PRELEGEREA 5 ISIC
ABORDAREA INGINEREASCĂ PRIVIND EVCUAREA PERSOANELOR LA INCENDIU

Consideraţii generale

Obiectivul cel mai important al securităţii la incendiu în clădiri, în situaţia în care se admite că incendiul ar avea loc, este atins prin proiectarea si aplicarea unui sistem de protecţia la incendiu specific, care să asigure salvarea vieţii umane, şi care trebuie să se reflecte în planurile de evacuare; reglementările tehnice cu privire la evacuarea persoanelor în situaţia de incendiu oferă:

- abordări *prescriptive* sau "*meşteşugăreşti*", care operează cu numărul şi mărimea ieşirilor, precum şi cu lungimea maximă a căilor de evacuare;
- abordări *bazate pe performanţă* sau *inginereşti*, care operează cu timpul în care evacuarea este sigură.

5.1 Modelarea comportamentului uman

(*după Erica D. Kuligowski, Fire Research Division Building and Fire Research Laboratory, U.S., Department of Commerce, 2008*)

Consideraţii generale

Modelele matematice concepute pentru analiza evacuării persoanelor aflate în situaţia de incendiu din clădiri (utilizabile atât în calcule manuale ingineresc cât şi în calcule implementabile pe calculatoarele electronice sub formă de programme de calcul) *pot fi utilizate pentru evaluarea nivelului de securitate oferit de clădiri în timpul evacuării* (*Nelson şi Mowrer 2002*). *Proiectarea clădirilor şi sabilirea procedurilor de evacuare a persoanelor din clădiri în situaţia de incendiu* sunt bazate pe rezultatele obţinute cu acest gen de modele, *în primul rând cu privire la aprecierea timpilor de evacuare*.

Totuşi, *cele mai multe din modelele de evacuare se focalizează, în primul, rând pe calcularea şi predicţia deplasării* (timpul şi traseul ocupantului din poziţia iniţială în locaţia sigură) *aproape ignorând comportamentul ocupanţiilor care l-ar putea manifesta pe parcursul procesului de evacuare* (înainte şi în deplasare), *ceea ce ar putea conduce la aprecierea nerealistă a întârzierilor*.

Destul de des, modelele de evacuare şi utilizatorii acestora recurg la presupuneri şi simplificări asupra comportamentului persoanelor, care pot fi nerealiste şi care pot conduce la rezultate tot nerealiste. În cazurile în care presupunerile conduc la o subestimare a rezultatelor evacuării (de exemplu, la timpi de evacuare mai mici) clădirile şi/sau procedurile de evacuare a persoanelor sunt proiectate inadecvat (de exemplu, prevederea unui număr insuficient de căi de ieşire şi/sau proceduri nesigure pentru administraţia clădirii sau utilizatorii acesteia). În cazurile în care presupunerile conduc la o supraestimare nerealistă a rezultatelor evacuării (de exemplu, la timpi de evacuare mai mari) clădirile şi/sau procedurile sunt proiectate în baza unui nercesar de evacuare supraestimat, ceea ce atrage după sine o creştere nejustificată a costurilor clădirii.

Soluţionarea problemei de îmbunătăţire a modelelor matematice specifice ar fi *crearea unei teorii robuste, comprehensive şi validate a comportamentului uman în timpul procesului de evacuare din clădirile supuse incendiilor*.

5.1.1 Stadiul actual privind bazele teoretice ale programelor specializate

În principiu, programele actuale pentru calcul evacuării persoanelor aflate în situaţia de incendiu cuantifică performanţa de evacuare calculând cât timp le este necesar ocupanţilor pentru a părăsi clădirea; astfel programul evidenţiază:

- *acţiunile persoanelor implicate*;
- *timpul necesar pentru realizarea evacuării*.

Din cauza lipsei datelor şi a unei teorii complete despre comportamentul/acţiunile persoanelor, multe modelele matematice care stau la baza proiectării programelor de calcul simplifică semnificativ procesul de evacuare, focalizându-se în primul rând pe timpul necesar pentru a realiza un anumit tip de acţiune: deplasarea ocupanţilor din poziţia iniţială la exteriorul clădirii; deci, aceste modele nu simulează şi comportamente adiţionale care ar putea întârzia evacuarea.

Sunt şi modele care pot ţine cont de acţiunile persoanelor implicate în incendiu, două metode principale fiind utilizate pentru simularea comportamentului persoanelor în timpul evacuării.

O primă metodă este aceea în care utilizatorul ia în considerare timpul de întârziere/aşteptare al persoanei sau grupului de persoane aflat în situaţia de a se evacua: cazul programelor **Simulex** (*Thompson, Wu şi Marchant 1996; Spearpoint 2004*), **EXIT89** (*Fahy 2000; 1996*), **GridFlow** (*Bensilum şi Purser 2002*). Utilizând această metodă, ocupanţii rămân staţionari, în poziţiile lor iniţiale, pentru timpul setat şi apoi încep deplasarea. Deasemenea, această metodă, asignând o perioadă de întârziere, pune accentul pe întârzierea în sine şi mai puţin pe deciziile, acţiunile şi interacţiunile ocupanţilor ca răspuns la condiţiile din clădire.

O a doua metodă este aceea în care utilizatorul ia în considerare un itinerar comportamental specific (de exemplu o secvenţă de acţiuni) sau o acţiune specifică persoanei sau grupului de persoane aflat în situaţia de incendiu: cazul programelor **CRISP** (*Fraser-Mitchell 1999*), **buildingEXODUS** (*Filippidis et al. 2006; Gwynne et al. 1999*). Secvenţele acţiunii pot fi folosite pentru simularea comportamentelor care ar putea întrerupe deplasarea continuă, cum ar fi căutarea informaţiilor, părăsirea scărilor, asistarea altor ocupanţi, întoarcerea la locaţiile iniţiale pentru a recupera articole personale sau de serviciu. Această metodă, asignând un itinerariu comportamental, începe să simuleze decizii şi acţiuni făcute ca răspuns la anumite condiţii din timpul evacuării, cu toate că întregul comportament sau itinerariu comportamental este definit de utilizator înainte ca simularea să înceapă, iar interacţiunile între alţi ocupanţi pentru care s-a făcut simularea sunt simplificate sau inexistente.

Există probleme cu ipotezele incluse în modelele/programele de calcul pentru simularea comportamentului uman în timpul procesului de evacuare. În primul rând, nici un comportament nu este de fapt prezis de modelele de evacuare care stau la baza programelor de calcul specializate, deoarece informaţia comportamentală este furnizată sub forma unor presupuneri anterioare, pre-programate. Comportamentul este determinat de utilizator sau determinat probabilistic de modelul bazat pe informaţia prescrisă. Mai important, utilizatorul, prescrie acţiunile care vor avea loc sau pe care le presupune că vor avea loc în fiecare scenariu de incendiu. Nu există consistenţă asociată cu prescrierea comportamentelor; această metodă se bazează în totalitate pe nivelul de înţelegere al utilizatorului legat de comportamentul ocupanţilor în clădirile supuse unui incendiu. Aceasta este o aşteptare nerealistă a utilizatorului, atât timp cât nu există ghidare, un set comprehensiv de date, sau o teorie furnizată utilizatorilor despre ce fac în realitate oamenii în timpul evacuărilor clădirilor.

5.1.2 Scopul programelor specializate

Există, în present, peste 40 de programe diferite pentru calculul evacuării persoanelor din clădiri, încadrabile unor tipuri principale de proiecte (trei la număr).

În cazul primului tip de proiecte, programul de calcul specializat *este destinat estimării siguranţei unui anumit proiect al unei construcţii* sau *siguranţei unei proceduri de părăsire a clădirii de către persoanele implicate în incendiu*. Pentru proiectele de evaluare a siguranţei, utilizatorul rulează, de obicei, simulează variante de evacuare a unei clădiri (exemplu: ocupanţii aleg diferite căi de evacuare, ocupanţii se deplasează cu viteze variate etc.) şi compară rezultatele simulării evacuării cu rezultatele din programele de simulare a dezvoltătii incendiului. În acest tip de proiecte clădirea este considerată că furnizează un nivel suficien de securitate pentru persoanele utilizatori dacă timpul necesar evacuării clădirii este mai mic decât timpul în care condiţiile devin periculoase pentru persoanele din interiorul clădirii.

În cazul celui de al doilea tip de proiecte, programul de calcul specializat *este destinat explorării şi investigării condiţiilor care nu pot fi uşor examinate prin alte mijloace*; se evaluează variante de proiect pentru o aceeaşi clădire sau se testează ipoteze în curs de cercetare despre impactul condiţiilor, oferite de clădire, asupra rezultatelor. De exemplu, utilizatorul poate simula o diversitate de scenarii de ieşire folosind acelaşi model, pentru a testa diferite aspecte ale proiectării clădirii, cum ar fi mărimea casei liftului, numărul scărilor din clădire, lăţimea coridoarelor, precum şi amplasarea, lăţimea şi numărul ieşirilor etc.. În acest caz, utilizatorul ar putea fi interesat care proiecte furnizează timpi suficienţi pentru o evacuare rapidă a persoanelor din clădire. Alte situaţii pot include testarea ipotezelor privind impactul condiţiilor incendiului asupra deplasării ocupanţilor prin clădire.

În cazul celui de al treilea tip de proiecte, programul de calcul specializat *este destinat recreării unui eveniment/incident/accident*. În acest caz este interesul utilizatorului este să determine cauza/cauzele rezultatelor actuale ale incidentelor şi/sau să răspundă întrebărilor specifice despre incident (exemplu: ce s-ar fi întâmplat dacă densitatea populaţiei din clădire ar fi fost mai mare în timpul evenimentului sau clădirea ar fi avut mai multe ieşiri etc.). Pentru a determina cauzele aflate în spatele rezultatelor actuale ale incidentelor, utilizatorii vor încerca să modeleze actualul incident, care va include o serie de rulări ale modelului, cât se poate de aproape de condiţiile actuale, folosind toate condiţiile cunoscute din eveniment. Dacă sunt puse întrebări suplimentare (de genul: *ce s-ar fi întâmplat dacă...*), utilizatorul poate dezvolta o linie de bază a cazului, după care poate altera condiţiile specifice din clădire pentru a răspunde întrebărilor respective (de exemplu, să adauge mai multe persoane în clădire, şi să reia simularea).

O teorie comprehensivă despre comportamentul uman în situaţia de incendiu poate îmbunătăţi modelele/programele de calcul utilizate la evacuarea clădirilor pentru toate cele trei tipuri de proiecte.

5.1.3 Necesitatea îmbunătăţirii programelor specializate

O teorie comprehensivă privind comportamentul uman în situaţia de incendiu este necesară pentru îmbunătăţirea modelelor, şi implicit a programelor, existente pentru evacuarea persoanelor din clădiri. Teoria ar trebui să permită *prevaderea comportamentului individual* şi *a dinamicii de grup în situaţia de incendiu la interiorul clădirilor*, decât să se bazeze pe o prescripţie ad-hoc a utilizatorului; aceasta ar elimina sarcina utilizatorului de a prescrie acţiuni nerealiste şi ar permite *prevederea comportamentelor generate de condiţiile specifice situaţiei date*.

Mai exact, o teorie trebuie să simuleze diversitatea comportamentelor manifestate de ocupanţi într-un incendiu. În evenimentele în care este implicată o mulţime de persoane, cu o densitate mare pe o suprafaţă dată, unde ocupanţii percep indiciile ca grup, ocupanţii vor

răspunde în moduri similare la indiciile respective. În aceste tipuri de evenimente, majoritatea ocupanţilor par să fie influenţaţi de grup pe parcursul întregii evacuări. *Totuşi, în majoritatea incendiilor din clădiri, ocupanţii se află în diferite locuri din clădire*, de multe ori primind instrucţiuni sau indicii diferite legate de eveniment. Ocupanţii răspund într-o diversitate de moduri, bazate pe indiciile diferite care le sunt prezentate; chiar şi ocupanţi cărora li s-au prezentat aceleaşi indicii, vor acţiona în moduri diferite. Toate aceastea pentru că acţiunile ocupanţilor variază în funcţie de indiciile pe care le-au perceput, interpretările lor legate de eveniment şi de riscul la pericol şi deciziile pe care le iau privitor la acţiunile imediat următoare. Cunoascând acest aspect, este crucială dezvoltarea unei teorii a comportamentului persoanelor aflate în situaţia de incendiu, bazat pe procesele sociale/comportamentale.

5.1.4 Teoria comportamentului persoanei surprinse de incendiu

Prezentarea teoriei

Teoria socială ştiinţifică a recunoscut că *acţiunea umană* sau *răspunsul unei persoane este rezultatul unui proces*. În loc de acţiuni bazate pe şansă, întâmplare sau chiar acţiuni rezultând direct dintr-o schimbare a mediului, *acţiunile unui individ sunt, frecvent, rezultatul unui proces de luare a deciziei*.

Cercetarea în domeniul dezastrelor, bazată pe teoria socială ştiinţifică, a dus la dezvoltarea modelelor proceselor social-psihologice pentru răspunsul la avertizare/alarmare publică. Aceste modele specifică faptul că oamenii trec printr-un *proces cu faze specifice*, incluzând *auzirea*, *înţelegerea*, *încrederea*, *personalizarea avertismentului*, faze pe care ei le consideră aspecte ale răspunsului înainte de a acţiona. În plus, cercetători în domeniul evacuării în caz de incendiu au arătat că un proces care implică fazele recunoaşterii şi interpretării mediului influenţează acţiunile ocupantului. În aceste modele, există indicii specifice şi factori privind ocupantul care influenţează rezultatele fiecărei faze a procesului (exemplu, dacă persoana aude avertismentul sau interpretează corect situaţia). Factorii privind ocupanţii se referă la: *demografie* (exemplu: genul, vârsta, venitul, educaţia, rasa, statusul marital), *experienţe anterioare* şi *cunoaştere*.

O înţelegere a procesului comportamental şi a factorilor care au influenţă asupra fiecărei faze pot duce la dezvoltarea unui model conceptual pentru prezicerea tipurilor de comportament individual care s-ar putea manifesta în timpul incendiilor la clădiri.

Procesul comportamental în perioada pre-evacuării sau evacuării sunt prezentate în figura 5.1:

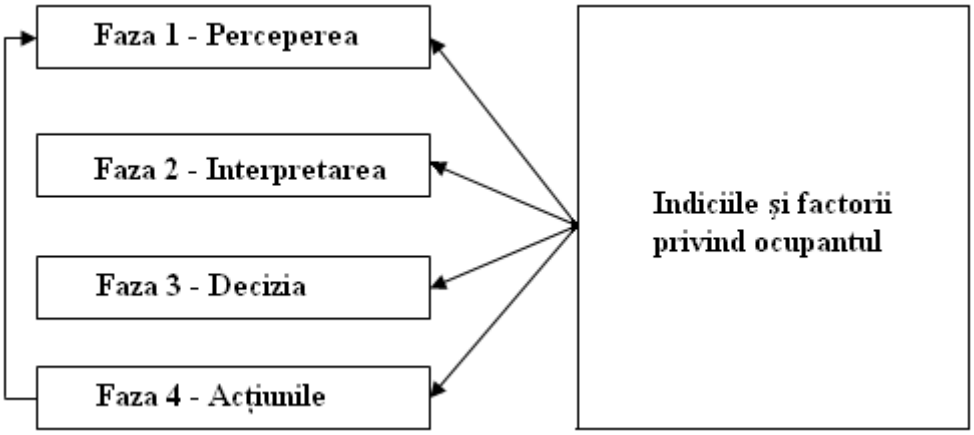


Figura 5.1 Fazele procesului comportamental al persoanei aflată în situaţia de incendiu

Faza 1 sau *faza perceperii/primirii indiciilor fizice externe* (flăcări, fum, geamuri sparte, dărâmături, sunete de alarmă etc.) şi *sociale* (comunicarea cu alte persoane din exteriorul sau din interiorul clădirii, avertismente oficiale sau neoficiale, acţiuni ale celor din clădire etc). Într-un incendiu de clădire, ocupanţii vor avea mereu indicii externe. Aceste indicii pot să apară rând pe rând sau mai multe în acelaşi timp, în funcţie de eveniment. Faza percepţiei implică primirea sau observarea, de către ocupant, a indiciilor care îl determină să devină conştient de faptul că ceva în preajma lui s-a schimbat. Indiciile fizice şi sociale produse într-o clădire supusă unui incendiu pot fi percepute de ocupanţi prin intermediul auzului (exemplu, o alarmă de avertizare), mirosului (exemplu, fum), vederii (exemplu, alte persoane care fug), gustului (exemplu, dioxid de sulf sau clorură de hidrogen) şi/sau atingerii (exemplu, căldură).

Faza 2 sau *faza interpretării*. Ocupantul sau grupul încearcă să interpreteze informaţia furnizată de indiciile percepute în timpul primei faze. Interpretarea poate fi văzută ca un proces de organizare a indiciilor primite într-un cadru; construirea unei poveşti semnificative pe baza indiciilor, dând un sens situaţiei, prin imaginarea a ceea ce se întâmplă. Metodele de interpretare includ accesarea scripturilor deja existente (dezvoltate anterior), simulare mentală, utilizarea modelelor mentale, asociarea unui sens şi procese comportamentale colective cum ar fi învârtirea sau intensificarea interacţiunii. Ocupanţii se angajează în asemenea metode în timpul incendiilor sau al altor urgenţe, deoarece aceste evenimente creează necesitatea interpretării prin întreruperea şi subminarea tiparelor de interacţiune normale şi *crearea incertitudinii*.

Scenariile comportamentale, simularea mentală şi modelarea, asocierea cu un anumit sens, sunt procese interioare de interpretare individuală desfăşurate pentru o formulare şi interpretare mentală. Ocupanţii folosesc scenariile comportamentale pentru a interpreta un eveniment atunci când indiciile evocă amintiri sau situaţii interioare în care s-a creat o interpretare. Simularea mentală şi modelarea permit ocupantului să dezvolte imagini cognitive despre ce se petrece în preajma sa, bazat pe indiciile pe care le-a primit. Esenţial, ocupantul începe să "picteze" o imagine mentală sau o poveste a evenimentului bazat pe rezultate (exemplu: indiciile).

Sensul pe care îl dă grupul şi comportamentul uman implică interacţiunea între ocupanţi pentru a dezvolta, împreună, o înţelegere a situaţiei de urgenţă. În situaţii noi sau ambigue, sau situaţii de urgenţă, ocupanţii tind să interacţioneze cu cei din jurul lor. Acest tip de interacţiune, care este intensificat în clădire prin densitatea mare de populaţie, a fost dovedit într-o diversitate de incidente, ca un mijloc de a stabili ce se petrece, pentru a defini noua situaţie şi pentru a propune şi adopta noi norme, mai potrivite, pentru comportament. Prin strategii motivaţionale de grup sau individuale, ocupanţii pot construi înţelesuri pentru indiciile pe care le percep în situaţii de incendiu. În aceste tipuri de situaţii, conducătorii pot merge până la a sugera interpretări ale evenimentului care, apoi, pot fi încorporate în interpretarea ocupanţilor.

În cazul incendiilor sau altor evenimente extreme, există trei *stagii principale ale interpretării* (figura 5.2):

- *interpretarea indiciilor primate*;
- *interpretarea situaţiei* (exemplu: incendiu);
- *interpretarea sau definirea riscului pentru sine şi pentru ceilalţi*.

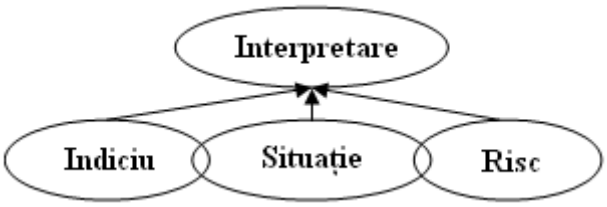


Figura 5.2 Stagiile principale ale interpretării

Dacă ocupantul recunoaşte indiciul, defineşte corect situaţia şi înţelege riscul, va realiza acţiuni protective pentru a începe procesul de evacuare. Totuşi, iniţial, ocupanţii sunt predispuşi să interpreteze situaţia ca şi cum nimic nu este în neregulă, aceasta fiind o înclinaţie normală, considerând că nu sunt supuşi riscului. Interpretarea fazei din perspective riscului este esenţială prin a fi înţeleasă deoarece persoanele trebuie să interpreteze situaţia ca fiind periculoasă, pentru a determina acţiunea de evcuare.

Faza 3 sau *faza luării deciziei*. Ocupanţii hotărăsc ce au de făcut bazându-se pe interpretarea indiciilor, situaţiilor şi riscurilor. Această fază este un proces care conţine două părţi: *ocupanţii caută iniţial opinii despre ce au de făcut* si, apoi, *aleg una din aceste opinii*.

Privitor la prima parte a fazei de luare a deciziei, literatura de specialitate, apărută în urma cercetărilor, sugerează că ocupanţii îşi dezvoltă opiniile prin simulare mentală, similar cu metodele de dezvoltare a interpretărilor. Simularea mentală permite unui ocupant să structureze mental scenarii despre ce şi cum vor face în situaţia dată. Căutarea de opţiuni devine procesul dezvoltării mentale a scenariilor de acţiune înainte de a trece la acţiune.

Căutarea opţiunilor pentru ce este de făcut poate avea loc colectiv, în grupuri. În plus, la interpretarea unui eveniment, grupurile lucrează împreună pentru a planifica o acţiune coordonată care va rezolva problema prezentată de interpretare (dacă există una). Sugestii pentru acţiuni pot veni de la orice membru din grup, deşi conducătorii sunt cei care, probabil, vor veni cu sugestii pentru următoarele acţiuni. În faţa incertitudinii şi presiunii timpului, oamenii tind să se adune împreună, să-şi împărtăşească interpretările şi să definească planuri pentru o acţiune colectivă.

Cercetările sugerează că indivizii sau grupurile dezvoltă un număr foarte mic (chiar insuficient) de opţiuni, în condiţiile:

- timpului perceput ca presant;
- resurselor mentale limitate;
- instruirii şi cunoaşterii procedurilor.

Presiunea timpului determină ocupanţii/grupurile de ocupanţi să perceapă mai puţine indicii, să proceseze informaţia incomplet şi, în schimb, să ia în considerare un set limitat de indicii. De asemenea, oamenii nu-şi consumă prea multe resurse intelectuale, ci preferă să ia în considerare doar scenariile care cred ei că sunt necesare pentru atingerea scopului. În final cercetările sugerează că ocupanţii care sunt foarte antrenaţi şi/sau cunosc procedurile specifice vor fi ghidaţi de cunoştinţele dobândite prin antrenament şi nu vor dezvolta mai mult de o opţiune la un moment dat.

Privitor la a doua parte a fazei de luare a deciziei, alegerea opţiunii care va fi executată, cercetarea bazată pe raţionalitate pretinde că ocupanţii vor face alegerea optimă, luând în considerare toate opţiunile dezvoltate şi alegând-o pe cea mai bună (aceasta este cunoscută ca *strategie de alegere raţională*). Într-o situaţie de incendiu, cântărirea mai multor opţiuni este puţin probabilă. Cercetările asupra luării deciziilor în momente de incertitudine arată că ocupanţii utilizează o diversitate de euristici (*euristică*: metodă de studiu şi de cercetare bazată pe descoperirea de fapte noi) pentru a face alegerea. Euristicile sunt simple reguli pentru explicarea felului în care indivizii fac alegeri. Pe când unele cercetări ar putea vedea utilizarea euristicilor ca pe o sursă de influenţare a luării deciziei, alte cercetări văd euristicile ca pe forţe bazate pe utilizarea expertizelor. Exemple de euristici pe care ocupanţii le angajează în alegerea opţiunilor includ ancorarea sau focalizarea pe prima opţiune dezvoltată (cea mai uşoară de dezvoltat sau de readus), comparând toate opţiunile între ele şi alegând una în baza criteriilor de evaluare.

Satisfacerea este o metodă în care individul alege prima opţiune care pare că funcţionează, deşi nu neapărat cea mai bună opţiune dintre toate. Această euristică combină de fapt, într-o singură etapă, procesele dezvoltării opţiunii şi alegerii opţiunii.

Pe măsură ce persoana care trebuie să ia decizii dezvoltă opţiuni, evaluează fiecare opţiune şi încheie acest proces în momentul în care consideră că una din opţiuni satisface criteriile căutate. Pe cînd strategia alegerii raţionale este mai degrabă folosită atunci când

oamenii încearcă să optimizeze o decizie, satisfacerea pare să fie mai des folosită în situaţiile în care oamenii sunt foarte presaţi de timp sau în condiţii dinamice.

Faza 4 sau *faza acțiunilor*. Aceasta este cea în care ocupanţii ar putea trece la acţiune, în urma hotărârilor luate în faza anterioară. Dacă apar informaţii/indicii noi înainte de a începe să acţioneze, ocupantul va renunţa la acţiunea curentă şi va începe, din nou, procesul comportamantal (cu fazele descrise mai sus). Acţiunea implică executarea unui act fizic, chiar dacă acesta înseamnă aşteptarea sau chiar nemişcarea, ceea ce necesită un anumit timp pentru a fi îndeplinit. Cercetările au arătat că acţiunile, în funcţie de situaţie, pot include: căutarea informaţiei, aşteptarea, investigarea unui incident, alertarea celorlalţi, pregătirea pentru evacuare, asistarea altor persoane, lupta cu focul, căutarea altora sau salvarea lor. În general, etichetarea acestor activităţi ca acţiuni este potrivită, totuşi în cazul dezvoltării unui model comportamental, eventual modelare computaţională, este important de făcut distincţia între ţinte/scopuri şi acţiunile pe care le desfăşoară ocupanţii. Un scop este un obiectiv general/total al ocupantului (exemplu: lupta cu focul), care se traduce într-o serie de acţiuni care conduc spre atingerea obiectivului (exemplu ocupantul se va deplasa spre locul unde se află stingătorul, apoi spre locul în care se află focul).

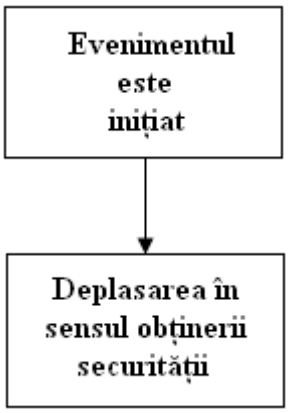
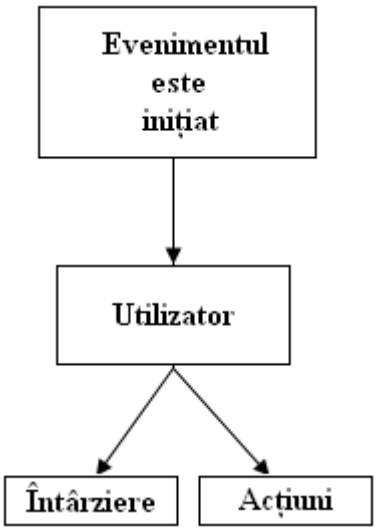
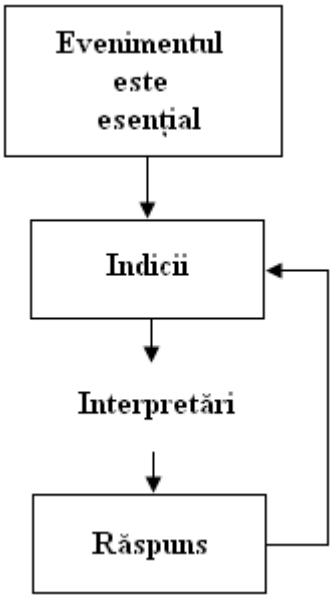
În cadrul discuţiilor curente, specialiştii propun dezvoltarea unui model conceptual care să se bazeze pe date şi teorii integrate într-un model de evacuare care să prevadă acţiunile ocupanţilor. În acest model conceptual propus, acţiunile ocupanţilor sunt rezultatul dezvoltării condiţiilor simulării (focul, clădirea, acţiunile altor ocupanţi) care devin date de intrare în procesul de luare a deciziei. Sunt multe beneficii ale dezvoltării unui model conceptual comprehensiv pentru comportamentul uman în situaţia de incendiu în clădiri. Un model computaţional care ar încorpora un model conceptual complet al comportamentului uman ar putea prezice situaţiile mai mult decât o fac rezultatele obţinute mai mult prin introducerea datelor de către utilizator.

Un model conceptual ar reduce responsabilitatea utilizatorilor modelelor de evacuare în ceea ce priveşte simularea comportamentului în timpul unui eveniment. Adiţional, un model comportamental comprehensiv pentru evacuarea clădirilor ar arăta unde este necesară colectarea mai multor date pentru a se putea înţelege, într-adevăr, comportamentul uman în evacuarile viitoare (tabelul 5.1).

Utilizarea teoriei

Următoarul pas în dezvoltarea unei teorii comprehensive este analizarea calitativă a datelor din evenimentele actuale, pentru a identifica indicii şi factori care, în relaţie cu ocupantul, influenţează fiecare fază a procesului comportamental. De exemplu: date dintr-un eveniment actual ar putea arăta că anumite indicii, de exemplu o alarmă de incendiu poate fi interpretată ca “alarmă falsă” de anumite tipuri de ocupanţi şi doar un nivel redus de percepere a riscului, ceea ce duce la desfăşurarea unor activităţi care întârzie evacuarea: continuarea activităţii, continuarea somnului, pe când instrucţiunile de evacuare furnizate de un membru al departamentului de incendiu produce un proces comportamental sau un set de acţiuni complet diferite. Odată ce aceşti factori sunt legaţi de interpretări specifice, de perceperea riscului şi activităţilor următoare, poate fi dezvoltat un model comportamental. În continuare, teoria comportamentală poate fi tradusă într-un limbaj de programare, testată şi utilizată în programele pentru calculul evacuării persoanelor aflate în situaţia de incendiu. În orice caz, acest model va trebui validat cu date din alte evenimente de evacuare la incendiu.

Tabelul 5.1 Modele de evacuare umană din clădiri în situația de incendiu

a. Modelul curent non-comportamental	*b. Modelul curent comportamental*	*c. Modelul propus comportamental*
		
Nici un comportament nu este simulat. Indivizii încep să se evacueze prin căile definite imediat ce începe evenimentul.	Utilizatorul determină, în faza de configurare a modelului, tipurile de răspuns pe care ocupanţii le-ar putea avea, şi aceste acţiuni sunt păstrate pe toată perioada simulării. Grupul sau individul pot întârzia şi/sau desfăşura o acţiune sau o serie de acţiuni bazându-se pe parametrii definiţi iniţial de utilizator.	Datele şi teoria care stau la baza modelului prezic răspunsurile comportamentale ale ocupanţilor bazându-se pe indiciile percepute de ei şi de interpretările făcute / deciziile luate. Individul, în această simulare, poate dezvolta o interpretare a unui indiciu, a situaţiei şi a riscului şi apoi ia o decizie despre ce urmează să facă. Aceasta s-ar putea întâmpla, pentru un individ de fiecare dată când percepe un indiciu.

5.2 Principii de bază privind performanţa la evacuare a persoanelor

Consideratii generale

Performanţa umană este:

- *contextuală*, respectiv persoanele, întotdeauna, răspund situaţiilor în care se află, iar *situaţiile* sunt acele caracteristici ale contextului sau mediului interpretate de fiecare persoană în parte (doar o mică parte din informaţia disponibilă dintr-un context devine parte a situaţiei, deoarece oamenii sunt capabili să proceseze o cantitate relativ mică de informaţii existente la un moment dat) și

- *holistică*, respectiv, persoanele pot înţelege şi prevedea performanța umană examinând modul în care acestea interacţionează cu contextele comportamentelor lor. În principal, *contextul poate fi categorisit* ca: *material* şi *social*.

Două pot fi şi *categoriile atributelor persoanelor*: a *capabilităţilor fizice* şi a *capabilităţilor cognitive* (precum cea a unei chelneriţe al cărui rol o va determina să ajute celelalte persoane înainte de a se evacua ea însăşi).

Nivelul de conştienţă şi bunul proiect, constituie un alt element care determină comportamentul uman, nivelul de conştienţă referindu-se la percepţia persoanei cu privire la context, mai ales în ceea ce priveşte modul în care mediul îi vine în ajutor sau, dimpotrivă, îi îngrădeşte acţiunea. Este importantă abilitatea persoanei de a-şi putea imagina cum se poate schimba mediul în viitor. De exemplu, mulţi oameni subestimează viteza cu care un foc poate să crească, cu atât mai mult cu cât calea de evacuare a clădirii este complexă. Este importantă acurateţea informaţiilor pe care persoana trebuie să le primească în legătură cu aspectele relevante legate de ceea ce îi poate asigura securitatea în mediul în care se află. De exemplu, persoana poate vedea semnele unde este inscripţionat IEŞIRE care o vor ajuta să găsească o cale de evacuare; acest aspect nu este, însă, suficient. Persoana trebuie, de asemenea, să ştie că acea cale de evacuare pe care se află, eventual casa scării, nu este plină cu fum.

Persoana trebuie să fie capabilă să interpreteze informaţia cu acurateţe.

5.3 Comportamentul uman și ingineria securităţii la incendiu (1)

(*după Meacham, Brian J., Society of Fire Protection Engineers, USA, 1999*)

Consideraţii generale

Multe ţări din lume au implementat sau sunt în tranziţie spre un sistem bazat pe performanţă în construcţii. O componentă cheie într-un astfel de sistem este abilitatea de a găsi soluţii pentru *realizarea siguranţei vieţii în cotextul securităţii la incendiu*, soluţii care să înlocuiască simpla aplicare a regulamentelor şi măsurilor tradiţionale de siguranţă (adică să înlocuiască abordarea prescriptivă, curentă).

Totuşi, odată cu abilitatea de a găsi aceste soluţii, a apărut şi responsabilitatea asigurării unei analize cuprinzătoare în ce priveşte scenariile posibile de incendiu, caracteristicile şi răspunsurile posibile ale ocupanţilor clădirii.

Întrucât o soluţie dată de reglementări nu se referă direct la interacţiunea foc-om, o soluţie bazată pe performanţă ar trebui să ţină cont în mod explicit de caracteristicile ocupanţilor, abilităţile şi mecanismele de răspuns, acolo unde se demonstrează că este furnizat un nivel acceptabil de securitate.

În stabilirea unui nivel acceptabil de securitate, este necesar să se definescă condiţiile limită privind pericolul şi riscul ocupanţilor.

Stabilirea condiţiilor limită trebuie să fie realistă. Aşa cum evaluarea incendiului conduce la înţelegerea modului în care focul se dezvoltă în clădirea specificată, tot aşa evaluarea securităţii vieţii conduce la înţelegerea modului de afectre a ocupanţilor de către foc şi de către efluenţii acestuia (cum şi unde).

Aprecierea riscului la incendiu implică estimarea sau prevederea magnitudinii pierderilor aşteptate în urma unui incendiu, asociată unuia sau mai multor scenarii de incendiu specifice. În analizele de securitate la incendiu şi proiectarea clădirilor, evaluările riscului la incendiu sunt, de obicei, utilizate pentru a determina factori cum ar fi: potenţiale sursele de aprindere, potenţiale surse de combustibil, caracteristicile unei potenţiale creşteri a focului şi acele obiecte, caracteristici, procese sau sisteme care, dacă ar fi distruse de foc, ar duce la potenţiale pierderi. Un „obiect“ pe care majoritatea analizelor îl iau în considerare în evaluările potenţialelor pierderi este acela al ocupanţilor clădirii. Într-o asemenea evaluare a riscului, criteriile sunt selectate pentru factori cum ar fi: răspunsul sistemului de detectare a incendiului, timpul de deplasare a ocupantului şi abilitatea ocupanţilor de a ajunge la un loc sigur înainte de a fi învinşi de efectele focului. La suprafaţă, această abordare pare a avea un sens bun. Totuşi, faptul că mulţi ingineri din domeniul securităţii la incendiu consideră oamenii ca fiind obiecte, este un lucru îngrijorător.

Drept urmare, inginerii din domeniul securităţii la incendiu, care nu sunt obişnuiţi să considere acei factori care influenţează oamenii înainte de a începe efectiv să evacueze clădirea şi acei factori care influenţează oamenii în timpul evacuării, ignoră multe răspunsuri umane importante, factori psihologici şi de comportament în evaluarea pe care o fac privind riscul la incendiu. Aceasta ar putea duce la presupuneri cum ar fi: toţi ocupanţii vor auzi alarma de incendiu imediat ce detectorul de incendiu este activat, toţi ocupanţii vor începe evacuarea imediat ce vor auzi alarma, toţi ocupanţii se deplasează cu aceeaşi viteză şi toţi ocupanţii vor ajunge la un loc sigur în intervalul de timp calculat. Totuşi, este clar că aceste presupuneri au unele deficienţe şi una din metodele de a-i determina pe ingineri să se focalizeze pe factorii răspunsului uman este aceea de a folosi estimarea riscului privind siguranţa vieţii.

Estimarea riscului privind siguranţa vieţii este un proces de predicţie a magnitudinii influenţelor aşteptate/anticipate asupra siguranţei vieţii, asociat cu unul sau mai multe scenarii de incendiu specifice, unde influenţele asupra siguranţei vieţii iau în considerare caracteristici relevante ale persoanelor implicate într-un incendiu, într-o clădire/construcţie.

O astfel de definiţie nu doreşte să abată atenţia inginerilor de la iniţierea sau dezvoltarea focului, dar i-ar putea ajuta să-şi focalizeze atenţia mai bine asupra modurilor în care focul afectează oamenii şi asupra felului cum este anticipat răspunsul acestora în timpul incendiului.

Sunt de luat în considerare şi diferenţele în expunerea la risc a diferitelor segmente de populaţie (exemplu: copii, aldulţi şi persoane în vârstă, cu sau fără dizabilităţi), diferenţele între indivizi din acelaşi segment de populaţie care ar putea afecta calculele şi estimările, cât şi incertitudinea şi variabilitatea echipamentelor/uneltelor de evaluare şi proiectare, a produselor de siguranţă la foc. De asemenea, trebuie luat în considerare şi mediul ambiant al clădirii.

5.3.1 Răspunsul comportamental la semnalele de alarmă

Mulţi proiectanţi din domeniul securităţii la incendiu presupun că *ocupanţii unei clădiri sunt alertaţi de un semnal* (*non-voce*), provenit de la un detector de fum şi preluat de un sistem de alarmare din clădire; se mai presupune că *ocupanţii vor recunoaşte semnalul ca fiind o alarmă de incendiu*, că *îl vor accepta ca adevărat şi vor răspunde pozitiv imedia*t (vor începe evacuarea conform procedurilor în caz de urgenţă din planul de evacuare). Totuşi, *acestea nu vor avea loc exact aşa cum este de aşteptat*.

Primul aspect care trebuie luat în considerare privind alarmarea este acela că *multe clădiri* (*obişnuite*) *utilizează sistemul pentru alertarea oamenilor tip non-voce* (sonerii, sirene, dispozitive de semnalizare piezo-electrice) şi doar *clădirile înalte, şi spaţiile aglomerate necesită şi utilizează sistemul pentru alertarea oamenilor tip voce*.

Din nefericire, oamenii nu răspund bine la semnalele non-voce şi se presupune că acest lucru se întâmplă deoarece oamenii nu ştiu sigur ce indică acel semnal de alarmă pe care îl aud, dacă indică un incendiu sau dacă este doar o testare a sistemului de semnalizare la incendiu sau dacă are loc o instruire.

De asemenea, decizia de a părăsi clădirea la declanşarea alarmei de incendiu depinde de experienţa ocupantului în ceea ce priveşte sistemul de alarmare din clădire şi, de multe ori, decizia va fi să nu părăsească clădirea. Într-un asemenea caz, răspunsul întârziat rezultă din faptul că ocupantul nu ştie dacă este o alarmă falsă şi nu identifică semnalul cu o indicare a unui incendiu sau o ameninţare a vieţii.

Al doilea aspect care trebuie avut în vedere privind alarmarea este *capacitatea oamenilor de a auzi* sau *vedea un semnal de alarmă*; există diverse aspecte legate de *audibilitate* şi *vizibilitate* (de exemplu, atenuarea sunetului produsă de materialele de construcţii).

Un prim factor important privind audibilitatea este *frecvenţa semnalului*. În primul rând, pe măsură ce frecvenţa semnalului creşte, nivelul de presiune a sunetului descreşte. În al doilea rând, în general, oamenii aud frecvenţele joase mai bine decât frecvenţele înalte. Aceşti factori par să indice că *semnalele de alarmă de frecvenţă joasă ar fi mai indicate pentru alertarea*

oamenilor. Un studiu (*Huey RW, Buckley BJ şi Lerner ND în 1994*) indică faptul că oamenii, în special cei tineri şi cei bătrâni, răspund mai bine la semnale de alarmă la 500 Hz decât la cele la 4000 Hz. Cu toate acestea, la majoritatea detectoareleor de fum rezidenţiale, frecvenţa semnalului este 4000 Hz.

Un al doilea factor important privind audibilittea este *nivelul sunetului ambiental* care variază în funcţie de locaţia geografică, anotimp, destinaţia clădirii şi mulţi alţi factori.

În multe cazuri, *puterea minimă a sunetului este de 70÷85 dBA* sau *15 dBA peste nivelul specificat al ambientului* şi măcar 70÷75 dBA *la nivelul pernei* în camerele de dormit. În plus, în astfel de cazuri, trebuie luat în considerare faptul că a crescut nivelul de zgomot în trafic de-a lungul timpului şi, de asemenea, zgomotul produs de aparatele de aer condiţionat (55 dBA), televizoare etc..

Toate aceste aspecte trebuie luate în calcul pentru stabilirea nivelului sunetului la dispozitivele de alarmare. În plus, în clădirile cu apartamente care au coridoare comune, *nivelul sunetului pe coridor ar trebui să fie mai mare de 100 dBA pentru a ajunge în apartament la un nivel de 70 dBA*, dar în acest caz un semnal de alarmă atât de puternic ar putea să împiedice comunicarea între ocupanţi, lucru foarte important.

Alt factor important în analizarea audibilităţii este *condiţia fizică a ocupantului*. Factorii fiziologici de bază influenţează foarte mult răspunsul ocupanţilor în caz de incendiu. De exemplu, doi oameni pot reacţiona foarte diferit la acelaşi incendiu; aceeaşi persoană poate reacţiona foarte diferit de la o zi la alta. Abilitatea fiziologică a unui ocupant de a rezista la condiţiile create de incendiu (căldură, fum şi gaze), depinde de *o combinaţie între vârstă, mărime, greutate, probleme fizice sau medicale pre-existente, prezenţa medicaţiei, drogurilor, alcoolului*. Conform statisticilor, cel puţin 10% din cei care mor în incendiile rezidenţiale sunt afectaţi de alcool sau alte tipuri de droguri la momentul morţii. În cazul persoanele cu probleme de auz sau care iau pastile pentru dormit sau altă medicaţie, semnalul de alarmă ar trebui să aibă nivelul sunetului ambiental la peste 100 dBA, pentru a putea fi auzit.

5.3.2 Răspunsul comportamental la acţiunea directă a focului

Presupunând că ocupanţii clădirii vor auzi semnalul de alarmă, următoarea etapă în aprecierea riscului privind siguranţa vieţii este luarea în considerare a felului în care oamenii ar putea reacţiona la alarmă sau alte indicaţii/indicii privind incendiul. Trebuie analizate acele categorii ale comportamentului uman în situaţia de incendiu care sunt relevante pentru inginerii proiectanţi.

După ce un ocupant percepe şi înţelege un semnal de alarmă sau alt indiciu legat de foc (precum fumul, căldura şi/sau flacăra), urmează un proces de interpretare a informaţiei, în urma căruia ocupantul va decide dacă alarma sau indiciile sunt o reală ameninţare pentru el. S-a observat că *şase sunt componentele de bază ale procesului de luare a unei decizii de către oamenii aflaţi în situaţia de incendiu*: *recunoaşterea, validarea, definirea, evaluarea, angajarea, reevaluarea*.

Recunoaşterea. Pentru oamenii aşezaţi/întinşi, primul indiciu de foc poate fi foarte ambiguu sau neclar. În fapt, oamenii se pot îngrijora că ceva este în neregulă, dar în mod optimist speră că ameninţarea este falsă. În unele cazuri, tranziţia între conştientizarea unui indiciu şi recunoaşterea ca ameninţare se face aproape instantaneu (dacă oamenii văd foc şi fum dens la 3 m în faţa lor, percep situaţia ca o ameninţare a vieţii). În alte cazuri, există un timp de decalaj între momentul în care devin conştienţi de indicii şi recunoaşterea ameninţării. Trebuie luată în considerare şi influenţa *alarmelor false* şi a celor declanşate la testarea sistemului. Deşi industria de protecţie împotriva incendiilor consideră pozitive aceste testări, majoritatea oamenilor le percep ca pe ceva negativ. Când oamenii sunt supuşi destul de des la astfel de testări, poate apărea sindromul *cry wolf* care îi determină pe ocupanţi să se îndoiască de veridicitatea semnalului de alarmă. Acest fapt poate întârzia reacţia ocupanţilor în cazul unui

incendiu real. În general, recunoaşterea ameninţării ca fiind reală necesită timp, uneori inexplicabil de mult, dar aceste situaţii trebuie luate în considerare de inginerii proiectanţi.

Validarea. Când oamenii nu sunt siguri de severitatea ameninţării, caută să se asigure că aceasta nu este atât de mare. Când ameninţarea pare mai serioasă, oamenii vor încerca să afle de la alţii mai multe informaţii: „Crezi că este, într-adevăr, necesar să părăsim clădirea?“ sau „Simţi miros de fum?“ sunt exemple de întrebări de validare.

Definirea. Oamenii structurează sau măcar încearcă să cuantifice informaţia despre o ameninţare; defininirea a cât de mult fum sau a cât de multă căldură simt sau cât de multe flăcări văd, îi ajută pe oameni să vadă ameninţarea relativ la propria lor situaţie.

Evaluarea. În timpul evaluării, oamenii decid dacă să utilizeze răspunsul „luptă sau fugi“ pentru a reduce riscul. Decizia este luată foarte repede, în câteva secunde, sub presinea mare a stresului şi ameninţării. Acţiunea altor persoane influenţează mult procesul de evaluare.

Angajarea. prin procesul de angajare, oamenii acţionează în conformitate cu decizia luată în timpul evaluării.

Reevaluarea. Dacă o acţiune nu pare că lucrează, persoana implicată devine mai anxioasă şi mai frustrată. Deciziile devin mai iraţionale şi probabilitatea de vătămare creşte.

Alt mod de a înţelege cum acţionează oamenii în situaţia unui incendiu este acela de a privi acţiunile lor din perspectiva a *patru concepte socio-psihologice*: *evitarea, angajarea, afilierea* şi *rolul*.

Evitarea. Oamenii simt că se pot proteja, psihologic, negând situaţiile neplăcute. Negarea psihologică este foarte comună în primele momente ale unui incendiu, încep explicaţiile pentru indiciile pe care le percep (prin intermediul mirosului, văzului, auzului). Evitarea explică de ce oamenii întârzie recunoaşterea ameninţării şi pierd multe minute ignorând situaţia.

Angajarea. Oamemii sunt, de multe ori, foarte angajaţi în activitatea curentă (stând la rând în supermarket, uitându-se la televizor, lucrând la birou etc.) atunci când primesc primele indicii despre incendiu; din cauza angajării/implicării, oamenii vor continua ceea ce făceau, în ciuda avertismentelor de pericol. De exemplu, într-un hotel sau clădire de birouri mulţi oameni care vor observa, în drumul lor prin clădire, luminile de avertizare în caz de incendiu îşi vor continua, totuşi, drumul.

Afilierea. De multe ori, nimeni nu începe evacuarea până când toate persoanele din grup (membrii familie, prietenii) nu sunt pregătite. Odată ce un grup a început evacuarea, cel mai lent membru determină viteza de deplasare pentru întregul grup. Afilierea este un concept atât de puternic, încât nu mai ţine cont de ameninţare. Indiferent de ameninţare, părinţii nu vor pleca fără copiii lor; copiii sunt refractari la a pleca fără rudele apropiate. Oamenii îşi vor aştepta colaboratorii, prietenii, pe oricine faţă de care se simt responsabili (exemplu: vecinii mai în vârstă care locuiesc lângă ei).

Rolul. Rolul sau status-ul/situaţia unui ocupant într-o clădire îi va determina răspunsul faţă de un incendiu sau altă urgenţă. De exemplu, vizitatorii dintr-o clădire vor fi mai pasivi în caz de urgenţă, faţă de rezidenţi sau angajaţi. Deoarece nu sunt familiarizaţi cu clădirea, vizitatorii pierd mai mult timp cu recunoaşterea şi validarea ameninţării. Ocupanţii se vor adresa supervizorilor sau altor autorităţi, pentru instrucţiuni.

Urmărind ce raportează oamenii că au făcut pe parcursul unui incendiu (şi în ce ordine), s-au putut cataloga acţiuni precum: *anunţarea altor persoane, anunţarea departamentului de incendiu, părăsirea clădirii, lupta cu focul*.

În studii recente despre comportamentul uman în situaţii de urgenţă s-au identificat următoarele mari *categorii de acţiuni ale ocupanţilor*, incluzând pe cei care: *investighează, caută informaţii, se pregătesc de evacuare, se evacuează, alertează pe alţii sau raportează incidental, asistă pe alţii, caută refugiu, aşteaptă*.

5.3.3 Răspunsul psihologic la efectele focului

Ca parte componentă, critică, a evaluării riscului privind siguranța vieţii este *selectarea criteriilor de rezistenţă şi supravieţuire* (importante în stabilirea succesului sau eşecului unui proiect propus) care sunt strâns legate de *condiţiile care au impact psihologic asupra persoanelor*: *temperatura, fluxul căldurii, opacitatea fumului, lipsa oxigenului, expunerea la gazele de ardere*.

Temperatura. Efectele temperaturii variază cu mărimea timpului de expunere la căldură, umiditatea relativă (umezeala din aer măreşte efectele căldurii), gradul de respirabilitate. Temperaturi mai mari de 44^0C pot începe să cauzeze arsuri la nivelul pielii, peste 50^0C produc un discomfort sever în gură, nas şi esofag. Moartea în urma hipertermiei are loc la temperaturi de aproximativ 100^0C. În estimarea potenţialelor arsuri, trebuie să se ţină cont de *combinaţia între temperatură şi timpul de expunere necesar pentru cauzarea unei arsuri*. Cu cât este mai mare temperatura, cu atât mai repede se va produce arsura. De exemplu, o arsură de gradul II se produce în 60 s cu o temperatură la suprafaţa pielii de 71^0C, în 30 s cu o temperatură la suprafaţa pielii de 82^0C, în 15 s cu o temperatură la suprafaţa pielii de 100^0C.

Fluxul căldurii. Acesta descrie disponibilitatea pentru forma de transfer de căldură a oricărei suprafețe, inclusiv a pielii umane. (în general, limita superioară a fluxului de căldură fără durere severă este de 2,5 kW/m^2 timp de 3 minute, echivalent cu a ţine mâna la 100 mm distanţă de un bec de 100 W timp de 3 min).

Opacitatea fumului. Aceasta este în legătură cu fumul vizibil care are două modalități de afectare negativă a psihicului uman în situația de incendiu: *prin reducerea vizibilității*, precum şi *prin apariția iritațiilor şi intoxicării* cauzate de inhalarea particulelor de fum (fumul poate avea şi efect emoţional, cauzând *instalarea fricii*) Deşi studii recente au arătat că fumul nu stopează, în cele mai multe cazuri, deplasarea, chiar în condiţii din ce în ce mai rele, totuşi reducerea vizibilității conduce la scăderea abilității de evacuare.

Lipsa oxigenului. În mod normal, oxigenul din aer reprezintă aproximativ 21%. Sistemul respirator şi cel nervos şi-au adaptat funcţionarea pentru această concentraţie. Când are loc o scădere, chiar uşoară, a oxigenului din aer, apar efecte psihologice. Efectele lipsei de oxigen asupra fiecărui individ variază (foarte mult) funcţie de: *vârstă* şi *condiţie generală* (tabelul 5.2).

Tabelul 5.2 Efectele lipsei de oxigen asupra persoanelor

Cantitatea de oxigen în aer %	*Timpul de expnere*	*Efectul*
17÷21	*Indefinit*	Descreştere a volumului respiraţiei, pierdere a coordonării, dificultate în gândire
14÷17	*2 h*	Puls rapid, ameţeală
11÷14	*30 min*	Greaţă, paralizie
9	*5 min*	Pierdere a conştienţei
6	*1÷2 min*	Moarte

Expunerea la gazele de ardere. Otrăvirea cu monoxid de carbon, conform rapoartelor, a cauzat aproximativ 50% din victimele incendiilor; monoxidul de carbon combinat cu alţi factori sunt responsabili pentru încă 30% din morţi. Monixidul de carbon se combină foarte uşor cu hemoglobina, scâzând abilitatea sângelui de a transporta oxigenul; acesta este atât de periculos, încât, chiar în cantităţi mici, poate produce incapacităţi sau chiar poate fi letal. O măsură a toxicităţii este *concentraţia expunerii, C, în părţi per milion* (*ppm*)×*timpul expunerii în minute* (*min*), respectiv *C*×*T* (*ppm*×*min*); *orice concentraţie de monoxid de carbon care depăşeşte 35,000 ppm*×*min este periculoasă* (tabelul 5.3).

Nivelurile de monoxid de carbon sunt frecvent exprimate ca *procentaj de saturaţie de carboxihemoglobină, COHb, în sânge*. În general, nivelurile de carboxihemoglobină sub 30% nu vor afecta abilitatea unei persoane de a se salva dintr-un incendiu; totuşi, de la 40% salvarea

devine mult mai dificilă. La nivelul saturaţiei de 50%÷60%, apar simptome severe şi chiar moartea. Este important de reţinut faptul că, deşi nivelurile de carboxihemoglobină sunt utile în măsurarea toxicităţii, totuşi nu este luată în considerare mărimea expunerii. Măsurarea CT ţine cont şi de timpul de expunere a victimei la pericol.

Tabelul 5.3 Efectele monoxidului de carbon asupra persoanelor

C_{CO} (ppm)	*Timpul de expunere (min)*	*CT (ppm×min)*	*Efecte*
200	*120÷180*	*24000÷36000*	Durerere uşoară de cap
800	*45*	*36000*	Durerere uşoară de cap
3200	*10÷15*	*32000÷48000*	Ameţeală
3200	*30*	*96000*	Posibilă moarte
6900	*1÷2*	*6900÷13800*	Ameţeală
12800	*0,1 / (2÷3 respiraţii)*	*1280*	Inconştienţă
12800	*1÷3*	*12800÷38400*	Moarte

5.3.4 Integrarea comportamentului uman în procesul de proiectare

În procesul de proiectare trebuie luate în considerare *întârzierile care preced începerea evacuării de către ocupanţi*, *întârzierile din timpul evacuării*, precum şi *situaţiile în care unele persoane nu se pot evacua singure*.

În cazul unei abordări deterministe a *ameninţării la securitatea vieţii*, factorii prezentaţi anterior pot fi văzuţi ca variabile dependente de timp care pot defini bazele unei *analize la stări limită*; în acest caz *ipoteza care ar sta la baza stărilor limită* ar fi: *timpul necesar pentru ocupanţii care nu se află în contact direct cu materialele care ard, pentru a ajunge la un loc sigur, trebuie să fie mai mic decât timpul în care condiţiile necesare evacuării nu mai pot fi îndeplinite*, relaţia 5.1,

$$\phi E < \gamma H \tag{5.1}$$

unde: E este timpul de evacuare sau de sosire într-un spaţiu sigur;

H - timpul de instalare a unei situaţii limită;

ϕ - factorul de incertitudine privind timpul de evacuare;

γ - factorul de incertitudine privind timpul de instalare a unei situaţii limită.

O astfel de relaţie poate fi, în continuare, dezvoltată în componente atât cu privire la timpul de evacuare, cât şi cu privire la timpul de instalare a unei situaţii limită.

De exemplu, o diversitate de factori ai comportamentului uman ar putea afecta timpul de evacuare, E, precum timpul de detectare a incendiului, timpul de recunoaştere a ameninţării focului şi timpul necesar unui ocupant pentru decizia de începere a evacuării. Există, de asemenea, o diversitate de caracteristici ale ocupanţilor care trebuie luate în considerare, cum ar fi vârsta, mobilitatea, afilierea şi rolul.

Asemănător, o diversitate de factori ar putea afecta timpul de instalare a unei situaţii limită, H, precum timpul de atingere a unei limite superioare date pentru temperatură, de atingere a unui nivel dat pentru fluxul de căldură radiantă, de atingere a unei vizibilităţi date (în termeni de adâncime sau procent al opacităţii stratului superior), de atingere a unei concentraţii date pentru produsele toxice.

De exemplu, dacă considerăm o situaţie în care ţinem cont atât de *timpul de detectare a incendiului*, t_{FD}, cât ţi de *timpul de precedere a mişcării*, t_{PM}, dar şi de *timpul de deplasare a ocupantului*, t_{OM}, suma tuturor aceşti timpi trebuie să fie mai mică decât timpul pentru atingerea nivelului de temperatură înaltă corespunzător unui anume criteriu de *suportabilitate* (eng. *tenability*); situaţia poate fi descrisă conceptual astfel de relaţia 5.2.

$$\phi_{FD} \times t_{FD} + \phi_{PM} \times t_{PM} + \phi_{OM} \times t_{OM} < \gamma_{UT} \times t_{UT} \quad (5.2)$$

Relaţia 5.2 arată că, pentru a avea loc evacuarea ocupantului cu succes, suma timpilor de detectare a incendiului, de pregătire a deplasării şi de deplasarea propriu-zisă trebuie să fie mai mică decât timpul necesar pentru atingerea unui nivel de temperatură ridicată corespunzător unui anume criteriu de suportabilitate.

Relaţia 5.2 poate fi dezvoltată dacă se doresc mai multe detalii. De exemplu, *timpul post-alarmă*, t_{PA}, (adică timpul anterior deplasării şi timpul de deplasare, $\phi_{PM} \times t_{PM} + \phi_{OM} \times t_{OM}$) poate fi împărţit/dezvoltat ca în relaţia 5.3.

$$t_{PA} = C_{AG}\, C_{AF}\, C_C\, (C_{AU}\, \phi_{OR} \times t_{OR} + \phi_{OD} \times t_{OD} + C_M\, \phi_{OM} \times t_{OM}) \quad (5.3)$$

În acest exemplu, componentele de timp fundamentale sunt date ca: *timpul de recunoaştere al ocupantului*, t_{OR}, *timpul de luare a decizie*, t_{OD}, *timpul de deplasare*, t_{OM}. Asociat cu fiecare din aceste componente este un factor de incertitudine, ϕ, care este folosit pentru a adapta incertitudinile în valorile selectate ale timpului de răspuns. Fiecare din aceste componente se poate dezvolta în şi mai multe componente de bază (de exemplu viteza de deplasare pe suprafeţe orizontale şi pe scări), dacă este necesar. În plus, *factorii de variabilitate* sunt adăugaţi pentru următoarele ajustări necesare în proiectare:

- *factorul de vârstă*, C_{AG}, care ar putea fi necesar pentru a ţine cont de răspunsul încetinit şi timpul de deplasare în cazul copiilor şi bătrânilor;
- *factorul de afiliere*, C_{AF}, care ar putea fi necesar pentru ajustarea timpului de ieşire prin introducerea unor factori cum ar fi: căutarea membrilor familiei sau aşteptarea ca altcineva să acţioneze;
- *factorul de angajare*, C_C, care ar putea fi necesar pentru ajustarea timpului de ieşire prin introducerea unor factori cum ar fi: întârzierile date de încercarea de a termina activitatea care era în desfăşurare sau acţiunea de a se asigura că toate luminile sunt stinse înainte de părăsirea reşedinţei;
- *factorul de audibilitate*, C_{AU}, care ar putea fi necesar pentru ajustarea timpului de recunoaştere bazat pe audibilitatea semnalelor dispozitivelor de alarmă;
- *factorul de mobilitate*, C_M, care ar putea fi necesar pentru ajustarea timpului de ieşire pentru persoanele cu dizabilităţi motorii.

În concluzie, având datele existente şi cunoaşterea tot mai avansată a factorilor umani, este posibilă *aplicarea de metode stocastice* pentru:

- identificarea acelor factori influenţaţi de variabilitate;
- identificarea acelor factori influenţaţi de incertitudine;
- dezvoltarea distribuţiilor variabilităţii şi incertitudinii pentru a fi utilizate în relaţiile prezentate mai sus.

5.4 Comportamentul uman şi ingineria securităţii la incendiu (2)

(*după Daniel J. O Connor, P.E., FSFPE, Fire Protection Engineering, 2005*)

Consideraţii generale

Ca şi în cazul altor discipline inginereşti, ingineria protecţiei la incendiu utilizează în procesul de proiectare a construcţiilor, în mod obişnuit, ecuaţii, calcule şi modele matematice. Analizele inginereşti sunt tipic cantitative şi deterministe, iar inginerii din domeniul protecţiei la incendiu se bazează pe educaţia şi pregătirea lor în domenii ca matematica şi fizica pentru a îşi atinge obiectivele specifice. Trebuie subliniat faptul că inginerii proiectanţi, când ajung la

comportamentul uman, mulţi dintre ei, au o pregătire limitată în ce priveşte ştiinţele sociale şi comportamentale.

Inginerii proiectanţi nu ar avea probleme în calcularea unui rezultat final cu un set de ecuaţii şi criterii obiective care să anticipeze cu siguranţă comportamentul uman; *dar ecuaţiile şi criteriile obiective sunt, adesea, greu de stabilit*.

În 2003, *The Society of Fire Protection Engineers* a publicat *SPFE Engineering Guide - Human Behaviour in Fire*; documentul a fost dezvoltat cu aportul semnificativ al unor specialişti cu pregătire în *psihologie, ştiinţă comportamentală şi factori umani*. Astfel se recunoaşte importanţa comportamentului uman în securitatea la incendiu a clădirilor, dar observă și limitele cunoştinţelor curente în acest domeniu.

În timp ce mare parte din material este orientat pe calcule, este important de înţeles că integrarea comportamentului uman în procesul proiectării nu e o simplă chestiune de calcule inginereşti, cu rezultate demonstrabile.

Referitor la securitatea la incendiu a ocupanţilor unei clădiri, este important de înţeles şi de luat în considerare factorii care pot influenţa răspunsurile și comportamentele oamenilor ameninţaţi de foc. Anticiparea comportamentului uman şi predicţia răspunsurilor umane este unul din cele mai complexe domenii ale ingineriei în domeniul protecţiei la incendiu. Deoarece înţelegerea comportamentului uman la foc este limitată în comparaţie cu alte domenii ale ingineriei protecţiei la incendiu este dificil de prevăzut cu acurateţe răspunsurile şi comportamentele oamenilor în cazul unui incendiu.

Inginerii şi arhitecţii fac presupuneri prea des cu privire la comportarea populaţiei sau a ocupanţilor, fără a avea o bază teoretică solidă în domeniul comportării umane în general şi a comportării umane în situaţia de incendiu în special.

Un exemplu este presupunerea des citată a ocupanţilor care evacuează automat şi imediat o clădire la auzul *sunetului sistemului de alarmare la incendiu*. În timp ce presupunerea poate fi potrivită pentru unii ocupanţi care au un plan de urgenţă exersat şi un conducător (exemplu şcolile), asemenea presupuneri s-au arătat eronate pentru alţi ocupanţi care nu au o astfel de structură organizaţională.

Considerarea comportamentului uman în relaţie cu incendiul, atrage după sine urmărirea a trei direcţii de interes (identificate de Hall):

- a comportamentelor care cauzează sau previn incendiile;
- acomportamentelor care afectează incendiile;
- a comportamentelor care măresc sau reduc pagubele în urma unui incendiu.

În continuare vom trata în principal *relaţia comportamente-evacuare* şi *găsirea refugiilor*. Aceste comportamente se încadrează la *comportamente care măresc sau reduc pagubele în urma unui incendiu*. Totuşi, comportamente umane cum ar fi lupta cu focul a unui ocupant şi/sau lăsarea uşilor deschise/închise, care sunt asociate cu a doua categorie, pot fi critice pentru procesul de evacuare/refugiere.

5.4.1 Problema fundamentală a evacuarii umane în situaţia de incendiu

Timpul este măsura de bază pentru evacuarea persoanelor sau găsirea de către acestea a unui refugiu în situaţia de incendiu, iar comunitatea inginerilor ce activează în domeniul protecţia la incendiu s-a focalizat pe ideea că *timpul este problema cheie la care trebuie să ne raportăm când ne referim la comportamentul uman*.

Răspunsurile sau comportamentele critice care au contribuit la procesul de evacuare sunt descrise grafic pe linia timpului (figura 5.3).

În acest context s-au introdus conceptual:

- *timp disponibil pentru ieşirea în siguranţă* (*Available Safe Egress Time, ASET*), care reprezintă perioada între aprinderea focului şi instalarea condițiilor critice în spațiul incendiat și depinde de caracteristicile incendiului;

- *timpul necesar pentru evacuarea în siguranţă* (*Required Safe Evacuation Time, RSET*) care reprezintă perioada între aprinderea focului şi sosirea persoanelor într-un spaţiu sigur în condiţii de siguranţă şi depinde de comportamentul participanţilor la eveniment.

<table>
<tr><td colspan="4">Timpul de începere a evacuării .....Timpul de finalizare a evacuării</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3">Procesul de validare a indicaţiilor/indiciilor .. Procesul de continuare</td></tr>
<tr><td></td><td>Primirea indicaţiilor/ indiciilor</td><td>Interpretarea indicaţiilor/ indiciilor</td><td>Primirea, recunoaşterea, interpretarea</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3">Luarea deciziei</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">Deciziile dinaintea deplasării</td><td>Deciziile din timpul deplasării</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td>Timpul de deplasare/refugiere</td></tr>
</table>

Figura 5.3 Răspunsuri umane comportamentele care contribuie la procesul de evacuare

Predicţia RSET implică estimarea timpului care i-ar trebui unei persoane pentru a fi anunţată de posibilitatea unui incendiu, a timpului care i-ar trebui persoanei pentru activităţile dinaintea deplasării (cum ar fi alertarea altor persoane, căutarea membrilor familiei etc.) şi a timpului care i-ar lua persoanei pentru a ieşi într-un spaţiu sigur. În timpul evacuării ar putea exista alte comportamente, acţiuni sau inacţiuni care măresc timpul de evacuare.

În termeni comportamentali, procesele şi acţiunile mentale sunt o procesare continuă de informaţii şi luare de decizii. Aceasta este o distincţie importantă, atât timp cât, pe parcursul oricărei evacuări, ocupanţii sunt cei care primesc, recunosc şi interpretează indicaţiile/indiciile care le pot influenţa deciziile înainte sau în timpul deplasării lor spre o locaţie sigură. Desigur, în timpul deplasării, multe alte indicaţii/indicii (exemplu, fum, comunicările ocupanţilor) ar putea fi primite şi, întrucât acestea pot influenţa deplasarea, nu trebuie trecute cu vederea.

5.4.2 Comportamentul uman și proiectarea bazată pe performanţă

Consideraţii generale

Odată cu răspândirea analizelor, metodologiilor de proiectare şi ghidurilor publicate în ultimii 20 de ani, bazate pe performanţă, a fost recunoscută cu claritate nevoia considerării factoriilor comportamentului uman în ingineria protecţiei la incendiu. Dintr-o perspectivă mai largă, acum există ghiduri şi metodologii care iau în considerare comportamentul uman, care au lipsit în anii 1980; la nivelul internaţional, există numeroase organizaţii care elaborează normative şi standarde şi care au promulgat instrucţiuni cu caracter cantitativ şi calitativ în probleme referitoare la comportamentul uman (din Japonia, Australia, U.K., New Zeeland, ţările nordice, U.S.).

Teme comune ghidurilor privind comportamentul uman

Obiectivul securităţii la incendiu cu privire la viaţa persoanelor este ca proiectarea unei clădiri să asigure un timp suficient pentru evacuare într-un spaţiu sigur înainte de instalarea condiţiilor periculoase create de incendiu, care ar putea duce la grave răniri sau chiar decese. Unele norme nu iau deloc în considerare faptul că ocupanţii pot fi în contact direct cu sursa focului sau materielele care ard. Prin urmare, scenariul de evacuare la care fac referire diverse ghiduri este acela în care focul este cel puţin detaşat, dacă nu chiar la distanţă faţă de ocupanţi.

Instrucţiunile oferite de variatele norme şi documente internaţionale referitoare la comportamentul uman vizează, în general, patru teme/aspecte:

- caracteristicile clădirii;
- procedurile şi strategiile de evacuare;
- caracteristicile ocupanţilor;
- mediul în care are loc incendiul.

Aşa cum se arată în figura 5.4, caracteristicile clădirii furnizează contextul în care sunt introduse procedurile şi strategiile de evacuare. Atât caracteristicile clădirii cât şi strategiile de evacuare sunt trăsături relativ statice, care ar putea fi uşor identificate şi care sunt, până la urmă, cheia spre anticiparea şi evaluarea comportamentelor ocupanţilor care ar putea controla timpul de evacuare; analiza care trebuie efectuată rezultă din contextul clădirii şi strategia de evacuare (figura 5.4,). O înţelegere clară a clădirii şi strategiei de evacuare va permite evaluarea caracteristicilor ocupanţilor, proceselor cognitive (gândirea), deplasării/mişcării ocupanţilor şi, totodată, evaluarea mediului incendiat.

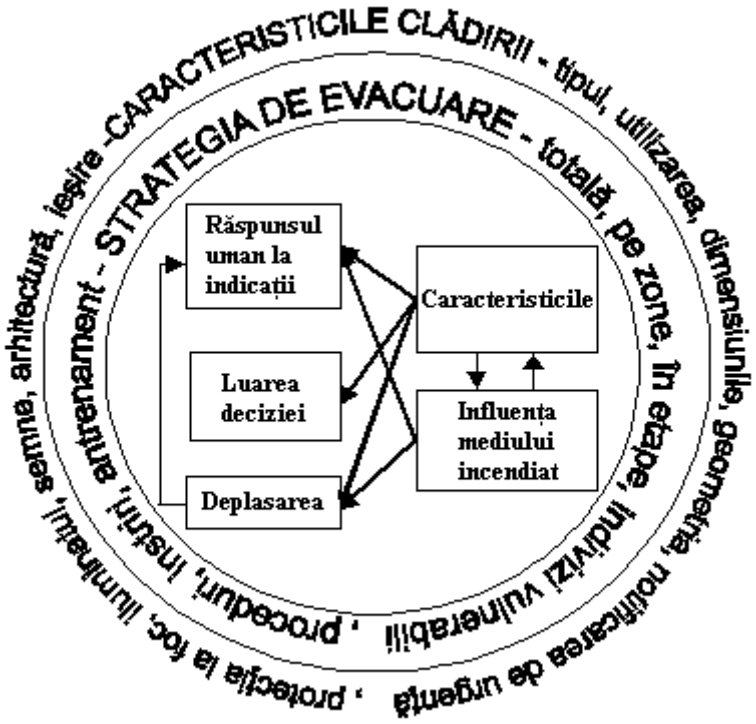


Figura 5.4 Contextul comportamentului uman

În figura 5.4 se observă că există un grad de complexitate dat de relaţionarea între factorii umani, care ar sugera faptul că este dificil de prezis cu acurateţe comportamentul ocupanţilor. Aşa stând lucrurile, analizarea comportamentului uman necesită o abordare care să integreze, calitativ şi cantitativ, date şi metode inginereşti de evaluare a timpului de evacuare sau deplasare într-un loc sigur.

Din multiplele documentele de instruire care conţin observaţii asupra comportamentului uman, cinci teme de bază sunt evidente; cele cu privire la:

- definirea caracteristicilor clădirii şi strategiei de evacuare;
- stabilirea caracteristicilor ocupantului şi identificarea subgrupurilor aparţinătoare;
- dezvoltarea presupunerilor legate de timpul prealabil deplasării;
- aprecierea timpului de deplasare;
- evaluarea/calcularea impactului mediului incendiat asupra ocupanţilor expuşi.

Această abordare recunoaşte faptul că nu există modele cuprinzătoare, validate, de evacuare care să privească răspunsul, comportamentul şi deplasarea ocupantului în timpul evacuării în situaţia de incendiu; se lucrează în continuare la dezvoltarea unor astfel de modele.

În acest moment există, în literatură şi studii de cercetare, informaţii cantitative şi calitative care pot uşura şi ghida analiza şi estimarea evacuării ocupanţilor. Informaţia calitativă este utilă pentru a defini parametrii unui scenariu de evacuare, identificând factorii umani critici, dezvoltând presupunerile şi sprijinind opinia inginerilor. În unele cazuri, cercetarea sau informaţia găsită în literatură se poate plia contextului specific unui scenariu de evacuare şi poate furniza date de o mare relevanţă, aplicabile la situaţia proiectată.

Tema 1: definirea caracteristicilor clădirii şi strategiei de evacuare

Caracteristicile clădirii şi vremii în timpul unui incendiu pot influenţa comportamentul ocupanţilor (tabelul 5.4). Aceşti factori sunt critici în evaluarea riscului prin expunerea la incendiu a ocupanţilor. Numărul, locaţia, modul de dispunere a ieşirilor sau zonelor de refugiu vor influenţa direct deplasarea ocupanţilor spre un loc sigur. Prevederea/prezenţa sau lipsa sistemelor de alarmare şi tipul sistemului (exemplu clopote, sirene, voce) vor influenţa analizarea felului în care ocupanţii vor deveni conştienţi de prezenţa incendiului şi estimarea timpului de răspuns. Caracteristicile unor clădiri ar trebui considerate în termeni calitativi, cum ar fi căile de ieşire (dacă sunt directe şi evidente sau complexe şi nefamiliare). Uneori, locaţia unei clădiri sau condiţiile climatice pot fi un factor de influenţă al evacuării. Într-un climat advers, poate apărea o împotrivire la evacuare sau timpul de pregătire petrecut pentru întâmpinarea condiţiilor climatice din afara clădirii pot influenţa timpul şi procedurile de evacuare care ar trebui urmate.

Tabelul 5.4 Factori şi consideraţii în analiza comportamentului uman (1)

Caracteristicile clădirii	*Strategii/proceduri de evacuare*
Tip şi funcţiune a clădirii	Evacuare totală, pe zone sau etapizată
Dimensiuni fizice	Toţi sau câţiva dintre ocupanţi au fost pregătiţi/antrenaţi sau instruiţi în ceea ce priveşte procedurile
Geometrie şi închideri/împrejmuiri	Prevederi pentru cei cu nevoi special: infirmi, cu dizabilităţi, încarceraţi
Număr şi mod de dispunere a ieşirilor	Frecvenţa antrenamntelor sau instruirilor
Caracteristici arhitecturale/complexitate	Cine este antrenat sau instruit?
Iluminat şi semnalizare	Apărare pe loc
Sisteme de informare în caz de urgenţă	Relocalizare
Sisteme de protecţie la foc	

Strategiile şi procedurile de evacuare furnizează informaţii care ar putea fi foarte relevante în determinarea comportamentului de ieşire al ocupanţilor. De exemplu, deşi ar putea exista o procedură de evacuare, dacă procedura nu necesită antrenament şi nici instruire, atunci aşteptările ca ocupanţii să se comporte conform planului pot fi înşelate. Invers, acolo unde ocupanţii sunt antrenaţi şi instruiţi periodic în legătură cu procedurile de evacuare, aşteptările legate de eficienţa ocupanţilor în ceea ce priveşte răspunsul şi comportamentul ar putea fi mai bine apreciate. Desigur, datele legate de evacuare obţinute în timpul instruirilor pot fi utile în evaluarea deplasării ocupanţilor.

Când sunt revăzute strategiile de evacuare, procedurile şi caracteristicile clădirii care se adresează persoanelor cu dizabilităţi ar putea necesita consideraţii independente, atât timp cât dizabilităţile sau afecţiunile le-ar putea influenţa comportamentul sau ar necesita un răspuns sau comportament suplimentar al altor persoane din clădire. Dizabilităţile care ar putea fi întâlnite includ:

- dizabilităţi legate de mobilitate (scaun cu rotile, dizabilităţi motorii);

- dizabilităţi vizuale (lipsa vederii);
- dizabilităţi de auz (surzenie);
- limitări fizice (astm, afecţiuni ale inimii etc.);
- dizabilităţi cognitive.

Tema 2: stabilirea caracteristicilor ocupantului şi identificarea subgrupurilor aparţinătoare

Caracteristicile ocupantului pot varia semnificativ în funcţie de variatele utilizări ale clădirii. În tabelul 5.5 se pot observa caracteristicile ocupantului. Pentru a putea prevedea răspunsul şi comportamentul ocupantului în timpul unui incendiu, caracteristicile acestuia trebuie revăzute, pentru a identifica natura unui grup sau a mai multor grupuri.

Tabelul 5.5 Factori şi consideraţii în analiza comportamentului uman (2)

Caracteristicile ocupanţilor	*Mediul incendiat*
Populaţie şi densitate	Fum şi gaze toxice
Indivizi singuri sau în grup	Temperatură
Familiarizarea cu clădirea	Vizibilitate
Distribuire şi activităţi	Transport, expunere, durată
Vigilenţă	
Abilităţi fizice/cognitive	
Rol/responsabilităţi	
Angajament/obligaţie de îndeplinit la faţa locului	
Punct focal	
Gen	
Cultură	
Vârstă	
Experienţă anterioară în ce priveşte incendiul/evacuarea	

Nu toate caracteristicile sunt factori esenţiali, dar cele care sunt critice (şi se aşteaptă ca acestea să influenţeze răspunsurile şi comportamentul grupului sau grupurilor) ar trebui observate cu atenţie. În practică, ar fi adecvat să ne bazăm pe un singur grup bine definit, care este recunoscut ca fiind cel critic şi este caracterizat ca fiind acoperitor. Totuşi, analize adiţionale ar fi potrivite când două sau mai multe grupuri distincte de ocupanţi sunt identificate. Caracteristicile ocupantului şi hotărârea grupului sunt importante în estimarea corectă a timpului de răspuns al ocupantului la indicaţii/indicii sau alarmări şi timpul acţiunilor ulterioare sau al comportamentului dinaintea sau din timpul deplasării ocupantului.

Tema 3: dezvoltarea presupunerilor legate de timpul prealabil deplasării;

Perioada de timp dinaintea deplasării în cazul oricărei evacuări (sau mutări) se consideră după dezvoltarea indicaţiilor/indiciilor referitoare la incendiu, dar înainte ca ocupanţii să fi luat o decizie de a se deplasa sau muta într-un spaţiu sigur. Procesele psihologice care influenţează perioada prealabilă sunt: validarea indicaţiilor/indiciilor şi procesele de suprapunere a deciziilor de a acţiona. În validarea indicaţiilor, informaţia va fi procesată după cum urmează:
- primirea indicaţiei (a da un sens indicaţiei);
- recunoaşterea indicaţiei (a identifica indicaţia);
- interpretarea indicaţiei (a da un înţeles indicaţiei).

Acestă întârziere asociată cu validarea indicaţiei va depinde de diversitatea de caracteristici a scenariului de evacuare, cum ar fi tipul de ocupare, natura sistemelor de

avertizare, procedurile de evacuare şi, desigur, natura şi numărul indicaţiilor date în momentul incendiului.

Cu privire la grupul sau grupurile de ocupanţi dintr-o clădire, ar trebui luate în considerare şi evaluate:

- indicaţiile/indicii legaţi de incendiu;
- semnalizarea sau sistemele de adresare din clădire;
- indicaţiile de la persoane care îi alertează pe alţii;
- indicaţiile date de serviciul responsabil în astfel de evenimente.

Indicaţiile/indiciile pentru cei apropiaţi de originea incendiului vor fi probabil diferite faţă de cele pentru cei aflaţi la distanţă sau în altă zonă a clădirii. De asemenea, eficacitatea indicaţiilor/indiciilor va varia în funcţie de caracteristicile ocupantului, locaţia ocupantului relativ la indicaţii/indicii şi alţi factori legaţi de clădire. Pentru a obţine un model, una sau mai multe indicaţii ar trebui să fie aplicabile unui grup de ocupanţi. Dată fiind selecţia indicaţiilor însuşite, reacţia la indicaţii şi timpul de validare trebuie stabilite utilizând datele disponibile obţinute în cercetare, cazuri istorice, modele decizionale sau opinia inginerilor.

Diversele ghiduri despre comportamentul uman furnizează asistenţă în acest domeniu, punând în discuţie şi făcând referire la multe surse din literatură şi cazuri studiate care ilustrează întârzierile asociate cu validarea indicaţiilor/indiciilor.

În *CIBSE-Guide E, Fire Engineering*, patru din nouă principii oficiale legate de comportamentul uman sunt considerate ca făcând referire la importanţa şi impactul potenţial al timpului de întârziere. Aceste principii sunt:

- decese/distrugeri în incendii la scară largă atribuite panicii au fost de fapt cauzate mai mult de întârzierile în recepţionarea informaţiei despre incendiu de către oameni;
- nu ne putem baza că alarmarea la incendiu va determina deplasarea promptă a oamenilor într-un spaţiu sigur;
- timpul de pornire (de exemplu, răspunsul persoanelor la o alarmă) poate fi mai important decât timpul în care se ajunge efectiv la o ieşire;
- multe din mişcările efectuate în fazele de început ale incendiilor sunt caracterizate de activităţi cum ar fi investigarea, mai degrabă decât evacuarea.

În strânsă legătură cu procesele de validare a instrucţiunilor, sunt procesele de luare a deciziilor care pot contribui mai mult la întârzierea prealabilă evacuării.

Deciziile care preced deplasarea pot fi luate cu sau fără validarea indicaţiilor/indiciilor. Acestea pot fi ambigue, ceea ce va determina decizia ocupantului de a căuta noi informaţii sau de a ignora indicaţiile primite. Unele ghiduri inginereşti au publicat tabele cu timpii prealabili deplasării pentru diverşi ocupanţi şi date specifice pot fi găsite în alte surse. Aceste tabele pot fi utile, dar ar trebui utilizate cu grijă, deoarece timpii care preced deplasarea sunt generici şi bazaţi pe păreri subiective, în general. Literatura specifică şi sursele neoficiale pot servi ca cele mai bune surse pentru timpul de întârziere care precede deplasarea.

Tema 4: aprecierea timpului de deplasare

În general, se presupune că în timpul unui incendiu la o clădire sau în timpul unei evacuări, ocupanţii vor lua decizia de a merge în lungul căilor spre ieşire spre un spaţiu sigur, cum ar fi o zonă protejată din interiorul clădirii sau o locaţie din afara clădirii. Presupunerea este, în general, valabilă pentru cele mai multe clădiri publice, nerezidenţiale. Cu toate acestea, timpul de decizie dinaintea deplasării ocupantului poate fi semnificativ şi studiile au arătat că unii ocupanţi ar putea decide să nu se deplaseze în modul cel mai potrivit. *Limitele propuse pentru timpul prealabil deplasării sunt 1÷30 min sau chiar mai mult*. Această decizie comportamentală de evacuare a fost citată ca având un rol major în accidenele şi rănirile care au avut loc în cazul clădirilor rezidenţiale înalte.

Autori ai studiilor şi-au pus serioase întrebări dacă evacuarea clădirilor înalte, inclusiv a hotelurilor, este cea mai potrivită soluţie. Frecvent, ocupanţii care au stat în camerele lor au fost

în siguranţă şi nu au fost răniţi, în timp ce aceia care au încercat să se evacueze au devenit victime. Aceşti autori au concluzionat că ocupanţii clădirilor rezidenţiale înalte ar trebui să stea pe loc în cazul unui incendiu.

Pentru celelalte clădiri nerezidenţiale, deplasarea ocupanţilor este de aşteptat şi estimarea acestui timp va necesita adesea utilizarea unei metode de calcul potrivite sau a unui model de evacuare pentru a estima timpul de deplasare, acesta fiind mai mult funcţie de viteza deplasării şi lungimea căii de evacuare.

Deşi calculul timpului de deplasare se reduce la o simplă relaţie matematică (distanţa raportată la viteză) este important să recunoaştem că numeroşi factori pot influenţa alegerea vitezelor şi distanţei străbătute. Distanţa este funcţie de alegerea ieşirii. Alegerea ieşirii de către un ocupant este deseori influenţată de familiarizarea acestuia cu clădirea, de disponibilitatea ieşirilor, de siguranţa de-a lungul căii de ieşire şi de gradul de dificultate la accesarea unei căi de ieşire.

Asociată cu viteza de deplasare, lista factorilor potenţiali este şi mai lungă:

- mobilitatea ocupanţilor;
- mobilitatea ocupanţilor afectată de dinamica grupului;
- numărul şi distribuirea ocupanţilor;
- nivelul iluminatului;
- influenţa fumului, dacă există;
- natura suprafeţelor pardoselilor şi pereţilor;
- geometria căii de ieşire (pasul scărilor, diferenţele de nivel etc.);
- lăţimea/lărgimea la care este restricţionată calea de acces (uşi, scări, coridoare);
- instruirea/antrenarea sau ghidarea de către un conducător.

Aceşti factori care influenţează consideraţiile asupra distanţei şi vitezei de evacuare au fost determinaţi atât din reevaluarea caracteristicilor ocupanţilor, cât şi ale clădirii. S-ar putea să fie necesar ca proiectantul să ia în considerare explicit fiecare factor sau să fie pregătit să justifice de ce un factor nu este relevant în cazul analizei făcute.

Pentru fiecare situaţie de proiectare dată sau scenariu de incendiu, una sau mai multe componente ale timpului de deplasare ar putea fi relevante pentru analiză. Timpii de deplasare care trebuie luaţi în considerare ar putea fi timpul total pentru evacuarea clădirii sau timpi specifici strict definiţi, cum ar fi:

- timpul de deplasare pe cea mai lungă cale sau până la cea mai îndepărtată ieşire;
- timpul pentru a ajunge într-un loc sigur sau la o zonă de refugiu;
- timpul pentru eliberarea scărilor;
- timpul pentru eliberarea clădirii.

Aceste componente ale timpului de deplasare pot fi evaluate folosind o diversitate de metode de calcul sau modele. Evacuarea totală a clădirii poate fi estimată pe baza unei metode empirice (*metoda lui Pauls*) care furnizează mai multe relaţii algebrice pentru calcularea şi estimarea timpilor de evacuare în cazul clădirilor înalte total necontrolate. Deplasarea ocupanţuilor pe scări, de-a lungul coridoarelor, prin golurile de uşi, poate fi estimată pe baza aproximării densităţii mulţimii, vitezei şi fluxului, conform *metodei dezvoltate de Fruin şi Pauls*.

O analiză mai detaliată va recunoaşte influenţa efectelor limitative sau condiţionărilor impuse de componentele ieşirii. Aceasta este cunoscută ca *lăţime/lărgime efectivă*. Conceptul de *lărgime efectivă* recunoaşte faptul că oamenii se deplasează *legănat*, ceea ce le permite, în mod natural, utilizarea eficientă a spaţiului, dându-le posibilitatea să vadă mai multe trepte în faţă şi permiţând o legănare laterală a corpului.

În Australia, Noua Zeelandă, U.K. şi U.S., din documentele care se adresează comportamentului uman, reiese recunoaşterea şi adoptarea aproximării lăţimii efective (figura 5.5).

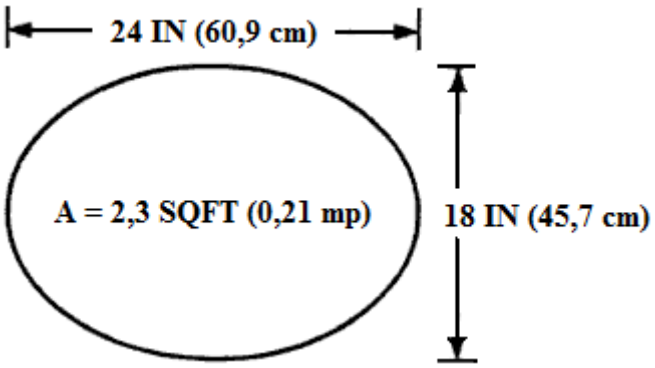


Figura 5.5 Conceptul corpului eliptic
(*Arthur E. Cote, Percy Bugbee - Principles of fire protection*)

Acolo unde efectele limitei sunt luate în considerare într-o analiză a deplasării, intervin parametri cum ar fi: condiţii de limită/margine la pereţi şi balustradă, geometria scărilor, viteza de deplasare şi densitatea personalului. Proiectanţii şi inginerii trebuie să observe că aceste metode de calcul şi parametrii asociaţi se bazează pe măsurători atente ale fluxurilor de persoane, într-o mare diversitate de situaţii de deplasare şi ieşire a mulţimilor.

În aceste calcule, viteza şi fluxul sunt considerate cele pentru adulţi cu mobilitate normală. Desigur, există date şi pentru altfel de grupuri de ocupanţi, cum ar fi: persoane mai în vârstă sau foarte tinere, cu dizabilităţi, persoane expuse la fum. Influenţa acestora s-ar putea să aibă sau nu importanţă semnificativă. De exemplu, diferenţa în urma comparaţiei vitezei de deplasare a unui adult cu mobilitate normală cu cea a unei persoane în scaun cu rotile poate părea semnificativă. Totuşi, dacă scopul este de a trece în siguranţă spre o uşă de ieşire care se află la distanţă, timpul de deplasare al fiecăruia din cei doi poate fi pus în discuţie dacă ruta de deplasare este sigură şi ocupanţii sunt într-o coadă de ieşire pe uşă. În orice caz, analizarea deplasării persoanelor cu dizabilităţi/mobilitate redusă este importantă atunci când astfel de ocupanţi sunt prezenţi în mod obişnuit.

Fumul este un factor important în scenariile în care analiza riscului demonstrează că ocupanţii ar putea fi expuşi la fum. În multe cazuri de evacuare a clădirilor, doar unele zone distincte ar putea fi inundate de fum, în timp ce altele rămân în mare măsură neafectate. Analiza timpului de deplasare ar trebui să ţină cont de reducerea vitezei de deplasare sau schimbarea direcţiei de deplasare în acele zone ale clădirii care au fost inundate de fum.

Desigur, este mai evident că o determinare a timpului de deplasare ar necesita o analiză mai detaliată decât ceea ce sugerează relaţia de calcul a timpului. În prezent, numeroase modele de evacuare sunt disponibile, pentru a trata cât mai real numeroasele consideraţii posibile şi configuraţii ale ieşirii din clădiri. Aceste modele bazate pe calcul (computer-based) pot fi atât *modele hidraulice* (sau *modele reţea*) cât şi *modele comportamentale*. Tabelul 5.6 enumeră caracteristicile şi diferenţele între aceste două abordări. În ambele modele, deplasarea persoanelor este funcţie de distanţă, viteză, densitate şi flux (aşa cum ar fi cazul într-un flux omogen). Când se folosesc modele hidraulice, ar trebui să se recunoască faptul că există presupuneri/adoptări de bază care ar necesita mai multă consideraţie prin integrarea factorilor de siguranţă sau altrarea parametrilor pentru a da un caracter acoperitor; de exemplu, un model hidraulic presupune că:

- toţi ocupanţii încep să iasă în acelaşi timp;
- ocupanţii se vor diviza spre ieşiri într-un mod optim echilibrat;
- ocupanţii vor şti căile de evacuare din clădire;
- ocupanţii vor alege calea de ieşire cea mai scurtă.

Tabelul 5.6 Parametri consideraţi la modelarea evacuării

Parametri consideraţi la modelare evacuării	*Modele hidraulice*	*Modele comportamentale*
Distanţa, viteza, densitata şi fluxul de ocupanţi	Da	Da
Caracteristicile ocupantului sau comportamentele sau deciziile integrate	Nu	Da
Răspunsurile ocupantului la mediul incendiat	Nu	Da

În timp ce acestea sunt presupuneri optimiste, unele mai realiste pot fi testate. Odată ce parametrii şi metodologia unui model hidraulic sunt înţelese, este posibil să se modifice parametrii de intrare şi să se efectueze o analiză suplimentară, înclinând rezultatele spre situaţii mai pesimiste, cum ar fi: ieşiri blocate, reducerea vitezei de deplasare, ocupanţi care utilizează căi mai lungi de ieşire.

Odată cu apariţia modelelor comportamentale, deplasarea oamenilor ca particule de fluid este modificabilă de numeroşi alţi parametri, care încearcă să integreze comportamentul relativ la caracteristicile populaţiei, caracteristicile clădirii, capacitatea individuală de luare a deciziei şi caracterisicile mediului incendiat. Un număr semnificativ de modele de evacuare au fost dezvoltate şi o preocupare pentru variabilitatea şi incertitudinea modelelor comportamentale nu a fost ignorată. O focalizare continuă pe aceste modele va provoca, mai mult, îmbunătăţiri astfel încât să poată deveni instrumente comune şi utile pentru proiectarea clădirilor.

Tema 5: evaluarea impactului mediului incendiat asupra ocupanţilor expuşi

Primul pas în evaluarea impactului mediului incendiului asupra ocupanţilor expuşi este identificarea acelor ocupanţi care sunt expuşi. În funcţie de scenariul incendiului (exemplu, locuinţă, depozit), s-ar putea ca foarte mulţi sau, dimpotrivă, foarte puţini ocupanţi să fie subiectul potenţialelor ameninţări ale scenariului de incendiu, care include:

- expunerea la gaze asfixiante, CO constituind cel mai mare pericol;
- expunerea la gaze iritante care afectează ochii, nasul, gâtul şi tractul respirator;
- expunerea la căldură convectivă sau radiantă care duce la arsurile pielii sau arsurile tractului respirator etc.;
- afectarea vizibilităţii din cauza opacităţii create de fum.

Abordarea în evaluarea influenţei gazelor, căldurii şi fumului poate varia în complexitate şi selectarea unei abordări va depinde de severitatea scenariului de incendiu, timpul şi natura unei potenţiale expuneri. De exemplu, dacă analiza evacuării unui centru comercial demonstrează că ocupanţii sunt în afara clădirii înainte ca stratul de fum să se extindă şi în zona respirabilă, atunci poate că doar expunerea radiativă la stratul de fum ar trebui evaluată. Invers, analiza unei clădiri cu apartamente fără sistem de sprinklere sugerează că *scenariile flash-over* şi potenţiala severitate a expunerii la gaze şi căldură ar necesita una sau mai multe metode de analiză cumulative.

5.4.3 Schimbarea viziunii inginerilor cu privire la comportamentul umană

În trecut, inginerii din domeniul protecţiei la foc nu şi-au pus prea des problema considerării obiective şi în detaliu a comportamentului uman în proiectarea clădirilor. De obicei, consideraţiile serioase despre comportamentul uman au fost lăsate în baza oamenilor de ştiinţă şi cercetătorilor din domeniul comportamentului şi factorilor umani. În prezent, datorită promovării proiectării bazate pe performanţă, importanţa comportamentului şi factorilor umani în proiectarea clădirilor sunt în centrul atenţiei inginerilor din domeniul protecţiei la foc şi sunt evidenţiate, la nivel internaţional, prin numeroase documente care tratează evacuarea relativ la comportamentul uman. În Statele Unite, examinarea inginerilor profesionişti din domeniul

protecţiei la foc include probleme dedicate comportamentului uman. Inginerii ar trebui să profite de numeroasele surse de informaţii disponibile legate de comportamentul uman relativ la proiectarea clădirilor şi aplicaţiilor sistemelor de securitate la incendiu.

5.5 Programe de calcul pentru simularea evacuarii persoanelor

Consideraţii generale

În urma analizei fenomenului evacuării persoanelor aflate în situaţia de incendiu din clădiri şi a statisticilor efectuate în acest domeniu s-au putut realiza modele de evacuare care să ţină cont atât de caracteristicile clădirii cât şi de comportamentul ocupanţilor. Aceste modele sunt continuu perfecţionate, adăugându-se noi factori care se dovedesc, în urma cercetărilor şi statisticilor, că influenţează procesele de evacuare a ocupanţilor din clădiri.

Programele de calcul implementate pe calculator, care au la bază modelele matematice amintite, ajută la simularea evacuării persoanelor din clădiri în situaţia de incendiu pentru:

- studierea procesului de evacuare în prezenţa/absenţa anumitor factori;
- analiza factorilor care influenţează semnificativ evacuarea (incluzând atât caracteristicile clădirii, cât şi reacţiile psihologice ale ocupanţilor).

Câteva din aceste programe de calcul, pentru evacuarea clădirilor în situaţe de incendiu a persoanelor sunt prezentate în continuare.

EXIT 89-ver.1.01 (2007), Rita F. Fahy,
National Fire Protection Association, U.S.

Acest program este bazat pe un model de evacuare care îşi propune să simuleze evacuarea unei populaţii mari dintr-o clădire înaltă. Nu este un software comercial, a fost creat doar pentru proiecte speciale.

Programul tratează câteva din cele mai relevante componente ale scenariilor de evacuare, de interes pentru inginerii care proiectează clădiri din punct de vedere al securităţii la incendiu.

Programul ţine cont de posibila existenţă a unor persoane cu dizabilităţi şi a copiilor mici, de timpii de întârziere, de opţiunile de alegere a căii de evacuare, de viteza de deplasare a ocupanţilor, de contra-fluxurile care pot apărea când sunt obstrucţionate căile de evacuare, de folosirea în ambele sensuri a scărilor.

EXIT 89 poate simula şi impactul fumului asupra evacuării.

EVACNET4-ver.1.4. (2007) , Thoma Kisko,
University of Florida

Acest program interactiv determină planul optim de evacuare a unei clădiri (care poate fi foarte înaltă) de birouri, de cazare tip hotel, de alimentaţie publică tip restaurant, de învăţământ tip şcoală sau chiar a unui stadion.

Programul acceptă o descriere a clădirii şi informaţii despre poziţionarea iniţială a ocupanţilor la începutul evacuării, iar rezultatele vor descrie evacuarea optimă, în sensul minimizării timpului de evacuare din clădire.

ASERI-ver.4.6 (2007), Volker Schneider,
I.S.T. Integrierte Sicherheits Technik GmbH, Frankfurt, Germany

Acest program are la bază un model de evacuare în care fiecare ocupant este tratat individual în deplasarea sa în interiorul clădirii. Deplasarea spre ieşire este guvernată de anumite aspecte comportamentale care sunt declanşate de stimuli externi şi limitări create de deplasarea

altor ocupanţi. Deciziile individuale şi comportamentul corespunzător ar putea contribui la întârzierea începerii evacuării sau la întreruperi, în special în faza iniţială a procesului de evacuare. Mai mult, alegerea căii de ieşire este puternic influenţată de aspecte individuale cum ar fi cunoaşterea planului clădirii sau toleranţa la fum. Trăsături de bază ale răspunsului comportamental pot fi modelate în mod statistic.

Temperaturile, concentraţiile de fum, monoxid de carbon, dioxid de carbon, oxigen şi cianură de hidrogen pot fi puse în relaţie cu fiecare unitate geometrică a clădirii (cameră, coridor, casă de scări, zonă de refugiu etc.).

Programul poate simula evacuarea pentru clădiri mari şi cu complexitate geometrică. Este posibil transferul de date direct din fişiere tip CAD.

BuildingEXODUS-ver.4.1 (2008), EXODUS development Team, FSEG, The University of Greenwich

Acest program are la bază un model dinamic al evacuării şi comportării umane.

Programul este capabil să simuleze comportamentul la nivel de individ şi include interacţiunea om-om, om-structură şi om-mediu.

Programul poate simula evacuarea a mii de personae aflate în spaţii incendiale de dimensiuni mari şi cu geometrii complexe, luând în considerare interacţiunea cu fumul, căldura şi gazele toxice. Deplasarea progresivă şi comportamentul fiecărui individ sunt determinate de un set de reguli heuristice.

Dimensionarea spaţială şi temporală sunt realizate cu ajutorul unei matrice bi-dimensionale şi cu ajutorul simulării unui ceas. Matricea spaţială este suport pentru geometria clădirii, compartimente, obstacole, ieşiri. Geometrii cu nivele multiple pot fi realizate din mai multe matrice conectate prin scări. Planul clădirii poate fi importat dintr-un program CAD. Matricea este alcătuită din noduri şi arce, fiecare nod reprezentând un mic spaţiu şi fiecare arc reprezentând distanţa dintre două noduri.

Programul conţine cinci module: ocupant, comportament, deplasare, toxicitate, risc.

Modulul ocupant permite specificarea caracteristicilor ocupanţilor: diferite abilităţi de mişcare, vârstă, gen, dizabilităţi fizice, precum şi diferite niveluri de cunoaştere a planurilor închiderilor, timpi de răspuns etc..

Modulul comportament, pe baza atributelor personale ale indivizilor, determină răspunsul ocupanţilor la situaţia curentă şi transferă deciziile în *modulul deplasare*.

Procesele de luare a deciziilor pot fi personalizate pentru fiecare individ, în funcţie de condiţiile în care se află şi de informaţiile disponibile pe care le au. Aceasta include personalizarea căii de evacuare pe care o aleg. De asemenea, pot fi influenţaţi de prezenţa indicatoarelor/semnalisticii.

Modulul toxicitate determină impactul psihologic al mediului asupra ocupantului. Sunt considerate toxice: temperatura ridicată, radiaţia termică, HCN, CO, CO_2 şi nivelul scăzut de O_2. Modelul calculează raportul dintre doza la care este expus ocupantul şi doza care cauzează incapacitatea sau moartea. Ocupanţii au posibilitatea să aleagă o altă cale de ieşire când întâlnesc o barieră de fum.

Modulul risc, determină mediul toxic şi termic; acesta distribuie riscul în funcţie de timp şi locaţie.

Acest program poate prelua datele de ieşire ale altor aplicaţii, cum ar fi CFAST şi SMARTFIRE.

WAYOUT-ver.3.6 (2007), Victor O. Shestopal,
Fire Modelling & Computing, Sydney, Australia

Acest program simulează „curgerea“ traficului în situaţii de urgenţă, în clădiri cu mai multe spaţii şi mai multe etaje. Modelul este bazat pe un algoritm de curgere non-liniar care utilizează o dependenţă viteză-densitate obţinută experimental de Predtechenschii&Mininskii.

Legion Studio (2006) Enhancement Pack 3,
Legion International Limited, Guernsez, Channel Islands

Acest program simulează şi analizează dinamica deplasării multi-direcţionale complexe, care are loc odată cu activităţile comune desfăşurate în viaţa de zi cu zi. Acest program modelează scenarii de evacuare la terminalele de transport, stadioane, aeroporturi, clădiri înalte, evenimente speciale etc..

Indivizii sunt trataţi independent şi se ţine cont de interacţiunea dintre ei şi de interacţiunea lor fizică cu mediul. Preferinţele lor sunt bazate pe măsurători empirice, obţinute prin filmarea situaţiilor reale în diverse părţi ale lumii.

Interoperează cu programe CAD (dxf, dgn, dwg) şi cu FDS (NIST's Fire Dynamics Simulator).

Myriad II-ver.2.04 (2007),
Crowd Dynamics Ltd.

Acest program este destinat analizei dinamicii mulţimilor în clădiri sau într-un mediu complex, analizei evacuării, precum a intrărilor şi ieşirilor.

Programul modelează şi testează strategii de management al mulţimilor, în scopul dezvoltării unor planuri de management şi pentru asistarea arhitecţilor care dezvoltă structuri complexe de clădiri, stadioane, infrastructuri de transport.

EXITT-ver.1.0 (2001), Harold Levin,
NIST-Building and Fire Research Lab, Gaithersburg, MD (USA)

Acest program se bazează pe un model de evacuare tip nod-arc, pentru aplicaţii rezidenţiale.

Din poziţii alese iniţial de utilizator, oamenii se deplasează pe cea mai scurtă cale către ieşire. Partea originală a acestui program o constituie regulile comportamentale care afectează puternic acţiunile şi timpul necesar pentru evacuare. Acţiunile sunt asociate cu familia ca grup, de exemplu: bărbaţii adulţi investighează, în timp ce femeile adulte merg la copii, copiii tineri se ascund sau aşteaptă instrucţiuni. Investigaţiile au loc până când există o confirmare a prezenţei focului, cum ar fi fumul sau flacăra, sau întâlnirea cu o persoană care le-a văzut pe acestea. Viteza de deplasare este afectată de densitatea fumului.

Aceste comportamente au un impact semnificativ asupra timpului necesar pentru o evacuare sigură şi sunt un factor important în realizarea scenariilor de securitate în clădiri rezidenţiale.

SIMULEX-ver.2.0 (2002), Peter Thompson,
IES Ltd, Scotland

Acest program se bazează pe un model ce calculează deplasarea unui individ, în scopul evacuării dintr-o clădire cu multe etaje.

Programul permite utilizatorului crearea unui model 3D a unei clădiri prin utilizarea planurilor de nivel realizate într-un program CAD, planuri care sunt conectate prin scări.

Ocupanţii sunt poziţionaţi în clădire individual sau în grupuri. Utilizatorul defineşte numărul de ieşiri, iar programul calculează automat toate distanţele de parcurs în interiorul clădirii până la aceste ieşiri.

Algoritmii pentru deplasarea indivizilor sunt bazaţi pe date din viaţa reală, colectate cu ajutorul tehnicilor bazate pe computer şi utilizate în analizarea deplasării. Aceşti algoritmi produc parametri reali pentru trecerea indivizilor prin diverse tipuri de geometrii ale ieşirilor/uşilor. De asemenea, folosind relaţia dintre distanţa între persoane şi viteza de deplasare, modelează fluctuaţiile vitezei de deplasare pentru fiecare individ.

EgressPro-ver.02 (2002),
SimCo Consulting

Acest program se bazează pe un model consolidat de evacuare şi poate estima condiţiile de evacuare în timpul incendiilor la clădiri. Programul calculează răspunsul sprinklerelor sau detectoarelor de temperatură/fum şi evaluează răspunsul comportamental al persoanelor din momentul declanşării alarmei, până la ieşirea din clădire. Programul face predicţii în ceea ce priveşte deplasarea grupurilor de persoane în situaţii de urgenţă, bazându-se pe relaţia dintre viteza de deplasare şi densitatea populaţiei.

Programul generează informaţii despre timpii necesari pentru evacuare, timpi care pot fi luaţi în considerare la proiectarea clădirilor.

Aceste programe au fost testate şi validate de echipe de specialişti sau au fost comparate între ele din punctul de vedere al rezultatelor obţinute.

Esenţial este faptul că aceste programe pot fi de un real folos proiectanţilor de clădiri, ajutându-i să înţeleagă care este comportamentul ocupanţilor în situaţiile de urgenţă, în vederea luării deciziilor în ceea ce priveşte geometria construcţiei, a căilor de evacuare şi ieşirilor, în scopul optimizării evacuării ocupanţilor în astfel de situaţii.

5.6 Modelul Helbing pentru evacuare umană și implementarea în programul FDS

Consideraţii generale

Există programe de calcul, precum FDS+Evac, care pot combina rezultatele simulării dezvoltării unui incendiu într-un spaţiu închis cu simularea evacuării umane pentru aceeaşi situaţie de inendiu.

În cazul programului FDS, acesta are implementat un modul de program, denumit *FDS+Evac,* destinat calculului evacuării umane şi care are la bază un model matematic elaborat de grupul lui *Helbing*; dezvoltat şi implementat de către cercetători de la *Technical Research Centre of Finland, VTT*, în principal de către *Korhonen*, şi, mai târziu modificat de către Langston. În principiu, model matematic implementat tratează fiecare persoană care se evacuează (numită în program *agent*) ca pe o singură entitate, a cărei deplasare, dependentă de timp, este caracterizată de o ecuaţie. Fiecare agent are propriile sale proprietăţi şi strategii de evacuare. Agenţii sunt supuşi unor forţe şi momente de contact care sunt consecinţa deplasării şi comportării psihologice.

Ecuaţiile de mişcare, urmare a gradelor de libertate de translaţie şi rotire acordate, sunt rezolvate cu metode specifice dinamicii particulelor disipative; astfel, modelul utilizează timpul şi spaţiul continuu pentru a trasa traiectoriile agenţilor.

În modulul FDS+Evac se poate modela *interacţiunea dintre fenomenul evacuării şi fenomenul dezvoltării incendiului pentru aglomerări de personae aflate în spaţii închise*.

Persoanele sunt modelate ca agenţi care se deplasează într-un spaţiu bidemensional (2D), în limitele pardoselilor modelului virtual al clădirii.

***

Un *proces stochastic* (*după Wikipedia*), sau, uneori, *proces aleatoriu*, este contrarul procesului *determinist* şi este supus *teoriei probabilităţilor*. În loc de o singură realitate posibilă despre cum pot evolua procesele în timp (așa cum este cazul soluțiilor unei ecuații diferențiale ordinare), într-un proces stochastic există o incertitudine în evoluția viitoare descrisă de distribuții de probabilitate; aceasta înseamnă că, deși se cunoaște condiția inițială (sau punctul de plecare), există mai multe posibilități de continuare a procesului, dar unele căi sunt mai probabile decât altele.

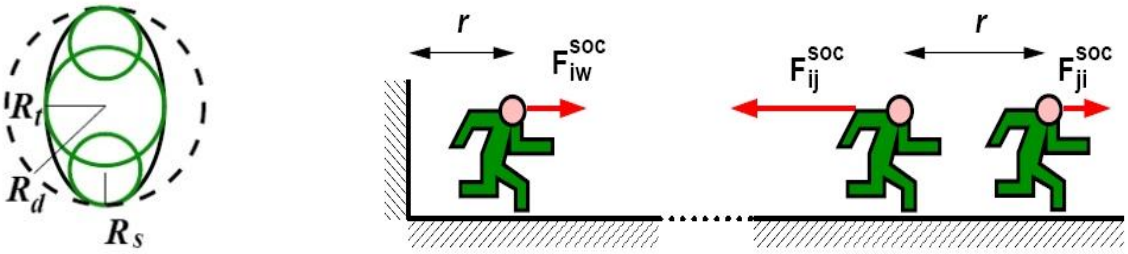
Un proces stochastic poate fi reprezentat ca o *funcție aleatorie*. În aplicațiile practice, domeniul de definiție al unui asemenea proces este un *interval de timp* (purtând numele de *serie de timp*, cazul fluctuațiilor ratelor de schimb și cotațiilor acțiunilor de la bursele de mărfuri, datelor medicale EKG, EEG sau tensiunea arterială și temperatura corpului, mișcării Browniene etc.) sau un loc al *spațiului* (purtând numele de *câmp aleatoriu*, cazul imaginilor, topografiilor aleatorii (peisajelor) sau reprezentării variațiilor de compoziție ale materialelor heterogene).

***

5.6.1 Concepele modelului și implementarea în FDS+Evac

Deplasarea agentului

În FDS+Evac, algoritmul de calcul pentru deplasarea agentului are la bazează metoda lui Helbing implementată de Korhonen şi modificată de Langston (care înlocuieşte reprezentarea cu un singur cerc a corpului uman cu una prin trei cercuri 5.6a), în care *forţă socială*, F^{soc}, este introdusă pentru a păstra o distanţă rezonabilă între agenţi sau între agenţi şi obstacole (figura 5.6b).



a. forma corpului uman **b.** interacţiunea agentului

Figura 5.6 Concepte ale modelului de evacuare umană în FDS+Evac (*Ghid FDS+Evac 2010*)

În FDS+Evac, agenţii sunt ghidaţi spre uşile de ieşire din spaţiul în care se află la un moment dat, asimilându-i curgerii unui fluid incompresibil şi bidimensional, determinată de condiţiile de margine/la limită impuse de *geometria clădirii* (dată de pereţii consideraţi inerţi sau alte *obstacole*) şi *uşa de ieşire aleasă* (care se comportă ca un *ventilator* ce extrage fluidul afară din domeniul/spaţiul ocupat la un moment dat); aceast mod de rezolvare produce un câmp direcţionat spre uşa de ieşire aleasă (bidirecţional, 2D), care va ghida întotdeauna agenţii către această uşă, figura 5.7. Ruta aleasă pentru deplasarea agenţilor nu va fi cea mai scurtă dar, obişnuit, este aproape de aceasta. Câmpul va ghida mai mulţi agenţi către rutele mai largi de evacuare decât spre cele mai înguste, pentru că acest câmp este o soluţie pentru o curgere incompresibilă.

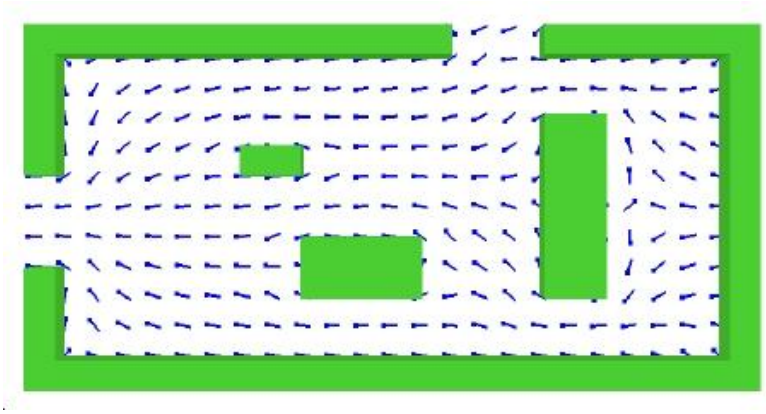


Figura 5.7 Câmpul de curgere (2D) al agenţilor către uşile de ieşire
(*Ghid FDS+Evac, 2010*)

Analogia cu un fluid incompresibil este un punct bun de plecare pentru găsirea direcţiilor de deplasare în cazul mulţimilor mari de oameni (cazul oamenilor care părăsesc locul amplu al unui eveniment sportiv sau de divertisment, obişnuit, urmând curgerea spre ieşirea din clădire fără un control prea mare al acestui process).

FDS+Evac utilizează legile mecanicii pentru a urma traiectoriile agenţilor în timpul calculului. Fiecare agent urmează propria ecuaţie de mişcare, relaţia 5.4,

$$m_i \frac{d^2 x_i(t)}{dt^2} = f_i(t) + \xi_i(t) \tag{5.4}$$

unde: $x_i(t)$ este poziţia agentului i la timpul t;
$f_i(t)$ - forţa exercitată de mediul înconjurător asupra agentului la timpul t;
m_i - masa agentului i, constantă pe parcursul analizei;
$\xi_i(t)$ - fluctuaţia întâmplătoare a forţei (de mică valoare);
$v_i(t)$ - viteza agentului i, dată de relaţia dx_i/dt.

FDS+Evac tratează agenţii ca pe o combinaţie de trei cercuri deplasându-se într-un plan bidimensional. Aceste cercuri aproximează forma eliptică a corpului uman, vezi figura 5.6a. Dimensiunile implicite ale corpului uman şi vitezele de deplasare fără obstacole/neîngrădită corespunzând diferitelor tipuri de agenţi definiţi în FDS+Evac sunt prezentete în tabelul 5.7 (de reţinut că FDS+Evac foloseşte proprietăţi stocastice pentru caracteristicile agenţilor, iar dimensiunile corpului şi vitezele de deplasare sunt trasate implicit din *distribuţii uniforme*, limitele acestor distribuţii fiind şi ele date în tabelul 5.7).

Forţa exercitată asupra agentului i are mai multe component, relaţia 5.5 (figura 5.8):

$$f_i = \frac{m_i}{\tau_i}\left(v_i^0 - v_i\right) + \sum_{j \neq i}\left(f_{ij}^{soc} + f_{ij}^{c} + f_{ij}^{att}\right) + \sum_{w}\left(f_{iw}^{soc} + f_{iw}^{c}\right) + \sum_{k} f_{ik}^{att} \tag{5.5}$$

unde: *prima sumă* descrie interacţiunile agent-agent;
a doua sumă descrie interacţiunile agent-pereţi;
a treia sumă poate fi folosită pentru alte interacţiuni agent-mediu (de exemplu repulsia agentului faţă de foc).

Fiecare agent încearcă să se deplaseze cu viteza specifică lui, $v_i^0 = /v_i^0/$, spre ieşire sau spre ţinta propusă, a cărei direcţie este dată de direcţia lui v_i^0.

Tabelul 5.7 Dimensiuni ale corpului uman şi viteze de deplasare liberă în FDS+Evac

Tipul corpului	R_d *(m)*	R_t / R_d	R_s / R_d	d_s / R_d	*Viteza (m/s)*
Adult	0,255 ±0,035	0,5882	0,3725	0,6275	1,25 ±0,30
Bărbat	0,270 ±0,020	0,5926	0,3704	0,6296	1,35 ±0,20
Femeie	0,240 ±0,020	0,5833	0,3750	0,6250	1,15 ±0,20
Copil	0,210 ±0,015	0,5714	0,3333	0,6667	0,90 ±0,30
Bătrân	0,250 ±0,020	0,6000	0,3600	0,6400	0,80 ±0,30

Notă:

1. Dimensiunea cercului umerilor este dată de $d_s = R_d - R_s$; pentru definirea celorlalte variabile care se referă la mărimea corpului, *Rd*, *Rt*, *Rs*, se va vedea figura 5.6a
2. Dimensiunile corpului şi vitezele de deplasare ale agenţilor sunt personalizate prin folosirea lor din distribuţii uniforme, ale căror limite sunt, de asemenea, date.

Parametrul *timp de relaxare*, τ_i, setează valoarea forţei motrice care îl face pe un agent să accelereze peste viteza lui normală de deplasare.

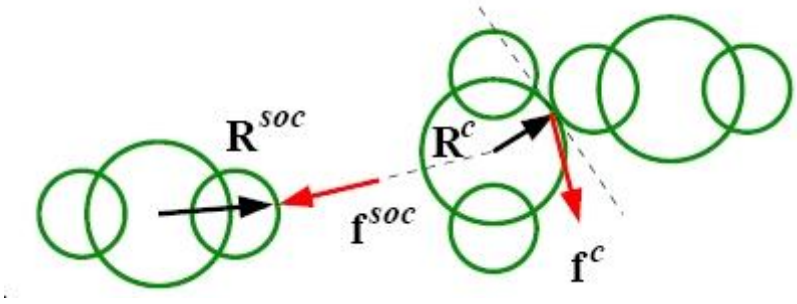


Figura 5.8 Definirea vectorilor radiali R_c şi R_{soc}

Forţa socială pentru interacţiunea dintre agentul i şi *agentul j*, f_{ij}^{soc}, este dată de formularea anizotropică propusă de Helbing, relaţia 5.6,

$$f_{ij}^{soc} = A_i e^{-(r-d)/B_i}\left(\lambda_i + (1-\lambda_i)\frac{1+\cos\varphi_{ij}}{2}\right)n_{ij} \tag{5.6}$$

unde: r_{ij} este distanţa dintre centrele cercurilor descriind doi agenţi cei mai apropiaţi;
d_{ij} - suma razelor cercurilor;
n_{ij} - vectorul unitar dinspre agentul *j* spre agentul *i*;
φ_{ij} - unghiul dintre direcţia de mişcare a agentului *i* care simte forţa şi direcţia spre agentul *j* care exercită forţa de repulsie asupra agentului *i*;
A_i şi B_i - descriu forţa şi spaţiul de acţiune al acesteia;
λ_i - controlează anizotropia forţei sociale (dacă $\lambda_i = 1$, forţa este simetrică şi dacă $0 < \lambda_i < 1$, forţa este mai mare în faţa agentului decât în spate);

Forţa socială pentru interacţiunea dintre agentul i şi perete w, f_{iw}^{soc}, este dată de o relaţie similară cu relaţia 5.6, dar în care se înlocuiesc valorile corespunzătoare cu valorile A_w, B_w şi λ_w.

Forţa contactului fizic dintre agenţi, f_{ij}^{c}, este dat de relaţia 5.7:

$$f_{ij}^{c} = \left(k_{ij}\left(d_{ij} - r_{ij}\right) + c_d \Delta v_{ij}^{n}\right) n_{ij} + \kappa_{ij}\left(d_{ij} - r_{ij}\right) \Delta v_{ij}^{t} t_{ij} \tag{5.7}$$

unde: Δv_{ij}^{t} este diferenţa între vitezele tangenţiale ale cercurilor aflate în contact;

Δv_{ij}^{n} - diferenţa între vitezele lor normale;

t_{ij} - vectorul tangenţial unitar al cercurilor aflate în contact.

Această forţă se aplică doar când cercurile sunt în contact, adică $d_{ij} - r_{ij} \geq 0$.

Valoarea *forţei elastice radiale* este dată de valoarea constantei k_{ij} iar valoarea *forţei de fricţiune* de valoarea constantei κ_{ij}. De reţinut că relaţia 5.7 conţine şi *forţa de amortizarea fizică* a cărei valoare este dată de valoarea constantei de amortizare c_d, forţă care a fost adăugată de Langston (modelul original al lui Helbing nu conţinea această forţă). Acest parametru reflectă faptul că ciocnirea dintre doi agenţi nu este una elastică.

Forţa contactului fizic dintre agent şi perete, f_{iw}^{c}, este dată de o relaţie similară cu relaţia 5.7, unele constante ale forţei fiind folosite.

Forţa de atracţie (sau repulsie) între agenţi, f_{ij}^{att}, poate fi utilizată pentru simularea *comportamentului de turmă* sau *de asociere adult-copil*; poate fi utilizată, de asemenea, pentru a forma perechi de agenţi, de exemplu pentru a descrie o pereche de pompieri intrând în clădire.

Mişcarea de translaţie a agenţilor este, în concluzie, descrisă de relaţiile 5.4÷5.7.

Mişcarea de rotaţie a agenţior se tratează în mod similar celei de translaţie, respectiv fiecare agent având propria ecuaţie de mişcare, relaţia 5.8,

$$I_i^z \frac{d^2 \varphi_i(t)}{dt^2} = M_i^z(t) + \eta_i^z(t) \tag{5.8}$$

unde $\varphi_i(t)$ este unghiul agentului *i* la momentul *t*;

I_i^z - momentul de inerţie;

$\eta_i^z(t)$ - fluctuaţia aleatorie a momentului/cuplului de torsiune (de mică valoare);

$M_i^z(t)$ - momentul/cuplul de torsiune total exercitat asupra agentului de mediul înconjurător, relaţia 5.9 (unde M_i^c, M_i^{soc} şi M_i^{τ} sunt momentele de torsiune corespunzând forţei sociale, de contact şi motrice),

$$M_i^z = M_i^c + M_i^{soc} + M_i^{\tau} \tag{5.9}$$

Momentul corespunzând forţei sociale este dat de relaţia 5.10 (sunt luate în considerare numai cercurile care sunt cele mai apropiate unul de altul),

$$M_i^{soc} = \sum_{j \neq i} \left(R_i^{soc} \times f_{ij}^{soc}\right) \tag{5.10}$$

unde: R_i^{soc} este vectorul care are orientarea pozitivă dinspre centrul agentului *i* spre punctul fictiv de contact al forţei sociale, vezi figura 5.8.

Momentul corespunzând forţei de contact este dat de relaţia 5.11,

$$M_i^c = \sum_{j \neq i} \left(R_i^c \times f_{ij}^c \right) \tag{5.11}$$

unde: R_i^c este vectorul radial, care are orientarea pozitivă dinspre centrul agentului *i* spre punctul de contact, vezi figura 5.8.

În mod analog pentru forţa motrice, primul termen din dreapta al relaţiei 5.5, un moment de torsiune este definit de relaţia 5.12,

$$M_i^\tau = \frac{I_i^z}{\tau_i^z} \left(\left(\varphi_i(t) - \varphi_i^0 \right) \omega^0 - \omega(t) \right) = \frac{I_i^z}{\tau_i^z} \left(\varpi_i^0 - \omega(t) \right) \tag{5.12}$$

unde: ω^0 este viteza unghiulară ţintă maximă a unui agent care se întoarce;

$\omega(t)$ viteza unghiulară curentă;

$\varphi_i(t)$ unghiul corpului curent;

φ_i^0 este unghiul ţintă, respectiv unde vectorul v_i^0 este îndreptat.

Viteza unghiulară ţintă ϖ_i^0 definită din relaţia 5.12 este mai mare când unghiul corpului diferă mai mult faţă de direcţia de deplasare dorită.

Langston a utilizat o relaţie diferită pentru momentul de torsiune, care are forma unei forţe elastice. Pe parcursul dezvoltării programului, s-a observat că o forţă ca aceasta ar face agenţii să se rotească în jurul axei lor ca nişte oscilatoare armonice şi, astfel, ar trebui folosit un moment de torsiune dependent de viteza unghiulară.

Modelul matematic de deplasare a agentului dat sub forma relaţiilor 5.4÷5.12 conţine mulţi parametri. Unii dintre aceşti parametri se referă la dimensiunile fizice ale oamenilor, cum ar fi m_i şi I_i^z, dar mulţi parametri se referă la modelul ales. Unii dintre aceşti parametri sunt aleşi să fie la fel ca cei găsiţi în literatura de specialitate şi unii sunt estimaţi în urma calculelor test. Parametrii forţei sociale au fost aleşi încât curgerile specifice prin uşi şi coridoare să fie să se adapteze acestora. Parametrii forţelor de contact şi gradele de libertate rotaţionale pentru reprezentarea agenţilor prin cele trei cercuri au fost selectaţi mai mult prin încercare, pentru a obţine o mişcare realistă rezonabilă. Simulările Monte Carlo au fost făcute pentru a se vedea care sunt cei mai importanţi parametri ai modelului şi analiza ulterioară a fost focalizată pe aceşti parametri.

Interacţiunea agentului cu incendiul

Folosind programul FDS ca platformă pentru calculul evacuării, avem acces direct şi uşor la toţi parametrii dezvoltării incendiului local, cum ar fi temperatura gazelor generate, densitatea fumului, nivelurile radiaţiei etc.. Ca urmare, se poate simula influienţa efectelor focului asupra evacuării (poate incapacita oameni şi, în cazuri extreme, poate bloca căi de ieşire), precum şi influienţa persoanelor asupra focului (prin deschiderea de uşi sau activarea de dispozitive pentru protecţie la incendiu).

Efectele fumului şi toxicităţii asupra vitezelei de deplasare a agenţilor sunt implementate prin modelul deplasării care stă la baza proiectării programului de calcul FDS+Evac. Astfel, algoritmul de selectare a ieşirii de către agenţi utilizează densitatea fumului în calculul vizibilităţii uşilor de ieşire şi în clasificarea uşile după preferinţă.

Efectele toxice ale produselor gazoase rezultate în urma arderii sunt tratate folosind conceptul *F*ractional *E*ffective *D*ose (*FED*), al lui *Purser* (versiunea prezentată a programului FDS+Evac foloseşte numai concentraţiile gazelor narcotice CO, CO_2 şi O_2 pentru a calcula valoarea FED), relaţia 5.13.

$$FED_{tot} = FED_{CO} \times HV_{CO2} + FED_{O2} \tag{5.13}$$

Se poate observa că relaţia 5.13 nu conţine efectul HCN care este tot un narcotic, iar efectul CO_2 este cauzat doar de hiperventilaţie, presupunându-se că concentraţia de CO_2 este atât de scăzută încât nu are efecte narcotice. Dioxidul de carbon nu are efecte toxice la concentraţii sub 5%, dar stimulează respiraţia, ceea ce măreşte rata la care celelalte produse ale focului sunt inhalate. Fracţiunea unei doze de CO care provoacă incapacitate este calculată cu relaţia 5.14:

$$FED_{CO} = 4{,}607 \times 10^{-7} \times (C_{CO}{}^{1{,}036}) \times t \tag{5.14}$$

unde: t este timpul, în *s*;
C_{CO} - concentraţia de CO, în *ppm*.
Fracţiunea unei doze de O_2, care scăzând duce la hipoxie, este calculată cu relaţia 5.15:

$$FED_O = t / 60^{8{,}13-0{,}54(20{,}9-C_{O2})} \tag{5.15}$$

unde: t este timpul, în s;
C_{O2} este concentraţia O_2, în *% de volum*.
Factorul de hiperventilaţie indus de dioxidul de carbon se calculează cu relaţia 5.16:

$$HV_{CO2} = 1^{0{,}1930C_{CO2}{}^{+2{,}0004}} / 7{,}1 \tag{5.16}$$

unde: C_{CO2} este concentraţia de CO_2, în *% de volum*.
Când în locaţia unui agent $FED > 1$ acesta este considerat a fi în incapacitatea de a se salva, dar când $FED < 0{,}3$ agentul este în afara oricărui pericol. Un agent în incapacitatea de a se salva este modelat ca un agent la care nu se manifestă nicio forţă socială ca urmare a interacţiunii cu alţi agenţi sau pereţi şi a cărui viteză de deplasare este setată zero.

Selectarea ieşirii de către agent

Programul FDS+Evac utilizează funcţii de reacţie teoretică pentru a modela selecţia căilor de evacuare a persoanelor. În acest model, fiecare agent observă locaţiile şi acţiunile celorlalţi agenţi şi selectează ieşirea prin care estimează că evacuarea se va face cel mai repede. Astfel, selectarea ieşirii este modelată ca o problemă de optimizare, unde fiecare încearcă să selecteze ieşirea care minimizează timpul de evacuare.

Timpul estimat pentru evacuarea agentului printr-o uşă se calculează prin estimarea timpului de deplasare până la aceasta şi a timpului de stat la coadă pentru aceasta. Timpul de deplasare este estimat prin împărţirea distanţei până la uşă (măsurată în lungul unei linii drepte) la viteza de deplasare. Timpul de stat în şirul de aşteptare este calculat, pentru uşile vizibile, numărând câţi agenţi sunt mai apropiaţi de uşă decât cei prezenţi şi împărţind acest număr la un flux de trecere prin uşă estimat. Fluxul uman estimat este dat de lăţimea uşii. Se ţine cont şi de faptul că ocupanţii îşi pot schimba cursul, în cazul în care există o alternativă mai bună decât opţiunea curentă.

Existenţa condiţiilor deranjante este estimată din datele FDS cu privire la foc dinspre partea vizibilă a rutei spre ieşire. Prin condiţii deranjante se înţeleg acele condiţii cum ar fi: temperatura şi fumul care stânjenesc evacuarea, dar care nu sunt letale. Dacă există condiţii letale în partea vizibilă a rutei ieşirea nu este preferată.

Dacă există probleme deranjante agenţii vor încerca să aleagă o uşă unde condiţiile sunt cele mai bune. Metoda implicită pentru a clasifica celei mai bune condiţii este aceea de a estima doza FED şi o altă metodă este de a alege uşa cea mai vizibilă prin fum. Agenţii îşi actualizează uşile pentru ieşirea ţintă, în medie, la fiecare secundă.

Concentraţiile fumului şi gazului toxic afectează algoritmul pentru selectarea uşii pentru ieşire. Implicit, sunt folosite concentraţii de gaz toxic (CO, CO_2, O_2): o uşă se defineşte *liberă de fum* dacă valoarea estimată a FED este mai mică de 0,000001. O uşă se defineşte *utilizabilă* (şi se defineşte *vizibilă*) atât timp cât valoarea estimată a FED este mai mică decât 1.

O uşă se defineşte *utilizabilă* atât timp cât vizibilitatea este mai mare decât jumătate din distanţa până la uşă, unde *vizibilitatea locală = 3/coeficientul de extincţie*.

În afara locaţiilor ieşirilor şi acţiunilor altor agenţi, există şi alţi factori care influenţează procesul luării deciziei de către un agent. Aceşti factori sunt condiţii referitoare la foc, familiarizarea agentului cu ieşirile şi vizibilitatea ieşirilor. Efectul acestor factori este luat în considerare prin adăugarea de constrângeri în problema de minimizare a timpului de evacuare.

FDS+Evac determină vizibilitatea unei ieşiri ţinând cont de efectul blocant al fumului şi obstacolelor.

Studiile socio-psihologice au arătat că familiarizarea cu căile de evacuare este un factor esenţial în luarea deciziilor. Aceasta, deoarece factorii necunoscuţi privind căile necunoscute sunt considerate că măresc ameninţarea. Drept rezultat, persoanele care evacuează clădirea preferă ieşirile familiare, chiar dacă există ieşiri mai rapide disponibile, dar nefamiliare. Din acest motiv, ieşirile de urgenţă sunt rar folosite în cazul unei evacuări sau al unui instruiri la evacuare.

Timpi specifici procesului de evacuare a agenţilor

Deoarece siguranţa vieţii în situaţia de incendiu depinde de timpul de evacuare, care este în mare măsură influenţat de comportamentul uman, putem define, relaţia 5.17:

$$TESD > TESC \tag{5.17}$$

unde: *TESD* este timpul de evacuare în siguranţă disponibil (eng. *ASET*), in *s*;
TESC - timpul de evacuare în siguranţa cerut (eng. *RSET*), in *s*;
Timpul *TESC* este definit, în FDS+EVAC, cu relaţia 5.18:

$$TESC = t_{pre}+t_{depl} = (t_{det}+t_{reac})+t_{depl} \tag{5.18}$$

unde: t_{pre} este timpul de pre-evacuare care începe din momentul declanşării incendiului şi se termină când persoanele se pun în mişcare către ieşire, fiind variabil şi depinzând de comportamentul ocupanţilor şi caracteristicile funcţionale ale clădirii (poate fi scurt şi previzibil atunci când nivelul instruirii ocupanţiilor este ridicat şi instalaţiile aferente clădirii sunt performante, iar în caz contrar poate fi lung şi imprevizibil); timpul de pre-evacuare are două componente:

t_{det} - timpul de detecţie (de la izbucnirea incendiului până în momentul detecţiei): ocupanţii îşi continuă activităţile iniţiale (studiază, lucrează la calculator etc.), în *s*;

t_{reac} - timpul de reacţie (în care persoanele iau decizii asupra evacuării): ocupanţii efectuează o serie largă de activităţi (investighează sursa incendiului, opresc calculatoarele, îşi adună bunurile personale, se grupează cu persoanele apropriate, caută căi de evacuare, alertează alte persoane, încearcă să stingă incendiul sau pot fi pasivi), în *s*;

t_{depl} - timpul de deplasare (în care persoanele se deplasează către o zonă sigură), în *s*;

5.7 Studiu de caz privind analiza evacuării persoanelor la incendiu din clădiri cu atrium

drd. ing. Zeno-Cosmin Grigoraş
Prof. dr. ing. Dan Diaconu-Şotropa

Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iaşi
Facultatea de Construcţii şi Instalaţii

Generalităţi

Cel mai important obiectiv al securităţii la incendiu în clădiri este realizarea evacuării în siguranţă a ocupanţilor ei. Incendiile reale confirmă faptul că reglementările tehnice specifice cu caracter prescriptiv, actuale (atât pe plan naţional cât şi internaţional), nu valorifică suficient posibilităţile de evacuare în siguranţă a ocupanţilor unei clădiri aflate în situaţia de incendiu.

Abordarea curentă a securităţii persoanelor aflate în situaţii de incendiu se concentrează asupra comportamentului uman punând accent pe percepţia unei situaţii de către un individ/grup de indivizi şi interacţiunea acestuia cu mediul.

Articolul prezintă simularea numerică a procesului evacuării umane în situaţii de incendiu pentru o clădire destinată învăţământului superior. Particularitatea principală a clădirii analizate o reprezintă atriumul, amplasat central, care facilitează împrăştierea fumului şi gazelor fierbinţi, aspect care pune în pericol siguranţa utilizatorilor clădirii.

Utilizând tehnicile inginereşti de abordare a securităţii la incendiu se analizează modalitatea de evacuare a persoanelor în ipoteza unui eventual incendiu folosind simulări numerice cu un înalt grad de credibilitate.

5.7.1 Introducere

Incendiul este pericolul care produce cele mai mare număr de victime şi cele mai mari distrugeri materiale. Protecţia persoanelor şi bunurilor în caz de incendiu a reprezentat o preocupare a societăţii încă din cele mai vechi timpuri (Diaconu-Şotropa, 2014).

Abordarea prescriptivă a securităţii la incendiu nu valorifică suficient posibilităţile de evacuare în siguranţă a ocupanţilor unei clădiri aflate în situaţia de incendiu.

Abordarea inginerească a securităţii la incendiu utilizează modele matematice care descriu comportamentul şi deplasarea umană în situaţii de incendiu cu un înalt grad de credibilitate.

Acest nou mod de abordare al securității la incendiu a determinat specialiști din cadrul Facultății de Construcții și Instalații din Iași să introducă cursuri specifice de Ingineria securității la incendiu în construcții, în planul de învățământ al programelor de master de inginerie civilă, așa cum Facultatea de Construcții din Timișoara a introdus cursuri specifice pentru calculul rezistenței la foc a structurilor metalice și compozite (oțel-beton).

Prezentul studiu de caz analizează, utilizând tehnici inginereşti, procesul evacuării umane în situaţia de incendiu pentru cazul unei clădiri ce adăposteşte activităţii didactice.

Clădirea analizată este Corpul IC (Instalaţii în Construcţii) aparţinând Facultăţii de Construcţii şi Instalaţii din cadrul Universităţii Tehnice „Gheorghe Asachi" din Iaşi, România și a fost pusă în funcţinue în anul 2009.

Clădirea este destinată desfăşurării activităţilor pentru învăţământul superior şi are regimul de înălţime D+P+M+5E. Particularitatea principală a clădiri o reprezintă atriumul, amplasat central, care se extinde pe înălţimea a 5 niveluri. Construcţia este alcătuită din 3 corpuri de clădire (A, B şi C); pentru că doar corpul principal, A, poate adăposti o aglomerare de

persoane s-a luat decizia, pentru a micşora timpul de rulare al analizelor, să se modeleze doar această parte a clădirii.

Funcţionalul clădirii este prezentat în tabelul 5.8:

Tabelul 5.8 Funcţionalul clădirii analizate

Nivel	*Descriere*
Demisol	Este amplasat parţial şi adăposteşte spaţii tehnice.
Parter	Adăposteşte un spaţiu expoziţional şi cele două accese în clădire.
Mezanin	Adăposteşte sălile Academiei Oamenilor de Ştiinţă din România, filiala Iaşi, nefiind destinat activităţii educaţionale.
Etaj 1-4	Adăposteşte spaţii pentru activităţi educaţionale.
Etaj 5	Adăposteşte spaţii tehnice.

Planul etajului 1 este prezentat în figura 5.9, etajele 2÷4 având o geometria similară:

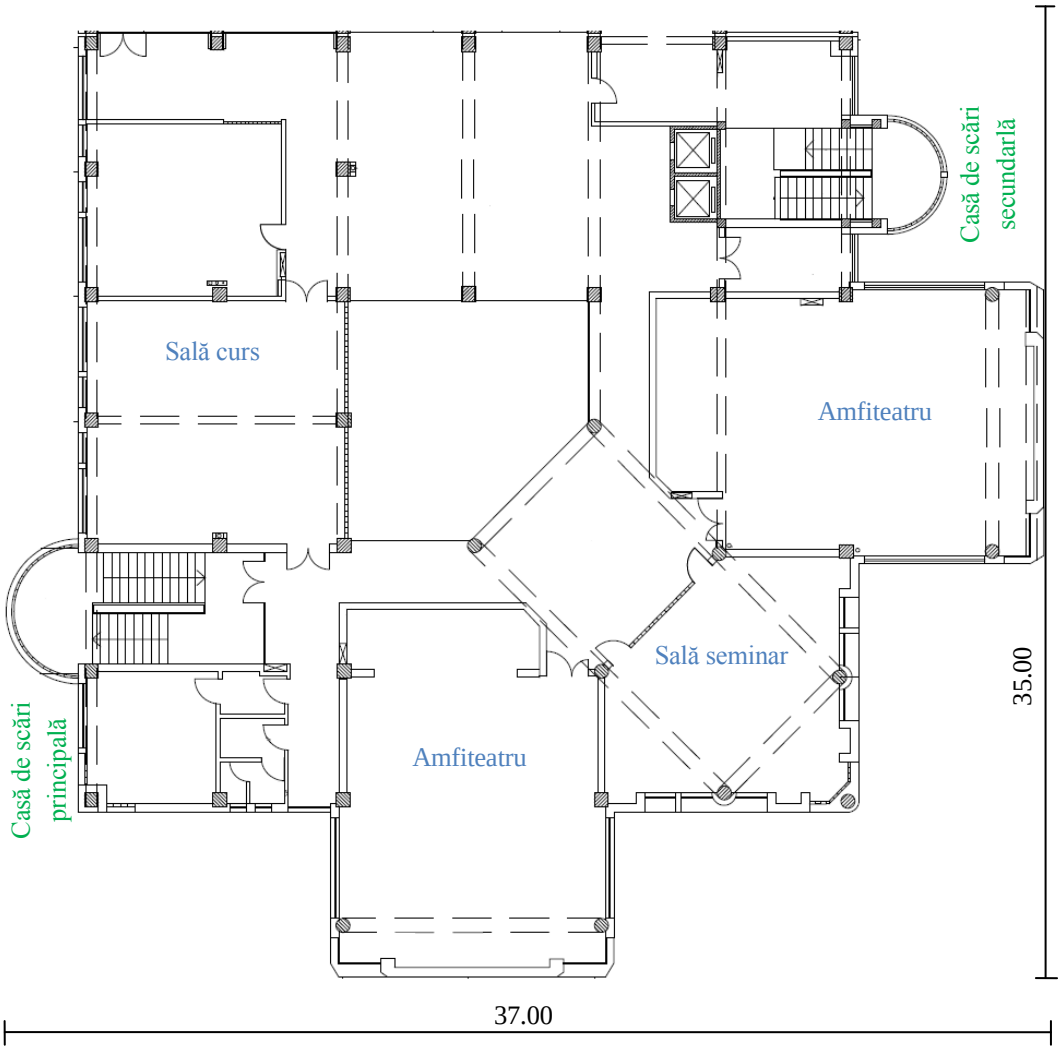


Figura 5.9 Planul etajului 1 al clădirii analizate

5.7.2 Stabilirea scenariului de incendiu

Studiul de caz are la baza iniţierea unui incendiu la mezaninul clădirii în Sala de Şedinţe a Academiei Oamenilor de Ştiinţă din România, Filiala Iaşi (figura 5.10). Materialele combustibilele existente în spaţiul incendiat sunt preponderent masele plastice (hidrocarbonaţi plastici puri - PE, PS şi PP).

Dezvoltarea unui incendiu la mezaninul clădirii are ca efect inundarea cu fum a atriumului de jos în sus şi a caselor de scări atât de sus cât şi de jos. Acest scenariu de incendiu produce reducerea rapidă a vizibilităţii pe căile de evacuare.

Figura 5.10 Materialele combustibile prezente în spaţiul incendiat

S-a considerat cazul defavorabil al ocupării clădirii la capacitate maximă: câte o persoană pentru fiecare scaun din sălile de curs/seminar, numărul de ocupanţi pe fiecare nivel fiind prezentat în tabelul 5.9:

Tabelul 5.9. Numărul de persoane corespunzător fiecărui nivel al clădirii analizate

Nivel	*Nr. de ocupanţi*	*Nivel*	*Nr. de ocupanţi*
Demisol	0	*Etajul 2*	74
Parter	0	*Etajul 3*	136
Mezanin	0	*Etajul 4*	98
Etajul 1	288	*Etajul 5*	0
Total: 596			

Pe durata dezvoltării incendiului s-au considerat următoarele:

- uşa şi ferestrele spaţiului incendiat sunt deschise;
- uşile sălilor de curs/seminar se închid automat după trecerea fiecărei persoane;
- ferestrele clădirii rămân închise;
- uşile celor două accese (principal şi secundar) în clădire sunt deschise permanent având o lăţime de 1 m.
- uşile caselor de scări rămân deschise;
- existenţa pieselor de mobilier în interiorul sălilor ocupate de persoane.

Dezvoltarea incendiului s-a modelat pe baza prescripţiilor europene (Grigoraş şi Diaconu-Şotropa, 2014) pentru materiale combustibile de tip plastic (*DiNenno şi alţii, 2002*), iar variaţia în timp a debitului de căldură degajată este prezentată în figura 5.11.

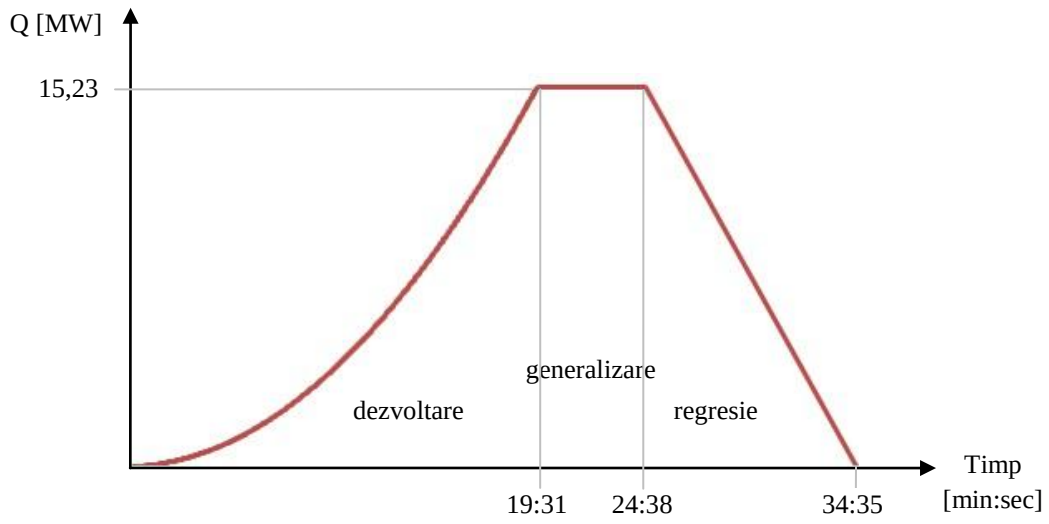


Figura 5.11 Variaţia în timp a debitului de căldură degajată

Timpul de detecţie al incendiului, măsurat din momentul iniţierii şi până în momentul declanşării alarmei de incendiu, este de 64 s. Acest timp s-a determinat utilizând o simulare numerică în care s-a amplasat un detector de fum în spaţiul incendiat (la 5 cm sub tavan, în centrul acestuia) şi s-a măsurat timp necesar declanşării acestuia.

Timpul de reacţie al persoanelor s-a considerat a fi de variabil, între 1 şi 3 minute (PD 7974-6:2004).

5.7.3 Instrumentele cercetării

Instrumentele utilizate în cadrul acestui studiu de caz sunt programe de calcul specializate în simularea numerică a dezvoltării incendiilor şi a procesului evacuării persoanelor aflate în situaţia de incendiu.

Prezentarea programului FDS

Fire Dynamics Simulator (denumit în continuare FDS) este un program de calcul specializat bazat de modele CFD (*Computational Fluid Dynamics*) pentru simularea numerică a dezvoltării incendiilor. Programul are la bază teoria curgerii fluidelor aplicată dinamicii incendiilor şi rezolvă ecuaţiile matematice care descriu curgerile cu viteză redusă (<0,3 Ma) acţionate termic, punând accent pe împrăştierea fumului şi transportul căldurii (McGrattan şi alţii, 2014a; McGrattan şi alţii, 2014b).

Prezentarea programului FDS+Evac

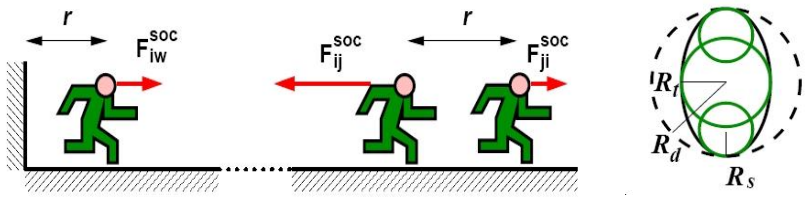
Fire Dynamics Simulator with Evacuation (denumit în continuare FDS+Evac) este modulul pentru simularea deplasării umane implementat în FDS. Acest modul are la bază analogia dintre deplasarea mulţimilor de persoane şi curgerea fluidelor.

FDS+Evac aproximează geometria spaţiului analizat utilizând o reţea de discretizare rectilinie uniformă. Agenţii se deplasează doar în geometrii orizontale iar trecerea de la un nivel al clădirii la altul se realizează utilizând o serie de conexiuni între reţelele de calcul ale fiecărui nivel (*Korhonen, 2014*).

Utilizarea unei reţele rectilinii se datorează metodei de calcul utilizată de către FDS pentru rezolvarea problemelor specifice împrăştierii fumului şi gazelor fierbinţi.

Programul FDS+EVAC tratează fiecare persoană care se evacuează (numită în program agent) ca pe o singură entitate, a cărei deplasare este controlată de o ecuaţie dependentă de timp. Fiecare agent are propriile sale proprietăţi şi strategii pentru evacuare. Agenţii sunt supuşi unor momente şi forţe de contact, derivând din comportamentul psihologic şi cel de deplasare (Grigoraş şi alţii, 2013; Korhonen, 2014)

Modelul deplasării agentului implementat în FDS este modelul Helbing modificat de către Langston. Acest model mai este denumit şi modelul forţei sociale deoarece deplasarea fiecărui agent este controlată de către o forţă pentru a păstra distanţe rezonabile faţă de pereţi şi faţă de ceilalţi agenţi, figura 5.12a, (Korhonen, 2014). Fiecare agent este reprezentat, în plan orizontal, utilizând 3 cercuri care aproximează forma eliptică a corpului uman (figura 5.12b) (*Korhonen, 2014*).



a) b)

Figura 5.12 Modelul Helbing: a) conceptul forţei sociale, b) forma corpului uman (*Korhonen, 2014*).

Conform lui Korhonen (2014) forţa care acţionează asupra unui agent are următoarele componente, relaţia 5.19,

$$f_i = F_{motivare} + F_{agent-agent} + F_{agent-obstacol} + F_{agent-incendiu} \tag{5.19}$$

unde: $F_{motivare}$ este forţa care pune în mişcare agentul şi îl direcţionează spre o ieşire;

$F_{agent-agent}$ - forţa care controlează interacţiunea agent-agent (permite păstrarea unei distanţei rezonabile faţă de ceilalţi agenţi întâlniţi şi ia în considerarea interacţiunea unui agent cu un grup de agenţi: atracţia faţă de grup sau comportamentul de turmă);

$F_{agent-obstacol}$ - forţa care controlează interacţiunea agent-obstacol (permite păstrarea unei distanţe rezonabile faţă de obstacolele care trebuie evitate de către agentul aflat în mişcare);

$F_{agent-incendiu}$ - forţa care controlează interacţiunea agent-incendiu (permite interacţiunea unui agent cu mediul incendiat: evitarea unei uşi dacă aceasta este blocată cu fum sau vizibilitatea este scăzută).

FDS+Evac are la bază analogia dintre deplasărea mulţimilor de persoane şi curgerea fluidelor (figura 5.13); deplasarea unui grup spre o ieşire fiind similară curgerii unui fluid provocată de către un ventilator.

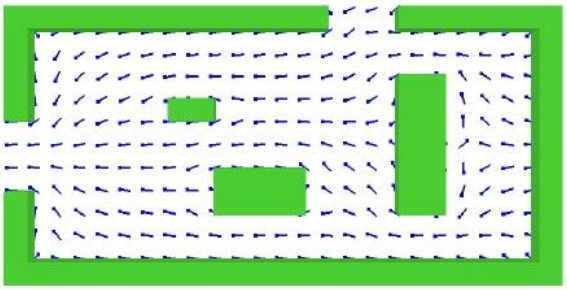


Figura 5.13 Un câmp de curgere 2D folosit pentru ghidarea agenţilor către uşile de ieşire (*Korhonen, 2014*)

Această metodă va direcţiona agenţii preponderent spre căile de circulaţie având lăţimile mai mari decât spre cele cu lăţimi mici, chiar dacă cele din urmă sunt mai scurte; metoda poate furniza rezultate apropiate de realitate pentru deplasarea grupurilor mari de persoane. De exemplu, când oamenii părăsesc locul unui eveniment de amploare, sportiv sau de divertisment, de obicei, urmează doar calea spre ieşirea din clădire fără un control prea mare al acestui proces (Grigoraş şi alţii, 2013).

Realitatea susţine faptul că persoanele preferă căile de evacuare familiare chiar dacă există căi alternative scurte, nefamiliare şi libere de fum (*Korhonen, 2014*). Un alt aspect confirmat de realitate este faptul că o persoană are tendinţa de a alege o căile de evacuare utilizată de un grup de persoane (comportament de turmă/gregar).

Algoritmul de selecţie al ieşirilor implementat în FDS+Evac utilizează atât comportamentul de turmă cât şi interacţiunea incendiu-agenţi (*Korhonen, 2014*).

Conform lui Korhonen (2014) un agent observă acţiunile celorlaţi agenţi şi se deplasează pe o cale de evacuare pe care estimează ca timpul de deplasare va fi cel mai scurt. Timpul de deplasare pentru un agent este calculat pe baza distanţei care urmează a fi parcursă şi estimând timpul de aşteptare în cazul în care pe calea de evacuare există o aglomerare de persoane.

Folosind FDS ca platformă de calcul pentru dezvoltarea incendiului modulul FDS+Evac are acces direct la toţi parametrii incendiului. Algoritmul de selectare al ieşirilor consideră interacţiunea incendiu-agent prin blocarea unei căi de evacuare cu fum sau gaze toxice şi selectarea unei căi de evacuare utilizabile (*Korhonen, 2014*).

Densitatea fumului este utilizată pentru calculul vizibilităţii unei căi de evacuare cât şi pentru reducerea vitezei de deplasare a agenţilor (*Korhonen, 2014*).

Efectele toxice ale produselor gazoase ale focului sunt tratate folosind conceptul FED (eng. Fractional Effective Dose), al lui Purser (2009). Parametrul FED cuantifică efectul toxic al CO, CN, NO_x, HNC şi al altor gaze (*Korhonen, 2014*). Un agent este considerat a fi în incapacitatea de a se salva când FED > 1. Un agent în incapacitate este modelat ca un agent care nu generează nici o forţă socială asupra celorlalţi agenţi şi a cărui viteză de deplasare este setată zero (*Korhonen, 2014*).

Principalele proprietăţi ale agenţilor sunt prezentate în tabelul 5.10:

Tabelul 5.10 Principalele proprietăţi ale agenţilor utilizaţi în cadrul simulării numerice (*Korhonen, 2014; PD 7974-6:2004*)

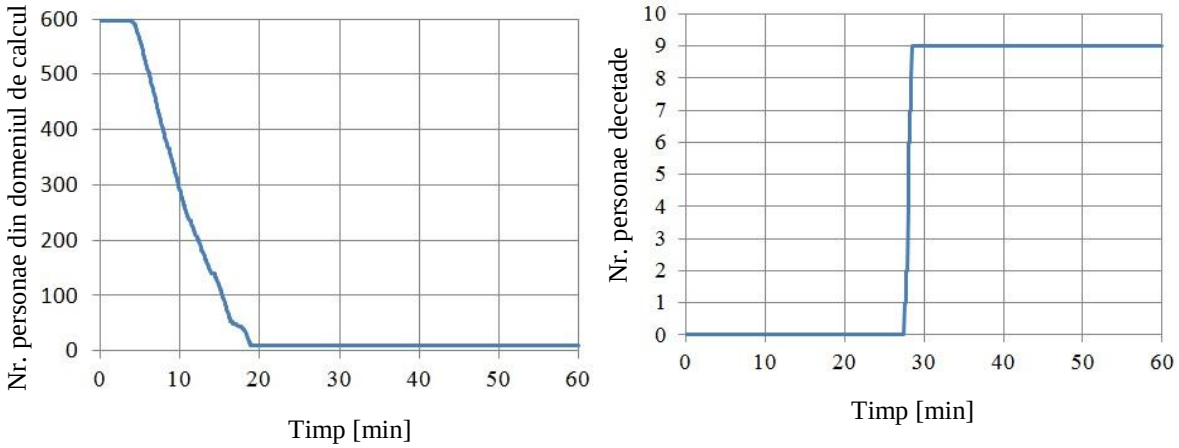
Proprietate	*Valoare*	*Tip distribuţie*
Timp de detecţie al incendiului	64 [s]	Constantă
Timp de reacţie	60-240 [s]	Uniformă
Diametru corp - R_d (Fig. 4b)	0,44-0,58 [m]	Uniformă
Diametru torace - R_t (Fig. 4b)	0,3 [m]	-
Diametru umăr - R_s (Fig. 4b)	0,19 [m]	-
Viteza de deplasare	0,95-1,55 [m/s]	Uniformă
Factor de corecţie al vitezei pentru coborarea scărilor	0,8 [-]	-

5.7.4 Rezultatele analizei

Desfăşurarea cronologică a evenimentelor rezultate în urmă simulării numerice este prezentată în tabelul 5.11, iar în figura 5.14 este prezentat, în raport cu timpul, variaţia numărului de persoane existente în domeniul analizat (figura 5.14a) şi variaţia numărului de persoane decedate (figura 5.14b).

Tabelul 5.11 Desfăşurarea cronologică a evenimentelor

Timp [min:sec]	*Dezvoltarea incendiu*	*Evacuarea umană*
0:00	Iniţierea incendiului (inceputul fazei de dezvoltare a incendiului)	Persoanele îşi desfăşoară activităţile obişnuite.
1:04	-	Detecţia incendiu de către sistemul automat şi declanşarea alarmei de incendiu. Persoanele încep să reacţionează: îşi adună bunurile personale, se grupează alături de cunoscuţi, investigează căile de evacuare etc.
4:04		Ultimele persoane se deplaseză către căile de evacuare.
18:54	-	Persoanele s-au evacuat din clădire (utilizând casa de scări şi ieşirea principală) cu excepţie a 9 dintre ele care au rămas blocate, datorită fumului, la parter în imediata apropiere a ieşirii principale.
19:31	Sfâşitul fazei de dezvoltare a incendiului şi inceputul fazei de generalizare.	-
24:38	Sfâşitul fazei de generalizare a incendiului şi inceputul fazei de regresie.	-
27:36	-	Persoanele blocate în clădire mor datorită intoxicării cu fum.
34:35	Sfârşitul fazei de regresie a incendiului.	



a) b)

Figura 5.14 Numărul de persoane: a) din domeniul de calcul, b) decedate

În continuare sunt prezentate modelul virtual al clădirii analizate (figura 5.15), împrăştierea fumului şi gazelor fierbinţi (figura 5.16), poziţia persoanelor la momentul iniţierii incendiului (figura 5.17), deplasarea persoanelor pe căile de evacuare (figura 5.18) şi poziţia persoanelor decedate (figura 5.19).

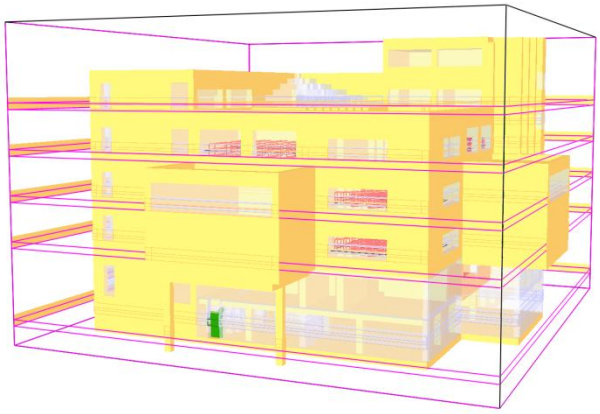


Figura 5.15 Modelul virtual al clădirii analizate

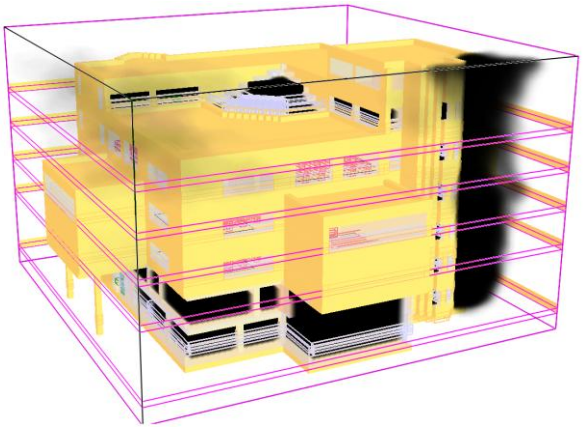


Figura 5.16 Împrăştierea fumului la exterior

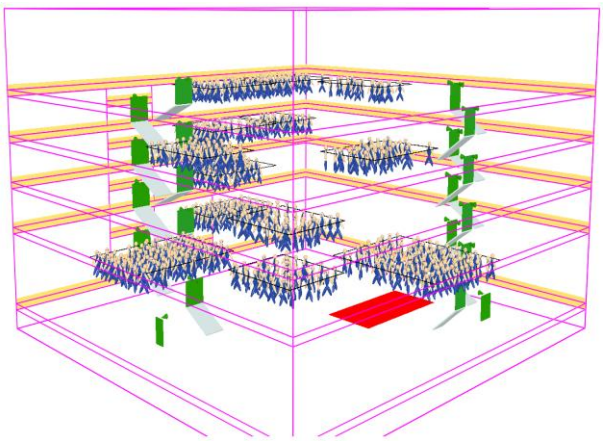


Figura 5.17 Poziţia persoanelor la interior

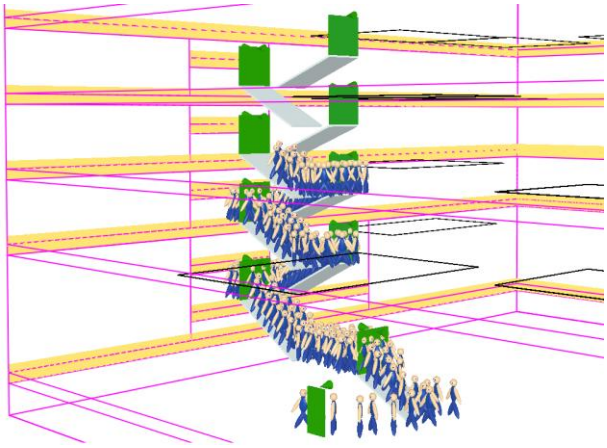


Figura 5.18 Evacuarea persoanelor prin casa de scări principală şi ieşirea principală

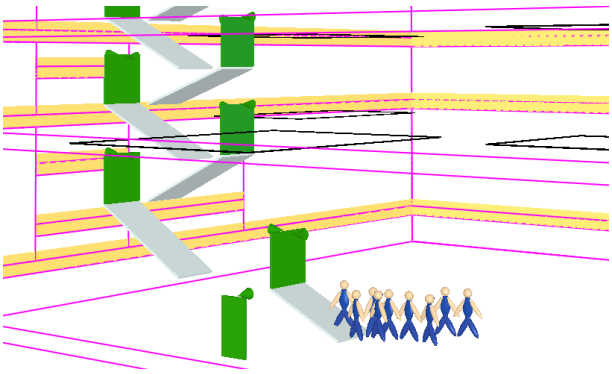


Figura 5.19 Poziţia persoanelor decedate

5.7.5 Concluziile analizei

Pentru scenariul de incendiu considerat se poate concluziona faptul că ocupanţii clădirii analizate sunt vulnerabili, decesul datorat intoxicării cu fum survenind pentru 9 indivizi (1,51% din totatul de persoane care ocupă clădirea). Pentru creşterea siguranţei procesului de evacuare umană în situaţii de incendiu este necesar propunerea şi adoptarea unor măsuri care menţin căile de circulaţie accesibile suficient timp pentru ca ocupanţii clădirii să se poată evacua în condiţii de siguranţă.

Autorii își propun să utilizeze modelul de evacuare mai sus prezentat cu ocazia realizării unui exercițiu de evacuare reală a ocupanților și să confrunte rezultatele obținute pe cele două căi.

Bibliografie la 5.1÷5.6

1. Combustion Science & Engineering, Inc., International Survey of Computer Models for Fire and Smoke, http://www.firemodelsurvey.com/EgressModels.html.
2. E. Cote, Arthur ; Bugbee, Percy – Principles of fire protection, http://books.google.ro.
3. Erica D., Kuligowski; Bukowski, Richard W., Design of Occupant Egress Systems for Tall Buildings, CIB World Building Congress 2004.
4. http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire04/art011.html.
5. Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FES+Evac, Timo Korhonen, Simo Hostica, Technical Reference and User's Guide, JULKAISIJA-UTGIVARE-PUBLISHER, 2009.
6. Groner, Norman E., Information about Human Behaviour and Fire Safety, 1999, http://www.peopleandfire.com/.
7. Gwynne, S., Galea, E.R., Lawrence, P.J., The introduction of social adaptation within evacuation modelling, 2006, Fire and Materials, www.interscience.wiley.com.
8. Korhonen, Timo; Hostikka, Simo, Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac, Technical Reference and User's Guide, 2009.
9. Kuligowski, Erica D., Modeling Human Behavior During Building Fires, NIST Technical Note 1619; 21 p. December 2008, http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire09/art018.html.
10. Meacham, Brian J.,Fire and Materials, 1999, Integrating Human Issues into Engineered Fire Safety Design, http://science.fire.ustc.edu.cn/Fire_materials/99605.pdf.
11. O'Connor, Daniel J., Integrating Human Behavior Factors Into Design, Fire protection Engineering – The Official Magazine of the Society of Fire Protection Engineers, http://www.fpemag.com/archives/article.asp?issue_id=10&i=17.
12. Peacock, Richard D.; Averill, Jason D.; Kuligowski, Erica D., Stairwell Evacuation from Buildings: What We Know We Don't Know, NIST Technical Note 1624; 16 p. January 2009, http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire09/art022.html.

Bibliografie la 5.7

1. ***, PD 7974-6:2004, The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings
Part 6: Human factors: Life safety strategies — Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6).
2. Diaconu-Şotropa D., *Bazele securităţii la incendiu în construcţii*, Editura Politehnum, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi" din Iaşi, Iaşi, 2014.
3. DiNenno P., Drysdale D., Beyler C., Douglas Walton W., Custer R., Hall J., Watts J., *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Third Edition, Published by the National Fire Protection Association, Massachusetts, 2002.
4. Grigoras Z. C., Diaconu-Şotropa D., *Definirea focului de calcul conform SR EN 1991-1-2 Anexa E*, Revista Asociaţiei Inginerilor Constructori Proiectanţi de Structuri - AICPS REVIEW 1-2/2014, ISSN 2067-4546, pp. 150-155.
5. Grigoraş Z. C., Daro-Marton K., Diaconu-Şotropa D., *Analiza evacuării umane în situaţia de incendiu la o clădire pentru învăţământul superior*, Întâlnirea Academică și Culturală a Studenților din Ingineria Civilă IACSIC 2013, Simpozionul Național REALIZĂRI STUDENȚEȘTI, 24-28 aprilie 2013, Iaşi

6. Hostikka S., Korhonen T., Paloposki T., *Development and validation of FDS+EVAC for evacuation simulation, Project summary report*, VTT Technical Research Centre of Finland, Finland, 2007
7. Korhonen T., *Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+EVAC, Technical Reference and User's Guide*, VTT Technical Research Centre of Finland, Finland, 2014.
8. McGrattan K., Hostikka S., McDermott R., Floyd J., Weinschenk C., Overholt C., *Fire Dynamics Simulator – Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical Model*, National Institute of Standards and Technology Special Publication 1018, USA, 2014a.
9. McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Hostikka S., Floyd J., *Fire Dynamics Simulator – User's Guide*, National Institute of Standards and Technology Special Publication 1019, USA, 2014b.
10. Purser D., *Human Fire Behaviour and Performance Baset Design*, Institution of Fire Engineers, AGM Conference and exhbition, Glasgow 2009.