

AND 621/2025

GHID TEHNIC

MODEL DE ANALIZĂ A RISCURILOR PRIVIND TUNELELE RUTIERE**Cuprins**

0	Comentarii preliminare.....	2
1	Domeniu de aplicare	2
2	Terminologie	2
3	Aspecte generale.....	4
3.1	Obiectivul modelului de analiză a riscurilor privind tunelele.....	4
3.2	Aplicabilitatea modelului de analiză a riscurilor privind tunelele	4
3.3	Aspecte privind aplicarea modelului de analiză a riscurilor privind tunelele	4
3.4	Aspecte privind evaluările suplimentare ale riscurilor	4
3.4.1	Metode de analiză a riscurilor în funcție de scenarii	4
3.4.2	Analiza riscurilor privind transportul de mărfuri periculoase.....	4
4	Metodologie	5
4.1	Structura modelului de analiză a riscurilor	5
4.2	Analiza frecvenței	5
4.3	Analiza consecințelor	5
4.3.1	Impactul pagubelor mecanice produse de coliziuni	6
4.3.2	Impactul pagubelor provocate de incendii.....	6
4.3.3	Impactul pagubelor provocate de accidente ce implică mărfuri periculoase.....	6
5	Realizarea unei analize a riscurilor privind tunelele.....	7
5.1	Analiza frecvenței	7
5.2	Analiza consecințelor	7
6	Evaluarea rezultatelor analizei riscurilor privind tunelele	7
6.1	Moduri de evaluare	7
6.2	Evaluarea riscurilor printr-o comparație relativă cu un tunel de referință.....	9
6.3	Evaluările riscurilor pentru etape operaționale cu limită de timp	9
6.4	Analiza operațiunilor de salvare desfășurate de serviciile de urgență în cadrul evaluării riscurilor	9
6.5	Evaluarea riscurilor privind tunelele prin alocarea claselor de risc	10
6.6	Măsuri de atenuare a riscurilor	10
7	Bibliografie	10
8	Anexe	11
8.1	Anexa 1: Structura modelului de analiză a riscurilor	11
8.1.1	Componența modelului de analiză a riscurilor	11
8.1.2	Arborele evenimentelor	11
8.2	Anexa 2: Analiza frecvenței	14
8.2.1	Coloana A – Condiții de trafic.....	14
8.2.2	Coloana B - Avarii și coliziuni	14
8.2.3	Coloana C – Tip de accident	16
8.2.4	Coloana D - Vehicule implicate	17
8.2.5	Coloana E - Incendii ulterioare	18
8.2.6	Coloana F – Transportul mărfurilor periculoase	19
8.2.7	Coloana G - Scenariu cu pagube ce implică riscul de vătămări corporale ca urmare a incendiilor provocate de avarii	20

8.2.8 Coloana H - Dimensiunea incendiilor	20
8.2.9 Coloana I – Scenariu cu pagubele	20
8.3 Anexa 3: Analiza consecințelor pentru coliziuni	21
8.3.1 Aspecte de bază	21
8.3.2 Valorile de amplasare a pagubelor pentru coliziuni	21
8.4 Anexa 4: Analiza consecințelor pentru incendii și coliziuni ce implică transportul de mărfuri periculoase	21
8.4.1 Aspecte de bază	21
8.4.2 Valoarea pagubelor în funcție de incendii și mărfuri periculoase - tunele unidirecționale	24
8.4.3 Valoarea pagubelor în funcție de impactul incendiilor și al mărfurilor periculoase - tunele bidirecționale	26
8.5 Anexa 5: Valoarea pagubelor în funcție de incendii, folosită în modelul standard de analiză a riscurilor	28
8.5.1 Tunele unidirecționale cu ventilație longitudinală mecanică	28
8.5.2 Tunele unidirecționale cu ventilație naturală	36
8.5.3 Tunele bidirecționale cu ventilație naturală	38
8.5.4 Tunele bidirecționale cu ventilație longitudinală mecanică	39
8.5.5 Tunele bidirecționale cu sistem de aspirație a fumului	41
8.6 Anexa 6: Aspecte de calcul de bază și domeniul de aplicare al modelului standard de analiză a riscurilor	43
8.7 Anexa 7: Cerințe privind documentarea unei analize detaliate a riscurilor	46
8.8 Anexa 8: Informații privind factorii de influență specifici ce trebuie luați în calcul la evaluarea măsurilor	47
8.9 Anexa 9: Demonstrarea aplicării – studiu de caz	48
8.9.1 Date de intrare	48
8.9.2 Analiza arborelui evenimentelor pentru tunelul calea 1*	49
8.9.3 Analiza arborelui evenimentelor pentru tunelul calea 2*	59
8.9.4 Calculul riscurilor pentru întreaga structură a tunelelor	59

0 Comentarii preliminare

Prezentul Ghid tehnic are la bază reglementarea tehnică RVS 09.03.11.-„TUNNEL RISK ANALYSIS MODEL“ elaborată de către F.S.V.- Austria.

1 Domeniu de aplicare

Prezentul normativ se aplică pentru evaluarea riscurilor privind tunelele rutiere conform legii nr. 277/2007 privind cerințele minime de siguranță pentru tunele, conform Directivei UE 2004/54/CE, și a altor normative.

Efectuarea analizelor de risc pentru tunele servește și la clasificarea tunelelor examinate în funcție de riscurile lor posibile. În acest sens, se va utiliza un sistem de calcul electronic (program de calcul pentru stabilirea claselor de risc) confirmat de Beneficiar.

2 Terminologie

Arborele evenimentelor

Grafic intuitiv, construit de jos în sus, care cartografiază toate cursurile posibile ale unui eveniment inițial, frecvența și consecințele acestora. (PIARC 2013)

Valoare preconizată

O reprezentare numerică tipică a riscului social ca sumă a frecvențelor/probabilităților fiecărui eveniment sau scenariu înmulțită cu consecințele aferente. (PIARC 2013)

Tunel de referință

Tunel teoretic, care este similar tunelului real supus examinării, dar care respectă în totalitate cerințele și condițiile incluse în ghidurile și reglementările aplicabile unui caz concret (PIARC 2013). Un tunel de

referință servește scopul de a stabili un profil de risc de referință utilizat la evaluarea riscurilor unui tunel real (PIARC 2013).

Metode de analiză a riscurilor privind tunelele bazate pe sisteme

Familie de metode de evaluare a riscurilor, în care valorile de risc pentru un sistem global se estimează luând în considerare toate evenimentele/scenariile relevante care pot influența utilizatorii drumului din sistemul considerat. Evaluarea riscurilor se face pentru întregul sistem de tunele analizat pe baza valorilor de risc ale sistemului. (PIARC 2013)

Metode de analiză a riscurilor privind tunelele bazate pe scenarii

Familie de metode de evaluare a riscurilor care se bazează, de obicei, pe o analiză deterministă a consecințelor rezultate dintr-un set de scenarii reprezentative în condiții definite. Se include și o procedură de selecție a scenariilor care urmează să fie analizate. Evaluarea riscurilor se realizează separat pentru fiecare scenariu simplu în funcție de indicatorii săi caracteristici. (PIARC 2013)

Eveniment principal

Incendiul unui vehicul într-un tunel cu trafic în desfășurare (inițierea incendiului, de exemplu, din cauza unei probleme tehnice a unui vehicul sau a unui accident); vehiculele care circulă în direcția locului incendiului se opresc înainte de a ajunge în acest punct, toate vehiculele din fața locului incendiului pot părăsi tunelul nestingerite. Toate vehiculele din spatele incendiului nu pot părăsi tunelul.

Eveniment secundar

Incendiul unui vehicul într-un tunel în timp ce se va produce o congestie în trafic din cauza unei defectiuni a unui vehicul sau a unui accident (incendiu produs ca urmare a unei tamponări din spate care are loc la capătul coloanei de vehicule care se află în spatele evenimentului inițial); atât vehiculele din fața locului incendiului secundar cât și cele din spate, nu pot părăsi tunelul.

Eveniment terțiar

Incendiul unui vehicul într-un tunel cu trafic aglomerat sau congestionare a traficului din cauza supraîncărcării traficului (incendiu inițial, de exemplu, din cauza unei probleme tehnice a unuia dintre vehiculele din coloana staționară sau în mișcare lentă); atât vehiculele din fața locului incendiului cât și cele din spate, nu pot părăsi tunelul.

Timpi operativi de la detecția până la sosirea echipajelor serviciilor profesionale pentru situații de urgență

Timpii operativi sunt definiți ca fiind intervalul de timp dintre identificarea unui eveniment și sosirea primului echipaj de intervenție a serviciilor profesionale pentru situații de urgență la locul evenimentului în tunel. În măsura în care este posibil, timpii operativi se pot aproxima, prin efectuarea unor simulări/exerciții astfel încât aceștia să fie aproximați cât mai aproape de realitate. Timpii operativi se împart în următoarele intervale:

- Interval de timp de detectare și semnalare a evenimentului:
Intervalul dintre momentul detectării evenimentului și semnalarea acestuia către centrul de monitorizare, care anunță evenimentul prin SNUAU 112.
- Interval de timp de anunțare:
Intervalul dintre primirea apelului 112 și înștiințarea serviciilor profesionale pentru situații de urgență
- Interval de timp de alertare:
Intervalul dintre alertarea serviciilor profesionale pentru situații de urgență și plecarea acestora de la subunități
- Interval de timp pentru deplasare:
Intervalul dintre începerea deplasării echipajelor serviciilor profesionale pentru situații de urgență de la subunități și sosirea primului echipaj la locul evenimentului.
- Interval de timp pentru răspuns
Intervalul cuprins între înștiințarea serviciilor profesionale pentru situații de urgență și sosirea primului echipaj la locul intervenției.

Subdiviziunile suplimentare ale intervalului de răspuns (ora de recunoaștere și timpul de pregătire) sunt luate în considerare în prezentul normativ numai în ceea ce privește intervalul dintre intrarea în tunel și sosirea la locul evenimentului, deoarece acestea depind în mare măsură de tipul de eveniment și, prin urmare, sunt greu de stabilit.

Tunel cale 1 = în sensul creșterii kilometrajului

Tunel cale 2 = în sensul descreșterii kilometrajului

3 Aspecte generale

3.1 Obiectivul modelului de analiză a riscurilor privind tunelele

Scopul modelului de analiză a riscurilor din tunele este de a prezenta o analiză cantitativă și o evaluare atât a riscurilor posibile aferente tunelelor rutiere, cât și a impactului acestora asupra utilizatorilor tunelelor. Pe lângă reglementările legale și cerințele definite în ghiduri, analiza riscurilor privind tunelele reprezintă un instrument suplimentar pentru a le garanta utilizatorilor tunelelor un nivel de siguranță care întrunește cerințele respective. În plus, analiza riscurilor ar trebui să contribuie și la optimizarea investițiilor în siguranța tunelelor din punct de vedere al rentabilității. În măsura în care datele înregistrate necesare sunt disponibile, modelul de analiză a riscurilor privind tunelele oferă atât posibilitatea de a efectua o înregistrare cantitativă a aproape tuturor factorilor care influențează siguranța tunelelor, cât și de a le evalua. În anexe se face o prezentare generală a diversilor factori de influență luați în considerare.

3.2 Aplicabilitatea modelului de analiză a riscurilor privind tunelele

Prezenta metodă este un model de analiză a riscurilor în tunele bazat pe sisteme care a fost dezvoltat pentru efectuarea de evaluări ale tunelelor rutiere din punct de vedere al siguranței generale; este aplicabilă în special pentru efectuarea de comparații de risc pe o bază cantitativă. Aceasta este alcătuită din mai multe module care oferă posibilitatea de a efectua în mod flexibil analiza riscurilor atât pentru diferite aspecte, cât și pentru diferite tipuri de tunele. În ceea ce privește tunelele cu condiții specifice care nu pot fi evaluate cu ajutorul modelului standard de analiză a riscurilor (a se vedea punctul 8.1.1), riscul de incendiu se poate stabili cu ajutorul modelului de simulare suplimentar. Astfel, pot fi evaluate și acele tunele care nu corespund standardelor normale, dar care prezintă caracteristici individuale specifice. Cu toate acestea, în cazuri specifice, poate fi necesar să se efectueze evaluări suplimentare ale riscurilor utilizând alte abordări metodologice (a se vedea punctul 3.4). În plus, modelul actual de analiză a riscurilor poate fi modificat astfel încât să fie adecvat pentru anumite aplicații.

3.3 Aspecte privind aplicarea modelului de analiză a riscurilor privind tunelele

Analiza riscurilor privind tunelele în conformitate cu prezentul normativ trebuie să atingă următoarele obiective:

- Confirmarea corespondenței cu nivelurile minime de siguranță în conformitate cu legea nr.277/2007, privind cerințele minime de siguranță pentru tunelele rutiere (în special pentru tunelele cu caracteristici speciale în conformitate cu articolul 13 și pentru cazurile care necesită o analiză de siguranță în conformitate cu reglementările incluse în anexa la legea nr.277/2007.
- Confirmarea corespondenței cu un nivel de siguranță egal sau chiar mai ridicat, dacă cerințele minime prevăzute în anexa la legea nr. 277/2007 nu sunt îndeplinite decât în mică măsură.
- Clasificarea tunelelor în clase de risc conform punctului 6.5
- Desfășurarea unei evaluări cantitative a impactului măsurilor de siguranță întreprinse în timpul planificării, reabilitării/modernizării și exploatării unui tunel rutier

3.4 Aspecte privind evaluările suplimentare ale riscurilor

Atunci când se efectuează evaluări suplimentare ale riscurilor, metoda de evaluare trebuie aleasă în funcție de problema specifică analizată. În ceea ce privește alegerea metodei care urmează să fie aplicată, pot fi utile următoarele aspecte:

3.4.1 Metode de analiză a riscurilor în funcție de scenarii

O analiză a riscurilor bazată pe scenarii (PIARC 2008) include o evaluare detaliată a unei probleme specifice pe baza unui sau a mai multor scenarii reprezentative. Aplicarea acestei metode este potrivită în special pentru evaluările secvențiale care implică un număr limitat de scenarii alese, de exemplu, pentru analize calitative detaliate ale relațiilor complexe de consecințe sau pentru optimizarea planificării siguranței în ceea ce privește gestionarea unui eveniment (autoevacuare, alertare, plecarea serviciilor profesionale pentru situații de urgență de la subunități etc.).

3.4.2 Analiza riscurilor privind transportul de mărfuri periculoase

Pentru efectuarea evaluărilor de risc specifice transportului de mărfuri periculoase în tunele, se aplică reglementări specifice emise de autoritățile relevante.

4 Metodologie

4.1 Structura modelului de analiză a riscurilor

Modelul de analiză a riscului pentru tunele analizează riscul pentru utilizatorii tunelului, adică se stabilește o valoare a riscului preconizat din punct de vedere statistic pentru grupul de „utilizatori ai tunelului” (decese preconizate din punct de vedere statistic pe an). Riscul se referă la o anumită configurație de tunel (pentru tunelele cu două căi unidirecționale, sunt analizate ambele căi). Frațiunile individuale de risc, și anume riscul legat de pagube mecanice, incendiu și, respectiv, de mărfuri periculoase, sunt prezentate separat.

Modelul de analiză a riscului în tunel, inclusiv toți parametri utilizați, se referă exclusiv la evenimente care implică vătămări corporale, deoarece, în cea mai mare parte, baza de date actuală include doar acest tip de incidente.

Metodologia include următoarele două elemente de bază:

- Analiza cantitativă a frecvenței (analiza arborelui evenimentelor)
- Analiza cantitativă a consecințelor (abordare statistică și simulări)

Figura 1 prezintă structura de bază a analizei riscurilor privind tunelele.

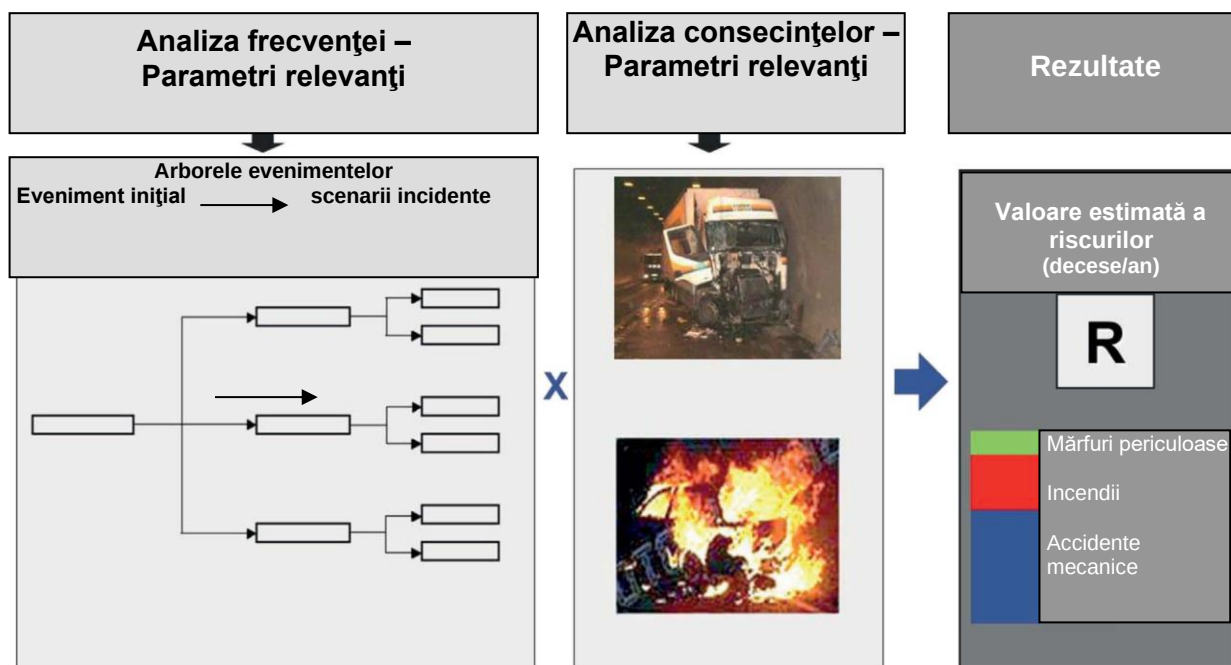


Figura 1: Structura de bază a modelului de analiză a riscurilor privind tunelele

Se descriu mai jos elementele de bază.

4.2 Analiza frecvenței

Frecvențele unui set definit de scenarii de pagube se calculează cu ajutorul metodei de analiză a arborelui evenimentelor. Pornind de la un eveniment inițial (a cărui frecvență se cunoaște) în mai multe etape, se elaborează diverse evoluții posibile ale evenimentelor care duc la diferite scenarii de pagube. Aceste scenarii de pagube diferă unele de altele în ceea ce privește tipul de eveniment, implicarea vehiculului, consecințele provocate de daune etc.

Factorii care influențează frecvența scenariilor individuale de pagube sunt luați în considerare în model sub forma unor modificări ale frecvențelor relative, prezentate prin intermediul ramificării arborelui evenimentelor.

4.3 Analiza consecințelor

La efectuarea unei analize a amplitudinii pagubelor, se estimează amplitudinea medie preconizată a pagubelor pentru fiecare scenariu de pagube în parte (valoarea preconizată a pagubelor).

4.3.1 Impactul pagubelor mecanice produse de coliziuni

Impactul pagubelor mecanice produse de coliziuni se estimează pe baza unei evaluări statistice a coliziunilor din tunele care implică vătămări corporale. La realizarea acestei estimări, coliziunile sunt diferențiate în funcție de următoarele categorii: tipul de trafic (de ex., trafic bidirecțional, trafic unidirecțional), tipul de coliziuni (de ex., coliziuni cu un singur vehicul, coliziuni în trafic unidirecțional, coliziuni în trafic bidirecțional) și vehiculele implicate (de ex., autoturisme, vehicule grele de marfă, autobuze).

4.3.2 Impactul pagubelor provocate de incendii

Modelul de amploare a pagubelor include toți factorii care au o influență asupra evoluției evenimentului, pornind de la începutul incendiului (de ex., rata de degajare a căldurii și rata de dezvoltare a incendiului, evoluția fluxului de aer longitudinal în tunel, răspândirea fumului în zona de incendiu, activarea alarmei, sistemul de ventilație și controlul ventilației, reacțiile persoanelor implicate, activitățile de evacuare, persoanele care se deplasează pentru a ajunge la ieșirile de urgență etc.).

Impactul pagubelor provocate de incendii se estimează cu ajutorul unui model de calcul complex, care este alcătuit din mai multe module. Modelul de calcul combină atât un model de flux de evacuare unidimensional instabil, cât și un model de flux de evacuare tridimensional cu o simulare a evacuării. Parametrii globali sunt reprezentați în modelul de flux de evacuare unidimensional, iar atât parametrii locali, cât și efectele propagării fumului sunt reprezentate în modelul de flux de evacuare tridimensional. Distribuțiile în funcție de timp atât a temperaturii, cât și a concentrațiilor de poluanți din tunel sunt incluse într-un model de evacuare unidimensional care servește la modelarea impactului incendiului asupra utilizatorilor tunelului implicați, precum și a activităților de auto-evacuare și de evacuare a acestora, luând în considerare mai mulți factori, cum ar fi poziția vehiculelor, condițiile de infrastructură etc.

Cu toate acestea, există multe tunele care îndeplinesc anumite cerințe și, prin urmare, nu necesită analize de risc detaliate. Pentru aceste cazuri, a fost dezvoltat un model standard de analiză a riscurilor care permite includerea în arborele evenimentelor a unor valori precalculate ale impactului pagubelor provocate de incendiu pentru o gamă largă de tunele model definite. Acest model de analiză diferențiază între tunelele unidirectionale și bidirectionale. Calculul valorilor modelului care urmează să fie utilizate a fost efectuat în cursul elaborării modelului folosind abordarea modelului menționată mai sus pentru stabilirea valorilor de impact al incendiului pentru tunelele unidirectionale, în timp ce cele pentru tunelele bidirectionale se stabilesc folosind un model unidimensional de propagare a fumului. Aceste calcule au fost efectuate folosind parametri standardizați și incluzând cei mai importanți factori de influență, cum ar fi sistemul de ventilație, lungimea tunelului, declivitatea longitudinală, secțiunea transversală a tunelului și lungimea căii de evacuare, într-un interval care corespunde condițiilor reale existente adesea în practică.

Valorile calculate ale impactului pagubelor provocate de incendiu sunt, prin urmare, valabile numai pentru o gamă predefinită de parametri ai tunelului (a se vedea punctul 8.6) și permit numai analiza acelor parametri care sunt enumerați în tabelele incluse în anexe. Cu toate acestea, modelul standard de analiză a riscurilor poate fi adaptat pentru aplicații specifice avansate, în măsura în care sunt disponibile date de bază alocate.

În modelul privind consecințele incendiilor se iau în calcul scenariile de mai jos.

- Rata de degajare a căldurii:
 - scenariu de incendiu referitor la incendiile de autoturisme - rata de degajare a căldurii: 5 MW
 - 2 scenarii de incendiu referitoare la vehiculele grele de marfă - rata de degajare a căldurii: 30 MW/100 MW.
- Poziția incendiului în raport cu vehiculele prezente în tunel:
 - Tunele bidirectionale și tunele unidirectionale (trafic în desfășurare)
 - Un incendiu în fruntea unei coloane de vehicule care urmează să se oprească (eveniment principal)
 - Tunele unidirectionale - congestie apărută brusc ca urmare a unui incident grav (avarie sau coliziuni)
 - Un incendiu la un vehicul aflat în spatele unui grup de vehicule care urmează să se oprească (eveniment secundar)
 - Tunele bidirectionale și unidirectionale - cu trafic aglomerat sau congestionare a traficului din cauza supraîncărcării
 - Un incendiu într-un grup staționar de vehicule (eveniment terțiar)

4.3.3 Impactul pagubelor provocate de accidente ce implică transportul de mărfuri periculoase

Evenimentele cu pagube care implică mărfuri periculoase sunt luate în considerare în model folosind o

abordare aproximativ simplificată care se bazează pe stabilirea riscului de incendiu. Pentru o analiză specifică a riscurilor provocate de transportul de mărfuri periculoase în tunele, se aplică reglementări specifice emise de autoritățile relevante.

5 Realizarea unei analize a riscurilor privind tunelele

5.1 Analiza frecvenței

Elementul de bază al analizei riscurilor privind tunelele constă într-un arbore standardizat al evenimentelor. În acest arbore al evenimentelor, trebuie introduși parametri relevanți pentru tunelul care urmează să fie analizat în ceea ce privește: frecvențele evenimentelor inițiale (a se vedea punctul 8.2.2), frecvențele relative ale ramificațiilor arborelui evenimentelor (a se vedea punctul 8.2) și amploarea pagubelor aferente fiecărui scenariu de pagube în parte (a se vedea punctele 8.3, 8.4 și 8.5).

Punctele 8.1 și 8.2 documentează arborele evenimentelor în ceea ce privește parametrii aferenți și Aspectele conexe. Fiecare ramificație a arborelui evenimentelor este marcată cu un cod alfabetic. Nota aferentă oferă informații cu privire la parametrii care trebuie utilizați și la factorii de influență întâlniți. Valorile pentru fiecare aplicație trebuie alese în conformitate cu informațiile menționate în nota respectivă. Parametrii la care se face referire sunt valori țintă care trebuie adaptate la condițiile specifice ale fiecărei aplicații individuale (de ex., modificări în urma condițiilor specifice ale tunelului sau impactului unei măsuri).

5.2 Analiza consecințelor

Valoarea estimată a pagubelor este indicată în raport cu factorii principali de influență în tabele și diagrame incluse în anexă. Pentru fiecare scenariu individual de pagube inclus în arborele evenimentelor, valorile modelului adecvate pentru aplicația respectivă trebuie selectate din tabele și diagrame în conformitate cu explicațiile aferente și inserate în arborele evenimentelor. Se pot găsi informații detaliate în instrucțiunile referitoare la scenariile de pagube respective.

Valorile modelului pentru amploarea pagubelor cauzate de coliziuni menționate la punctul 8.3 sunt valori medii bazate pe evaluarea datelor statistice privind incidentele legate de Rețeaua Austriacă de Autostrăzi, Drumuri Expres și Drumuri Naționale (KFV 2005; ILF 2008; ILF 2014).

În cazuri individuale, și aceste valori ale modelului se pot modifica dacă există dovezi ale unor caracteristici diferite ale evenimentelor sau dacă există date specifice semnificative pentru tunelul examinat sau pentru o secțiune de tunel care este reprezentativă pentru tunelul care urmează să fie analizat. Valorile impactului pagubelor provocate de incendiu menționate la punctele 8.4 și 8.5 se bazează pe calculele modelului. Condițiile stabilite cu privire la valabilitatea valorilor modelului la care se face referire sunt explicate în anexă.

6 Evaluarea rezultatelor analizei riscurilor privind tunelele

6.1 Moduri de evaluare

Evaluarea riscului de tunel se bazează pe riscul unei structuri de tunel (privitor la ambele tuburi ale tunelelor unidirecționale). Există două moduri de evaluare diferite care se completează reciproc (PIARC 2013):

- Modul de evaluare relativă:
Confirmarea faptului că se întrunește nivelul de siguranță necesar prin efectuarea unei comparații relative cu un tunel de referință
- Modul de evaluare absolută:
Determinarea nivelului standard al echipamentelor prin atribuirea tunelului unei clase de risc pe baza valorii absolute a riscului.

6.2 Evaluarea riscurilor printr-o comparație relativă cu un tunel de referință

Pentru a efectua o evaluare a riscurilor printr-o comparație relativă, trebuie să se stabilească profilul de risc de referință al unui tunel de referință comparabil. Tunelul de referință trebuie să îndeplinească în totalitate cerințele minime de siguranță în conformitate cu Legea 277/2007 privind cerințele minime de siguranță în tunelele rutiere și, prin urmare, să prezinte un nivel de risc tolerabil.

Se consideră că nivelul minim de siguranță este îndeplinit în conformitate cu legea 277/2007 dacă riscul tunelului analizat corespunde cu cel al tunelului de referință sau este mai mic, chiar dacă există abateri limitate de la prevederile legii nr.277/2007 (a se vedea Figura 2).

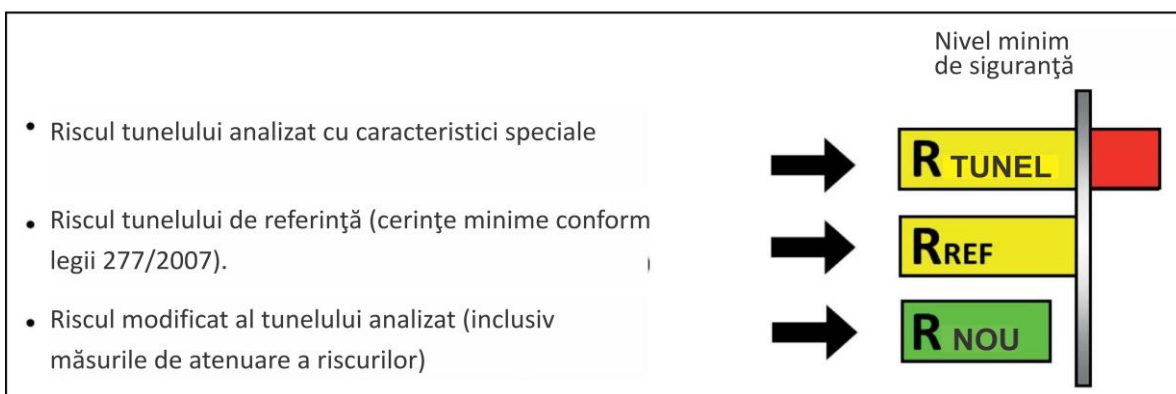


Figura 2: Evaluarea rezultatelor analizei riscurilor privind tunelele

Dacă tunelul nu îndeplinește cerințele minime de siguranță în conformitate cu legea nr.277/2007, sunt necesare măsuri suplimentare de atenuare a riscurilor în conformitate cu punctul 6.6. De asemenea, pot fi luate în considerare măsurile definite în normativ care depășesc cerințele minime ale legii nr.277/2007. Se poate folosi și modul de evaluare relativă, independent de prevederile legii 277/2007 de ex., se poate folosi pentru a confirma că o soluție alternativă este egală cu o soluție standard în ceea ce privește riscul (în conformitate cu normativul).

În ceea ce privește tunelele care fac parte din Rețeaua Rutieră Transeuropeană (TERN), trebuie să se țină cont de următoarele cerințe: Dacă există abateri de la cerințele minime din Directiva 2004/54/CE, trebuie luate măsuri alternative de atenuare a riscurilor, în funcție de egalitatea confirmată a acestora în raport cu riscurile. Se pot lua în considerare și măsuri alternative de atenuare a riscurilor incluse în legea nr.277/2007 care le depășesc pe cele din Directiva CE (a se vedea legea nr.277/2007 art. 9 și anexa la legea nr.277/2007 secțiunea 1.2 privind măsurile de siguranță).

Un tunel de referință este un tunel similar cu cel analizat, care îndeplinește atât toate cerințele, cât și toți parametrii de referință definiți în legea nr.277/2007.

Valoarea de risc a tunelului de referință trebuie stabilită pe o perioadă de un an. La definirea tunelului de referință trebuie să se țină cont de următoarele cerințe:

- Același MZA ca al tunelului analizat, dar fără congestie din cauza supraîncărcării traficului
- Structura traficului: 15% vehicule grele (inclusiv autobuze), 3% transport de mărfuri periculoase în cadrul vehicule de mare tonaj
- Viteze: 100 km/h în tunele unidireționale și 80 km/h în tunele bidireționale
- În ceea ce privește tunelele cu un MZA prognozat pe 15 ani care depășește 20.000 de autoturisme/24h, trebuie să se utilizeze un tunel unidirețional ca tunel de referință. În cazul în care ponderea vehiculelor grele depășește 15%, trebuie luată în calcul cota care depășește pragul de 15% atunci când se analizează dacă trebuie folosit ca tunel de referință un tunel unidirețional (a se vedea anexa nr. 1 art.1.3 și 2.1 la legea 277/2007).
- Traseul tunelului de referință: panta longitudinală a tunelului de referință trebuie să fie egală cu panta longitudinală a tunelului analizat (atunci când panta longitudinală este mai mică de 3%), sau cu o pantă longitudinală unică între cele două portale, dar oricum mai mică de 3%.
- Secțiunea transversală a tunelului: numărul de benzi de circulație care traversează complet tunelul, egal cu cel al tunelului analizat.
- Nu se iau în considerare zonele de joncțiune a rampelor/pantelor la stabilirea profilului de risc de referință.
- Sistem de ventilație: în mod fundamental, sistemul de ventilație al tunelului de referință trebuie ales conform AND 624, ținând cont de următoarele aspecte:
 - Pentru tunele cu lungimea sub 1000 m, se poate alege ventilație naturală
 - Pentru tunelele care necesită aspirația fumului în conformitate cu AND 624, trebuie ales un sistem de referință care să includă aspirația fumului la intervale regulate
 - Pentru tunelele unidireționale și bidireționale mai lungi de 1000 m cu supraîncărcarea traficului, trebuie ales un sistem de referință care să includă aspirația fumului la intervale regulate
 - Căi de evacuare și de salvare: distanțe maxime de 500 m (este permisă o distanță neregulată între galeriile de evacuare pe lungimea tunelului)

- Luarea în considerare a incertitudinii de calcul în evaluarea riscurilor:

În general, analizele de risc produc incertitudini în rezultatele lor. Influența incertitudinilor asupra rezultatelor evaluării este redusă la minimum prin folosirea unui mod de evaluare relativă. Cu toate acestea, trebuie discutată și explicată semnificația rezultatelor care sunt foarte apropiate de limitele stabilite și, dacă este cazul, trebuie efectuate analize de sensibilitate pentru a confirma semnificația acestor rezultate.

6.3 Evaluările riscurilor pentru etape operaționale cu limită de timp

În cazul evaluărilor de risc care implică faze operaționale cu limită de timp, se aplică principii modificate în mod specific.

În cazul tunelelor care fac obiectul unei renovări generale, care includ atât închiderea unui tub, cât și traficul bidirecțional pe termen lung în cel de-al doilea tub, care în mod normal este unidirecțional, tunelul de referință trebuie să fie ales ținând cont de următoarele criterii:

- Cazul 1: Comparatie cu un tunel de referință bidirecțional
Trebuie să se demonstreze că riscul în tubul bidirecțional nu este mai mare decât cel al tunelului de referință bidirecțional, în conformitate cu legea nr.277/2007. MZA al tunelului de referință trebuie să fie de 10.000 de vehicule/24h pe bandă de circulație, inclusiv o cotă de vehicule grele de 15%
- Cazul 2: Comparatie cu un tunel de referință unidirecțional
Trebuie să se demonstreze că riscul în tubul bidirecțional nu este mai mare decât cel al situației actuale.

În cazul în care, în unul dintre cele două cazuri menționate mai sus, nu se depășește valoarea de siguranță de referință stabilită ca urmare a luării unor măsuri adecvate, se dă confirmarea. În cazul în care nu se poate atinge valoarea de referință a riscului luând măsuri justificabile atât din punct de vedere al rentabilității, cât și din punct de vedere al exploatării, se pot stabili măsurile necesare utilizând principiul ALARP (în conformitate cu punctul 6.6). Fazele operaționale cu limită de timp nu necesită modificări semnificative ale echipamentelor din tunel (de ex., sistemul de ventilație, alimentarea cu energie). La evaluarea măsurilor legate de trafic, trebuie luate în considerare efectele posibile asupra siguranței în alte secțiuni ale rețelei rutiere.

6.4 Includerea operațiunilor de salvare desfășurate de serviciile profesionale pentru situații de urgență în cadrul evaluării riscurilor

Când se evaluează riscul, trebuie să se ia în calcul și operațiunile de salvare desfășurate de serviciile profesionale pentru situații de urgență. Deoarece impactul acțiunilor serviciilor profesionale pentru situații de urgență se poate reprezenta direct în modelul de analiză a riscurilor numai în ceea ce privește influența sa asupra dimensiunii incendiului, adică valorile coloanei H „probabilitatea unui incendiu complet” se adaptează în funcție de condițiile favorabile sau nefavorabile, impactul operațiunilor de salvare desfășurate de serviciile profesionale pentru situații de urgență (de ex., salvarea de persoane) este luat în considerare în mod calitativ în evaluarea rezultatelor cantitative ale analizei riscurilor. Se preconizează că operațiunile de salvare desfășurate de serviciile profesionale pentru situații de urgență vor genera un impact asupra rezultatelor analizei riscurilor dacă, într-un singur caz, timpul de sosire sau alte condiții se abat în mod semnificativ de la condițiile medii. Unul dintre indicatorii relevanți este dat în cazul în care timpul de sosire al serviciilor profesionale pentru situații de urgență se abate cu mai mult de 15 minute de la timpul mediu de sosire, adică timpul de sosire stabilit în funcție de experiența practică la care se raportează valorile de amplasare a pagubelor incluse în modelul de analiză a riscurilor.

6.5 Evaluarea riscurilor privind tunelele prin alocarea claselor de risc

Tunelul analizat este încadrat, în conformitate cu Tabelul 1, în una dintre cele patru clase de risc.

Tabelul 1: Clase de risc

Valoare preconizată a riscului		Clase de risc
Limita inferioară	Limita superioară	
	0,02	I
0,02	0,1	II
0,1	0,5	III
0,5		IV

Clasa de risc stabilește ce nivel de echipamente din ghidul tehnic aplicabil trebuie ales. Clasa de risc este evaluată la zece ani după ce tunelul analizat a fost pus în funcțiune sau a fost redeschis după o perioadă de închidere.

6.6 Măsuri de atenuare a riscurilor

În cazul în care nu poate fi respectat nivelul de siguranță minim prevăzut în legea nr.277/2007, sunt necesare măsuri suplimentare care depășesc prevederile Legii privind cerințele minime de siguranță în tunelele rutiere nr.277/2007. Măsurile suplimentare de atenuare a riscurilor pot fi măsuri referitoare la trafic, exploatare, execuție precum și la echipamentele din tunel, incluzând atât combinații de măsuri diferite, cât și măsuri care nu sunt încă menționate în normativ. Eficacitatea măsurilor alese de minimizare a riscurilor trebuie evaluată cantitativ prin introducerea lor în modelul de analiză a riscurilor; combinațiile de măsuri trebuie introduse împreună în modelul de analiză a riscurilor (adică influența reciprocă a măsurilor combinate asupra eficacității). În cazul în care măsurile individuale nu pot fi evaluate cantitativ, eficiența lor trebuie reprezentată calitativ. Dacă se depășește cu puțin valoarea de referință a riscului, se poate lua în calcul o reprezentare calitativă a eficacității unei măsuri adecvate drept compensare. Măsurile de atenuare a riscurilor trebui aplicate în măsura în care este posibil pentru acele zone care au fost identificate ca fiind problematice prin intermediul analizei riscurilor (de ex., măsuri menite să reducă la minim riscul de incendiu). La alegerea măsurilor adecvate, se poate lua în calcul raportul cost-eficacitate în conformitate cu principiul ALARP (cel mai scăzut nivel realizabil în limite rezonabile) (PIARC, 2013) (evitarea costurilor disproporționat de mari în raport cu beneficiul realizabil).

7 Referinte

- Directiva 2004/54/CE a Parlamentului European și a Consiliului din 29 aprilie 2004 privind cerințele minime de siguranță aplicabile tunelelor din Rețeaua Rutieră Transeuropeană
- Legea nr.277/2007 Legea privind cerințele minime de siguranță pentru tunelele situate pe secțiunile naționale ale rețelei rutiere transeuropene.
- AND 623/2025 Echipamente pentru dotarea tunelelor
- AND 624/2025 Sisteme de ventilație pentru tunele rutiere, Principii de bază
- PIARC, CT C4 Exploatarea tunelului rutier: Practica curentă pentru evaluarea riscurilor pentru tunele rutiere. Ref. PIARC 2012R23EN. Paris 2013
- PIARC, CT C4 Exploatarea tunelului rutier: Analiza riscurilor pentru tunelele rutiere. PIARC Ref 2008R02. Paris 2008
- PIARC, CT C5 Controlul incendiului și al fumului în tunelele rutiere, PIARC 05.05.B 1999
- Lentz A.: Evaluarea statisticii incendiilor de tunel ASFiNAG 2006-2012. Analize în cadrul comitetului de lucru FSV. publicat pe www.bmvit.at. ILF, Linz 2013
- ILF Consulting Engineers: Analiza riscurilor standard în tunelele rutiere - dezvoltarea unei metode de analiză a riscurilor în conformitate cu Directiva UE privind siguranța tunelelor, articolul 13. Raport final. ILF, Linz 2008
- ILF Consulting Engineers: Extinderea și aprofundarea modelului austriac de risc de tunel – TuRisMo 2; Raport de lucru pentru Comitetul de lucru pentru siguranța tunelelor. publicat pe www.bmvit.at. ILF, Linz 2014
- ILF Consulting Engineers: Program de calcul pentru determinarea pe baza de risc a clasei de pericol; publicat pe www.bmvit.at. ILF, Linz 2014
- Purser D.A.: Efectele produselor de incendiu asupra capacității de evadare la primare și la victimele incendiilor umane. Știința siguranței la incendiu – Lucrările primului simpozion internațional. Emisferă, p. 1101-1110, 1986
- Purser D.A.: Modelarea timpului până la incapacitate și moarte din cauza pericolelor toxice și fizice în incendiile de avioane. AGARD Nr 467, p. 41-1 – 41-12, 1989
- Simonson M., Tuovinen H., Emanuelson V.: Formarea cianurii de hidrogen în incendii, Proiectul BRAND-FORSK 510-991; Raportul SP 2000:27
- Robatsch K. și Nussbauer C.: Comparația de siguranță a tunelelor. Seria de publicații de cercetare rutieră a Ministerului Federal al Transporturilor, Inovației și Tehnologiei, numărul 552. Viena 2005
- Universitatea din Greenwich: buildingExodus V4.0 – Ghid de utilizare și manual tehnic. Greenwich 2004
- Wu. N.: Traficul pe drumurile expres în diagrama fundamentală. în ingineria traficului rutier, numărul 8, 2000

8 Anexe

8.1 Anexa 1: Structura modelului de analiză a riscurilor

8.1.1 Componenta modelului de analiză a riscurilor

Modelul de analiză a riscurilor este format din două elemente de bază:

- Analiză cantitativă a frecvenței
- Analiza calitativă a consecințelor

Analiza frecvenței se realizează prin intermediul unui arbore al evenimentelor definit în modelul de analiză a riscurilor cu privire la structură și cuantificare (a se vedea punctul 8.1.2).

Analiza consecințelor se bazează atât pe date statistice (accidente în trafic), cât și pe rezultatele modelelor de simulare (incendii). În modelul de analiză a riscurilor se indică și valorile amplitudinii pagubelor (a se vedea punctul 8.3). În ceea ce privește evaluarea amplitudinii pagubelor provocate de incendii, modelul de analiză a riscurilor oferă două niveluri de aplicare:

- Modelul standard de analiză a riscurilor care oferă posibilitatea de a utiliza valorile indicate ale amplitudinii pagubelor (a se vedea punctul 8.5).
- Modelul detaliat de analiză a riscurilor, care oferă o metodă de efectuare a calculelor de simulare a amplitudinii pagubelor pentru fiecare tunel în parte

Acest lucru permite luarea în considerare atât a factorilor de influență care se abat de la standarde, cât și a parametrilor sau măsurilor specifice legate de structură atunci când se reprezintă acei parametri care influențează evoluția unui scenariu de incendiu după aprindere în modelul de analiză a riscurilor (de ex., evoluția incendiului și rata maximă de degajare a căldurii, evoluția fluxului de aer longitudinal în tunel, răspândirea fumului luând în considerare atât condițiile locale, cât și cele globale de flux de aer, detectarea, alertarea și intervalul de timp până la oprirea traficului, sistemul de ventilație și controlul ventilației, reacția persoanelor implicate, acțiunile de evacuare, distanțele dintre ieșirile de urgență etc.). Reprezentarea atât a fluxului de timp, cât și a efectelor reciproce rezultate ale componentelor individuale ale sistemului sunt deosebit de importante pentru realizarea unei evaluări diferențiate atât a riscului de incendiu, cât și a măsurilor care influențează amplitudinea pagubelor provocate de scenarii de incendiu.

Raportul de lucru „Expansion and Itemization of the Austrian Tunnel Risk Analysis Model - TuRisMo 2” al comitetului de lucru pentru siguranța tunelelor (ILF 2014) include o explicație detaliată atât a modelului de analiză a riscurilor, cât și a contextului acestuia. În plus, acest document include o descriere detaliată a modului conceput pentru evaluarea amplitudinii pagubelor provocate de incendii prin intermediul calculelor de simulare pentru modelul detaliat de analiză a riscurilor.

Pentru a înlesni stabilirea clasei de risc, modelul standard de analiză a riscului este disponibil și sub formă de program de calcul electronic (software de calcul pentru stabilirea clasei de risc pe baza riscului). Această aplicație de calcul include un arbore predefinit al evenimentelor care permite modificarea doar a acelor parametri care sunt relevanți pentru stabilirea simplificată a clasei de risc. Prin urmare, acest program de calcul este potrivit doar pentru stabilirea clasei de risc în situațiile care nu necesită în niciun caz efectuarea unei analize complete a riscului.

8.1.2 Arborele evenimentelor

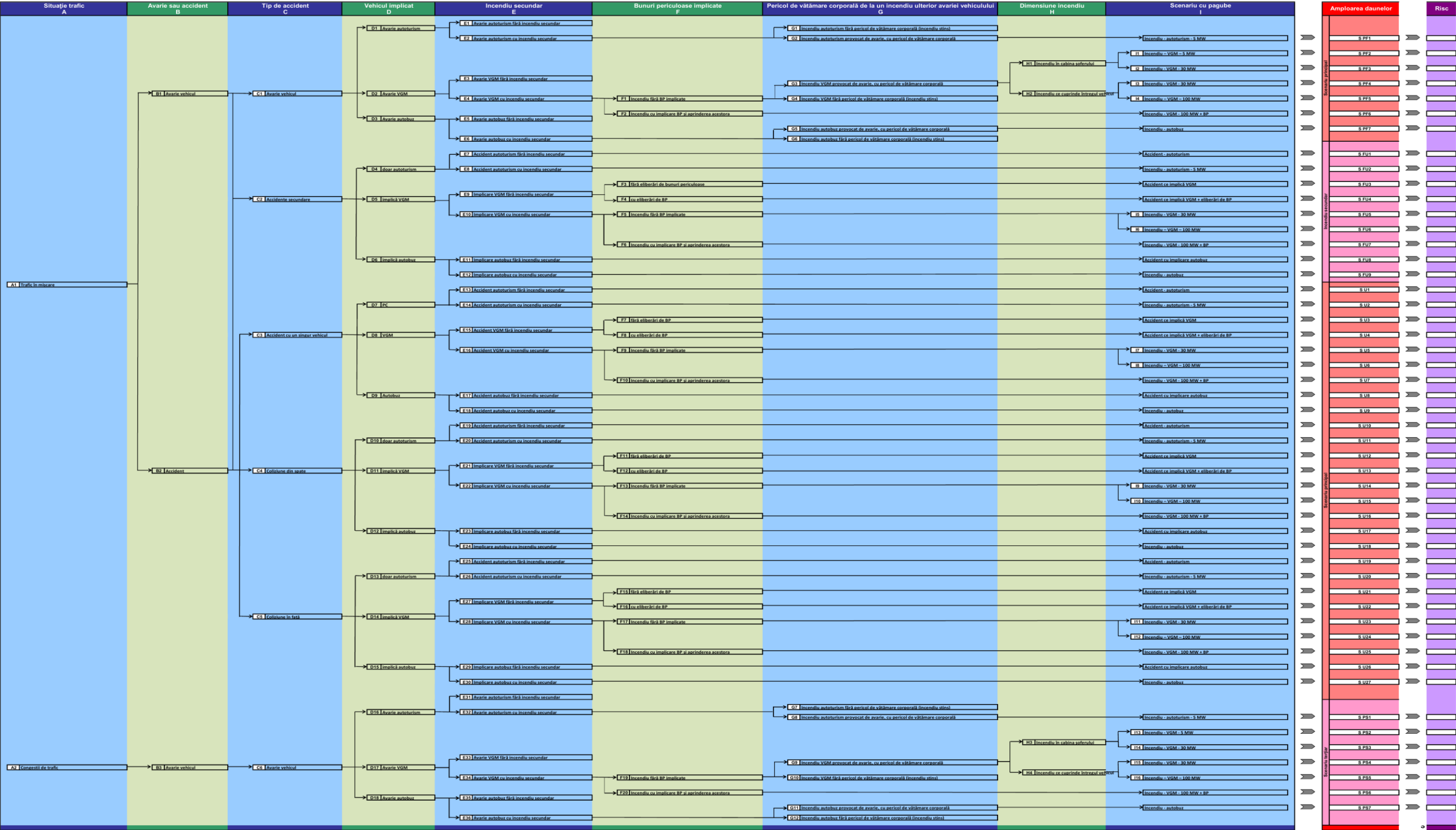
Structura modelului de analiză a riscurilor se prezintă în arborele evenimentelor atașat. Evenimentele inițiale (avarii și coliziuni) sunt clasificate în scenarii de pagube care diferă în ceea ce privește amplitudinea pagubelor. Probabilitățile aferente scenariilor de daune individuale se stabilesc prin intermediul arborelui evenimentelor, în timp ce valorile cuantumului pagubelor (valoarea mediană a pagubelor preconizate) aferente scenariilor de pagube individuale provin din analiza amplitudinii pagubelor. Valorile privind amplitudinea pagubelor ca urmare a impactului pagubelor mecanice se stabilesc pe baza datelor statistice privind coliziunile. Valorile de amplitudinea pagubelor ca urmare a unui scenariu de incendiu se stabilesc prin intermediul mai multor calcule de simulare efectuate pentru o varietate de scenarii parțiale.

Arborele evenimentelor trebuie completat cu parametrii de la punctele 8.2-8.5. Coloanele A-I reprezintă parametrii individuali care sunt luați în calcul în modelul de analiză a riscului atunci când se diferențiază între scenariile de pagube. Pe baza frecvențelor absolute (evenimente/an) ale evenimentelor inițiale (accidente sau avarii) prin intermediul probabilităților relative, se determină diverse evoluții ale evenimentelor care conduc la scenarii de pagube de diferite dimensiuni (decese/eventiment preconizate statistic). Prin înmulțirea frecvențelor de evoluție a evenimentelor individuale cu valorile de amplitudinea pagubelor aferente, se stabilesc riscurile parțiale (decese/an preconizate statistic pentru fiecare tip de eveniment în parte). Prin însumarea valorilor tuturor evoluțiilor posibile ale evenimentelor, se stabilește

valoarea riscului preconizat (decese/an preconizate statistic) pentru tunelul examinat. Valoarea preconizată a riscului se împarte în următoarele categorii de risc:

- Risc mecanic: totalul tuturor riscurilor parțiale ale tuturor scenariilor de pagube aferente doar impactului pagubelor mecanice.
- Risc de incendiu: totalul tuturor riscurilor parțiale ale tuturor scenariilor de pagube aferente provocate de incendii (inclusiv proporțiile de risc mecanic)
- Risc de mărfuri periculoase: totalul tuturor riscurilor parțiale ale tuturor scenariilor de pagube ce implică mărfuri periculoase (inclusiv proporțiile de risc mecanic).

Tabelul 2: Arborele evenimentelor (notă: format de tipărire A3)



8.2 Anexa 2: Analiza frecvenței

Această secțiune descrie toți parametrii care trebuie introduși în arborele evenimentelor pentru a efectua o analiză a frecvenței. Descrierea se împarte în funcție de coloanele incluse în arborele evenimentelor. Dacă nu sunt definite altfel, toate indicațiile sunt valabile atât pentru tunelele bidirecționale, cât și pentru cele unidirecționale.

8.2.1 Coloana A – Condiții de trafic

Coloana A „Condiții de trafic” include o diferențiere între două condiții de trafic fundamental diferite: „trafic în desfășurare” și „ambuteiaj (din cauza supraîncărcării traficului)”

Valorile A1 și A2 reprezintă cota condițiilor de trafic respective în timpul total de exploatare a tunelului pe an (8760 h) și sunt utilizate ca factor pentru valorile incluse în coloana B:

$$A1 = 1 - \frac{h_{ambuteiaj}}{8760}$$

$$A2 = \frac{h_{ambuteiaj}}{8760}$$

cu:

$h_{ambuteiaj}$...Ore ambuteiaj/an [h/an]

În ceea ce privește tunelele fără congestie (care apare în mod regulat) din cauza supraîncărcării traficului, progresia evenimentului A2 poate fi omisă.

Riscurile provocate de evenimente ulterioare din cauza avariilor și a accidentelor cauzate de congestionarea traficului sunt reprezentate în arborele evenimentelor din progresia evenimentelor C2.

În cazul în care se utilizează metoda standard pentru tunelele bidirecționale, riscurile provocate de evenimente ulterioare din cauza avariilor și a accidentelor cauzate de congestionarea traficului sunt reprezentate în arborele evenimentelor din progresia evenimentelor A2.

8.2.2 Coloana B - Avarii și coliziuni

În ceea ce privește evenimentele inițiale, se face o diferențiere între coliziunile din tunele și avariile din tunele (a se vedea Tabelele 3 și 4) (ILF 2008, ILF 2014, Robatsch și Nussbaumer 2005).

- Rate de avarie

Tabelul 3: Valorile de bază privind avariile din tunele

Valoare de bază pentru rata avariilor Rp1	2,4 avarii/1 milion vehicule-km
Valoare de bază pentru rata avariilor Rp2	47 avarii/1 milion vehicule-h*)

*) Rata avariilor în congestii provocate de supraîncărcarea traficului, în funcție de viteza medie de deplasare de 20 km/h

Această rată se folosește atât pentru tunelele bidirecționale, cât și pentru cele unidirecționale, deoarece se poate presupune că direcția de mers din tunel nu are niciun impact asupra frecvenței defecțiunilor.

- Rate de coliziune

Valorile de bază la care se face referire depind de coliziunile care implică vătămări corporale (PIA).

Tabelul 4: Valori de bază pentru ratele de coliziune din tunel

	Tunel bidirecțional		Tunel unidirecțional
	Drumuri naționale	Autostrăzi și drumuri expres	
Valoare de bază a ratei de coliziune R_{u0}	0,082 PIA/1 milion vehicule-km	0,054 PIA/1 milion vehicule-km	0,078 PIA/1 milion vehicule-km

Dacă sunt disponibile suficiente date statistice referitoare atât la avarii, cât și la coliziuni (cu vătămări corporale) pentru tunel, frecvența evenimentelor stabilită cu ajutorul modelului de analiză a riscurilor trebuie comparată cu frecvența reală a evenimentelor. Dacă există diferențe semnificative, frecvențele evenimentelor care urmează să fie folosite pentru analiza riscurilor pot fi adaptate în raport cu valorile statistice pe baza unor indicații suficiente (în special dacă valorile statistice indică riscuri mai mari).

- Adaptarea valorilor de bază pentru rata de coliziune

Valoarea de bază pentru rata de coliziune se adaptează la condițiile specifice ale tunelului cu ajutorul următorilor coeficienți de corecție:

$$R_u = R_{u0} \cdot f_{VK} \cdot f_{TL} \cdot f_{VF}$$

- Calcularea frecvențelor absolute pentru avarii și coliziuni în tunele

Valorile de bază (adaptate) atât pentru rata de avarie, cât și rata de coliziune sunt recalculate în frecvențe absolute folosind datele reale ale traficului din tunel. Pentru congestiile provocate de supraîncărcarea traficului, se presupune o densitate caracteristică a vehiculelor cu o viteză medie de 20 km/h (Wu, 2000).

Valoarea B1

$$B1 \text{ (avarii/an)} = R_{p1} \cdot MZA \cdot L_{TU} \cdot d \cdot 10^{-6}$$

Valoarea B2:

$$B2 \text{ (coliziuni/an)} = R_u \cdot MZA \cdot L_{TU} \cdot d \cdot 10^{-6}$$

Valoarea B3:

$$B3 \text{ (avarii/ora de varf)} = R_{p2} \cdot L_{TU} \cdot nr. \text{benzi} \cdot \frac{50}{2 + S_{sv}} \cdot 10^{-6}$$

UPS Coliziuni cu vătămări corporale [evenimente]

R_{p1} Rate de avarie (în funcție de vehicule-km) [evenimente / 10^6 vehicule – km]

d Zi de exploatare/an

L_{TU} Lungime tunel [km]

R_{p2} Rată de avarie (în funcție de ore de funcționare vehicule) [evenimente / 10^6 vehicule– h]

S_{sv} Cota vehicule grele [%]

MZA Trafic mediu zilnic anual

Stabilirea parametrilor de calcul individual:

a) Stabilirea lungimii tunelului L_{TU}

Lungimea tunelului se stabilește pe baza lungimii structurii tunelului, la care se adaugă tronsoane de drum deschis de 50 m pe ambele părți, pentru a include zonele portalului. Nu se iau în considerare galeriile sau secțiunile peretelui inferior adiacente structurii tunelului.

b) Coeficient de corecție pentru optimizare trafic f_{VK}

Deoarece rata de coliziune variază în funcție de volumul de trafic, este necesar un coeficient de corecție pentru creșterea sau reducerea ratei de coliziune:

Pentru tunele unidirecționale:

$$f_{VK,RV} = \frac{7.934 \cdot 10^{-2} \cdot \ln(MZA) - 0.6935}{0.112}$$

(MZA pentru ambele direcții)

Formula coeficientului de corecție a traficului pentru tunelele unidirecționale acoperă volume de trafic cuprinse între 15.000 și 40.000 de vehicule/24h. Pentru volume de trafic mai mici sau mai mari, trebuie folosite valorile pentru 15.000 sau 40.000 vehicule/24h. Pentru tunelele bidirecționale:

$$f_{VK,GV} = \frac{3,217 \cdot 10^{-14} \cdot TMZA^3 - 2,209 \cdot 10^{-9} \cdot TMZA^2 + 5,021 \cdot 10^{-5} \cdot TMZA - 0,2781}{0,077}$$

Formula coeficientului de corecție a traficului pentru tunelele unidirecționale acoperă volume de trafic cuprinse între 10.000 și 20.000 de vehicule/24h. Pentru volume de trafic mai mici sau mai mari, trebuie folosite valorile pentru 10.000 sau 20.000 vehicule/24h.

- c) Coeficientul de corecție pentru lungimea tunelului f_{TL}
 Deoarece rata de coliziune variază în funcție de volumul de trafic, este necesar un coeficient de corecție pentru creșterea sau reducerea ratei de accidente:

$$f_{TL} = \frac{0,1081 \cdot L_{TU}^{-0,3543}}{0,112}$$

În ceea ce privește lungimile de tunel mai mari de 3,0 km, se utilizează valoarea aferentă $L_{TU} = 3,0$ km; pentru lungimi de tunel mai mici de 500 m, se utilizează valoarea aferentă pentru 0,5 km. Acest coeficient de corecție este valabil numai pentru tunelele unidirecționale; pentru tunelele bidirecționale, valoarea f_{TL} trebuie stabilită la 1,0, indiferent de lungimea tunelului.

- d) Coeficient de corecție pentru secțiunile cu joncțiuni f_{VF}

Pentru secțiunile cu joncțiuni și zonele de impact ale acestora (adică distanța care poate fi parcursă în 10 secunde atunci când se circulă cu cea mai mare viteză permisă) în tunel sau fix în afara tunelului (zona portalului), rata de coliziune trebuie mărită cu un coeficient de 2 pe întreaga lungime a secțiunii de joncțiune (inclusiv zonele de impact). Astfel, coeficientul de corecție f_{VF} trebuie calculat astfel:

$$f_{VF} = \frac{(L_{TU} - \sum L_v) + 2 \cdot \sum L_v}{L_{TU}}$$

cu:

$\sum L_v$ Totalul secțiunilor cu joncțiuni, incluzând zonele de impact ale acestora.

În cazul în care secțiunile individuale cu joncțiuni (fără zonele de impact) sunt mai lungi de 200 m, trebuie să se ia în considerare o lungime maximă de 200 m la efectuarea calculului.

În cazul în care secțiunile cu joncțiuni, inclusiv zonele de impact ale acestora, sunt situate în zona portalului, acestea trebuie luate în considerare, inclusiv lungimea secțiunii situate în interiorul tunelului și o lungime maximă de 50 m în afara portalului.

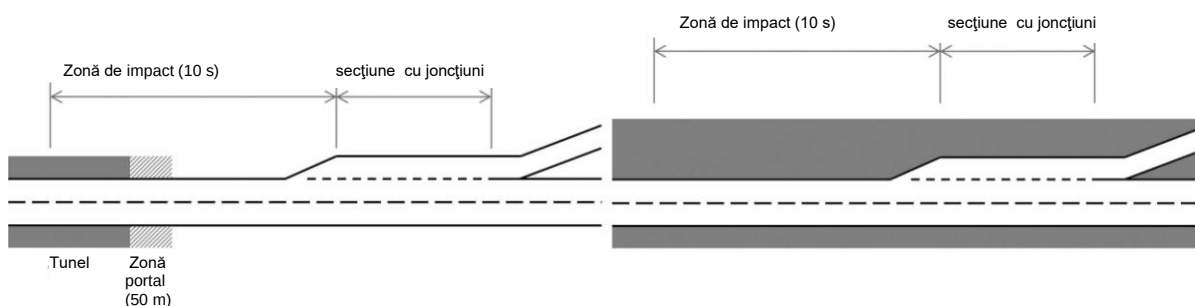


Figura 3: Zona de impact a secțiunii cu joncțiuni

8.2.3 Coloana C – Tip de accident

- Valori C1, C6

Prezenta coloană nu diferențiază avariile $C1 = C6 = 1,0$.

- Valoarea C2

Pot apărea coliziuni ulterioare atât din avarii, cât și din coliziuni anterioare. Astfel, atât frecvența avariilor, cât și frecvența accidentelor trebuie să fie luate în considerare ca valori de bază.

$$C2 = A1 \cdot B1 \cdot \bar{N} \cdot p_{A,P} + A1 \cdot B2 \cdot \bar{N} \cdot p_{A,U}$$

cu:

p_A Probabilitatea de a intra în vehiculul din față pentru 1 vehicul

$p_{A,P}$ $4,9 \cdot 10^{-5}$ (cu avarie)

$p_{A,U}$ $4,5 \cdot 10^{-4}$ (cu coliziune)

Ambele probabilități menționate s-au stabilit cu ajutorul datelor disponibile în baza de date ASFİNAG privind coliziunile din tunele.

Numărul mediu de vehicule care se opresc în urma unui ambuteiaj se calculează după cum urmează:

$$\bar{N} = \frac{\left(t_{sp} + \frac{L_T}{v_{max}} \right) \cdot TMZA}{3600 + \frac{2 \cdot v_{max}}{24}}$$

Pentru tunele unidirecționale, se poate folosi MZA pentru galeria tunelului respectiv cu:

L_T Lungimea tunelului (fără extinderi) [km]

t_{sp} = 90 s

t_{sp} Timpul mediu de închidere (timpul dintre apariția evenimentului și oprirea vehiculelor în fața semafoarelor de la portal sau din tunel [s])

v_{max} Viteza maximă permisă în tunel [km/h]

- Valori C3, C4, C5

Coliziunile în tunele sunt clasificate în tipuri de coliziuni după cum urmează

- Coliziuni de tip 0: Coliziuni în care este implicat un singur vehicul - coliziune cu un singur vehicul (deviere pe partea dreaptă, deviere pe partea stângă, deviere în zonele de intersecție/pe benzile de viraj, mers înapoi și întoarcere, derapaj, alunecare, răsturnare de vehicul, izbire de obstacole/parapete
- Coliziuni de tip 1: Coliziuni care au loc în trafic unidirecțional, în care sunt implicate două sau mai multe vehicule care circulă în aceeași direcție (coliziuni la depășire, la schimbarea benzii de circulație, coliziuni din spate, coliziuni la mersul înapoi, coliziuni la joncțiuni)
- Coliziuni de tip 2: Coliziuni care au loc în trafic bidirecțional, în care sunt implicate două sau mai multe vehicule care circulă în direcție opusă (coliziuni la joncțiuni sau la intrări în bandă, deviere din cauza unui vehicul care vine din sens opus, coliziune din derapaj, coliziune frontală, coliziune frontală la depășire)

Nu se iau în calcul alte tipuri de coliziuni suplimentare la efectuarea unei analize a riscurilor privind tunelele, deoarece aceste tipuri de coliziuni nu sunt relevante pentru rețeaua de drumuri de mare viteză.

Deoarece distribuția tipurilor de accidente pentru tunelele unidirecționale diferă în mod fundamental de cea a tunelelor bidirecționale, se face o împărțire separată a tipurilor de accidente pentru tunelele unidirecționale și bidirecționale (a se vedea Tabelul 5).

Tabelul 5: Cota coliziunilor în funcție de tip pentru tunelele unidirecționale și bidirecționale (ILF, 2008)

		Tunele bidirecționale		Tunele unidirecționale
		Drumuri naționale	Autostrăzi și drumuri expres	
C3	Coliziuni de tip 0	30%	17%	40%
C4	Coliziuni de tip 1	49%	50%	59%
C5	Coliziuni de tip 2	21%	33%	1%

8.2.4 Coloana D - Vehicule implicate

- Valori D1-D3 și D16-D18: Vehicule cu avarii

În cazul avariilor, se introduc proporțiile tipurilor de vehicule respective în volumul total de trafic pentru valoarea vehiculelor implicate (ratele de avarie nu sunt clasificate în funcție de tipurile de vehicule).

- Valori D4-D6: Vehicule implicate în coliziuni ulterioare

Acest eveniment trebuie încadrat la tipul de accident 1; prin urmare, trebuie utilizate valorile D10 - D12.

- Valori D7-D15: Vehicule implicate în accidente

Tabelul 6 include implicarea stabilită statistic a vehiculelor în funcție de tipurile de coliziuni în funcție de procentajele medii ale tipurilor de vehicule din rețeaua rutieră austriacă (valoare de bază); în cazul unor abateri, aceste valori trebuie adaptate cu ajutorul formulelor menționate mai jos.

Tabelul 6: Adaptarea valorilor de bază pentru implicarea vehiculelor atât în funcție de tipul de coliziune, cât și de structura traficului (ILF 2008, ILF 2014).

			Valoare de bază U [%]	U cu structura nouă a traficului [%]
Coliziuni de tip 0: Coliziune cu un singur vehicul	D7	Autoturism	82,6	$\frac{82,6 \cdot S_{PKW}}{85,5}$
	D8	VGM	14,7	$\frac{14,7 \cdot S_{LKW}}{14}$
	D9	Autobuz	2,7	$\frac{2,7 \cdot S_{AUTOBUZ}}{0,5}$
Coliziuni de tip 1: Coliziune în trafic unidirecțional	D10	Autoturism	63,7	$\frac{63,7 \cdot S_{PKW}^2}{85,5^2}$
	D11	VGM	35,6	$\frac{35,6 \cdot (S_{LKW}^2 + 2 \cdot S_{LKV} \cdot S_{PKV})}{14^2 + 2 \cdot 14 \cdot 85,5}$
	D12	Autobuz	0,7	$\frac{0,7 \cdot (S_{BUS}^2 + 2 \cdot S_{PKW} \cdot S_{BUS} + 2 \cdot S_{LKW} \cdot S_{BUS})}{0,5^2 + 2 \cdot 85,5 \cdot 0,5 + 2 \cdot 14 \cdot 0,5}$
Coliziuni de tip 2: Coliziune în trafic bidirecțional	D13	Autoturism	58,0	$\frac{58,8 \cdot S_{PKW}^2}{85,5^2}$
	D14	VGM	41,9	$\frac{41,9 \cdot (S_{LKW}^2 + 2 \cdot S_{LKV} \cdot S_{PKV})}{14^2 + 2 \cdot 14 \cdot 85,5}$
	D15	Autobuz	0,1	$\frac{0,1 \cdot (S_{BUS}^2 + 2 \cdot S_{PKW} \cdot S_{BUS} + 2 \cdot S_{LKW} \cdot S_{BUS})}{0,5^2 + 2 \cdot 85,5 \cdot 0,5 + 2 \cdot 14 \cdot 0,5}$

Definiții:

Coliziune cu un autoturism: în coliziune sunt implicate numai autoturisme

Coliziune cu un vehicul greu de marfă (VGM): în coliziune este implicat cel puțin un vehicul de mare tonaj

Coliziune cu un autobuz: în coliziune este implicat cel puțin un autobuz

Categoria de vehicule grele de marfă include toate vehiculele cu o greutate totală maximă admisă mai mare de 3,5 tone.

Legendă:

S_{PKW} Cota efectivă de autoturisme în MZA [%]

S_{LKW} Cota efectivă de vehicule grele de marfă > 3,5t în MZA [%]

S_{BUS} Cota efectivă de autobuze în MZA [%]

Valorile de bază incluse în tabelul 6 sunt valabile pentru cote de autoturisme de 85,5%, cote de vehicule grele de 14% și cote de autobuze de 0,5%.

În cazul în care cotele tipurilor individuale de vehicule se abat de la valorile de bază, valoarea totală a frecvențelor relative la această ramificație a arborelui evenimentelor poate fi mai mică sau mai mare de 100%. Această abatere este rezultatul aproximării liniare utilizate pentru a descrie dependența netrivială a implicării tipului de vehicul de structura tipurilor de vehicule.

8.2.5 Coloana E - Incendii ulterioare

Avariile conduc la un risc personal numai dacă implică incendii sau coliziuni ulterioare care au loc din cauza avariei.

- Valori E1-E6, E31-E38 pentru avarii ce implică incendii

Probabilitatea de apariție a unei avarii care implică un incendiu depinde de tipul de vehicul.

Tabelul 7 include valorile ce trebuie folosite.

Tabelul 7: Probabilitatea unui incendiu provocat de o avarie (Lentz 2013)

Autoturism	0,0015/avarie
VGM/autobuz	0,01/avarie

- Valori E7-E30: Incendiu apărut ulterior coliziunilor cu vătămări corporale

Probabilitatea de apariție a unui incendiu ca urmare a unei coliziuni depinde de tipul de coliziune; valorile care trebuie utilizate sunt incluse în Tabelul 8 (pentru E7-E12, trebuie utilizate valorile pentru tipul de coliziune 1).

Tabelul 8: Probabilitatea apariției unui incendiu ulterior coliziunilor cu vătămări corporale (Lentz 2013)

Tip de coliziuni	Incendii ulterioare
0 – coliziune cu un vehicul	0,012
1 - coliziune în trafic unidirecțional	0,006
2 - coliziune în trafic bidirecțional	0,020

Probabilitatea este aceeași pentru toate categoriile de vehicule.

8.2.6 Coloana F - Implicarea mărfurilor periculoase

În ceea ce privește incidentele în care sunt implicate vehicule grele de marfă, sunt luate în considerare și scenariile care implică mărfuri periculoase. Bunurile periculoase pot conduce la diverse riscuri (incendii, explozii, intoxicații etc.), în funcție atât de materialul transportat, cât și de scenariul incidentului. Impactul asupra evenimentului ca urmare a implicării mărfurilor periculoase se ia în calcul doar într-o formă foarte generală, diferențiind doar între implicarea mărfurilor periculoase în incendii și impactul altor mărfuri periculoase, fără a analiza un set reprezentativ de scenarii care implică mărfuri periculoase. În general, modelul de analiză a riscurilor permite și luarea în considerare a unor scenarii suplimentare care implică mărfuri periculoase atunci când se efectuează o analiză detaliată a riscurilor. Cu toate acestea, pentru a evalua în mod specific riscurile asociate transportului de mărfuri periculoase, trebuie utilizat, în general, modelul DG-QRAM al OCDE/PIARC.

Se pleacă de la următoarele prezumții:

- Valorile F1, F2, F5, F6, F9, F10, F13, F14, F17-F20: probabilitatea incendiului cu mărfuri periculoase

Pentru probabilitatea de apariție a unui incendiu la un vehicul greu care implică mărfuri periculoase inflamabile, se presupune o valoare de 0,011.

Această valoare se alege în baza următoarelor prezumții:

- Proportia de mărfuri periculoase (transporturi care implică mărfuri periculoase) în traficul de vehicule grele: 3%
- Cota de materiale inflamabile în transportul de mărfuri periculoase: 75%
- Probabilitatea de aprindere a incendiului: 50%

- Valorile F3, F4, F7, F8, F11, F12, F15, F16: probabilitatea scurgerilor de mărfuri periculoase

Pentru probabilitatea de coliziune a unui vehicul greu ce implică scurgeri de mărfuri periculoase care duc la alte riscuri (riscuri pentru sănătate sau viață care nu sunt cauzate de incendii), se presupune o valoare de 0,0006.

Această valoare se alege în baza următoarelor prezumții:

- Proportia de mărfuri periculoase (transporturi care implică mărfuri periculoase) în traficul de vehicule grele: 3%
- Cota de materiale care provoacă alte riscuri (riscuri pentru sănătate și viață care nu sunt cauzate de incendii): 10%
- Probabilitatea scurgerilor: 20%

8.2.7 Coloana G - Scenariu cu pagube ce implică riscul de vătămări corporale ca urmare a incendiilor provocate de avarii

- Valorile G1-G6 și G7-G12: risc de vătămări corporale ca urmare a incendiilor provocate de avarii

Incendiile care se produc din cauza avariilor pot fi adesea stinse înainte ca acestea să atingă dimensiuni care pot duce la riscuri de vătămare corporală. Probabilitatea ca un incendiu să atingă aceste dimensiuni conform calculelor de simulare depinde de tipul de vehicul implicat. Această valoare ține cont de următoarele aspecte:

- Unele incendii sunt doar evenimente puțin sau deloc importante și/sau nu conduc la oprirea vehiculului
- Unele incendii sunt stinse la timp de către persoanele implicate în incident (de ex., stingătorul personal de incendiu)

Aici se aplică valorile menționate în Tabelul 9.

Tabelul 9: Probabilitatea ca evoluția unui incendiu să provoace risc de vătămări corporale (Lentz, 2013)

Autoturism	0,38
VGM/autobuz	0,38

8.2.8 Coloana H - Dimensiunea incendiilor

- Valoarea H1 și H2

Având în vedere că incendiile de vehicule grele provocate de avarii evoluează mai lent, doar unele dintre incendiile care se produc duc la un incendiu major care implică întregul vehicul; toate celelalte incendii implică doar cabina șoferului.

Se aplică valorile menționate în Tabelul 10.

Tabelul 10: Probabilitatea unui incendiu major ce implică întregul vehicul (Lent 2013)

Incendiu în cabina șoferului	0,8
Incendiu ce cuprinde întregul vehicul	0,2

8.2.9 Coloana I – Scenariu cu pagubele

Coloana I include scenariile cu pagube pentru care se adaugă valorile de amploare a pagubelor definite la punctul 8.3 (accidente cu impact mecanic) și la punctele 8.4 sau 8.5 (incendii și coliziuni care implică mărfuri periculoase) atunci când se utilizează metoda standard, în timp ce, atunci când se efectuează o analiză detaliată a riscurilor, valorile de amploare a pagubelor legate de incendii se stabilesc separat prin simulare.

Pentru unele evenimente de incendiu incluse în această coloană, se fac diferențieri în ceea ce privește dimensiunile incendiilor, pentru care trebuie utilizate probabilitățile menționate în Tabelul 11.

Toate valorile sunt 1 (nu se mai face diferențiere în arborele evenimentelor).

Distribuția probabilității pentru scenariul de incendiu de 30 MW și de 100 MW este menită să reprezinte sarcina calorică totală a traficului de vehicule grele (toate vehiculele cu o greutate totală maximă admisă mai mare de 3,5 tone, parțial descărcate sau încărcate cu materiale inflamabil).

Tabelul 11: Dimensiuni ale incendiului sau valori ale amplitudinii pagubelor în cazul coliziunilor în care sunt implicate mărfuri periculoase și probabilități relative în funcție de scenariul evenimentului (Lentz 2013)

Scenariu de incendiu	Dimensiunea incendiului [MW]	Probabilitate [-]
Incendiu de vehicule grele (coliziune și coliziune ulterioară)	30	0,9
	100	0,1
Incendiu de vehicul greu (după avarie) ce implică doar cabina șoferului	5	0,75
	30	0,25
Incendiu de vehicul greu (după avarie) ce implică tot vehiculul	30	0,9
	100	0,1

8.3 Anexa 3: Analiza consecințelor pentru coliziuni

8.3.1 Aspecte de bază

Valoarea medie preconizată a valorilor pagubelor aferente coliziunilor care apar în tunele a fost dedusă din datele statistice ale coliziunilor pentru tunelele din Austria. Astfel, valorile se raportează la o viteză maximă permisă de 100 km/h (tunel unidirecțional/tip de coliziune 1) sau 80 km/h (tunel bidirecțional/tip de coliziune 2).

Valorile privind amploarea pagubelor se raportează la nivelul real al vitezei medii, luând astfel în considerare viteza excesivă care apare în mod normal. Prin urmare, se pot lua în calcul măsurile de control al vitezei care conduc la reduceri de viteză în ceea ce privește măsurile de siguranță (a se vedea punctul 8.8).

8.3.2 Valorile de amploare a pagubelor pentru coliziuni

Valorile de amploare a pagubelor pentru coliziuni (gravitatea coliziunii - impactul pagubelor mecanice) depind atât de tipul de accident, cât și de vehiculele implicate; trebuie utilizate valorile incluse în Tabelul 12. Valorile de amploare a pagubelor pentru coliziuni menționate se referă la viteze maxime permise de 80 km/h (pentru tunelele bidirecționale) și 100 km/h (pentru tunelele unidirecționale).

Tabelul 12: Valorile de amploare a pagubelor pentru coliziuni (impactul pagubelor mecanice) (ILF, 2008)

Amplarea de pagube mecanice [decese preconizate statistic/eveniment]		Tunel bidirecțional	Tunel unidirecțional
Coliziuni de tip 0 (accident cu un singur vehicul)	Autoturism	0,138	0,175
	VGM	0,083	0,083
	Autobuz	0,100	0,100
Coliziuni de tip 1 (accident în trafic unidirecțional)	Autoturism	0,019	0,010
	VGM implicat	0,419	0,093
	Autobuz implicat	0,100	0,100
Coliziuni de tip 2 (accident în trafic bidirecțional)	Autoturism	0,250	0,250
	VGM implicat	0,429	0,429
	Autobuz implicat	0,750	0,750

8.4 Anexa 4: Analiza consecințelor pentru incendii și coliziuni ce implică mărfuri periculoase

8.4.1 Aspecte de bază

Descrierea generală a modelului de analiză detaliată a riscurilor

Descrierea generală a modelului de analiză detaliată a riscurilor oferă doar o imagine de ansamblu a metodei folosite pentru a stabili valoarea de amplasare a pagubelor aferentă incendiilor. Raportul de lucru (ILF 2014) include o descriere detaliată. Modelul de analiză detaliată a riscurilor se bazează pe următoarele scenarii de incendii:

- Incendii de 3 feluri cu rate diferite de degajare a căldurii:
 - Un scenariu de incendiu ce implică autoturisme (5 MW)
 - Două scenarii de incendiu ce implică vehicule grele (30 MW, 100 MW)
- Trei tipuri de scenarii de incendiu care diferă în ceea ce privește localizarea incendiului față de vehiculele prezente în tunel și în ceea ce privește condițiile inițiale ale curentului de aer:
 - Eveniment principal:
Incendiul se produce în partea din față a unui grup de vehicule care se opresc (trafic în desfășurare)
 - Eveniment secundar:
Incendiul se produce în partea din spate a unui grup de vehicule care se opresc (trafic în desfășurare)
 - Eveniment terțiar:
Incendiul se produce la un grup de vehicule staționate (ambuteiaj)

Se includ toate caracteristicile tunelului în modelul detaliat de analiză a riscurilor pentru a calcula valorile de amplasare a pagubelor pentru cele trei feluri de incendii definite pentru tunelul examinat. La efectuarea acestei analize, trebuie calculate diferite variații ale parametrilor pentru a acoperi întreaga gamă de condiții inițiale și de evoluții posibile ale scenariilor. Aceasta duce la un număr mare de calcule care trebuie efectuate.

Pentru a efectua aceste calcule, mai întâi trebuie să se facă o simulare unidimensională a condițiilor curentilor de aer, care urmează să fie inclusă în mediul de simulare tridimensional selectat ca o condiție-limită pentru scenariul de simulare aferent. Mediul de simulare trebuie să includă toți parametrii care influențează curentul de aer longitudinal (inclusiv evoluția sa în timp):

- Numărul și configurația vehiculelor în mișcare, inclusiv evoluția în funcție de timp (tipul de închidere, perioada de închidere, viteza etc.)
- Numărul și configurația vehiculelor staționate, inclusiv evoluția în funcție de timp (tipul de închidere, perioada de închidere, viteza etc.)
- Pierderi prin frecare în tunel
- Rezistența la portal/rezistența la intrare
- Meteorologie (dacă este semnificativ)
- Ridicarea focului/fumului, inclusiv evoluția în funcție de timp și gradientii locali exacti, precum și transferul de căldură prin conducție pentru pereții tunelului.
- Efectele ventilației, inclusiv evoluția în timp (sunt necesare specificații exacte în ceea ce privește atât dimensionarea, cât și controlul sistemului de ventilație!)

Pentru a reprezenta parametrul de intrare variabil din punct de vedere cronologic, este absolut necesar un model de debit variabil.

Condițiile curentului de aer care s-au deduse din simularea unidimensională a debitului sunt incluse în modelul de debit tridimensional (la o distanță suficientă față de locul incendiului) ca și condiție-limită pentru a calcula efectele locale în funcție de condițiile stabilite:

- Geometrie reprezentată cu exactitate (secțiune transversală, gradient local)
- Transfer de căldură prin conducție pentru pereții tunelului
- Turbulențe ale aerului provocate de vehiculele staționate
- Efecte ale ventilației (ventilatoare puternice, aspirația fumului etc.)

Atât condițiile de vizibilitate, cât și concentrațiile de poluanți prezente la nivelul de înălțime al persoanelor care evacuează zona (1,6 m) sunt deduse din simularea tridimensională a debitului.

În etapa următoare, atât condițiile de vizibilitate, cât și concentrațiile de poluanți care s-au stabilit prin

intermediul simulării tridimensionale a debitului sunt incluse într-un model de simulare a evacuării care utilizează un model cauzal bazat pe acumularea de poluanți (toxicitate) (Purser 1986, Purser 1989). În plus, atunci când se simulează evacuarea, trebuie să se modeleze în mod reprezentativ atât locul punctului de origine, cât și ieșirile de urgență adiacente (adică locul incendiului este „deplasat” de-a lungul axei tunelului care acoperă întreaga zonă de valabilitate a scenariului respectiv). Rezultatele acestei simulări sunt intervale de zone cu probabilități de supraviețuire definite care sunt specifice scenariului respectiv.

Deoarece oamenii nu sunt întotdeauna prezenți în toate zonele cu probabilități de supraviețuire sub 100%, în cele din urmă, intervalul de probabilități de supraviețuire dedus din simularea evacuării trebuie combinat cu situația reală a traficului. În acest sens, trebuie să se acorde atenție ca fiecare vehicul care s-a oprit în tunel să fie considerat ca fiind un punct de incendiu și ca această prezumție să se aplice nu numai vehiculelor staționate în ambuteiajele din spatele locului principal al accidentului, ci și vehiculelor nemișcate aflate în spatele semafoarelor din tunel.

Valoarea amplitudinii preconizate statistic a pagubelor pentru dimensiunea incendiului examinat se obține prin înmulțirea suprapunerii zonelor caracterizate de probabilități limitate de supraviețuire cu zonele caracterizate de prezența persoanelor (zone de ambuteiaje) cu probabilitățile respective (frecvența scenariului de bază, probabilitatea ca o coliziune din spate să provoace un incendiu etc.) și apoi prin însumarea rezultatelor pentru toate scenariile examinate.

Procedura descrisă mai sus trebuie efectuată pentru toate scenariile examinate, acoperind următoarele aspecte în ceea ce privește variația parametrilor de intrare:

- Galeria tunelului
Modificarea parametrilor de intrare menționați la punctele de mai jos trebuie efectuată separat pentru fiecare galerie în parte. Se poate omite modificarea în mod separat numai în cazul în care se examinează galerii de tunel care sunt orizontale în întregime și similare în ceea ce privește caracteristicile lor de trafic.
- Volumul de trafic (3 volume de trafic)
Pornind de la volumul de trafic caracteristic pentru tunelul analizat (punct de numărare permanent, curba de variație a traficului pe zi, săptămână și an), trebuie determinate trei volume de trafic reprezentative pentru efectuarea analizei, pentru a acoperi atât scenariile cu un curent de aer longitudinal inițial scăzut (risc mai mare de suprapunere), cât și scenariile cu un curent de aer longitudinal inițial ridicat (propagare mai rapidă a fumului, straturi de fum etc.)
- Locul accidentului (2-5 locuri, în funcție de situație)
Pe lângă influențele evidente provocate de variații atât ale gradientilor longitudinali, cât și ale secțiunii transversale (precum și alte influențe locale evidente), și locul accidentului are o influență semnificativă asupra evoluției curentului de aer longitudinal, deoarece, în funcție de locul accidentului, când vehiculele ies din tunel se formează un tipar specific (în primul rând înainte de închiderea tunelului).
- Momentul de inițiere a incendiului
În funcție de intervalul de timp scurs între incidentul principal și aprinderea incendiului, curentul de aer longitudinal se deteriorează într-o măsură mai mare sau mai mică față de curentul de aer longitudinal inițial (stare staționară înainte de apariția congestiei de trafic). Trebuie să se țină cont de acest aspect când se calculează valorile medii de amplitudine a pagubelor.
- Condițiile de vânt și presiune la portaluri (dacă nu sunt neglijabile)
În cazul în care tunelul examinat prezintă caracteristici specifice în ceea ce privește condițiile de vânt și de presiune prezente la portaluri, valorile aferente trebuie luate în considerare ca variații suplimentare la efectuarea analizei de risc. Totuși, nu se poate oferi nicio recomandare general valabilă în această privință, deoarece situațiile variază de la un tunel la altul.

Dacă, din cauza rezultatului impus, se consideră că sunt necesari parametri de variație suplimentari (de ex., probabilități în ceea ce privește defectarea diferitelor sisteme, salvare de către alții), aceștia pot fi incluși în același mod în analiză. Cu toate acestea, trebuie spus că variațiile menționate mai sus (deoarece sunt multiplicative) duc la un număr destul de mare de calcule.

Descrierea generală a modelului standard de analiză a riscurilor

În practică, nu este util să se efectueze o analiză de risc detaliată pentru toate tunelele care necesită o analiză de risc. Prin urmare, pe baza modelului detaliat de analiză a riscurilor, s-a elaborat un model standard de analiză a riscurilor mai ușor de aplicat, care poate fi utilizat pentru toate tunelele care îndeplinesc cerințele de aplicabilitate.

Modelul standard de analiză a riscurilor diferă de analiza detaliată a riscurilor în măsura în care se includ valorile precalculate ale amplitudinii pagubelor în funcție de incendii în arborele evenimentelor (nemodificat). Astfel, nu trebuie să se efectueze calcule extinse de simulare pentru stabilirea valorilor de amplitudină a pagubelor legate de incendii, deoarece acestea au fost deja calculate pentru anumite tunele model în cursul dezvoltării modelului; acestea sunt menționate la punctele 8.4.2 (pentru tunelele unidirecționale) și 8.4.3 (pentru tunelele bidirecționale). Cu toate acestea, valorile precalculate ale amplitudinii pagubelor se pot utiliza numai cu condiția ca atât parametrii, cât și condițiile stabilite ale tunelului examinat să fie similare cu cele ale tunelului model utilizat pentru calculele preliminare. În acest sens, trebuie să se ia în considerare atât prezentarea modelelor de tunele incluse la punctele 8.4.2 și 8.4.3, cât și domeniul de aplicare a modelului standard menționat la punctul 8.6.

Modelul standard de analiză a riscurilor are rolul de a oferi o metodă de analiză a riscurilor relativ simplă de utilizat, care poate fi folosită pentru tipurile de tunele des întâlnite. Prin urmare, modelul standard de analiză a riscurilor include valori ale amplitudinii pagubelor numai pentru tipurile de tunele model relevante din punct de vedere practic.

8.4.2 Valoarea pagubelor în funcție de incendii și mărfuri periculoase - tunele unidirecționale

Tunel - model

Modelul standard de analiză a riscurilor pentru tunelele unidirecționale acoperă tunelele atât cu ventilație naturală, cât și cu ventilație mecanică. Modelele de tunele utilizate pentru simulările efectuate în cursul elaborării modelului acoperă domeniul de aplicare al sistemelor de ventilație respective (în conformitate atât cu legea nr.277/2007, cât și cu AND 624) și permit examinarea tipurilor de tunele care respectă următoarele criterii:

- Tunel cu lungime între 0,5 km-8,0 km – în funcție de domeniile de aplicare permise ale sistemului respectiv de ventilație
- Secțiune transversală în formă de arc sau secțiune transversală dreptunghiulară (fiecare cu două benzi de circulație)
- Pantă longitudinală unilaterală între o coborâre de 3% și rampă/panta de 3%
- Distanțele dintre căile de evacuare și de urgență între 500 m și 125 m

Modelul simplificat de analiză a riscurilor pentru tunelele unidirecționale se bazează pe scenariile de incendiu din modelul detaliat de analiză a riscurilor; astfel se indică evenimentele principale, secundare și terțiare pentru cele trei rate de degajare a căldurii de 5 MW, 30 MW și, respectiv, 100 MW.

Valorile de amplitudină a pagubelor pentru incendii

Valorile de amplitudină a pagubelor provocate de incendii care trebuie utilizate pentru metoda standard se menționează atât în tabelele, cât și în graficele de la punctele 8.5.1 și 8.5.2. Se indică separat valorile pentru evenimentele principale, secundare și terțiare. Când se efectuează o analiză detaliată a riscurilor, aceste valori trebuie stabilite separat prin simulări. În ceea ce privește atât incendiile de autoturisme, cât și incendiile de vehicule grele, aceste valori trebuie incluse în arborele evenimentelor după cum urmează:

• Eveniment principal

Valorile sunt valabile pentru ramurile arborelui evenimentelor cu „avarie cu incendiu ulterior” (valori ale amplitudinii pagubelor de la SPF1 la SPF5) sau „accident cu incendiu ulterior” (valori ale amplitudinii pagubelor: SU2, SU5, SU6, SU7, SU9, SU11, SU14, SU15, SU16, SU18, SU20, SU23, SU24, SU25, SU27).

• Eveniment secundar

Valorile sunt valabile pentru ramurile arborelui evenimentelor cu „coliziuni ulterioare ce provoacă incendii ulterioare” (valori ale amplitudinii pagubelor: SFU2, SFU5, SFU6).

• Eveniment terțiar

Valorile sunt valabile pentru ramurile arborelui evenimentelor cu „avarie cu incendiu ulterior” la ramura A2 „ambuteiaj (din cauza supraîncărcării traficului)” (valori ale amplitudinii pagubelor: S PS1-S PS5).

• Incendii de autobuze

Pentru incendiile de autobuze, trebuie folosite valorile din Tabelul 13, luând ca bază valoarea de amplitudină a pagubelor pentru incendiile de 30 MW valabile pentru tipul respectiv de eveniment.

Tabelul 13: Valoarea de amploare a pagubelor pentru incidente ce implică autobuze în tunele unidirecționale

Scenariu de incendiu	Valorile de amploare a pagubelor
Incendiu de autobuze (toate tipurile de evenimente)	1.2 · valoarea de amploare a pagubelor - incendiu de 30 MW

Valorile stabilite trebuie introduse în ramurile aferente ale arborelui evenimentelor care includ incendii de autobuze (SPF7, SFU9, SU8, SU18, SU27, SPS7).

Tabelul 14 oferă o prezentare generală a tabelelor și figurilor care includ valorile privind amploarea pagubelor provocate de incendiu care trebuie utilizate pentru fiecare tip de tunel în parte.

Tabelul 14: Tabel cu referințe privind valorile de amploare a pagubelor pentru tunelele unidirecționale

Tunel unidirecțional								
Sistem de ventilație	Secțiune transversală	Eveniment principal	Eveniment secundar			Eveniment terțiar		
			5 MW	30 MW	100 MW	5 MW	30 MW	100 MW
Ventilație mecanică longitudinală	Secțiune transversală în formă de arc	Tabel 19	Figura 4					
				Figura 6				
					Figura 8			
						Figura 10		
							Figura 12	
								Figura 14
Ventilație mecanică longitudinală	Secțiune transversală dreptunghiulară	Tabel 19	Figura 5					
				Figura 7				
					Figura 9			
						Figura 11		
							Figura 13	
								Figura 15
Ventilație naturală	Toate secțiunile transversale	Tabel 21	Tabel 23			Tabel 23		

Valorile incluse în tabelul de mai sus sunt valabile pentru tunelele cu distanțe de 500 m între căile de evacuare și cele de urgență. Factorii de reducere pentru distanțe mai mici de 500 m sunt incluși în Tabelul 20 (pentru tunelele cu ventilație mecanică longitudinală), precum și în Tabelul 22 și în Tabelul 24 (pentru tunelele cu ventilație naturală).

Valorile de amploare a pagubelor pentru incidente ce implică mărfuri periculoase

Valorile de amploare a pagubelor pentru incidente ce implică mărfuri periculoase trebuie deduse din valorile de la Tabelul 15, care se bazează pe estimări ale experților.

Tabelul 15: Valorile de amplasare a pagubelor pentru incidente VGM ce implică mărfuri periculoase

Scenariu	Valorile de amplasare a pagubelor
Incendiu de VMG ce implică mărfuri periculoase (toate tipurile de evenimente)	1.2 · valoarea de amplasare a pagubelor - incendiu de 100 MW
Incidente cu VGM ce implică scurgeri de mărfuri periculoase	0,5

Valorile stabilite trebuie introduse în ramurile arborelui aferente incidentelor cu VMG ce implică mărfuri periculoase (SPF6, SFU4, SFU7, SU4, SU7, SU13, SU16, SU22, SU25, SPS6).

Impacturile mecanice combinate cu impacturile provocate de incendii sau mărfuri periculoase

În ceea ce privește evoluțiile evenimentelor care implică impacturi ale pagubelor mecanice (SFU sau SU) în combinație cu impacturi provocate de incendii sau mărfuri periculoase (incendiu de mărfuri periculoase sau scurgeri de mărfuri periculoase), amplasarea pagubelor include două componente, după cum urmează:

- Amplasarea de pagube mecanice a scenariului respectiv de pagube
- Amplasarea pagubelor provocate de incendii sau mărfuri periculoase aferente scenariului respectiv

Pentru a stabili riscul, trebuie însumate cele două componente.

8.4.3 Valoarea pagubelor în funcție de impactul incendiilor și al mărfurilor periculoase - tunele bidirecționale

Tunel model

Modelul standard de analiză a riscurilor pentru tunelele bidirecționale se bazează pe tipurile de tunele model menționate mai jos:

- 5 lungimi de tunel (0,7 km, 1,5 km, 3,0 km, 5,0 km, 7,0 km, aferente domeniilor de aplicare permise ale sistemului respectiv de ventilație)
- Secțiune transversală în formă de arc
- 4 sisteme de aerisire (ventilație naturală, ventilație mecanică longitudinală, aspirația fumului la distanțe regulate, aspirația fumului în puncte specifice)
- 3 distanțe diferite între căile de evacuare și de urgență (fără cale de evacuare și de urgență, 500 m, 250 m)
- Pantă longitudinală $\leq 3\%$

Tabelul 16 oferă o prezentare generală a tipurilor de tunele model pentru care sunt disponibile în modelul simplificat de analiză a riscurilor valori ale amplasării pagubelor aferente incendiilor.

Tabelul 16: Tabel cu referințe privind valorile de amplasare a pagubelor aferente incendiilor/mărfurilor periculoase pentru tunelele bidirecționale

Tunel bidirecțional						
Sistem de ventilație	Scenariu de incendiu	Lungimea tunelului				
		0,7 km	1,5 km	3,0 km	5,0 km	7,0 km
Ventilație naturală	Eveniment principal	Tabelul 25				
	Eveniment secundar/terțiar	Tabelul 26				
Ventilație mecanică	Eveniment principal	Tabelul 27	Tabelul 29			

	Eveniment secundar/terțiar	Tabelul 28	Tabelul 30			
Ventilație longitudinală cu punct de extracție	Eveniment principal			Tabelul 31		
	Eveniment secundar/terțiar			Tabelul 32		
Ventilație transversală	Eveniment principal				Tabelul 33	Tabelul 35
	Eveniment secundar/terțiar				Tabelul 34	Tabelul 36

Valoarea pagubelor aferente incendiilor

Tabelele 25-36 includ valorile ampolare a pagubelor ce se vor folosi la aplicarea metodei standard. Când se efectuează o analiză detaliată a riscurilor, aceste valori trebuie stabilite separat. În comparație cu tunelele unidirecționale, tunelele bidirecționale implică, în general, riscuri mai mari în ceea ce privește producerea de incendii, ceea ce conduce, în plus, la sensibilități mai mari în ceea ce privește reacția la factorii care influențează condițiile curenților de aer (cum ar fi condițiile de trafic, atât controlul, cât și capacitatea sistemului de ventilație – în special cu privire la sistemele de aspirație a fumului). Din acest motiv, atunci când se utilizează metoda standard, lipsa de precizie este mai mare pentru tunelele bidirecționale decât pentru tunelele unidirecționale.

Modelul standard de analiză a riscurilor pentru tunelele bidirecționale se bazează pe scenariile de incendii și valorile de ampolare a pagubelor (University of Greenwich 2004; ILF 2008). Nu se face nicio diferențiere între evenimentele secundare și evenimentele terțiare care au loc în tunelele bidirecționale.

În tabele se menționează separat valorile atât pentru incendiile de autoturisme (incendii de 5 MW), cât și pentru incendiile de vehicule grele (incendii de 30 MW), precum și valorile pentru incendiile de mărfuri periculoase și incendiile de autobuze. Valorile pentru incendiile de 100 MW se pot deduce din valorile valabile pentru incendii ce implică bunurile din Tabelul 17.

Tabelul 17: Valorile de ampolare a pagubelor pentru incendii de 100 MW ce implică VGM în tunele bidirecționale

Scenariu de incendiu	Valorile de ampolare a pagubelor
Incendiu VGM de 100 MW (toate tipurile de evenimente)	1 valoarea de ampolare a pagubelor incendiilor de VGM ce — · implică mărfuri periculoase 1,2

Aceste valori sunt integrate astfel în arborele evenimentelor:

- Eveniment principal

Valorile se aplică ramurilor arborelui evenimentelor cu „avarii ce provoacă incendii ulterioare” (valori ale ampolii pagubelor: SPF1-SPF5) și ramurilor „coliziuni ce provoacă incendii ulterioare” (valorile de ampolare a pagubelor: SU2, SU5, SU6, SU7, SU9, SU11, SU14, SU15, SU16, SU18, SU20, SU23, SU24, SU25, SU27).

- Eveniment secundar

Valorile se aplică ramurilor arborelui evenimentelor cu „coliziuni ulterioare ce provoacă incendii ulterioare” (valori ale ampolii pagubelor: SFU2, SFU5, SFU6).

- Eveniment terțiar

Valorile sunt valabile pentru ramurile arborelui evenimentelor cu „avarie cu incendiu ulterior” incluse la ramura A2 „ambuteiaj (din cauza supraîncărcării traficului)” (valori ale ampolii pagubelor: S PS1 bis S PS5).

- Incendii de autobuze

Valorile aplicabile incendiilor de autobuze trebuie incluse în ramurile aferente incendiilor de autobuze din arborele evenimentelor (SPF7, SFU9, SU8, SU18, SU27, SPS7).

Valorile de amplasare a pagubelor pentru incidente ce implică mărfuri periculoase

În ceea ce privește incidentele cu VGM ce implică scurgeri de mărfuri periculoase, trebuie să se țină cont de valorile de amplasare a pagubelor din Tabelul 18.

Tabelul 18: Valorile de amplasare a pagubelor pentru incidente VGM ce implică mărfuri periculoase

Scenariu	Valorile de amplasare a pagubelor
Incendiu de VGM ce implică mărfuri periculoase (toate tipurile de evenimente)	A se vedea Tabelele 25-36 ce conțin valorile de amplasare a pagubelor pentru evenimente ce implică incendii și mărfuri periculoase
Incident cu VGM ce implică scurgeri de mărfuri periculoase	0,5

Valorile stabilite trebuie introduse în ramurile arborelui evenimentelor aferente incidentelor cu VMG ce implică mărfuri periculoase (SPF6, SFU4, SFU7, SU4, SU7, SU13, SU16, SU22, SU25, SPS6).

Impacturile mecanice combinate cu impacturile provocate de incendii sau mărfuri periculoase

În ceea ce privește evoluțiile evenimentelor care implică impacturi ale pagubelor mecanice (SFU sau SU) în combinație cu impacturi provocate de incendii sau mărfuri periculoase (incendiu de mărfuri periculoase sau scurgeri de mărfuri periculoase), amplasarea pagubelor include următoarele două componente:

- Amplasarea de pagube mecanice a scenariului respectiv de pagube
- Amplasarea pagubelor provocate de incendii sau mărfuri periculoase aferente scenariului respectiv de pagube

Pentru a stabili riscul, trebuie însumate cele două componente.

8.5 Anexa 5: Valoarea pagubelor în funcție de incendii, folosită în modelul standard de analiză a riscurilor

8.5.1 Tuncle unidirecționale cu ventilație mecanică longitudinală

Valorile de amplasare a pagubelor la care se face referire se aplică în cazul evenimentelor care au loc într-un tub individual al unui tunel unidirecțional cu ventilație mecanică longitudinală.

- Evenimente principale

Pentru evenimente principale, se aplică valorile menționate în Tabelul 19. În intervalul de parametri examinați, secțiunea transversală a tunelului este singurul parametru examinat cu o influență relevantă.

Tabelul 19: Amplasarea pagubelor aferente incendiilor în tunelele unidirecționale cu ventilație longitudinală

Rata de degajare a căldurii	Amplasarea pagubelor [decese preconizate statistic/eveniment]	
	Secțiune transversală în formă de arc	Secțiune transversală dreptunghiulară
5 MW	0,035	
30 MW	0,050	0,055
100 MW	0,30	0,85

- Evenimente secundare

Pentru evenimentele secundare, se aplică valorile menționate la Figurile 4-9. Valorile sunt prezentate separat pentru fiecare secțiune transversală individuală a tunelului în funcție de lungimea tunelului și sunt aplicabile pentru distanțe de 500 m între ieșirile de urgență (valorile intermediare trebuie interpolate liniar).

Valorile date pentru „descendentă” și „ascendentă” se aplică unei rampe longitudinale de 3%. Valorile intermediare trebuie interpolate sau extrapolate liniar (până la maxim 4%).

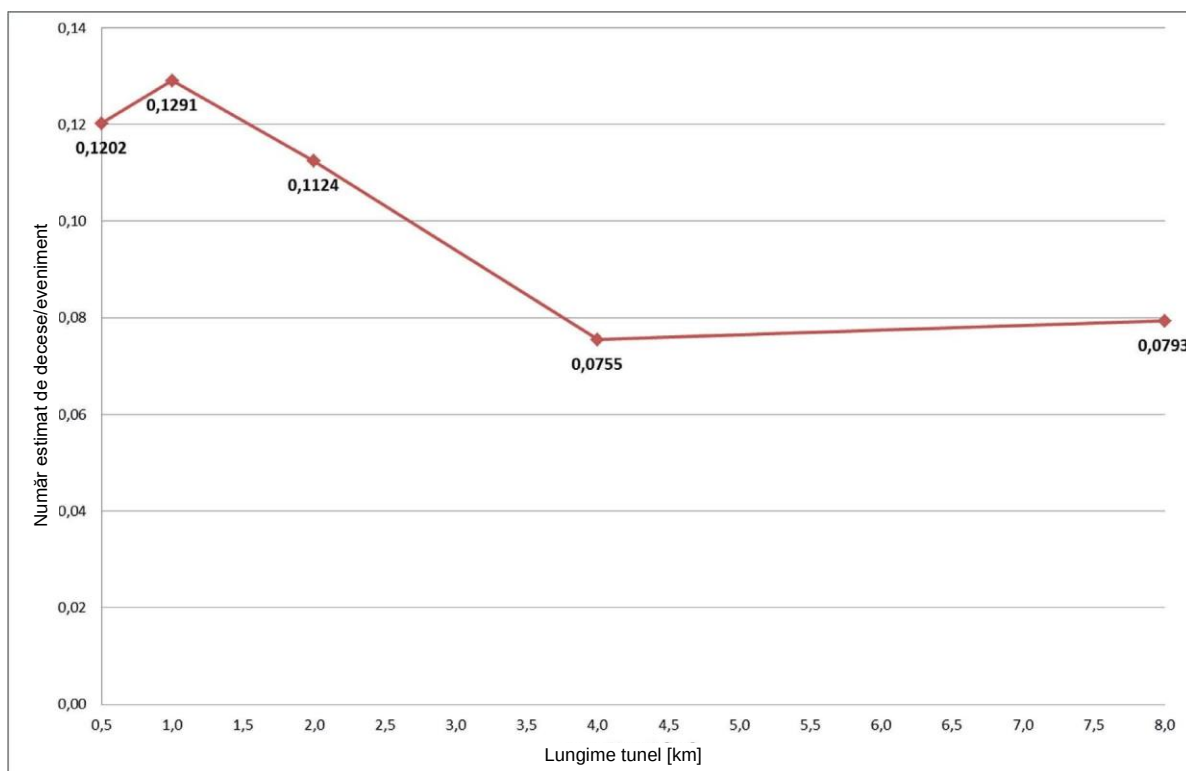


Figura 4: Valoarea pagubelor aferente incendiilor (eveniment secundar) cu incendiu de 5MW, secțiune transversală în formă de arc

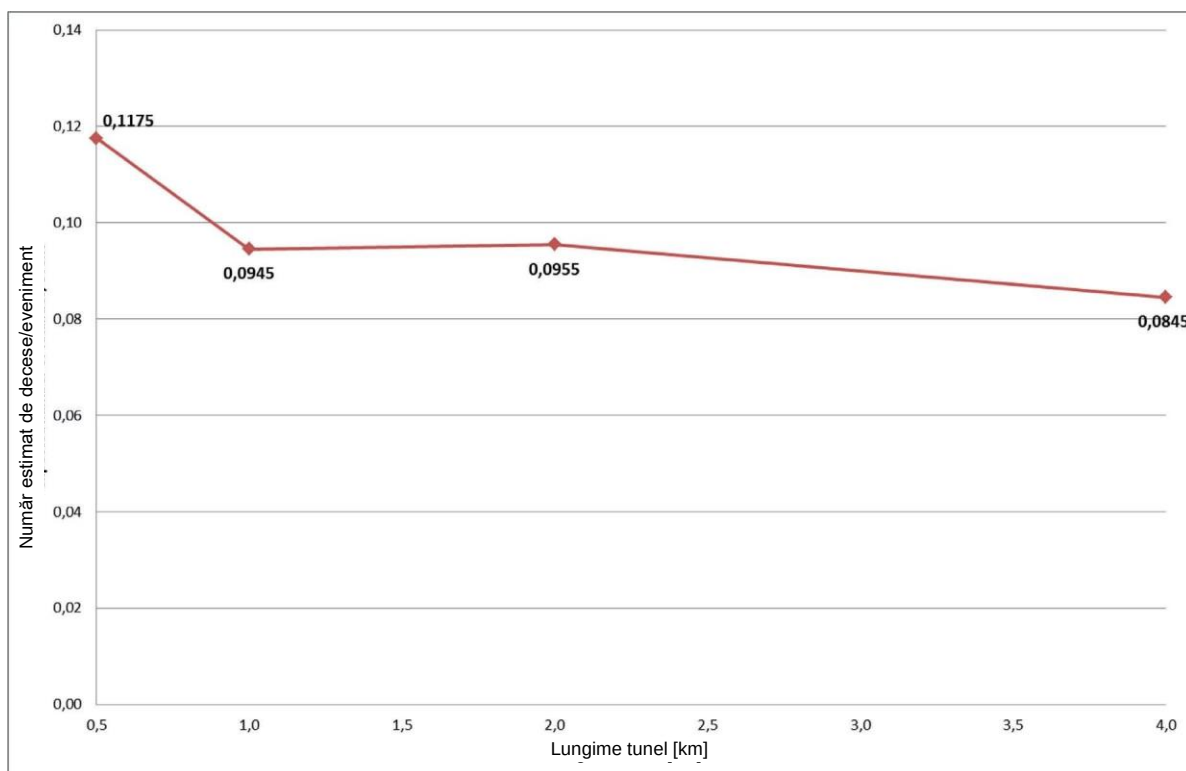


Figura 5: Valoarea pagubelor aferente incendiilor (eveniment secundar) cu incendiu de 5MW, secțiune transversală dreptunghiulară

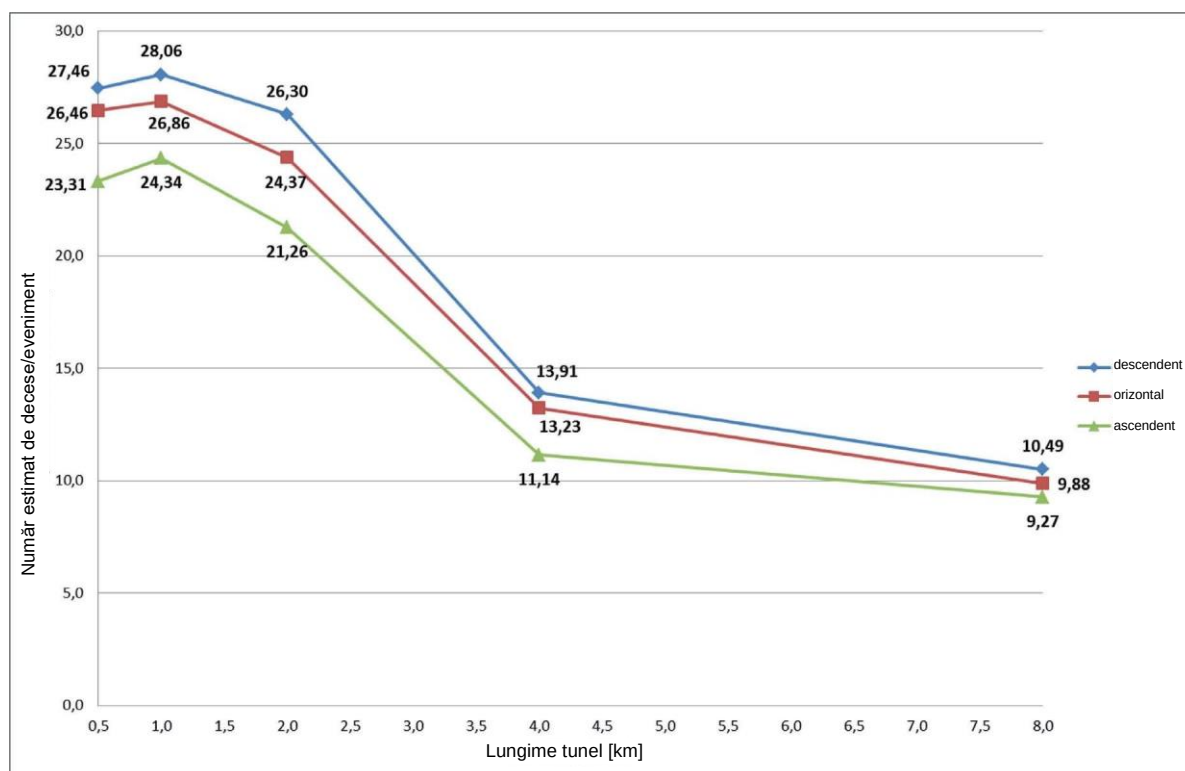


Figura 6: Valoarea pagubelor aferente incendiilor (eveniment secundar) cu incendiu de 30MW, secțiune transversală în formă de arc

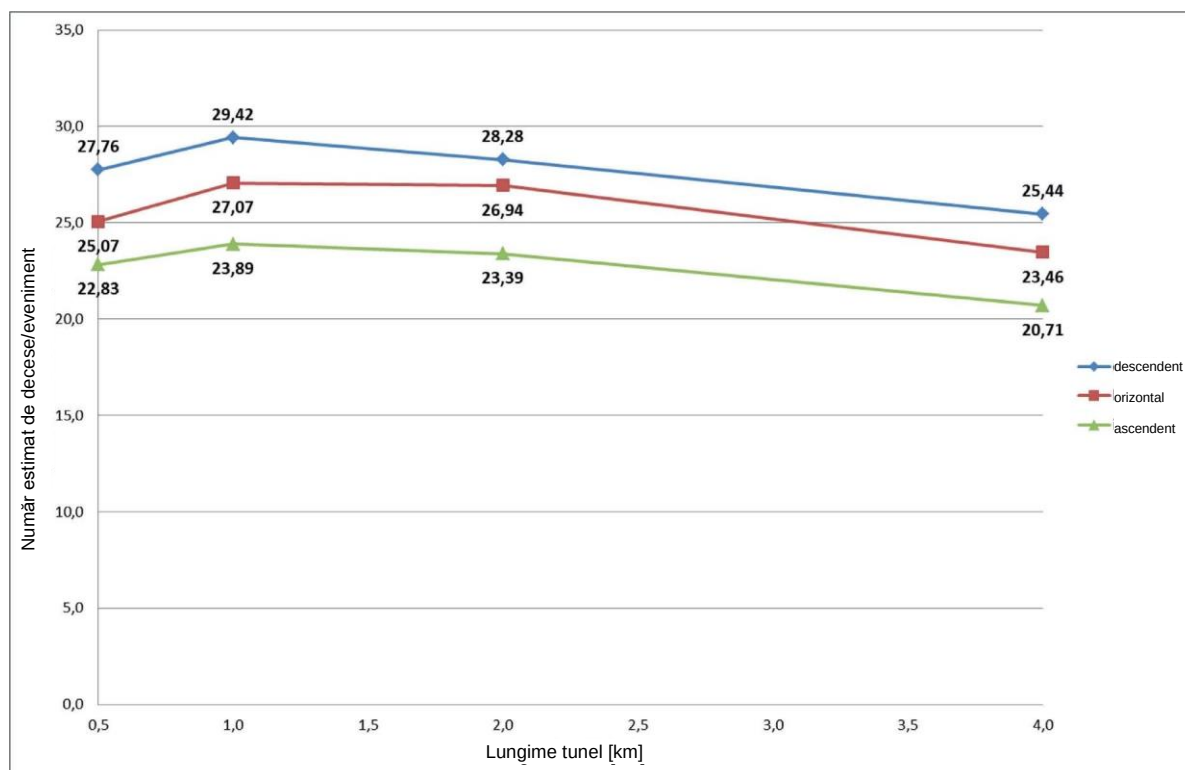


Figura 7: Valoarea pagubelor aferente incendiilor (eveniment secundar) cu incendiu de 30 MW, secțiune transversală dreptunghiulară

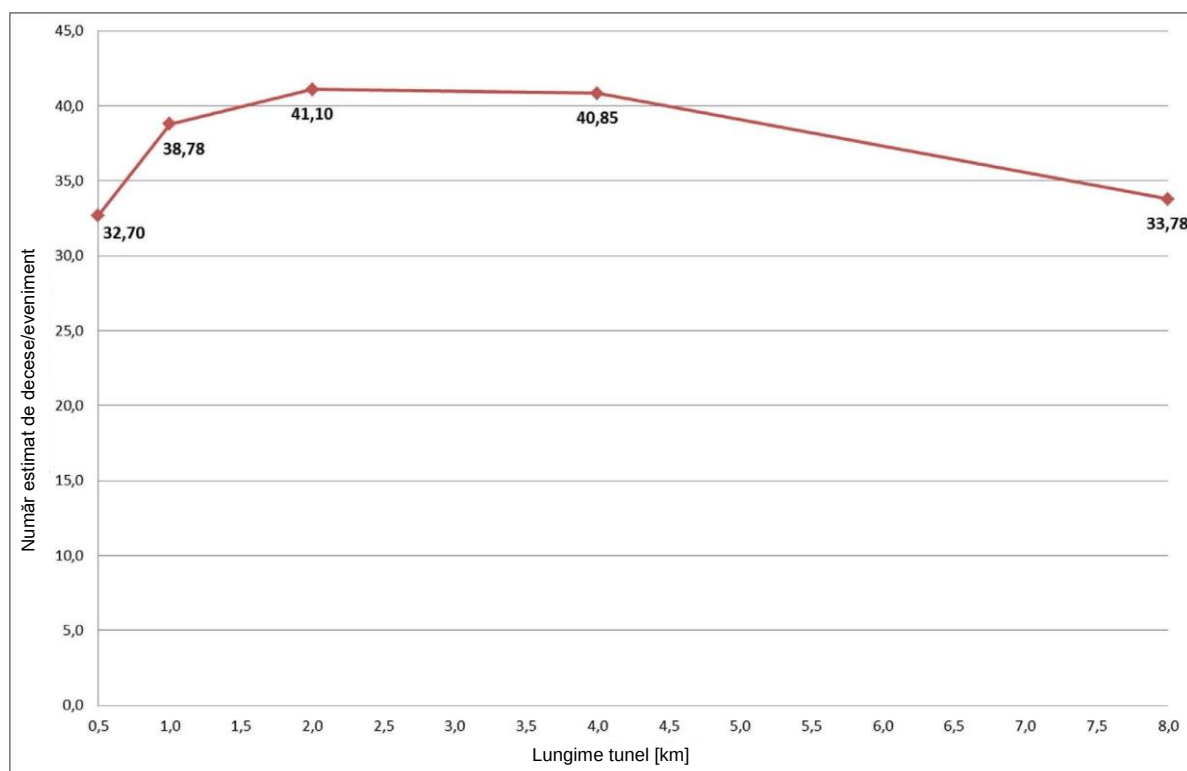


Figura 8: Valoarea pagubelor aferente incendiilor (eveniment secundar) cu incendiu de 100 MW, secțiune transversală în formă de arc

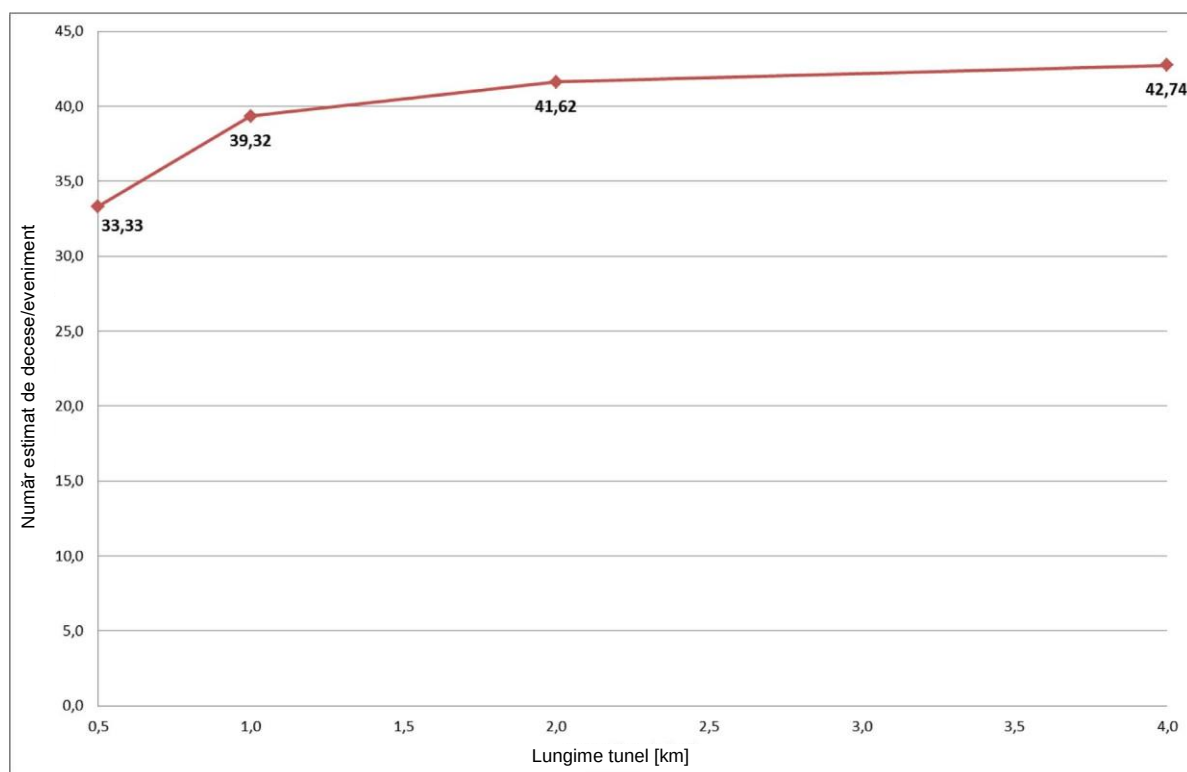


Figura 9: Valoarea pagubelor aferente incendiilor (eveniment secundar) cu incendiu de 100 MW, secțiune transversală dreptunghiulară

- Evenimente terțiare

Pentru evenimentele terțiare, se aplică valorile menționate la Figurile 10-15.

Valorile la care se face referire sunt valabile pentru distanțe de 500 m între căile de evacuare și de urgență și sunt definite în funcție de lungimea tunelului (valorile intermediare trebuie interpolate liniar).

Valorile date pentru „descendentă” și „ascendentă” se aplică rampelor longitudinale de 3%. Valorile intermediare trebuie interpolate sau extrapolate liniar (până la maxim 4%).

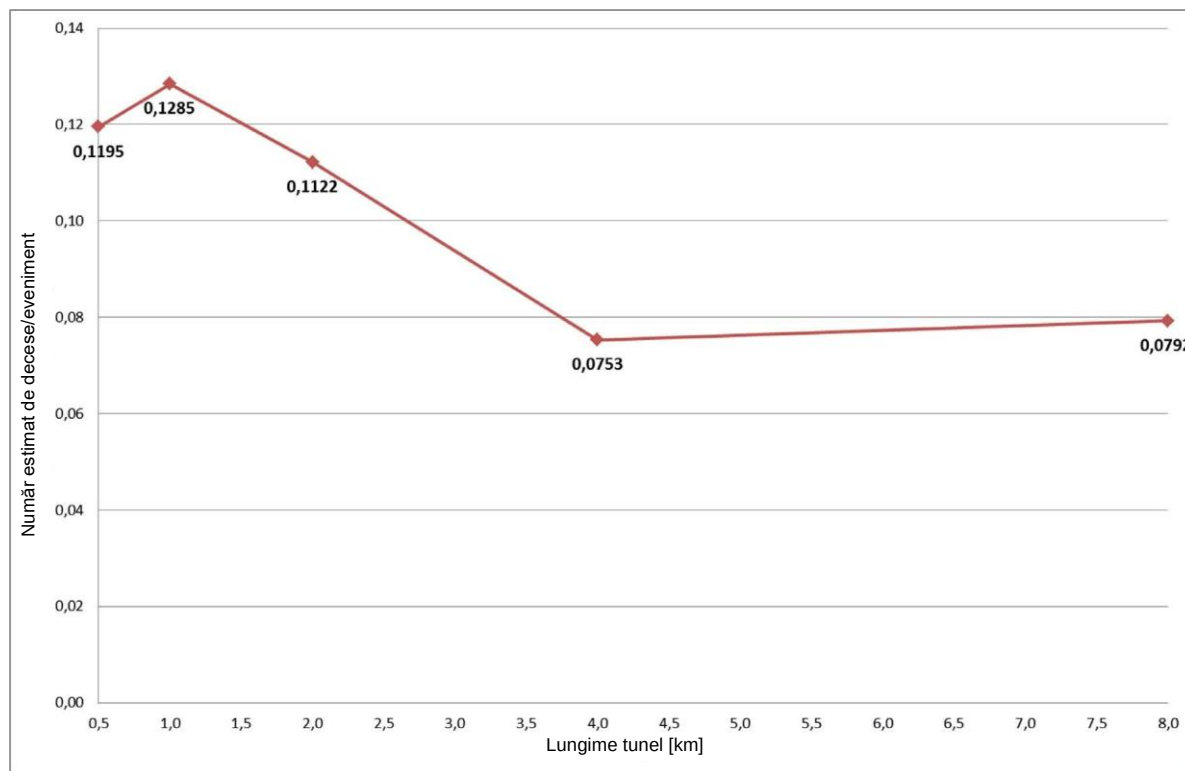


Figura 10: Valoarea pagubelor aferente incendiilor (eveniment terțiar) cu incendiu de 5 MW, secțiune transversală în formă de arc

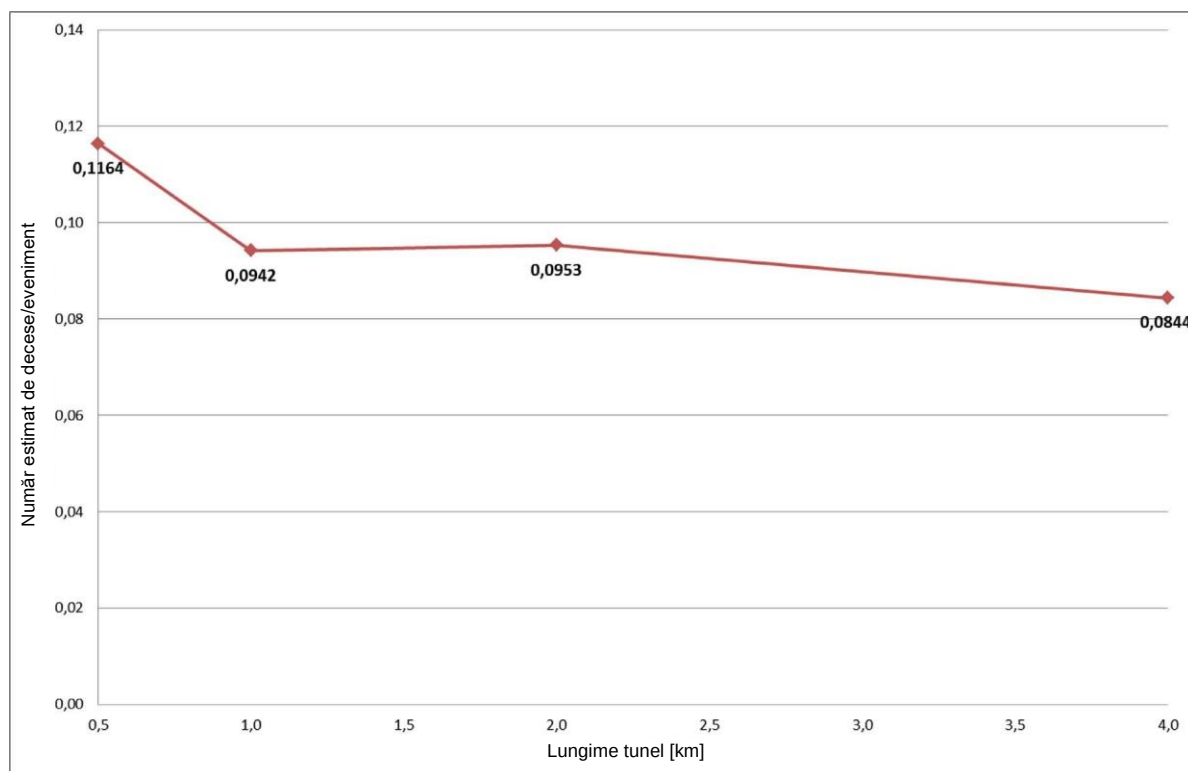


Figura 11: Valoarea pagubelor aferente incendiilor (eveniment terțiar) cu incendiu de 5 MW, secțiune transversală dreptunghiulară

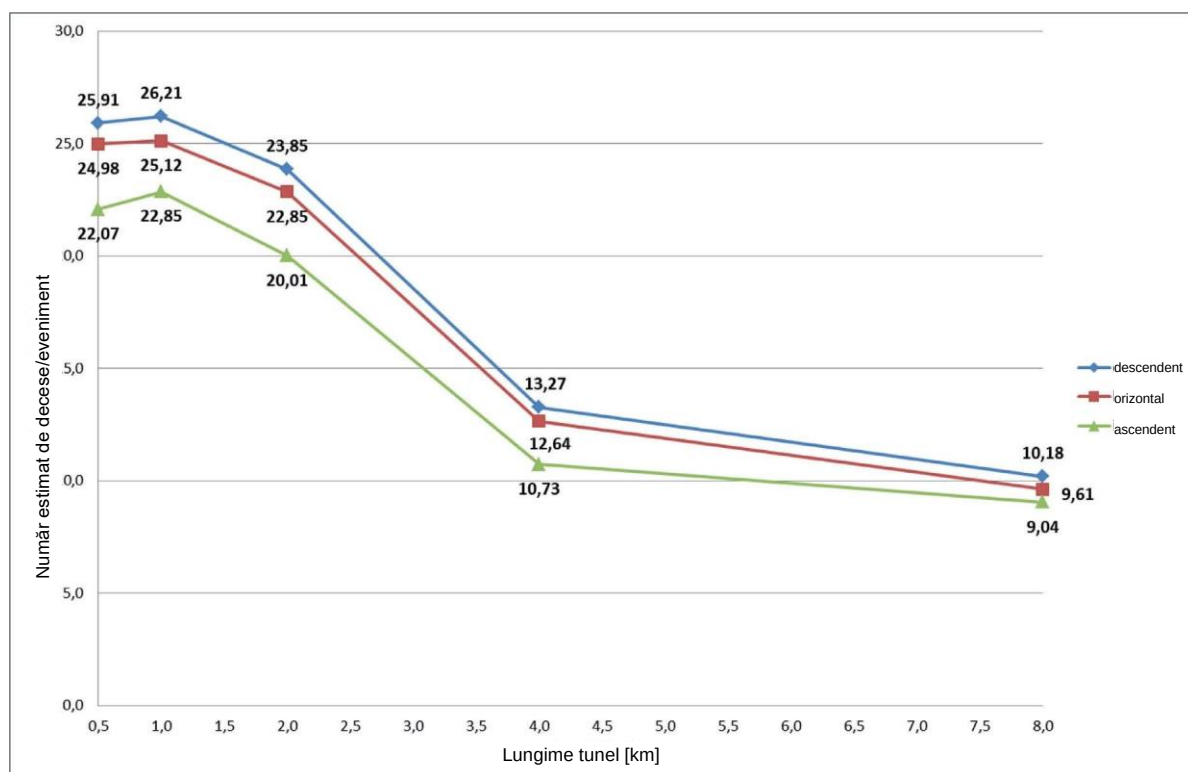


Figura 12: Valoarea pagubelor aferente incendiilor (eveniment terțiar) cu incendiu de 30 MW, secțiune transversală în formă de arc

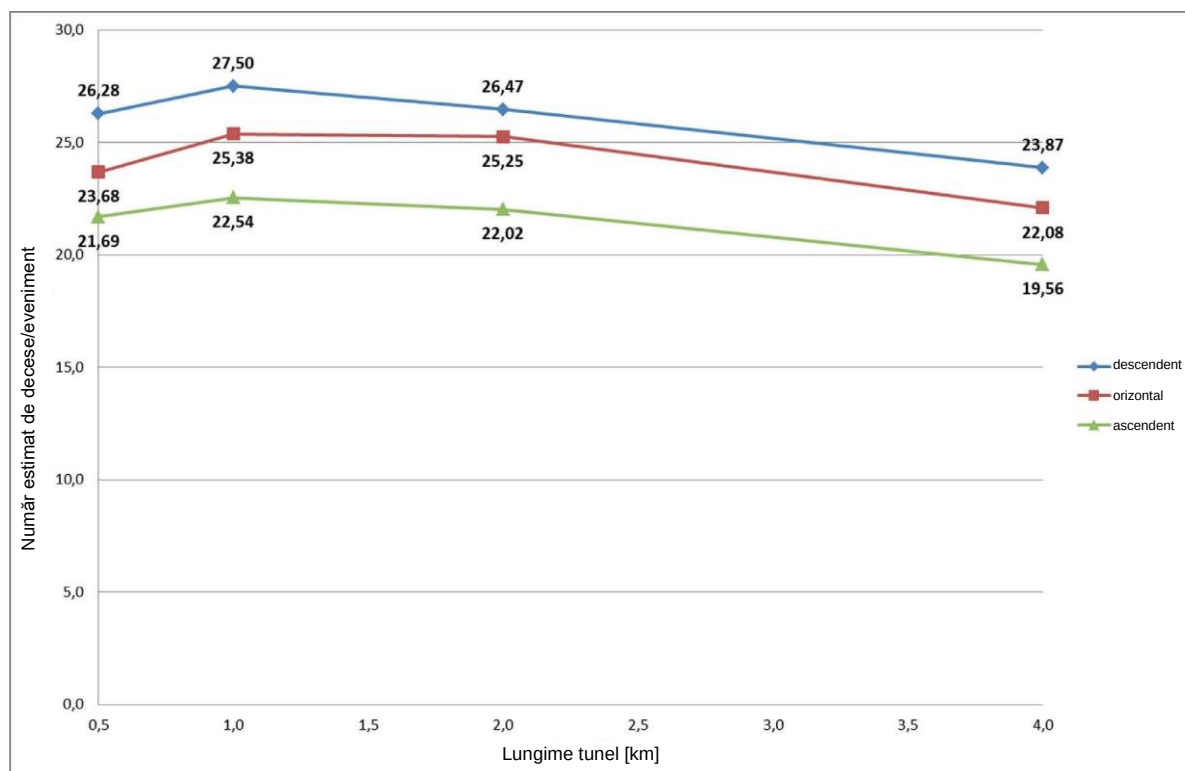


Figura 13: Valoarea pagubelor aferente incendiilor (eveniment terțiar) cu incendiu de 30 MW, secțiune transversală dreptunghiulară

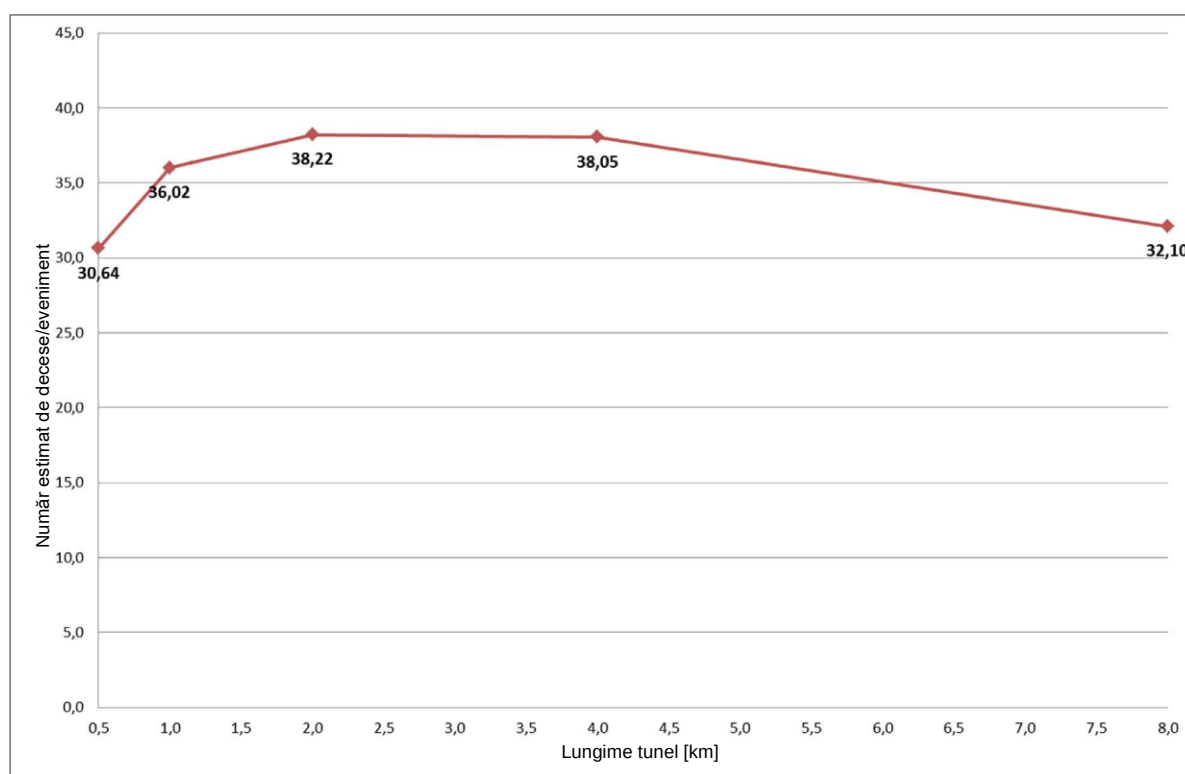


Figura 14: Valoarea pagubelor aferente incendiilor (eveniment terțiar) cu incendiu de 100 MW, secțiune transversală în formă de arc

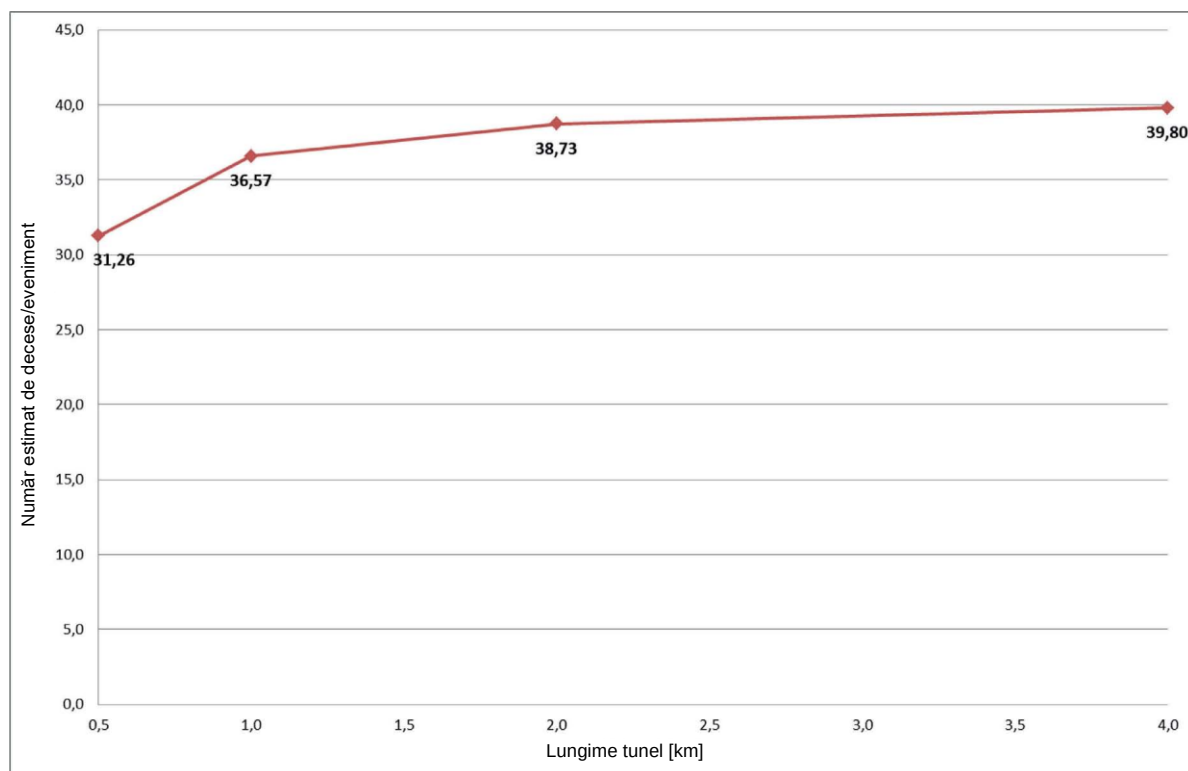


Figura 15: Valoarea pagubelor aferente incendiilor (eveniment terțiar) cu incendiu de 100 MW, secțiune transversală dreptunghiulară

- Influența distanțelor dintre ieșirile de urgență asupra valorilor pagubelor aferente incendiilor care au avut loc atât în evenimente secundare, cât și terțiare

Coeficienții de reducere aplicabili pentru distanțele de ieșire de urgență de 250 m și 125 m sunt indicați separat pentru secțiunile transversale în formă de arc și pentru secțiunile transversale dreptunghiulare în Tabelul 20. Valorile pagubelor aferente incendiilor din Figurile 4-15 (care se aplică pentru distanțe de ieșire de urgență de 500 m) pot fi reduse în cazul unor distanțe mai mici cu coeficienții menționați, care se aplică pentru distanțele obișnuite de ieșire de urgență. Valorile intermediare trebuie interpolate.

Tabelul 20: Coeficienții de reducere aplicabili pentru valorile pagubelor aferente incendiilor, dați pentru distanțele de ieșire de urgență de 500 m, 250 m și 125 m.

Distanța pentru ieșirea de urgență	Secțiune transversală în formă de arc			Secțiune transversală dreptunghiulară		
	5 MW	30 MW	100 MW	5 MW	30 MW	100 MW
500 m	1,00	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00
250 m	0,95	0,58	0,93	0,94	0,58	0,95
125 m	0,90	0,44	0,81	0,92	0,43	0,87

8.5.2 Tunele unidirecționale cu ventilație naturală

Valorile de amplasare a pagubelor la care se face referire se aplică în cazul evenimentelor care au loc într-un tub al unui tunel unidirecțional cu ventilație naturală.

- Evenimente principale

Pentru evenimentele primare, se aplică valorile menționate în Tabelul 21. Valorile sunt prezentate separat pentru fiecare secțiune transversală individuală a tunelului în funcție de lungimea tunelului și sunt aplicabile pentru tunele cu lungimi de 0,5 km - 1,0 km cu distanțe între ieșirile de urgență de 500 m (valorile intermediare trebuie interpolate liniar). Valorile date pentru „descendentă” și „ascendentă” se aplică rampelor longitudinale de 3%. Valorile intermediare trebuie interpolate.

Tabelul 21: Valoarea pagubelor aferente incendiilor (eveniment principal) ce se produc în tunele cu ventilație naturală

Rata de degajare a căldurii	Secțiune transversală	Pantă longitudinală	Lungime 0,5 km	Lungime 1,0 km
5 MW	Formă de arc	Descendentă	0,38	0,12
		Orizontală	0,02	0,05
		Ascendentă	0,02	0,03
	Dreptunghiulară	Descendentă	0,10	0,10
		Orizontală	0,02	0,03
		Ascendentă	0,02	0,03
30 MW	Formă de arc	Descendentă	23,23	18,78
		Orizontală	0,11	0,04
		Ascendentă	0,11	0,05
	Dreptunghiulară	Descendentă	22,98	17,71
		Orizontală	0,31	0,06
		Ascendentă	0,09	0,06
100 MW	Formă de arc	Descendentă	33,28	32,67
		Orizontală	0,46	0,45
		Ascendentă	0,46	0,29
	Dreptunghiulară	Descendentă	32,91	32,10
		Orizontală	0,78	0,86
		Ascendentă	0,85	0,86

Influența distanțelor dintre ieșirile de urgență asupra valorilor pagubelor aferente incendiilor în evenimente principale:

Coeficienții de reducere aplicabili pentru distanțele de ieșire de urgență de 250 m și 125 m sunt indicați separat pentru secțiunile transversale în formă de arc și pentru secțiunile transversale dreptunghiulare în Tabelul 22. Valorile pagubelor aferente incendiilor din Tabelul 21 (care se aplică pentru distanțe de ieșire de urgență de 500 m) pot fi reduse în cazul unor distanțe mai mici cu coeficienții menționați, care se aplică pentru distanțele obișnuite de ieșire de urgență. Valorile intermediare trebuie interpolate.

Tabelul 22: Coeficienții de reducere aplicabili pentru valorile pagubelor aferente incendiilor, dați pentru distanțele de ieșire de urgență de 500 m, 250 m și 125 m.

Distanța până la calea de evacuare și de urgență	Secțiune transversală în formă de arc			Secțiune transversală dreptunghiulară		
	5 MW	30 MW	100 MW	5 MW	30 MW	100 MW
500 m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
250 m	0,95	0,77	0,77	0,94	0,72	0,84
125 m	0,93	0,69	0,50	0,86	0,63	0,69

● Evenimente secundare și terțiare

Pentru evenimente secundare și terțiare, se aplică valorile menționate în Tabelul 23. Valorile sunt prezentate separat pentru fiecare secțiune transversală individuală a tunelului independent de lungimea tunelului (fără influență relevantă) și sunt aplicabile pentru tunele cu lungimi de 0,5 km - 1,0 km cu distanțe între ieșirile de evacuare și de urgență de 500 m. Valorile date pentru „descendentă” și „ascendentă” se aplică rampelor/pantelor longitudinale de 3%. Valorile intermediare trebuie interpolate.

Tabelul 23: Valoarea pagubelor aferente incendiilor (evenimente secundare și terțiare) ce se produc în tunele unidirecționale cu ventilație naturală

Rata de degajare a căldurii	Secțiune transversală	Pantă longitudinală	Eveniment secundar	Eveniment terțiar
5 MW	Formă de arc	Descendentă	0,20	0,20
		Orizontală	0,15	0,14
		Ascendentă	0,10	0,10
	Dreptunghiulară	Descendentă	0,14	0,14
		Orizontală	0,15	0,15
		Ascendentă	0,10	0,10
30 MW	Formă de arc	Descendentă	27,32	27,45
		Orizontală	30,21	24,13
		Ascendentă	25,27	23,76
	Dreptunghiulară	Descendentă	28,18	28,22
		Orizontală	26,98	24,70
		Ascendentă	24,68	23,31
100 MW	Formă de arc	Descendentă	59,70	57,86
		Orizontală	35,56	27,61
		Ascendentă	35,93	33,52
	Dreptunghiulară	Descendentă	59,35	57,50
		Orizontală	35,77	33,51
		Ascendentă	36,39	33,99

- Influența distanțelor dintre ieșirile de urgență asupra valorilor pagubelor aferente incendiilor în evenimente secundare și terțiare

Coeficienții de reducere aplicabili pentru distanțele de ieșire de urgență de 250 m și 125 m sunt indicați separat pentru secțiunile transversale în formă de arc și pentru secțiunile transversale dreptunghiulare în Tabelul 24. Valorile pagubelor aferente incendiilor din Tabelul 23 (care se aplică pentru distanțe de ieșire de urgență de 500 m) pot fi reduse în cazul unor distanțe mai mici cu coeficienții menționați, care se aplică pentru distanțele obișnuite de ieșire de urgență. Valorile intermediare trebuie interpolate.

Tabelul 24: Coeficienții de reducere aplicabili pentru valorile pagubelor aferente incendiilor, dați pentru distanțele de ieșire de urgență de 250 m și 125 m.

Distanța pentru ieșirea de urgență	Secțiune transversală în formă de arc			Secțiune transversală dreptunghiulară		
	5 MW	30 MW	100 MW	5 MW	30 MW	100 MW
500 m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
250 m	0,84	0,67	0,91	0,92	0,65	0,92
125 m	0,76	0,44	0,83	0,79	0,48	0,83

8.5.3 Tunele bidirecționale cu ventilație naturală

Pentru tunelele cu ventilație naturală, se aplică valorile de amploare a pagubelor ce implică incendii sau mărfuri periculoase din Tabelul 25 (eveniment principal) și Tabelul 26 (eveniment secundar). Valorile sunt pentru un tunel model lung de 0,7 km.

Tabelul 25: Valorile de amploare a pagubelor ce implică incendii sau mărfuri periculoase (eveniment principal) în tunele bidirecționale, fără trafic, lungime de 0,7 km și ventilație naturală

Valorile de amploare a pagubelor pentru scenarii ce implică incendii și mărfuri periculoase [decese preconizate statistic/eventiment]				
Scenariu cu pagube		Distanța până la ieșirea de urgență		
		250 m	500 m	Nu există
5.000 vehicule/ 24h	Incendiu ce implică autoturisme (5 MW)	1,00	1,00	1,00
	Incendiu ce implică VGM (30 MW)	2,33	3,75	5,17
	Sunt implicate mărfuri periculoase	7,33	8,75	10,17
	Incendiu ce implică autobuze	2,83	4,25	5,67
15.000 vehicule/ 24h	Incendiu ce implică autoturisme (5 MW)	2,00	2,00	2,00
	Incendiu ce implică VGM (30 MW)	3,33	4,75	6,17
	Sunt implicate mărfuri periculoase	8,33	9,75	11,17
	Incendiu ce implică autobuze	3,83	5,25	6,67

Tabelul 26: Valoarea pagubelor aferente ambuteiajelor (evenimente secundare și terțiare) ce implică incendii și mărfuri periculoase în tunele bidirecționale cu lungime de 0,7 km și cu ventilație naturală

Valorile de amploare a pagubelor pentru scenarii ce implică incendii și mărfuri periculoase [decese preconizate statistic/eveniment]			
Scenariu cu pagube	Distanța până la ieșirea de urgență		
	250 m	500 m	Nu există
Incendiu ce implică autoturisme (5 MW)	3,00	3,00	3,00
Incendiu ce implică VGM (30 MW)	5,00	6,42	7,84
Sunt implicate mărfuri periculoase	11,66	14,33	17,00
Incendiu ce implică autobuze	5,50	6,92	8,34

Valorile de amploare a pagubelor menționate atât în Tabelul 25, cât și în Tabelul 26 s-au stabilit în baza unui tunel model cu o pantă longitudinală de 1% (ILF 2008). Deoarece în tunelele cu ventilație naturală nu se poate influența propagarea fumului, trebuie să se țină seama de faptul că, din cauza efectelor forței ascensionale ale incendiului, viteza de propagare a fumului crește odată cu creșterea rampei longitudinale; de aceea, în astfel de cazuri, valorile reale ale daunelor pot fi mai mari decât cele menționate în tabelele de mai sus.

8.5.4 Tunele bidirecționale cu ventilație mecanică longitudinală

Pentru tunelele cu ventilație mecanică longitudinală, se aplică valorile de amploare a pagubelor ce implică incendii și mărfuri periculoase din Tabelele 27-32. Valorile date sunt valabile pentru tunele model cu lungimi de 0,7 km, 1,5 km și 3,0 km.

Tabelul 27: Valorile de amploare a pagubelor ce implică incendii și mărfuri periculoase (eveniment principal) în tunele bidirecționale, cu o lungime de 0,7 km și ventilație mecanică longitudinală, fără trafic supraîncărcat

Valorile de amploare a pagubelor pentru scenarii ce implică incendii și mărfuri periculoase [decese preconizate statistic/eveniment]				
Scenariu cu pagube		Distanța până la ieșirea de urgență		
		250 m	500 m	Nu există
5.000 vehicule/24h	Incendiu ce implică autoturisme (5 MW)	0,67	0,75	0,83
	Incendiu ce implică VGM (30 MW)	1,33	4,00	6,67
	Sunt implicate mărfuri periculoase	6,33	9,00	11,67
	Incendiu ce implică autobuze	8,83	11,83	14,83
15.000 vehicule/24h	Incendiu ce implică autoturisme (5 MW)	1,50	1,59	1,67
	Incendiu ce implică VGM (30 MW)	3,33	7,00	10,67
	Sunt implicate mărfuri periculoase	8,33	12,00	15,67
	Incendiu ce implică autobuze	8,83	14,33	19,83

Tabelul 28: Valoarea pagubelor aferente ambuteiajelor (evenimente secundare și terțiare) ce implică incendii și mărfuri periculoase în tunele bidirecționale cu lungime de 0,7 km și cu ventilație mecanică longitudinală

Valorile de amploare a pagubelor pentru scenarii ce implică incendii și mărfuri periculoase [decese preconizate statistic/eveniment]			
Scenariu cu pagube	Distanța până la ieșirea de urgență		
	250 m	500 m	Nu există
Incendiu ce implică autoturisme (5 MW)	2,67	2,84	3,01
Incendiu ce implică VGM (30 MW)	5,50	12,42	21,33
Sunt implicate mărfuri periculoase	11,83	22,42	33,00
Incendiu ce implică autobuze	13,33	23,92	34,50

Tabelul 29: Valorile de amploare a pagubelor ce implică incendii și mărfuri periculoase (eveniment principal) în tunele bidirecționale, cu o lungime de 1,5 km și ventilație mecanică longitudinală, fără trafic supraîncărcat

Valorile de amploare a pagubelor pentru scenarii ce implică incendii și mărfuri periculoase [decese preconizate statistic/eveniment]				
Scenariu cu pagube		Distanța până la ieșirea de urgență		
		250 m	500 m	Nu există
15.000 vehicule/24h	Incendiu ce implică autoturisme (5 MW)	1,33	1,33	1,50
	Incendiu ce implică VGM (30 MW)	5,83	11,83	13,37
	Sunt implicate mărfuri periculoase	10,83	16,83	18,67
	Incendiu ce implică autobuze	14,67	23,50	25,34

Tabelul 30: Valoarea pagubelor aferente ambuteiajelor (evenimente secundare și terțiare) ce implică incendii și mărfuri periculoase în tunele bidirecționale cu lungime de 1,5 km și cu ventilație mecanică longitudinală

Valorile de amploare a pagubelor pentru scenarii ce implică incendii și mărfuri periculoase [decese preconizate statistic/eveniment]			
Scenariu cu pagube	Distanța până la ieșirea de urgență		
	250 m	500 m	Nu există
Incendiu ce implică autoturisme (5 MW)	2,50	2,50	2,67
Incendiu ce implică VGM (30 MW)	9,83	20,66	22,20
Sunt implicate mărfuri periculoase	14,83	25,66	27,50
Incendiu ce implică autobuze	18,67	32,33	34,17

Tabelul 31: Valorile de amploare a pagubelor ce implică incendii și mărfuri periculoase (eveniment principal) în tunele bidirecționale, cu o lungime de 3,0 km și ventilație mecanică longitudinală, inclusiv punct de aspirație (la distanțe de 750 m), fără trafic supraîncărcat

Valorile de amploare a pagubelor pentru scenarii ce implică incendii și mărfuri periculoase [decese preconizate statistic/eveniment]				
Scenariu cu pagube		Distanța până la ieșirea de urgență		
		250 m	500 m	Nu există
5.000 vehicule/24h	Incendiu ce implică autoturisme (5 MW)	0,83	0,83	0,83
	Incendiu ce implică VGM (30 MW)	1,67	4,50	7,33
	Sunt implicate mărfuri periculoase	6,67	10,59	12,33
	Incendiu ce implică autobuze	8,33	12,50	16,00
15.000 vehicule/24h	Incendiu ce implică autoturisme (5 MW)	1,50	1,85	2,17
	Incendiu ce implică VGM (30 MW)	2,33	5,75	9,17
	Sunt implicate mărfuri periculoase	7,33	10,75	14,17
	Incendiu ce implică autobuze	9,00	13,08	17,83

Tabelul 32: Valoarea pagubelor aferente ambuteiajelor (evenimente secundare și terțiare) ce implică incendii și mărfuri periculoase în tunele bidirecționale cu lungime de 3,0 km și cu ventilație mecanică longitudinală, inclusiv punct de aspirație (la distanțe de 750 m)

Valorile de amploare a pagubelor pentru scenarii ce implică incendii și mărfuri periculoase [decese preconizate statistic/eveniment]			
Scenariu cu pagube	Distanța până la ieșirea de urgență		
	250 m	500 m	Nu există
Incendiu ce implică autoturisme (5 MW)	2,17	2,77	3,34
Incendiu ce implică VGM (30 MW)	4,66	11,84	19,01
Sunt implicate mărfuri periculoase	11,33	20,25	26,50
Incendiu ce implică autobuze	13,84	20,68	31,16

8.5.5 Tunele bidirecționale cu sistem de aspirație a fumului

Pentru tunelele bidirecționale cu sistem de aspirație a fumului, se aplică valorile de amploare a pagubelor ce implică incendii și mărfuri periculoase din Tabelele 33-36. Valorile din aceste tabele se aplică tunelelor model atât cu lungime de 5,0 km, cât și de 7,0 km.

Tabelul 33: Valorile de amplasare a pagubelor ce implică incendii și mărfuri periculoase (eveniment principal) în tunele bidirecționale, cu o lungime de 5,0 km dotate cu dispozitive de aspirație a fumului amplasate la distanțe regulate, fără trafic supraîncărcat

Valorile de amplasare a pagubelor pentru scenarii ce implică incendii și mărfuri periculoase [decese preconizate statistic/eveniment]				
Scenariu cu pagube		Distanța până la ieșirea de urgență		
		250 m	500 m	Nu există
5.000 vehicule/24h	Incendiu ce implică autoturisme (5 MW)	0,33	0,50	0,67
	Incendiu ce implică VGM (30 MW)	0,33	0,50	0,67
	Sunt implicate mărfuri periculoase	5,33	5,50	5,67
	Incendiu ce implică autobuze	0,83	1,00	1,17
15.000 vehicule/24h	Incendiu ce implică autoturisme (5 MW)	0,67	1,34	2,00
	Incendiu ce implică VGM (30 MW)	0,67	1,34	2,00
	Sunt implicate mărfuri periculoase	5,67	6,34	7,00
	Incendiu ce implică autobuze	1,00	1,75	2,50

Tabelul 34: Valoarea pagubelor aferente ambuteiajelor (evenimente secundare și terțiare) ce implică incendii și mărfuri periculoase în tunele bidirecționale cu lungime de 5,0 km dotate cu dispozitive de aspirație a fumului amplasate la distanțe regulate

Valorile de amplasare a pagubelor pentru scenarii ce implică incendii și mărfuri periculoase [decese preconizate statistic/eveniment]			
Scenariu cu pagube	Distanța până la ieșirea de urgență		
	250 m	500 m	Nu există
Incendiu ce implică autoturisme (5 MW)	1,00	1,84	3,00
Incendiu ce implică VGM (30 MW)	1,00	1,84	3,00
Sunt implicate mărfuri periculoase	6,00	7,34	8,67
Incendiu ce implică autobuze	1,83	2,75	3,67

Tabelul 35: Valorile de amploare a pagubelor ce implică incendii și mărfuri periculoase (eveniment principal) în tunele bidirecționale, cu o lungime de 7,0 km dotate cu dispozitive de aspirație a fumului amplasate la distanțe regulate, fără trafic supraîncărcat

Valorile de amploare a pagubelor pentru scenarii ce implică incendii și mărfuri periculoase [decese preconizate statistic/eveniment]				
Scenariu cu pagube		Distanța până la ieșirea de urgență		
		250 m	500 m	Nu există
15.000 vehicule/ 24h	Incendiu ce implică autoturisme (5 MW)	1,00	1,67	2,50
	Incendiu ce implică VGM (30 MW)	1,00	1,67	2,50
	Sunt implicate mărfuri periculoase	6,00	6,67	7,50
	Incendiu ce implică autobuze	1,50	2,17	3,00

Tabelul 36: Valoarea pagubelor aferente ambuteiajelor (evenimente secundare și terțiare) ce implică incendii și mărfuri periculoase în tunele bidirecționale cu lungime de 7,0 km dotate cu dispozitive de aspirație a fumului amplasate la distanțe regulate

Valorile de amploare a pagubelor pentru scenarii ce implică incendii și mărfuri periculoase [decese preconizate statistic/eveniment]				
Scenariu cu pagube		Distanța până la ieșirea de urgență		
		250 m	500 m	Nu există
15.000 vehicule/24h	Incendiu ce implică autoturisme (5 MW)	1,17	2,34	3,50
	Incendiu ce implică VGM (30 MW)	1,17	2,34	3,50
	Sunt implicate mărfuri periculoase	6,17	7,34	8,50
	Sunt implicate mărfuri periculoase	1,67	2,84	4,00

8.6 Anexa 6: Aspecte de calcul de bază și domeniul de aplicare al modelului standard de analiză a riscurilor

Înainte de a efectua o analiză a riscurilor, trebuie să se verifice, atât în funcție de domeniul de aplicare, cât și de condițiilor specifice ale tunelului care urmează să fie analizat, dacă se poate utiliza modelul standard de analiză a riscurilor. Domeniul de aplicare a modelului standard de analiză a riscurilor se bazează atât pe ipotezele de calcul, cât și pe parametrii care au fost utilizați pentru evaluarea valorilor de amploare a daunelor aferente incendiilor menționate la punctul 8.4.

• Ventilație

Pentru un incendiu cu o putere de 30 MW, atât proiectarea, cât și controlul sistemului de ventilație în caz de incendiu se stabilesc în conformitate cu AND 624. Calculul se bazează pe ipoteza că în caz de incendiu ventilația se activează după 150 de secunde.

La izbucnirea unui incendiu, trebuie îndeplinite următoarele cerințe:

- Pentru sisteme de ventilație mecanică longitudinală, trebuie să se asigure o viteză a curentului longitudinal de aer între 1,5 m/s și 2,5 m/s în cazul tunelelor unidirecționale și o viteză de 1,0 m/s - 1,5 m/s în cazul tunelelor bidirecționale. Trebuie să se atingă aceste viteze chiar dacă ventilatoarele puternice (aproape de punctul de aprindere al incendiului) nu funcționează.

- În cazul sistemelor de ventilație transversală, trebuie garantată o viteză minimă a curentului longitudinal de aer de 1,2 m/s în zona din fața clapetei de aspirație a fumului pentru traficul unidirecțional, în timp ce pentru traficul bidirecțional trebuie asigurat un curent de aer din ambele părți; acesta trebuie să fie cât mai constant posibil.

Valoarea pagubelor aferente incendiilor menționate nu se aplică sub nicio formă în cazurile descrise mai jos:

- Dacă într-un tunel sau un tronson de tunel nu se ating vitezele impuse ale curenților de aer.
- Dacă într-un tunel unidirecțional, în ciuda activării ventilației, fumul provocat de un incendiu aferent unui eveniment principal se poate propaga în direcția de desfășurare a traficului din cauza influențelor externe (ce țin de vreme) sau interne (forța ascensională a fumului). (Această situație se aplică doar pentru nivelul inferior, aproape de sol, fiind acceptabilă stratificarea în zona acoperișului tunelului).
- Tunelele cu sisteme de aspirație a fumului care nu respectă volumul minim de aer ce trebuie aspirat (120 m³/s, densitatea aerului de la nivelul mării) menționate în normativ. Dacă se depășește această valoare, se pot folosi valorile de amplasare a pagubelor menționate, dar nu reprezintă îmbunătățiri realizabile (calcul conservator).

● Pantă longitudinală

Tunele cu ventilație mecanică longitudinală

În mod fundamental, trebuie să se țină cont de influența pantei longitudinale la dimensionarea sistemului de ventilație. În ceea ce privește curentul de aer longitudinal din tunel, trebuie să se asigure că se pot atinge vitezele țintă în cazul unui incendiu chiar și în cel mai abrupt tronson al tunelului. Dacă se întrunesc aceste condiții preliminare, se pot extrapola valorile standard pentru o rampă maximă de +4%.

Tunele cu ventilație naturală:

Tunelele cu ventilație naturală sunt foarte sensibile la influența rampei longitudinale; astfel, domeniul de aplicare este limitat la valoarea rampei menționată în tabele, inclusiv valorile amplorii pagubelor (3%).

● Influențe meteorologice

În mod fundamental, trebuie să se țină cont de influențele meteorologice la dimensionarea sistemului de ventilație. În ceea ce privește curentul de aer longitudinal din tunel, trebuie să se asigure că se pot atinge vitezele țintă impuse, chiar și în condiții nefavorabile (diferențe de presiune barometrică la percentila 95 sau viteze ale vântului pentru clasele de risc I-III, percentila 98 pentru clasa de risc IV). Dacă nu se îndeplinesc aceste condiții preliminare, trebuie să se realizeze o analiză detaliată a riscurilor. Acest tip de analiză se poate folosi și pentru evaluările țintite în ceea ce privește impacturile influențelor meteorologice specifice.

● Secțiunea transversală a tunelului

Modelul se bazează pe o secțiune transversală ce include două benzi de circulație (lățimea carosabilului: 7,50 m, cu acostamente de 1,0 m pe ambele părți, secțiune transversală liberă a tunelului (spațiu de trafic: 50 m² - 55 m², înălțimea liberă a secțiunii dreptunghiulare: 5,20 m. Nu sunt relevante micile abateri de la parametrii secțiunii transversale menționați mai sus. În cazul abaterilor mai mari (trei benzi de circulație, secțiuni transversale semnificativ mai mari), se pot folosi valorile de amplasare a pagubelor menționate, dar nu reprezintă îmbunătățiri realizabile (calcul conservator). Atunci când se utilizează modelul standard de evaluare a riscului tunelelor cu mai mult de două benzi de circulație, trebuie să se țină cont și de creșterea numărului de persoane prezente în zona de risc. Valorile standard nu acoperă modificările semnificative ale secțiunilor transversale de-a lungul tunelului.

● Trafic

În ceea ce privește curentul de aer longitudinal existent la începutul unui eveniment și evoluția acestuia, se presupun trei scenarii de bază reprezentative (trafic redus, trafic mediu, trafic ridicat), care se bazează pe evaluări statistice ale numărătorilor orare ale volumului de trafic care acoperă întreaga gamă de volume de trafic aplicabile atât autostrăzilor, cât și drumurilor expres. În ceea ce privește tunelele bidirecționale, trebuie efectuată și o analiză detaliată a condițiilor de trafic atât simetrice, cât și asimetrice.

Viteza vehiculelor implicate atât în evenimente principale, cât și în evenimente secundare care au loc în tunele unidirecționale este de 100 km/h și, respectiv, de 80 km/h pentru autoturisme și, respectiv, pentru

vehiculele grele de marfă, în timp ce pentru tunelele bidirecționale se presupune o viteză de 80 km/h pentru ambele tipuri de vehicule.

Pentru evenimente terțiare (trafic aglomerat) se presupune o viteză de 15 km/h cu o reducere a densității vehiculelor cu un coeficient de 2 (150 de autoturisme-U/km - pentru 2 benzi de circulație).

În cazul în care debitul longitudinal inițial este mai mic de 1 m/s din cauza unui volum redus de trafic, trafic aglomerat sau trafic aproape simetric, modul de ventilație pentru funcționarea normală este activ până la pornirea modului de ventilație în caz de incendiu ca urmare a detectării unui incendiu.

Pentru expunerea în cadrul modelului de analiză a riscurilor, se presupune că există următoarele date referitoare la vehicule:

- Autoturism: lungime = 4,35 m
- VGM sau autobuz: lungime = 15,00 m
- Grad de ocupare autoturism: 1,4 persoane
- Grad de ocupare VGM: 1,0 persoane
- Grad de ocupare autobuz: 40,0 persoane
- Distanța dintre vehicule în caz de trafic în staționare: 2,50 m

- Timp necesar să se activeze sisteme de închidere a tunelului

Intervalul de timp care acoperă perioada dintre apariția unui eveniment inițial (accident sau avarie) și activarea închiderii tunelului (participanții la trafic respectă culoarea roșie a semaforului) este alcătuit din trei componente:

- Timpul de reacție al operatorului
- Timpi de răspuns ai sistemului
- Interval de timp ce acoperă reacțiile întârziate ale participanților la trafic

Modelul standard de analiză a riscurilor presupune următoarele valori pentru calcularea amplitudinii pagubelor (se folosește cu condiția ca tunelul examinat să fie dotat cu un sistem de detecție video):

- Intervalul de timp care acoperă perioada dintre apariția unui eveniment și aprinderea culorii roșii a semaforului (bază: valoarea mediană a evaluării datelor statistice plus timpii de răspuns ai sistemului): 60 de secunde
- Timpul necesar ca participanții la trafic să respecte culoarea roșie a semaforului (bază: estimări ale experților): 30 de secunde

- Dimensiunile incendiului și ratele de răspândire

În modelul de analiză a riscurilor s-au folosit următoarele dimensiuni ale incendiului: 5 MW pentru un incendiu total la un autoturism de dimensiuni medii și 30 MW/100MW pentru un incendiu la un VGM (cu sarcini calorice diferite în funcție de marfă, dar fără implicarea de mărfuri periculoase). Tabelul 37 de mai jos prezintă atât ratele de răspândire ale acestor incendii, cât și timpul necesar pentru atingerea sarcinii calorice maxime.

Tabelul 37: Ratele de răspândire și timpul necesar pentru atingerea sarcinii calorice maxime pentru incendii de 5 MW, 30 MW și 100 MW (ILF 2008 and Simonson et al. 2000, PIARC 1999)

Dimensiune incendiu	5 MW	30 MW	100 MW
Rate de răspândire:			
CO ₂ [kg/s]	0,46	2.8	9.2
CO [kg/s]	0.018	0,108	0,36
HCN [kg/s]	0,0045	0,027	0,09
Funingine [kg/kg]*)	0,1	0,1	0,1
Interval de timp [s]	180	300	420

*) Rata de ardere completă calculată la 40 MJ/kg

S-au făcut următoarele presupuneri simplificate în ceea ce privește modelul de incendiu, care servește drept bază pentru analiza riscurilor:

- Evoluția liniară a incendiului (perioada) până la atingerea ratei maxime de degajare a căldurii
- Timpii de evoluție continuă ai incendiului în funcție de rata maximă de degajare a căldurii
- Ratele de răspândire continuă cu privire la poluanți
- Curentul de aer longitudinal nu influențează evoluția incendiului/rata maximă de degajare a căldurii.

● Comportamentul persoanelor implicate din tunel

Pentru a permite comparabilitatea rezultatelor, s-au făcut presupuneri standardizate pentru analiza riscurilor. În acest sens, rezultatele analizei riscurilor nu pot prezice niciodată amploarea reală a pagubelor provocate de un eveniment care se produce efectiv, deoarece, în situații individuale, comportamentul uman real poate fi foarte diferit de cel presupus în analiza riscurilor. Cu toate acestea, modelul privind persoanele include componente semnificative care permit atât reprezentarea unor situații apropiate de realitate, cât și efectuarea de evaluări comparative. Iată cele mai importante componente:

- Începerea activităților de evacuare în caz de amenințare concretă (coeficient de stingere = 0,1 pentru o înălțime de 1,6 m)
- Evacuare în masă cu întârziere după 150 s (după alertă)
- Luarea în calcul a unui comportament greșit (3% dintre persoanele implicate se comportă în mod greșit, adică rămân în autovehicule)
- Luarea în calcul a vitezelor diferite de evacuare ale categoriilor diferite de persoane care se presupune că se află în tunel (bărbați și femei, inclusiv 3 categorii de vârstă și 3 viteze de deplasare diferite pentru fiecare dintre acestea); astfel, se obține o răspândire adecvată a vitezelor de deplasare.
- Luarea în calcul a vizibilității îngreunate din cauza fumului prin reducerea vitezei de mers în funcție de coeficientul de extincție (valoarea minimă: 0,36 m/s cu un coeficient de extincție $\geq 0,5$).
- Luarea în calcul a impactului gazelor toxice din fumul de incendiu asupra organismului uman, utilizând modelul de impact cumulat provocat de gazele toxice elaborat de D.A. Purser (Purser, 1989).

8.7 Anexa 7: Cerințe privind documentarea unei analize detaliate a riscurilor

Când se efectuează o analiză detaliată a riscurilor, trebuie documentate în mod clar atât rezultatele, cât și rezultatele intermediare relevante. Documentația trebuie întocmită astfel încât să se poată urmări etapele semnificative ale procesului de analiză și să se poată verifica din punct de vedere al plauzibilității.

lațã informațiile și datele de la care trebuie să se plece:

- Reprezentarea propagării fumului de-a lungul secțiunii transversale longitudinale a tunelului la intervale de timp de 60 s.
- Reprezentarea profilurilor de temperatură la intervale de timp de 60 s.
- Reprezentarea evoluției curentului de aer longitudinal în tunel pe întreaga lungime a tunelului
- Reprezentarea evoluției vitezei curentului de aer longitudinal în locuri diferite din tunel într-o anumită perioadă
- Debitul masic al aerului cu ventilație transversală (aspirația fumului sau, dacă este necesar, aport de aer proaspăt) sau, în cazul ventilației longitudinale, activarea ventilatoarelor puternice în tunel
- Curbe timp-distanță pentru persoanele în curs de evacuare în funcție de răspândirea fumului; această reprezentare servește la documentarea momentelor în care persoanele evacuează zona și a distanțelor pe care sunt capabile să le parcurgă în condițiile stabilite.

În plus, model curentului de aer ce se va folosi trebuie validat printr-un calcul comparativ ce folosește data de intrare predefinite; raportul de lucru include informații detaliate (ILF 2014).

8.8 Anexa 8: Informații privind factorii de influență specifici ce trebuie luați în calcul la evaluarea măsurilor

Modelul de analiză a riscurilor permite evaluarea cantitativă a numeroase măsuri diferite menite să îmbunătățească siguranța în tunelele rutiere. În mod normal, această evaluare se realizează prin modificarea acelor parametri incluși în model care sunt influențați de măsura sau de combinația de măsuri care urmează să fie evaluate. În esență, evaluarea măsurilor, inclusiv a impactului acestora asupra parametrilor individuali ai modelului, trebuie să fie efectuată de către utilizatorii modelului de analiză a riscurilor. Cu toate acestea, în cursul elaborării modelului de către grupul de lucru, au fost definite abordări simplificate de uz general pentru anumiți parametri de influență. De asemenea, sunt permise abordări mai dezvoltate pentru cazuri individuale, dacă sunt disponibile date corespunzătoare:

• Variația vitezei

Factorul de variație pentru stabilirea gradului de deteriorare mecanică provocat de variația vitezei (medii) se stabilește în conformitate cu următorul principiu: Variația impactului pagubelor este proporțională cu variația energiei cinetice. Factorul de variație se calculează după cum urmează:

factor de variație

$$f = \frac{V_2^2}{V_1^2}$$

cu:

V_1 Viteza înainte de schimbarea vitezei [km/h]

V_2 Viteza după schimbarea vitezei [km/h]

La efectuarea calculului, vitezele medii ale autoturismelor, autobuzelor și VGM trebuie calculate separat, în funcție de vitezele maxime permise respective. Valorile pentru amplitudinea pagubelor mecanice provocate de accidente rutiere incluse în modelul de analiză a riscurilor se bazează pe vitezele reale; astfel, pot fi luate în considerare atât măsurile de control al vitezei care îmbunătățesc respectarea vitezelor maxime permise, cât și punerea în aplicare a limitelor de viteză.

• Controlul consecvent al vitezelor medii prin intermediul Sistemului de Control al Secțiunii

Punerea în aplicare a Sistemului de Control al Secțiunii în tunele asigură respectarea aproape integrală a vitezelor maxime permise în secțiunile supravegheate. În plus, reducerea și armonizarea vitezelor medii rezultate conduc la scăderea numărului de schimbări de bandă de către șoferi.

În consecință, scad atât frecvența accidentelor, cât și amplitudinea pagubelor mecanice ca urmare a vitezelor mai mici. Acest impact trebuie analizat întotdeauna luând în considerare mediul general privind traficul din tunelul analizat (trafic bidirecțional, trafic unidirecțional, număr de benzi, joncțiuni, noduri etc.).

Impacturile menționate mai sus pot fi luate în considerare în modelul de analiză a riscurilor, utilizând metodele descrise mai jos:

- Evaluarea impactului asupra amplitudinii pagubelor mecanice:
Pentru a evalua impactul Sistemului de Control al Secțiunii, trebuie utilizate valorile de viteză măsurate efectiv, dacă sunt disponibile. În cazul în care astfel de valori nu sunt disponibile, reducerile medii efective de viteză care trebuie presupuse pentru un tunel unidirecțional cu o viteză maximă admisă de 100 km/h sunt de 8 km/h și, respectiv, 3 km/h pentru autoturisme și VGM.
- Evaluarea impactului asupra frecvenței de coliziune:
Se estimează influența posibilă a Sistemului de Control al Secțiunii asupra frecvenței coliziunilor pentru fiecare caz în parte prin analizarea incidentelor efective în ceea ce privește cauzele incidentelor care pot fi influențate de punerea în aplicare a Sistemului de Control al Secțiunii.
- Influența activităților serviciilor profesionale pentru situații de urgență asupra apariției incendiilor de VGM

Probabilitatea de apariție a unui incendiu complet care implică întregul VGM, reprezentată în coloana H, depinde, printre altele, atât de rapiditatea, cât și de eficiența activităților de stingere a incendiului desfășurate de către serviciile profesionale pentru situații de urgență. Probabilitatea de 0,2 menționată în Tabelul 10 depinde de condițiile medii evaluate care sunt caracteristice pentru tunelele de pe autostrăzile și drumurile expres (timpul mediu de răspuns este cuprins între 15 și 35 minute - având în vedere că pot fi relevanți și alți indicatori în ceea ce privește evaluarea condițiilor stabilite).

În cazul în care condițiile prealabile ale tunelelor individuale sunt deosebit de favorabile sau nefavorabile în ceea ce privește activitățile serviciilor de pompieri, se pot face abateri de la valorile menționate în Tabelul 38.

Tabelul 38: Modificarea probabilității de apariție a unui incendiu complet dezvoltat în funcție de condițiile prealabile relevante în ceea ce privește activitățile serviciilor profesionale pentru situații de urgență (Lentz 2013); valorile intermediare se pot interpola liniar

Condițiile prealabile pentru activitățile serviciilor profesionale pentru situații de urgență	Probabilitatea unui incendiu complet dezvoltat
Condiții prealabile favorabile (timp de sosire < 5 minute)	0,1
Condiții prealabile medii (timp de sosire de 15 minute)	0,2
Condiții prealabile nefavorabile (timp de sosire > 25 de minute)	1,0

Relația dintre incendiile din cabina șoferului de VGM și dimensiunile incendiului menționate în coloana I depinde și de rapiditatea, cât și de eficiența activităților de stingere a incendiilor. Factorul de 0,75 menționat în Tabelul 10 pentru incendiile de 5 MW se aplică pentru condiții prealabile medii (timp de sosire de circa 15 minute) și poate fi mărit la 0,9 în cazul unor condiții prealabile favorabile (timp de sosire < 5 minute) - deoarece incendiile pot fi stăpânite mai bine dacă sunt combătute în stadii incipiente ale dezvoltării lor; în cazul unor condiții prealabile nefavorabile, valoarea rămâne neschimbată; valorile intermediare se pot interpola liniar.

8.9 Anexa 9: Demonstrarea aplicării – studiu de caz

8.9.1 Date de intrare

- Direcția traficului: unidirecțional
- Lungimea tunelului: 1,500 km
- Sistem de ventilație: ventilație mecanică longitudinală
- Secțiune transversală în formă de arc
- Pantă longitudinală 3%; Tunel calea 1 descendentă (−3,0%), Tunel calea 2 ascendentă (+3,0 %)
- Panta longitudinală unică ±3,0%
- Volum de trafic: MZA = 22.000 vehicule/24h
- Proportia de autoturisme: 77,5%
- Proportia de VGM: 22,0%
- Proportia de autobuze: 0,5%
- Proportia de transporturi de mărfuri periculoase) în traficul de vehicule grele: 3,5%
- Viteza maximă permisă: 100 km/h

- Frecvența ambuteiajelor: 120h/an (60h per tub)
- Distanța dintre ieșirile de urgență: 300 m
- Condițiile prealabile pentru activitățile serviciului de pompieri: timp de sosire 20 min
- Ieșire imediat după tunel prin Tunel calea 1
=> Suprafața influențată de joncțiune (10 s) = 278 m (cu 100 km/h); se extinde la 50 m în zona tunelului + zona portalului

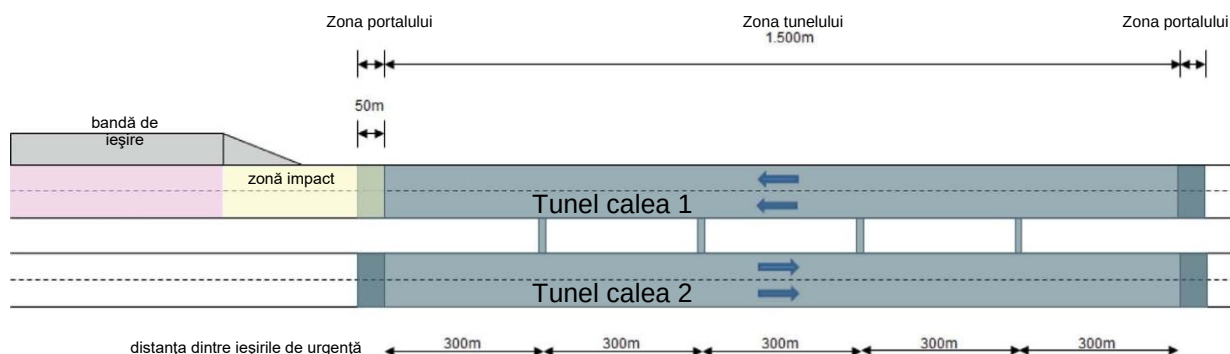


Figura 16: Schiță cu structura pentru exemplu de aplicare

8.9.2 Analiza arborelui evenimentelor pentru tunel calea 1

Analiza frecvenței pentru tunelul calea 1

Evaluarea cantitativă a riscurilor se efectuează separat pentru fiecare din cele două tuburi ale tunelului:

- Condiții de trafic

A1	$A1 = 1 - \frac{60}{8760} = 0,99032$	Proporția de ore de trafic normal pe an	0,9932
A2	$A2 = \frac{60}{8760}$	60 de ore de ambuteiaj pe an	0,0068

Valorile A1 și A2 reprezintă cota condițiilor de trafic respective în timpul total de exploatare a tunelului pe an (8.760 h).

- Avarii și coliziuni

Valoare de bază pentru rata avariilor Ru_1	2,4 avarii/1 milion vehicule - km
Valoare de bază pentru rata avariilor Ru_2	47 avarii/1 milion vehicule - h*)
Valoare de bază pentru rata coliziunilor Ru_0	0,078 PIA/1 milion vehicule - km

*) în funcție de viteza medie de deplasare în trafic supraîncărcat de 20 km/h

Adaptarea valorii de bază pentru rata coliziunilor: $Ru = Ru_0 \cdot f_{VK} \cdot f_{TL} \cdot f_{VF} = 0,0586$

cu

$$f_{VK,RV} = \frac{7,934 \cdot 10^{-2} \cdot \ln(JDTV) - 0,6935}{0,112}$$

$$\Rightarrow f_{VK} = 0,8911$$

$$f_{TL} = \frac{0,1081 \cdot L_{TU}^{-0,3543}}{0,112}$$

$$L_{TU} = 1,5 \text{ km} + 0,050 + 0,050 = 1,6 \text{ km}$$

$$\Rightarrow f_{TL} = 0,8171$$

$$f_{VF} = \frac{(L_{TU} - \sum L_V) + 2 \cdot \sum L_V}{L_{TU}}$$

$\sum L_V$ Totalul secțiunilor cu joncțiuni și zonele influențate de acestea

$$\Rightarrow f_{VK,tub 1} = 1,0313$$

Calculul frecvențelor aferente avariilor și coliziunilor:

B1	$Rp_1 \cdot MZA_{tub1} \cdot L_{TU} \cdot d \cdot 10^{-6}$	15,4176 avarii/an	15,3120 evenimente/an
B2	$Ru \cdot MZA_{tub1} \cdot L_{TU} \cdot d \cdot 10^{-6}$	0,3763 coliziuni/an	0,3737 evenimente/an
B3	$Rp_2 \cdot L_{TU} \cdot \text{număr benzi}_{tub1} \cdot \frac{50}{1 + S_{SV}} \cdot 10^{-6}$	0,0061 avarii/oră de ambuteiaj	0,3683 evenimente/an

cu:

d zile de exploatare [-]

S_{SV} Proportia de vehicule grele [%]

• Tip de coliziuni

C1	—	100%	15,3120 evenimente/an
C2	$A1 \cdot B1 \cdot \bar{N} \cdot p_{A,P} + A1 \cdot B2 \cdot \bar{N} \cdot p_{A,U}$	0,0137%	0,0137 evenimente/an
C3	40%	40%	0,1495 evenimente/an
C4	59%	59%	0,2205 evenimente/an
C5	1%	1%	0,0037 evenimente/an
C6	—	100%	0,3683 evenimente/an

cu:

p_A Probabilitatea ca 1 vehicul să facă accident cu vehiculul din față

$p_{A,P}$ $4,9 \cdot 10^{-5}$ (cu avarie)

$p_{A,U}$ $4,5 \cdot 10^{-4}$ (cu coliziune)

$\bar{N}$ Numărul mediu de vehicule care se opresc în spatele unei congestii de trafic

$$\bar{N} = \frac{t_{sp}}{3600} + \frac{L_T}{2 \cdot v_{max}} \cdot \frac{MZA}{24}$$

L_T Lungimea tunelului (fără extinderi) [km]

t_{sp} = 90s (timpul mediu de închidere: timpul dintre apariția evenimentului și oprirea vehiculelor la semafoarele de la portal sau din tunel)

v_{max} = Viteza maximă permisă în tunel: 100 km/h

• Vehicul implicat

	Valoare de bază	Valoare în funcție de combinația nouă de vehicule implicate		
D1	—	S_{PKW}	77,5%	11,8668 evenimente/an
D2	—	S_{LKW}	22%	3,3686 evenimente/an
D3	—	S_{BUS}	0,5%	0,0766 evenimente/an

D4	63,7 n%	$\frac{63,7 \cdot S_{PKW}^2}{85,5^2} [\%]$	52,3372%	0,0072 evenimente/an
D5	35,6%	$\frac{35,6 \cdot (S_{LKW}^2 + 2 \cdot S_{LKV} \cdot S_{PKV})}{14^2 + 2 \cdot 14 \cdot 85,5} [\%]$	53,5237	0,0073 evenimente/an
D6	0,7%	$\frac{0,7 \cdot (S_{BUS}^2 + 2 \cdot S_{PKW} \cdot S_{BUS} + 2 \cdot S_{LKW} \cdot S_{BUS})}{0,5^2 + 2 \cdot 85,5 \cdot 0,5 + 2 \cdot 14 \cdot 0,5} [\%]$	0,7%	0,0001 evenimente/an
D7	82,6%	$\frac{82,6 \cdot S_{PKW}}{85,5} [\%]$	74,8713	0,1119 evenimente/an
D8	14,7%	$\frac{14,7 \cdot S_{LKW}}{14} [\%]$	23,1	0,0345 evenimente/an
D9	2,7%	$\frac{2,7 \cdot S_{AUTOBUZ}}{0,5} [\%]$	2,7	0,0040 evenimente/an
D10	63,7	$\frac{63,7 \cdot S_{PKW}^2}{85,5^2} [\%]$	52,3372%	0,1154 evenimente/an
D11	35,6%	$\frac{35,6 \cdot (S_{LKW}^2 + 2 \cdot S_{LKV} \cdot S_{PKV})}{14^2 + 2 \cdot 14 \cdot 85,5} [\%]$	53,5237	0,1180 evenimente/an
D12	0,7%	$\frac{0,7 \cdot (S_{BUS}^2 + 2 \cdot S_{PKW} \cdot S_{BUS} + 2 \cdot S_{LKW} \cdot S_{BUS})}{0,5^2 + 2 \cdot 85,5 \cdot 0,5 + 2 \cdot 14 \cdot 0,5} [\%]$	0,7%	0,0015 evenimente/an
D13	58,0%	$\frac{57,0 \cdot S_{PKW}^2}{85,5^2} [\%]$	47,6540%	0,0018 evenimente/an
D14	41,9%	$\frac{41,9 \cdot (S_{LKW}^2 + 2 \cdot S_{LKV} \cdot S_{PKV})}{14^2 + 2 \cdot 14 \cdot 85,5} [\%]$	62,9956%	0,0024 evenimente/an
D15	0,1%	$\frac{0,1 \cdot (S_{BUS}^2 + 2 \cdot S_{PKW} \cdot S_{BUS} + 2 \cdot S_{LKW} \cdot S_{BUS})}{0,5^2 + 2 \cdot 85,5 \cdot 0,5 + 2 \cdot 14 \cdot 0,5} [\%]$	0,1%	0,0000 evenimente/an
D16	—	S_{PKW}	77,5%	0,2855 evenimente/an
D17	—	S_{LKW}	22%	0,0810 evenimente/an
D18	—	S_{BUS}	0,5%	0,0018 evenimente/an

● Incendii ulterioare

E1	fără incendiu ulterior	99,85%	11,8490 evenimente/an
E2	0,0015/avarie	0,15%	0,0178 evenimente/an
E3	fără incendiu ulterior	99%	3,3350 evenimente/an
E4	0,01/avarie	1%	0,0337 evenimente/an
E5	fără incendiu ulterior	99%	0,0758 evenimente/an
E6	0,01/avarie	1%	0,0008 evenimente/an
E7	fără incendiu ulterior	99,4%	0,0019 evenimente/an
E8	0,006/coliziune (coliziune în trafic unidirecțional)	0,6%	0,0000 evenimente/an
E9	fără incendiu ulterior	99,4%	0,0020 evenimente/an
E10	0,006/coliziune (coliziune în trafic unidirecțional)	0,6%	0,0000 evenimente/an

E11	fără incendiu ulterior	99,4%	0,0000 evenimente/an
E12	0,006/coliziune (coliziune în trafic unidirecțional)	0,6%	0,0000 evenimente/an
E13	fără incendiu ulterior	98,8%	0,1106 evenimente/an
E14	0,012/coliziune (coliziune cu un vehicul)	1,2%	0,0013 evenimente/an
E15	fără incendiu ulterior	98,8%	0,0341 evenimente/an
E16	0,012/coliziune (coliziune cu un vehicul)	1,2%	0,0004 evenimente/an
E17	fără incendiu ulterior	98,8%	0,0040 evenimente/an
E18	0,012/coliziune (coliziune cu un vehicul)	1,2%	0,0000 evenimente/an
E19	fără incendiu ulterior	99,4%	0,1147 evenimente/an
E20	0,006/accident (coliziune în trafic unidirecțional)	0,6%	0,0007 evenimente/an
E21	fără incendiu ulterior	99,4%	0,1173 evenimente/an
E22	0,006/coliziune (coliziune în trafic unidirecțional)	0,6%	0,0007 evenimente/an
E23	fără incendiu ulterior	99,4%	0,0015 evenimente/an
E24	0,006/coliziune (coliziune în trafic unidirecțional)	0,6%	0,0000 evenimente/an
E25	fără incendiu ulterior	98%	0,0017 evenimente/an
E26	0,02/coliziune (coliziune în trafic bidirecțional)	2%	0,0000 evenimente/an
E27	fără incendiu ulterior	98%	0,0023 evenimente/an
E28	0,02/coliziune (coliziune în trafic bidirecțional)	2%	0,0000 evenimente/an
E29	fără incendiu ulterior	98%	0,0000 evenimente/an
E30	0,02/coliziune (coliziune în trafic bidirecțional)	2%	0,0000 evenimente/an
E31	fără incendiu ulterior	99,85%	0,2850 evenimente/an
E32	0,0015/avarie	0,15%	0,0004 evenimente/an
E33	fără incendiu ulterior	99%	0,0802 evenimente/an
E34	0,01/avarie	1%	0,0008 evenimente/an
E35	fără incendiu ulterior	99%	0,0018 evenimente/an
E36	0,01/avarie	1%	0,0000 evenimente/an

• Sunt implicate mărfuri periculoase

F1	nu sunt implicate mărfuri periculoase	98,6875%	0,0332 evenimente/an
F2	3,5% rata de mărfuri periculoase· 75% materiale inflamabile ·50% probabilitate de aprindere	1,3125%	0,0004 evenimente/an
F3	nu sunt implicate mărfuri periculoase	99,93%	0,0073 evenimente/an
F4	3,5% rata de mărfuri periculoase· 10% materiale inflamabile cu efecte deosebit de dăunătoare asupra sănătății ·20% probabilitate de emisie	0,07%	0,0000 evenimente/an
F5	nu sunt implicate mărfuri periculoase	98,6875%	0,0000 evenimente/an
F6	3,5% rata de mărfuri periculoase· 75% materiale inflamabile ·50% probabilitate de aprindere	1,3125%	0,0000 evenimente/an

F7	nu sunt implicate mărfuri periculoase	99,93%	0,0341 evenimente/an
F8	3,5% rata de mărfuri periculoase· 10% materiale inflamabile cu efecte deosebit de dăunătoare asupra sănătății ·20% probabilitatea de emisie	0,07%	0,0000 evenimente/an
F9	nu sunt implicate mărfuri periculoase	98,6875%	0,0004 evenimente/an
F10	3,5% rata de mărfuri periculoase· 75% materiale inflamabile ·50% probabilitate de aprindere	1,3125%	0,0000 evenimente/an
F11	50% probabilitate de aprindere	99,93%	0,1172 evenimente/an
F12	3,5% rata de mărfuri periculoase· 10% materiale inflamabile cu efecte deosebit de dăunătoare asupra sănătății ·20% probabilitatea de emisie	0,07%	0,0001 evenimente/an
F13	nu sunt implicate mărfuri periculoase	98,6875%	0,0007 evenimente/an
F14	3,5% rata de mărfuri periculoase· 75% materiale inflamabile ·50% probabilitate de aprindere	1,3125%	0,0000 evenimente/an
F15	nu sunt implicate mărfuri periculoase	99,93%	0,0023 evenimente/an
F16	3,5% rata de mărfuri periculoase· 10% materiale inflamabile cu efecte deosebit de dăunătoare asupra sănătății ·20% probabilitate de emisie	0,07%	0,0000 evenimente/an
F17	nu sunt implicate mărfuri periculoase	98,6875%	0,0000 evenimente/an
F18	3,5% rata de mărfuri periculoase· 75% materiale inflamabile ·50% probabilitate de aprindere	1,3125%	0,0000 evenimente/an
F19	nu sunt implicate mărfuri periculoase	98,6875%	0,0008 evenimente/an
F20	3,5% rata de mărfuri periculoase· 75% materiale inflamabile ·50% probabilitate de aprindere	1,3125%	0,0000 evenimente/an

• Riscuri pentru persoane, provocate de incendii ca urmare a avariilor

G1	Probabilitatea ca evoluția unui incendiu să nu provoace riscuri pentru persoane	62%	0,0110 evenimente/an
G2	Probabilitatea ca evoluția unui incendiu să provoace riscuri pentru persoane	38%	0,0068 evenimente/an
G3	Probabilitatea ca evoluția unui incendiu să nu provoace riscuri pentru persoane	38%	0,0126 evenimente/an
G4	Probabilitatea ca evoluția unui incendiu să provoace riscuri pentru persoane	62%	0,0206 evenimente/an
G5	Probabilitatea ca evoluția unui incendiu să nu provoace riscuri pentru persoane	38%	0,0003 evenimente/an
G6	Probabilitatea ca evoluția unui incendiu să provoace riscuri pentru persoane	62%	0,0005 evenimente/an
G7	Probabilitatea ca evoluția unui incendiu să nu provoace riscuri pentru persoane	62%	0,0003 evenimente/an
G8	Probabilitatea ca evoluția unui incendiu să provoace riscuri pentru persoane	38%	0,0002 evenimente/an
G9	Probabilitatea ca evoluția unui incendiu să nu provoace riscuri pentru persoane	38%	0,0003 evenimente/an
G10	Probabilitatea ca evoluția unui incendiu să provoace riscuri pentru persoane	62%	0,0005 evenimente/an

G11	Probabilitatea ca evoluția unui incendiu să nu provoace riscuri pentru persoane	38%	0,0000 evenimente/an
G12	Probabilitatea ca evoluția unui incendiu să provoace riscuri pentru persoane	62%	0,0000 evenimente/an

- Dimensiune incendiu

H1	Incendiu în cabina șoferului	45%	0,0057 evenimente/an
H2	Incendiu vehicul dezvoltat complet	55%	0,0069 evenimente/an
H3	Incendiu în cabina șoferului	45%	0,0001 evenimente/an
H4	Incendiu vehicul dezvoltat complet	55%	0,0002 evenimente/an

- Scenariu cu pagube

I1	Incendiu – VGM – 5 MW	75%	0,0043 evenimente/an
I2	Incendiu – VGM – 30 MW	25%	0,0014 evenimente/an
I3	Incendiu – VGM – 30 MW	90%	0,0063 evenimente/an
I4	Incendiu – VGM – 100 MW	10%	0,0007 evenimente/an
I5	Incendiu – VGM – 30 MW	90%	0,0000 evenimente/an
I6	Incendiu – VGM – 100 MW	10%	0,0000 evenimente/an
I7	Incendiu – VGM – 30 MW	90%	0,0004 evenimente/an
I8	Incendiu – VGM – 100 MW	10%	0,0000 evenimente/an
I9	Incendiu – VGM – 30 MW	90%	0,0006 evenimente/an
I10	Incendiu – VGM – 100 MW	10%	0,0001 evenimente/an
I11	Incendiu – VGM – 30 MW	90%	0,0000 evenimente/an
I12	Incendiu – VGM – 100 MW	10%	0,0000 evenimente/an
I13	Incendiu – VGM – 5 MW	75%	0,0001 evenimente/an
I14	Incendiu – VGM – 30 MW	25%	0,0000 evenimente/an
I15	Incendiu – VGM – 30 MW	90%	0,0002 evenimente/an
I16	Incendiu – VGM – 100 MW	10%	0,0000 evenimente/an

Analiza amplitudinii pagubelor în Tunel calea 1

- Evenimente principale provocate de avarii:

S FP1	Incendiu - autoturism - 5 MW	conform Tabelului 19	0,0350 decese preconizate/eveniment
S FP2	Incendiu – VGM – 5 MW	conform Tabelului 19	0,0350 decese preconizate/eveniment
S FP3	Incendiu – VGM – 30 MW	conform Tabelului 19	0,0500 decese preconizate/eveniment
S FP4	Incendiu – VGM – 30 MW	conform Tabelului 19	0,0500 decese preconizate/eveniment
S FP5	Incendiu – VGM – 100 MW	conform Tabelului 19	0,3000 decese preconizate/eveniment
S FP6	Incendiu – VGM – 100 MW + mărfuri periculoase	conform Tabelului 15, Tabelului 11 și Tabelului 19	0,3600 decese preconizate/eveniment
S FP7	Incendiu – autobuz – 30 MW	conform Tabelului 13 și Tabelului 19	0,0600 decese preconizate/eveniment

- Evenimente secundare:

S FU1	Coliziune ce implică un autoturism	conform Tabelului 12	0,0100 decese preconizate/eveniment
S FU2	Coliziune ulterioară - autoturism - 5 MW	$0,01 + (0,1208 \cdot 0,96)$ conform Figurii 4, Tabelului 12 și Tabelului 20	0,1259 decese preconizate/eveniment
S FU3	Coliziune ce implică un VGM	conform Tabelului 12	0,0930 decese preconizate/eveniment
S FU4	Coliziune ce implică un VGM + scurgeri de mărfuri periculoase	$0,093 + 0,5 \text{ gem.}$ conform Tabelului 12 și Tabelului 15	0,5930 decese preconizate/eveniment
S FU5	Incendiu – VGM – 30 MW	$0,093 + (27,18 \cdot 0,664)$ conform Figurii 6, Tabelului 12 și Tabelului 20	18,1405 decese preconizate/eveniment
S FU6	Incendiu – VGM – 100 MW	$0,093 + (39,94 \cdot 0,944)$ conform Figurii 8, Tabelului 12 și Tabelului 20	37,7964 decese preconizate/eveniment
S FU7	Incendiu – VGM – 100 MW + mărfuri periculoase	$0,093 + (39,94 \cdot 0,944 \cdot 1,2)$ conform Figurii 8, Tabelului 12, Tabelului 15 și Tabelului 20	45,3370 decese preconizate/eveniment
S FU8	Coliziune ce implică un autobuz	conform Tabelului 12	0,1000 decese preconizate/eveniment
S FU9	Incendiu – autobuz– 30 MW	$0,1 + (27,18 \cdot 0,664 \cdot 1,2)$ conform Figurii 6, Tabelului 12 și Tabelului 13	21,7570 decese preconizate/eveniment

- Evenimente principale provocate de coliziuni:

S U1	Coliziune ce implică un autoturism	conform Tabelului 12	0,1750 decese preconizate/eveniment
S U2	Incendiu - autoturism - 5 MW	$0,175 + 0,035$ conform Tabelului 12 și Tabelului 19	0,2100 decese preconizate/eveniment
S U3	Coliziune ce implică un VGM	conform Tabelului 12	0,0830 decese preconizate/eveniment
S U4	Coliziune ce implică un VGM + scurgeri de mărfuri periculoase	conform Tabelului 18	0,5000 decese preconizate/eveniment
S U5	Incendiu – VGM – 30 MW	$0,083 + 0,05$ conform Tabelului 12 și Tabelului 19	0,1330 decese preconizate/eveniment
S U6	Incendiu – VGM – 100 MW	$0,083 + 0,3$ conform Tabelului 12 și Tabelului 19	0,3830 decese preconizate/eveniment
S U7	Incendiu – VGM – 100 MW + mărfuri periculoase	$0,083 + (0,3 \cdot 1,2)$ conform Tabelului 12, Tabelului 15 și Tabelului 13	0,4430 decese preconizate/eveniment
S U8	Coliziune ce implică un autobuz	conform Tabelului 12	0,1000 decese preconizate/eveniment

S U9	Incendiu – autobuz– 30 MW	$0,1 + (0,05 \cdot 1,2)$ conform Tabelului 12, Tabelului 13 și Tabelului 19	0,1600 decese preconizate/eveniment
S U10	Coliziune ce implică un autoturism	conform Tabelului 12	0,0100 decese preconizate/eveniment
S U11	Incendiu - autoturism - 5 MW	$0,01 + 0,035$ conform Tabelului 12 și Tabelului 19	0,0450 decese preconizate/eveniment
S U12	Coliziune ce implică un VGM	conform Tabelului 12	0,0930 decese preconizate/eveniment
S U13	Coliziune ce implică un VGM + scurgeri de mărfuri periculoase	conform Tabelului 18	0,5000 decese preconizate/eveniment
S U14	Incendiu – VGM – 30 MW	$0,093 + 0,05$ conform Tabelului 12 și Tabelului 19	0,1430 decese preconizate/eveniment
S U15	Incendiu – VGM – 100 MW	$0,093 + 0,3$ conform Tabelului 12 și Tabelului 19	0,3930 decese preconizate/eveniment
S U16	Incendiu – VGM – 100 MW + mărfuri periculoase	$0,093 + (0,3 \cdot 1,2)$ conform Tabelului 12, Tabelului 15 și Tabelului 19	0,4530 decese preconizate/eveniment
S U17	Coliziune ce implică un autobuz	conform Tabelului 12	0,1000 decese preconizate/eveniment
S U18	Incendiu – autobuz– 30 MW	$0,1 + (0,05 \cdot 1,2)$ conform Tabelului 12, Tabelului 13 și Tabelului 19	0,1600 decese preconizate/eveniment
S U19	Coliziune ce implică un autoturism	conform Tabelului 12	0,2500 decese preconizate/eveniment
S U20	Incendiu - autoturism - 5 MW	$0,25 + 0,035$ conform Tabelului 12 și Tabelului 19	0,2850 decese preconizate/eveniment
S U21	Coliziune ce implică un VGM	conform Tabelului 12	0,4290 decese preconizate/eveniment
S U22	Coliziune ce implică un VGM + scurgeri de mărfuri periculoase	conform Tabelului 18	0,5000 decese preconizate/eveniment
S U23	Incendiu – VGM – 30 MW	$0,429 + 0,05$ conform Tabelului 12 și Tabelului 19	0,4790 decese preconizate/eveniment
S U24	Incendiu – VGM – 100 MW	$0,429 + 0,3$ conform Tabelului 12 și Tabelului 19	0,7290 decese preconizate/eveniment
S U25	Incendiu – VGM – 100 MW + mărfuri periculoase	$0,429 + (0,3 \cdot 1,2)$ conform Tabelului 12, Tabelului 15 și Tabelului 19	0,7890 decese preconizate/eveniment
S U26	Coliziune ce implică un autobuz	conform Tabelului 12	0,7500 decese preconizate/eveniment
S U27	Incendiu – autobuz– 30 MW	$0,75 + (0,05 \cdot 1,2)$ conform Tabelului 12, Tabelului 13 și Tabelului 19	0,8100 decese preconizate/eveniment

● Evenimente terțiare

S PS1	Incendiu - autoturism - 5 MW	0,1204 · 0,96 conform Figurii 10 și Tabelului 20	0,1155 decese preconizate/eveniment
S PS 2	Incendiu – VGM – 5 MW	0,1204 · 0,96 conform Figurii 10 și Tabelului 20	0,1155 decese preconizate/eveniment
S PS 3	Incendiu – VGM – 30 MW	25,03 · 0,664 conform Figurii 12 și Tabelului 20	16,6199 decese preconizate/eveniment
S PS 4	Incendiu – VGM – 30 MW	25,03 · 0,664 conform Figurii 12 și Tabelului 20	16,6199 decese preconizate/eveniment
S PS 5	Incendiu – VGM – 100 MW	37,12 · 0,944 conform Figurii 14 și Tabelului 20	35,0413 decese preconizate/eveniment
S PS 6	Incendiu – VGM – 100 MW + mărfuri periculoase	37,12 · 0,944 · 1,2 conform Figurii 14, Tabelului 15 și Tabelului 20	42,0495 decese preconizate/eveniment
S PS 7	Incendiu – autobuz– 30 MW	25,03 · 0,664 · 1,2 conform Figurii 12 , Tabelului 13 și Tabelului 20	19,9439 decese preconizate/eveniment

Calculul riscurilor Tunel calea 1

Frecvențele scenariilor individuale se înmulțesc cu valorile amplitudinii pagubelor aferente.

Riscul total pentru Tunel calea 1 se calculează însumând riscurile individuale.

PF1	0,0068	0,0350	0,0002 decese/an	Cotă incendii
PF2	0,0043	0,0350	0,0001 decese/an	Cotă incendii
PF3	0,0014	0,0500	0,0001 decese/an	Cotă incendii
PF4	0,0063	0,0500	0,0003 decese/an	Cotă incendii
PF5	0,0007	0,3000	0,0002 decese/an	Cotă incendii
PF6	0,0004	0,3600	0,0002 decese/an	Cotă mărfuri periculoase
PF7	0,0003	0,0600	0,0000 decese/an	Cotă incendii
FU1	0,0071	0,0100	0,0000 decese/an	Cotă mecanică
FU2	0,0000	0,1259	0,0000 decese/an	Cotă incendii
FU3	0,0019	0,0930	0,0002 decese/an	Cotă mecanică
FU4	0,0000	0,5930	0,0000 decese/an	Cotă mărfuri periculoase
FU5	0,0000	18,1405	0,0002 decese/an	Cotă incendii
FU6	0,0000	37,7964	0,0000 decese/an	Cotă incendii
FU7	0,0000	45,3370	0,0000 decese/an	Cotă mărfuri periculoase
FU8	0,0001	0,1000	0,0000 decese/an	Cotă mecanică
FU9	0,0000	21,7570	0,0000 decese/an	Cotă incendii
U1	0,1106	0,1750	0,0192 decese/an	Cotă mecanică

U2	0,0013	0,2100	0,0003 decese/an	Cotă incendii
U3	0,034	0,0830	0,0028 decese/an	Cotă mecanică
U4	0,0000	0,5000	0,0000 decese/an	Cotă mărfuri periculoase
U5	0,0004	0,1330	0,0000 decese/an	Cotă incendii
U6	0,0000	0,3830	0,0000 decese/an	Cotă incendii
U7	0,0000	0,4430	0,0000 decese/an	Cotă mărfuri periculoase
U8	0,0040	0,1000	0,0004 decese/an	Cotă mecanică
U9	0,0000	0,1600	0,0000 decese/an	Cotă incendii
U10	0,1147	0,0100	0,0011 decese/an	Cotă mecanică
U11	0,0007	0,0450	0,0000 decese/an	Cotă incendii
U12	0,1172	0,0930	0,0108 decese/an	Cotă mecanică
U13	0,0001	0,5000	0,0000 decese/an	Cotă mărfuri periculoase
U14	0,0006	0,1430	0,0001 decese/an	Cotă incendii
U15	0,0001	0,3930	0,0000 decese/an	Cotă incendii
U16	0,0000	0,4530	0,0000 decese/an	Cotă mărfuri periculoase
U17	0,0015	0,1000	0,0002 decese/an	Cotă mecanică
U18	0,0000	0,1600	0,0000 decese/an	Cotă incendii
U19	0,0017	0,2500	0,0004 decese/an	Cotă mecanică
U20	0,0000	0,2850	0,0000 decese/an	Cotă incendii
U21	0,0023	0,4290	0,0010 decese/an	Cotă mecanică
U22	0,0000	0,5000	0,0000 decese/an	Cotă mărfuri periculoase
U23	0,0000	0,4790	0,0000 decese/an	Cotă incendii
U24	0,0000	0,7290	0,0000 decese/an	Cotă incendii
U25	0,0000	0,7890	0,0000 decese/an	Cotă mărfuri periculoase
U26	0,0000	0,7500	0,0000 decese/an	Cotă mecanică
U27	0,0000	0,8100	0,0000 decese/an	Cotă incendii
PS1	0,0002	0,1155	0,0000 decese/an	Cotă incendii
PS2	0,0001	0,1155	0,0000 decese/an	Cotă incendii
PS3	0,0000	16,6199	0,0006 decese/an	Cotă incendii
PS4	0,0002	16,6199	0,0025 decese/an	Cotă incendii
PS5	0,0000	35,0413	0,0006 decese/an	Cotă incendii
PS6	0,0000	42,0495	0,0004 decese/an	Cotă mărfuri periculoase
PS7	0,0000	19,9439	0,0001 decese/an	Cotă incendii
			0,0439 decese/an	TOTAL Tunel calea 1

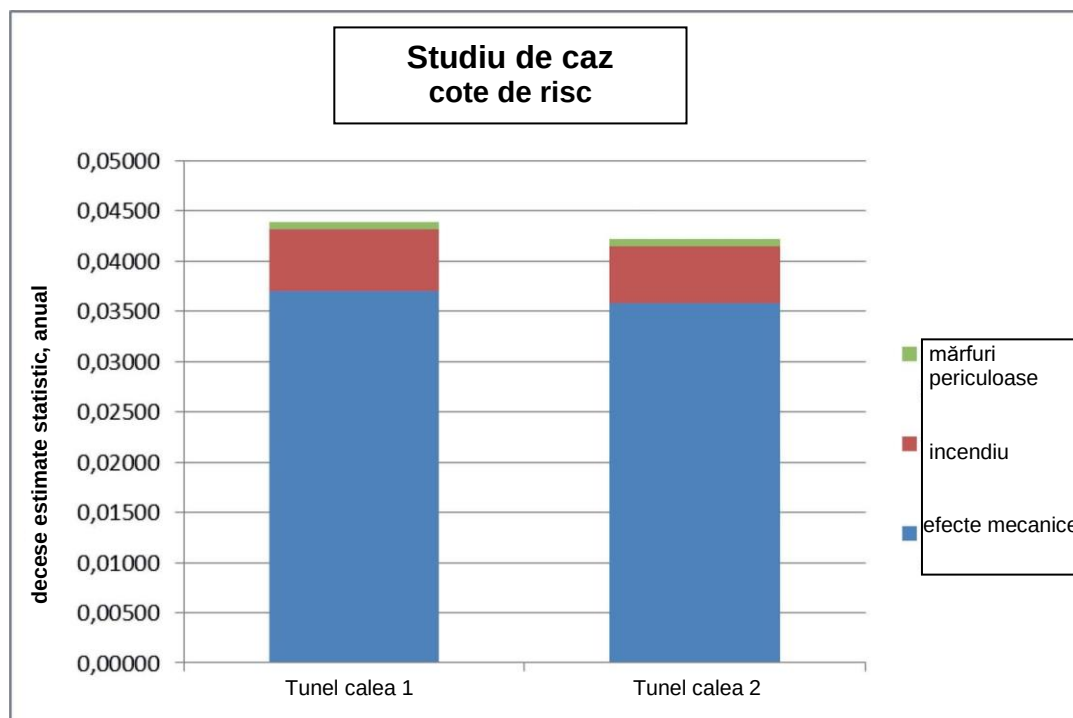
8.9.3 Analiza arborelui evenimentelor pentru Tunel calea 2

Arborele evenimentelor pentru Tunel calea 2 trebuie realizat analog cu calculele efectuate pentru Tunel calea 1. Se omit prezentarea rezultatelor detaliate; se stabilesc doar rezultatele finale (a se vedea punctul 8.9.4).

8.9.4 Calculul riscurilor pentru întreaga structură a tunelului

Rezultatele de mai jos reprezintă însumarea tuturor cotelor de risc pentru fiecare scenariu individual

	Tunel calea 1	Tunel calea 2	TOTAL	
Eveniment mecanic	0,0370 decese/an	0,0359 decese/an	0,0728 decese/an	84,55%
Incendiu	0,0062 decese/an	0,0007 decese/an	0,0119 decese/an	13,82%
Mărfuri periculoase	0,0007 decese/an	0,0011 decese/an	0,0014 decese/an	1,63%
Valoare preconizată a riscului	0,0439 decese/an	0,0422 decese/an	0,0861 decese/an	100%



Din cauza valorilor de frecvență parțial foarte scăzute care se înmulțesc cu valori ridicate ale amplitudinii pagubelor, pot apărea erori de rotunjire relevante. Astfel, se recomandă utilizarea programelor electronice de calcul (cum ar fi Excel); calculul trebuie efectuat folosind cel puțin 7 zecimale.