezvoltării unei metodologii de evaluare de risc în acest domeniu.

Bibliografie

- [1]. *Hotărârea de Guvern nr. 804/2007 privind controlul asupra pericolelor de accident major în care sunt implicate substanțe periculoase*, Monitorul Oficial, 8 august 2007.
- [2]. *Hotărârea de Guvern nr. 79/2009 pentru modificarea Hotărârii Guvernului nr. 804/2007 privind controlul asupra pericolelor de accident major în care sunt implicate substanțe periculoase*, Monitorul Oficial 104, 20 februarie 2009.
- [3]. S. Mannan, *Lees' Loss Prevention in the Process Industries. Hazard Identification, Assessment and Control*, Elsevier, Third Edition, Oxford, **2005**.
- [4]. M. Drinkwater, M.J. Nieuwenhuijsen, R. Rautiu, A. Voight, A. Ozunu, *Health Risk Communication in Emergencies: A Qualitative Evaluation of the Baia Mare Cyanide Accident, in Gold Extraction in Central and Eastern Europe (CEE) and the Commonwealth of Independent States (CIS) Health and Environmental Risks*, Editors: U.Ranft, B.Pesch, A.Vohgt, Jagiellonian University Press, Luxemburg, Chapter 7, **2005**, p.167-180.
- [5]. N. Dechy, T. Bourdeaux, N. Ayrault, M.-A. Kordek, J.-C. Le Coze, *First lessons of the Toulouse ammonium nitrate disaster, 21st September 2001, AZF plant, France*, Journal Of Hazardous Materials, Vol. 111, Issue 1-3, **2004**, p. 131-138.
- [6]. O. Salvi, A. Jovanovic, C. Bolvin, C. Dupuis, C.Vaquero, D. Balos, A-M. Villamizar, *F-Seveso. Study of effectiveness of the Seveso II Directive. Final report*, **2008**, Disponibil la: <http://www.f-seveso.eu-vri.eu/>, Accesat în septembrie 2009.

Capitolul 1 Introducere în Managementul Dezastrelor Tehnologice

Managementul dezastrelor tehnologice este ansamblul tuturor activităților pentru reducerea riscului tehnologic, prevenirea dezastrelor tehnologice și a măsurilor efectuate pentru rezolvarea situațiilor de urgență cu scopul de a proteja populația, mediul și economia față de dezastrele antropice.

1.1. Directivele Seveso

Aceste directive reglementează măsurile privind prevenirea și controlul pericolelor de accidente majore în care sunt implicate substanțe periculoase, precum și limitarea consecințelor acestora asupra sănătății populației și mediului, pentru asigurarea unui nivel înalt de protecție, într-un mod performant, eficient și coerent. În acest cadru sunt reglementate unitar activitățile legate de producția, depozitarea, transportul, utilizarea sau deversarea unor substanțe periculoase, în vederea limitării consecințelor pentru om și mediu [1].

Categoriile de activități ce intră sub incidența Directivei Seveso III sunt prezentate în Anexa 1 a tezei de doctorat.

1.2. Managementul dezastrelor tehnologice

Managementul dezastrelor tehnologice poate fi împărțit în două părți majore: *Managementul riscurilor chimice și Managementul situațiilor de urgență*.

Managementul riscurilor este definit ca suma tuturor activităților și măsurilor efectuate pentru reducerea riscului. Managementul riscului încearcă echilibrarea conflictelor ce apar la exploatarea oportunităților pe de o parte și evitarea pierderilor, accidentelor și a dezastrelor pe de altă parte [2].

1.3. Definiții principale folosite în evaluarea și managementul riscului tehnologic

Hazardul în industria chimică se definește ca fiind o proprietate chimică sau fizică care are potențialul să producă pierderi umane, materiale sau pagube în mediu. De exemplu o substanță explozivă sau un rezervor sub presiune în care este depozitată o substanță toxică [3].

Riscul este *probabilitatea* ca hazardul existent să se transforme într-un incident/accident [3].

Riscul în industria chimică se definește sub forma unor pierderi probabile anuale de producție sau accidente umane ca rezultat a unor evenimente tehnice neprevăzute. *Riscul* este o combinație a incertitudinii și a pagubelor, raportul între hazard și siguranță [4].

O nouă abordare în calculul riscului tehnologic propune includerea vulnerabilității în formula riscului [3]:

$$R = F \times C \times V \quad (1.2)$$

unde: F – frecvența evenimentului (nr. eveniment/an); C – consecințele (tone/eveniment sau decese/eveniment); V – vulnerabilitatea populației din zonă sau a personalului de pe amplasament.

Accidentul chimic poate să fie definit drept o pierdere de conținut de material sau energie.

Analiză de risc: Estimarea cantitativă a riscului, bazată pe metode ingineresti și matematice pentru combinarea estimării consecințelor și frecvențelor de accidente.

Evaluare de risc: Proces cu ajutorul căruia rezultatele analizei de risc sunt folosite pentru a lua decizii prin folosirea strategiilor de reducere a riscului [4].

Bibliografie

- [1]. *** *Hotărârea de Guvern nr. 804/2007 privind controlul asupra pericolelor de accident major în care sunt implicate substanțe periculoase*, Monitorul Oficial, 8 August 2007.
- [2]. T. Aven, *Risk Analysis: Assessing Uncertainties Beyond Expected Values and Probabilities*, Ed. Wiley, Marea Britanie, 2008.
- [3]. A. Ozunu, C. Anghel, *Evaluarea riscului tehnologic și securitatea mediului*, Editura Accent, Cluj-Napoca, 2007.
- [4]. *** American Institute of Chemical Engineers (AIChE), *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, Second Edition, New York, 2000.

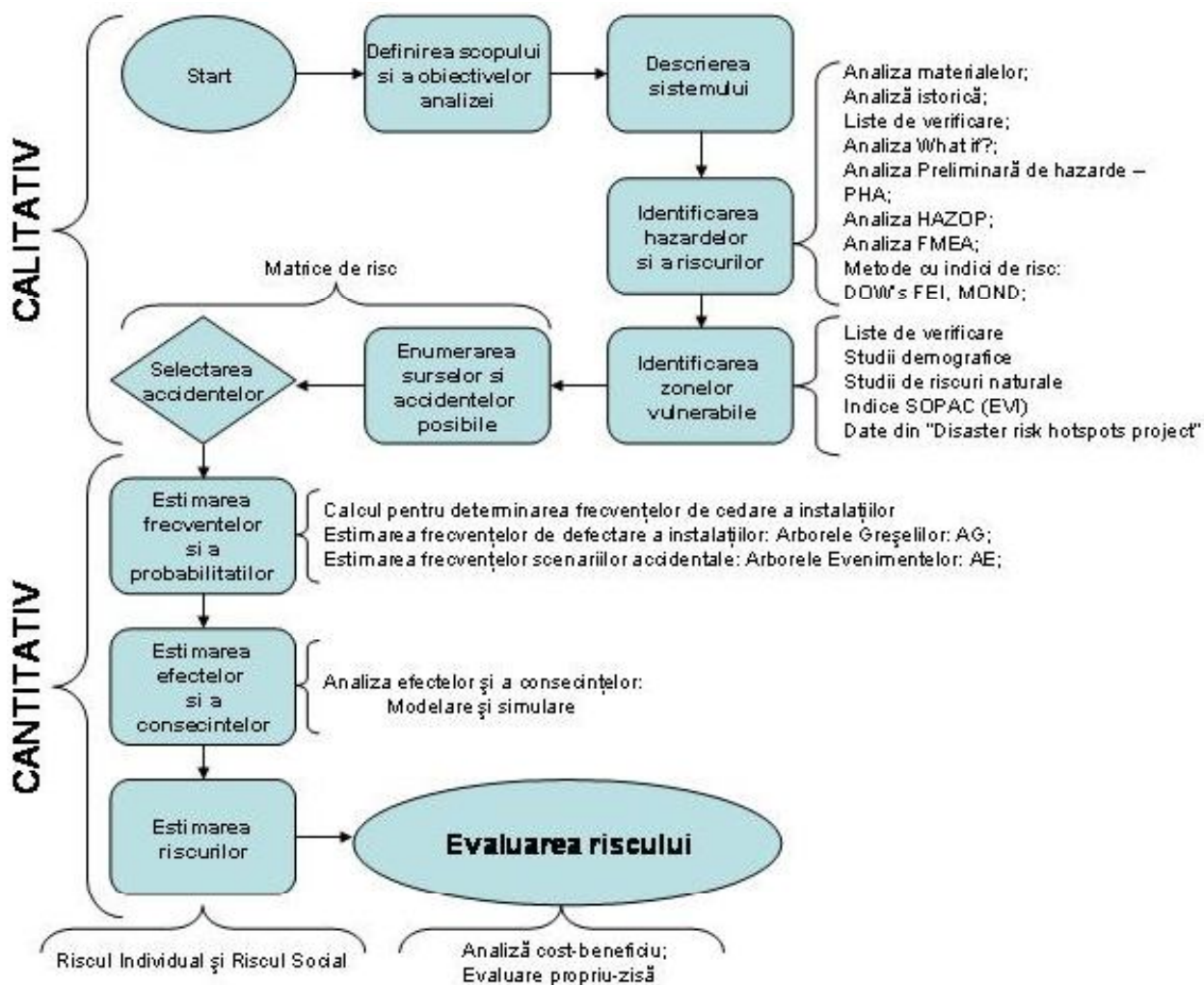
Capitolul 2 Evaluarea riscului tehnologic

Evaluarea riscului tehnologic este un studiu complex, care se bazează pe o serie de metode de analize calitative și cantitative, prin care se estimează probabilitatea și gravitatea accidentelor tehnologice și se stabilește necesitatea măsurilor de prevenire a accidentelor. Procesul de evaluare a riscului tehnologic poate fi împărțit în patru etape majore, și anume: identificarea hazardurilor; evaluarea hazardurilor; analiza riscului; evaluarea riscului.

Fiecare dintre aceste etape conține o serie de metode recunoscute și folosite cu succes pe plan mondial, cu ajutorul cărora se pot identifica hazardurile existente și se poate estima riscul tehnologic.

2.1. Structura analizei de risc tehnologic

Analiza și evaluarea riscului tehnologic poate să fie împărțită în mai multe etape fundamentale. În schema 2.1 este prezentat procedeul de evaluare a riscului și metodele folosite.



Schema 2.1: Evaluarea riscului tehnologic [1, 2]

În domeniul evaluării riscului există diferențe de opinie în ceea ce privește utilizarea metodelor de analize calitative sau cantitative. Factorul calitativ-cantitativ este proprietatea de bază a metodelor de analiză a hazardurilor. Majoritatea metodelor de analiză sunt efectuate cu scopul identificării hazardurilor și pentru determinarea riscului de transformare a hazardului în accident.

Pentru determinarea riscului de accident a hazardului identificat, trebuie utilizată o metodologie de caracterizare a parametrilor de probabilitate și magnitudine. Au fost dezvoltate atât metode calitative cât și metode cantitative, care sunt folosite cu succes, fiecare metodă având avantajele și dezavantajele proprii.

Analiza calitativă implică folosirea unor criterii calitative, folosind diferite categorii pentru separarea parametrilor, cu definiții calitative care stabilesc scala pentru fiecare categorie. De asemenea, sunt luate decizii calitative, bazate pe expertiza în domeniu, pentru încadrarea elementelor în categorii. Această abordare este subiectivă, dar permite un grad de generalizare mai ridicat, fiind mai puțin restrictivă.

Analiza cantitativă include folosirea datelor numerice sau cantitative și furnizează rezultate cantitative.

Această abordare este mult mai obiectivă și mai precisă. Trebuie menționat faptul că rezultatele cantitative pot fi afectate foarte mult de precizia și validitatea parametrilor de intrare.

Din acest motiv rezultatele cantitative în cazul analizelor de risc nu ar trebui considerate ca numere exacte, ci estimativ cu o scală variabilă care depinde de calitatea datelor.

Metodele și tehnicile de identificare a hazardurilor tehnologice și de analiză a riscurilor prezentate în teza de doctorat sunt următoarele:

a) Metode calitative de identificare a hazardelor și estimare a riscului:

- Analiza proprietăților substanțelor periculoase;
- Metoda listelor de verificare (check list);
- Metoda de analiză "Dar Dacă?";
- Metoda „Analiza Preliminară de Hazarduri” (PHA);
- Metoda „Analiza Modurilor de Defectare și a Efectelor” (FMEA);
- Metoda „Studiul Hazardurilor și al Operabilității” HAZOP;
- Metoda de evaluare a riscului prin indicele DOW;
- Determinarea probabilității prin Analiza istorică;

b) Metode cantitative de analiză de risc:

- Evaluarea frecvenței evenimentelor de vârf. Arborele Greșelilor;
- Evaluarea frecvenței scenariilor accidentale. Arborele evenimentelor;
- Analiza efectelor și a consecințelor prin modelarea matematică și simularea accidentelor tehnologice.

Bibliografie

- [1]. ***American Institute of Chemical Engineers (AIChE), *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, Second Edition, New York, **2000**.
- [2]. S. Mannan, *Lees' Loss Prevention in the Process Industries. Hazard Identification, Assessment and Control*, Elsevier, Third Edition, Oxford, **2005**.

Capitolul 3 Estimarea și prezentarea riscului tehnologic

Pentru prezentarea rezultatelor obținute din analiza hazardurilor și a riscului există mai multe modalități. Riscul poate fi prezentat ca și estimări de risc sub formă de tabele de risc sau se pot prezenta pe hărți zonele cu efecte diferite a accidentelor. Riscul se poate referi la numărul de persoane decedate, numărul de persoane decedate sau rănite sau la pagube materiale.

La prezentarea riscului analistul trebuie să decidă forma prezentării și termenii la care se referă rezultatul, fiind vorba despre persoane decedate, rănite sau pagube.

Analiza cantitativă a riscului include și determinarea Riscului Individual (**RI**) și a Riscului Social (**RS**).

Riscul Individual reprezintă frecvența de deces individual datorat unui eveniment accidental apărut într-un sistem cu potențial de poluare. Individul se presupune a fi neprotejat și prezent în zonă pe toată perioada expunerii [1].

Riscul Social reprezintă frecvența evenimentelor accidentale la care este așteptat un număr N de decese. Riscul social este reprezentat grafic de curba F-N, pe scară logaritmică, unde F este frecvența cumulativă a evenimentelor accidentale, iar N este numărul de decese [2, 3].

Bibliografie

- [1]. A. Ozunu, C. Anghel, *Evaluarea riscului tehnologic și securitatea mediului*, Ed. Accent, Cluj-Napoca, **2007**.
- [2]. ***American Institute of Chemical Engineers (AIChE), *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, Second Edition, New York, **2000**.

[3]. T. Aven, *Risk Analysis: Assessing Uncertainties Beyond Expected Values and Probabilities*, Ed. Wiley, Marea Britanie, **2008**.

Capitolul 4

Planificarea utilizării terenurilor în contextul Directivelor Seveso

Evaluarea riscului este o procedură structurată de evaluare calitativă și/sau cantitativă a nivelului de risc generat de surse de pericol identificate în instalații. Scopul evaluării riscului este de a furniza informațiile necesare pentru luarea unei decizii. Dintre aceste decizii, cele legate de planificarea utilizării terenului sunt de mare importanță, iar riscul, ca un factor al acestora, este unul din parametrii principali.

În conformitate cu prevederile HG nr. 804 din 25 iulie 2007 *privind controlul asupra pericolelor de accident major în care sunt implicate substanțe periculoase (art. 13)*, autoritățile publice locale responsabile cu planificarea amenajării și utilizării terenurilor, în colaborare cu autoritățile publice competente la nivel regional și județean, trebuie să ia măsurile necesare ca în politica de dezvoltare a teritoriului să fie luate în considerare obiectivele de prevenire a accidentelor majore și de limitare a consecințelor acestora [1].

În acest scop, autoritățile publice competente la nivel regional și județean efectuează verificări cu privire la poziționarea noilor amplasamente și (în colaborare cu autoritățile publice responsabile cu planificarea utilizării terenurilor) iau măsurile necesare pentru ca politicile de dezvoltare și amenajare a teritoriului și procedurile de punere în aplicare a acestora să țină cont de necesitatea menținerii unor distanțe adecvate, stabilite în funcție de nivelul de pericol, între amplasamentele cărora le sunt aplicabile prevederile hotărârii de guvern mai sus menționate și zone rezidențiale, clădiri și zone de utilitate publică, căi principale rutiere, zone de recreere și zone protejate de interes și sensibilitate deosebite, astfel încât să se reducă riscurile pentru populație.

Conform raportului final al studiului F-Seveso (Studiul de eficacitate al Directivei Seveso II), apărut în 29 august 2008, în România au fost inventariate 202 unități industriale, din care 131 cu risc major și 71 cu risc minor, țara plasându-se pe locul 10 în privința numărului unităților industriale tip Seveso în țările UE [2].

4.3. Evaluarea riscului în planificarea utilizării terenurilor

Managementul riscului în contextul planificării utilizării terenului tratează următoarele domenii:

- dezastre naturale (inundații, avalanșe, cutremure etc.);
- impacturi pe termen lung sau permanente (emisii industriale sau municipale etc.);
- dezastre antropice (deversări accidentale);
- dezastre tip NATECH (dezastre naturale care declanșează accidente tehnologice).

Metodele existente de evaluare a riscului în domeniul planificării teritoriale pot fi considerate ca făcând parte din acele metode folosite la analiza riscului în cazul operatorilor industriali, experiența arătând că în cele mai multe cazuri există o legătură strânsă între evaluarea riscului pentru stabilirea siguranței activităților industriale și evaluarea riscului în contextul planificării teritoriale.

Categoriile de metode de evaluare a riscului, recomandate în ghidul „*Land Use Planning Guidelines*” [3] editat în septembrie 2006 de Comisia Europeană pentru a sprijini statele membre în alegerea unui sistem potrivit, sunt prezentate în următoarele subcapitole.

4.3.1. Metode bazate pe consecințe: Abordarea „bazată pe consecințe” pornește de la evaluarea consecințelor unor accidente posibile, fără a cuantifica explicit probabilitatea de producere a acestor accidente. În acest fel se evită cuantificarea frecvențelor de producere a accidentelor potențiale și a

incertitudinilor asociate. Conceptul de bază este existența unuia sau a mai multor „scenarii foarte grave”, care sunt definite în funcție de experiențele anterioare, datele istorice, judecata experților și informațiile calitative obținute din identificare hazardurilor.

4.3.2. Metode bazate pe risc: Scopul este evaluarea gravității accidentelor potențiale și estimarea probabilității de producere a acestora. Pentru estimarea probabilității de producere a unui accident se folosesc mai multe metode, de la selectarea simplă a scenariilor și frecvențelor dintr-o bază de date până la aplicarea unor instrumente sofisticate, de exemplu Arborii logici. În general, abordarea bazată pe risc definește riscul ca o combinație între consecințele produse de mai multe accidente posibile și probabilitățile de producere a acestor accidente.

4.3.3. Abordarea „deterministă”: Nu este o metodă de evaluare a riscului pentru planificarea terenurilor într-un sens strict. Această abordare are la bază ideea că trebuie să existe suficiente măsuri de protejare a populației în cazul unui accident considerat a fi cel mai grav. În acest scop, se consideră că a fost realizată evaluarea consecințelor celui mai grav accident. Abordarea are la bază dorința de a opera fără impunerea unui risc posibil populației din vecinătatea amplasamentului (*principiul risc-zero*). Pentru atingerea acestui scop, se aplică tehnologie ultra modernă și măsuri de siguranță suplimentare la sursă, pentru a restrânge consecințele unui accident posibil în interiorul amplasamentului.

4.3.4. Metode combinate: Metodele semi-cantitative pot fi văzute ca o categorie specifică a metodelor bazate pe risc sau consecințe. În acest caz, un element explicit cantitativ (de ex. o analiză a probabilității) este completat de unul calitativ (de ex. evaluarea consecințelor) sau invers.

Există motive bine întemeiate pentru care nu se alege întotdeauna scenariile cele mai grave în evaluarea riscului în scopuri de planificare a terenurilor, chiar dacă ele trebuie analizate conform cerințelor directivei Seveso, în special pentru elaborarea planurilor de urgență externă.

Selectarea scenariilor de accidente fie pentru planificarea terenurilor, fie pentru planificarea răspunsului la urgență are la bază diferența dintre timpul de intervenție a echipelor de răspuns la urgență și timpul de dezvoltare completă a unui accident. Acest lucru înseamnă că toate scenariile care se referă la explozii (mecanice sau chimice) trebuie considerate o prioritate pentru planificarea utilizării terenurilor, din cauza lipsei de timp pentru intervenție la amplasament [3].

4.4. Practici curente pentru planificarea utilizării terenurilor în UE

Orice tentativă de a stabili recomandări pentru planificarea terenurilor trebuie să țină seama de diferențele semnificative din legislația națională a țărilor membre și de practicile aplicate. Astfel se poate face o distincție între legislația din diverse țări:

- țări care au stabilit deja proceduri bine structurate pentru luarea în considerare a pericolelor de accidente majore în planificarea terenurilor;
- țări în care astfel de proceduri sunt în curs de elaborare, neexistând încă reglementări explicite pentru planificarea terenurilor în vecinătatea instalațiilor periculoase.

Țări precum Olanda, Marea Britanie, Franța și Germania au elaborat deja o procedură completă pentru planificarea terenurilor. Țările sud-europene: Italia, Grecia, Spania, Portugalia, aparțin celei de-a doua categorii, în timp ce Danemarca este foarte aproape de stabilirea acestor proceduri. Despre țările aflate în acest stadiu nu se poate spune că nu acordă atenție pericolelor majore, dar controlul planificării terenului din vecinătatea instalațiilor periculoase este asigurat până acum de legislația referitoare la planificarea „fizică” și constă din proceduri în care pericolele de accidente nu sunt considerate explicit în politicile de utilizare a terenurilor. De aceea, în aceste țări se elaborează reglementări noi și explicite în baza Directivei Seveso III.

În mai 2004 a fost editat “*Ghidul pentru calcularea accidentelor majore*” elaborat de Dr. H. Joachim Uth (Twinning Project RO/2002/IB/EN/02), care reflectă experiența din Germania referitoare la acest aspect [4].

4.6. Concluzii

În România nu există o legislație coerentă privind planificarea utilizării terenurilor în contextul prevederilor art. 12 al Directivei Seveso, cu excepția prevederilor privind explozivii și amplasarea conductelor magistrale pentru transportul gazelor naturale.

În consecință, în lucrarea de față se propune dezvoltarea unei metodologii de evaluare a riscului pentru planificarea utilizării terenurilor în cazul depozitării substanțelor periculoase inflamabile, explozive sau toxice. Pentru elaborarea metodologiei sunt considerate trei studii de caz cu scenarii accidentale tehnologice la depozitarea următoarelor substanțe periculoase: propan, clor și azotat de amoniu.

Fiecare studiu de caz tratează un accident tehnologic în care este implicată o substanță din cele enumerate mai sus. Sunt estimate efectele și consecințele accidentelor și sunt calculate distanțele pentru planificarea utilizării terenurilor, considerând mai multe metodologii folosite în statele membre ale UE.

Metodologia finală propusă se bazează pe mai multe documente și anume:

- „*Ghidul pentru calcularea accidentelor majore*” elaborat de Dr. H. Joachim Uth [4];
- Metodologia franceză de planificare a utilizării terenurilor elaborată de Ministerul Ecologiei, Energiei, Dezvoltării Durabile și a Mării din Franța [5];
- Metodologia italiană de planificare a utilizării terenurilor elaborată de Ministerul Lucrărilor Publice din Italia [6];
- Metodologia austriacă de planificare a utilizării terenurilor elaborată de „Grupul de lucru permanent Seveso” din Austria [7].

Bibliografie

- [1]. ****Hotărârea de Guvern nr. 804/2007 privind controlul asupra pericolelor de accident major în care sunt implicate substanțe periculoase*, Monitorul Oficial, 8 August 2007.
- [2]. O. Salvi, A. Jovanovic, C. Bolvin, C. Dupuis, C. Vaquero, D. Balos, A-M. Villamizar, *F-Seveso. Study of effectiveness of the Seveso II Directive. Final report*, 2008, Disponibil la: <http://www.f-seveso.eu-vri.eu/>.
- [3]. ***Major Accident Hazards Bureau (MAHB), *Land Use Planning Guidelines in the context of Article 12 of the Seveso II Directive 96/82/EC as amended by Directive 105/2003/EC*, Ed. M.D. Christou, M. Struckl, T. Biermann, European Commission, Joint Research Centre, 2006, Disponibil la: <http://mahbsrv.jrc.it/downloads-pdf/LUP%20Guidance-2006.pdf>, Accesat în noiembrie 2009.
- [4]. H. J. Uth, *Twinning Project RO/2002/IB/EN/02*, German Federal Environmental Agency, Disponibil la: <http://www.apmbc.ro/download/2457.doc>, Accesat în noiembrie 2009.
- [5]. ***Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer (Ministerul Ecologiei, Energiei, a Dezvoltării Durabile și al Mării), *Ghid pentru planificarea utilizării terenurilor*, Disponibil la: http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/DPPR_PPRT_v4tbd_B.pdf, Accesat în ianuarie 2010.
- [6]. ***Ministero dei Lavori Pubblici (Ministerul Lucrărilor Publice), *Decreto 9 Maggio 2001 - Requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione urbanistica e territoriale per le zone interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante*, Disponibil la: <http://www.ambiente.it/impresa/legislazione/leggi/2001/dm9-5-2001.htm>, Accesat în ianuarie 2010.
- [7]. ***Austrian Permanent Seveso Working Group (Grupul de Lucru Permanent Seveso din Austria), *Calculation of appropriate distances for the purposes of Land Use Planning, Emergency Planning and Domino Effects*, Disponibil la:

Capitolul 5

Analiza consecințelor și planificarea utilizării terenurilor în cazul accidentelor la depozitarea propanului și a gazului petrolier lichefiat

În ultimii 50 de ani multe accidente tehnologice au avut loc în industria de rafinare a petrolului și petrochimică, accidente în care au fost implicate substanțe foarte inflamabile ca GPL-ul (gaz petrolier lichefiat) și alte produse petroliere, conducând la fenomenul BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion, „Explozia datorată Expansiunii Vaporilor unui Lichid care Fierbe”).

Obiectivul studiului de caz este găsirea unor soluții practice, eficiente pentru planificarea utilizării terenurilor și planificarea urgențelor chimice. În consecință, s-a realizat un studiu comparativ între rezultatele modelărilor fenomenului BLEVE și consecințele observate în urma accidentului de la Feyzin, Franța (1966) [1], furnizând propuneri pentru o metodologie de evaluare a riscului pentru planificarea utilizării terenurilor în cazul depozitelor de GPL.

5.1. Prezentarea substanței: Propan și GPL (gaz petrolier lichefiat)

Propanul face parte din categoria hidrocarburilor gazoase, fiind un alcan aciclic saturat cu o catenă de trei atomi de carbon legați prin legături simple covalente. GPL-ul este un amestec de hidrocarburi gazoase, conținând de obicei propan-butan în procent mai ridicat și propilenă-butilenă în procent scăzut. Propanul și GPL-ul sunt depozitate în stare lichefiată și sunt folosite ca și carburanți în mașini și echipamente de încălzire, fiind clasificate ca substanțe foarte inflamabile și explozive.

5.4. Explozia BLEVE

Prin definiție, explozia tip BLEVE, explozie prin expansiunea vaporilor unui lichid în fierbere, este tipică la lichidele aflate la o temperatură superioară celei de fierbere (în condiții normale atmosferice), cum este cazul gazelor lichefiate, în cazul spargerii (ruperii) rezervorului [4]. Exploziile tip BLEVE se pot produce prin două mecanisme:

- prin spargerea rezervorului ca urmare a coroziunii sau unor solicitări mecanice foarte mari: „BLEVE rece”;

- în cazul implicării într-un incendiu a părților de instalație (rezervoare, cisterne, autocisterne, pompe, porțiuni de conductă) care conțin GPL și care sunt închise: „BLEVE cald”, când datorită încălzirii se va produce slăbirea materialului și suprapresurizarea incintei urmată de ruperea materialului de construcție.

În cazul exploziilor va fi afectat personalul și bunurile prin presiunea produsă de explozie (unda de șoc), prin energia degajată (FB - mingea de foc) sau prin lovire mecanică de resturile aruncate de suflul exploziei.

5.4.1. Modelarea matematică a fenomenului BLEVE

În literatura de specialitate există mai multe modele pentru descrierea fenomenului BLEVE. Unele modele descriu fenomenul de formare a suprapresiunii în cazul exploziilor tip BLEVE, alte modele prezintă dinamica fenomenului și calculează radiația termică în funcție de distanța de la centrul exploziei și în funcție de timp. Tehnicile standard folosesc modele statice pentru estimarea radiației termice în cazul fenomenului BLEVE. Aceste tehnici presupun că fluxul de căldură radiată de FB este constant pe durata de ardere. În urma cercetărilor experimentale, au fost construite și modele dinamice, care consideră evoluția radiației termice provenită de la FB, modificări în puterea

și forma undelor de șoc, astfel furnizând rezultate mult mai realiste în estimarea zonelor de pericol pentru arsuri și pentru efectele suprapresiunii [3].

5.5. Studiu de caz: accidentul de la Feyzin

Accidentul chimic de la Feyzin, Franța, a avut loc în 4 ianuarie 1966 la un depozit de gaze lichefiate tip GPL (gaz petrolier lichefiat: propan-butan). Accidentul a fost cauzat de o eroare umană în timpul luării unei probe dintr-un rezervor sferic de propan lichefiat și este considerat cea mai gravă catastrofă industrială din istoria recentă a Franței.

Depozitul a fost amplasat la o distanță de 22,5 m de autostrada A7. Parcul conținea 10 rezervoare, dintre care 8 sferice și 2 cilindrice, împărțite egal pentru propan și butan, conform figurii 5.1, [1].

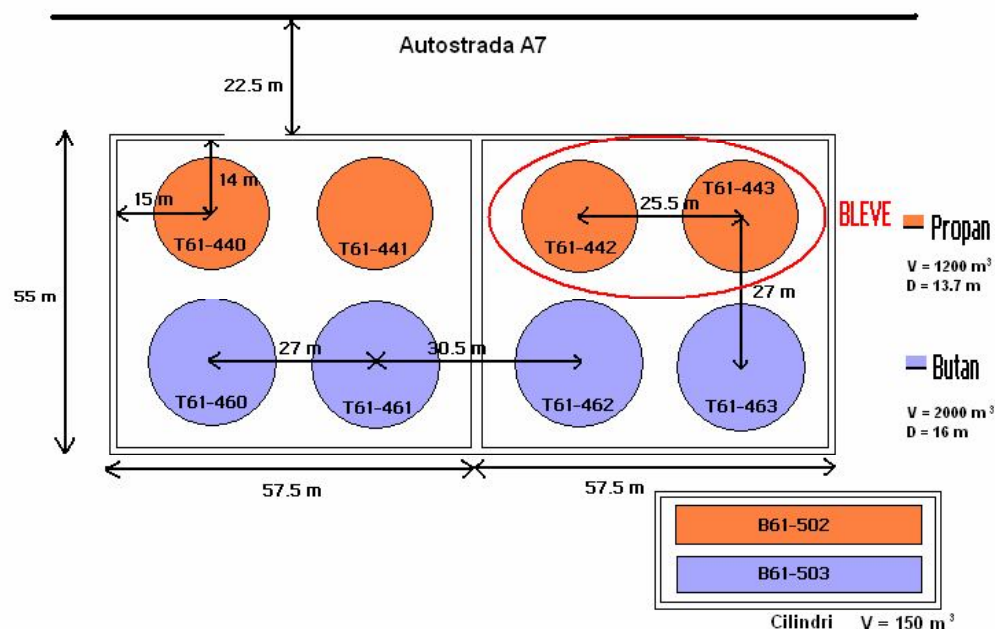


Figura 5.1. Amplasarea rezervoarelor GPL [1]

5.5.2. Cauzele și desfășurarea accidentului

În timpul purjării apei și luarea probei din sfera T61-443 operatorii au greșit procedurile și a avut loc o deversare majoră de propan. Norul de propan a crescut, s-a întins spre autostrada aflată lângă depozit. Circulația de pe autostradă a fost oprită, dar un vehicul a intrat în nor pe drumul perpendicular, norul s-a aprins de la un punct fierbinte al mașinii. Focul s-a propagat spre rafinărie și s-a aprins rezervorul. Au intervenit pompierii cu jet de apă și au răcit rezervorul, dar fără succes. Sfera T61-443 a suferit o explozie de tip BLEVE (prima explozie), o minge de foc (Fire ball - FB) de 250 m diametru s-a ridicat rapid până la 400 m înălțime. Unda de șoc s-a propagat pe valea Rhonului până la 16 km. Au fost sparte geamurile din oraș pe o distanță de până la 8 km. În momentul exploziei rezervorului T61-443 au fost aruncate în aer schije foarte grele, acestea producând avarii grave în alte sfere, rezervoare, țevi și echipamente din zonă. Sfera T61-442 a fost grav avariata, a luat foc și a explodat tip BLEVE (a doua explozie) [1].

5.5.4. Pierderi umane și materiale

Pierderi umane [1]:

- 18 morți, din care: 11 pompieri (7 din Lyon și 4 din Vienne), 3 subcontractori, 1 angajat al firmei vecine, șoferul mașinii care a pătruns în norul de gaze decedat la 4 zile;
- 84 răniți din care 49 au fost spitalizați.

Au fost distruse [1]:

- parcul GPL și cel de hidrocarburi: 11 rezervoare cu 5 sfere, 2 cilindrice și 4 rezervoare cu capac flotant.
- stații de pompare;
- carburanți: 2000 m³ propan, 4000 m³ butan, 2000 m³ hidrocarburi;
- 6 mașini de pompieri.

Efectul termic a cauzat decesul tuturor celor aflați pe o rază de 50 m, iar până la 150 m cei expuși au fost grav răniți.

5.5.5. Erori constatate și lecții învățate din accident

În urma investigațiilor, experții au constatat următoarele erori care au condus la desfășurarea accidentului [1, 2]:

- Operare greșită a ventilelor din baza sferei;
- Autostrada la 22,5 m;
- Sfera nu a fost răcită în partea superioară;
- A fost găsită deschisă numai o supapă de siguranță din cele două;
- Dimensionarea greșită pentru supapele de siguranță;
- Lipsa dispozitivelor fixe de răcire a sferelor;
- Absența unui punct de comandă unic de coordonare a entităților;
- Lipsa definirii zonelor periculoase;
- Nerespectarea regulilor de amplasare și a distanțelor de siguranță;
- Dimensionarea greșită a cuvelor de retenție;
- Regulamentul general de securitate în caz de accidente;
- Plan organizatoric de luptă.

5.6. Analiza comparativă a efectelor și a consecințelor în urma fenomenului BLEVE

Analiza efectelor și a consecințelor accidentului de la Feyzin poate fi efectuată numai în cazul în care cantitatea de propan aflată în rezervor la momentul exploziei este estimată.

Bazându-se pe diferite surse de informații (operatori, muncitori, date tehnice), experții care au investigat accidentul au găsit două aproximații pentru debitul masic de scurgere de propan din sistemul de purjare. Folosind aceste aproximații, în lucrarea de față au fost calculate două cantități de propan rămase în rezervor înainte de momentul exploziei. O a treia cantitate a fost calculată cu ajutorul simulării de scurgere a propanului, folosind modelul TPDIS (Two Phase Bottom Discharge Model) din cadrul programului de calculator “EFFECTS 7”, elaborat de firma Olandeză TNO [5]. Astfel aceste aproximații sunt următoarele:

Cazul 1: din datele tehnice ale rezervorului de propan s-a calculat un debit de 8 kg/s [1]. Considerând o durată de deversare de 125 minute de la începutul scurgerii până la momentul BLEVE, în lucrarea de față cantitatea de propan deversată este estimată la 131 t, conform calculului: 125 min = 7500 s; 7500 s x 8 kg/s = 60000 kg = 60 t; 60 + 71 = 131 t; (60 t de la sistemul de purjare și 71 t de la supapa de siguranță). Cantitatea de propan care a fost în rezervor la momentul BLEVE este estimată la **217 t** (348 – 131 = 217 t).

Cazul 2: Contorul de volum al sferei T61-443 a fost găsit după explozie blocat la 647 m³, cu o diferență de 46 m³ (23 t) de la volumul inițial de 693 m³ de propan lichid (348 t). Sfera a fost încărcată până la momentul incidentului de purjare. Tehnicienii au susținut că blocarea contorului ar fi putut avea loc oricând până la momentul exploziei (în cele 125 minute), dar cel mai probabil incendiul de la valva de siguranță a cauzat blocarea contorului, astfel încât scurgerea fost redusă la 60 minute. Debitul de deversare de la sistemul de purjare a fost estimat la 6,4 kg/s [1], conform calculului: 23000 kg / 3600 s = 6,38 kg/s ≈ 6,4 kg/s.

Considerând acest debit, în lucrarea de față cantitatea de propan rămasă în rezervor la momentul exploziei este estimată la **231 t**, conform calculelor:

6,4 kg/s x 7200 s = 46000 kg; 46 + 71 = 117 t (46 t din sistemul de purjare și 71 t de la supapa de siguranță); 348 – 117 = 231 t.

Cazul 3: Simularea scurgerii de propan folosind modelul TPDIS

Simularea a fost efectuată considerând scurgerea de 125 minute din țeava de 2” la care a fost adăugată cantitatea deversată timp de 60 minute din supapa de siguranță (71 t).

Cantitatea finală rămasă în rezervor este estimată la aproximativ **181 t**, conform calculelor:

96 + 71 = 167 t (cantitatea deversată); 348 – 167 = 181 t (cantitatea rămasă în rezervor).

Debitul mediu de scurgere estimat prin simulare este: 13,244 kg /s.

Considerând aceste trei estimări diferite pentru cantitatea de propan rămasă în rezervor la momentul BLEVE, în lucrarea de față au fost efectuate simulări folosind modelul static, dinamic și ruperea rezervoarelor, cu scopul estimării efectelor fizice și a consecințelor accidentului. Aceste modele sunt incluse în programul de simulare “EFFECTS 7” [5].

Modelul static și dinamic oferă rezultate despre durata și diametrul de FB, efectele și consecințele radiației de căldură provenite de la FB. Modelul „ruperea rezervoarelor” calculează distanțele la care sunt aruncate fragmentele de rezervor și efectele suprapresiunii formate în urma exploziei. Rezultatele simulărilor cu cele trei modele pentru cele trei cantități estimate și valorile observate în urma accidentului sunt prezentate în tabelul 5.7.

Tabel 5.7. Rezultatele simulărilor și valorile observate

Nr. de caz	BLEVE static	BLEVE dinamic	Ruperea rezervoarelor de la BLEVE	Valori observate la accident
Nr.1. 217 t de propan	Durata de FB = 20,793 s Diametrul de FB = 351,5 m H _{max} FB = 527,25 m	Durata de FB = 19,425 s Diametrul de FB = 348,54 m H _{max} FB = 522,8 m	Fragment de 79 t aruncat la distanța de 394,11 m Distanța pentru suprapresiunea de 30 mbar = 359,2 m	Diametrul de FB = 250m H _{max} FB = 400m
Nr. 2. 231 t de propan	Durata de FB = 21,13 s Diametrul de FB = 358,72 m H _{max} FB = 538,08 m	Durata de FB = 19,73 s Diametrul de FB = 355,88 m H _{max} FB = 533,81 m	Fragment de 79 t aruncat la distanța de 416,98 m Distanța pentru suprapresiunea de 30 mbar = 367,9 m	Fragment de 79 t aruncat la distanța de 248 m
Nr. 3. 181 t de propan	Durata de FB = 19,83 s Diametrul de FB = 331,36 m H _{max} FB = 497,04 m	Durata de FB = 18,563 s Diametrul de FB = 328,07 m H _{max} FB = 492,11m	Fragment de 79 t aruncat la distanța de 335,92 m Distanța pentru suprapresiunea de 30 mbar = 335,5 m	Distanța pentru suprapresiunea de 30 mbar = 4000 m

După cum se observă, diferențele între rezultatele celor două modele, static și dinamic, referitoare la diametrul de FB sunt mai mici de 1%. În schimb diferențele între rezultatele privind consecințele radiației termice calculate cu modelul static și cu cel dinamic sunt considerabile. Modelul dinamic calculează distanțe mai mici pentru consecințe (arsuri de gradul I, II, III) considerând dependența mingii de foc în funcție de timp reprezentat în figurile 5.22 și 5.23.

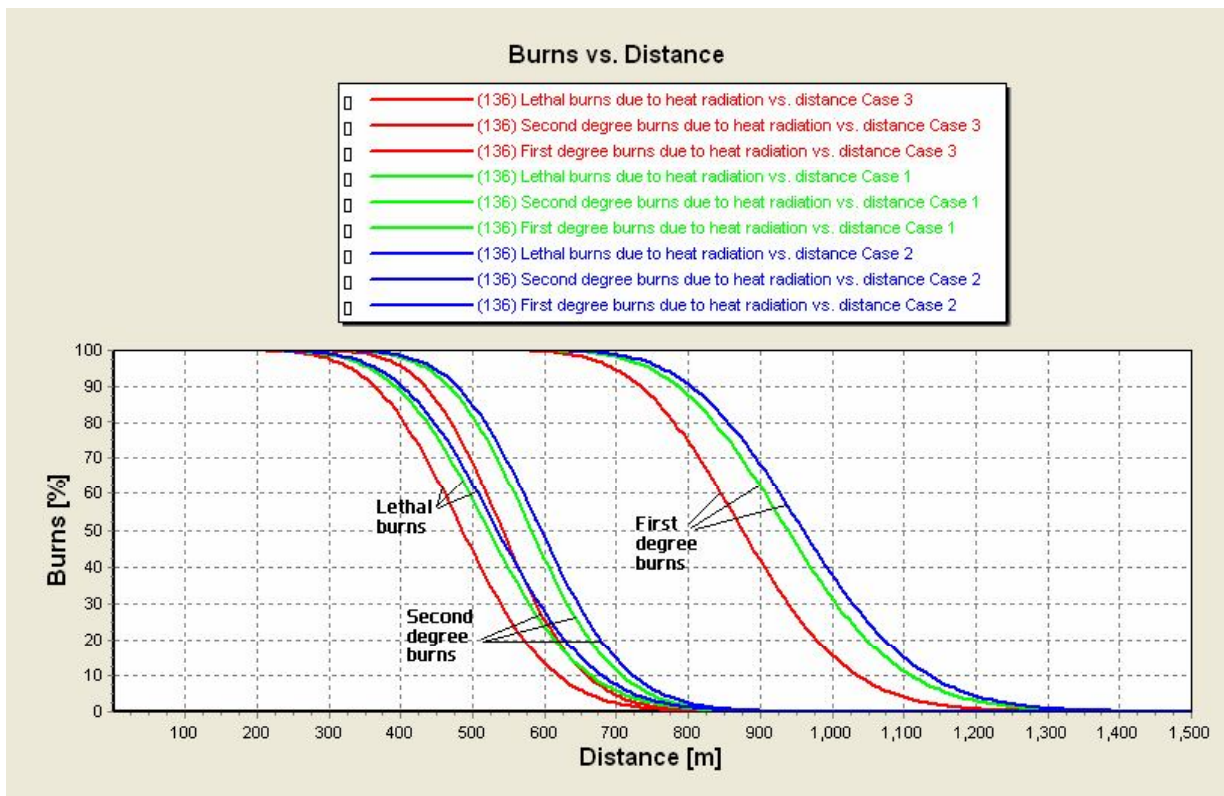


Figura 5.22. Arsuri în funcție de distanță – modelul BLEVE static (verde – cazul 1, albastru – cazul 2, roșu – cazul 3)

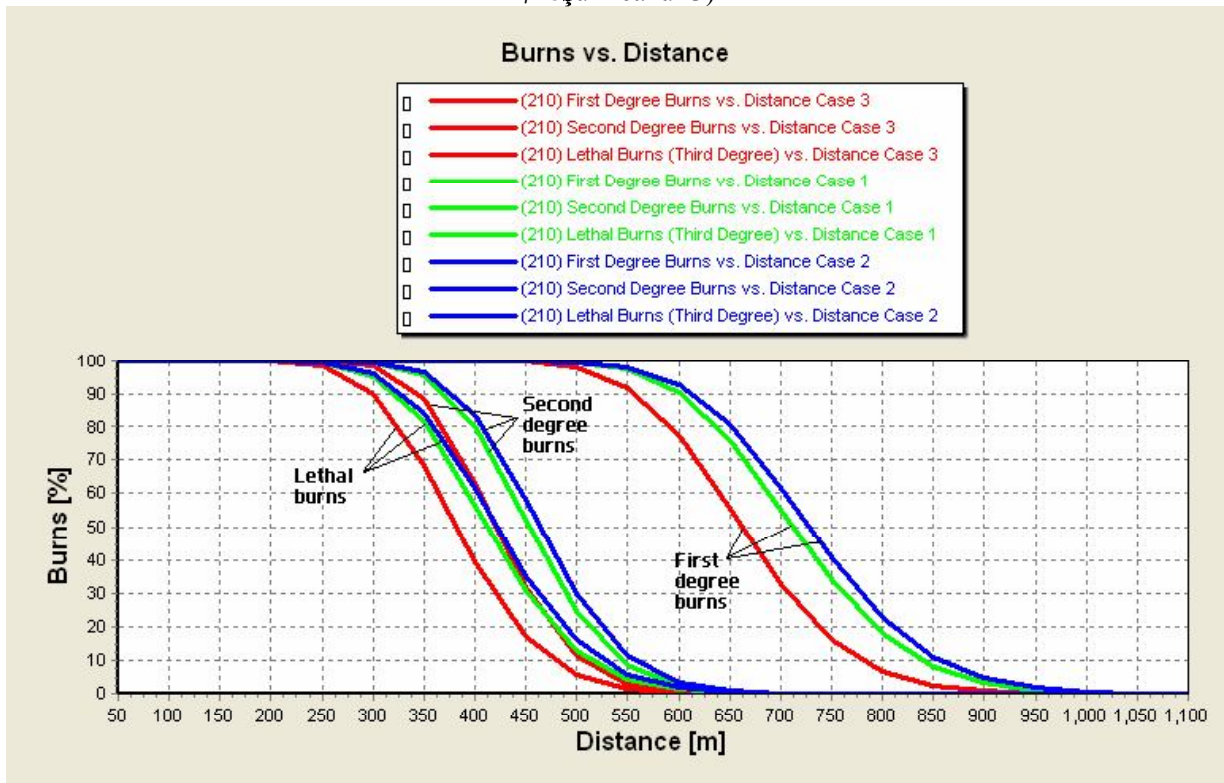


Figura 5.23. Arsuri în funcție de distanță – modelul BLEVE dinamic (verde – cazul 1, albastru – cazul 2, roșu – cazul 3)

Diferențele între rezultatele efectelor fizice și consecințelor simulărilor celor trei cazuri sunt mici, considerând diferențele mari între cantitățile de propan.

Există o diferență semnificativă între rezultatele simulării suprapresiunii formate la BLEVE folosind modelul „ruperea rezervoarelor” și valorile de suprapresiune estimate de experți în procesul de investigare a accidentului. Conturul de suprapresiune de 30 mbar a fost estimat de experți la o distanță maximă de 4 km de-a lungul văii Rhone [1], iar în urma simulărilor efectuate în lucrarea de față au fost obținute valori între 335 – 368 m, conform figurii 5.26.

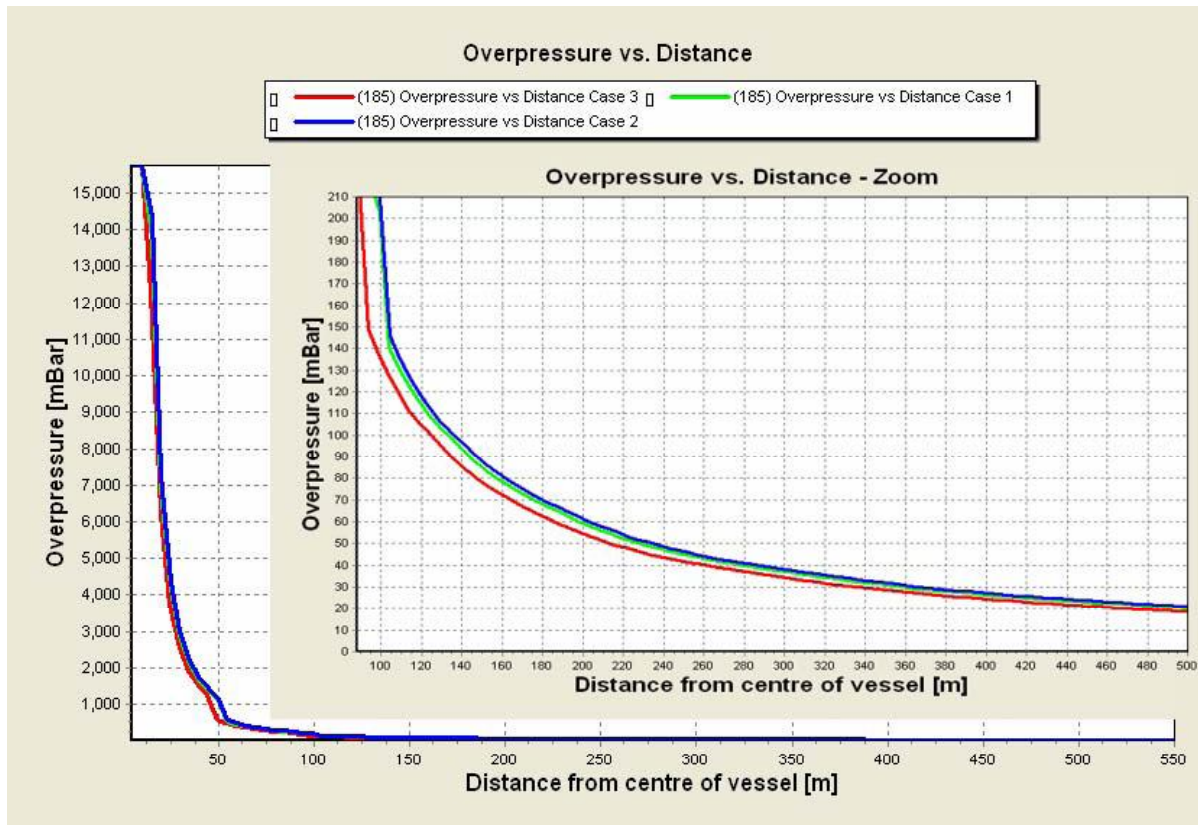


Figura 5.26. Suprapresiunea în funcție de distanță – modelul „ruperea rezervoarelor” (verde – cazul 1, albastru – cazul 2, roșu – cazul 3)

Cele mai apropiate rezultate ale simulărilor de cele observate în cazul accidentului de la Feyzin, referitoare la diametrul maxim de FB, înălțimea maximă la care urcă FB și distanța fragmentelor aruncate (considerând fragmentul B4 cu masa egală cu 79 t), au fost obținute utilizând cantitatea estimată în Cazul 3 (181 t), cu ajutorul simulării de scurgere a propanului.

Distanțele pentru planificarea utilizării terenurilor au fost calculate folosind această cantitate.

5.6.2. Analiza efectelor și a consecințelor în contextul planificării utilizării teritoriului folosind metodologia franceză

Metodologia franceză de planificare a utilizării terenurilor urmărește estimarea magnitudinii și a probabilității scenariilor accidentale, folosind următoarele valori limită pentru reprezentarea efectelor fizice [6]:

a) Efectele radiației termice staționare:

1. *Mortalitate ridicată*: 8 kW/m² (arsuri de gradul III la expunere de 20 s [7]); 2. *Începerea mortalității*: 5 kW/m²; 3. *Efecte ireversibile*: 3 kW/m² (arsuri de gradul II la expunere de 20 s [7]);

b) Efectele radiației termice variabile în timp exprimată în sarcină termică :

1. *Mortalitate ridicată*: 1800 [(kW/m²)^{4/3}]-s; 2. *Începerea mortalității*: 1000 [(kW/m²)^{4/3}]-s; 3. *Efecte ireversibile*: 600 [(kW/m²)^{4/3}]-s;

c) Efectele suprapresiunii [6, 8]:

1. *Mortalitate ridicată*: 200 mbar (distrugerea clădirilor din beton și a structurilor metalice [4]);

2. *Începerea mortalității*: 140 mbar (prăbușirea parțială a pereților în clădiri [4]); 3. *Efecte ireversibile*: 50 mbar (pagube minore în clădiri, spargerea geamurilor [4]); 4. *Efecte indirecte*: 20 mbar (spargerea geamurilor);

Considerând limitele impuse de metodologia franceză, au fost efectuate simulările fenomenului BLEVE folosind cele trei modele disponibile, cu scopul de a analiza diferențele între distanțele obținute pentru alegerea metodei cele mai adecvate.

Distanțele calculate sunt prezentate în tabelul 5.8.

Tabel 5.8. Distanțele calculate pentru planificarea utilizării terenurilor

Cazul 3 (181 t)	Modelul BLEVE static (kW/m²)	Modelul BLEVE dinamic ([s*(kW/m²)^{4/3}])	Modelul „ruperea rezervoarelor” (mbar)
Distanța pentru mortalitate ridicată (m)	834	295	92
Distanța pentru începerea mortalității (m)	1069	391	97.5
Distanța pentru efecte ireversibile (m)	1386	488	214
Distanța pentru efecte indirecte (m)	-	-	472

Analizând aceste rezultate comparativ cu cele observate la accidentul Feyzin, putem concluziona că rezultatele obținute folosind modelul static sunt supraestimate, datorită faptului că în modelul static radiația termică provenită de la FB este considerată constantă pe toată durata de FB.

Având în vedere faptul că durata de FB în cazul exploziilor BLEVE este între 5-30 secunde (în funcție de cantitatea de material combustibil) și că radiația termică variază în funcție de timp, folosirea sarcinii termice ([s*(kW/m²)^{4/3}]) este cea mai adecvată în estimarea consecințelor.

5.6.3. Analiza efectelor și a consecințelor în contextul planificării utilizării teritoriului folosind metodologia italiană

Conform normativului italian de planificare a utilizării terenurilor [9], următoarele valori limită sunt luate în considerare în cazul exploziilor tip BLEVE:

a) Efectele radiației termice staționare [8, 9]:

1. *Mortalitate ridicată*: 12,5 kW/m²; 2. *Începerea mortalității*: 7 kW/m²; 3. *Efecte ireversibile*: 5 kW/m²; 4. *Efecte reversibile*: 3 kW/m²; 5. *Efecte domino*: 12,5 kW/m²;

b) Efectele radiației termice variabile în timp [9]:

1. *Mortalitate ridicată*: Raza de FB (mortalitate 100% conform [10]); 2. *Începerea mortalității*: 350 kJ/m²; 3. *Efecte ireversibile*: 200 kJ/m²; 4. *Efecte reversibile*: 125 kJ/m²;

c) Efectele suprapresiunii [8]:

1. *Mortalitate ridicată*: 300 mbar (distrugea totală a clădirilor [4]); 2. *Începerea mortalității*: 140 mbar; 3. *Efecte ireversibile*: 70 mbar (demolarea parțială a caselor [4]); 4. *Efecte reversibile*: 30 mbar; 5. *Efecte domino*: fragmente până la 200-800 m;

Metodologia italiană de planificare a utilizării terenurilor folosește limitele de radiație termică (kW/m²) în cazul incendiilor de lungă durată și doză radiată (kJ/m²) în cazul fenomenelor tip FB de durată scurtă.

Distanțele calculate sunt prezentate în tabelul 5.9.

Tabel 5.9. Distanțele calculate pentru planificarea utilizării terenurilor

Cazul 3 (181 t)	Modelul BLEVE static (kW/m²)	Modelul BLEVE static (rezultate exprimate în kJ/m²)	Modelul „ruperea rezervoarelor” (mbar)
Distanța pentru mortalitate ridicată (m)	647	169	72
Distanța pentru începerea mortalității (m)	896,5	521,5	97,5
Distanța pentru efecte ireversibile (m)	1070	733,5	164
Distanța pentru efecte reversibile (m)	1386	948	335,5

5.6.4. Analiza efectelor și a consecințelor în contextul planificării utilizării teritoriului folosind metodologia austriacă

Grupul de Lucru Permanent Seveso (“Austrian Permanent Seveso Working Group”) din Austria recomandă valori limită pentru evenimente tip BLEVE cu GPL după cum urmează [11]:

a) Efectele radiației termice:

1. *Planificarea utilizării terenurilor*: 2 kW/m² (cauzează disconfort la o expunere mai lungă de 20 s [10]); 2. *Efecte Domino*: 12,5 kW/m²;

c) Efectele suprapresiunii:

1. *Planificarea utilizării terenurilor*: 25 mbar (spargerea geamurilor [10]); 2. *Efecte Domino*: 100 mbar (corespunde cu avarierea gravă a clădirilor în 10 % și probabilitate de deces egală cu 0,025 [10]).

Rezultatele simulărilor sunt prezentate în tabelul 5.10

Tabel 5.10. Distanțele calculate pentru planificarea utilizării terenurilor

Cazul 3 (181 t)	Modelul BLEVE static (kW/m²)	Modelul „ruperea rezervoarelor” (mbar)
Distanța pentru planificarea utilizării terenurilor (m)	1500	392,5

Metodologia austriacă este mai restrictivă în ceea ce privește planificarea utilizării terenurilor. Folosește numai radiația termică staționară egală cu 2 kW/m² și suprapresiunea egală cu 25 mbar. Astfel, distanțele obținute sunt mari, asigurând protecția populației și a infrastructurii.

5.6.5. Analiza comparativă a rezultatelor obținute folosind cele trei metodologii

În ceea ce privește protecția populației, metodologia austriacă este cea mai restrictivă, folosind limite foarte scăzute pentru radiația termică și suprapresiune.

Comparând metodologia franceză cu cea italiană, reiese că în cazul radiațiilor termice staționare (incendii de suprafață cu durată medie sau lungă) metodologia franceză este mai restrictivă, folosind valori mai mici de radiație termică pentru efectele studiate. Modul de abordare a radiației termice dinamice este diferit în cele două metodologii. Cea franceză folosește sarcina termică pentru estimarea efectelor, iar cea italiană folosește doza radiată.

Astfel, folosind metodologia franceză distanțele calculate sunt mai mici decât în cazul folosirii metodologiei italiene, cu excepția distanței pentru mortalitate ridicată, unde metoda italiană recomandă diametrul de FB pentru calculul mortalității 100 %.

Nivelele de suprapresiuni utilizate în cele două metodologii sunt destul de apropiate. Metodologia franceză este puțin mai restrictivă în privința suprapresiunii formate în cazul exploziilor.

Bibliografie

- [1]. ***Ministerul Mediului, Franța. *BLEVE dans un depot de GPL en raffinerie. Le 4 janvier 1966, Feyzin (69) - France*, 2006, Disponibil la: <http://barpipdf.geniecube.info/1.pdf>, Accesat în ianuarie 2010.
- [2]. Ir. J.C.A.M. van Doormaal, Ir. R.M.M. van Wees, *Rupture of vessels. Chapter 7 in C.J.H. Van den Bosch, R.A.P.M. Weterings (eds). Methods for the calculation of physical effects. "Yellow Book"*, The Hague, VROM, Third Edition, 2005.
- [3]. M. W. Roberts, *Analysis of Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (BLEVE) Events at DOE Sites. EQE International, Safety Analysis Workshop, Los Alamos, April 28 – May 4, 2000.*
- [4]. S. Mannan, *Lees' Loss Prevention in the Process Industries. Hazard Identification, Assessment and Control*, Elsevier, Third Edition, Oxford, 2005.
- [5]. ***TNO, *Effects v. 7.6. User guide*, Disponibil la: http://www.tno.nl/content.cfm?context=markten&content=product&laag1=186&laag2=267&item_id=739&Taal=2, Accesat în ianuarie, 2010.
- [6]. ***Ministère de l'Écologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer (Ministerul Ecologiei, Energiei, a Dezvoltării Durabile și al Mării), *Ghid pentru planificarea utilizării terenurilor*, Disponibil la: http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/DPPR_PPRT_v4tbd_B.pdf, Accesat în ianuarie 2010.
- [7]. Ir. C.J.H. van den Bosch, Ir. L. Twilt, *Damage caused by heat radiation. Chapter 1 in TNO (eds). Methods for the determination of possible damage. "Green Book"*, Voorburg, 1989.
- [8]. ***Störfall-Kommission (Grupul de lucru de planificarea utilizării terenurilor). *Technischen Ausschusses für Anlagensicherheit*. Disponibil la: http://www.kas-bmu.de/publikationen/sfk/sfk_taa_gs_1.pdf, Accesat în 2009.
- [9]. ***Ministero dei Lavori Pubblici (Ministerul Lucrărilor Publice), *Decreto 9 Maggio 2001 - Requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione urbanistica e territoriale per le zone interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante*, Disponibil la: <http://www.ambiente.it/impresa/legislazione/leggi/2001/dm9-5-2001.htm>, Accesat în ianuarie 2010.
- [10]. P.A.M Uijt De Haag, B.J.M. Ale, *Guidelines for Quantitative Risk Assessment. "Purple Book"*, VROM, Third Edition, The Hague, 2005, p. 5.12-5.15.
- [11]. ***Austrian Permanent Seveso Working Group (Grupul de Lucru Permanent Seveso din Austria), *Calculation of appropriate distances for the purposes of Land Use Planning, Emergency Planning and Domino Effects*, Disponibil la: http://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/10899190_28322874/323d0abe/Seveso-Empfehlung%20der%20Bundesl%C3%A4nder-engl-final%20version.pdf, Accesat în ianuarie 2010.

Capitolul 6

Analiza consecințelor și planificarea utilizării terenurilor în cazul accidentelor la depozitarea clorului

Clorul este o substanță larg utilizată în industria chimică în sinteze organice și anorganice. Au avut loc multe accidente chimice cu deversare de clor, cauzând moartea sau afectând sănătatea persoanelor expuse, datorită proprietăților sale toxice și iritante.

Depozitarea clorului are loc în rezervoare cu capacități mari, conținând zeci de tone de clor lichefiat. Obiectivele studiului constau în estimarea riscului asociat depozitării clorului, calcularea

zonelor de pericol pentru populație și găsirea unor soluții practice, eficiente pentru planificarea utilizării terenurilor și planificarea urgențelor chimice. În consecință, s-a realizat un studiu comparativ între rezultatele modelărilor fenomenului de dispersie a clorului, folosind un model de dispersie bidimensional și unul tridimensional. Prin comparația rezultatelor obținute se pot trage concluzii referitoare la elaborarea metodologiei de evaluare a riscului pentru planificarea utilizării terenurilor și planificarea urgențelor în cazul depozitării substanțelor toxice gazoase.

6.1. Prezentarea substanței: clorul

Clorul este un gas dens, de culoare galben-verzuie și miros neplăcut, sufocător. Clorul lichid are aspectul unui lichid uleios de culoare verde cu un conținut de clor de min. 99,7 % vol. și un conținut de apă de max. 0,05 %. Este folosit în industria chimică datorită reactivității sale ridicate, ca agent oxidant puternic sau agent de clorurare. De asemenea, clorul este folosit într-un procent mai scăzut pentru dezinfectarea apelor, fiind o substanță toxică pentru microorganisme și specii acvatiche.

6.2. Caracteristicile toxicologice, eco-toxicologice și indicarea pericolelor pentru om și mediu

Clorul intră sub incidența directivei Seveso în cazul în care la operatorul economic există o cantitate egală sau mai mare de 10 t [1], fiind o substanță toxică și iritantă.

6.2.1. Aspecte privind expunerea umană la clor

Clorul lichid în contact cu orice parte a corpului determină arsuri cu diverse grade de severitate, depinzând de durata expunerii. Clorul gazos este un iritant respirator. Concentrațiile peste 5 ppm sunt iritante pentru mucoasa nazală, faringiană și pentru ochi. La concentrații în jur de 1-3 ppm, după câteva ore de la expunere, clorul cauzează o ușoară iritație oculară și a mucoasei tractului respirator.

Următoarea listă reprezintă o compilație a valorilor limită de expunere la clor cu efectele corespunzătoare, raportate la subiecții umani [2, 3]:

- 0,2-0,4 ppm: limita de percepție olfactivă cu variații considerabile de la un subiect la altul (o reducere a percepției olfactive apărând cu timpul);
- 1-3 ppm: ușoară iritație a mucoasei nazale, tolerată timp de aproximativ o oră;
- 5-15 ppm: iritație moderată a mucoasei tractului respirator;
- 10 ppm – concentrația de IDLH pentru expunere de 30 minute;
- 30 ppm: dureri toracice, vărsături, dispnee, tuse;
- 40-60 ppm: pneumonie toxică și edem pulmonar;
- 430 ppm: nivel letal în 30 de minute;
- 1000 ppm: nivel letal în câteva minute.

Pentru ca expunerea să fie letală, o persoană ar trebui să stea în zona în care s-a produs scurgerea, în interiorul unui nor de clor, fără protecție respiratorie.

6.5. Studiul de caz: Depozitul de clor în localitatea Turda

În studiul de caz sunt identificate hazardurile și riscurile legate de depozitarea și utilizarea clorului. Accidentele majore posibile sunt analizate cu ajutorul simulărilor de dispersii toxice și sunt estimate zonele de pericol, cu scopul de a furniza propuneri pentru planificarea utilizării terenurilor și planificarea urgențelor în cazul depozitării substanțelor toxice lichefiate.

Simulările sunt efectuate folosind două programe de calculator și anume:

1. SEVEX View – program de simulare de accidente chimice majore, utilizând un model complex meteorologic, topografia terenului și model de dispersie 3D Lagrangian [4].
2. SLAB View – program de simulare de dispersii toxice, utilizând modelul SLAB bidimensional [5].

Utilizând aceste două programe de simulare se pot compara rezultatele obținute pentru a evidenția diferențele semnificative între ele, cu scopul utilizării celor mai bune rezultate în planificarea utilizării terenurilor și în planificarea urgențelor chimice.

6.5.1. Date generale

Obiectivul analizat se află în localitatea Turda, în zona industrială, la o altitudine de aprox. 330 m față de nivelul mării [6]. Instalația este alcătuită din instalația de îmbuteliere a clorului lichid și din depozitul de clor lichid. Depozitul de clor lichid constă din două rezervoare de 50 tone fiecare, amplasate într-o încăpere închisă, semi-îngropată.

6.7. Identificarea punctelor critice la instalația studiată

În urma verificării rezervorului studiat au fost identificate punctele critice de unde pot proveni poluări accidentale cu clor [7]. Aceste puncte critice sunt prezentate în tabelul 6.5.

Tabel 6.5. Lista punctelor critice de unde pot proveni poluări accidentale cu clor [7]

Nr. crt.	Locul de unde poate proveni poluarea accidentală	Cauzele posibile ale poluării	Denumire poluant
	Depozitare, vehiculare de clor lichid		
a.	- cisternă CF	- ventile care nu închid corespunzător (defecte).	Clor
b.	- containere tip butoi sau butelii de clor	- robinete care nu se închid etanș, - robinete cu garnituri defecte.	Clor
c.	- trasee de vehiculare a clorului	- neetanșeități la racordul de cuplare elastică la cisterna CF sau la containerele primare, - ruperea conductelor, - robinete cu presetupe defecte, - îmbinări cu flanșe neetanș - garnituri necorespunzătoare, - montaj incorect, - deteriorări.	Clor
d.	- rezervoare de depozitare	- ventile cu presetupe defecte, - îmbinări cu flanșe neetanș, - spargerea sticlei de nivel, - fisuri în pereții rezervorului.	Clor

6.8. Estimarea calitativă a riscurilor

Analiza calitativă are ca obiectiv principal stabilirea listei de hazarduri posibile și face posibilă ierarhizarea evenimentelor în ordinea riscului. Riscul este estimat conform ecuației 1.1 prezentat în capitolul 1 al lucrării și este reprezentat cu ajutorul matricei riscului. Matricele de evaluare a riscului se folosesc de mulți ani pentru a clasifica riscurile în funcție de importanță. Acest lucru permite stabilirea de priorități în implementarea măsurilor de control.

6.8.1. Alegerea scenariilor accidentale

Conform tabelului 6.5, au fost construite mai multe scenarii accidentale cu deversare de clor și anume:

A. Din rezervorul de depozitare :

1. deversarea catastrofală a cantității totale de clor depozitat (56 tone) – fiind considerat cazul cel mai grav posibil;

2. deversarea continuă a clorului prin racordul R7A, pentru un interval de 10 minute (considerat intervalul de timp necesar pentru oprirea scurgerii).

B. Dintr-o butelie de 1000 kg:

1. scenariu cu deversare catastrofală – fiind considerat *cazul cel mai grav posibil* care se poate întâmpla la o butelie.

Au fost considerate următoarele frecvențe de cedare a echipamentelor: pentru cedarea flanșelor la racorduri a fost considerată o frecvență de $3,1 \cdot 10^{-3}$ ev./an (conform calculului probabilistic [7]) și $3 \cdot 10^{-6}$ ev./an pentru cedarea totală a rezervorului de stocare sub presiune [8]. Au fost înregistrate mai multe accidente cu deversări de clor din butelii la amplasamentul studiat, astfel a fost considerată o frecvență ridicată pentru acest scenariu.

Matricea de cuantificare a riscurilor pentru scenariile de accidente considerate relevante este prezentată în tabelul 6.8:

Tabel 6.8. Riscurile asociate scenariilor accidentale studiate

Nr. crt.	Pericolul	Probabilitate	Gravitate	Risc
<u>A. Accident la rezervorul de depozitare</u>				
1	Deversarea instantanee a cantității totale de clor din rezervorul de depozitare	3	5	15
2	Scurgerea de clor lichid timp de 10 minute la conducta de intrare clor lichid	4	4	16
<u>B. Accident la butelii de clor</u>				
1	Deversarea instantanee a cantității totale de clor dintr-o butelie	4	2	8

Rezultatele analizelor calitative de risc arată că scenariile analizate prezintă un risc **moderat spre risc ridicat** pe scară de risc 1-25. În consecință, aceste scenarii trebuie analizate mai detaliat, fiindcă consecințele acestor scenarii de accidente pot să fie catastrofice.

6.8.2. Concluzii legate de evaluarea calitativă a riscului

Pe baza analizelor calitative efectuate putem să tragem următoarele concluzii:

- depozitarea clorului în cantități mari prezintă riscuri ridicate pentru populația din orașul Turda;
- consecințele accidentelor studiate pot fi catastrofice, în afară de scenariul deversării din butelia de clor;
- în cazul unui accident cu clor trebuie evacuate imediat zonele care vor fi afectate în funcție de direcția vântului;
- cele trei scenarii accidentale trebuie analizate și în mod cantitativ, calculând efectele și consecințele accidentelor.

6.9. Analiza comparativă a efectelor și a consecințelor în urma fenomenului de dispersie a clorului

Evaluarea efectelor și a consecințelor a fost elaborată prin simularea scurgerii clorului urmată de simularea dispersiei clorului. Datele de intrare în modelele utilizate au fost luate în funcție de parametrii tehnici ai instalațiilor.

Simularea scurgerii de clor a fost efectuată folosind programul SEVEX View, în care există un model de sursă pentru deversarea substanțelor din diferite tipuri de rezervoare. Datele obținute prin simularea scurgerii au fost folosite atât în simularea dispersiei cu programul SEVEX View, cât și în simularea cu SLAB View.

6.9.2. Simularea dispersiei clorului cu SEVEX View

Programul SEVEX View ține cont în simulări de topografia complexă a terenului extrasă din baza de date GTOPO30 pentru o suprafață de 37 km², și de utilizarea terenului extrasă din baza de „CORINE Land Cover”. Combinând topografia și utilizarea terenului se pot calcula direcțiile de vânt influențate de suprafața terenului cu ajutorul modelului meso-meteorologic.

Datorită condițiilor meteo frecvent întâlnite în zona studiată sunt considerate următoarele viteze de vânt sinoptic: 2m/s (SE) și 5m/s (NV) [6]. Aceste două viteze de vânt pot fi considerate reprezentative pentru acoperirea situației meteo defavorabile (când viteza vântului este mică = 2 m/s) și a situației meteo favorabile dispersiei (când viteza vântului este = 5 m/s). Rezultatul simulării condițiilor meteo este o bază de date care conține în total 144 hărți cu vectori de vânt (intensitate, direcție), în felul următor: 36 hărți pentru vânt sinoptic de 2 m/s, condiții de zi; 36 hărți pentru vânt sinoptic de 2 m/s, condiții de noapte; 36 hărți pentru vânt sinoptic de 5 m/s, condiții de zi; 36 hărți pentru vânt sinoptic de 5 m/s, condiții de noapte.

6.9.2.1. Metodologia de lucru pentru planificarea utilizării terenurilor

Cu scopul de a furniza o metodologie de planificare a utilizării terenurilor în cazul dispersiilor toxice, au fost considerați o serie de parametri și factori care influențează rezultatele obținute, și anume parametri meteorologici: pentru condițiile de zi sunt considerate următoarele date: temperatura aerului = 20 °C, umiditatea relativă = 70%, nebulozitatea = 100%, clasa de stabilitate D (neutră); iar pentru condițiile de noapte sunt considerate următoarele date: temperatura aerului = 10 °C, umiditatea relativă = 90%, nebulozitatea = 0%, clasa de stabilitate F (foarte stabilă).

Aceste condiții meteo îndeplinesc într-o bună măsură cerințele pentru principiul „*cea mai gravă situație meteo posibilă și credibilă*” pentru condiții de zi și noapte. Condițiile meteo stabilite pentru timpul zilei se suprapun cu condițiile recomandate de metodologia austriacă pentru planificarea utilizării terenurilor [9].

Concentrații de interes:

Metodologia franceză de planificare a utilizării terenurilor folosește trei nivele de concentrații, și anume [10]:

1. *Efecte letale semnificative*: LC 5% (Concentrația letală la care moare un procent de 5 % din populația expusă);
2. *Începerea efectelor letale*: LC 1% (Concentrația letală la care moare un procent de 1 % din populația expusă);
3. *Efecte ireversibile*: Concentrația la care se produc efecte ireversibile în cazul unei expuneri mai lungi de 30 minute.

Metodologia nu stabilește exact care este cel de-al treilea nivel de concentrație care produce efecte ireversibile, dar de obicei se consideră concentrația IDLH pentru acest nivel.

În metodologia *italiană* utilizată pentru reprezentarea zonelor de pericol sunt enumerate concentrațiile de LC50 și IDLH determinate pentru 30 minute [11].

Metodologia *austriacă* recomandă utilizarea valorii de IDLH în planificarea utilizării terenurilor și propune introducerea valorilor AEGL2 (“Acute Exposure Guideline Level” – Nivel orientativ pentru expunere acută) sau ERPG2 (“Emergency Response Planning Guidelines” – Ghid pentru planificarea răspunsului la urgență) (în cazul în care valoarea AEGL nu este disponibilă pentru substanța studiată) în metodologie [9].

Considerând metodologiile discutate în lucrare este propusă utilizarea concentrațiilor LC50, IDLH și ERPG2 din mai multe motive, și anume:

- 1) aceste concentrații se regăsesc în literatura de specialitate;
- 2) este mai ușoară convertirea lor pentru o anumită durată de expunere (de exemplu de la o perioadă de expunere de 1 oră la o perioadă de expunere de 30 minute);
- 3) reprezintă situații diferite, unde sunt necesare diferite modalități de intervenție.

Concentrațiile luate în calcul în acest studiu de caz, pentru reprezentarea zonelor de pericol afectate de clor, sunt următoarele:

- LC50 = 430 ppm, pentru expunere de 30 minute [2];
- IDLH = 10 ppm, expunere de 30 minute [3];
- ERPG2 = 3 ppm, expunere de 1 oră [12];

Se consideră că zonele afectate de concentrații mai mari sau egale cu LC50 trebuie evacuate imediat după producerea accidentelor, fiindcă există pericol de deces și în interiorul clădirilor. În zonele afectate de concentrații situate între IDLH și LC50 sunt necesare evacuarea rapidă sau adăpostirea, cu utilizarea mijloacelor de protecție (măști de gaz sau cârpe umezite, etc.). În zonele afectate de concentrații situate între ERPG și IDLH adăpostirea este adecvată și se recomandă evitarea expunerii.

6.9.2.2. Rezultate obținute prin simulările cu SEVEX View

În cazul scenariului A2 masa totală deversată în 600 secunde este 19761 kg de clor. Acest scenariu este mai important din punct de vedere al riscului, fiindcă probabilitatea de apariție este mai mare decât în cazul ruperii catastrofale a rezervorului (Scenariul A.1.), iar consecințele pot să fie catastrofale.

Simulările au fost efectuate în felul următor:

- Au fost efectuate simulări separate pentru condiții de zi și de noapte;
- Au fost efectuate simulări separate pentru viteze de vânt de 2 m/s și 5 m/s.

În tabelul 6.8 sunt prezentate rezultatele referitoare la suprafața zonelor afectate de concentrațiile de interes: LC50, IDLH, ERPG2.

Tabel 6.8. Suprafețele afectate de concentrațiile de interes

Nume scenariu	Timpul accidentului	Sector de vânt	Validitate (min)	S0 Suprafața neafectată (km ²)	S1 Suprafața afectată de conc. ERPG2 (km ²)	S2 Suprafața afectată de conc. IDLH (km ²)	S3 Suprafața afectată de conc. LC50 (km ²)
A.1 – 2 m/s	Ziua	Toate	30	368,54	12,47	57,30	2,69
	Noaptea	Toate	30	388,19	7,34	37,25	8,22
	Ziua	Toate	60	218,08	97,55	122,68	2,69
	Noaptea	Toate	60	239,05	35,87	157,09	8,99
	Ziua	SE	240	359,10	48,88	32,13	0,89
	Noaptea	SE	240	284,76	95,54	56,93	3,77
	Ziua	NV	240	401,45	23,97	14,73	0,85
	Noaptea	NV	240	368,85	16,72	52,57	2,86
A.1 – 5 m/s	Ziua	SE	240	379,29	33,28	27,36	1,07
	Noaptea	SE	240	354,10	29,96	54,16	2,78
	Ziua	NV	240	371,22	33,34	34,20	2,24
	Noaptea	NV	240	370,38	43,98	25,08	1,16
A.2 – 2 m/s	Ziua	Toate	30	387,39	17,05	34,67	1,89
	Noaptea	Toate	30	402,34	6,52	28,81	3,33
	Ziua	Toate	60	297,42	98,67	43,02	1,89
	Noaptea	Toate	60	283,65	56,02	97,95	3,38
	Ziua	SE	240	402,44	28,36	9,72	0,48
	Noaptea	SE	240	362,81	45,51	30,06	2,62

Nume scenariu	Timpul accidentului	Sector de vânt	Validitate (min)	S0 Suprafața neafectată (km ²)	S1 Suprafața afectată de conc. ERPG2 (km ²)	S2 Suprafața afectată de conc. IDLH (km ²)	S3 Suprafața afectată de conc. LC50 (km ²)
	Ziua	NV	240	418,39	12,99	7,95	1,67
	Noaptea	NV	240	384,32	12,48	43,26	0,94
A.2 – 5 m/s	Ziua	SE	240	411,54	20,49	8,70	0,27
	Noaptea	SE	240	377,57	31,04	30,94	1,45
	Ziua	NV	240	407,32	20,56	12,70	0,42
	Noaptea	NV	240	416,98	17,69	6,23	0,10
B.1 – 2 m/s	Ziua	Toate	30	437,11	2,70	1,13	0,06
	Noaptea	Toate	30	421,13	13,11	6,63	0,13
	Ziua	Toate	60	439,54	0,98	0,42	0,06
	Noaptea	Toate	60	415,79	18,23	6,85	0,13
	Ziua	SE	240	439,37	1,01	0,56	0,06
	Noaptea	SE	240	434,20	4,18	2,49	0,13
	Ziua	NV	240	439,58	0,84	0,51	0,07
	Noaptea	NV	240	429,07	9,85	2,01	0,07
B.1 – 5 m/s	Ziua	SE	240	439,04	1,21	0,69	0,06
	Noaptea	SE	240	434,93	4,33	1,63	0,11
	Ziua	NV	240	437,13	2,37	1,45	0,05
	Noaptea	NV	240	439,07	1,24	0,69	0,00

Rezultatele prezentate în tabelul 6.8 sunt caracterizate în felul următor:

1) Pentru viteza vântului de 2 m/s (este considerată ca fiind o viteză mică, care reflectă situația mai periculoasă, când dispersia clorului este mai slabă și concentrațiile sunt mai ridicate pentru mai mult timp):

- Hartă de risc pentru un interval de 30 minute (începând din momentul accidentului), în care sunt prezentate dispersiile pentru toate cele 36 direcții de vânt sinoptic, calculate anterior.
- Hartă de risc pentru un interval de 60 minute – asemănător cu situația de 30 minute.

Aceste două tipuri de hărți (valabile pentru 30 și 60 min.) sunt necesare în prima fază a situației de urgență, când încă nu sunt cunoscute toate detaliile referitoare la accident și la condițiile meteo, dar trebuie luate măsuri de siguranță și este necesară evacuarea zonelor cele mai afectate. Cu alte cuvinte, se consideră că nu este cunoscută direcția dominantă a vântului și norul poate să fie oriunde în zona reprezentată pe hartă.

- Hărți de risc pentru interval de 240 minute (începând de la momentul accidentului), în care sunt prezentate zonele afectate de concentrațiile de interes, în cazul direcțiilor predominante de vânt în zonă: NV și SE.

2) Pentru viteza vântului de 5 m/s, fiind considerată ca viteză medie în zona studiată și putând fi considerată reprezentativă în planificarea utilizării terenurilor:

- Hărți de risc pentru un interval de 240 minute (începând de la momentul accidentului), în care sunt prezentate zonele afectate de concentrațiile de interes, în cazul direcțiilor predominante de vânt în zonă: NV și SE.

În acest caz nu există hărțile valabile pentru 30 și 60 minute, fiindcă viteza de 5 m/s poate fi considerată destul de mare pentru a fi detectabilă chiar de la începutul accidentului. În acest sens, se utilizează de la începutul situației de urgență hărțile valabile pentru 240 minute.

3) Toate hărțile prezentate sunt construite dintr-un set discret de date (36 de direcții sinoptice). Din această cauză suprafața reprezentată pe hărți nu este suprafața totală. Pentru reprezentarea mai completă a zonelor afectate ar trebui legate vârfurile curbelor de izoconcentrații.

4) În hărțile de risc cu sectoarele de vânt Nord-Vest sau Sud-Est sunt considerate trei direcții separate și rezultatele sunt suprapuse. În acest context este luată în calcul o fluctuație posibilă de 30° în direcția vântului.

Hărțile de risc recomandate pentru planificarea urgențelor sunt prezentate în figurile 6.12 – 6.14.

Figura 6.12. Harta de risc: Suprafața totală posibil afectată de concentrații periculoase în afara clădirilor – Scenariul A.1.

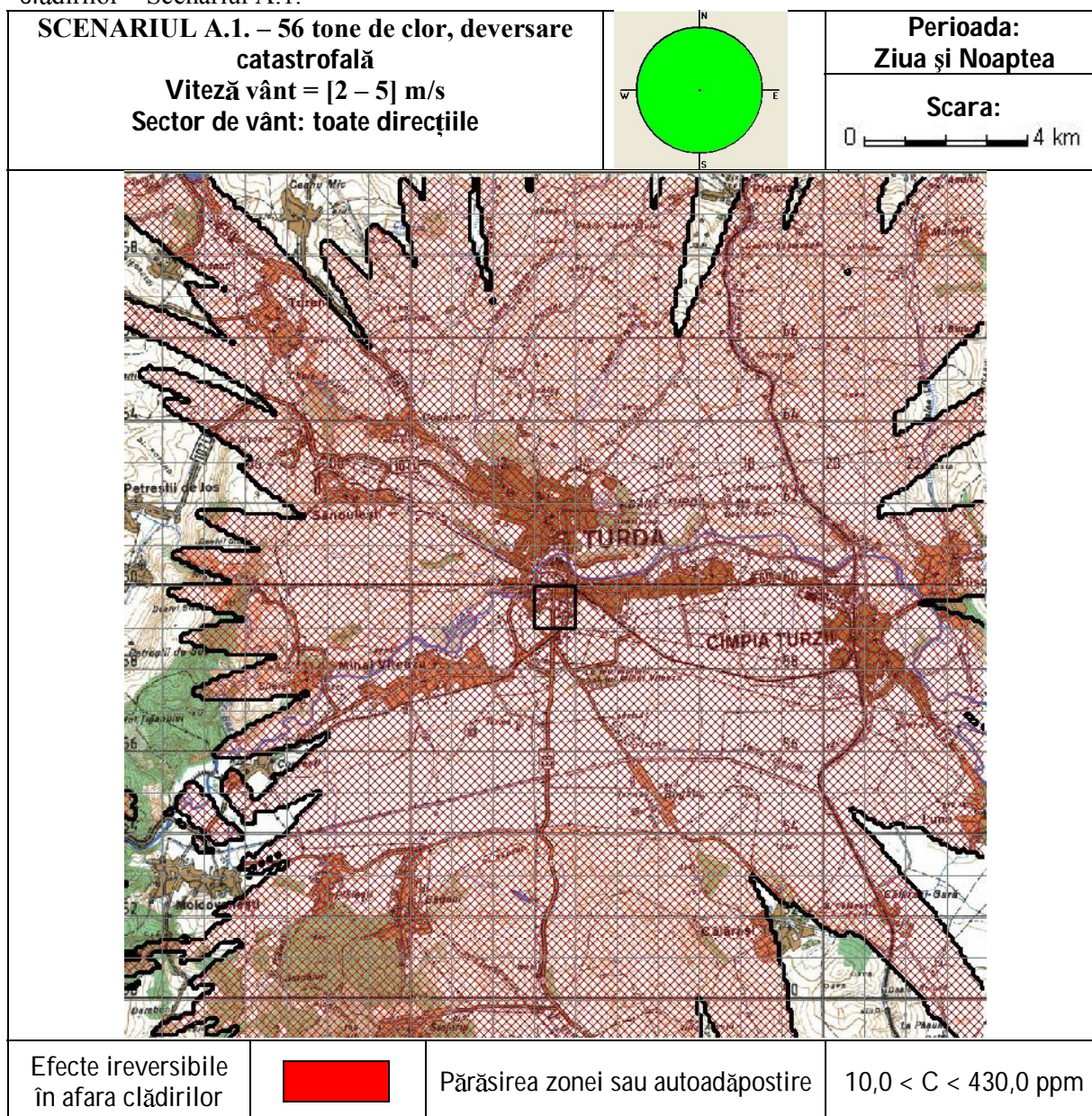


Figura 6.13. Harta de risc: Suprafața totală posibil afectată de concentrații periculoase în afara clădirilor – Scenariul A.2.

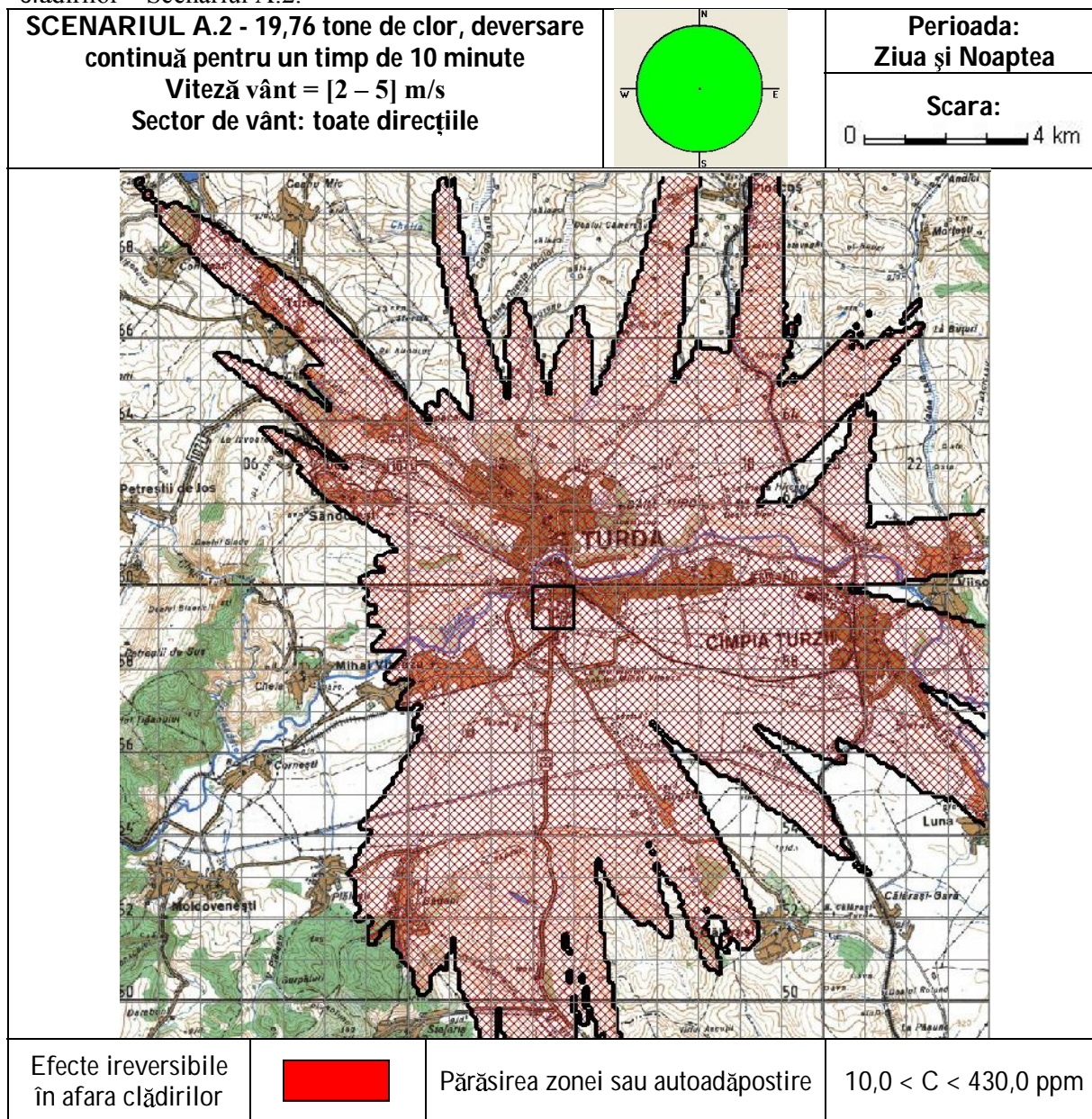
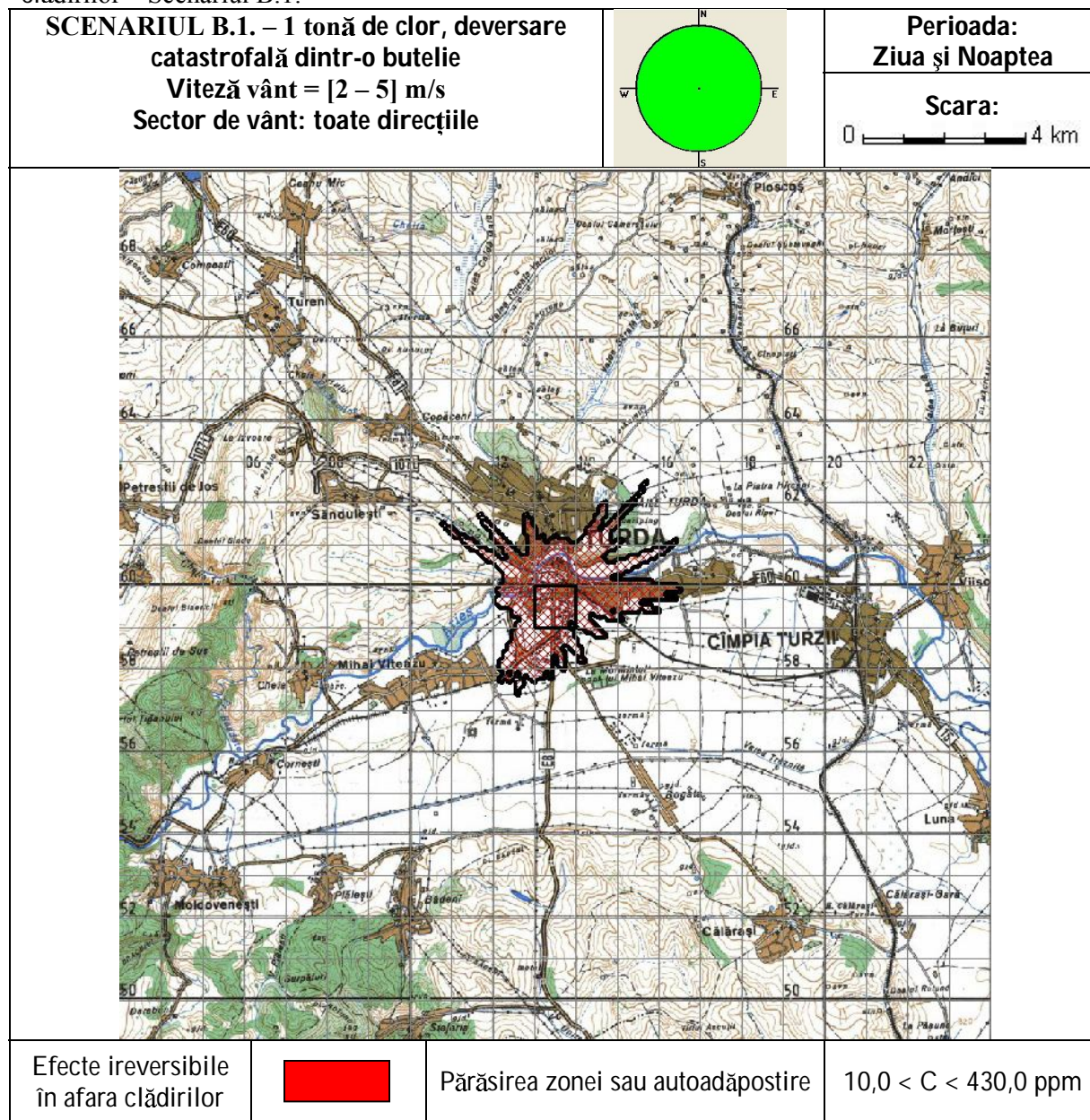


Figura 6.14. Harta de risc: Suprafața totală posibil afectată de concentrații periculoase în afara clădirilor – Scenariul B.1.



Aceste hărți au fost construite prin suprapunerea tuturor hărților realizate folosind condițiile meteo simulate (viteza vântului de 2 m/s și 5 m/s) pentru timpul zilei și timpul nopții. În consecință au fost obținute aceste hărți care prezintă zonele de pericol, unde concentrația gazului se află între limitele de IDLH și LC50 și în afara clădirilor sau adăposturilor există pericolul de a suferi efecte ireversibile sau chiar moartea individului la expunere suficient de lungă. Sunt luate în calcul toate cele 36 de direcții de vânt sinoptic. În acest sens, hărțile sunt construite dintr-un set discret de date și pentru obținerea zonei totale afectate ar trebui legate vârfurile curbelor de izoconcentrații.

6.9.3. Simularea dispersiei clorului cu SLAB View

Pentru a evidenția diferențele între rezultatele obținute cu SEVEX View și SLAB View a fost considerat scenariul A.2, cu deversarea continuă de clor timp de 10 minute.

Programul SLAB View nu conține model de deversare. Datele de intrare în modelul de dispersie referitoare la sursă au fost obținute prin simularea deversării cu SEVEX View.

Au fost folosite aceleași condiții meteo sinoptice ca și în cazul simulărilor SEVEX.

Hărțile obținute cu SLAB View reprezintă zonele posibil afectate de concentrațiile de interes, pentru un timp de expunere de 30 minute. Există o diferență semnificativă între hărțile realizate cu SEVEX View și cele realizate cu SLAB View, fiindcă hărțile SEVEX arată zonele unde pot să apară concentrațiile de interes, dar nu țin cont de timpul de expunere, ca în cazul hărților SLAB.

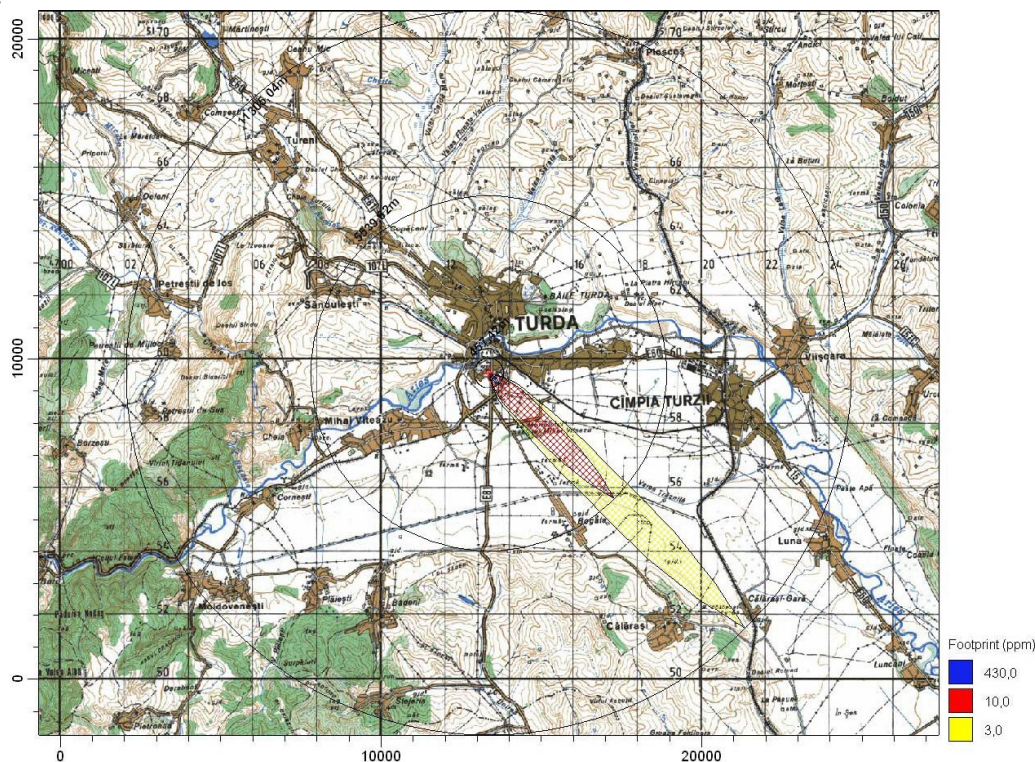


Figura 6.15. SLAB. Scenariul A.2. – Zonele afectate de concentrațiile LC50 (albastru), IDLH (roșu), ERPG2 (galben), timp de expunere de 30 minute – ziua, vânt de 2 m/s

Tabel 6.9. Distanțele și suprafețele calculate de modelul SLAB pentru concentrațiile de interes

	LC50		IDLH		ERPG2	
	Raza (km)	Suprafața S3 (km ²)	Raza (km)	Suprafața S2 (km ²)	Raza (km)	Suprafața S1 (km ²)
Ziua – vânt de 2 m/s	0,457	0,657	5,539	96,385	11,306	401,576
Noaptea – vânt de 2 m/s	0,824	2,137	14,277	640,359	27,704	2411,208
Ziua – vânt de 5 m/s	0,367	0,424	3,648	41,808	7,262	165,677
Noaptea – vânt de 5 m/s	0,821	2,118	12,791	513,994	26,296	2172,347

Analizând rezultatele obținute cu SLAB View se poate observa că nu sunt diferențe semnificative între distanțele obținute folosind vânt de 2 m/s, respectiv de 5 m/s. Modelul SLAB, fiind un model bidimensional, nu ține cont de topografia terenului și folosește doar un singur tip de rugozitate pentru teren, pentru toată zona studiată. Efectul vântului asupra dispersiei nu este atât de accentuat în cazul unui teren plat ca în cazul unui teren complex, unde se formează turbulență în nor datorită obstacolelor prezente.

Cercurile de izoconcentrații în hărțile SLAB reprezintă suprafața totală care poate fi afectată în cazul unei deversări accidentale.

În tabelul 6.10 sunt prezentate rezultatele simulărilor SEVEX și SLAB, referitoare la suprafețele afectate de concentrațiile de interes. Valorile reprezintă suprafața afectată în 30 minute după începutul accidentului.

Tabel 6.10. Suprafețele afectate calculate cu SEVEX și SLAB pentru Scenariul A.2., situația pentru 30 minute

Software	Timpul ac.	S3 (km ²) - LC50	S2 (km ²) - IDLH	S1 (km ²) - ERPG2
SEVEX	Ziua	1,89	34,67	17,05
	Noaptea	3,33	28,81	6,52
SLAB	Ziua	0,657	96,385	401,576
	Noaptea	2,137	640,359	2411,208

Analizând datele din tabelul 6.10 se observă că suprafețele cu concentrații peste LC50 sunt mai reduse, iar suprafețele cu concentrațiile între LC50-IDLH și IDLH-ERPG2 sunt supraestimate în cazul rezultatelor obținute cu modelul SLAB.

Folosind rezultatele SLAB într-un plan de urgență ar însemna subestimarea zonei celei mai periculoase (unde apar concentrații letale) și supraestimarea zonelor cu pericol de intoxicații.

Rezultatele obținute folosind programul SEVEX View sunt mult mai realiste decât cele obținute cu SLAB View, deoarece consideră două elemente foarte importante: topografia și utilizarea terenurilor, cu influență semnificativă asupra fenomenului de dispersie a gazelor.

Bibliografie

- [1]. ***Hotărârea de Guvern nr. 804/2007 privind controlul asupra pericolelor de accident major în care sunt implicate substanțe periculoase, Monitorul Oficial, 8 August 2007.
- [2]. ***Chlorine Institute, *Chlorine: Effects on Health and the Environment*, Third edition, 1999, Disponibil la: <http://www.chlorineinstitute.org/files/PDFs/ChlorineEffectsOnHealth.pdf>, Accesat în februarie 2010.
- [3]. ***National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *Chlorine*, USA, Disponibil la: <http://www.cdc.gov/niosh/topics/chlorine/>, Accesat în februarie 2010.
- [4]. ***ATM-Pro, *SEVeso Expert (SEVEX View)*, Belgia, Disponibil la: http://www.atmpro.be/product.php?item=sevex_view&onglet=general, Accesat în septembrie 2007.
- [5]. ***Lakes Environmental, *SLAB View Software*, Canada, Disponibil la: <http://www.weblakes.com/>, Accesat în noiembrie 2009.
- [6]. I. Farcaș, *Zona industrială Turda-Câmpia Turzii*, Rezumatul tezei de doctorat, Facultatea de Biologie-Geografie, UBB, Cluj-Napoca, 1987.
- [7]. *** Laboratorul E.I.R.M., *Studiu de caz risc tehnologic*, Facultatea de Știința Mediului, U.B.B, Cluj-Napoca, 2004.
- [8]. S. Mannan, *Lees' Loss Prevention in the Process Industries. Hazard Identification, Assessment and Control*, Elsevier, Third Edition, Oxford, 2005.
- [9]. ***Austrian Permanent Seveso Working Group (Grupul de Lucru Permanent Seveso din Austria), *Calculation of appropriate distances for the purposes of Land Use Planning, Emergency Planning and Domino Effects*, Disponibil la: http://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/10899190_28322874/323d0abe/Seveso-Empfehlung%20der%20Bundesl%C3%A4nder-engl-final%20version.pdf, Accesat în ianuarie 2010
- [10]. ***Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer (Ministerul Ecologiei, Energiei, a Dezvoltării Durabile și al Mării), *Ghid pentru planificarea utilizării terenurilor*, Disponibil la: http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/DPPR_PPRT_v4tbd_B.pdf, Accesat în ianuarie 2010.
- [11]. ***Ministero dei Lavori Pubblici (Ministerul Lucrărilor Publice), *Decreto 9 Maggio 2001 - Requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione urbanistica e territoriale per le zone interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante*, Disponibil la:

<http://www.ambiente.it/impresalegislazone/leggi/2001/dm9-5-2001.htm>, Accesat în ianuarie 2010.
[12]. F. Cavender, S. Phillips, M. Holland, *Development of emergency response planning guidelines (ERPGs)*, Journal of Medical Toxicology, volume 4, nr. 2, 2008, p. 127-131.

Capitolul 7

Analiza consecințelor și planificarea utilizării terenurilor în cazul accidentelor la depozitarea azotatului de amoniu

Azotatul de amoniu (nitrat de amoniu - NA) este o substanță des folosită ca îngrășământ în agricultură. Dezavantajele utilizării NA în agricultură constau în caracterul higroscopic pronunțat, în proprietatea inflamabilă și explozivă. În schimb din cauza acestor proprietăți periculoase substanța este larg folosită ca exploziv pentru pușcări în industria minieră. După accidentul de la Toulouse, Franța (2001) [1], NA a fost inclusă în lista substanțelor periculoase din directiva SEVESO III. În acest context, depozitarea, transportul și manipularea acestei substanțe este reglementată în România de Hotărârea de Guvern 804/2007, pentru cantități mai mari sau egale cu cele prevăzute în Anexa 1 a acestei hotărâri [2].

Obiectivul prezentului studiu de caz este găsirea unor soluții practice, eficiente pentru planificarea utilizării terenurilor și planificarea urgențelor chimice în cazul depozitării NA.

7.1. Prezentarea substanței: azotatul de amoniu

Azotatul de amoniu sau „salpetru de amoniu” este o sare care se obține prin reacția de neutralizare a acidului azotic cu amoniac. NA este un agent oxidant care prin încălzire la temperaturi mari în spații închise (ex: țevi, etc.) cu realizarea unei presiuni ridicate, poate conduce la reacții violente sau explozii, în special dacă sunt contaminate cu substanțe periculoase (materiale combustibile și lubrifianți, agenți reducători etc.) [3].

7.6. Hazardurile și riscurile potențiale asociate azotatului de amoniu

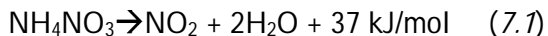
Sunt trei hazarduri principale asociate cu NA:

- Instabilitatea la descompunere;
- Incendiul (datorat naturii sale oxidante);
- Explozia.

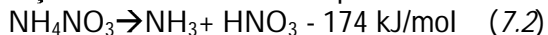
7.6.1. Estimarea riscului legat de instabilitatea substanței

NA în stare pură poate suferi o descompunere termică dacă primește suficientă energie calorică. Pe timpul acestor reacții sunt emise gaze toxice: oxizi de azot și amoniac. Printr-o ventilație corespunzătoare, descompunerea se oprește în momentul în care fluxul de energie calorică este oprit. Rata de descompunere nu este periculoasă de mare la temperaturi moderate și efectele termice totale nu sunt semnificative atunci când reacția exotermă este acompaniată de disociere endotermică.

Încălzit în intervalul de temperatură 170 - 250 °C NA se descompune în dioxid de azot și vapori de apă, reacția fiind exotermă:



Peste 250 °C rezultă amoniac și acid azotic din descompunere:

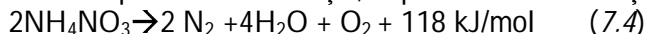


Fiindcă reacția (7.2) este endotermă, temperatura de descompunere poate să fie auto-limitată de proces, dacă gazele produse sunt emise liber. La presiune atmosferică această temperatură este la nivelul de 292 °C. Dacă dioxidul de azot rămâne în mediul de reacție, disocierea reversibilă se oprește împreună cu efectele endotermice. Efectele exotermice încep să domine reacția, ceea ce

poate produce o accelerație a descompunerii, conducând la un comportament exploziv. Are loc următoarea reacție exotermă foarte violentă:



La temperatură mai înaltă se produce o defonție, după următoarea reacție:



Acest fenomen explică de ce încălzirea NA în spații închise poate conduce la explozie.

NA este o substanță periculoasă din punct de vedere al stabilității moleculei. Molecula NH_4NH_3 conține doi atomi de N în stări de oxidare diferite, extreme, și anume: atomul N din ionul NO_3^- are număr de oxidare V, în starea maximă de reducere, iar atomul N din ionul NH_4^+ are număr de oxidare -III în starea maximă de oxidare.

Riscul referitor la instabilitatea moleculei este estimat folosind metoda cantitativă CHETAH (Chemical Thermodynamic and Energy Release Programme – Programul pentru Termodinamică Chimică și Eliminarea Energiei) [3].

1. *Calcularea criteriului C_1 : entalpia de descompunere - ΔH_d*

$C_1 = -1,47 \text{ kJ/g} \rightarrow$ risc mediu.

2. *Calcularea criteriului C_2 : tendința la combustie*

Pentru criteriul C_2 azotatul de amoniu a primit un nivel de **risc mediu** din cauza că este exploziv când este încălzit [3].

3. *Calcularea criteriului C_3 : măsurile de redox intern; balanța de oxigen*

În cazul azotatului de amoniu $z = 0,5$, $M = 80$; astfel $C_3 = 3200/80 * 0,5 = 20 \rightarrow$ risc mare.

4. *Calcularea criteriului C_4 : efectul masei*

În cazul azotatului de amoniu $n = 9$, $M = 80$; astfel $C_4 = 10 * (-1,47)^2 * 80/9 = 192,08 \rightarrow$

risc minor.

Acest criteriu subestimează riscul în cazul azotatului de amoniu [3].

Luând în considerare cele patru criterii de risc calculate pentru NA rezultă un **risc final mediu în ceea ce privește instabilitatea substanței.**

7.6.2. Incendiul

NA în sine nu arde și nu este combustibil. Ca substanță oxidantă poate întreține arderea și poate intensifica un incendiu chiar și în lipsa aerului, dar numai atâta timp cât este prezent combustibilul sau materialul inflamabil. Pe timpul arderii se descompune în oxizi de azot și amoniac, ambele toxice.

Incendiile în care este implicat NA nu pot fi stinse prin sufocare, deoarece NA poate produce oxigenul necesar întreținerii arderii. Apa este cea mai potrivită pentru stingerea incendiilor în care este implicat NA, cea mai eficientă metodă fiind inundarea efectivă cu apă a zonei cuprinse de incendiu [4, 5].

Din calculele efectuate pentru determinarea riscului instabilității NA în capitolul 7.6.1, reiese că **riscul incendiului în cazul NA este minor.**

Substanțe periculoase rezultate din descompunerea azotatului de amoniu:

Principalele substanțe periculoase emise la descompunerea îngrășămintelor pe bază de NA pot fi următoarele [6]:

a) prima variantă, după clasificarea lui Perbal: vapori de apă (H_2O): 45-65 %; azot (N_2): 19-26 %; protoxid de azot (N_2O): 7-20%; acid clorhidric (HCl): 0,5-10%; oxizi de azot (NO_x): 0-9%; clorură de amoniu (NH_4Cl): 0-7%; clor (Cl_2): 0-2%;

b) a doua variantă, după clasificarea lui Kiiski: vapori de apă (H_2O): 56 %; azot (N_2): 20 %; protoxid de azot (N_2O): 11 %; clor (Cl_2) și acid clorhidric (HCl): 6 %; oxizi de azot (NO_x), amoniac (NH_3) și acid fluorhidric (HF): 7 %.

7.6.3. Explozia

NA poate produce explozie prin una din următoarele trei modalități:

- încălzire în spații închise;

- reacții accelerate de descompunere – autoîncălzire prin descompunere termică;
- detonare – inițiere prin șoc de către un alt exploziv sau impact mecanic.

Există o oarecare confuzie și incertitudine în literatură și în rapoartele de securitate cu privire la puterea de explozie a îngrășământului.

Părerea generală privind hazardurile ce implică NA este aceea că, în cazul unui incendiu extins la un depozit de îngrășăminte, o baltă de NA lichid se va forma la capătul stivei cel mai aproape de foc. Dacă această baltă este lovită de un proiectil cu viteză mare (ex: un obiect care cade sau o parte a unui tambur care a explodat) atunci are loc o explozie locală care va transmite o undă de șoc în stiva principală de îngrășământ care nu s-a topit. Dacă această stivă conține mai puțin de 300 t, nu va suporta o detonare, dar va deflagra și, făcând acest lucru, va elibera o cantitate de energie echivalentă cu 41 t de TNT. Această cifră este calculată pe baza unei echivalențe TNT a NA cu o putere a exploziei de 55% și o eficiență de 25%. Domeniul hazardului de suprapresiune de $6,9 \cdot 10^3$ Pa (= 1 psi = 0,069 bar) pentru o asemenea explozie este de 600 m [1, 5].

Aplicarea modelului TNT pentru calcularea puterii explozive

Deoarece o explozie este o conversie rapidă a unui solid într-un gaz la o temperatură ridicată, parametrii esențiali care guvernează câmpul exploziv reprezintă cantitatea de gaz produsă și căldura eliberată prin reacție, care determină temperatura maximă atinsă.

Energia eliberată de o explozie este produsul dintre masa explozibilului – M (kg), energia exploziei – E_s (J) la 1 kg de substanță și eficiența exploziei. Energia specifică a exploziei este de obicei măsurată în termeni de energie de detonare a TNT și este considerată ca putere explozivă:

$$\text{Puterea Explozivă} = E_s / E_{TNT}$$

unde: E_s - Energie de descompunere a unui kg de substanțe (J)

E_{TNT} - Energia de detonare a 1 kg de TNT (J).

Deoarece consecințele exploziilor sunt documentate în termeni de masă a TNT, consecințele exploziilor altor substanțe sunt cel mai convenabil determinate prin calcularea unei mase echivalente a TNT. Aceasta este definită ca:

$$\text{Echivalent TNT} = M \times (\text{Putere explozivă}) \times (\text{eficiență}).$$

În tabelul 7.4 este prezentată o trecere în revistă a unor valori oferite de Executivul pentru Sănătate și Siguranță din Marea Britanie (HSE UK).

Tabel 7.4. Puterea, eficiența și echivalentul exploziei NA [7]

Numele subst.	Puterea explozivă	Eficiența	Echivalentul TNT	Sursă bibliografică
Azotat de amoniu	55 %	25 %	14 %	HSE, UK
FGAN	30 %	10 %	3 %	Diverse
TGAN	40 %	25 %	10 %	Diverse

Pentru NA stocat în grămezi întinse, unii experți din industrie acceptă în prezent că 0,32 este factorul care trebuie multiplicat cu cantitatea de TNT.

7.8. Studiu de caz: Evaluarea riscului la depozitarea azotatului de amoniu într-un port naval

Obiectivul studiat este un port naval, cu scopul depozitării și derulării mărfurilor chimice vrac în magazie și în special a azotatului de amoniu.

Activitățile principale constau în depozitarea mărfurilor vrac în magazie în vederea încărcării ulterioare în nave maritime, precum și încărcarea navelor în transbord direct.

7.8.2. Identificarea hazardurilor și a zonelor vulnerabile

Depozitarea, transportul și manipularea unor cantități însemnate de materiale periculoase, în cazul nostru NA, pot genera situații de risc major în anumite condiții, necesitând alarmarea chimică.

Pericolul de accident major este determinat de coexistența mai multor factori de risc, care sunt prezentați sintetic în tabelul 7.5.

Tabel 7.5. Hazardurile și factorii de risc identificați

Hazardul	Factorul de risc probabil
Chimic	- stocare și vehiculare de substanțe oxidante și potențial periculoase; - emisia de gaze toxice, în principal oxizi de azot (NO _x), rezultați din descompunerea termică în caz de accident;
Explozie	- NA poate produce explozie prin contaminare cu substanțe organice și prin descompunere termică
Incendiu	- NA în sine nu arde, nu este combustibil. Ca substanță oxidantă poate întreține arderea și poate intensifica un incendiu chiar și în lipsa aerului, dar numai atâta timp cât este prezent combustibilul sau materialul inflamabil.

Zonele cu potențial de pericole majore la depozitarea și manevrarea NA sunt următoarele:

- rampa de descărcare a vagoanelor;
- incinta magaziei;
- traseul de transport al mărfii cu instalația de benzi transportoare (conveior elevator).

Pentru a se produce explozie în masa de azotat de amoniu, este necesară amestecarea unei părți din azotat cu o substanță combustibilă, sau detonarea cu o cantitate semnificativă de explozibil. Acest lucru este posibil în următoarele situații:

- atac militar cu proiectile explozive asupra depozitului;
- atac terorist prin detonarea azotatului de amoniu cu explozibil sau amestecarea unei părți din azotat cu un lichid combustibil și detonarea ulterioară a acestuia;
- producerea unui lanț de erori umane care să conducă la detonarea azotatului de amoniu din depozit;
- scurgerea unui combustibil lichid pe azotatul de amoniu, incendiu cu foc deschis în zona în care există amestec de azotat cu combustibil lichid.

Populația și zonele vulnerabile identificate

În cadrul obiectivului se află permanent 12 muncitori. În plus față de personalul propriu în interiorul depozitului mai pot fi prezenți: delegați, reprezentanți ai beneficiarilor, colaboratori, reprezentanții firmelor care desfășoară lucrări pe bază de contract, vizitatori, personal de control.

La 500 m de la depozitul studiat se află un dispeccerat și vestiarul muncitorilor din port. La aproximativ 1,6 km în direcția V se află primele blocuri de locuințe din oraș. La aproximativ 2,1 km în direcția N se află primele blocuri de locuințe din oraș.

Personalul din interiorul obiectivului este cel mai susceptibil a fi afectat.

7.8.3. Selectarea scenariilor accidentale

Scenariile accidentale sunt dezvoltate în funcție de cele trei *zone cu potențial de pericole majore* identificate:

- incinta magaziei;
- rampa de descărcare a vagoanelor;
- traseul de transport al mărfii cu instalația de benzi transportoare (conveior elevator).

A) Magazia de depozitare a substanțelor periculoase (azotat de amoniu)

Scenariul A.1. Distrugerea magaziei prin atac terorist sau atac din aer

Scenariul A.2. Incendierea azotatului de amoniu depozitat în magazie

Scenariul A.3. Descompunerea azotatului de amoniu aflat în depozitare

Scenariul A.4. Explozia azotatului de amoniu depozitat în magazie

B) Rampa de descărcare a vagoanelor

Scenariul B.1. Incendiu la rampa de descărcare a vagoanelor

Scenariul B.2. Explozia azotatului de amoniu aflat la rampa de descărcare a vagoanelor

Scenariul B.3. Scurgeri de azotat la rampa de descărcare

C) Traseul benzi transportoare (conveior elevator)

Scenariul C.1. Incendiu la conveior elevator

Scenariul C.2. Scurgeri de azotat la încărcarea navelor

7.8.4. Evaluarea calitativă a riscurilor accidentelor majore identificate

Evaluarea calitativă a riscurilor este efectuată în funcție de consecințele și probabilitățile identificate. Riscul este cuantificat cu ajutorul matricei de risc, conform formulei riscului prezentată în capitolul 1, ecuația 1.1.

7.8.4.2. Matricea de evaluare a riscurilor

Toate avariile sau evenimentele cu nivel de gravitate 4 și 5 prezintă pericol de accident major, iar celelalte un pericol potențial (prin extinderea avariei la alte zone, agravarea situației prin neînălțurarea în timp util a avariei).

La stabilirea valorilor asociate nivelelor de probabilitate și de risc s-a ținut cont de existența amenajărilor și dotărilor tehnice pentru siguranță și de rezultatele studiilor efectuate până în prezent.

Tabel 7.8. Matricea riscului pentru scenariile accidentale identificate

Nr. scn.	Pericolul	Probabilitate	Gravitate	Risc
A. Magazia de depozitare a substanțelor periculoase (azotat de amoniu)				
A.1	Distrugerea magaziei prin atac terorist sau atac din aer	1	5	5
A.2	Incendierea azotatului de amoniu depozitat în magazie	2	3	6
A.3	Descompunerea azotatului de amoniu aflat în depozitare	2	3	6
A.4	Explozia azotatului de amoniu depozitat în magazie	2	5	10
B. Rampa de descărcare a vagoanelor				
B.1	Incendiu la rampa de descărcare a vagoanelor	2	3	6
B.2	Explozia azotatului de amoniu aflat la rampa de descărcare a vagoanelor	2	5	10
B.3	Scurgeri de azotat la rampa de descărcare	3	1	3
C. Traseul benzi transportoare (conveior elevator)				
C.1	Incendiu la conveiorul elevator	2	3	6
C.2	Scurgeri de azotat la încărcarea navelor	3	1	3

7.8.4.3. Concluzii legate de evaluarea calitativă a riscurilor

Din evaluarea de risc rezultă că riscul producerii unui accident major în cadrul depozitului este acceptabil fiind necesară o monitorizare periodică și un sistem riguros de operare. Riscul cel mai mare de producere a unui accident major îl constituie explozia în timpul operației de manipulare și în magazia de depozitare. Atacurile armate au un risc scăzut dar semnificativ care nu poate fi ignorat datorită consecințelor deosebit de grave și a importanței strategice a locului de amplasare a magaziei. Incendiile pot fi prezente, au un risc scăzut dar care pot avea consecințe deosebit de grave dacă nu sunt lichidate imediat de către personalul de operare.

În concluzie, un accident major la magazia de NA are consecințe deosebit de grave datorită cantității mari de substanță existentă într-un singur loc, o singură încăpere, care poate fi implicată într-o explozie.

7.8.5. Analiza efectelor și a consecințelor legate de depozitarea și manevrarea azotatului de amoniu

Pentru evaluarea amplitudinii și a gravității accidentelor în cazul scenariilor cu explozii s-au efectuat simulări ale acestora utilizând programul EFFECTS 7 al firmei olandeze TNO.

Pentru a evalua amplitudinea și gravitatea unei explozii s-a utilizat ca parametru de evaluare suprapresiunea în frontul unde de șoc.

La efectuarea simulărilor s-au utilizat următoarele ipoteze:

I. explozia azotatului de amoniu aflat pe traseul de benzi transportoare:

- cantități estimate: 10 t de NA;

II. explozia azotatului aflat pe rampa de descărcare a vagoanelor CF.:

- cantități estimate: 100 t;

III. explozia azotatului de amoniu aflat în magazie:

- cantități estimate: 300 t fiind cantitatea medie zilnică calculată;
1500 t fiind cantitatea medie minimă existentă în magazie;
10000 t fiind cantitatea medie maximă existentă în magazie;
14000 t fiind capacitatea maximă proiectată;

IV. explozia unei cantități de 1 t pentru eventualele situații când în magazie rămâne azotat de amoniu adunat ca urmare a scurgerilor la operațiile de încărcare/descărcare.

Echivalentele de TNT calculate pentru azotatul de amoniu au fost următoarele:

- pentru cantitățile de 1 t, 10 t, 100 t și 300 t, echivalentul TNT folosit a fost de 14 % (0,14), calculat la o putere explozivă de 55 % și o eficiență de 25 % [7];
- pentru cantitățile de 1500 t, 10000 t, și 14000 t, echivalentul TNT folosit a fost de 32 % (0,32), calculat la o putere explozivă de 55 % și o eficiență de 58% [8].

Valorile sunt diferite datorită modului diferit de producere a exploziei în funcție de cantitatea existentă, deflagrație la cantități de până la 300 t și detonație la cantități mai mari [7, 8].

7.8.6. Analiza efectelor și a consecințelor în contextul planificării utilizării terenurilor folosind metodologia franceză, italiană și austriacă

Metodologia franceză de planificare a utilizării terenurilor urmărește estimarea consecințelor în cazul exploziilor considerând următoarele nivele de prag [9]:

1. *Mortalitate ridicată*: 200 mbar (distrugerea clădirilor din beton și a structurilor metalice [1]); 2. *Începerea mortalității*: 140 mbar (prăbușirea parțială a pereților în clădiri [1]); 3. *Efecte ireversibile*: 50 mbar (pagube minore în clădiri, spargerea geamurilor [1]); 4. *Efecte indirecte*: 20 mbar (spargerea geamurilor).

Metodologia italiană de planificare a utilizării terenurilor urmărește estimarea consecințelor în cazul exploziilor considerând următoarele nivele de prag [10]:

1. *Mortalitate ridicată*: 300 mbar (distrugerea totală a clădirilor [1]); 2. *Începerea mortalității*: 140 mbar; 3. *Efecte ireversibile*: 70 mbar (demolarea parțială a caselor [2]); 4. *Efecte reversibile*: 30 mbar;

Metodologia austriacă de LUP [11] folosește un singur nivel prag pentru suprapresiune și anume: 1. *Planificarea utilizării terenurilor*: 25 mbar (spargerea geamurilor [12]).

Conform acestor praguri stabilite de cele trei metodologii sunt calculate distanțele afectate în cazul exploziei cantităților de 1, 10, 100, 300, 1500, 10000, 14000 t de NA.

Distanțele sunt prezentate în tabelul 7.11.

Tabel 7.11. Distanțele (m) calculate pentru LUP folosind nivelele de prag din cele trei metodologii: franceză, italiană, austriacă

Met.	Nivele de prag	1 t	10 t	100 t	300 t	1500 t	10000 t	14000 t
FR.	Mortalitate ridicată (200 mbar)	45	97	208	300	676	1272	1423
	Începerea mortalității (140 mbar)	54	117	252	364	821	1546	1730
	Efecte ireversibile (50 mbar)	119	257	553	798	1797	3381	3783
	Efecte indirecte (20 mbar)	237	511	1102	1589	3579	6737	7636
IT	Mortalitate ridicată (300 mbar)	34	74	161	232	523	985	1102
	Începerea mortalității (140 mbar)	54	117	252	364	821	1546	1730
	Efecte ireversibile (70 mbar)	93	200	432	623	1405	2644	2958
	Efecte reversibile (30 mbar)	175	376	811	1170	2638	4959	5547
AUT	LUP (25 mbar)	198	426	917	1322	2978	5605	6270

Efectele dispersiilor toxice în cazul incendiilor și al descompunerii NA nu au fost studiate în lipsa modelelor de dispersie. Fenomenul de producere a gazelor toxice este foarte complex. Din cauza temperaturilor ridicate gazele vor avea o viteză ascendentă semnificativă și dispersia va avea loc la înălțimi mai mari în troposferă.

Se recomandă utilizarea tuturor măsurilor de siguranță discutate în acest capitol pentru evitarea accidentelor tehnologice în cazul depozitării și manevrării azotatului de amoniu.

Bibliografie

- [1]. S. Mannan, *Lees' Loss Prevention in the Process Industries. Hazard Identification, Assessment and Control*, Elsevier, Third Edition, Oxford, **2005**.
- [2]. *** *Hotărârea de Guvern nr. 804/2007 privind controlul asupra pericolelor de accident major în care sunt implicate substanțe periculoase*, Monitorul Oficial, 8 august **2007**.
- [3]. B. Martel, *Chemical Risk Analysis: A Practical Handbook*, Ed. Butterworth-Heinemann, United Kingdom, **2004**.
- [4]. ***Health and Safety Executive (HSE), *Storing and Handling Ammonium Nitrate*, Marea Britanie, Disponibil la: <http://www.hse.gov.uk/pubns/indg230.pdf>, Accesat în februarie 2009.
- [5]. ***Health and Safety Executive (HSE), *Safety Report Assessment Guide: Chemical warehouses – Hazards*, Marea Britanie, Disponibil la: <http://www.hse.gov.uk/comah/sragcwh/hazards/haz5.htm>, Accesat în februarie 2009.
- [6]. ***European Fertilizer Manufacturers Association, *Guidance for the Storage, Handling and Transportation of solid mineral Fertilizers, 2007*, Disponibil la: <http://www.fertilizerseurope.com/documents/file/guidance/Guidance%20for%20Safe%20Handling%20and%20Utilization%20of%20Non-Conforming%20Solid%20Fertilizers%20and%20Related%20Materials%20for%20Fertilizer%20Importers,%20Distributors%20and%20Merchants%20%282004%29.pdf>, Accesat în februarie 2009.
- [7]. R.J.A. Kersten, W.A. Mak, *Explosion hazards of ammonium nitrate, How to assess the risks?*, International Symposium on Safety in the Manufacture, Storage, Use, Transport and Disposal of Hazardous Material, Tokyo, 10-12 March **2004**.
- [8]. ***NTWorkSafe, *Security Sensitive Substances – ammonium nitrate – new facilities*, Australia, Disponibil la: <http://www.worksafe.nt.gov.au/justice/worksafe/corporate/bulletins/pdf/01-05/04.07.05.pdf>, Accesat în februarie 2009.
- [9]. ***Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer (Ministerul Ecologiei, Energiei, a Dezvoltării Durabile și al Mării), *Ghid pentru planificarea utilizării terenurilor*, Disponibil la: http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/DPPR_PPRT_v4tbd_B.pdf, Accesat în ianuarie 2010.

- [10]. ***Ministero dei Lavori Pubblici (Ministerul Lucrărilor Publice), *Decreto 9 Maggio 2001 - Requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione urbanistica e territoriale per le zone interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante*, Disponibil la: <http://www.ambiente.it/impresa/legislazione/leggi/2001/dm9-5-2001.htm>, Accesat în ianuarie 2010.
- [11]. ***Austrian Permanent Seveso Working Group, *Calculation of appropriate distances for the purposes of Land Use Planning, Emergency Planning and Domino Effects*, Disponibil la: http://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/10899190_28322874/323d0abe/Seveso-Empfehlung%20der%20Bundesl%C3%A4nder-engl-final%20version.pdf, Accesat în ianuarie 2010
- [12]. P.A.M Uijt De Haag, B.J.M. Ale, *Guidelines for Quantitative Risk Assessment. "Purple Book"*, VROM, Third Edition, The Hague, p. 5.12-5.15, **2005**.

Capitolul 8

Propunerea metodologiei de planificare a utilizării terenurilor

Teza de doctorat tratează problemele legate de calcularea distanțelor de siguranță pentru elaborarea unei metodologii de evaluare a riscului care poate să fie folosită în planificarea utilizării teritoriului.

În capitolele anterioare au fost studiate trei cazuri accidentale diferite, în care au fost implicate substanțe periculoase inflamabile, explozive sau toxice, larg utilizate în industria chimică. Depozitarea acestor substanțe la scară industrială are loc în cantități foarte mari, ceea ce induce un grad de pericol mai ridicat pentru om. Directiva Seveso prevede elaborarea studiilor de risc pentru planificarea utilizării terenurilor în cazul amplasamentelor care intră sub incidența directivei, dar nu stabilește o metodologie care să fie aplicată în mod uniform de către țările membre ale UE. În legislația românească nu este prestabilită o metodologie pentru calcularea distanțelor de siguranță folosite în planificarea utilizării terenurilor. Teza de doctorat propune elaborarea unei metodologii pentru calcularea acestor distanțe de siguranță prin sinteza unor metodologii existente folosite cu succes de alte țări membre UE și a „*Ghidului pentru calcularea accidentelor majore*” elaborat de Dr. H. Joachim Uth.

8.1. Metodologia recomandată

„*Ghidul pentru calcularea accidentelor majore*” are anumite puncte slabe, de exemplu:

- 1) pentru zona industrială studiată acest ghid consideră existența stadiului actual al tehnicii securității, ceea ce în cazul multor amplasamente de tip Seveso din România nu este valabilă;
- 2) nu tratează cazul radiațiilor termice nestaționare;
- 3) nu ia în considerare existența terenurilor complexe în cazul dispersiilor toxice etc. În consecință, estimarea zonelor de pericol poate să fie sub sau supra-estimată în cazul accidentelor tehnologice cu evenimente BLEVE sau cu dispersii toxice cu cantități mari de substanțe;
- 4) pragul de suprapresiune recomandat pentru LUP (0,1 bar) este prea ridicat.

În această lucrare se recomandă utilizarea unei metodologii semi-cantitative pentru planificarea utilizării terenurilor, bazată pe expertiza evaluatorilor, conținând următoarele tipuri de analize:

- Analiza hazardurilor legate de substanțele periculoase prezente pe amplasamentul studiat;
- Identificarea și analiza hazardurilor tehnologice cu ajutorul metodelor HAZOP, FMEA și indicii de risc FEI – DOW, în funcție de complexitatea problemei și de echipa de evaluare;
- Dezvoltarea scenariilor accidentale în funcție de hazardurile identificate anterior cu metodele utilizate;
- Estimarea calitativă a riscului folosind matricea riscului; estimarea frecvențelor și a consecințelor bazată pe expertiza evaluatorilor;

- Selectarea scenariilor accidentale după următoarele criterii: scenariu maxim posibil; scenariu maxim credibil; scenarii care prezintă un risc moderat sau mai mare;
- Analiza cantitativă a efectelor fizice și a consecințelor scenariilor selectate, prin modelarea și simularea accidentelor;
- Utilizarea celor mai sofisticate modele;
- Utilizarea condițiilor meteorologice medii și extreme (pentru situația meteo cea mai dezavantajoasă);

Pentru calcularea distanțelor de planificare se recomandă respectarea următoarelor aspecte:

Radiație termică

În cazul accidentelor în care a avut loc fenomenul BLEVE cele mai multe dintre victime au murit din cauza radiației termice provenite de la FB. Prin urmare, în lucrarea de față este propusă utilizarea modelelor dinamice pentru calcularea efectelor fizice a radiației termice și a distanțelor de planificare a utilizării terenurilor. Efectele fizice pot fi exprimate în sarcină termică (heat load) într-un mod mai adecvat în cazul radiației termice dinamice.

Valoarea de $1,6 \text{ kW/m}^2$ folosită pentru radiația termică în „*Ghidul pentru calcularea accidentelor majore*” supraestimează zonele de pericol în cazul incendiilor și mai ales în cazul incendiilor cu radiație termică nestaționară tip BLEVE.

Pentru calcularea efectelor radiațiilor termice staționare și dinamice se recomandă folosirea limitelor prestabilite de metodologia franceză.

Toate distanțele calculate pentru planificarea utilizării terenurilor subliniază faptul că depozitele de GPL ar trebui construite departe de amplasamente de proces, rafinării, depozite de hidrocarburi, drumuri publice sau zone rezidențiale.

Dispersii toxice

Pentru planificarea utilizării terenurilor, în cazul dispersiilor toxice se recomandă folosirea limitelor de concentrații LC50, IDLH și ERPG2 pentru delimitarea zonelor de pericol după următoarele considerente:

- 1) aceste concentrații se regăsesc în literatura de specialitate;
- 2) reprezintă situații diferite, unde sunt necesare diferite modalități de intervenții: $C > LC50$ – evacuarea imediată a zonei; $IDLH \leq C < LC50$ – evacuarea zonei unde se găsesc concentrații mai ridicate și adăpostire în alte zone; $ERPG2 \leq C < IDLH$ – adăpostire și evitarea expunerii; $C < ERPG2$ – evitarea expunerii, nici un pericol.
- 3) furnizează suficiente informații pentru alegerea distanțelor de siguranță în cazul planificării utilizării terenurilor, pentru diferite tipuri de zone (urbană, industrială, protejată etc.).

Pentru calcularea distanțelor de siguranță în cazul planificării utilizării terenurilor pentru zonele rezidențiale se recomandă limita de concentrație ERPG2.

Folosirea modelelor tridimensionale este mai adecvată pentru calcularea dispersiilor toxice, având în vedere complexitatea mișcării fluidelor și influența topografiei asupra curenților de aer.

Din analizele consecințelor conform simulărilor efectuate cu programele SEVEX View și SLAB View reiese că depozitul de clor nu ar trebui să fie situat în orașul Turda, fiindcă prezintă un pericol major pentru populația orașelor Turda, Câmpia Turzii și a satelor apropiate.

Suprapresiune

Pentru planificare utilizării terenurilor în cazul exploziilor accidentale se recomandă utilizarea pragului de 20 mbar pentru suprapresiunea la care se rup geamurile. Se consideră că din cauza ruperii geamurilor se produc efecte indirecte asupra omului, rănirea persoanelor din cauza fragmentelor de sticlă spartă.

Se recomandă estimarea consecințelor suprapresiunii formate în cazul exploziilor prin folosirea metodologiei franceze, fiindcă după metoda italiană rezultă distanțe prea scăzute, unde pot să mai apară efecte indirecte datorită spargerii geamurilor.

Depozitarea azotatului de amoniu prezintă un risc moderat, având în vedere consecințele catastrofale în caz de accident. Probabilitatea de producere a exploziilor accidentale cu azotat de amoniu este scăzută, dacă sunt respectate măsurile de siguranță discutate în lucrare.

Capitolul 9

Concluzii

Odată cu dezvoltarea industriilor de proces a crescut semnificativ și numărul accidentelor tehnologice, cauzând uneori poluarea excesivă a mediului și pierderea multor vieți omenești. Aceste accidente tehnologice istorice au contribuit în mod semnificativ la creșterea siguranței tehnologice, prin două căi: pe cale tehnologică, odată cu dezvoltarea sistemelor noi de siguranță, automatizarea proceselor sau cu utilizarea unor tehnologii mai puțin periculoase; pe cale legislativă prin elaborarea unor reglementări legislative la nivel european sau național, care reglementează activitățile industriale cu scopul protecției populației, a mediului și a economiei într-un mod eficient și coerent.

După trei ani de la aderarea la UE, în România încă nu există o legislație coerentă privind planificarea utilizării terenurilor în contextul prevederilor art. 12 al Directivei Seveso, cu excepția prevederilor privind explozivii și amplasarea conductelor magistrale pentru transportul gazelor naturale.

Momentan în România există peste 200 de operatori economici clasificați tip Seveso, majoritatea lor cu risc ridicat, amplasamentele fiind localizate în apropierea zonelor cu vulnerabilitate crescută pentru populație sau mediu. În cazul acestor amplasamente necesitatea elaborării unor studii de risc este esențială în prevenirea accidentelor tehnologice, în planificarea utilizării teritoriului și în planificarea urgențelor. Pe baza acestor studii populația poate fi informată, instruită și pregătită pentru accidente, ceea ce poate să salveze multe vieți omenești.

În consecință, în lucrarea de față a fost propusă dezvoltarea unei metodologii de evaluare a riscului pentru planificarea utilizării terenurilor și planificarea urgențelor în cazul amplasamentelor tip Seveso, unde sunt depozitate, transportate și procesate substanțe periculoase inflamabile, explozive sau toxice în cantități mari.

Prima parte, teoretică, aduce contribuții majore în literatura română de specialitate prezentând într-o succesiune logică principalele aspecte despre hazard și risc în industria chimică, cele mai des utilizate metode și tehnici din domeniul evaluării riscului, evidențiind diferențele, avantajele, dezavantajele și limitările acestora. Această primă parte stă la baza metodologiei elaborate în ultimul capitol al tezei.

Pentru elaborarea metodologiei au fost luate în considerare trei studii de caz cu scenarii accidentale tehnologice la depozitarea următoarelor substanțe periculoase: propan, clor și azotat de amoniu. Aceste substanțe au fost selectate pentru studiu din mai multe motive, și anume: sunt foarte des folosite în industria chimică, petrochimică, minieră sau în agricultură; prezintă aproape toate tipurile de accidente chimice sau cu dezvoltare de energie necontrolată; sunt depozitate în cantități foarte mari; se găsesc în apropierea zonelor vulnerabile (de exemplu depozitul de clor din Turda).

Fiecare studiu de caz tratează un accident tehnologic în care este implicată o substanță din cele enumerate mai sus. Sunt estimate efectele și consecințele accidentelor și sunt calculate distanțele pentru planificarea utilizării terenurilor, considerând mai multe metodologii folosite în statele membre ale UE.

Metodologia finală propusă se bazează pe mai multe considerente teoretice și metodologii:

- Metodele și tehnicile de evaluare a riscului prezentate în prima parte a tezei: HAZOP, FMEA, DOW's FEI, Analiza istorică, analize cantitative de risc prin modelarea și simularea efectelor și a consecințelor etc.
- „*Ghidul pentru calcularea accidentelor majore*” elaborat de Dr. H. Joachim Uth, care reflectă experiența de LUP folosită în Germania;
- Metodologia franceză de planificare a utilizării terenurilor elaborată de Ministerul Ecologiei, Energiei, Dezvoltării Durabile și a Mării din Franța;
- Metodologia italiană de planificare a utilizării terenurilor elaborată de Ministerul Lucrărilor Publice din Italia;
- Metodologia austriacă de planificare a utilizării terenurilor elaborată de „Grupul de lucru permanent Seveso” din Austria.

Analizând cele trei studii de caz și rezultatele obținute putem concluziona că metodologia „Ghid pentru calcularea accidentelor majore”, care reflectă percepția metodologiei de LUP folosită în Germania, are anumite puncte slabe, de exemplu: 1) nu tratează cazul radiațiilor termice nestaționare; 2) nu consideră existența terenurilor complexe în cazul dispersiilor toxice; 3) este prea generalizată și nu se poate folosi pentru orice situație accident; 4) pentru zona industrială studiată acest ghid consideră existența stadiului actual al tehnicii securității, ceea ce în cazul multor amplasamente de tip Seveso din România nu este valabil.

Metodologia italiană și austriacă de planificare a utilizării teritoriului se află încă în stadiu de dezvoltare. Metodologia italiană este mai completă decât cea austriacă, dar nu tratează într-un mod adecvat toate tipurile de accidente, de exemplu cele cu radiații termice nestaționare.

Metodologia franceză se bazează pe estimarea consecințelor. Limitele sunt mai stricte decât în cazul metodologiei italiene, ceea ce determină un grad mai ridicat de protecție a populației. Această metodologie ia în considerare radiațiile termice dinamice, astfel estimarea zonelor de pericol este mai corectă și distanțele nu sunt supraestimate. În cazul accidentelor în care a avut loc fenomenul BLEVE cele mai multe victime au murit din cauza radiației termice provenite de la mingea de foc. Efectele fizice pot fi exprimate în sarcină termică (heat load) într-un mod mai adecvat în cazul radiației termice dinamice.

Metodologia propusă de teză utilizează metoda bazată pe consecințe, folosind limitele metodologiei franceze pentru determinarea zonelor de pericol în cazul incendiilor și exploziilor. Pentru determinarea zonelor afectate de concentrații toxice metodologia franceză nu stabilește exact care este cel de-al treilea nivel de concentrație care produce efecte ireversibile, dar de obicei se consideră concentrația IDLH pentru acest nivel.

În concluzie se recomandă utilizarea limitelor LC50, IDLH și ERPG2 după următoarele considerente:

- 1) aceste concentrații se regăsesc în literatura de specialitate;
- 2) este mai ușoară convertirea lor pentru o anumită durată de expunere (de exemplu de la perioada de expunere de 1 oră la perioada de expunere de 30 minute);
- 3) reprezintă situații diferite, unde sunt necesare diferite modalități de intervenții: $C > LC50$ – evacuarea imediată a zonei; $IDLH \leq C < LC50$ – evacuarea zonei unde se găsesc concentrații mai ridicate și adăpostire în alte zone; $ERPG2 \leq C < IDLH$ – adăpostire și evitarea expunerii; $C < ERPG2$ – evitarea expunerii, nici un pericol.
- 4) furnizează suficiente informații pentru alegerea distanțelor de siguranță în cazul planificării utilizării terenurilor, pentru diferite tipuri de zone (urbană, industrială, protejată etc.).

Se recomandă utilizarea concentrației ERPG2 pentru limita de planificare a utilizării terenurilor, fiind o concentrație la care populația nu este afectată de consecințe grave.

Frecvența scenariilor se analizează în mod calitativ, bazându-se pe bazele de date accesibile și pe expertiza evaluatorilor. În cazuri speciale de luare a deciziilor, când frecvența este scăzută dar consecințele sunt grave rezultând astfel un risc mediu, factorul de gravitate a consecințelor trebuie să aibă o pondere mai mare decât frecvența de apariție.

Toate distanțele calculate pentru planificarea utilizării terenurilor subliniază faptul că depozitele de GPL, clor sau azotat de amoniu ar trebui construite la o distanță suficient de mare de amplasamentele de proces, rafinării, depozite de hidrocarburi, drumuri publice sau locuri rezidențiale pentru a nu aduce prejudicii acestora. Toate aceste aspecte sunt evidențiate de concluziile obținute după fiecare studiu de caz:

A) În cazul accidentului de la Feyzin sursa de aprindere a norului de propan a fost un motor cald al unei autoturism care circula pe drumul din apropierea depozitului. Distanța folosită în planificarea utilizării terenului trebuie să fie mai mare de 488 m, fiind distanța la care se produc efecte ireversibile asupra organismului din cauza radiației termice.

B) Considerând un accident chimic cu deversarea cantității totale de clor la depozitul localizat în orașul Turda, în cel mai grav caz meteo simulat, ar trebui evacuată o zonă mai mare sau

egală cu 56,93 km², zonă care afectează parțial orașele Turda, Câmpia Turzii, satele Mihai Viteazu și Săndulești, afectând mai mult de 10000 de locuitori.

Dintre scenariile calculate cu simulările SEVEX, cele mai mari suprafețe afectate (în timp de 240 minute) au fost obținute în cazul scenariilor A.1. și A.2 pentru dispersie în cazul nopții, când vântul bate din sud-est cu o viteză de 2 m/s. Aceste rezultate subliniază faptul că scenariile accidentale în timpul nopții sunt mai periculoase, fiindcă atmosfera este mai stabilă și astfel dispersia norului este mai slabă. Situația este agravată și din cauza faptului că populația în timpul nopții este mai greu de avertizat și evacuat din zonele afectate. Scenariul B.1. cu deversarea de 1 t clor dintr-o butelie prezintă un risc mai scăzut decât celelalte două scenarii, dar din simulări reiese că zonele afectate sunt considerabile și trebuie luate măsuri de evacuare în zonele apropiate amplasamentului.

C) În cazul azotatului de amoniu (NA) distanțele rezultate pentru diferite efecte fizice și consecințe cresc în mod semnificativ proporțional cu creșterea cantității de NA explodat.

În cazul exploziei cantității maxime proiectate (14000 t) suprapresiunea de 200 mbar (corespunzătoare mortalității ridicate din metodologia franceză) poate afecta zonele rezidențiale situate la aproximativ 1,6 km de magazia de NA.

În cazul exploziei cantității maxime proiectate (14000 t) sau a cantității medii maxime existentă în magazie (10000 t) suprapresiunea de 140 mbar (corespunzătoare pragului de începere a mortalității în metodologia franceză și italiană) poate afecta zonele rezidențiale situate la aproximativ 1,6 km de magazia de NA.

Considerând o explozie cu cantitate medie zilnică calculată (300 t), nivelul suprapresiunii folosită pentru LUP în cele trei metodologii (20, 30 și 25 mbar) nu afectează zonele rezidențiale, doar pe cele industriale. Dacă are loc o explozie cu cantitate mai mare atunci zonele rezidențiale vor fi afectate.

Având în vedere riscul estimat în analiza calitativă și probabilitățile scăzute de accidente putem concluziona că magazia de NA nu prezintă un risc ridicat pentru populația orașului din vecinătatea magaziei. Distanțele de siguranță sunt suficiente, dar trebuie luată în considerare și producerea cazurilor extreme, cu explozia cantităților mai mari, unde distanțele pericolelor pentru om depășesc limitele orașului. În acest sens, nu se recomandă construirea locuințelor mai aproape de magazie, la o distanță mai mică decât locuințele existente.

În cazul planificării utilizării terenurilor se recomandă utilizarea pragului de 20 mbar pentru suprapresiunea la care se sparg geamurile. Se consideră că din cauza spargerii geamurilor se produc efecte indirecte asupra omului, rănirea persoanei din cauza fragmentelor de sticlă spartă. Se recomandă utilizarea tuturor măsurilor de siguranță discutate în această lucrare pentru evitarea accidentelor tehnologice în cazul depozitării și manevrării azotatului de amoniu.

Un alt aspect important care trebuie luat în considerare în studiile de evaluare a riscului este efectul domino.

Efectul domino în cazul accidentului de la Feyzin a fost cauzat în principiu de două erori majore: 1. proiectarea greșită a depozitului de GPL: folosirea distanțelor prea mici între sfere; distanță prea mică față de autostradă; lipsa echipamentelor fixe, eficiente în stingerea incendiului; valve de siguranță necorespunzătoare și defectate; 2: erori umane: greșeli în colectarea probei; lipsa de coordonare între echipele de intervenție; încetarea răcirii sferei T61-443 când s-a deschis valva de siguranță. Toate aceste erori constatate au contribuit la dezvoltarea securității tehnologice în cazul depozitelor de GPL.

În cazul depozitării azotatului de amoniu un incendiu poate să producă și efecte domino, rezultând explozia cantității de NA depozitat.

Se recomandă utilizarea următoarelor limite pentru calcularea distanțelor la care se produc efecte domino:

- radiație termică de 12,5 kW/m² în cazul radiațiilor termice staționare;
- suprapresiune de 100 mbar în cazul exploziilor – corespunde cu avarierea gravă a clădirilor;
- suprapresiune de 300 mbar în cazul exploziilor – corespunde cu suprapresiunea la care echipamentele de proces sunt avariate grav;

- distanță de 400 m în cazul proiectilelor aruncate în aer.

Există o varietate mare de programe software care pot fi utilizate pentru simularea accidentelor tehnologice, însă utilizarea lor necesită cunoașterea modelelor care stau la baza acestora. Alegerea programului software depinde de mai mulți factori: de accidentul care trebuie cercetat; de disponibilitatea datelor de intrare; de complexitatea problemei; de validitatea modelelor folosite; și nu în ultimul rând de disponibilitatea programului software.

Rezultatele obținute pentru dispersia clorului folosind programele SEVEX View și SLAB View prezintă diferențe semnificative în ceea ce privește suprafața zonelor afectate.

Analizând rezultatele obținute cu cele două programe se observă că în cazul rezultatelor obținute cu modelul SLAB suprafețele cu concentrații peste LC50 sunt mai reduse, iar suprafețele cu concentrațiile între LC50-IDLH și IDLH-ERPG2 sunt supraestimate. Folosind rezultatele SLAB într-un plan de urgență ar însemna subestimarea zonei celei mai periculoase (unde apar concentrații letale) și supraestimarea zonelor cu pericol de intoxicații.

Rezultatele obținute folosind programul SEVEX View sunt mult mai realiste decât cele obținute cu SLAB View, deoarece consideră două elemente foarte importante: topografia și utilizarea terenurilor, cu influență semnificativă asupra fenomenului de dispersie a gazelor.

Rezoluția grilei de evaluare de 1 km² a programului SEVEX View, referitor la topografia terenului și la utilizarea terenurilor, este considerată suficientă pentru utilizarea lui în studii de risc pentru planificarea urgențelor chimice externe și pentru planificarea utilizării terenurilor în cazul amplasamentelor SEVESO.

Există perspectiva în viitor ca programul să fie perfecționat, să folosească o rezoluție mai bună de 1 km² pentru topografie și utilizarea terenului. Cu creșterea performanței sistemelor de calculatoare, timpul de calcul se reduce, ceea ce compensează complexitatea mai mare a modelului în cazul rezoluției mai mari.

Această lucrare contribuie la deschiderea unor noi perspective de viitor și anume, combinarea modelului SEVEX cu modelul de calcul pentru risc individual și risc social. Prezentarea conturilor de risc individual, folosind topografia și utilizarea terenului, ar avea un avantaj mare în cazul zonelor complexe (ca de exemplu: zone muntoase; litoral; zone urbane și mixte) unde dispersia gazelor este influențată semnificativ de topografia complexă a terenului, utilizarea acestuia și fenomenele meteorologice specifice zonelor.

Utilizarea metodologiei de evaluare a riscului pentru planificarea utilizării terenurilor și planificarea urgențelor ar ușura atât munca evaluatorilor cât și a autorităților competente în luarea deciziilor și verificarea proiectelor.

În urma analizelor efectuate cu metodologia propusă pentru diferite amplasamente Seveso, populația ar trebui informată și pregătită pentru situații de urgențe.

9.1. Contribuții originale

În urma cercetărilor efectuate, se pot evidenția următoarele contribuții originale ale acestei teze de doctorat:

- sinteza literaturii de specialitate în domeniul evaluării riscului și elaborarea unor exemple pentru analizele tratate în partea teoretică a lucrării;
- elaborarea unei sinteze de literatură referitoare la metodologiile de planificare a utilizării terenurilor în contextul directivei Seveso;
- identificarea hazardurilor și a riscurilor asociate depozitării propanului;
- analiza comparativă a modelelor folosite în simularea fenomenului BLEVE;
- estimarea cantităților de propan deversat în cazul accidentului de la Feyzin;
- evaluarea efectelor și a consecințelor în cazul accidentului tehnologic soldat cu eveniment BLEVE la depozitarea propanului;

- analiza comparativă a limitelor prestabilite în metodologiile de planificare a utilizării terenurilor (franceză, italiană, austriacă) prin efectuarea simulărilor de explozii BLEVE și compararea distanțelor obținute cu diferite modele: static, dinamic și ruperea rezervoarelor;
- identificarea hazardurilor și a riscurilor asociate depozitării clorului;
- analiza comparativă a modelelor folosite în simularea dispersiei gazelor grele;
- evaluarea calitativă și cantitativă a riscurilor asociate depozitării clorului;
- analiza comparativă a limitelor prestabilite în metodologiile de planificarea utilizării terenurilor (franceză, italiană, austriacă) prin efectuarea simulărilor de dispersie și compararea suprafețelor obținute cu modelele SEVEX și SLAB;
- crearea hărților de consecințe pentru diferite situații meteo considerând mai multe scenarii accidentale cu deversare de clor în localitatea Turda;
- identificarea hazardurilor și a riscurilor asociate depozitării azotatului de amoniu;
- estimarea riscului de instabilitate a azotatului de amoniu;
- evaluarea calitativă și cantitativă a riscurilor asociate depozitării azotatului de amoniu;
- calcularea distanțelor pentru efectele undei de șoc asupra diferitelor tipuri de obiective și asupra personalului (conform Anexei 3b la Normele tehnice aprobate prin HG 536/2002) pentru mai multe scenarii accidentale soldate cu explozia azotatului de amoniu;
- analiza comparativă a limitelor prestabilite în metodologiile de planificare a utilizării terenurilor (franceză, italiană, austriacă) prin efectuarea simulărilor de explozii și compararea distanțelor obținute pentru diferite cantități de azotat de amoniu;
- analiza comparativă a metodologiilor de planificare a utilizării terenurilor și stabilirea nivelelor de prag pentru dezvoltarea unei noi metodologii;
- propunerea metodologiei de evaluare a riscului pentru calcularea distanțelor de siguranță folosite în planificarea utilizării terenurilor.