



Universitatea  
Transilvania  
din Braşov

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: Inginerie Mecanică

Ing. Dragoş Sorin DIMA

**Cercetări privind dezvoltarea unor metode de analiză și  
reconstrucție a accidentelor rutiere**

**Research regarding development of methods used in  
analysis and reconstruction of traffic accidents**

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător științific

Prof.dr.ing. Anghel CHIRU

BRAȘOV, 2018



D-lui (D-nei) .....

## COMPONENȚA

### Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Braşov

Nr. .... din .....

PREȘEDINTE: **Prof. Dr. Ing. Roșca Ioan Călin**

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC: **Prof. Dr. Ing. Anghel Chiru**

REFERENȚI: **Prof. Dr. Ing. Nicolae Burnete**

**Prof. Dr. Ing. Polidor Bratu**

**Prof. Dr. Ing. Sorin Vlase**

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat: ....., ora .....,  
sala .....

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi transmise  
electronic, în timp util, pe adresa [d.dima@unitbv.ro](mailto:d.dima@unitbv.ro)

Totodată, vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de  
doctorat.

Vă mulțumim.



## CUVÂNT ÎNAINTE

Acum, la finalizarea tezei de doctorat, după o lungă și grea suferință științifică, doresc să adresez cuvinte de mulțumire sinceră și cu sentimente de aleasă considerație domnului Profesor dr. ing. Anghel CHIRU, care m-a preluat sub directa sa îndrumare și m-a sprijinit cu înțelepciune și iată că acum, sunt în sfârșit în măsură să răspund la persistenta sa întrebare care îmi răsună și acum în urechi: - Dragoș, cum stăm cu teza? - Răspunsul se găsește în aceste pagini.

Doresc totodată să aduc mulțumiri tuturor membrilor colectivului Departamentului de Autovehicule și Transporturi din cadrul Facultății de Inginerie Mecanică pentru sprijinul acordat dar mai ales pentru prietenia și sentimentul de familie pe care îl resimt tot timpul când mă regăsesc în mijlocul lor.

Nu găsesc cuvintele pe care le-aș considera necesare să mulțumesc prietenului meu dr. ing. Dinu COVACIU pentru sprijinul, consecvența și profesionalismul care m-a însoțit tot timpul desfășurării activității de doctorat; bunătatea, calmul și omenia sa mi-au dat puterea să merg înainte până astăzi.

Doresc să aduc mulțumiri deosebite comisiei de îndrumare, respectiv domnului Prof. Dr. Ing. Ioan Călin ROȘCA, domnului Prof. Dr. Ing. Corneliu COFARU, domnului Prof. Dr. Ing. Sorin VLASE și domnului Prof. Dr. Ing. Nicolae ISPAS pentru sprijinul continuu acordat în realizarea și corectarea tezei, prin observații, critici dar și soluții constructive și de mare ajutor.

Aș dori să mulțumesc domnilor dr. ing. Daniel Dragoș TRUȘCĂ și dr. ing. George TOGĂNEL cu ajutorul cărora am creat echipa de teste de coliziune, care la această oră putem afirma cu mândrie că se bucură de rezultate remarcabile în raport cu bugetele alocate.

Doresc să amintesc aici sprijinul acordat activităților desfășurate în această perioadă de colegul și prietenul meu Sorin VARGA precum și de domnul Prof. Dr. Ing. Hermann Steffan care au reprezentat un adevărat suport logistic și științific în desfășurarea activităților experimentale.

Nu în cele din urmă trebuie să mulțumesc familiei care m-a primit cu mare drag în mijlocul ei și în mod special lui Carmen fără ajutorul și sprijinul căreia nu aș fi reușit să finalizez această activitate. Mulțumesc pentru sfaturi, înțelepciune și căldura sufletească cu care m-a învăluit.

În final aș dori să mulțumesc studenților și masteranzilor de la cele două secții ale departamentului care au format echipele de teste și care din cauza numărului mare nu încap nominal în aceste rânduri, dar care m-au făcut să mă simt mai tânăr și folositor și de la care am primit energia necesară desfășurării acestor activități.



## CUPRINS

<b>1</b>	<b>Introducere.....</b>	<b>3</b>
1.1	<i>Accidentele rutiere în România - Situația actuală.....</i>	3
1.2	<i>Obiectivele tezei de doctorat.....</i>	4
1.3	<i>Structura tezei.....</i>	5
<b>2</b>	<b>Metode de analiză a accidentelor rutiere.....</b>	<b>8</b>
2.1	<i>Evaluarea vitezei autovehiculului pe baza înregistrărilor din sisteme de supraveghere.....</i>	10
2.2	<i>Simularea impactului și analiza comparativă cu ajutorul camerelor video.....</i>	13
2.3	<i>Determinarea traiectoriei de expulzare a conducătorului auto din autoturism.....</i>	19
2.4	<i>Evaluarea vitezei de deplasare din urmele laterale de pneu.....</i>	23
2.5	<i>Analiza accidentului pe baza amprentelor de deformație.....</i>	25
2.6	<i>Concluzii asupra metodelor de analiză utilizate.....</i>	27
<b>3</b>	<b>Modelul matematic al impactului.....</b>	<b>29</b>
3.1	<i>Evoluția conceptului.....</i>	29
3.2	<i>Modelarea impactului.....</i>	29
3.2.1	<i>Fazele impactului frontal dintre două autovehicule.....</i>	30
3.2.2	<i>Exemplu de aplicare a modelului matematic.....</i>	36
3.3	<i>Programul de simulare a accidentelor rutiere PC-Crash.....</i>	38
<b>4</b>	<b>Testele de coliziune.....</b>	<b>40</b>
4.1	<i>Prezentare generală.....</i>	40
4.2	<i>Colectarea datelor.....</i>	41
4.2.1	<i>Recomandări SAE J211.....</i>	41
4.2.2	<i>Echipamente de achiziție a datelor.....</i>	43
4.2.3	<i>Sistem original destinat achiziției de date.....</i>	45
4.2.4	<i>Calibrarea accelerometrelor.....</i>	47
4.3	<i>Prelucrarea datelor.....</i>	48
4.3.1	<i>Filtrarea semnalelor.....</i>	48
4.3.2	<i>Prelucrarea datelor cu PocketDAQ Analyzer.....</i>	51
4.3.3	<i>Prelucrarea datelor - accelerații.....</i>	52
4.3.4	<i>Prelucrarea datelor - viteza.....</i>	54
4.4	<i>Caracterizarea coliziunii prin pulsul de impact.....</i>	55



<b>5</b>	<b>Experimente și proceduri de testare .....</b>	<b>58</b>
5.1	<i>Stabilirea obiectivelor testelor experimentale .....</i>	<i>58</i>
5.2	<i>Proiectarea scenariilor de testare.....</i>	<i>58</i>
5.3	<i>Aparatura și dispozitivele utilizate.....</i>	<i>59</i>
5.4	<i>Desfășurarea testelor experimentale .....</i>	<i>62</i>
5.4.1	<i>Coliziunea frontală a unui autovehicul cu un stâlp.....</i>	<i>62</i>
5.4.2	<i>Răsturnarea unui autovehicul .....</i>	<i>63</i>
5.4.3	<i>Impactul de tip față-spate a două autovehicule.....</i>	<i>64</i>
5.4.4	<i>Impactul frontal a două autovehicule .....</i>	<i>66</i>
5.5	<i>Sinteza rezultatelor testelor experimentale .....</i>	<i>74</i>
<b>6</b>	<b>Concluzii finale și contribuții personale.....</b>	<b>75</b>
6.1	<i>Concluzii.....</i>	<i>75</i>
6.2	<i>Contribuții personale.....</i>	<i>77</i>
6.3	<i> Direcții viitoare de cercetare.....</i>	<i>79</i>
	<b>Bibliografie .....</b>	<b>80</b>
	<b>Rezumat.....</b>	<b>87</b>
	<b>Abstract.....</b>	<b>87</b>



## 1 INTRODUCERE

### 1.1 ACCIDENTELE RUTIERE ÎN ROMÂNIA - SITUAȚIA ACTUALĂ

În ultima perioadă de timp viața cotidiană se confruntă din ce în ce mai mult cu informațiile din mass media cu privire la accidentele rutiere. Aproape 60% din programele de știri sunt ocupate de subiecte legate de evenimentele rutiere petrecute zilnic. Gravitatea evenimentelor, precum și urmările acestora, furnizează producătorilor media subiecte cu caracter șocant.

Cu toate acestea, puțini sunt aceia care cunosc mecanismul declanșat în urma unui accident, precum și măsurile care se întreprind în astfel de situații. Este impresionant numărul persoanelor și instituțiilor care sunt angrenate în soluționarea și repararea daunelor provocate în urma unui accident și, nu în cele din urmă, sunt impresionante și sumele, respectiv costurile reparațiilor.

Analizele strategice din domeniu relevă un aspect îngrijorător, privind faptul că numărul accidentelor mortale din România este în continuă creștere - ajungând la 95 de morți la un milion de locuitori în anul 2016. Iar la tragedia umană se adaugă un prejudiciu economic enorm. În conformitate cu Master Planul General de Transport, costurile accidentelor rutiere fatale din România sunt îngrijorător de mari - fiind estimate la cel puțin 1,2 miliarde de euro (5,4 miliarde lei) pe an. Aceste sume conduc la concluzia că, în ipoteza realizării strategiei de Siguranță Rutieră 2020, prin reducerea cu 50% a acestor fatalități, s-ar putea crea premisele unei rezerve la bugetul de stat capabile să finanțeze un minister.

În cele de mai sus am vorbit doar de aspectele de ordin material, însă de cele mai multe ori accidentele grave se soldează cu victime omenești, sau cu vătămări corporale grave. Aceste statistici se regăsesc în rapoartele anuale ale Institutului Național de Medicină Legală "Mina Minovici". Din aceste surse putem evalua statistic evoluția evenimentelor rutiere soldate cu deces, într-o situație comparativă, pe un interval caracteristic: 1989-2016. Îngrijorător este faptul că, după o perioadă de cca 6 ani în care s-a înregistrat o scădere a numărului de victime, anul 2016 a revenit în top cu un număr de 2090 victime înregistrate.

Acest aspect poate fi influențat și de faptul că la nivelul anului 2008 aveam un parc de autovehicule înmatriculate în România de 5.071.697 unități, iar la finalul lui 2016 (situație raportată la 31.03.2017) parcul număra 7.010.609 unități, ceea ce reprezintă o creștere cu cca. 30% a parcului de autovehicule înmatriculate în România, în condițiile în care infrastructura rutieră pentru aceeași perioadă nu a cunoscut modificări majore, în ceea ce privește creșterea capacității de trafic rutier.

În acest mod, se conturează și își găsește motivarea obiectivul prezentei lucrări, prin stabilirea unor metode de analiză și reconstrucție a accidentelor rutiere, obiectiv care se încadrează perfect în prevederile Hotărârii 755/2016 privind aprobarea Strategiei Naționale pentru Siguranță Rutieră 2016-2020.



## 1.2 OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Aşa cum era menţionat mai sus, obiectivul principal al tezei constă în **stabilirea unor metode de analiză și reconstrucție a accidentelor rutiere.**

Evaluările care au fost făcute pentru identificarea cauzelor accidentelor rutiere în perioada 1998-2016, precum și procedurile aplicate pentru identificarea cauzelor acestora, arată că sunt necesare cercetări laborioase pentru punerea la punct a unor metode de analiză și reconstrucție a accidentelor rutiere în concordanță cu cerințele și procedurile aplicate în Uniunea Europeană.

Activitatea profesională desfășurată în domeniul cercetării accidentelor de trafic rutier, din anul 1999, a permis autorului realizarea, pe lângă studiile teoretice în domeniu, a unei baze de date, care a asigurat suficiente informații tehnice de specialitate pentru a pune la punct o metodă de analiză și reconstrucție a accidentelor rutiere.

Diversitatea cauzelor accidentelor rutiere și, implicit, a datelor disponibile pentru analiza acestora, face ca și metodele de analiză să fie diverse, adaptate cazurilor întâlnite în practică. Datele provin din peste 600 de accidente rutiere analizate, cu identificarea cauzelor și stabilirea parametrilor dinamici ai autovehiculelor implicate în coliziune, folosind metode clasice și moderne de calcul.

Pentru realizarea acestei lucrări a fost întocmit un program de studiu și analiză care a avut în vedere următoarele obiective:

1. Sistematizarea influenței parametrilor dinamici și constructivi ai autovehiculelor și sistemelor de siguranță ale acestora asupra cauzelor care au generat accidentele rutiere;
2. Identificarea unor metode specifice de analiză a accidentelor rutiere, adaptate informațiilor disponibile, ce vor fi exemplificate prin studii de caz;
3. Elaborarea unor metode originale pentru simularea impactului și determinarea parametrilor dinamici caracteristici ai autovehiculelor implicate în accident;
4. Stabilirea, pe argumente științifice rezultate în urma studiilor, a metodelor și mijloacelor de calcul care trebuie aplicate pentru reconstrucția, cu precizie ridicată, a accidentelor rutiere;
5. Formularea modelului matematic general, dedicat coliziunilor vehicul-vehicul, acest tip de accident fiind printre cele mai frecvente; datele disponibile sunt, în aceste cazuri, referitoare la pozițiile finale ale vehiculelor și deformările acestora;
6. Desfășurarea de cercetări experimentale, pe baza unor scenarii de testare adecvate scopului urmărit, pentru evaluarea parametrilor specifici coliziunilor, în vederea validării modelelor teoretice;
7. Studiul posibilităților de simulare a accidentelor rutiere folosind programele de calculator, al căror algoritmi de calcul au la bază modele matematice similare celui prezentat în teză;
8. Simularea reală a accidentelor, prin teste de coliziune, efectuate într-un mediu controlat din punct de vedere al siguranței și al condițiilor de producere a coliziunii (datele de intrare);
9. Punerea la punct a unor proceduri de achiziție și prelucrare a parametrilor specifici coliziunii autovehiculelor, atât în cazul accidentelor rutiere, cât și în cazul testelor de coliziune;



10. Pentru testele de coliziune, stabilirea metodelor de colectarea și prelucrare a datelor, inclusiv elaborarea de algoritmi de calcul, precum și identificarea și eventual îmbunătățirea aparaturii de achiziție a datelor.

În final, trebuie să poată fi corelate rezultatele obținute prin calcul, pe baza modelului matematic, cu rezultatele simulării pe calculator, folosind programe specializate și rezultatele testelor de coliziune, astfel ca experiența dobândită din aceste cercetări să poată fi folosită la stabilirea condițiilor de producere a accidentelor reale.

### 1.3 STRUCTURA TEZEI

Pe lângă *Introducere* și *Anexe*, teza cuprinde cinci capitole principale:

- Metode de analiză a accidentelor rutiere
- Modelul matematic al impactului
- Testele de coliziune
- Experimente și proceduri de testare
- Concluzii finale și contribuții personale.

Capitolul **Metode de analiză a accidentelor rutiere** cuprinde un număr de cinci studii de caz, ce reprezintă situații întâlnite în practică, fiecare implicând diferite informații (date de intrare) disponibile și metode de analiză adecvate. Astfel, primul caz descrie analiza unui accident pe baza probelor video preluate de la camerele de supraveghere. Pe măsură ce numărul camerelor de supraveghere video instalate în vecinătatea drumurilor crește, se înmulțesc și cazurile în care pot fi utilizate imagini de la aceste sisteme pentru analiza unor evenimente rutiere. În acest studiu s-a determinat viteza de deplasare a unui autoturism în momentele premergătoare accidentului.

În al doilea caz sunt utilizate, de asemenea, imagini preluate de o cameră de supraveghere, dar aceste imagini surprind momentul impactului și au fost utilizate pentru confirmarea rezultatelor simulării pe calculator a accidentului, prin suprapunerea imaginilor filmate cu imaginile generate prin simulare. Pentru optimizarea soluțiilor a fost utilizat algoritmul genetic.

Al treilea studiu se referă la analiza traiectoriilor posibile de expulzare a conducătorului din autoturism. Au fost analizate urmele lăsate de diferite obiecte expulzate din autoturism. A fost modelat un sistem multicorp format din 66 de corpuri, din care 18 corpuri reprezentau conducătorul autoturismului.

În cel de-al patrulea caz analizat, au fost utilizate urmele laterale de pneu, lăsate pe caroseria autovehiculelor implicate, rezultând un număr de microcoliziuni, între vehicule și respectiv între vehicule și parapet. A fost realizată simularea coliziunii cu programul PC-Crash, program specializat pentru simularea accidentelor rutiere.

Al cincilea caz prezintă o analiză a unui accident pe baza amprentelor de deformație. Acestea sunt





urme lăuate de părți ale caroseriei unui autoturism pe caroseria celuilalt autoturism implicat în accident. Prin suprapunerea fotografiilor celor două autoturisme s-a putut stabili că unul dintre cele două autoturisme era staționar în momentul coliziunii.

Capitolul **Modelul matematic al impactului** este dedicat prezentării unui model matematic ce stă la baza unui număr mare de simulări a accidentelor rutiere. Este prezentat, pentru început, un scurt istoric al analizei accidentelor, de la primele schițe folosite în modelarea impactului (1941), până la metodele utilizate la data actuală. Se arată că, la începuturile analizei accidentelor, coliziunile erau calculate preponderent prin utilizarea legii conservării momentului precum și a momentului unghiular. Legea conservării energiei era utilizată în măsură foarte mică.

După 1980 a fost utilizată în calcul legea conservării energiei. O contribuție majoră a adus definirea vitezei corespunzătoare energiei echivalente de deformare - EES (*Energy Equivalent Speed*), precum și combinarea principiului vectorilor corespunzători momentului linear cu legea conservării energiei.

Este prezentat, în detaliu, un model matematic destinat modelării coliziunii vehicul - vehicul, cu fazele pe care le implică aceasta: ante-coliziune, coliziune și post-coliziune. Este prezentat și un exemplu de aplicare a modelului de calcul, folosind un algoritm implementat de autor în programul de calcul tabelar Excel.

Acest capitol cuprinde și o prezentare a programului de simulare a accidentelor PC-Crash, program care implementează și un algoritm bazat pe modelul matematic prezentat, pe lângă altele. Acest program a fost utilizat pentru analiza testelor experimentale descrise în capitolele următoare.

În capitolul **Testele de coliziune** este prezentat modul de realizare a încercărilor la impact a autovehiculelor, ca instrument de analiză a rezistenței structurii autovehiculului la impact, precum și pentru simularea la scară reală a unor accidente rutiere.

Modul de pregătire a autovehiculelor pentru testare este specificat în standarde, precum SAE J211, ale cărui cerințe sunt prezentate. Aceste cerințe includ modul de echipare a autovehiculelor pentru testele de coliziune, dar și unele condiții pentru prelucrarea datelor înregistrate.

Sunt prezentate sistemele principale de achiziție a datelor utilizate în testele de coliziune desfășurate în Centrul de cercetare în care activează autorul. Pe lângă sistemele dedicate, achiziționate de la producători consacrați, au fost realizate sisteme originale, la care autorul lucrării și-a adus o contribuție semnificativă. Sistemele originale de achiziție a datelor sunt destinate înregistrării vitezei și respectiv accelerației autovehiculului. Acestea sunt completate cu programe proprii de prelucrare a datelor.

În cadrul acestui capitol este introdus, ca instrument de analiză a coliziunii, pulsul de impact (*crash pulse*), reprezentând evoluția în timp a accelerației, pe durata coliziunii. Pulsul de impact, așa cum este descris în această lucrare, nu a mai fost prezentat anterior în literatura de specialitate disponibilă în limba română.

Capitolul **Experimente și proceduri de testare** prezintă patru dintre testele de coliziune efectuate de colectivul Centrului de cercetare din ICDT, Universitatea Transilvania din Braşov. Testele reproduc situații diferite de coliziuni în care sunt implicate autoturismele: coliziunea cu un obstacol fix (stâlp),



răsturnarea, coliziunea față-spate a două autoturisme și coliziunea frontală a două autoturisme.

Coliziunea frontală a două autoturisme este analizată mai detaliat, folosind diferite instrumente disponibile:

- pulsurile de impact determinate pe baza datelor înregistrate pentru cele două autovehicule;
- calculul cu ajutorul programului de calcul tabelar Excel, folosind algoritmul implementat de autor, pe baza modelului matematic descris în capitolul 3;
- simularea cu programul PC-Crash.

Ultimul capitol, **Concluzii finale și contribuții personale**, cuprinde concluziile ce se desprind din această lucrare, urmate de evidențierea contribuțiilor personale ale autorului la dezvoltarea domeniului accidentologiei și reconstrucției accidentelor rutiere. Sunt prezentate și câteva posibile direcții de cercetare pentru viitor.



## 2 METODE DE ANALIZĂ A ACCIDENTELOR RUTIERE

Apariția automobilului în anul 1770, proiectat de francezul Nicolas-Joseph Cugnot, conduce în anul 1771 la prima coliziune, cu zidul Arsenalului din Paris, pe care l-a dărâmat. Se înregistrează astfel primul accident de vehicul din istorie.

Analiza accidentului a venit rapid și s-a constatat că viteza de 3,6 km/h (1 m/s) și lipsa posibilităților de manevrare, datorată unei distribuții a greutateii improprie pe roata din față, direcțională, au condus la imposibilitatea de a schimba rapid direcția de deplasare.

Așadar, începând cu anul 1800, accidentul rutier generează probleme care necesită atenție și bineînțeles, o analiză a cauzelor care l-au generat.

Analiza accidentului reprezintă o acțiune retrospectivă de stabilire „post-factum” a condițiilor în care acesta s-a produs [3].

În lucrarea de față se va prezenta metodologia de analiză a accidentului, care operează la acest moment în România, cu referire și la bunele practici din alte state ale comunității europene [40], precum și din SUA. În acest context, trebuie menționat faptul că, pentru analiza accidentului rutier, există organizații specializate. Ele au preluat aceste activități în vederea realizării unei imagini cât mai complete și complexe a condițiilor în care s-a produs accidentul rutier [78, 79].

În practică, în urma unui accident rutier, analiza acestuia se realizează în următorii pași:

- Apelul de urgență la serviciul 112;
- Distribuirea sarcinilor către serviciul de ambulanță, SMURD, Pompieri, Poliție;
- Intervenția prioritară a echipelor de descarcerare SMURD, salvare și Pompieri cu suportul logistic al Poliției Rutiere, în vederea salvării victimelor – obiectiv prioritar, precum și a conservării locului faptei;
- Efectuarea de măsurători în vederea întocmirii schiței la scară a locului accidentului, cu poziționarea tuturor elementelor de probă și întocmirea unui proces verbal de cercetare de către Poliția Rutieră;
- Efectuarea de fotografii judiciare operative și filmări de către serviciul criminalistic al Poliției;
- Identificarea și preluarea declarațiilor de la posibila martorie oculară ai accidentului de către Poliția Judiciară;
- Prelevarea de probe biologice ale celor implicați în accident;
- Întocmirea buletinului de evenimente și înregistrarea dosarului la Parchetul de pe lângă Judecătoria Locală;
- **Ordonanță de efectuare a unei expertize tehnice**, analiză, concluzii trimiterea dosarului către instanța de judecată pe baza referatului procurorului în vederea stabilirii culpei și

modalităţilor de recuperare a prejudiciului.

Primele 7 puncte sunt efectuate la momentul accidentului în regim de urgenţă, ultimul punct însă poate dura luni sau în anumite situaţii chiar ani.

Asupra anumitor puncte din această analiză, în cadrul cercetărilor efectuate am putut aduce anumite elemente de studiu, în vederea elaborării de metode şi soluţii de rezolvare cu celeritate şi corectitudine a acestor obiective.

În cadrul experimentelor efectuate la centrul de cercetare ICDT – HTPA al Universităţii Transilvania din Braşov, printre testele efectuate s-au realizat, pe baza unui protocol comun, şi simulări de intervenţie a echipelor SMURD în caz de accident.

În cadrul activităţilor comune desfăşurate s-a realizat un experiment de descarcerare a unei victime dintr-un autovehicul, răsturnat în urma unui test de coliziune simulat.

În ceea ce priveşte cercetarea accidentului la faţa locului, s-a iniţiat un proiect comun în cadrul unui Parteneriat semnat cu Inspectoratul Judeţean de Poliţie Braşov, prin care a fost realizată o aplicaţie software pentru sisteme portabile (tablete) cu ajutorul căreia ofiţerii de poliţie operativi vor putea realiza schiţele de la locul accidentului în reprezentare la scară.

Această aplicaţie software a fost concepută astfel încât să asigure realizarea cât mai uşoară a schiţei locului accidentului, dar în acelaşi timp să ofere posibilităţi de editare avansată. Este o aplicaţie Lisp ce funcţionează în cadrul unui program de proiectare asistată de calculator. Interfaţa de lucru a programului este prezentată în Fig. 2.1. Ce se poate remarca, chiar în această figură, este faptul că programul aduce o paletă nouă de funcţii în meniul tip *ribbon* al programului de bază. Zona principală de lucru este zona de desenare, care este în acelaşi timp zonă de introducere a datelor şi de vizualizare. Marcarea punctelor pe schiţă, atunci când este necesar, se face prin *click* cu *mouse*-ul, iar introducerea valorilor numerice, sau text, se face folosind casete de dialog ca cea din Fig. 2.1.

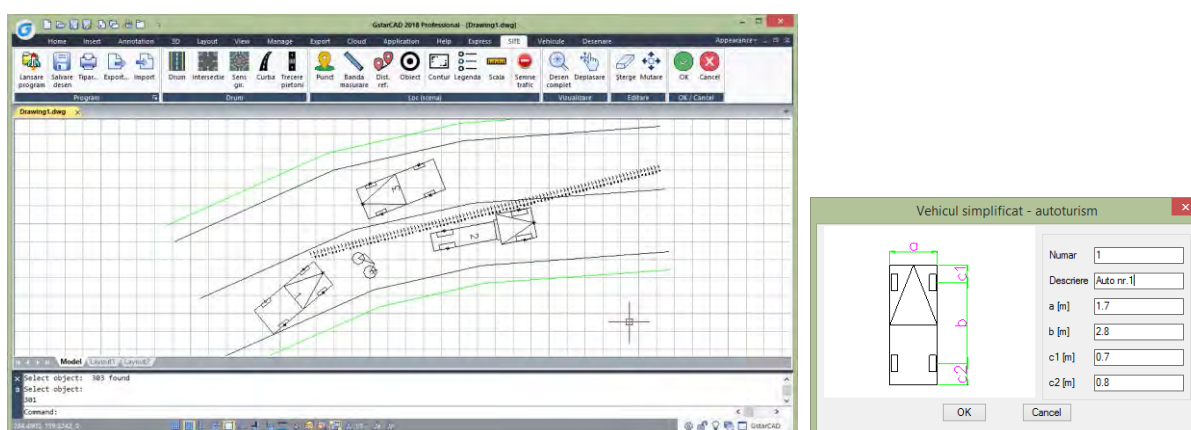


Fig. 2.1. Interfaţa de lucru a programului SITE

Schiţele realizate cu precizie ridicată, la scară, pot fi apoi utilizate de către experţii tehnici care se ocupă de reconstrucţia accidentelor, ca bază a simulării pe calculator a evenimentelor respective.

## 2.1 EVALUAREA VITEZEI AUTOVEHICULULUI PE BAZA ÎNREGISTRĂRILOR DIN SISTEME DE SUPRAVEGHERE

O categorie aparte a datelor despre accidentele rutiere, ce pot fi disponibile în tot mai multe cazuri, îl reprezintă înregistrările video de la sistemele de supraveghere. Acestea, chiar dacă nu sunt destinate supravegherii traficului, pot furniza date despre modul de desfășurare a unui accident și despre condițiile de mediu (meteorologice, de lumină etc.). În unele cazuri, chiar și viteza de deplasare poate fi determinată pe baza imaginilor și a bazei de timp a sistemului de supraveghere video.

Pentru reconstrucția accidentelor rutiere există mai multe posibilități de identificare a parametrilor dinamici ai autovehiculelor înaintea coliziunii sau impactului. Una dintre acestea poate fi oferită de imaginile înregistrate de camerele ce supraveghează traficul rutier sau sediile firmelor, întreprinderilor sau unităților administrative aflate în apropiere de, sau pe artera de circulație.

Această metodă de analiză și apreciere nu poate înlocui analiza tehnică a accidentului, dar poate furniza informații importante cu privire la viteza de deplasare pe tronsoanele de drum surprinse pe camerele de supraveghere.

Obiectivul aceste analize a fost de a identifica soluții tehnice pentru calculul vitezei cu care s-a deplasat un autoturism, folosind imaginile surprinse de camerele de supraveghere, coroborat cu datele tehnice ale camerelor menționate și configurația terenului.

În urma studierii materialelor (planșă fotografică cu fotografii judiciare operative - procesul verbal de cercetare la fața locului și schița locului accidentului) și înregistrărilor video de pe camerele amplasate pe clădirea unei societăți comerciale, care surprind modul de deplasare anterior impactului al autoturismului. Acestea sunt denumite după modul de orientare al camerelor de supraveghere: "Intrare parcare" și „Bariere”.

Pentru aceasta, din fișierele video s-au exportat două filme în format AVI care au fost prelucrate ulterior astfel s-a putut elabora o metodă care permite determinarea vitezei autovehiculului.

Astfel, filmul "Intrare parcare" surprinde intrarea autoturismului în cadru, la frame-ul 109, corespunzător timpului  $t = 7,785s$  indicat cu săgeată în Fig. 2.2.



Fig. 2.2. Cadru din secvența video înregistrată de camera de supraveghere - intrare autovehicul

Ieşirea din cadru se realizează la frame-ul 139 corespunzător timpului  $t=9,928$  s distanţa fiind parcursă în intervalul de 2,143 s (Fig. 2.3).



Fig. 2.3. Cadru din secvenţa video înregistrată de camera de supraveghere - ieşire autovehicul

S-a introdus o imagine din satelit la scară, în programul specializat de simulare a accidentelor PC Crash 11.1, imaginea rezultată fiind reprezentată în Fig. 2.4.

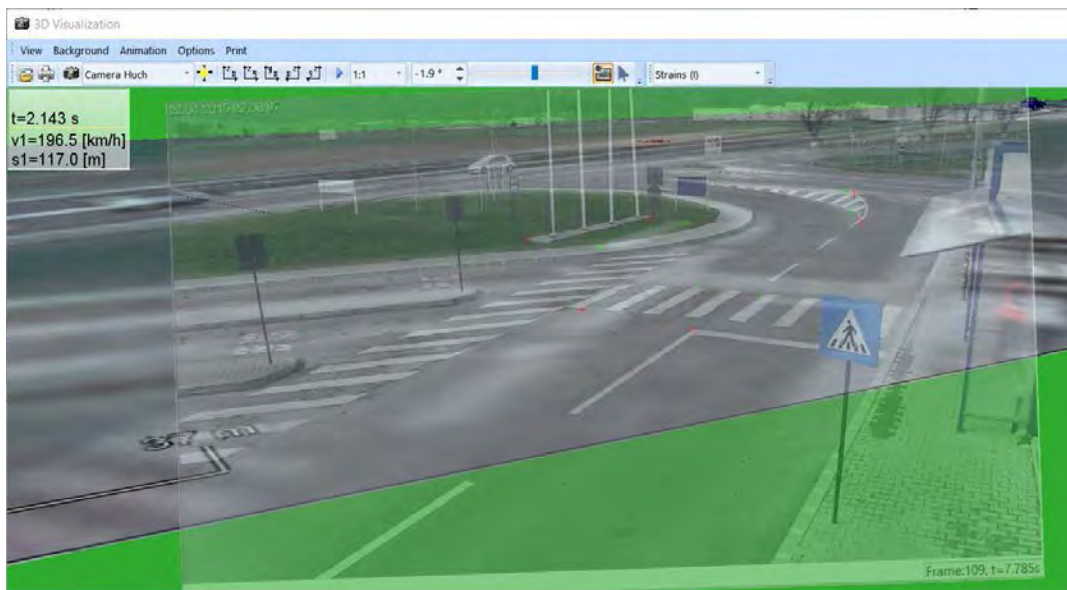


Fig. 2.4. Simularea video suprapusă în programul PC-Crash

Imaginea din Fig. 2.4 a fost obţinută prin suprapunerea 3D a reprezentării din satelit cu informaţia de pe camera video. Printr-un proces de rectificare fotografică s-a putut determina câmpul de vizibilitate al camerei video de supraveghere.

În urma prelucrării datelor cu un algoritm clasic de calcul şi a corelării acestora cu imaginile video, s-a putut determina că spaţiul parcurs de autovehicul între cele două puncte (de intrare în cadru şi respectiv de ieşire din cadru) a fost de cca. 117 m. Pe baza acestor calcule, estimând că deplasarea s-a realizat cu viteză constantă, s-a putut determina viteza medie de deplasare, care a avut valoarea de 196,6 km/h.

Algoritmii de calcul pentru determinarea vitezei de deplasare, implementat în programul de calcul tabelar (Excel), este prezentat în Fig. 2.5. Pentru verificarea calculului s-a realizat şi o simulare a

deplasării autovehiculului la această viteză.

Tabel de calcul al vitezei de deplasare						
Introduceți nr. de frame-uri:		14				
		1 frame= 0,071428571				
Începutul secvenței de timp:						
ore	min	sec	frames	total secunde		
0	0	0	109	7,786		
Sfârșitul secvenței de timp:						
ore	min	sec	frames	total secunde		
0	0	0,00	139	9,929		
Distanța între punctul de intrare și ieșire				Viteza estimată		
metri			Km	Km/h		
117			0,117	196,6		

Fig. 2.5. Calculul vitezei de deplasare în programul de calcul tabelar Excel

Analiza arată că, în condițiile limită, există diferențe de aprox. 4 m în pozițiile intermediare, adică simularea rămâne în urma filmului. Aceste necorelări se datorează faptului că viteza autovehiculului nu a fost constantă. Astfel, reluând simularea cu pozițiile intermediare determinate, s-a constatat variația vitezei de deplasare din Fig. 2.6.

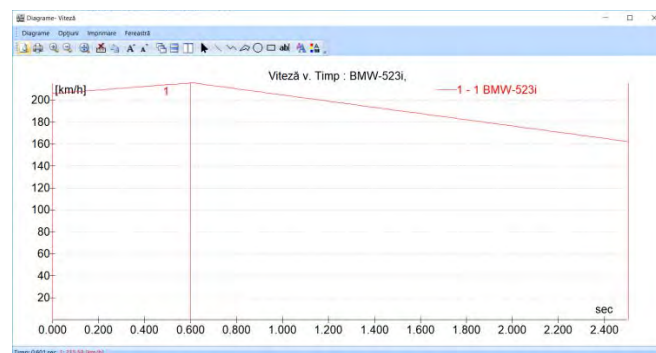


Fig. 2.6. Variația vitezei de deplasare - diagramă în PC-Crash

Calcululele arată că la intrarea în cadru autoturismul avea viteza de cca. 206 km/h, iar valoarea maximă a fost atinsă la cca. 0,6 s după intrarea în cadru. Ea a fost de 215,6 km/h.

În urma procesării informațiilor de pe cea de-a doua cameră s-a trasat diagrama variației vitezei autoturismului (Fig. 2.7), obținută prin simulare, cu un maxim de cca. 213 km/h.

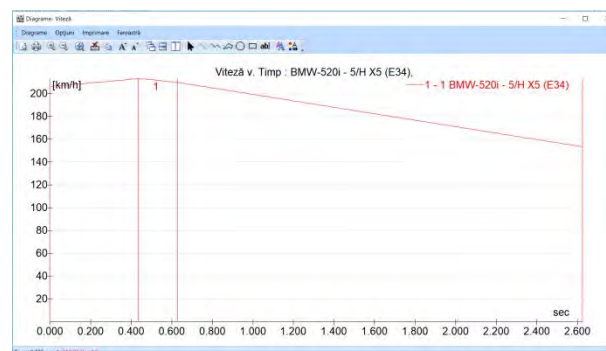


Fig. 2.7. Diagrama vitezei (PC-Crash)

Evaluările efectuate arată că, din cauza deplasării cu mişcare accelerată şi frânată a autoturismului, pentru determinarea vitezelor momentane sunt necesare estimări succesive şi verificări ale parametrilor de mişcare.

**Concluzie finală:** Viteza de deplasare maximă a autoturismului determinată prin prelucrarea imaginilor oferite de camerele video de supraveghere a fost de 215 km/h, cu o eroare maximă de  $\pm 5\%$ .

## 2.2 SIMULAREA IMPACTULUI ŞI ANALIZA COMPARATIVĂ CU AJUTORUL CAMERELOR VIDEO

Acest subcapitol a fost dezvoltat pornind de la un caz concret, pentru a valida o metodă de determinare a vitezelor mai multor autovehicule implicate într-un accident, prin simulare cu ajutorul unui program de calcul şi validarea rezultatelor prin comparare cu înregistrarea video a evenimentului [28]. Pentru aceasta, au fost stabilite obiectivele studiului:

- a) Evaluarea vitezei ansamblului auto format din autotractor şi semiremorcă şi autoturismul Dacia Break, înainte de impact şi în momentul impactului;
- b) Stabilirea locului şi momentului impactului raportat la coordonatele părţii carosabile;
- c) Determinarea parametrilor dinamici ai autovehiculelor în funcţie de urmele identificate.

Pentru rezolvarea obiectivelor stabilite s-au efectuat măsurători în zona producerii accidentului, precum şi fotografii ale locului impactului.

După o primă analiză a avariilor, s-a constatat că autoturismul prezintă deformaţii în partea laterală stânga şi cu penetrare în volumul 1 şi 2 în dreptul stâlpului median, deplasările punţilor şi îndoirea pronunţată a pavilionului cu comprimarea laterală a spaţiului motor deasupra roţilor (Fig. 2.8).



Fig. 2.8. Imaginea autoturismului avariata





Fig. 2.9. Fotografii ale autotractorului avariat

Cel de-al doilea autovehicul implicat în accident a fost un autotractor cu semiremorcă. Aceasta era încărcată la momentul producerii accidentului cu o masă de 23 t.

Avariile produse autotractorului sunt prezentate în imaginea din Fig. 2.9.

În accident a fost implicat și un atelaj încărcat cu 1,3 m<sup>3</sup> de lemn, prezentat în Fig. 2.10.



Fig. 2.10. Atelajul implicat în accident

În cele ce urmează este analizată diagrama tahograf a autotractorului, al cărei detaliu, incluzând momentele imediat premergătoare accidentului, este prezentat în Fig. 2.11.

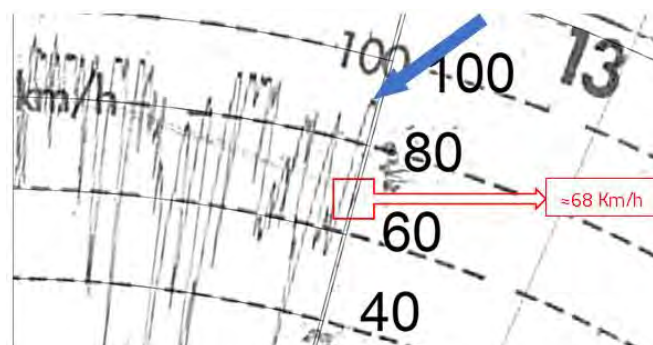


Fig. 2.11. Diagrama tahograf a autotractorului

Din analiza diagramei a rezultat că în momentul impactului autotractorul rula cu o viteză de cca. 68 km/h (indicată cu roșu). În momentele anterioare impactului acesta s-a deplasat cu o viteză de 90 km/h (săgeata albastră). La cca. 650 m față de locul de oprire post-coliziune a început un proces de încetinire prin frânare.

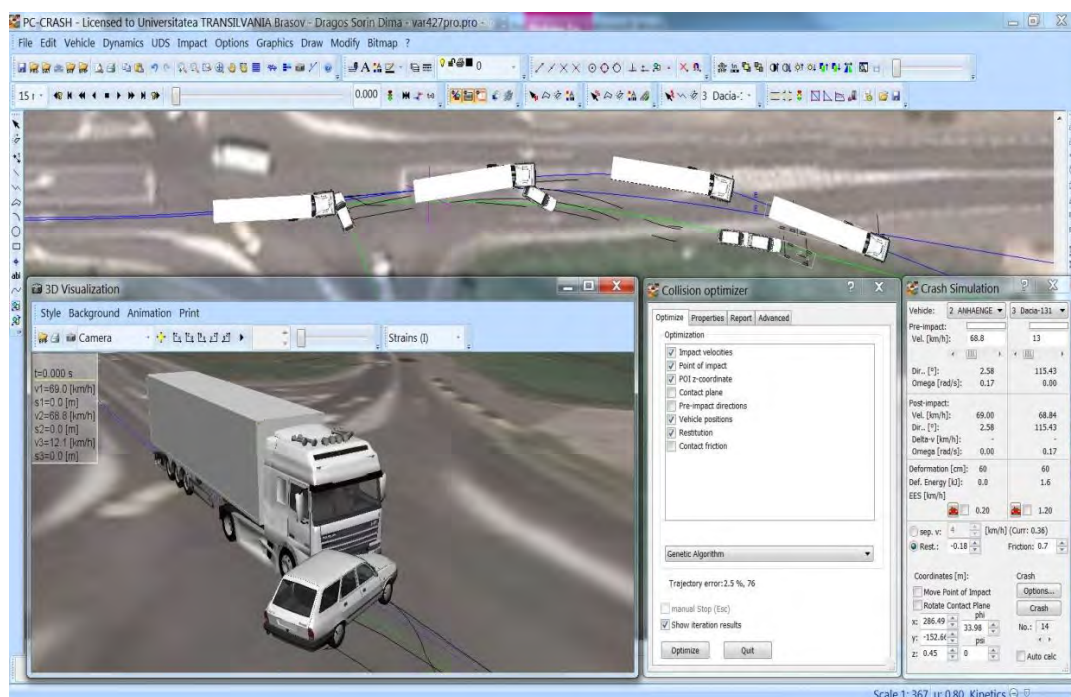


Fig. 2.12. Filmul simulării, în PC-Crash

Ca date de intrare în programul de calcul s-au folosit informațiile din schița efectuată de organele de cercetare la locul accidentului, procesul verbal de cercetare la fața locului și planșa cu fotografiile judiciare.

Pentru analiza accidentului s-a utilizat programul PC Crash 11.1. Acesta nu stabilește coordonatele locului și poziția de impact, acestea fiind localizate prin iterații succesive în cadrul procesului de simulare, până la obținerea condițiilor de frontieră - în cazul analizat pozițiile finale ale autoturismului, autocamionului și semiremorcii. Pentru simularea impactului și respectiv a deplasărilor post coliziune ale autovehiculelor s-a utilizat optimizatorul de coliziune (Fig. 2.12).

Simulările au asigurat condițiile de vizualizare, în modul virtual, a pozițiilor autovehiculelor în momentul ciocnirii și după aceea până la oprire (Fig. 2.13 - Fig. 2.17).

Analiza impactului s-a realizat în urma unui proces care a ținut cont de filmul evenimentului rutier surprins de camerele de supraveghere a traficului din zona respectivă.

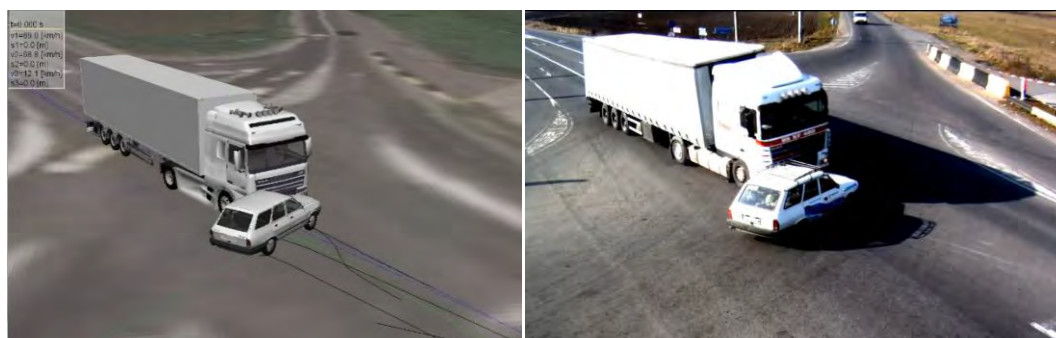


Fig. 2.13. Detaliu impact - simulare și cadru video

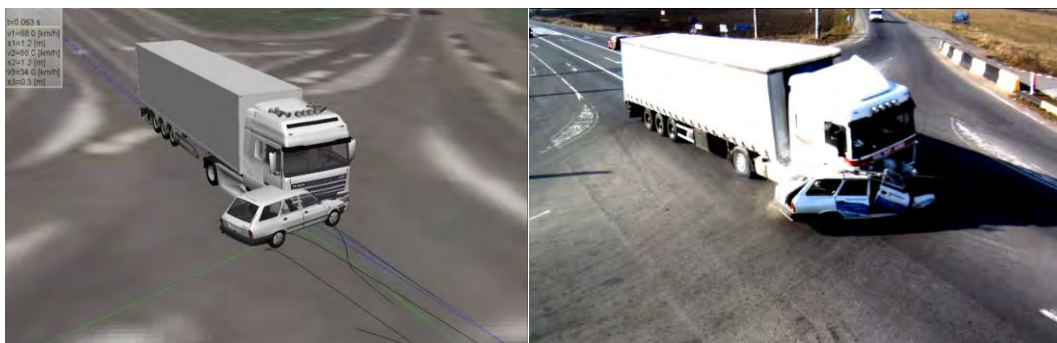


Fig. 2.14. Detaliu impact - simulare și cadru video



Fig. 2.15. Detaliu impact - simulare și cadru video



Fig. 2.16. Detaliu impact - simulare



Fig. 2.17. Detaliu, al doilea impact - simulare și cadru video



## Optimizarea parametrilor impactului prin Algoritmul Genetic

Inteligența artificială la lucru în folosul identificării unei soluții optime. Astfel ar putea fi definit algoritmul genetic de optimizare, acesta a apărut în tehnica de optimizare odată cu lucrările lui John Holland [50]. "Supraviețuiește cel care este cel mai bine adaptat" spune principiul geneticii enunțat de Charles Darwin, de aici și ideea de optim. Astfel se poate spune că algoritmul genetic îmbină aceste principii în rezolvarea unor probleme euristice și găsire a soluțiilor de optimizare bazate pe un mecanism determinat și de procesul biologic al evoluției, în cazul nostru evoluția sub forma unor parametri reali.

Cu alte cuvinte, algoritmul genetic se bazează pe emiterea unor condiții de optimizare la care se adaugă, pe de o parte, experiența din încercările anterioare, iar pe de altă parte deciziile asemănătoare cu cele pe care ar putea să le ia un specialist în urma estimării rezultatelor. În fapt, algoritmul conduce spre minimizarea unor erori relativ la criteriile de optimizare, ținând tot timpul cont de un raport real între parametrii supuși analizei și ponderea solicitată procesului. Acest proces poate fi afectat de impunerea unei ponderi sau de ignorarea unor parametri mai puțin relevanți procesului.

Pentru optimizare, condițiile limită trebuie impuse de utilizator. Pe baza acestora, procesul de optimizare, în baza condițiilor impuse, va căuta un minim de eroare relativ la criteriile impuse [18]. Pentru a putea conduce un astfel de proces, în primul rând, trebuie stabiliți parametrii ce urmează a fi optimizați și criteriile de optimizare.

În practica reconstrucției accidentelor rutiere valorile de optimizat se referă, în mod special, la vitezele de impact, punctul de impact, înălțimea punctului de impact, orientarea planului de contact, direcțiile vehiculelor înainte de coliziune, pozițiile vehiculelor, coeficientul de restituire, coeficientul de frecare a corpurilor de impact, etc. Criteriile de optimizare se regăsesc în optimizările relative la pozițiile finale și la cele legate de traiectoriile post coliziune, prin unghiurile raportate tot la traiectoriile urmate. Aceste criterii din urmă pot fi ponderate sau ignorate prin procente raportate la un criteriu al importanței lor.

Pentru optimizarea unei simulări în reconstrucția unui accident, parametrii determinanți sunt întotdeauna dependenți de viteza de impact. Acest parametru are pondere importantă în mărimea parametrilor de ieșire, respectiv poziția finală a vehiculelor și traiectoriile acestora.

Numărul de parametri de impact optimizați poate varia în funcție de gradul de fidelitate care se dorește a fi obținut în urma procesului de analiză. Cu cât crește numărul de parametri, cu atât procesul de optimizare durează mai mult.

Pentru cazurile analizate, procesul de optimizare s-a realizat prin iterații succesive, în urma cărora eroarea relativă a traiectoriilor și pozițiilor finale au atins un minim de 2,5%. În cadrul procesului de simulare, acroșajul cu căruța aflată în deplasare pe sensul opus a fost ignorat, datorită ponderii scăzute a masei acesteia în raport cu cea a autotrenului și datorită faptului că nu a existat un impact frontal, ci doar unul lateral minor.

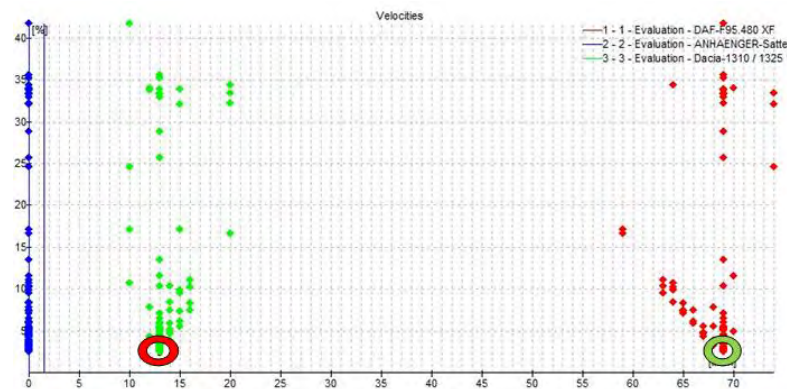


Fig. 2.18. Rezultatul analizei statistice

Rezultatul analizei statistice realizat printr-o nouă simulare, de această dată utilizând algoritmul Monte Carlo [61] prin care s-au generat aleatoriu un nr. de 1000 de perechi de valori de date pentru vitezele de deplasare pentru care s-a calculat eroarea raportată la traiectorie și poziție finală, este prezentat mai jos (pentru o mai bună vizualizare s-a reținut intervalul cu erori sub 45%). Rezultatul analizei statistice a erorilor este prezentat în Fig. 2.18.

Analiza realizată pe baza algoritmului Monte Carlo arată că viteza de impact a fost determinată cu probabilitatea cea mai mare la valoarea de 69 km/h pentru autotrenul rutier și respectiv 13 km/h pentru autoturism.

**Datele rezultate în urma simulărilor au fost comparate cu diagrama tahograf și cu pozițiile vehiculelor după impact. Acestea arată că:**

- Viteza de deplasare a autotrenului cu semiremorcă în momentul impactului a fost determinată la valoarea de 69 km/h, viteză confirmată și de diagrama tahograf.
- Din diagrama tahograf rezultă că autotrenul era într-un proces de încetinire, pornit de la viteza de 90 km/h, pe o distanță de cca 650 m anterior impactului.
- Viteza de deplasare a autoturismului Dacia Break a fost de 13 km/h la impact.

Un alt obiectiv este stabilirea locului impactului raportat la suprafața părții carosabile. Impactul s-a situat la cca. 18 m de stâlpul luat ca reper în schiță și respectiv 3,5 m față de axul drumului (Fig. 2.19).

Filmul simulat al impactului oferă informații utile pentru analiza accidentului rutier. Astfel, la 1,25 s de momentul impactului, corespunzător unei distanțe de 24 m de parcurs pentru autotren, respectiv unei distanțe de 4,5 m pentru autoturism, a apărut situația periculoasă. Dar nici în acest context, datorită vitezei reduse de deplasare a autoturismului, conducătorul autotrenului nu a putut realiza pericolul. Dacă conducătorul autoturismului ar fi avut o reacție normală și acorda prioritate autotrenului, putea evita accidentul.

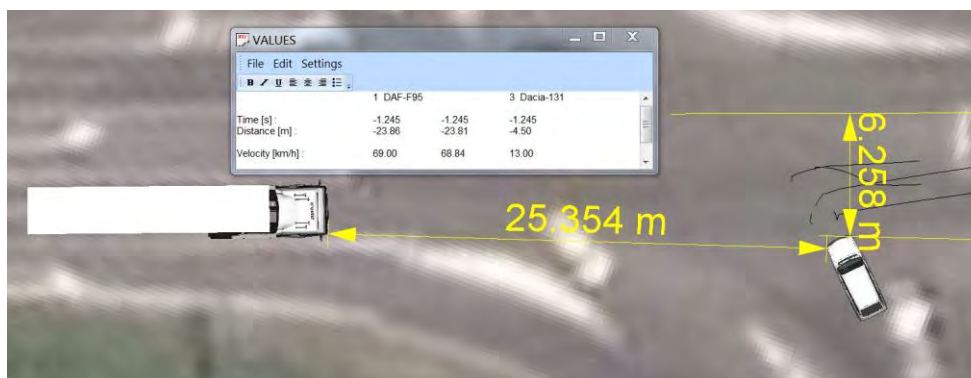


Fig. 2.19. Analiza distanțelor de evitare în PC-Crash

Metoda prezentată pentru reconstrucția accidentului rutier permite valorificarea informațiilor oferite de diagramele tahograf și înregistrările video din trafic. În concluzie, camerele video instalate pe arterele rutiere oferă informații utile și reale pentru stabilirea parametrilor cinematici și pozițiilor vehiculelor în momentul impactului.

Din analiza accidentului, realizată pe filmul impactului, s-a constatat că nu a existat nicio indicație asupra faptului că autoturismul ar fi frânat anterior producerii impactului.

Din punctul de vedere al conducătorului autotrenului, nu putem reține posibilități de evitare sau de prevenire a accidentului, atât timp cât, datorită vitezei reduse de deplasare a autoturismului, acesta nu a putut anticipa faptul că autoturismul nu se va opri pentru a acorda prioritate.

## 2.3 DETERMINAREA TRAIECTORIEI DE EXPULZARE A CONDUCĂTORULUI AUTO DIN AUTOTURISM

În studiul efectuat s-a avut în vedere modalitatea prin care, la un impact din spate, la o viteză a vehiculului care lovește de peste 90 km/h, se poate produce expulzarea conducătorului auto din autoturism, în condițiile în care acesta nu poartă centura de siguranță în momentul producerii impactului.

Analiza s-a efectuat pe un caz la care documentarea accidentului a putut fi realizată cu rigurozitate și pentru care au fost disponibile date cu privire la mecanismul și dinamica producerii acestuia: Autoturismul circula pe banda a doua și a frânat brusc până aproape de oprire, moment în care a fost lovit și acroșat de semiremorca unui autotren care rula cu cca. 92 km/h. În urma impactului, conducătorul auto a fost expulzat din autovehicul pe acostamentul drumului, în partea dreaptă.

Analiza a avut în vedere stabilirea traiectoriei urmate de conducătorul auto în urma expulzării sale din postul de conducere.

În Fig. 2.20 sunt reprezentate prin săgeți cele 6 direcții posibile de expulzare din autovehicul a conducătorului auto, precum și a obiectelor din autovehicul. Analizând aceste posibilități, s-a constatat de la început, prin eliminare, că 2 direcții se exclud, adică cele două uși din spate și

geamurile aferente, în lipsa unor urme și direcții de proiectare.

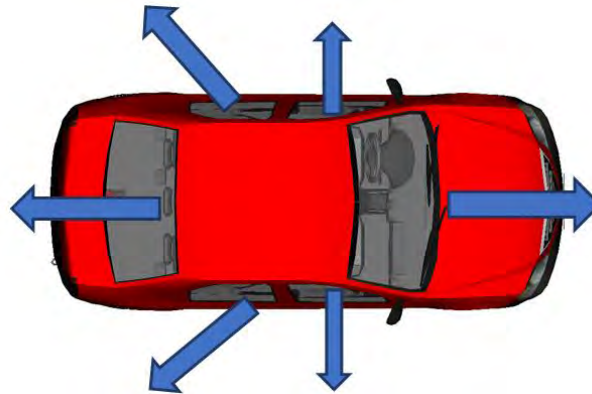


Fig. 2.20. Direcții posibile de expulzare

Pentru a realiza o analiză profesională a traiectoriilor posibile ale obiectelor din habitacul autoturismului, au fost evaluate tehnic ușile, geamurile și planșa de bord, constatându-se că ușa din stânga nu prezintă la interior urme de forțare specifice proiectării obiectelor din interior spre exterior, capitonajul interior al acesteia fiind intact. Ușa are urme de deformare la rama superioară spre față, rezultate din impactul frontal al autoturismului. Prin geamul ușii din stânga se poate observa urma lăsată de un element proiectat care certifică și poziția închisă a ușii la impact - element prezentat în detaliul din Fig. 2.21.

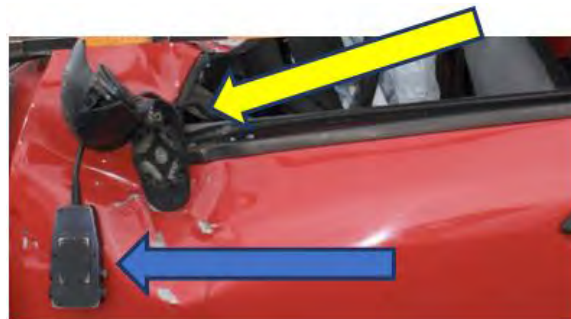


Fig. 2.21. Detalii - obiecte expulzate

Săgeata albastră indică obiectul, iar cea galbenă cablul de legătură. Aceste detalii certifică faptul că proiectarea acestui obiect din habitacul s-a realizat prin cadrul geamului lateral ( în condițiile în care ușa era închisă la proiectarea acestui obiect).

În ceea ce privește ușa din dreapta față, s-au găsit urmele unui obiect proiectat, iar în acest caz traseul de proiectare arată că expulzarea obiectului din habitacul s-a produs prin partea inferioară a parbrizului din față, unde se regăsesc cablurile de legătură ale obiectului, în bord.



Fig. 2.22. Detalii de expulzare a obiectelor din habitacul

În Fig. 2.21, săgeata albastră indică obiectul expulzat, iar săgeata galbenă indică traseul cablului de legătură, aspect ce conduce la concluzia că expulzarea acestui obiect s-a produs pe sub rama inferioară a parbrizului și nu prin spațiul ușii din dreapta.

Din analiza stării tehnice a parbrizului, precum și a scaunului conducătorului auto, nu rezultă niciun element care să probeze deplasarea acestuia la impact spre planșa de bord. Constatările efectuate arată că șoferul nu a purtat centura de siguranță în momentul producerii accidentului. Cu toate acestea, parbrizul spart nu prezintă centre de impact vizibile, concentrate, fiind împins, în schimb, spre interiorul autoturismului (Fig. 2.23).



Fig. 2.23. Parbrizul deformat spre interior

Totodată, s-a constatat că volanul este îndoit spre spate, nicidecum spre consola față, cum ar fi în cazul unui impact frontal.

Rezultă că singura posibilitate prin care conducătorul putea părăsi autoturismul este prin luneta din spate. Poziția în care aceasta a fost găsită și materializată în fotografiile judiciar-operative, precum și în schița accidentului, probează această ipoteză și prin faptul că a fost proiectată la distanța cea mai mare față de elementele expulzate prin spațiul său.

Evaluările realizate arată că luneta din spate a fost desprinsă de pe conturul de lipire, prin împingere dinspre interior spre exterior, fără a suferi o deformare.

Evaluările tehnice ale componentelor habitaculului au arătat că scaunul șoferului era rupt în zona mecanismului de fixare verticală a spătarului, permițând deplasarea liberă a acestuia atât spre față, cât și spre spate.

În aceste condiții, s-a analizat posibilitatea ca corpul conducătorului să fie proiectat spre partea din spate a autoturismului. Aceasta a dus la concluzia că singura posibilitate pentru realizarea unei astfel de evoluții se poate datora impactului din spate a autoturismului.



Pentru a confirma concluziile formulate în urma analizei tehnice s-a procedat la simularea impactului din spate a autoturismului Dacia cu ajutorul unui sistem multicorp [81]. În acest scop, a fost utilizată interfaţa de simulare multicorp din programul PC-Crash [59, 60], pentru simularea comportamentului pasagerilor, cu opţiunea de calcul la contactul sistemului atât cu suprafeţele interioare, cât şi cu cele exterioare ale autoturismului. În program s-au introdus condiţiile specifice cazului analizat. Rezultatul este prezentat parţial în Fig. 2.24.

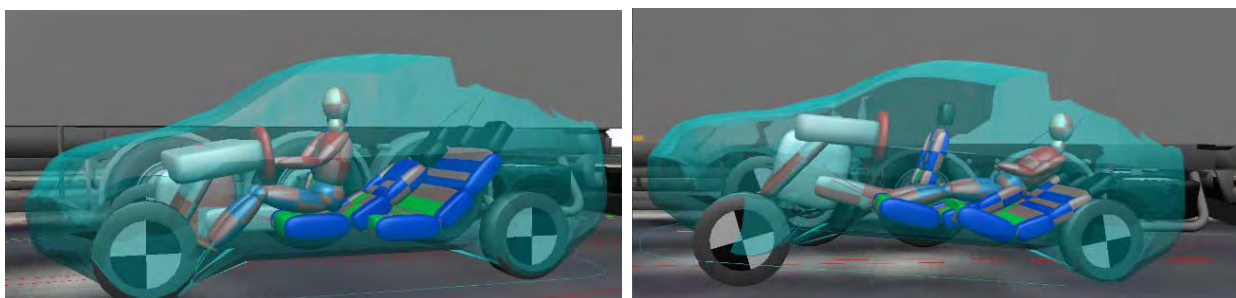


Fig. 2.24. Analiza expulzării conducătorului

Expertiza profesională şi cunoştinţele ştiinţifice au permis autorului să stabilească cu rigurozitate condiţiile de limită. Prin iteraţii succesive, s-a reuşit modelarea situaţiei în care corpul părăseşte autoturismul, ajungând post-coliziune într-o poziţie cât mai apropiată de cea finală. Datorită numărului mare de ecuaţii şi condiţii limită de simulare, este greu de reconstituit mişcarea reală a corpului conducătorului auto. Pentru exemplificare, în Fig. 2.25 se prezintă variaţia acceleraţiei celor 264 de mărimi referenţiale la sistemul multicorp, care modelează corpul conducătorului şi interiorul autoturismului.

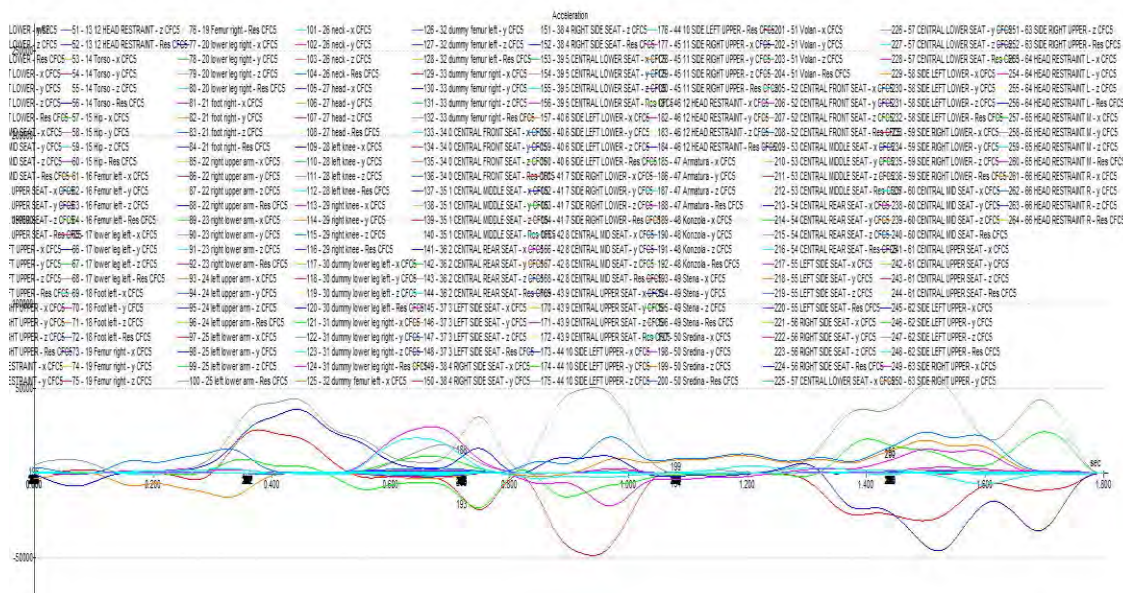


Fig. 2.25. Variaţia acceleraţiilor componentelor sistemelor multicorp

Astfel, pentru toate cele 66 de corpuri din care este alcătuit sistemul multicorp, trebuie stabilite condiţii de legătură specifice, similare cu cele din autovehicul, iar pentru cele 18 corpuri din care este modelat conducătorul auto trebuie calculate toate contactele, atât cu interiorul, cât şi cu exteriorul

autovehiculului și, în final, contactul acestuia cu partea carosabilă.

În acest context, se poate considera că soluția rezultată în urma simulării confirmă mecanismul de expulzare a conducătorului auto prin luneta din spate, la valorile de viteză de impact stabilite în lucrare.

## 2.4 EVALUAREA VITEZEI DE DEPLASARE DIN URMELE LATERALE DE PNEU

În mod curent, printre datele disponibile pentru reconstrucția accidentului se găsesc informații referitoare la pozițiile autovehiculelor după impact și urmele imprimate de pneuri pe calea de rulare, dar sunt și situații în care există urme de pneuri imprimate lateral, pe vehicule. Pornind de la aceste date, trebuie identificate modele matematice și proceduri de calcul în vederea determinării parametrilor cinematici ai autovehiculului înainte de coliziune.

Pentru soluționarea cazului descris în acest subcapitol a fost realizată o simulare cu ajutorul programului specializat PC-Crash.

Coliziunea a fost complexă, având loc, în fapt, un număr de 28 de microcoliziuni calculate, dintre care primele 7 au fost între cele două vehicule, iar următoarele între vehicule și parapet. Determinarea vitezei de deplasare s-a realizat conform schemei din Fig. 2.26.

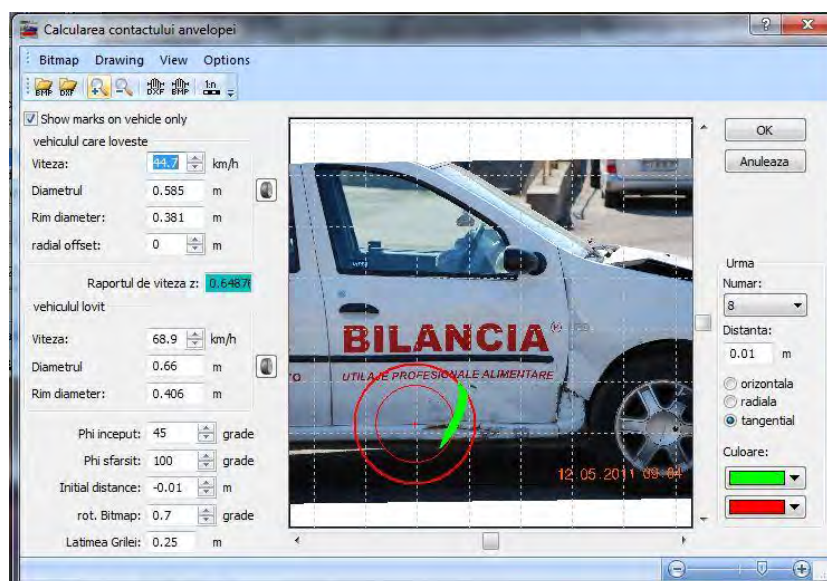


Fig. 2.26. Determinarea vitezei de deplasare pe baza contactului pneului, folosind PC-Crash

Prin prelucrarea datelor de intrare în programul PC-Crash s-a asigurat stabilirea vitezelor, în prima fază la valorile de 68,7 km/h pentru autoturismul Dacia și 44,7 km/h pentru autoturismul VW.

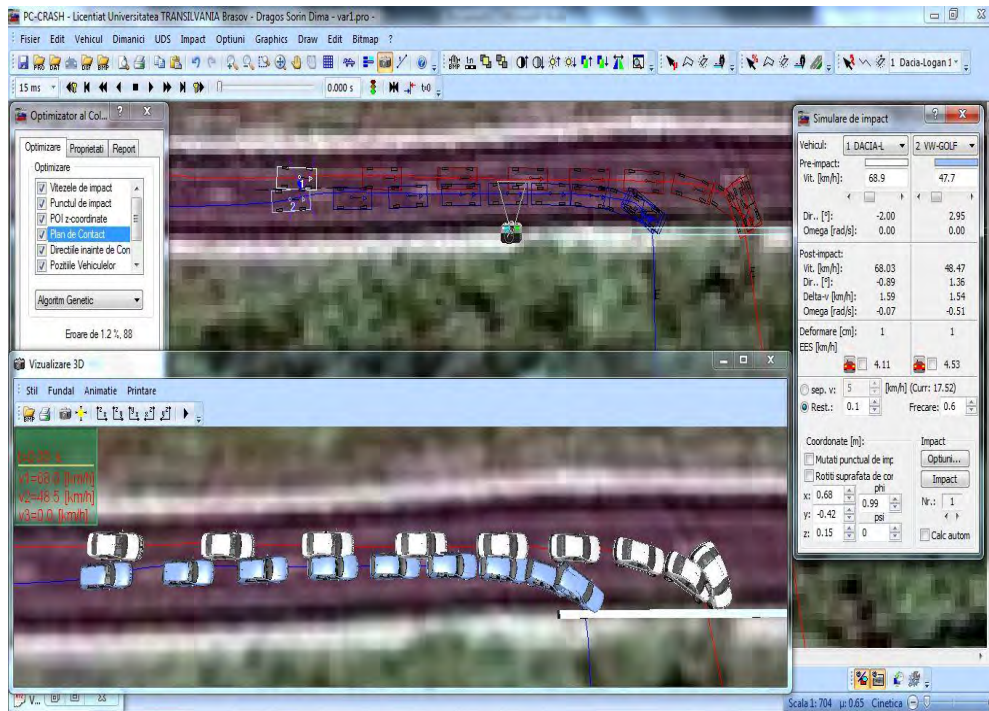


Fig. 2.27. Utilizarea optimizatorului de coliziune în PC-Crash

După ce au fost introduse condițiile de deplasare în program și s-au optimizat parametrii de impact în funcție de direcțiile de deplasare și traiectoriile post-coliziune, precum și față de pozițiile finale, a rezultat filmul accidentului, după mai multe optimizări succesive (Fig. 2.27). Eroarea de calcul de 1,2%, raportată la condițiile de margine, este acceptabilă.

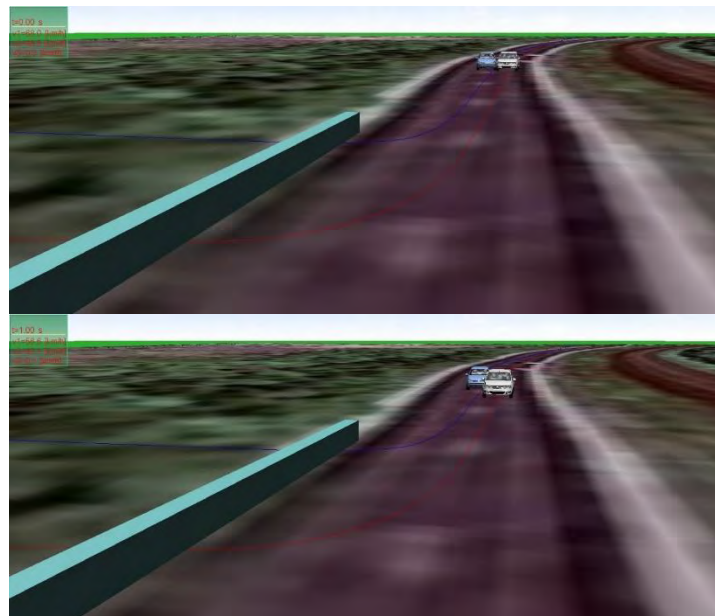


Fig. 2.28. Secvențe din filmul impactului

În urma calculului de optimizare au rezultat vitezele de impact de 68,9 km/h pentru Dacia, respectiv de 47,7 km/h pentru VW.

Imaginile reținute din simularea realizată în mediu virtual surprind momente specifice din timpul impactului. În final, pornind de la datele post-impact și valorificând informațiile oferite de urmele lăsate lateral, pe autovehicule, s-au putut determina, cu o bună precizie, vitezele autoturismelor din momentul impactului. Metoda de calcul și procedura de simulare propusă s-au dovedit a fi adecvate scopului urmărit.

## 2.5 ANALIZA ACCIDENTULUI PE BAZA AMPRENTELOR DE DEFORMAȚIE

În urma coliziunii a două autovehicule, elementele exterioare ale caroseriilor suferă deformații. Mărimea acestora este dependentă de energia cinetică dezvoltată în timpul ciocnirii, dar și de rigiditatea elementelor structurale ale caroseriei [82]. Uneori este important să se poată stabili succesiunea secvențelor ciocnirii, în funcție de deformațiile produse pe elementele structurale ale autoturismelor.

Abordarea acestei teme a fost realizată pe baza informațiilor primite privind deformația fețelor exterioare ale portierelor unui autoturism (BMW), provocată de impactul lateral cu bara parașoc a altui autoturism (Skoda) - Fig. 2.29.



Fig. 2.29. Deformații ale autoturismului după coliziunea laterală

După o primă analiză a avariilor s-a constatat că cele două vehicule nu prezintă urme de frecare reciprocă, care ar putea explica un impact dinamic, care să corespundă cu declarațiile conducătorilor auto.

Configurațiile deformațiilor elementelor deteriorate arată că deformarea și respectiv impactul s-au produs în condiții cvasi-stactice, respectiv autoturismul BMW se afla oprit în momentul impactului.

În caz contrar, în situația deplasării cu frânare la sesizarea pericolului de impact și respectiv oprirea

celor două autoturisme, trebuia obligatoriu să apară urme înclinate corespunzătoare pozițiilor de deplasare frânată (Fig. 2.31).



Fig. 2.30. Deformațiile autoturismului impactor

În al doilea rând și cel mai important, nu există urme de frecare complementare direcțiilor de deplasare perpendiculare. Astfel, întreaga amprentare a deformațiilor probează un impact static, cel puțin pentru autoturismul BMW și fără frânare pentru autoturismul Skoda. Imaginea de impact este prezentată în Fig. 2.32 prin suprapunerea deformațiilor și materializarea punctului de impact.

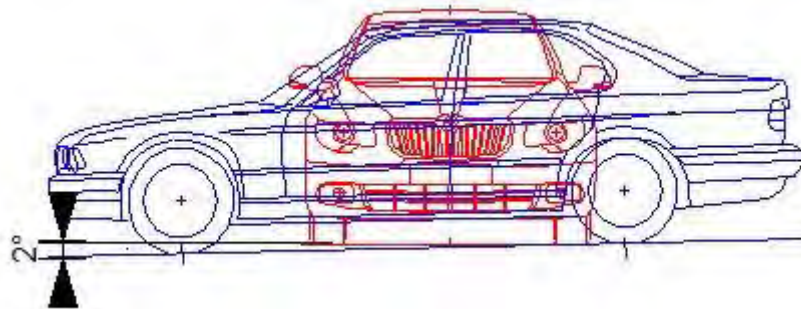


Fig. 2.31. Corecția poziției în cazul frânării



Fig. 2.32. Suprapunerea imaginilor - momentul coliziunii

Imaginile de mai sus sunt rectificate fotografic prin tehnicile cunoscute de criminalistică și scalate pentru a fi suprapuse în vederea identificării modalității de amprentare.

În vederea susținerii ipotezei enunțate se prezintă modul de amprentare a grilei mască din față a autoturismului Skoda în aripa din spate a autoturismului BMW, unde se poate observa că nu există urme de deplasare relativă între caroserii, în plan transversal pentru Skoda (ceea ce ar fi probat

deplasarea autoturismului BMW) și respectiv longitudinal pentru BMW.

În Fig. 2.33, cu săgeata galbenă este indicat locul de amprentare statică a emblemei autoturismului Skoda, iar cu săgeata roșie este marcată zona de amprentare statică a grilei autoturismului Skoda pe ușa autoturismului BMW.

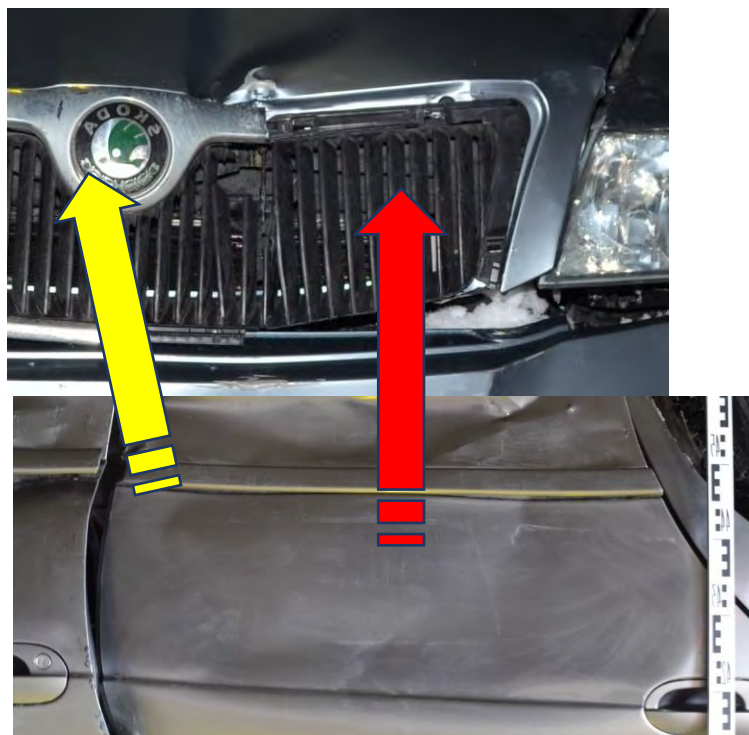


Fig. 2.33. Ampretele grilei și emblemei pe ușa celuilalt autoturism

Concluzia ce poate fi formulată în urma analizei impactului este că, prin folosirea imaginilor fotografice ale deformațiilor elementelor structurale, captate cu echipamente performante și prelucrarea acestora cu metode criminalistice specifice, pot fi elaborate metode și proceduri de reconstituire a accidentelor rutiere.

## 2.6 CONCLUZII ASUPRA METODELOR DE ANALIZĂ UTILIZATE

Metodele de analiză a accidentelor au evoluat de-a lungul timpului, odată cu creșterea numărului și a diversității acestora și, în același timp, evoluția instrumentelor tehnice disponibile. Analiza asistată de calculator a accidentelor, domeniu dezvoltat odată cu evoluția din domeniul IT (atât în ce privește suportul hardware, cât și cel software, inclusiv prin dezvoltarea de metode și algoritmi de calcul), a avut o contribuție semnificativă în domeniu, ce nu poate fi ignorată [13]. Studiile de caz expuse în acest capitol exploatează aceste beneficii, particularizate pentru specificul fiecărei situații. Toate aceste cazuri, cu metodele de lucru specifice utilizate de autor, au fost prezentate în cadrul unor congrese internaționale, în fața specialiștilor din domeniu - cum sunt congresele anuale ale SIAR și congresele anuale ale asociației experților în reconstrucția accidentelor rutiere, EVU.

Primul caz (2.1) prezintă modul de utilizare a secvențelor video pentru estimarea vitezei



autovehiculelor. Este o situație ce apare tot mai frecvent, odată cu înmulțirea numărului de sisteme de supraveghere instalate la diverse obiective. Soluția a fost prezentată de autor și la Congresul EVU din Haarlem, Olanda (2017) [37].

Al doilea caz (2.2) utilizează imagini video de la o cameră de supraveghere a traficului, ca date de referință pentru simularea realizată pe calculator. Utilizând programe specializate, cu posibilități de optimizare bazate pe implementarea unor algoritmi avansați, precum algoritmul genetic, s-a reușit sincronizarea cu erori minime a simulării informatice cu imaginile video. Întrucât simularea (reconstrucția accidentului) se face pe baza datelor de intrare corectate prin procesul de optimizare, se obțin în final condițiile de producere a accidentului. Soluția de analiză prezentată în acest subcapitol a fost prezentată și, implicit, supusă validării unui număr mare de experți, cu ocazia Congresului EVU din Copenhaga (2014) [33] și, de asemenea, la Congresul Internațional SMAT 2014 din Craiova [32].

Studiul traiectoriei de expulzare din autoturism (cazul al treilea - 2.3) este diferit, implicând o analiză criminalistică a detaliilor deformației elementelor de caroserie, dar și o simulare complexă folosind sisteme multicorp. Și în acest caz, a fost deosebit de important aportul suportului informatic disponibil, pentru că o analiză a mișcării simultane a 66 de corpuri, cu condițiile de limită impuse, nu putea fi realizată fără posibilitățile oferite de puterea de calcul a sistemelor hardware și software moderne.

Ultimele două cazuri prezentate (2.4 și 2.5) au ca date de intrare urmele/deformațiile provenite de la unul din autovehiculele implicate, asupra celuilalt autovehicul. Sunt două situații diferite, ce au presupus analiza în detaliu a informațiilor fotografice. Au fost utilizate, de asemenea, facilitățile mijloacelor informatice disponibile la data curentă. Și în aceste cazuri a fost utilizat un algoritm de optimizare (2.4) care a condus la condițiile de producere (date de intrare) determinate cu o eroare minimă, respectiv analiza din punct de vedere dinamic a condițiilor de producere a coliziunii (2.5).

Se poate remarca rolul deosebit de important al sistemelor informatice în analiza modernă a accidentelor de trafic rutier. Însă nu trebuie făcută greșeala de a acorda credit nelimitat acestora. Introducerea unor date de intrare incorecte poate duce la rezultate eronate, chiar opuse celor corecte, cu posibile implicații grave de natură tehnică și chiar socială. Rolul expertului în siguranță rutieră și în reconstrucția accidentelor este și mai important, trebuind ca, pe lângă introducerea datelor de intrare corecte și specificarea condițiilor inițiale, să aleagă metoda de analiză potrivită fiecărui caz.

Programele informatice au la bază algoritmi de calcul de o mare complexitate, în cazul reconstrucției și simulării accidentelor. Rolul cercetătorului este de a valida metodele de calcul și algoritmi, și de a găsi soluții de îmbunătățire a acestora. Pe de o parte, rezultatele obținute prin simulare pe calculator pot fi verificate prin teste experimentale, realizate în condiții bine controlate - testele de coliziune. Pe de altă parte, rezultatele calculului pot fi verificate prin aplicarea directă a modelelor matematice.



### 3 MODELUL MATEMATIC AL IMPACTULUI

#### 3.1 EVOLUȚIA CONCEPTULUI

Până în anii 1970 analizele de coliziune erau realizate prin utilizarea legii conservării momentului, precum și a momentului unghiular [54]. Legea conservării energiei era folosită în măsură foarte mică.

Cu cât analiza sistematică a cauzelor accidentelor a scos în evidență influențele mai multor factori, s-a putut remarca faptul că există din ce în ce mai multe tipuri de accidente care necesită caracteristici speciale de analiză care nu pot fi explicate doar prin analiza momentului și a momentului unghiular.

Astfel, situațiile speciale în care apare efectul de alunecare la contact și/sau rupturi de structură a caroseriei au o influență majoră asupra indicelui de deformare al caroseriei, în complementaritate cu severitatea impactului pentru ocupanți. Metodele utilizate erau acoperitoare pentru impacturi cu un grad mare de acoperire sau total frontal. Pentru cazuri cu alunecare sau ruperi de material acestea nu mai asigură rezultate mulțumitoare.

La începutul anilor 1980 este utilizată pentru calcule legea conservării energiei. Ea a reușit să explice mult mai bine parametrii de impact. O contribuție majoră în această direcție a fost definirea vitezei corespunzătoare energiei echivalente de deformare - *Energy Equivalent Speed* (EES), precum și combinarea principiului vectorilor corespunzători momentului liniar cu legea conservării energiei.

Programele de simulare au fost verificate prin testele de coliziune efectuate în diverse condiții, teste ale căror rezultate au fost prezentate în cadrul AREC (*Accident Reconstruction Conference Group*). Sunt de remarcat, în special, cele din baza de date "crashtest-service.com". Obiectivul a fost de a stabili dacă, utilizând metoda Kudlich, este necesar un coeficient de restituire negativ,  $k$ , pentru cazurile în care apar rupturi ale structurilor vehiculului. Aceasta deoarece, în aceste situații, nu mai sunt îndeplinite condițiile de derivare a formulelor. Pentru a aplica metoda oricum, trebuie utilizat un coeficient de restituire  $k$  cu valori  $0 > k \geq -1$ . Pentru a păstra totuși semnificația mărimilor fizice este mai corect să nu utilizăm valorile negative ale acestui coeficient de restituire, dar în acest caz mărimea forțelor de impact trebuie obligatoriu diminuată printr-un factor de impact.

#### 3.2 MODELAREA IMPACTULUI

Modelarea impactului implică definirea unor mărimi de intrare în sistem, denumite în continuare date de intrare. Aceste mărimi sunt, în principal, rigiditățile  $C$  ale structurilor frontale sau de impact și vitezele echivalente ale energiei de deformare definite ca EES (*Equivalent Energy Speed*) [12, 43].

Reconstituirea accidentelor autovehicul - autovehicul se realizează retrospectiv (*backwards simulation*), de la poziția finală a autovehiculelor spre locul de impact, sau prospectiv (*forward simulation*), din locul impactului spre poziția finală [58, 62, 77]. Pentru abordarea acestora se face o



clasificare a coliziunilor:

- Coliziuni centric drepte (impactul are loc pe direcția liniei care unește centrele de masă ale autovehiculelor (coliziuni frontale sau frontal-spate).
- Coliziuni centric oblice (impact frontal, dar direcții oblice);
- Coliziuni excentrice oblice (care pot fi cu acroșare sau glisare).

### 3.2.1 FAZELE IMPACTULUI FRONTAL DINTRE DOUĂ AUTOVEHICULE

#### CONSIDERAȚII TEORETICE ALE IMPACTULUI DE TIP FRONTAL DINTRE DOUĂ AUTOVEHICULE

În cursul desfășurării unui impact între autovehicule se definesc trei faze:

- Ante-coliziunea;
- Coliziunea;
- Post-coliziunea.

Ante-coliziunea (Fig. 3.1) este perioada de dinaintea producerii impactului (timpul scurs până în momentul în care cele două autovehicule vin în contact).

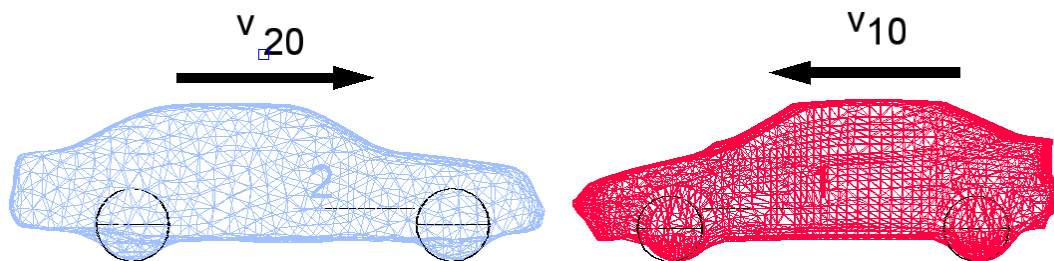


Fig. 3.1. Vitezele autovehiculelor înainte de impact

Coliziunea (Fig. 3.2) corespunde perioadei în care cele două autovehicule intră în contact și se produce egalarea vitezelor. În acest interval are loc deformarea caroseriei, proces prin care o parte din energia cinetică inițială se transformă în energie de deformație.

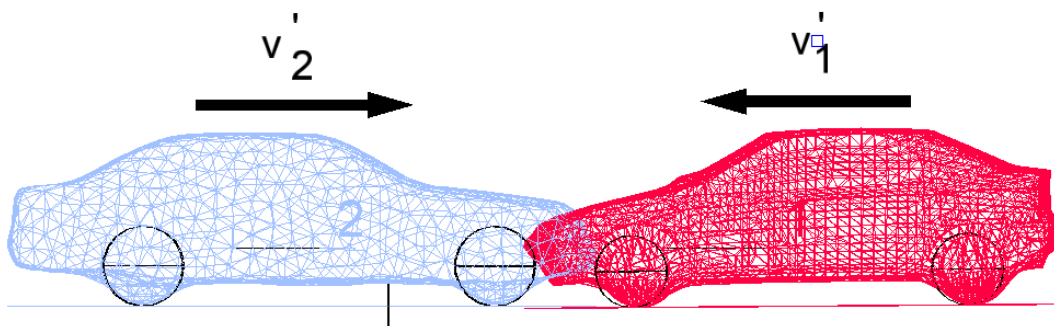


Fig. 3.2. Vitezele autovehiculelor în timpul impactului; ( $v'_1 = v'_2$ , timpul este de ordinul milisecundelor)

Post-coliziunea (Fig. 3.3) are loc din momentul desprinderii celor două autovehicule până la oprirea lor. Trebuie menționat că în anumite cazuri au loc coliziuni multiple, adică un corp vine în contact de

mai multe ori cu alte corpuri.

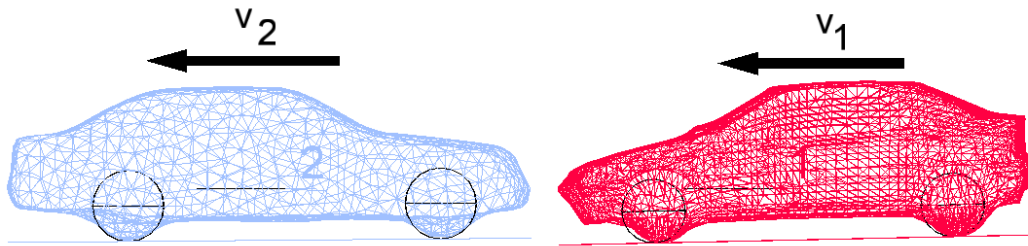


Fig. 3.3. Vitezele autovehiculelor după impact

Pentru determinarea cât mai corectă a traseelor automobilelor, se vor determina parametrii cinematici (vitezele și accelerațiile liniare, respectiv unghiulare, precum și coordonatele corpurilor), corespunzător fiecărui moment al desfășurării accidentului. Pentru acest calcul este necesară și cunoașterea parametrilor dinamici (forțele care acționează asupra corpurilor, energia care se transformă etc) [57].

În abordarea modelului Slibar (Fig. 3.4) se presupune că, prin aplicarea unui impuls, impactul va rezolva sistemul care permite determinarea pozițiilor finale ale autovehiculelor (se iau în considerare numai mișcările de translație), după care se vor verifica secvențele de rotație. Dacă nu sunt îndeplinite condițiile, trebuie modificate valorile de intrare (mărimea și direcția impulsului), până când aceste condiții sunt îndeplinite.

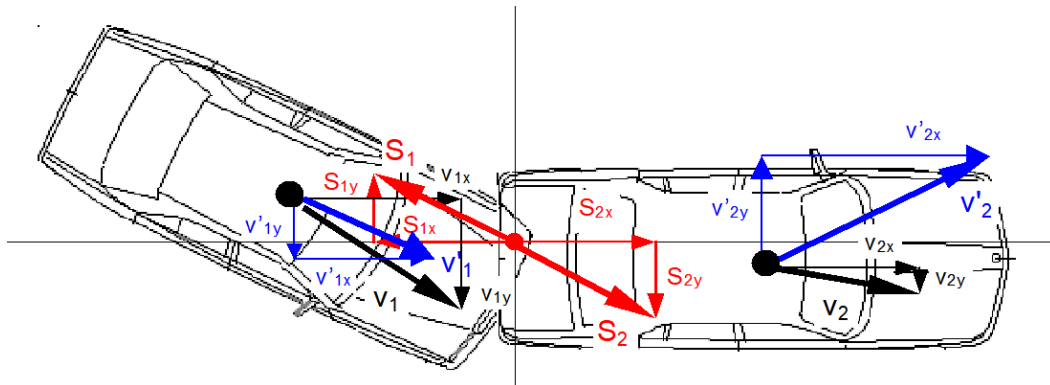


Fig. 3.4. Modelul coliziunii: S-impuls v-viteză

În formule trebuie să fie obligatoriu respectat semnul corespunzător vitezelor de deplasare. Pentru elaborarea modelului matematic al ciocnirii se acceptă ipoteza că impulsul se conservă.

$$m_1 v_{1x} - m_1 v'_{1x} = -S_{1x} \quad (3.1)$$

$$m_1 v_{1y} - m_1 v'_{1y} = -S_{1y} \quad (3.2)$$

$$m_2 v_{2x} - m_2 v'_{2x} = -S_{2x} \quad (3.3)$$

$$m_2 v_{2y} - m_2 v'_{2y} = -S_{2y} \quad (3.4)$$



$$S_{1x} = -S_{2x} \quad (3.5)$$

$$S_{1y} = -S_{2y} \quad (3.6)$$

$$\tan \alpha_1 = \frac{v_{1y}}{v_{1x}} \quad (3.7)$$

$$\tan \alpha_2 = \frac{v_{2y}}{v_{2x}} \quad (3.8)$$

$$m_1(v_{1x} - v'_{1x}) = -m_2(v_{2x} - v'_{2x}) \quad (3.9)$$

$$m_1(v_{1y} - v'_{1y}) = -m_2(v_{2y} - v'_{2y}) \quad (3.10)$$

$$v_{1x} = \frac{v_{1y}}{\tan \alpha_1} \quad (3.11)$$

$$v_{2x} = \frac{v_{2y}}{\tan \alpha_2} \quad (3.12)$$

$$m_1(v_{1y} - v'_{1x} \tan \alpha_1) = -m_2 \tan \alpha_1 \left( \frac{v_{2y}}{\tan \alpha_2} - v'_{2x} \right) \quad (3.13)$$

$$m_1(v_{1y} - v'_{1x}) = -m_2(v_{2y} - v'_{2y}) \quad (3.14)$$

Soluția:

$$v_{2y} = \frac{\frac{m_1}{m_2}(v'_{1y} - v'_{1x} \tan \alpha_1) + v'_{2y} - v'_{2x} \tan \alpha_1}{\left(1 - \frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2}\right)} \quad (3.15)$$

$$v_{2y} = \frac{\frac{m_2}{m_1}(v'_{2y} - v'_{2x} \tan \alpha_2) + v'_{1y} - v'_{1x} \tan \alpha_2}{\left(1 - \frac{\tan \alpha_2}{\tan \alpha_1}\right)} \quad (3.16)$$

$$S_{1x} = m_1(v'_{1x} - v_{1x}) = -S_{2x} \quad (3.17)$$

$$S_{1y} = m_1(v'_{1y} - v_{1y}) = -S_{2y} \quad (3.18)$$

$$v_{1x} = \frac{v_{1y}}{\tan \alpha_1} \quad (3.19)$$

$$v_{2x} = \frac{v_{2y}}{\tan \alpha_2} \quad (3.20)$$

$$|v_1| = \sqrt{v_{1x}^2 + v_{1y}^2} \quad (3.21)$$

$$|v_2| = \sqrt{v_{2x}^2 + v_{2y}^2} \quad (3.22)$$

$$|S| = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} \quad (3.23)$$

$$\beta_1 = \arctan \frac{S_{1y}}{S_{1x}} \rightarrow \beta_2 = 180 + \beta_1 \quad (3.24)$$

Vitezele unghiulare, la rotația apărută în timpul impactului:

$$\omega_1 = \frac{r_{1x}S_{1y} - r_{1y}S_{1x}}{J_1} \quad (3.25)$$

$$\omega_2 = \frac{r_{2x}S_{2y} - r_{2y}S_{2x}}{J_2} \quad (3.26)$$

Pierderea de energie:

$$\Delta E = (E_1 + E_2) - (E'_1 + E'_2) \quad (3.27)$$

$$E_1 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}J_1\omega_1^2 \quad \text{cu } v_1^2 = v_{1x}^2 + v_{1y}^2 \quad (3.28)$$

$$E'_1 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}J_1\omega_1'^2 \quad \text{cu } v_1'^2 = v_{1x}'^2 + v_{1y}'^2 \quad (3.29)$$

$$E_2 = \frac{1}{2}m_2v_2^2 + \frac{1}{2}J_2\omega_2^2 \quad \text{cu } v_2^2 = v_{2x}^2 + v_{2y}^2 \quad (3.30)$$

$$E'_2 = \frac{1}{2}m_2v_2'^2 + \frac{1}{2}J_2\omega_2'^2 \quad \text{cu } v_2'^2 = v_{2x}'^2 + v_{2y}'^2 \quad (3.31)$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} [m_1(v_{1x}^2 - v_{1x}'^2) + m_1(v_{1y}^2 - v_{1y}'^2) + m_2(v_{2x}^2 - v_{2x}'^2) + m_2(v_{2y}^2 - v_{2y}'^2) + J_1(\omega_1^2 - \omega_1'^2) + J_2(\omega_2^2 - \omega_2'^2)] \quad (3.32)$$

$$\begin{aligned} 2 \cdot \Delta E = & m_1[(v_{1x} - v_{1x}')(v_{1x} + v_{1x}') + (v_{1y} - v_{1y}')(v_{1y} + v_{1y}')] + \\ & m_2[(v_{2x} - v_{2x}')(v_{2x} + v_{2x}') + (v_{2y} - v_{2y}')(v_{2y} + v_{2y}')] + \\ & J_1[(\omega_1 - \omega_1')(\omega_1 + \omega_1')] + \\ & J_2[(\omega_2 - \omega_2')(\omega_2 + \omega_2')] \end{aligned} \quad (3.33)$$

Este dificil de evaluat energia de deformare, deoarece toate mărimile din relația 3.33 trebuie calculate. Aici intervine practic parametrul EES (*Energy Equivalent Speed*) care poate simplifica sistemul de ecuații prin:

$$E_{Def} = \frac{1}{2}m \cdot EES^2 \quad (3.34)$$

EES este definit ca o viteză cu caracter energetic, care este independentă de condițiile de testare și rezultă ca o mărime de comparație [86]. Pentru un impact înclinat sau excentric, o parte a energiei cinetice este convertită în energie de rotație sau de frecare. Când impactul nu este total plastic,

energia cinetică nu este transformată în totalitate în energie de deformare.

Coliziunea dintre două autovehicule reprezintă o ciocnire semi-elastică spre plastică. În consecință, nu se pot obține rezultate utile numai cu luarea în considerare a legii conservării impulsului sau a momentului cinetic [4].

Considerând sistemul obținut prin aplicarea legilor conservării impulsului, momentului cinetic și energiei, precizia soluțiilor crește și domeniul de aplicație se extinde.

Folosind indicii  $i=1$  pentru autovehiculul împingător,  $i=2$  pentru autovehiculul împins,  $j=0$  pentru faza ante-coliziune, convenția că axa  $X$  a sistemului de referință este paralelă sau coincide cu cea a vitezei  $V_{10}$  a autovehiculului împingător și notațiile:

- $M_1, M_2$  Masele celor două autovehicule implicate în coliziune;
- $J_1, J_2$  Momentele de inerție în jurul axei verticale prin centrul de masă al celor două autovehicule implicate în accident;
- $V_{10}, V_{20}$  Vitezele centrelor de masă ale autovehiculelor înainte de coliziune;
- $V_1, V_2$  Vitezele autovehiculelor după impact (vectorii vitezelor sunt tangenți la traiectoria centrului de masă la ieșirea din impact);
- $\Omega_{10}, \Omega_{20}$  Vitezele unghiulare în jurul axei verticale înainte de impact;
- $\Omega_1, \Omega_2$  Vitezele unghiulare în jurul axei verticale după impact;
- $W_1, W_2$  Energia consumată la deformare;
- $R_1, R_2$  Energia consumată la ridicarea caroseriei, forfecări de tablă, frecări suplimentare;
- $\alpha_{20}$  Unghiul format de vectorul  $V_2$  cu axa "x", respectiv unghiul dintre axele longitudinale ale celor două autovehicule în momentul producerii impactului;
- $\alpha_1, \alpha_2$  Unghiurile formate de vectorii  $V_1$  respectiv  $V_2$  cu axa "x".

Rezultă sistemul de ecuații vectorial-scalar, pentru cazul în care se consideră impulsul și energia:

$$M_1 \overline{V_{10}} + M_2 \overline{V_{20}} = M_1 \overline{V_1} + M_2 \overline{V_2} \quad (3.35)$$

$$\begin{aligned} & \frac{(M_1 V_{10}^2 + M_2 V_{20}^2)}{2} + \frac{(J_1 \Omega_{10}^2 + J_2 \Omega_{20}^2)}{2} \\ = & \frac{(M_1 V_1^2 + M_2 V_2^2)}{2} + \frac{(J_1 \Omega_1^2 + J_2 \Omega_2^2)}{2} + W_1 + W_2 + R_1 + R_2 \end{aligned} \quad (3.36)$$

De regulă, energia de rotație în faza de ante-coliziune este neglijabilă, motiv pentru care putem renunța la teorema conservării momentului cinetic. De asemenea, se înlocuiește energia de rotație din faza post-coliziune cu lucrul mecanic de pivotare, iar  $R_1$  și  $R_2$  se adaugă la  $W_1$  și  $W_2$ .

Calculând  $V_{20}^2$  din prima relație și înlocuind în a doua, se pot determina, în urma transformării ecuației vectoriale a sistemului în două ecuații scalare, expresiile vitezelelor  $V_{10}$  și  $V_{20}$ .



$$V_{10} = \left( \frac{M_2}{M_1 + M_2} \right) \cdot \left[ F + \sqrt{D + (M_1 + M_2) \cdot \frac{K_1}{M_2} + (M_1 + M_2) \cdot \frac{K_2}{M_1}} \right] \quad (3.37)$$

unde:

$$F = \frac{M_1 \cdot V_1 \cdot \cos \alpha_1}{M_2 \cdot V_2 \cdot \cos \alpha_2} \quad (3.38)$$

$$D = V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2 \cos(\alpha_1 - \alpha_2) - \left( \frac{M_1 \cdot V_1 \cdot \sin \alpha_1}{M_2 \cdot V_2 \cdot \sin \alpha_2} \right)^2 \quad (3.39)$$

$$K_1 = EES_1^2 + g \cdot \mu_1 \cdot A_1 \cdot \theta_1 \quad (3.40)$$

$$K_2 = EES_2^2 + g \cdot \mu_2 \cdot A_2 \cdot \theta_2 \quad (3.41)$$

$A_1, A_2$  sunt ampatamentele celor două autovehicule;

$\mu_1, \mu_2$  coeficienții de frecare pentru mișcarea de rotație;

$\theta_1, \theta_2$  unghiurile de rotație medii după coliziune, realizate de cele două autovehicule;

$EES_1, EES_2$  vitezele echivalente de deformație care se obțin din  $W_1$  și  $W_2$ .

$$V_{20} = \sqrt{V_{20x}^2 + V_{20y}^2} \quad (3.42)$$

unde:

$$\begin{Bmatrix} V_{20x} \\ V_{20y} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} V_{2x}' \\ V_{2y}' \end{Bmatrix} + \frac{M_1}{M_2} \cdot \begin{Bmatrix} V_{1x}' \\ V_{1y}' \end{Bmatrix} - \frac{M_1}{M_2} \cdot \begin{Bmatrix} V_1 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.43)$$

sau

$$V_{20x} = V_2 \cdot \cos \alpha_2 + \frac{M_1 \cdot V_1 \cdot \cos \alpha_1}{M_2} - \frac{M_1 \cdot V_1}{M_2} \quad (3.44)$$

$$V_{20y} = V_2 \cdot \sin \alpha_2 + \frac{M_1 \cdot V_1 \cdot \sin \alpha_1}{M_2} \quad (3.45)$$

$$\tan \alpha_{20} = \frac{V_{20y}}{V_{20x}} \quad (3.46)$$

de unde:

$$\alpha_{20} = \arctan \left( \frac{V_{20y}}{V_{20x}} \right) \quad (3.47)$$

Acesta este unghiul cuprins între axa X a sistemului de referință fix și vectorul vitezei  $V_{20}$  a automobilului 2, care corespunde și cu unghiul dintre axele longitudinale ale autovehiculelor la intrarea în impact, respectiv  $\alpha_{20}$ , și poate servi ca mărime de control pentru exactitatea calculului,

cunoscând valoarea acestuia din faza ante-coliziune.

Unghiul  $\alpha_{20}$  este cuprins între  $-\frac{\pi}{2}$  și  $+\frac{\pi}{2}$ . Vectorul  $\overline{V}_{20}$  este în cadranul II ( $V_x < 0$ ;  $V_y > 0$ ), respectiv IV ( $V_x > 0$ ;  $V_y < 0$ ), pentru valori negative și în cadranul I, respectiv III, pentru valori pozitive ale unghiului.

O mărime de control este GEV, definită ca raportul dintre variația vitezei și EES. Termenul provine din limba germană (*Geschwindigkeitsänderungen-EES-Verhältnis*, sau, pe scurt, *Geschwindigkeitsverhältnis*), iar valoarea maximă recomandată [76] depinde de tipul coliziunii, astfel: pentru coliziune fără alunecare  $0.9 < GEV < 1.2$ ; pentru coliziune cu alunecare incipientă  $0.75 < GEV < 0.9$ ; iar la coliziune cu alunecare  $GEV < 0.75$ .

Prin urmare, pentru controlul rezultatului se poate evalua raportul:

$$GEV = \frac{\delta \overline{V}_i}{EES_i} \quad (3.48)$$

unde  $\delta \overline{V}_i$  (variația vitezei) se obține pentru  $i=1$  (autovehiculul impactor) sau  $i=2$  (autovehiculul impactat) din relația:

$$\delta \overline{V}_1 = \overline{V}_{10} - \overline{V}'_1 \quad (3.49)$$

$$\delta \overline{V}_2 = \overline{V}_{20} - \overline{V}'_2 \quad (3.50)$$

$$\begin{cases} \delta V_{1x} \\ \delta V_{1y} \end{cases} = \begin{cases} V_{10} - V'_{1x} \\ 0 - V'_{1y} \end{cases} \quad (3.51)$$

$$\begin{cases} \delta V_{2x} \\ \delta V_{2y} \end{cases} = \begin{cases} V_{20} \cdot \cos \alpha_{20} - V_2 \cdot \cos \alpha_2 \\ V_{20} \cdot \sin \alpha_{20} - V_2 \cdot \sin \alpha_2 \end{cases} \quad (3.52)$$

$$\begin{cases} \delta V_{1x} \\ \delta V_{1y} \end{cases} = \begin{cases} V_{10} - V_1 \cdot \cos \alpha_1 \\ 0 - V_1 \cdot \sin \alpha_1 \end{cases} \quad (3.53)$$

$$\begin{cases} \delta V_{2x} \\ \delta V_{2y} \end{cases} = \begin{cases} V_2 \cdot \cos \alpha_2 - V_{20} \cdot \cos \alpha_{20} \\ V_{20} \cdot \sin \alpha_{20} - V_2 \cdot \sin \alpha_2 \end{cases} \quad (3.54)$$

$$|\delta V_i| = \sqrt{(\delta V_{ix})^2 + (\delta V_{iy})^2} \quad (3.55)$$

Pentru ușurarea calculelor care trebuie reluate prin aproximări succesive se folosește un program de calcul elaborat în acest sens pentru  $V_{10}$ ,  $V_{20}$  și  $\alpha_{20}$ . Programul a fost realizat ca aplicație de calcul tabelor, folosind ca suport programul *Excel*.

### 3.2.2 EXEMPLU DE APLICARE A MODELULUI MATEMATIC

Aplicația prezentată pentru exemplificarea modelului matematic a fost realizată pentru o coliziune între două autoturisme (FIAT Brava și Ford Scorpio). Condițiile de desfășurare a evenimentului pot fi descrise astfel: autoturismul Fiatul Brava circula pe DN1, din direcția Predeal – Braşov; la cca. 300 m de borna de kilometraj 149 autoturismul iese din curbă, moment în care conducătorul pierde controlul autovehiculului intrând pe contrasens și în coliziune cu autoturismul FORD Scorpio, care circula

regulamentar pe direcția Braşov - Predeal.

Datele de intrare și rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 3.1.

Tabelul 3.1 - Exemplul de calcul, realizat în Excel

<b>Viteza de coliziune între doua autovehicule 1 și 2; autovehiculul 1 are viteza inițială orientată după axa x</b>			
<b>Date de intrare:</b>			
Masa Autovehicul 1	1600 kg		
Masa Autovehicul 2	1200 kg		
Energia consumată în coliziune auto 1	210000 J		
Energia consumată în coliziune auto 2	130000 J		
Viteza post coliziune auto1	2 m/s	7.2 km/h	
Viteza post coliziune auto2	18 m/s	64.8 km/h	
Unghiul aferent vectorului vitezei post coliziune 1	-0.17453 rad	-10 Grade	
Unghiul aferent vectorului vitezei post coliziune 2	1.658063 rad	95 Grade	
Unghiurile finale de oprire fata de directia initiala 1	-0.2618 rad	-15 Grade	
Unghiurile finale de oprire fata de directia initiala 2	1.570796 rad	175 Grade	
Coeficientul de frecare	0.2		
Ampatamentul auto 1	2.76 m		
Ampatamentul auto 2	2.3 m		
<b>Rezultate</b>			
Unghiul de impact	-0.77056 rad	-44.1497 Grade	
Vitezele echivalente de deformatie			
EES1	16.20185 m/s	58.32667 km/h	
EES2	14.7196 m/s	52.99057 km/h	
V10	14.28911 m/s	51.44081 km/h	
V20	25.07907 m/s	90.28465 km/h	

Calculul parametrului EES se poate realiza prin metoda Crash3 [70, 109] sau cu ajutorul programului furnizat de Dr. Burg sau direct prin interfața programului PC-Crash.

Estimarea parametrului EES se poate realiza și direct, prin analiză statistică asupra răspunsurilor furnizate de experți.

Programul Crash3 cu interfața preluată în programul de simulare PC-Crash implică măsurarea amplitudinii deformațiilor într-un număr de puncte și prin aprecierea unor parametri referitori la unghiul de impact și distanța între punctele de măsurare poate oferi valoarea directă a parametrului EES.



### 3.3 PROGRAMUL DE SIMULARE A ACCIDENTELOR RUTIERE PC-CRASH

Pe baza modelelor matematice ce descriu coliziunile dintre vehicule (și nu numai) au fost dezvoltate programe de simulare a accidentelor [13, 53, 55, 91]. Unul dintre cele mai utilizate programe de acest fel este PC-Crash, o aplicație de referință în Europa [17]. Programul beneficiază de avantajele ultimelor realizări în domeniile hardware și software, ceea ce-i permite să efectueze calcule tot mai complexe pe un calculator personal. Este realizat de firma DSD - Doctor Steffan Dattentechnik din Austria [102] și beneficiază și de o interfață de lucru și manual de utilizare în limba română [30].

PC-Crash (Fig. 3.5) implementează mai multe modele de calcul diferite, ce acoperă o multitudine de situații [26]. Astfel, sunt incluse: un model de calcul al impactului bazat pe impuls și energia cinetică, un model bazat pe rigiditate, un model cinetic pentru simulări realiste ale traiectoriilor și un model cinematic simplu pentru studii legate de timp și spațiu. Pentru a asigura o versatilitate maximă, rezultatele simulărilor PC-Crash pot fi vizualizate și reprezentate în plan, precum și în elevație, la scară, în perspectivă 3D, sau sub formă de grafice și tabele.

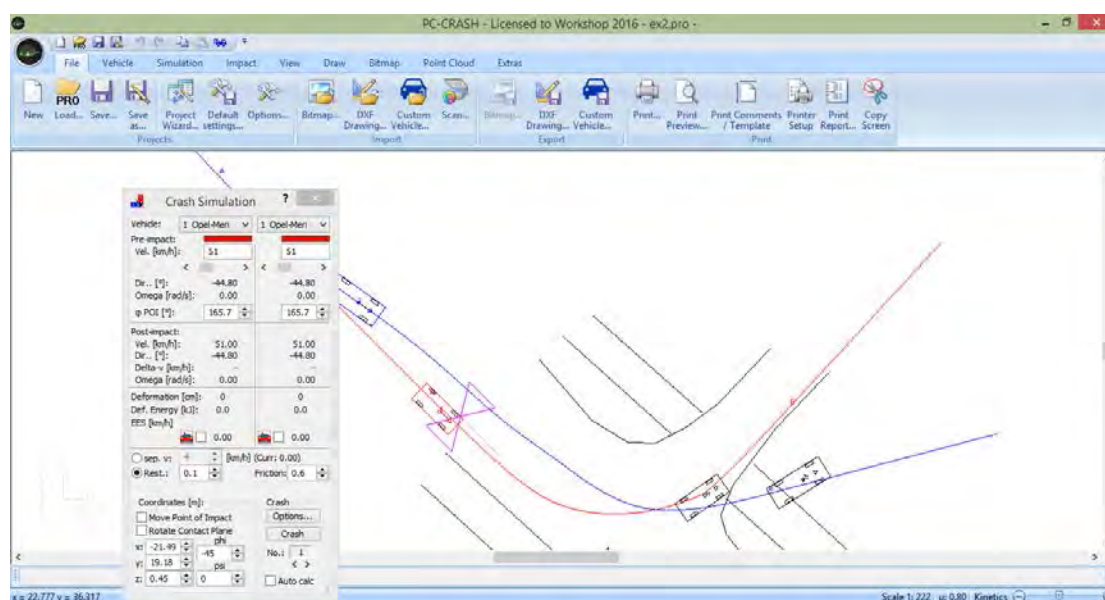


Fig. 3.5. PC-Crash, versiunea 11.1 (exemplu de simulare în lucru)

Modulele de calcul de bază ale programului sunt: modulul de **calcul cinematic** și modulul de **calcul cinetic**.

Caracteristicile modulului de **calcul cinematic** pot fi rezumate astfel:

- Calculul cinematic automat pentru modul de evitare a accidentului;
- Modul cinematic pentru calculul rapid al fazelor de ante-impact, impact și post-impact, calculul cinematic al pietonului și depășire;
- Specificarea cinematicii și cineticii traiectoriilor vehiculelor;
- Reconstituirea urmelor de pneuri cu calculul cinematic al patinării pentru determinarea vitezelor de impact ale vehiculelor, pe baza a până la șase poziții post-impact și niveluri de frânare pentru fiecare vehicul;



- Asistent de simulare cinematică;
- Poate fi specificată cinematica virării pentru autobuze articulate și sisteme de direcție cu punte cinematică.

Modelul de calcul cinetic este realizat pentru simulare 2D sau 3D, include specificarea traiectoriei vehiculelor în modul cinematic sau cinetic, dispune de opțiuni diferite de model de virare și include un calcul cinetic automat al evitării accidentului, fie cu reducerea treptată a vitezei, fie cu creșterea nivelului de frânare până la evitarea accidentului.

Posibilitățile largi de vizualizare a datelor și rezultatelor simulărilor, precum și de generare a rapoartelor, fac utilizarea programului facilă ("prietenosă cu utilizatorul"), având totuși în fundal un nucleu de calcul ce implementează diverse modele matematice.

Totuși, utilizarea unui program de simulare nu garantează corectitudinea rezultatelor obținute. Programul este un instrument, iar operatorul acestuia este responsabil de corectitudinea datelor introduse și de opțiunile de calcul selectate. Ca instrument de cercetare, un program de simulare a accidentelor, cum este PC-Crash, poate ajuta la previzualizarea încercărilor experimentale (testele de coliziune), pentru stabilirea cât mai corectă a parametrilor inițiali, în scopul reducerii numărului de încercări nereprezentative și, implicit, reducerea costului experimentelor.

Pe de altă parte, utilizarea programului de simulare pentru reconstrucția unui test de coliziune realizat într-un mediu controlat, ajută specialiștii să înțeleagă modul în care diferitele condiții ce apar în desfășurarea unui eveniment pot influența condițiile finale ale evenimentului (care devin date inițiale pentru simulare) și modul în care acestea devin constrângeri în simularea informatică.

## 4 TESTELE DE COLIZIUNE

### 4.1 PREZENTARE GENERALĂ

Un rol important în evaluarea siguranței automobilelor îl au testele de coliziune (*crash*). Acestea sunt procese destructive, efectuate în scopul determinării compatibilității automobilului cu standardele de siguranță, precum și pentru studiul rezistenței și comportamentului diferitelor componente în cazul coliziunii.

Testele de coliziune pot fi de diferite tipuri, printre care:

- impact frontal: impact, la o anumită viteză, cu un perete solid sau cu un alt vehicul;
- impact frontal parțial: când numai o parte a părții frontale a vehiculului se ciocnește cu o barieră sau un alt vehicul;
- impact lateral: de regulă o ciocnire vehicul-vehicul, când partea frontală a unui vehicul lovește partea laterală a celuilalt;
- răsturnare: se testează capacitatea structurii de a rezista la propria greutate în urma unui impact dinamic;
- vehicul - pieton: coliziune între partea frontală a unui vehicul și un manechin;
- vehicul - biciclist: coliziune între vehicul și bicicletă.



Fig. 4.1. Test de coliziune efectuat la Universitatea Transilvania, iunie 2015

Un test de coliziune poate fi și simulat pe calculator, utilizând programele de simulare a accidentelor rutiere sau programe de analiză a solicitărilor structurii în urma unei coliziuni ce utilizează metoda elementului finit, pentru a reduce costurile implicate de testul de coliziune real.

## 4.2 COLECTAREA DATELOR

Întrucât testele de coliziune implică costuri ridicate, din fiecare încercare trebuie să fie extrase cât mai multe date. Pentru aceasta sunt utilizate sisteme de achiziție cu rată mare de eșantionare, ce includ accelerometre pe trei axe și echipamente de măsurare a vitezei.

O schemă de principiu a procesului de achiziție a datelor, în general, care se aplică și testelor de coliziune, este prezentată în Fig. 4.2.

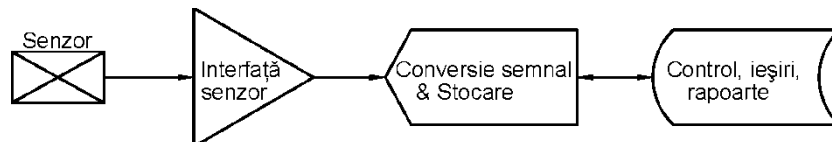


Fig. 4.2. Schema de principiu a procesului de achiziție a datelor

### 4.2.1 RECOMANDĂRI SAE J211

Principalul ghid pentru echiparea vehiculelor utilizate în testele de coliziune și prelucrarea inițială a datelor îl reprezintă standardul SAE J211 [116]. Echivalentul acestuia în Europa este ISO 6487 [111], recomandările incluse în cele două standarde fiind similare.

Scopul standardului este "de a recomanda tehnicile de măsurare utilizate în teste de impact" [116]. Recomandările se referă mai puțin la amplasarea senzorilor pe vehicul, punându-se accent pe caracteristicile acestora în funcție de mărimile măsurate, calibrare și tehnicile de prelucrare inițială a datelor, de exemplu filtrarea datelor măsurate.

Referitor la instalarea accelerometrelor, se specifică faptul că înclinarea senzorilor față de un sistem de referință nu trebuie să fie mai mare de 5°. Nu este impusă instalarea senzorilor de accelerație în centrul de greutate al vehiculului, putându-se face corecții ulterior, dar dacă trebuie determinate valorile pentru un anumit punct, atunci senzorii trebuie amplasați la o distanță de maxim 30 mm față de punctul respectiv. Este important ca datele măsurate să nu fie afectate de rezonanța mecanică a structurii pe care se instalează senzorii. În mod convențional, axa z a accelerometrului trebuie să fie orientată în jos (sensul pozitiv spre sol), axa x trebuie să fie orientată înainte, în direcția de deplasare a vehiculului, iar axa y rezultă (regula mâinii drepte) că va fi orientată spre dreapta.

Dependența amplitudinii de frecvență (răspunsul în frecvență) este specificată prin metoda de filtrare recomandată, mai exact prin utilizarea filtrelor de tip Butterworth (filtre de tip trece-jos), CFC 180 sau CFC 60, în funcție de frecvența de achiziție. În cazul unei rate de eșantionare de 1000 Hz se recomandă utilizarea filtrului CFC 60 (Tabelul 4.1.).

Frecvența de tăiere la 3 dB reprezintă frecvența la care amplitudinea semnalului scade la jumătate; practic, înseamnă că vor fi eliminate valori ale semnalelor cu o frecvență mai mare decât aceasta.

Tabelul 4.1 - Tipuri de filtre CFC recomandate în SAE J211

Tip filtru	Parametri	
CFC 60	Frecvența de tăiere la 3 dB	100 Hz
	Frecvența de achiziție	minim 600 Hz
CFC 180	Frecvența de tăiere la 3 dB	300 Hz
	Frecvența de achiziție	minim 1800 Hz
CFC 600	Frecvența de tăiere la 3 dB	1000 Hz
	Frecvența de achiziție	minim 6 kHz
CFC 1000	Frecvența de tăiere la 3 dB	1650 Hz
	Frecvența de achiziție	minim 10 kHz

Selectarea clasei de răspuns în frecvență pentru filtrul utilizat se face în funcție de aplicație și de experiența cercetătorului care efectuează analiza datelor. Recomandările SAE J211 sunt date în Tabelul 4.2.

Tabelul 4.2 - Clase de răspuns în frecvență recomandate pentru diferite aplicații

Tipuri de teste	Clasa de răspuns în frecvență (CFC)
Accelerații măsurate pe vehicul, pentru:	
- vehicul în ansamblu	60
- abaliza unor componente	600
- integrare pentru determinarea vitezei	180
Forța la impactul cu obstacol (barieră)	60
Testarea centurilor de siguranță	60
Dispozitive de test antropomorfe (manechin):	
- Accelerații la cap	1000
- Forțe asupra gâtului	1000
- Torace: accelerații în coloana vertebrală	180
- Torace: accelerații la nivelul sternului	1000
- Forțe la nivel lombar	1000
- Forțe sau accelerații în pelvis	1000
- Femur/genunchi/tibie/gleznă	600
Accelerații ale dispozitivelor tip sanie	60
Eforturi asupra coloanei de direcție	600

Criteriile pentru analiza datelor înregistrate într-un test de coliziune sunt prezentate și în raportul grupului de lucru *Data Processing Vehicle Safety Workgroup* [14].

## 4.2.2 ECHIPAMENTE DE ACHIZIȚIE A DATELOR

Datele înregistrate în testele de coliziune desfășurate la Universitatea Transilvania sunt: viteza de deplasare a autovehiculului și accelerațiile, atât pentru autovehicule cât și pentru manechinele utilizate (accelerometre instalate în torace și în cap). Pentru măsurarea vitezei s-au folosit, de regulă, sisteme cu receptoare GPS, iar recent și dispozitive de tip barieră optică. Pentru măsurarea accelerației s-au folosit sistemele PicDAQ produse de DSD Austria și sisteme originale, prezentate în această lucrare.

### MĂSURAREA VITEZEI CU DISPOZITIVE GPS

Receptoarele GPS au avantajul măsurării, simultan, a poziției, vitezei și timpului. Colectivul Departamentului ATR și autorul lucrării au deja o bogată experiență cu utilizarea și realizarea acestui tip de sisteme de achiziție [20, 23, 24, 34]. Soluțiile preferate sunt cele ce nu implică operații de instalare complexe.

*DL-10* (Fig. 4.3) este un sistem de achiziție a datelor bazat pe un receptor GPS, destinat în principal analizei comportamentului dinamic al autovehiculelor.



Fig. 4.3. Sistemul de achiziție a datelor DL-10, cu receptor GPS

Caracteristicile funcționale ale sistemului sunt:

- rata de achiziție: 1 Hz, 5 Hz sau 10 Hz, setabilă de către utilizator;
- modul de înregistrare: card micro-SD, fișiere text;
- date înregistrate: secvențe NMEA \$GPRMC, incluzând timpul, poziția (longitudine/latitudine), viteza, direcția de deplasare (grade față de Nord);
- rezoluție viteză: 0.018 km/h;
- rezoluție direcție de deplasare: 0.01 grade;
- alimentare: externă, 5-12 VCC sau USB; internă, 9 VCC;
- dimensiuni carcasă: 111x91x43 mm.

Sistemul este alimentat de la o sursă de curent continuu: fie de la bateria internă, de 9 V (tip 6F22), fie de la o sursă externă, prin intermediul unui conector de alimentare de pe panoul posterior (5-12 V) sau a conectorului microUSB de pe panoul posterior. Conectorul microUSB se poate folosi și pentru conectarea la un calculator PC.

Imediat ce aparatul este alimentat, începe înregistrarea datelor pe cardul micro-SD. Funcționarea este indicată de LED-urile de pe panoul frontal (Fig. 4.3). Pentru înregistrarea vitezei în testele de coliziune este utilizată o rată de achiziție de 10 Hz.

Fişierele de date, stocate pe cardul micro-SD, sunt fişiere de tip text, ce conţin secvenţe NMEA (şiruri de text conform standardului NMEA 0183). Standardul NMEA 0183 defineşte cerinţele pentru semnalul electric şi protocolul de transmisie a datelor, între receptorul GPS şi un alt dispozitiv, pe o magistrală de date serială.

Sistemul DL-10 foloseşte un singur tip de secvenţe NMEA: "GPRMC". Secvenţele de acest tip conţin datele minim recomandate pentru determinarea soluţiei PVT (Poziţie, Viteză, Timp) pe baza semnalului GPS [20].

În interiorul carcasei aparatului se găsesc două plăci interconectate. Placa de bază este o platformă de procesare de tip Arduino Leonardo, având ca element central un microcontroler ATmega32U4. Peste aceasta este instalată o placă de tip "GPS Logger Shield" (producător: Adafruit [94]). Componentele principale ale acesteia sunt receptorul GPS şi unitatea de înregistrare cu slot pentru card micro-SD.

### MĂSURAREA VITEZEI ŞI ACCELERAŢIEI CU SISTEMUL PICDAQ

PicDAQ (Fig. 4.4) este unul din sistemele de achiziţie a datelor consacrate pentru testele de coliziune.



Fig. 4.4. Sistemul de achiziţie a datelor PicDAQ

PicDAQ foloseşte un microcontroler PIC (producător *Microchip Technology*) pentru a prelua şi a înregistra datele de la două unităţi de senzori de acceleraţie, plus o unitate de măsurare a vitezei de rotaţie, pe cele trei axe. Prima unitate de senzori foloseşte un accelerometru triaxial (sau trei accelerometre cu o singură axă, independente), cu un domeniu de măsurare de  $\pm 5$  g. În specificaţiile accelerometrelor se foloseşte ca unitate  $g$  şi nu  $m/s^2$ , pentru că astfel valorile măsurate vor fi relative la acceleraţia gravitaţională ( $g$ ) din locul de măsurare. Calibrarea aparatelor se face având ca referinţă 1 g. Astfel rezultatele nu vor fi dependente de locul în care se face măsurarea.

Senzorul de viteză de rotaţie este încorporat în prima unitate de senzori (cu accelerometrul de  $\pm 5$  g). Cu ajutorul acestuia se pot măsura vitezele de rotaţie, ruliu şi tangaj, în grade/secundă. Această unitate de senzori este destinată testelor de dinamică a vehiculului la demarare, frânare, viraj sau chiar răsturnare.

Pentru testele de coliziune se utilizează în principal a doua unitate de senzori, care include trei accelerometre uniaxiale, cu un domeniu de măsurare de  $\pm 50$  g.

Pentru măsurarea vitezei, se poate ataşa un receptor GPS ce comunică prin interfaţa serială RS232. PicDAQ utilizează, în variantele recente, un dispozitiv Venus 634 (10 Hz) sau Venus 638 (20 Hz) (Fig. 4.5, modulul din stânga), dar poate folosi şi un receptor Garmin GPS 18x-5Hz. Părţile componente ale dispozitivului sunt: 1 - receptorul GPS propriu-zis, cu conector SMA pentru antenă activă; 2 - convertor de tensiune, ce asigură alimentarea receptorului cu tensiunea stabilizată de 3,3 V; 3 - circuit de adaptare a semnalului serial Rx/Tx de la TTL (ieşirea receptorului) la RS232 (intrarea în sistemul de achiziţie).

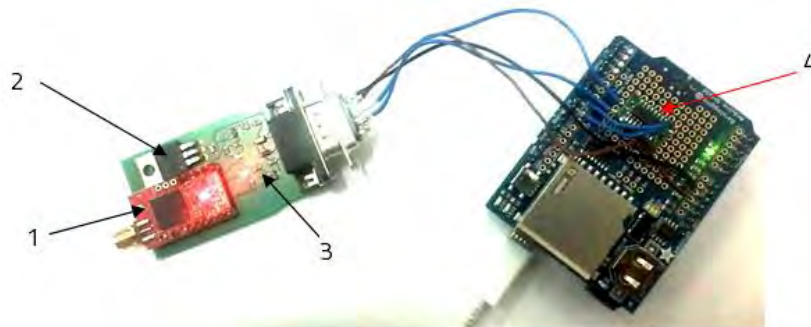


Fig. 4.5. Modulul de măsurare a vitezei și adaptor pentru conectarea modulului GPS la calculator

Receptorul GPS transmite date sistemului de achiziție prin secvențe NMEA, dintre care se utilizează secvența \$GPRMC, la fel ca în cazul sistemului propriu DL-10, prezentat mai sus.

PicDAQ are o interfață de utilizare simplă, cu doar două butoane și un display pentru afișarea meniului și a informațiilor de stare. Timpul de înregistrare, în cadrul unui test de coliziune, se stabilește prin acest meniu, selectând una din duratele prestabilite.

#### 4.2.3 SISTEM ORIGINAL DESTINAT ACHIZIȚIEI DE DATE

Costurile ridicate ale sistemelor de colectare a datelor, plus necesitatea cunoașterii în detaliu a condițiilor de funcționare, atât hardware cât și software, au dus la realizarea unui sistem propriu de achiziție a datelor [38]. Măsurarea vitezei a fost rezolvată folosind dispozitivele GPS prezentate în subcapitolul 4.2.2 (DL-10), astfel că noul sistem a fost dedicat înregistrării accelerațiilor [38]. Schema bloc este cea din Fig. 4.6. Sistemul a fost denumit CDL-01 (acronim pentru *Crash-Data-Logger*).

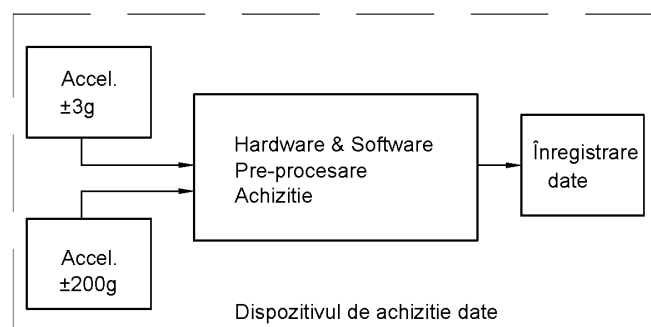


Fig. 4.6. Schema bloc a dispozitivului de înregistrare a accelerațiilor

Datele sunt preluate prin intermediul a două accelerometre, unul pentru accelerații mici ( $\pm 3$  g),



destinat în special testelor de dinamică a vehiculului, iar celălalt pentru accelerații mari ( $\pm 200$  g), dedicat testelor de coliziune. Ambele accelerometre sunt de tip MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*), capacitive, analogice, tri-axiale.

**MEMS** [22, 36, 95, 107, 113] reprezintă o tehnologie utilizată pentru a crea dispozitive sau sisteme integrate, de foarte mici dimensiuni, ce combină componente mecanice și electrice. Sunt fabricate prin aceleași tehnici de prelucrare ca și pentru circuitele integrate și pot avea dimensiuni cuprinse între câțiva microni și câțiva milimetri. Tehnologia MEMS a permis integrarea accelerometrului și a electronicii într-un singur cip, rezultând un dispozitiv minuscul care poate fi încastrat, de exemplu, în coloana volanului și are un preț foarte mic. Aceleași tipuri de dispozitive se folosesc la măsurarea accelerațiilor în testele de coliziune.

**Accelerometrul** este în principiu un dispozitiv capacitiv sau piezorezistiv ce constă într-un ansamblu format dintr-o masă suspendată (în consolă) și un platou. Accelerația determină mișcarea masei suspendate, iar plăcile capacitive sau piezorezistive realizate prin microprelucrare sesizează o modificare a accelerației prin îndoirea lor.

Accelerometrele folosite în sistemul de achiziție CDL-01 sunt de tip capacitiv, întrucât au costuri mai reduse, iar caracteristicile lor se încadrează în cerințele SAE pentru instrumentarea autovehiculelor.

Concret, au fost utilizate accelerometrele ADXL 337 ( $\pm 3$  g) [96] și ADXL 377 ( $\pm 200$  g) [97], fabricate de Analog Devices [95]. Acestea au caracteristici similare în ce privește lățimea de bandă și rezoluția de măsurare.

Valorile măsurate de accelerometre sunt transmise mai departe, blocului de pre-procesare, prin trei linii de semnal (x, y, z). Nivelurile semnalului corespunzătoare axelor x, y, z se încadrează în limitele date de tensiunea de alimentare a senzorilor, de 3,3 V.

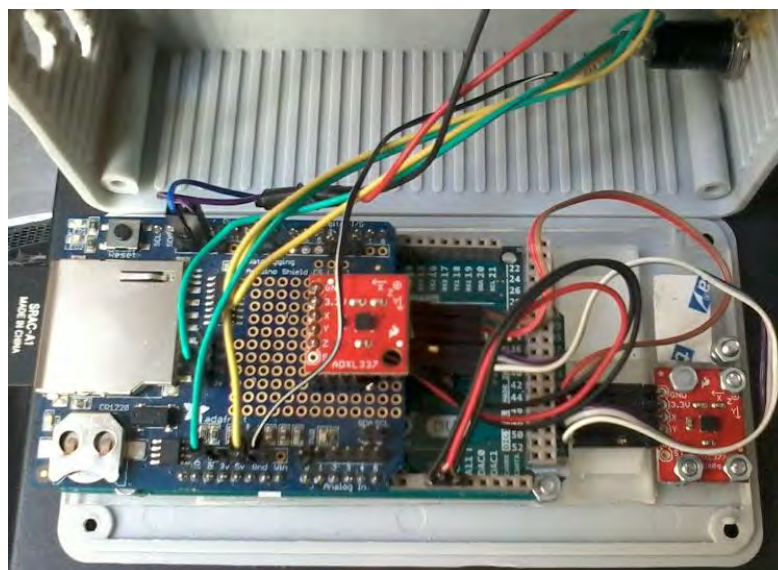


Fig. 4.7. Sistemul de achiziție a datelor CDL-01

Blocul de pre-procesare a datelor este realizat pe baza microcontrolerului AT91SAM3X8E (32 biți, nucleu ARM). Acesta lucrează la o frecvență de 84 MHz și are o memorie nevolatilă (flash) de 512

Kbytes și o memorie SRAM de 100 Kbytes. Microcontrolerul este instalat pe o placă de dezvoltare Arduino Due [99], care utilizează toate caracteristicile microcontrolerului, inclusiv cele 12 intrări analogice pe 12 biți.

Salvarea datelor se face pe un card de memorie SD, folosind același modul (*shield*) prezentat mai sus [94] (Fig. 4.5), care poate fi utilizat și pe plăcile *Arduino Due*. Modulul de înregistrare a datelor include și un circuit RTC (ceasul de timp real), care permite corelarea datelor (în timp) cu cele înregistrate cu alte sisteme.

Prototipul sistemului CDL-01 (Fig. 4.7) mai include butoanele de comandă și led-urile de stare, conectate la intrările/ieșirile digitale ale microcontrolerului.

#### 4.2.4 CALIBRAREA ACCELEROMETRELOR

Datele brute, recepționate la intrările analogice ale microcontrolerului, sunt transformate, prin intermediul unui convertor analogic-digital încorporat, în valori numerice, care sunt salvate apoi în fișierele de ieșire și care sunt numere întregi cuprinse în intervalul 0-1023 pentru accelerometrele pe 10 biți sau 0-4095 pentru accelerometrele pe 12 biți. Aceasta înseamnă că valoarea medie, corespunzătoare accelerației nule, trebuie să fie în jur de 512, respectiv 2048. Corespunzător domeniului de măsurare, rezultă variația accelerației corespunzătoare fiecărei unități. Dar aceste valori nu sunt întotdeauna cele reale, iar domeniul de măsurare (+/- g) nu corespunde cu exactitate domeniului de valori de ieșire ale convertorului analog-digital ( $2^{10}$  sau  $2^{12}$ ).

Pentru a transforma datele brute în valori ale accelerației, exprimate în  $m/s^2$  sau  $g$ , este necesară identificarea nivelului de zero cât mai exact posibil și, de asemenea, determinarea unui factor de transformare (scara) ce depinde de rezoluția senzorului. O metodă simplă și precisă de calibrare a accelerometrelor constă în utilizarea a două valori de referință pe fiecare axă, acestea fiind -1 g și respectiv +1 g. Cele două valori se obțin simplu prin alinierea axelor respective cu verticala. Metoda este descrisă și în notele de aplicație de la producătorii de senzori [39, 67, 120] sau în lucrări publicate anterior [25, 38]. Când pe o axă se măsoară valorile de -1 g și +1 g, datele de ieșire, sau datele brute înregistrate, vor avea forma:

$$a_{1g} = a_0 + (1g \cdot s_{xyz}) \quad (4.1)$$

$$a_{-1g} = a_0 + (-1g \cdot s_{xyz}) \quad (4.2)$$

unde:  $a_0$  este nivelul zero al accelerației, sau valoarea de *offset* a accelerației, iar  $s_{xyz}$  este scara de transformare, pe axa x, y sau z, calculată pe baza valorilor măsurate pentru nivelurile de -1 g și +1 g. Valorile de offset și ale factorilor de scară sunt stocate în fișiere de calibrare, din care sunt citite la prelucrarea datelor măsurate.

În Fig. 4.8 este prezentată un exemplu de diagramă obținută în timpul calibrării sistemului CDL-01 cu senzorul de  $\pm 3$  g. Se poate observa că pe două dintre axe (graficele roșu și albastru) mai este necesară corecția nivelului zero.

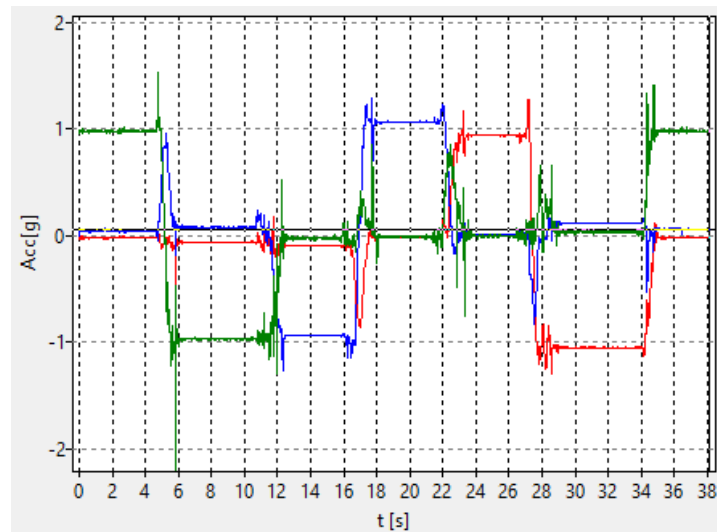


Fig. 4.8. Accelațiile măsurate la calibrare

Pentru senzorii *hi-g*, de exemplu pentru  $\pm 200$  g, calibrarea nu este la fel de simplă, întrucât intervalul de referință de 2 g este mult prea mic. În acest caz, dacă nu este posibilă calibrarea la un laborator specializat, se pot realiza măsurători în paralel cu mai multe dispozitive, din care cel puțin unul să fie calibrat, iar valorile determinate să fie în domeniul acestuia de măsurare. De exemplu, măsurarea unor valori până în 3 g cu accelerometrul cu domeniul de măsurare de  $\pm 3$  g, simultan cu un accelerometru cu un domeniu de  $\pm 24$  g, pentru care vor fi determinate astfel valorile de calibrare (offset și factor de scară). Apoi se pot măsura valori de până la 24 g cu accelerometrul calibrat de  $\pm 24$  g și cu cel de  $\pm 200$  g, pentru care se vor determina valorile de calibrare.

## 4.3 PRELUCRAREA DATELOR

### 4.3.1 FILTRAREA SEMNALELOR

Filtrarea este o etapă importantă în prelucrarea datelor, care se aplică indiferent de sistemul de achiziție a datelor utilizat.

Sucesiunea valorilor înregistrate (acclerații) cu sistemul de achiziție a datelor reprezintă un semnal din al cărui spectru trebuie eliminate frecvențele nedorite (zgomotul), cauzate, de exemplu, de vibrații ale suportului pe care este fixat senzorul, factori de mediu etc. Pentru aceasta se utilizează filtre numerice. Filtrele numerice [46] sunt sisteme digitale ce au ca scop modificarea spectrului semnalului de intrare. Practic, filtrele numerice sunt algoritmi rulați pe calculator. Filtrele numerice pot fi integrate și în sistemul de achiziție a datelor, ca algoritmi implementați în programe pentru microcontrolere.

Filtrele numerice sunt caracterizate de o ecuație generală și de o funcție de transfer, în forma generală:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} b_k x(n-k) - \sum_{i=0}^{M-1} a_i y(n-i) \quad (4.3)$$

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_N z^{-N}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_M z^{-M}} \quad (4.4)$$

În relațiile de mai sus,  $y(n)$  reprezintă mărimile de ieșire (filtrate),  $x(n)$  sunt mărimile de intrare (valori măsurate), iar  $a_i$  și  $b_k$  sunt coeficienții filtrului. De asemenea, pentru funcția de transfer, care arată răspunsul în frecvență al filtrului,  $H$  reprezintă ieșirea filtrului, iar  $z$  reprezintă intrările (valori măsurate).

Ecuția generală descrie modul în care răspunde filtrul la o modificare bruscă, neașteptată, a semnalului de intrare (răspunsul la impuls).

Proiectarea filtrului presupune calculul coeficienților ecuației filtrului, pornind de la specificațiile de frecvență ale acestuia.

### FILTRELE CFC

Filtrele utilizate pentru a elimina zgomotul de frecvență ridicată din semnalul de accelerație sunt filtre de tip trece-jos. Cele mai simple filtre trece-jos sunt cele pentru care, în ecuațiile 4.3 și 4.4 de mai sus,  $N=1$  și  $M=1$ , numite și filtre de ordinul 1. Filtrele de ordinul 2 ( $N=2$ ,  $M=2$ ) au o caracteristică mai apropiată de cea ideală și rămân în continuare relativ ușor de implementat (Fig. 4.9).

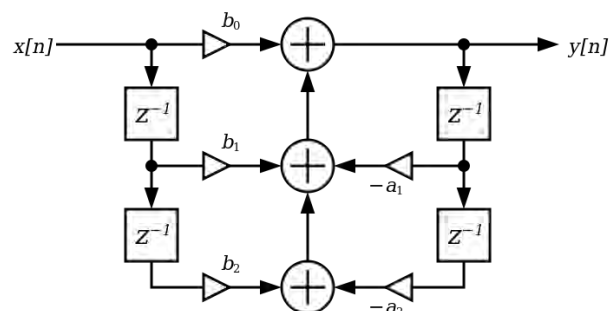


Fig. 4.9. Diagrama funcțională a filtrului de ordinul 2

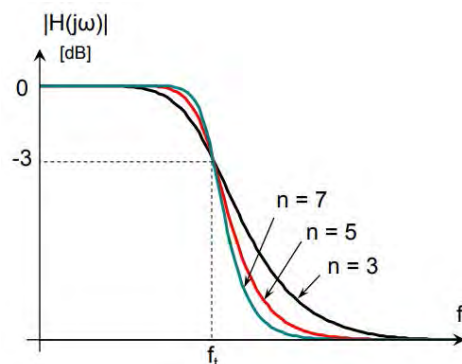


Fig. 4.10. Funcția de transfer a filtrului prototip Butterworth

Filtrele CFC, recomandate pentru filtrarea accelerațiilor înregistrate, sunt filtre de tip Butterworth, adică filtre cu răspuns infinit la impuls, de ordinul 2. Sunt, de asemenea, filtre recursive (cu reacție),

adică ieşirea la un moment dat depinde de intrare, precum şi de ieşirile de la momente anterioare. Modul de proiectare al acestor filtre este prezentat, pe scurt, în continuare.

Filtrul prototip Butterworth (Fig. 4.10) are funcţia de transfer ( $n$  este ordinul filtrului, iar  $2n$  numărul de poli):

$$H(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_t}\right)^{2n}}} \quad (4.5)$$

unde  $\omega_t$  este pulsaţia de tăiere, iar  $j$  este unitatea imaginară.

Evident, pentru  $\omega = \omega_t$ , va rezulta (atenuarea cu 3 dB):

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (4.6)$$

În prima fază, se determină funcţia de transfer a filtrului analogic echivalent, pornind de la specificaţiile de frecvenţă. Se determină pulsaţia de tăiere a filtrului digital,  $\omega_d$ , pe baza căreia se determină pulsaţia de tăiere a filtrului analogic  $\omega_a$  ( $T$  este intervalul de eşantionare a semnalului):

$$\omega_a = \operatorname{tg} \frac{\omega_d T}{2} \quad (4.7)$$

Pulsaţia de tăiere a filtrului digital  $\omega_d$ , utilizată în filtrele CFC (conform SAE J211 [116]) este:

$$\omega_d = 2\pi \cdot CFC \cdot 2.0775 \quad (4.8)$$

În ISO 6487 valoarea pulsaţiei de tăiere a filtrului digital este calculată diferit faţă de SAE J211:

$$\omega_d = 2\pi \cdot CFC \cdot 1.25 \cdot \frac{5}{3} \quad (4.9)$$

adică:

$$\omega_d = 2\pi \cdot CFC \cdot 2.0833 \quad (4.10)$$

Ecuatia cu diferenţe a filtrului cu 2 poli, utilizată pentru descrierea filtrelor CFC, este:

$$y(t) = a_0 \cdot x(t) + a_1 \cdot x(t-1) + a_2 \cdot x(t-2) + b_1 \cdot y(t-1) + b_2 \cdot y(t-2) \quad (4.11)$$

unde  $x(t)$  reprezintă valorile de intrare (măsurate), iar  $y(t)$  valorile de ieşire, filtrate, iar  $a_0, a_1, a_2, b_1, b_2$  sunt coeficienţii filtrului, calculaţi cu relaţiile:

$$a_0 = \frac{\omega_a^2}{1 + \sqrt{2} \cdot \omega_a + \omega_a^2} \quad (4.12)$$

$$a_1 = 2 \cdot a_0 \quad (4.13)$$

$$a_2 = a_0 \quad (4.14)$$

$$b_1 = \frac{-2(\omega_a^2 - 1)}{1 + \sqrt{2} \cdot \omega_a + \omega_a^2} \quad (4.15)$$

$$b_2 = \frac{-1 + \sqrt{2} \cdot \omega_a - \omega_a^2}{1 + \sqrt{2} \cdot \omega_a + \omega_a^2} \quad (4.16)$$

Ecuatia cu diferențe (4.11) descrie filtrul cu 2 poli. Pentru a obține un filtru cu 4 poli, cum este filtrul CFC, datele vor fi trecute prin filtrul cu 2 poli de două ori: o dată înainte și o dată înapoi; astfel se va elimina și defazajul introdus la o parcurgere a filtrului.

#### 4.3.2 PRELUCRAREA DATELOR CU POCKETDAQ ANALYZER

PocketDAQ Analyzer (Fig. 4.11) este programul de prelucrare a datelor ce însoțește sistemul de achiziție PicDAQ [102]. Prima acțiune ce trebuie realizată este de a prelua fișierele de date de pe cardul SD al aparatului. Pe card toate datele sunt stocate într-un singur fișier de dimensiune fixă (256 KB sau 512 KB, în funcție de modelul aparatului). Pentru fiecare test înregistrat va fi salvat un fișier de tip text, ce include, pe lângă datele achiziționate, informații de calibrare. Datele achiziționate pot fi: vitezele de rotație, ruliu, tangaj, accelerațiile pe cele trei direcții, înregistrate cu două accelerometre diferite, viteza GPS și alte eventuale valori citite de la intrările digitale.

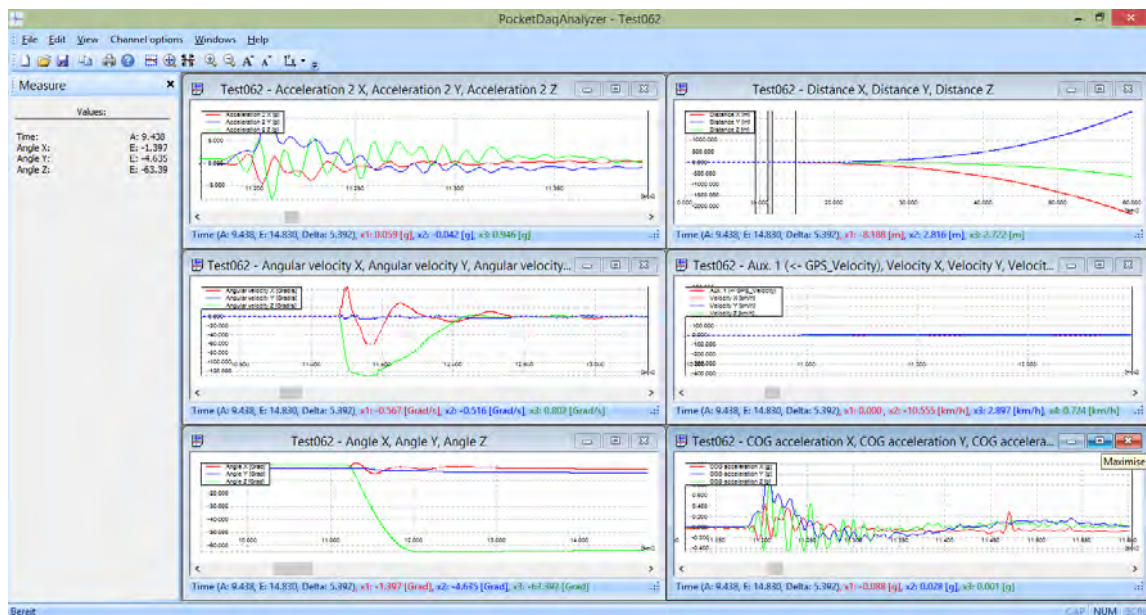


Fig. 4.11. Vizualizarea datelor în PocketDAQ Analyzer

Interfața programului este în primul rând grafică, prezentând șase diagrame diferite pentru fiecare test (un test însemnând aici un set de date înregistrate). Cele șase diagrame reprezintă, inițial, variațiile în timp ale accelerațiilor, vitezelor unghiulare, unghiurilor, deplasărilor, vitezelor și accelerațiilor centrului de greutate, pentru cele trei direcții de măsurare. Folosind opțiunea de configurare a canalelor din meniul, datele din fiecare diagramă pot fi modificate - de exemplu se pot elimina unele axe, sau se pot selecta intrări (canale) auxiliare. O facilitate importantă este cea de filtrare a datelor, folosind filtrul CFC.

Utilizatorul poate interacționa cu fiecare diagramă, pentru a vizualiza detalii (zoom), pentru a citi valorile corespunzătoare unor puncte de pe diagramă, sau pentru tipărirea sau exportul diagramelor.

### 4.3.3 PRELUCRAREA DATELOR - ACCELAȚII

Accelerațiile înregistrate cu sistemul CDL-01 sunt stocate pe SD-card, ca fișiere text. Fișierele pot fi deschise cu orice program de editare de text, sau cu programe de calcul tabelar (Excel). Dar datele sunt salvate în forma lor brută, exact așa cum sunt primite de la senzorul de accelerație. Acestor valori trebuie să li se aplice corecțiile de nivel zero (*offset*) și factorul de scară, apoi reducerea zgomotului de măsurare. Aceste operații se pot face folosind programul dedicat "Accele" (Fig. 4.12), scris pentru acest sistem de achiziție. Programul a fost realizat folosind mediul de dezvoltare Lazarus [106].

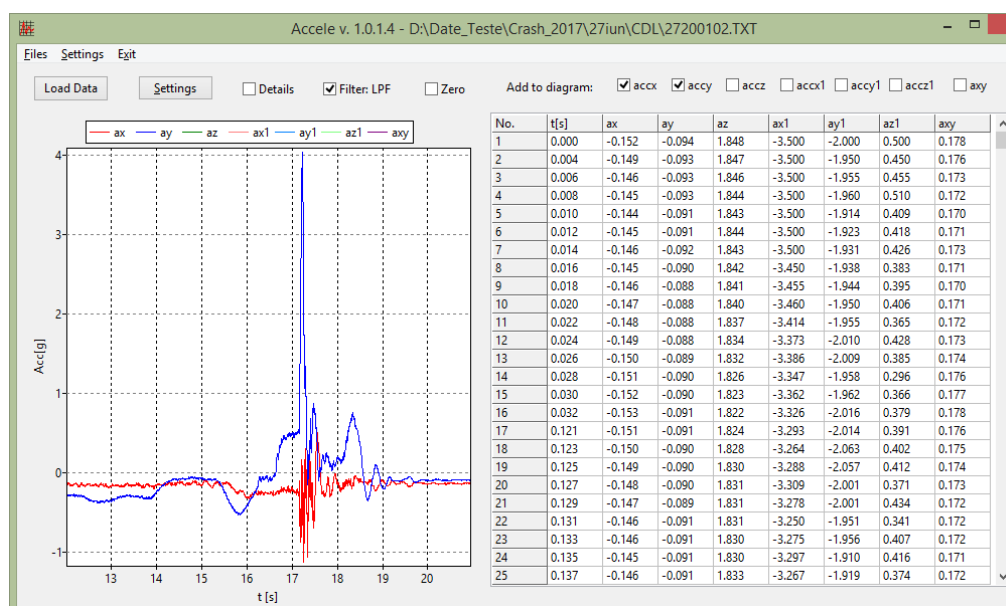


Fig. 4.12. Vizualizarea datelor în programul Accele, la calibrarea sistemului CDL-01

Datele pentru calibrare sunt salvate în fișierul de calibrare de pe SD-card, de unde pot fi citite direct de către program, sau pot fi introduse manual. În aceeași fereastră de configurare poate fi modificat semnul pentru fiecare din cele 3 direcții, pentru a se ține cont de poziția în care a fost instalat aparatul și, de asemenea, se poate alege filtrul digital aplicat.

Prin selectarea casetei "Zero" (Fig. 4.12) este posibilă stabilirea nivelului de zero al fiecărei curbe, prin click (cu mouse-ul) pe un punct al curbei respective ce trebuie să fie pe nivelul zero. Această opțiune permite corecții mici de calibrare ulterior colectării datelor, fără a fi necesare alte calcule.

În versiunea curentă, programul afișează grafic numai variația accelerației în funcție de timp, dar se pot selecta pentru afișare până la 7 curbe diferite. În schimb, datele sunt afișate și tabelar, ca valori relative la accelerația gravitațională,  $g$ . La selectarea unui punct de pe diagramă, în linia de stare sunt afișate coordonatele acestuia (valorile pe cele două axe, adică timpul și accelerația), iar în tabel cursorul sare la linia corespunzătoare aceluia punct.

Zoom-ul se face numai pe orizontală, astfel că se pot observa mai bine detaliile curbelor de pe diagramă; pe verticală scalarea este automată, pentru a cuprinde întregul domeniu de valori. Funcția de deplasare (*pan*) are efect în toate cele patru direcții. Pentru extragerea unei părți a diagramei se

poate face exportul datelor corespunzătoare părții vizibile din diagramă (deci zoom/pan, apoi export). Datele exportate pot fi salvate în fișierul de export ca valori brute (valorile citite inițial de la senzori), deci neafectate de prelucrări ulterioare.

Un exemplu de utilizare a programului este prezentat în Fig. 4.13 - accelerații înregistrate pe un autovehicul care a intrat în coliziune cu un alt autovehicul, staționar.

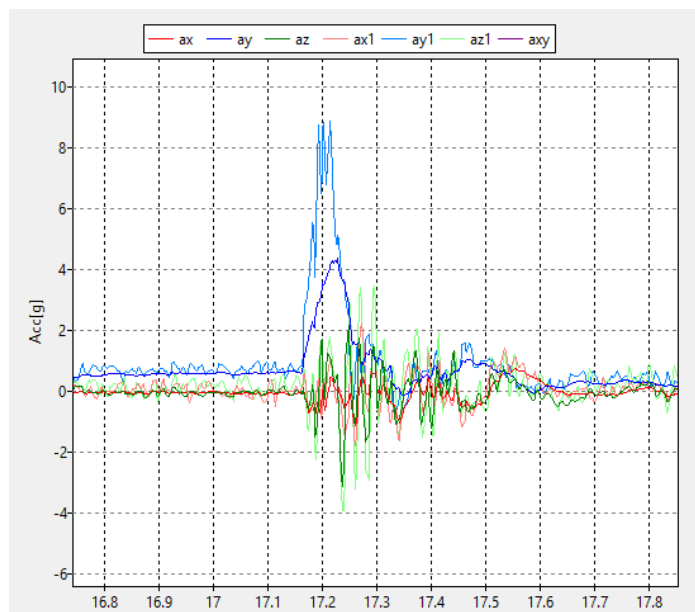


Fig. 4.13. Exemplu de diagramă corespunzătoare unui test, cu 6 curbe afișate

Se poate observa că cele șase curbe de pe diagramă sunt perechi, corespunzătoare accelerațiilor măsurate cu 2 senzori diferiți pe cele 3 axe. Valorile  $ay$  și  $ay1$  corespund direcției de deplasare a autovehiculului (axa x a autovehiculului - poziția de instalare a sensorului a fost rotită cu  $90^\circ$  față de poziția normală). Pentru axele laterală și verticală, valorile se suprapun (aproximativ), pentru că sunt situate, toate, în domeniul de măsurare al accelerometrului de accelerații joase ( $\pm 3$  g). Pentru accelerația longitudinală sunt vizibile diferențele ce apar la accelerații mai mari. În Fig. 4.14 sunt detaliate curbele accelerațiilor  $ay$  și  $ay1$ , exportate în Excel.

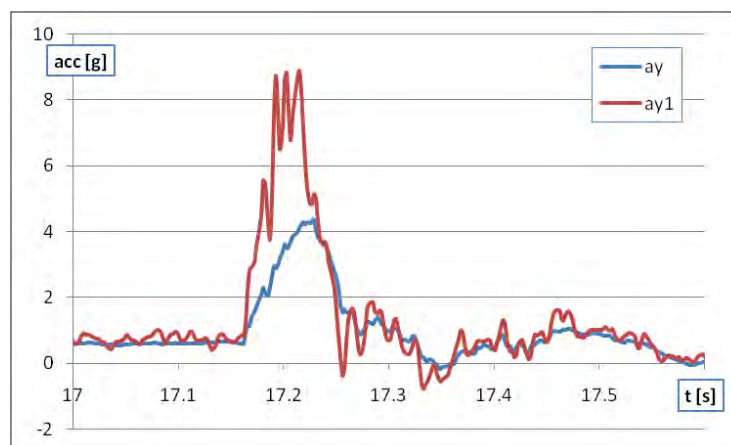


Fig. 4.14. Accelerația măsurată cu 2 senzori, cu domenii de măsurare diferite



În primul rând, se observă că valoarea măsurată cu accelerometrul de  $\pm 3$  g ajunge la peste 4 g. Explicația este că domeniul în care valorile se încadrează în erorile de măsurare specificate de producător este de  $\pm 3$  g, dar plaja totală de măsurare este dată de tensiunea electrică corespunzătoare cu 1 g (maxim 330 mV), adică sensibilitatea pe fiecare axă [96], respectiv tensiunea maximă de ieşire (între 3 și 3.6 V); deci valoarea maximă măsurată efectiv poate ajunge până la aproape 5 g.

Totuși, peste 3 g valorile nu vor mai fi luate în considerare, întrucât se îndepărtează prea mult de curba accelerației măsurate cu senzorul de accelerații mari ( $\pm 200$  g). Pentru a avea o rezoluție cât mai bună la accelerații mici (sub 3 g) și valori reale ale accelerațiilor mari, se pot combina cele două curbe.

În concluzie, prelucrarea primară a datelor înregistrate cu *CDL-01*, în *Accele*, urmată de prelucrarea detaliată în *Excel*, permite un control în detaliu al pulsului de impact, așa cum este definit acesta în subcapitolul 4.4.

#### 4.3.4 PRELUCRAREA DATELOR - VITEZA

Pentru prelucrarea datelor înregistrate cu sistemele DL-10, dar și cu alte sisteme cu receptoare GPS [47, 48], ce salvează datele sub formă de secvențe NMEA, a fost realizat programul numit *Nmea* (Fig. 4.15).

**Notă:** *Accele* și *Nmea* sunt programe originale, dezvoltate în cadrul laboratorului de Trafic rutier și Accidentologie, din ICDT, Universitatea Transilvania din Braşov. Aceste programe constituie rezultate ale cercetărilor teoretice și experimentale din ultimii ani, după cum sunt prezentate și în lucrări anterioare [25, 34, 36, 38]. Programele sunt realizate folosind instrumente *open-source* (limbajul de programare *Free Pascal*, mediul de programare *Lazarus*), iar contribuția autorului constă în primul rând în definirea arhitecturii programelor, descrierea algoritmilor de calcul, dar și stabilirea modului de afișare a rezultatelor.

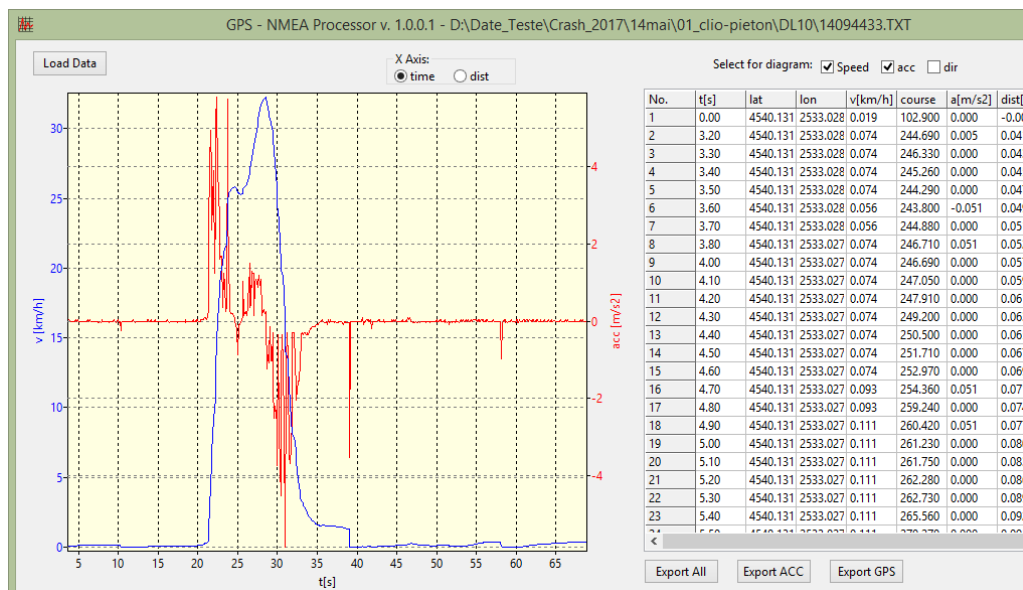


Fig. 4.15. Programul de prelucrare a datelor înregistrate cu receptoare GPS

Programul *Nmea* prezintă datele grafic și tabelar, iar interfața grafică funcționează similar cu cea a programului *Accele*, descrisă mai sus. Pe diagramă pot fi afișate curbele vitezei și accelerației. Viteza este cea extrasă din datele de intrare (secvențe tip GPRMC, unde viteza este dată în noduri, fiind determinată pe baza efectului Doppler), iar accelerația este calculată (ca derivată a vitezei). Programul este în primul rând un instrument rapid de verificare a vitezei vehiculului în testul de coliziune. Dacă, anterior efectuării testului, ceasul intern al accelerometrului (CDL-01) este sincronizat cu timpul dat de GPS, datele GPS pot fi sincronizate perfect cu accelerațiile măsurate, având o măsurare precisă a vitezei în momentul impactului.

#### 4.4 CARACTERIZAREA COLIZIUNII PRIN PULSUL DE IMPACT

Pulsul de impact (*crash pulse*) reprezintă variația în timp a accelerației, din momentul impactului până la oprirea autovehiculului (momentul de viteză zero). Modelul cinematic al comportamentului vehiculului în timpul coliziunii se bazează pe datele extrase din pulsul de impact. Datele ce pot fi extrase din pulsul de impact, determinat prin măsurarea accelerației, sunt enumerate în Tabelul 4.3 [45].

Tabelul 4.3 - Variabile cinematice ce pot fi determinate pe baza pulsului de impact

Variabila cinematică	Unitate de măsură	Relația de calcul
Accelerația	m/s <sup>2</sup>	$a = \frac{dv}{dt}$
Viteza	m/s	$v = \int a dt = \frac{dx}{dt}$
Deplasarea	m	$x = \int v dt = \iint a dt dt$
Derivata accelerației (șoc, sau accelerație de ord. 2)	m/s <sup>3</sup>	$j = \frac{da}{dt}$
Densitatea de energie	(m/s) <sup>2</sup>	$e = \int_{x_0}^x a dx = \int_{v_0}^v v dv = \frac{1}{2}(v^2 - v_0^2)$
Energia	Nm	$E = \frac{1}{2}m(v^2 - v_0^2)$
Puterea	Nm/s	$\bar{p} = \frac{dE}{dt} = mva$
Densitatea puterii	N <sup>2</sup> /s <sup>3</sup>	$p = \frac{\bar{p}}{m} = va$
Densitatea variației puterii	(m/s <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	$p' = \frac{dp}{dt} = vj + a^2$

Pulsul de impact poate fi caracterizat prin amplitudinea maximă a accelerației, durata pulsului (timpul până la oprire), accelerația medie, variația vitezei. Un indicator ce poate fi utilizat în evaluarea

severităţii coliziunii este derivata acceleraţiei, sau acceleraţia de ordinul 2 [88]. Date precum acceleraţia maximă şi durata pulsului sunt utilizate pentru analiza evoluţiei în timp a diferitelor modele ale aceleiaşi clase de autovehicule [93].

O altă caracteristică a pulsului de impact ce poate fi luată în considerare pentru descrierea comportamentului autovehiculului la coliziune [64] este media mobilă a acceleraţiei, definită prin relaţia:

$$\bar{a}^{\Delta t} = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} a dt \quad (4.17)$$

unde  $\Delta t$  defineşte intervalul de timp pentru care se face media mobilă. Se utilizează de regulă valoarea maximă a mediei mobile a acceleraţiei, pentru a indica severitatea coliziunii. Media mobilă a acceleraţiei, pentru un interval  $\Delta t$  de 50 ms este utilizată în calculul unui indicator de severitate a accidentului numit ASI (*Acceleration Severity Index*) [41].

În funcţie de tipul coliziunii, forma pulsului de impact este diferită. Câteva exemple sunt prezentate în Fig. 4.16 şi Fig. 4.17. În cazul impactului cu un obiect fix (stâlp), deplasarea totală este dată de strivirea componentelor autovehiculului. La impactul cu un alt vehicul, pe lângă deformarea caroseriei mai apare şi deplasarea celor două vehicule în contact, reducându-se viteza într-un interval de timp mai mare, deci o acceleraţie mai mică. La impactul cu un pieton sau cu un vehicul foarte uşor (bicicletă, de exemplu), pulsul dat de impactul propriu-zis este completat, de regulă, de pulsul datorat frânării autovehiculului.

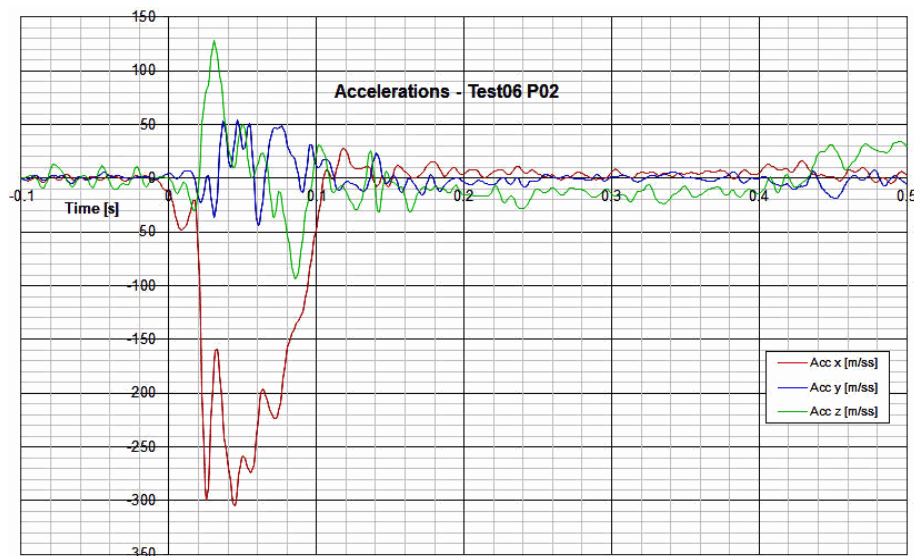


Fig. 4.16. Pulsul de impact la coliziunea cu un stâlp, la 60 km/h [50]

Desigur, pulsul de impact este influenţat şi de locul de amplasare a sensorului de acceleraţie. Pentru a evalua comportamentul autovehiculului în timpul coliziunii, acesta trebuie să fie amplasat cât mai aproape de centrul de greutate al autovehiculului. Dacă nu se poate amplasa aparatul (senzorul) în centrul de greutate, se pot face corecţiile necesare (translaţii şi/sau rotaţii), considerându-se că porţiunea din autovehicul aflată între centrul de greutate şi senzor este rigidă.

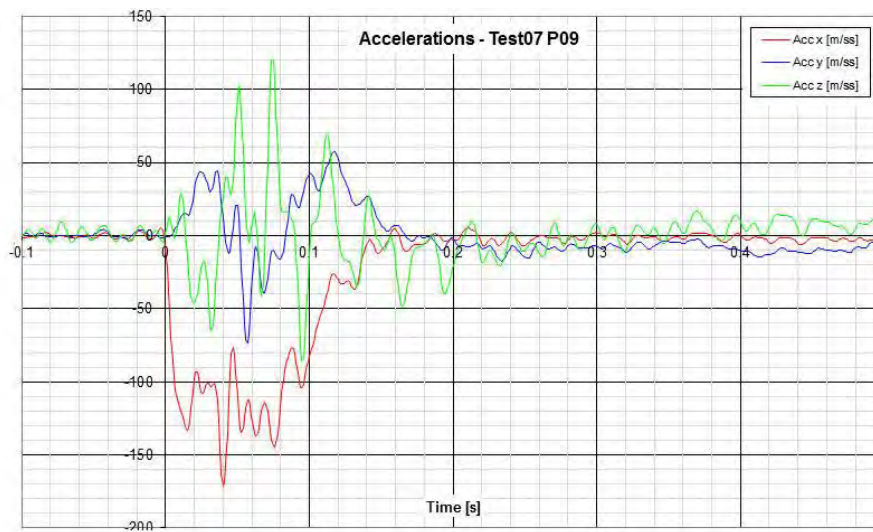


Fig. 4.17. Pulsul de impact la coliziunea cu un alt automobil, la 79 km/h [49]

Dacă se analizează pulsurile din Fig. 4.16 și Fig. 4.17, la o primă vedere se pot trage câteva concluzii. Astfel, în Fig. 4.16 (coliziune cu un obstacol fix, rigid - stâlp), pulsul accelerației pe direcția x are o amplitudine medie de circa  $200 \text{ m/s}^2$  timp de 0.08 secunde. Aceasta înseamnă o diferență de viteză de  $16 \text{ m/s}$ , adică aprox.  $58 \text{ km/h}$  - practic este viteza la care a avut loc impactul ( $60 \text{ km/h}$ ), diferența fiind datorată în primul rând aproximării, dar și mișcărilor pe direcțiile y și z. În cazul Fig. 4.17, accelerația medie este de circa  $100 \text{ m/s}^2$  timp de 0.12 secunde, deci se înregistrează o diferență de viteză de  $12 \text{ m/s}$ , adică aprox.  $43 \text{ km/h}$ . Diferența mare față de viteza de impact cunoscută ( $79 \text{ km/h}$ ) se explică prin faptul că ciocnirea a fost cu un alt vehicul (staționar), căruia i s-a transferat o parte din energie, deci și diferența de viteză, proporțional cu masele celor două vehicule.

Comportamentul structurii autovehiculului la coliziune (pentru care se folosește în literatura de specialitate termenul *vehicle crashworthiness*) poate fi definit pe baza pulsului de impact determinat în coliziunea cu un obstacol fix. Pentru aceasta s-au definit diverse modele ale impactului, ce simplifică pulsul de impact prin aproximări cu segmente de dreaptă succesive [90, 92] sau cu forme simple - dreptunghi, sinusoidă [45], clopot, inclusiv prin abordarea modelării fuzzy [65].



## 5 EXPERIMENTE ŞI PROCEDURI DE TESTARE

### 5.1 STABILIREA OBIECTIVELOR TESTELOR EXPERIMENTALE

Coliziunea dintre autovehicule reprezintă un fenomen complex, ce poate avea ca urmări atât vătămări corporale grave cât şi daune materiale semnificative. Pentru aprofundarea acestuia s-au realizat mai multe teste experimentale. Testele au vizat:

- Coliziunea frontală a unui autovehicul cu un stâlp (test 1);
- Răsturnarea unui autovehicul (test 2);
- Impactul faţă – spate a două autovehicule (test 3);
- Impactul frontal a două autovehicule (test 4).

Obiectivele testelor experimentale au fost:

- Achiziţia datelor privind vitezele şi acceleraţiile autovehiculelor, în timpul impactului şi răsturnării;
- Analiza impactului cu ajutorul camerei de mare viteză şi stabilirea fazelor acestuia;
- Determinarea gradului de deformaţie a caroseriilor prin intermediul parametrului EES (*Energy Equivalent Speed*);
- Validarea modelului matematic dezvoltat de autor în capitolul 3.

### 5.2 PROIECTAREA SCENARIILOR DE TESTARE

Pentru a se realiza obiectivele stabilite, testele de coliziune au avut următoarele configuraţii:

#### A. COLIZIUNEA FRONTALĂ A UNUI AUTOVEHICUL CU UN STÂLP (TESTUL 1)

Autovehiculul 1 (auto 1) va fi antrenat până la viteza de 50 km/h, după care va intra în coliziune cu un stâlp fixat în asfalt, în zona farului din stânga.

- Viteza de coliziune – 50 km/h;
- Fără frânare.

#### B. RĂSTURNAREA UNUI AUTOVEHICUL (TESTUL 2)

Autovehiculul 2 (auto 2) va fi deplasat spre o rampă, astfel încât acesta să intre în contact cu platforma cu roţile din partea stângă, urmând să se producă o răsturnare a autovehiculului pe partea dreaptă.

- Viteza autovehiculului – 40 km/h;
- Fără frânare.



### C. IMPACTUL DE TIP FAȚĂ-SPATE A DOUĂ AUTOVEHICULE (TESTUL 3)

Autovehiculul 3 (auto 3) va fi accelerat până la viteza de 35 km/h și va intra în coliziune cu autovehiculul 4 (auto 4), staționar.

- Viteza de coliziune – 35 km/h;
- Gradul de suprapunere între autovehicule – 100%;
- Unghiul de impact – 180°;
- Frânare în faza post-coliziune.

### D. IMPACTUL FRONTAL A DOUĂ AUTOVEHICULE (TESTUL 4)

Autovehiculul 5 (auto 5) va fi accelerat până la viteza de 35 km/h și va intra în coliziune frontală cu autovehiculul 6 (auto 6), staționar.

- Viteza de coliziune – 35 km/h;
- Frânat în faza post-coliziune.

Procesul de proiectare a experimentelor a inclus:

- Pregătirea poligonului în vederea testelor de coliziune;
- Pregătirea autovehiculelor – testarea sistemelor de frânare și de direcție;
- Poziționarea autovehiculelor conform scenariului de testare stabilit;
- Fixarea direcției autovehiculului impactor;
- Instalarea și verificarea aparaturii de achiziție a datelor și înregistrare video;
- Pornirea aparaturii;
- Desfășurarea experimentului propriu-zis.

## 5.3 APARATURA ȘI DISPOZITIVELE UTILIZATE

Pentru achiziția datelor au fost utilizate sistemele descrise în capitolul 4, astfel:

- PicDAQ pentru înregistrarea accelerațiilor și a vitezelor vehiculelor în deplasare;
- DL-10 pentru înregistrarea vitezelor;
- CDL-01 pentru înregistrarea accelerațiilor.

Pentru asigurarea redundanței, fiecare vehicul a fost echipat cu cel puțin două sisteme ce înregistrau datele în paralel. Pe lângă acestea, pentru înregistrarea video a testelor au fost utilizate aparate cu rezoluție foarte bună și de mare viteză. Pentru controlul tractării și opririi autovehiculelor aflate în mișcare în timpul testelor, au fost realizate dispozitive speciale. O parte din acestea sunt prezentate în acest capitol.

### CAMERA VIDEO HI-SPEC 5

Aceasta este o cameră de mare viteză, capabilă să înregistreze până la 1400 de cadre pe secundă, cu

o rezoluție maximă de 1696 x 1710 pixeli [104]. Memoria standard a camerei este de 4 GB și poate fi extinsă până la 8 GB sau 16 GB.

Această cameră a fost astfel instalată încât, pe parcursul experimentelor, să filmeze zona de coliziune, pentru o analiză ulterioară detaliată a modului de producere a deformațiilor.

### DRONA DJI PHANTOM 3

Drona a fost utilizată pentru filmarea de sus a experimentelor. Folosind vederea aeriană s-au putut determina deformațiile autovehiculelor prin măsurarea profilului frontal deformat. Această dronă este capabilă să înregistreze secvențe video și, de asemenea, să efectueze fotografiile aeriene, fiind telecomandată de pe un dispozitiv smartphone.

### ROLA DE TRACTARE A AUTOVEHICULELOR

Pentru a putea accelera autovehiculul impactor s-a utilizat o rolă de tractare, în jurul căreia a fost plasat un cablu.



Fig. 5.1. Poziționarea și utilizarea rolei de tractare

Capetele cablului au fost conectate la autovehiculul de tractare, respectiv la autovehiculul impactor. Pentru testele de viteză mică, autovehiculul tractor a fost accelerat în sens opus sensului de deplasare a autovehiculului impactor, în timp ce la testele de mare viteză autovehiculul tractor a fost accelerat sub un unghi obtuz (având rola de tractare în vârful unghiului). Acest lucru s-a datorat faptului că în poligonul de testare spațiul a fost limitat, iar accelerarea autovehiculului tractor până la viteza stabilită nu se putea face în condiții de siguranță. Amplasarea rolei de tractare este ilustrată în Fig. 5.1.

### DISPOZITIVUL DE ELIBERARE AL CABLULUI DE TRACTARE

Acest dispozitiv a fost montat pe autovehiculul tractor. El este destinat eliberării cablului în momentul coliziunii. Principiul de funcționare este ilustrat în Fig. 5.2. Un cârlig ce pivotează în jurul unui știft este sprijinit pe știftul central al unui levier ce pivotează, la rândul lui, în jurul unui ax fixat de partea fixă a cârligului. Levierul este acționat prin tragerea unui cablu ce este ancorat de partea superioară a sa. La

tragerea cablului de acţiune levierul pivotează şi astfel ştiftul cu manşon (din centrul levierului) este tras înapoi, eliberând partea mobilă a cârligului. Acesta este tras şi basculat de către cablul de tractare, care este astfel eliberat.

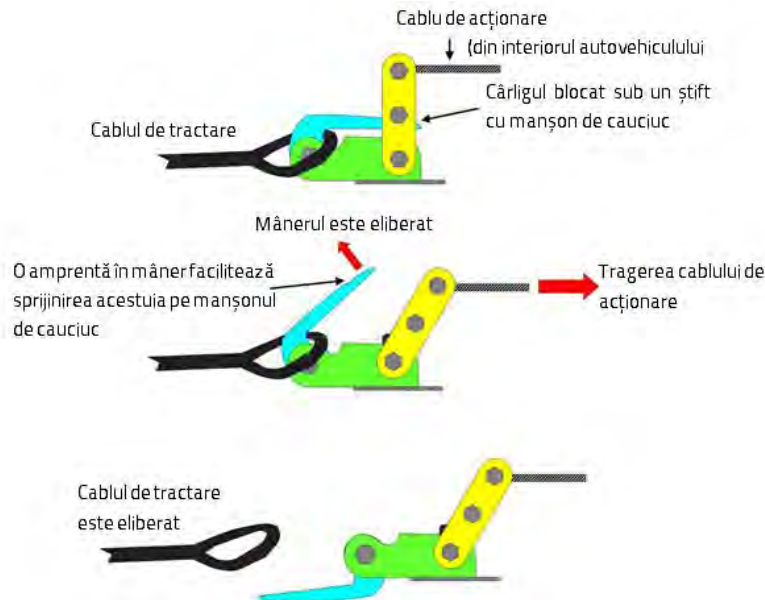


Fig. 5.2. Principiul de funcţionare a dispozitivului de eliberare a cablului

## DISPOZITIV DE ACŢIONARE A FRÂNEI

Autovehiculul implicat în testul de coliziune, care se deplasează (autovehicul impactor) trebuie să poată fi frânat, atât pentru asigurarea siguranţei echipei ce realizează experimentul, cât şi pentru a reproduce într-un mod cât mai real condiţiile unei coliziuni. Dispozitivul realizat este cel din Fig. 5.3.



Fig. 5.3. Dispozitivul de acţiune a pedalei de frână

Este un sistem cu acţiune pneumatică. Aerul comprimat stocat în rezervor (cilindru roşu din figură) asigură presiunea necesară împingerii pistonului (circa 0,3 MPa; 3 bari), care la rândul său pune în mişcare întreaga timonerie de acţiune, în final împingând plăcuţa fixată pe pedala de frână.

Comanda dispozitivului de acţiune a frânei se face de la distanţă, printr-o telecomandă radio de uz general. Receptorul, aflat în autovehicul, primeşte impulsul de comandă şi anclanşează un releu care închide circuitul de alimentare cu energie al unei electrovalve.



## 5.4 DESFĂŞURAREA TESTELOR EXPERIMENTALE

### 5.4.1 COLIZIUNEA FRONTALĂ A UNUI AUTOVEHICUL CU UN STÂLP

Autovehiculul a fost accelerat până la viteza de 52 km/h, după care a intrat în coliziune cu un stâlp. Configuraţia acestui test este prezentată în Fig. 5.4.

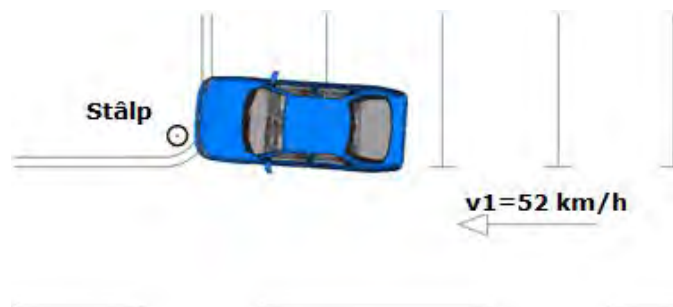


Fig. 5.4. Testul 1 - configuraţia de impact

Fazele impactului, extrase în etapa de post-procesare a datelor, sunt prezentate în Fig. 5.5.



Fig. 5.5. Fazele coliziunii din testul experimental 1

Pe baza analizei probelor video s-au extras următoarele faze ale coliziunii:

- Faza 1 – Faza ante-coliziune;
- Faza 2 – Faza coliziunii efective – momentul apariţiei deformaţiilor;
- Faza 3 – Faza post coliziune – faza în care autovehiculul ajunge în poziţia de repaus.

În faza coliziunii, s-a observat că autovehiculul prezintă o mişcare de rotaţie spre partea dreaptă, aceasta datorându-se faptului că punctul de impact dintre autovehicul şi stâlp a fost excentric. Astfel a apărut un moment de rotaţie a autovehiculului.

Pulsul de impact al acestei coliziuni, rezultat din măsurarea acceleraţiilor cu sistemul PicDAQ, este cel din Fig. 5.6.

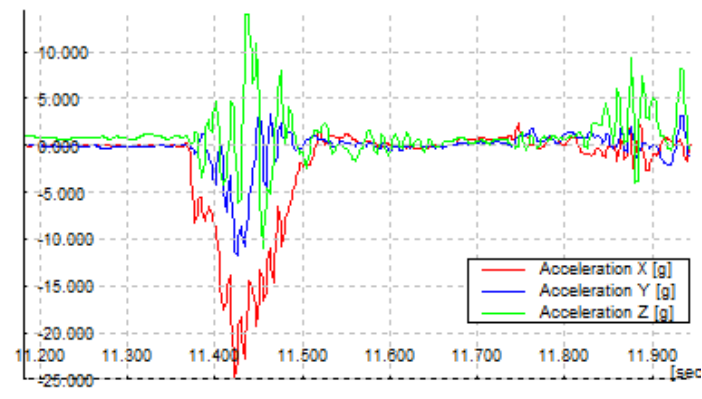


Fig. 5.6. Pulsul de impact al coliziunii cu stâlpul

Curba albastră din Fig. 5.6 reprezintă accelerația laterală, care înregistrează mișcarea laterală a autovehiculului în timpul coliziunii. Accelerația rezultantă este:  $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$  și în acest caz are o valoare de 12.3 g, adică 120.8 m/s<sup>2</sup>. Valoarea accelerației rezultante a fost obținută prin aproximarea pulsului de impact cu forme triunghiulare, adecvate în acest caz. Pentru o durată a coliziunii de circa 120 ms a rezultat o valoare a variației vitezei (parametrul  $\Delta v$  al pulsului de impact, cum este prezentat în 4.4) de 14.5 m/s, sau 52.2 km/h.

Aceste valori confirmă faptul că pulsul de impact înregistrat cu accelerometrul, redus la forme geometrice simple, poate fi utilizat pentru determinarea vitezei inițiale. Corespondența vitezei determinate cu viteza măsurată confirmă corectitudinea valorilor accelerației înregistrate.

#### 5.4.2 RĂSTURNAREA UNUI AUTOVEHICUL

Autovehiculul 2 (auto 2) a fost accelerat spre o rampă până la viteza de 42 km/h, astfel încât acesta să intre în contact cu rampa cu roțile din partea stângă. Ca urmare, s-a produs o răsturnare a autovehiculului pe partea dreaptă.

Configurația de impact a testului experimental 2 este prezentată în Fig. 5.7.

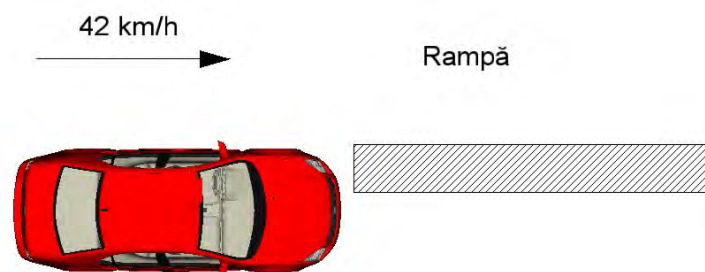


Fig. 5.7. Testul 2 - configurația de impact

Fazele impactului, extrase în etapa de post-procesare a datelor, sunt prezentate în Fig. 5.8.

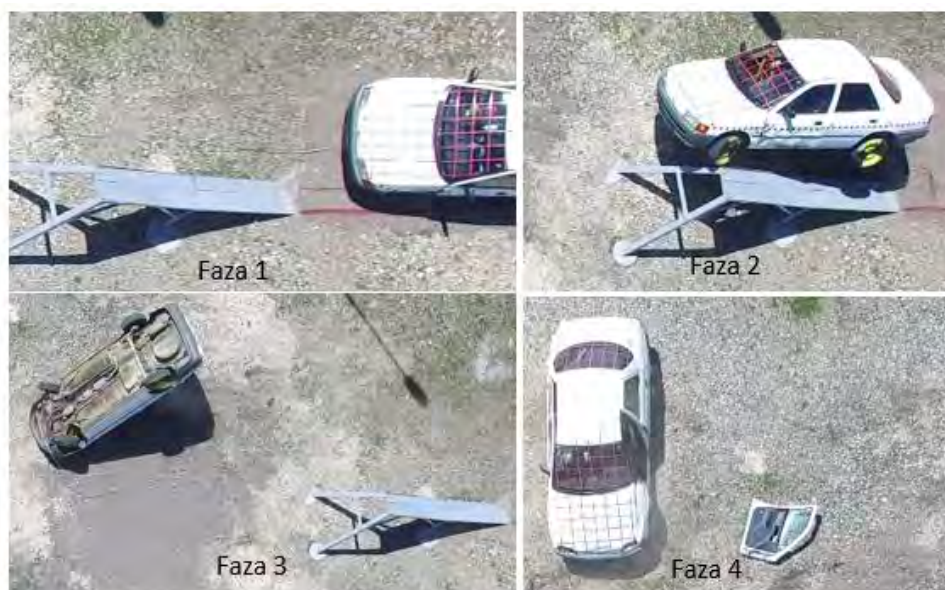


Fig. 5.8. Fazele coliziunii din testul experimental 2

În urma analizei imaginilor video, au fost identificate următoarele faze ale coliziunii:

- Faza 1 – Faza ante- coliziune – autovehiculul se îndreaptă spre rampă;
- Faza 2 – Faza de intrare în contact a autovehiculului cu rampa – roțile din partea stângă a autovehiculului intră în contact cu rampa;
- Faza 3 – Faza "lansării" autovehiculului de pe rampă, conducând la o răsturnare a acestuia spre partea stângă cu o cădere pe plafon;
- Faza 4 – În ultima fază autovehiculul mai face o rotație de  $180^\circ$ , ajungând în poziția finală.

### 5.4.3 IMPACTUL DE TIP FAȚĂ-SPATE A DOUĂ AUTOVEHICULE

Unul dintre autovehicule a fost accelerat până la viteza de 35 km/h, după care a intrat în coliziune cu cel de al doilea autovehicul, care se afla în staționare.

Acest tip de coliziune reprezintă un tip de accident foarte comun în cazul circulației în zonele urbane [87, 89]. Configurația de impact a acestei coliziuni este prezentată în Fig. 5.9.

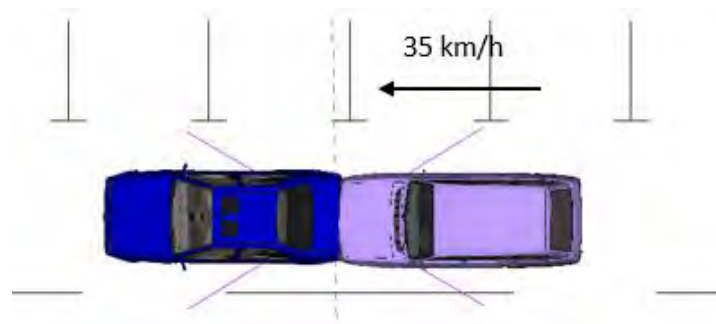


Fig. 5.9. Testul 3 - configurația de impact

Fazele impactului, extrase în etapa de post-procesare a datelor, sunt prezentate în Fig. 5.10.



Fig. 5.10. Fazele coliziunii din testul experimental 3

Fazele coliziunii pot fi descrise astfel:

- Faza 1 – Faza ante-coliziune;
- Faza 2 – Intrarea în contact a autovehiculelor;
- Faza 3 – Atingerea deformațiilor maxime;
- Faza 4 – Desprinderea autovehiculelor și ajungerea acestora în pozițiile finale.

Pulsul de impact înregistrat cu aparatul PicDAQ instalat pe vehiculul impactor este cel din Fig. 5.11.

Acest puls de impact este mai complex decât în cazul coliziunii cu un obstacol fix, întrucât, pe lângă deformarea caroseriei autovehiculului, mai apare mișcarea acestuia după desprinderea de autovehiculul impactat (care la rândul său are o mișcare post-coliziune). Pentru autovehiculul impactor din acest test, din pulsul de impact a rezultat o accelerație medie de circa 5 g ( $49 \text{ m/s}^2$ ) până la oprirea vehiculului în poziția finală, ceea ce a dus, prin integrare, la o viteză inițială, de impact, de 35,3 km/h (9,8 m/s).

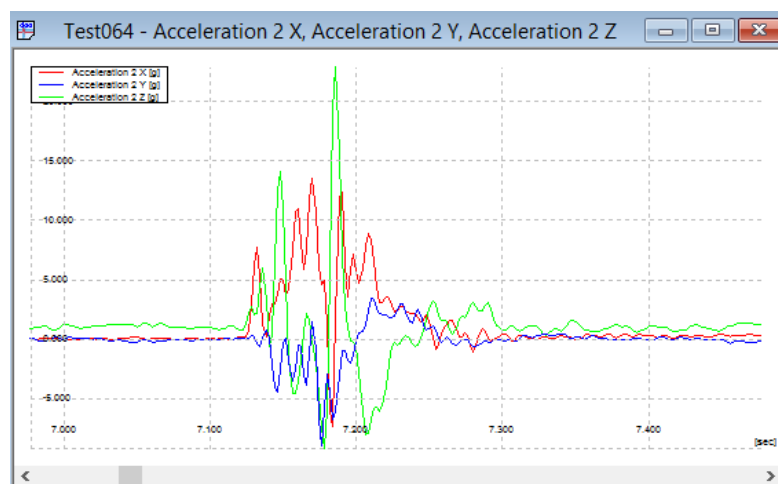


Fig. 5.11. Pulsul de impact al vehiculului impactor din testul 3

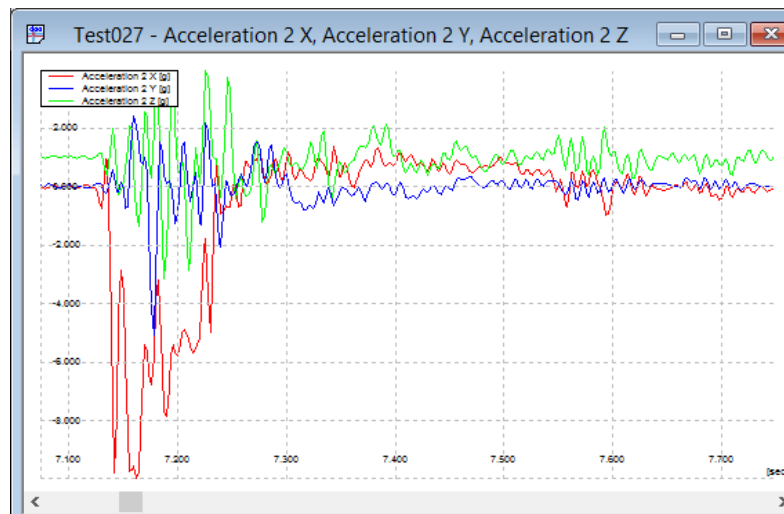


Fig. 5.12. Pulsul de impact al vehiculului impactat din testul 3

În Fig. 5.12 este prezentat și pulsul de impact al autovehiculului impactat (staționar). Pentru acesta s-a înregistrat o accelerație medie mai mică (sub  $40 \text{ m/s}^2$ ) pe un interval de timp mai scurt, de numai circa 70 ms. Rezultă o viteză inițială de deplasare a vehiculului impactat de circa 10 km/h.

#### 5.4.4 IMPACTUL FRONTAL A DOUĂ AUTOVEHICULE

În acest caz, un autovehicul a fost accelerat până la viteza stabilită (35 km/h), după care a intrat în coliziune frontală cu cel de al doilea autovehicul, care se afla în staționare.

Configurația de impact a acestui test experimental este prezentată în Fig. 5.13.



Fig. 5.13. Testul 4 - configurația de impact

Fazele impactului, extrase în etapa de post-procesare a datelor, sunt prezentate în Fig. 5.14.

Fazele coliziunii pot fi prezentate astfel:

- Faza 1- Faza ante-coliziune;
- Faza 2 – Faza coliziunii propriu-zise – atingerea deformației maxime;
- Faza 3 – Faza desprinderii autovehiculelor și ajungerea acestora în pozițiile finale.

Viteza măsurată cu un sistem de achiziție cu receptor GPS a fost de cca. 34 km/h.

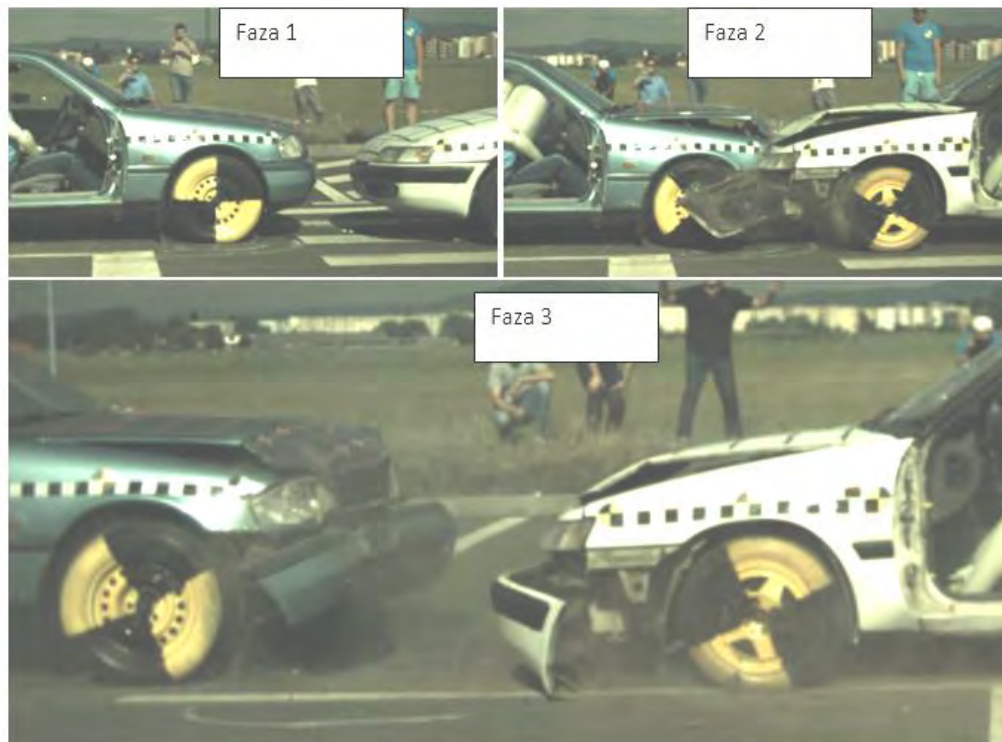


Fig. 5.14. Fazele coliziunii din testul experimental 4

Pulsurile de impact, determinate pentru autovehiculul impactor și cel impactat sunt prezentate în Fig. 5.15 și Fig. 5.16, așa cum sunt prelucrate în programul PocketDAQ Analyzer. Întrucât a fost necesară o recalibrare a accelerometrului, efectuată după testare, datele au fost reprocessate în Excel (plecând de la valorile brute înregistrate cu accelerometrul, corectate după recalibrare) și a rezultat pulsul de impact din Fig. 5.17, pentru direcția x (direcția de deplasare) a autovehiculului impactor.

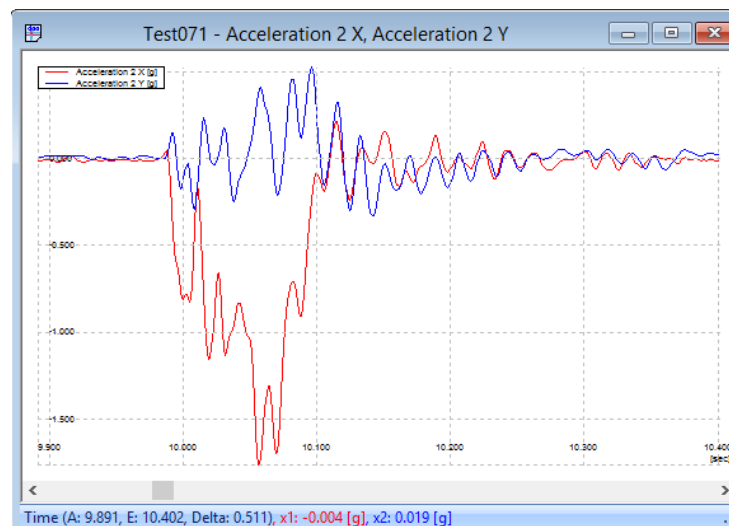


Fig. 5.15. Accelația autovehiculului impactor (pe x și y)

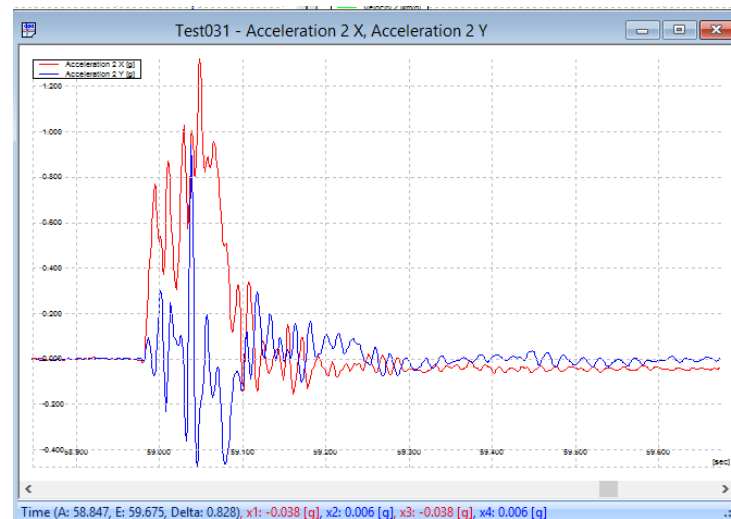


Fig. 5.16. Accelația autovehiculului impactat (pe x și y)

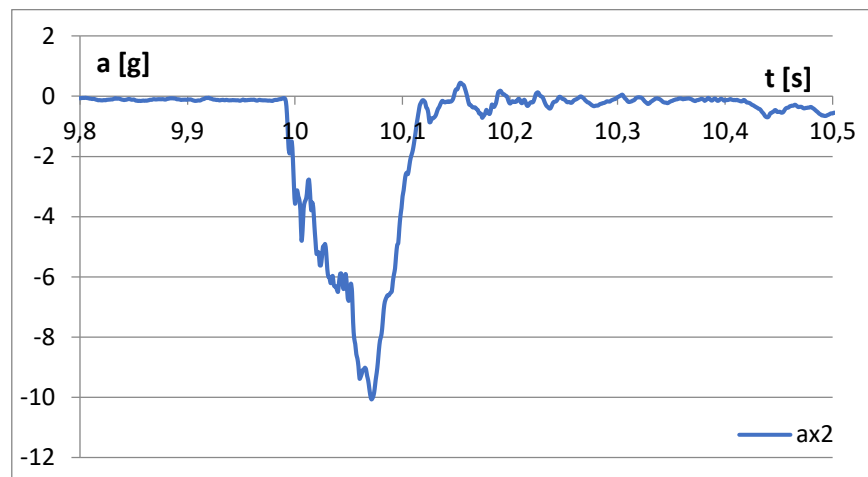


Fig. 5.17. Accelația autovehiculului impactor, prelucrată în Excel (inclusiv filtrare)

Forma pulsului de impact este aproximativ triunghiulară și corespunde fazei a doua a coliziunii. După această fază mișcarea autovehiculului a continuat, cu o accelerație foarte mică. Pulsul de impact are o amplitudine maximă de 10 g și o durată de 110 ms, ceea ce duce la o variație a vitezei  $\Delta v = 19.5$  km/h.

#### VALIDAREA MODELULUI MATEMATIC

Pentru a verifica dacă ipotezele considerate în cadrul modelului matematic analizat și prezentat la capitolul 3 se confirmă, testul experimental a fost preluat și introdus în programul de simulare PC-Crash ver. 11.1 (Fig. 5.18).

Analizând aceste rezultate comparativ cu modelul matematic, rezumat prin calculul în Excel, putem observa că nu sunt diferențe majore, astfel că se poate concluziona că modelul este validat (Tabelul 5.1).

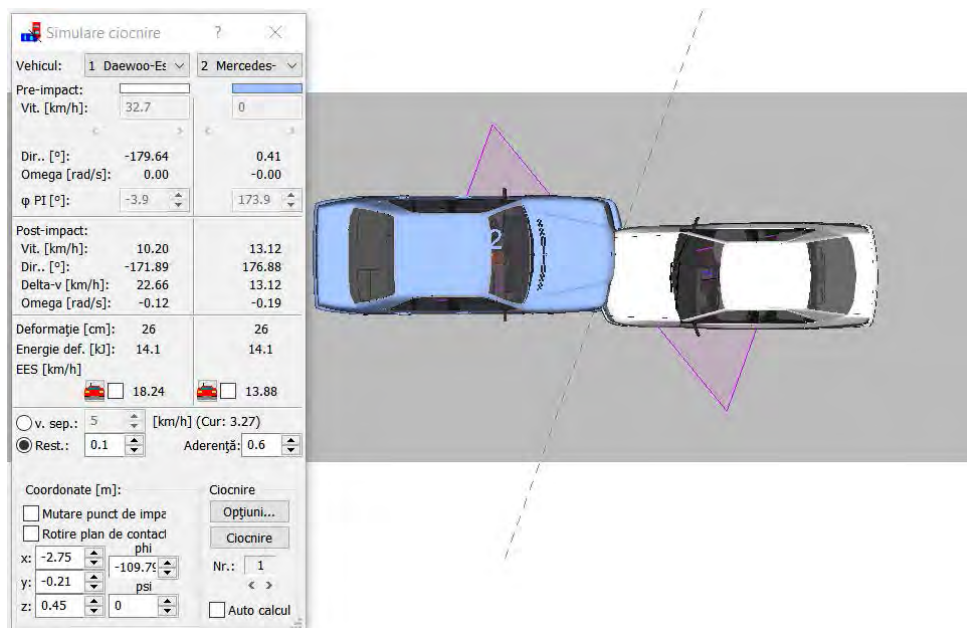


Fig. 5.18. Simularea coliziunii în programul PC-Crash

Tabelul 5.1 - Calculul coliziunii, în programul Excel

**Viteza de coliziune între doua autovehicule 1 și 2; autovehiculul 1 are viteza inițială orientată după axa x**

**Date de intrare:**

Masa Autovehicul 1	1100 kg	
Masa Autovehicul 2	1900 kg	
Energia consumata in coliziune auto 1	14100 J	
Energia consumata in coliziune auto 2	14100 J	
Viteza post coliziune auto1	3 m/s	10.8 km/h
Viteza post coliziune auto2	3 m/s	10.8 km/h
Unghiul aferent vectorului vitezei post coliziune 1	0.017454 rad	1 Grade
Unghiul aferent vectorului vitezei post coliziune 2	3.141593 rad	180 Grade
Unghiurile finale de oprire fata de directia initiala 1	0.017453 rad	1 Grade
Unghiurile finale de oprire fata de directia initiala 2	3.054326 rad	175 Grade
Coeficientul de frecare	0.6	
Ampatamentul auto 1	2.62 m	
Ampatamentul auto 2	3.03 m	

**Rezultate**

Unghiul de impact	-0.00447 rad	-0.25617 Grade
Vitezele echivalente de deformatie		
EES1	5.063236 m/s	18.22765 km/h
EES2	3.852545 m/s	13.86916 km/h
V10	9.528021 m/s	34.30087 km/h
V20	0 m/s	0 km/h



Parametrii EES pot fi apreciați și pe baza unor date din cataloagele existente.

### MĂSURAREA DEFORMAȚIILOR

Pentru aprecierea valorilor deformațiilor se folosește ca referință proiecția în plan orizontal a automobilului, astfel că față de conturul „nominal” se stabilesc valorile deformațiilor pe câteva segmente prestabilite (pentru care s-au determinat „energii specifice deformațiilor liniare”).

În Fig. 5.19 este redat modul de identificare și măsurare efectivă a deformațiilor. Pentru calculele de deformație și stabilirea valorilor EES pentru fiecare autovehicul acestea vor fi analizate separat.

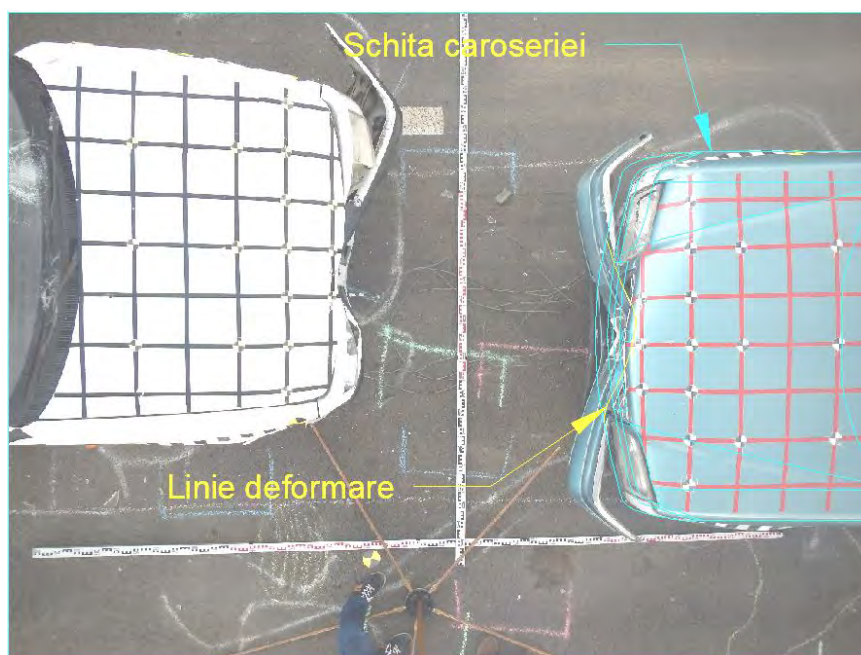


Fig. 5.19. Determinarea deformațiilor

Metoda CRASH3 recomandă trei opțiuni pentru măsurările post impact. Pot fi folosite două, patru, sau șase valori măsurate pe segmentele preselectate (denumite C1...C6), în timp ce pentru aprecierea profilului deformat se alege o zonă, sau se aleg trei sau cinci zone.

Determinarea deformațiilor s-a realizat pentru testul numărul 4, deoarece acesta este cel de referință pentru modelul matematic. Linia de referință pentru măsurare a fost determinată pe conturul lateral al autovehiculului, pe partea stângă. Pentru determinarea acesteia, s-au utilizat fotografiile aeriene post-impact ale autovehiculelor, acestea fiind prelucrate folosind programul AutoCAD. Pentru aceasta, s-a trasat conturul caroseriei intacte a vehiculului peste fotografie și s-a trasat, de asemenea, linia de deformație (Fig. 5.19).

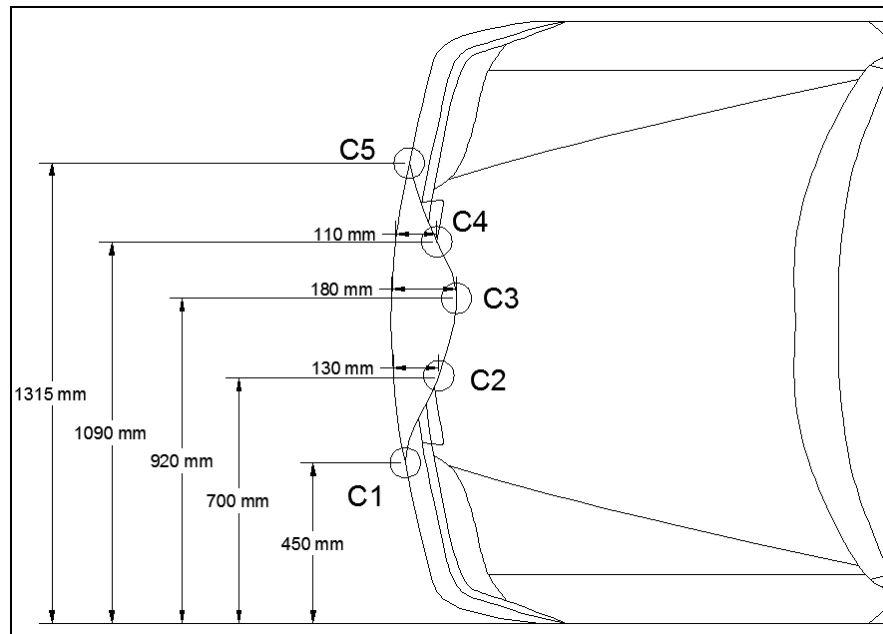


Fig. 5.20. Măsurarea deformației pentru auto 5 din testul 4

S-au ales 5 puncte, dintre care C1 și C5 sunt punctele de începere a deformației, iar C2, C3 și C4 reprezintă puncte de măsurare a profunzimii deformației. Valoarea maximă a deformației este C3. În cazul vehiculului auto 5, valoarea maximă a deformației este de 180 mm (Fig. 5.20).

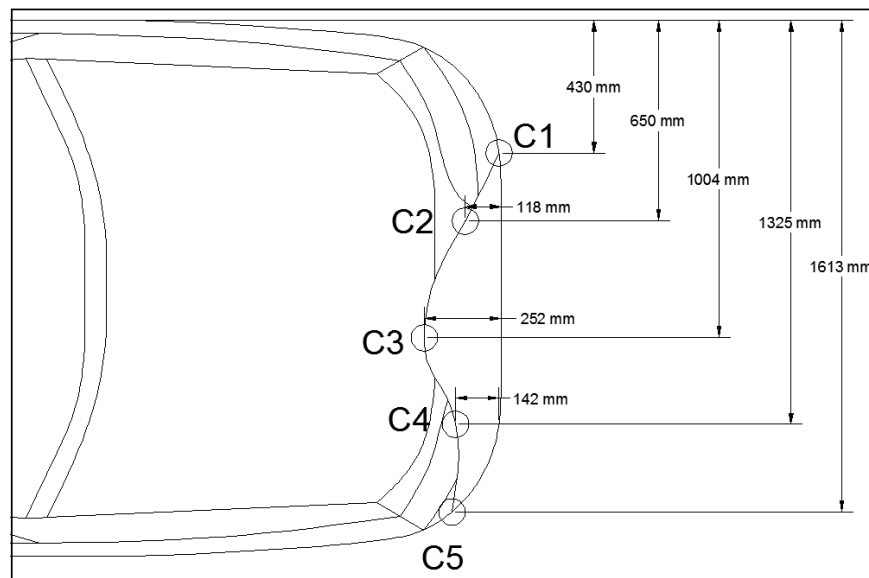


Fig. 5.21. Măsurarea deformației pentru auto 6 din testul 4

Asemănător s-a putut realiza și măsurarea pentru autovehiculul auto 6, valoarea maximă a deformației fiind C3, adică 252 mm (Fig. 5.21).

Determinarea deformațiilor autovehiculelor post-impact este esențială în reconstrucția accidentelor, în special la utilizarea programelor specializate, cum este PC-Crash. În Fig. 5.22 și Fig. 5.23 sunt prezentate rezultatele calculului parametrilor coliziunii, prin metoda CRASH3, în programul PC-Crash, pentru cele două autovehicule implicate.

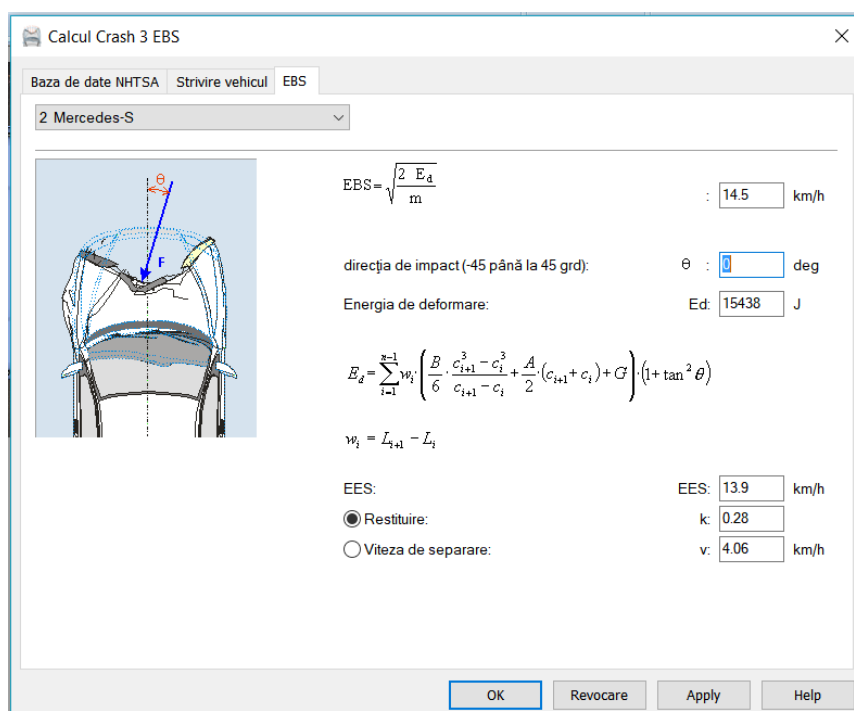
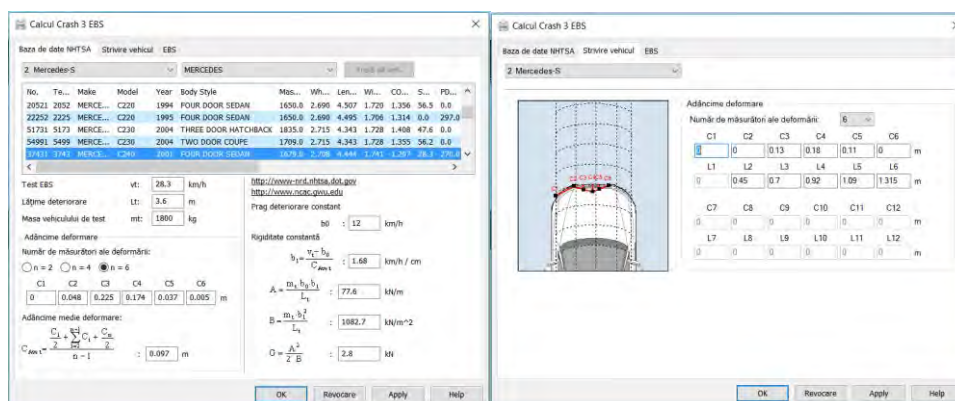
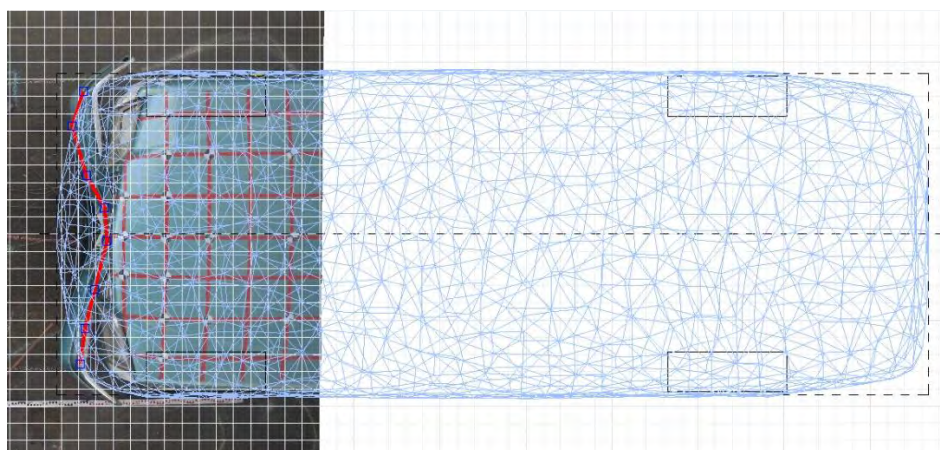
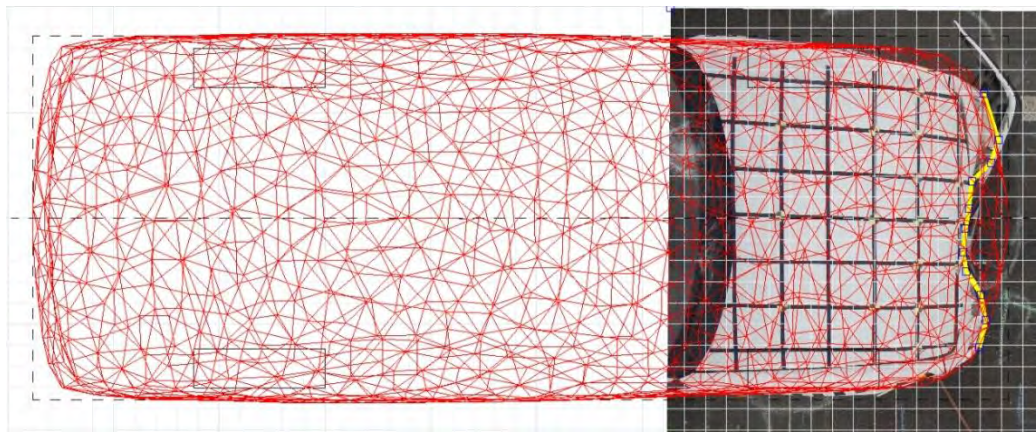


Fig. 5.22. Calculul parametrilor de deformare prin metoda Crash 3 în PC Crash (auto 6)



**Calcul Crash 3 EBS**

Baza de date NHTSA   Strivire vehicul   EBS

1 Daewoo Esp   FIAT   Arată alt veh.

No.	Te...	Make	Model	Year	Body Style	Max...	Wh...	Len...	Wl...	CO...	S...	PG...
3291	0329	FIAT	131	1978	TWO DOOR SEDAN	1276.0	2.489	4.371	1.641	0.000	47.3	0.0
1981	0198	FIAT	132	1979	FOUR DOOR SEDAN	1280.0	2.555	4.402	1.641	1.260	48.4	0.0
1983	0198	FIAT	132	1979	FOUR DOOR SEDAN	1284.9	2.530	4.402	1.641	1.041	0.0	276.8
75051	7505	FIAT	500	2012	THREE DOOR HATCHBACK	1338.0	2.305	3.520	1.625	0.917	36.0	0.0
75072	7507	FIAT	500	2012	THREE DOOR HATCHBACK	1257.0	2.301	3.543	1.580	0.991	0.0	297.0

Test EBS: vt: 32.2 km/h

Lăţime deteriorare: lr: 2.286 m

Masa vehiculului de test: mt: 1109 kg

Adăncime deformare:

Număr de măsurători ale deformării:

n = 2    n = 4    n = 6

C1	C2	C3	C4	C5	C6
0.025	0.343	0.305	0.230	0.084	0.147

Adăncime medie deformare:

$C_{\text{ave}} = \frac{C_1 + \sum_{i=2}^n C_i + C_n}{n-1}$  : 0.211 m

Rogăte constante:

$b_1 = \frac{v_1 - b_2}{C_{\text{ave}1}}$  : 1.14 km/h / cm

$A = \frac{m \cdot b_1 \cdot b_2}{L_1}$  : 34 kN/m

$B = \frac{m \cdot b_1^2}{L_1}$  : 486.6 kN/m<sup>2</sup>

$G = \frac{A^2}{2 \cdot B}$  : 1.2 kN

OK   Revocare   Apply   Help

**Calcul Crash 3 EBS**

Baza de date NHTSA   Strivire vehicul   EBS

1 Daewoo Esp

Adăncime deformare

Număr de măsurători ale deformării: 6

C1	C2	C3	C4	C5	C6
0	0.118	0.252	0.142	0	0
L1	L2	L3	L4	L5	L6
0	0.43	0.65	1.004	1.325	1.613
C7	C8	C9	C10	C11	C12
0	0	0	0	0	0
L7	L8	L9	L10	L11	L12
0	0	0	0	0	0

OK   Revocare   Apply   Help

**Calcul Crash 3 EBS**

Baza de date NHTSA   Strivire vehicul   EBS

1 Daewoo-Esp

$EBS = \sqrt{\frac{2 \cdot E_d}{m}}$  : 18 km/h

direcția de impact (-45 până la 45 grd):  $\theta$  : 0 deg

Energia de deformare: Ed: 13680 J

$$E_d = \sum_{i=1}^{n-1} w_i \left( \frac{B}{6} \cdot \frac{c_{i+1}^3 - c_i^3}{c_{i+1} - c_i} + \frac{A}{2} \cdot (c_{i+1} + c_i) + G \right) \cdot (1 + \tan^2 \theta)$$

$w_i = L_{i+1} - L_i$

EES: EES: 17.9 km/h

Restituire: k: 0.07

Viteza de separare: v: 1.26 km/h

OK   Revocare   Apply   Help

Fig. 5.23. Calculul parametrilor de deformăție prin metoda Crash 3 în PC Crash (auto 5)

## 5.5 SINTEZA REZULTATELOR TESTELOR EXPERIMENTALE

Testele de coliziune sunt acțiuni complexe, care implică participarea unui personal numeros și utilizarea de instalații și echipamente diverse. Aparatura utilizată pentru achiziția datelor provine de la producători recunoscuți [102] sau este de concepție proprie [25, 36]. Valorile măsurate în paralel cu cele două tipuri de sisteme au fost, în cele mai multe cazuri, similare.

Unul din parametrii importanți ce caracterizează impactul dintre două autovehicule, sau dintre un autovehicul și un obstacol fix, este *pulsul de impact (crash pulse)*. Acesta descrie în mod sintetic coliziunea și constă în reprezentarea evoluției accelerației autovehiculului în timpul impactului. Din forma pulsului de impact se poate deduce modul în care s-a comportat structura autovehiculului testat la impact, iar dimensiunile pulsului, sau a unor sectoare ale acestuia, pot da informații despre condițiile de desfășurare a testului, respectiv a accidentului simulat. Un parametru important ce se poate determina cu ușurință din pulsul de impact este variația vitezei ca urmare a impactului,  $\Delta v$ , care se obține prin integrarea accelerației între limitele de timp indicate de cele două capete ale pulsului.

Analiza detaliată a testului nr. 4, prin metode diferite, a dus la obținerea unor rezultate similare. Prin evaluarea pulsului de impact s-a determinat o diferență de viteză  $\Delta v = 19,5 \text{ km/h}$ . Pentru autovehiculul impactat, diferența de viteză determinată din pulsul de impact (Fig. 5.16) este de 12,3 km/h. Prin aplicarea modelului de calcul descris în lucrare s-a obținut o viteză (echivalentă energiei de deformare) de 18,2 km/h pentru autovehiculul impactor, respectiv 13,8 km/h pentru autovehiculul impactat. Prin aplicarea metodei Crash 3, folosind programul PC-Crash, s-au obținut vitezele echivalente (EES): 17,9 km/h pentru autovehiculul impactor, respectiv 13,9 km/h pentru autovehiculul impactat. Rezultatele sunt centralizate și în Tabelul 5.2.

Tabelul 5.2 - Rezultate obținute prin diferite metode

	$\Delta v$ (din pulsul de impact)	EES (modelul de calcul)	EES (metoda Crash 3)	GEV
Autovehicul impactor	19,5 km/h	18,2 km/h	17,9 km/h	1,07
Autovehicul impactat	12,4 km/h	13,8 km/h	13,9 km/h	0,9

Din datele disponibile (EES și  $\Delta v$ ), se poate determina parametrul de control GEV:

$GEV = \Delta v_5 / EES_5 = 1,07$  pentru autovehiculul impactor (auto 5), respectiv  $GEV = \Delta v_6 / EES_6 = 0,9$  pentru autovehiculul impactat, valorile corespunzând intervalului recomandat pentru coliziunea între două vehicule, fără alunecare, adică  $0,9 < GEV < 1,2$  [76].



## 6 CONCLUZII FINALE ŞI CONTRIBUŢII PERSONALE

### 6.1 CONCLUZII

După cum s-a prezentat şi în introducerea lucrării, accidentul rutier reprezintă un eveniment cu implicaţii sociale şi pierderi materiale importante, fenomen de natură să genereze dezechilibre majore în societate.

Prezenta lucrare contribuie, prin metodele elaborate şi descrise, la analiza riguroasă a scenei locului accidentului şi a autovehiculelor implicate, în vederea identificării elementelor de probă care pot conduce la reconstrucţia accidentului cu rezultate cât mai apropiate de situaţia reală. Această activitate este absolut necesară în vederea stabilirii condiţiilor concrete care au condus la producerea accidentului şi pe baza acestora la identificarea corectă a cauzelor acestuia.

Din rapoartele de cauzalitate elaborate în urma producerea accidentului se pot extrage, cu uşurinţă, idei cu privire la elementele ce ar putea fi corectate în vederea diminuării gradului de vătămare şi nu în cele din urmă a pagubelor materiale. Capitolul 2, intitulat simplu, *Metode de analiză* a accidentelor rutiere, descrie câteva metode de analiză ce pot servi ca exemple de bună practică pentru reconstituirea evenimentelor şi identificarea cauzelor ce le-au produs. Bineînţeles, scopul suprem este acela de a crea sisteme şi condiţii în vederea diminuării, pe viitor, a producerii accidentelor similare.

Diversitatea accidentelor rutiere a dus la necesitatea dezvoltării diferitelor modele matematice pentru descrierea acestora. Un model ce descrie coliziunea vehicul-vehicul este prezentat în capitolul 3, *Modelul matematic al impactului*, pe care autorul l-a utilizat ca fundament în realizarea unei aplicaţii de calcul (tabelar). Modelele matematice stau la baza programelor informatice utilizate în simularea accidentelor, precum PC-Crash, program utilizat de mulţi specialişti din Europa, inclusiv din România. Programul este prezentat, succint, în această lucrare, şi a fost utilizat pentru simularea încercărilor experimentale.

Un parametru definit în teză este *pulsul de impact*, care se referă la variaţia acceleraţiei în timpul coliziunii. În fapt, acest parametru, prin amplitudinea sa şi evoluţia în timpul de coliziune, contribuie la aprecierea gradului de vătămare şi dimensiunii deformaţiilor.

Identificarea influenţei acestui parametru asupra siguranţei automobilului creează premisele unei analize complexe asupra factorilor care impun dezvoltarea sistemelor de siguranţă pasivă şi activă. Astfel, criteriile de optimizare în proiectarea sistemelor de siguranţă pasivă trebuie orientate spre majorarea, pe cât posibil, a timpului de coliziune, în vederea diminuării efectelor pulsului de impact. Cu cât timpul de coliziune va fi mai mare, cu atât amplitudinea pulsului de impact va fi mai mică.

De mare importanţă, pentru determinarea corectă şi cât mai exactă a pulsului de impact, este colectarea unor date cât mai precise, cu sisteme de achiziţie performante, care să asigure



sensibilitatea și rata de achiziție necesare. Pentru aceasta au fost utilizate sisteme de achiziție profesionale, realizate de laboratoare recunoscute în domeniu [102], dublate de echipamente originale, realizate în cadrul laboratorului propriu. Datele colectate, înainte de a fi utilizate în analiza coliziunii, trebuie pregătite, prin o prelucrare inițială, care presupune corecția valorilor, astfel încât să fie eliminat offset-ul, adică decalajul nivelului de referință (nivelul de zero), să fie eliminate erorile cumulate de înregistrare, care apar în special la accelerometre și, nu în ultimul rând, să fie filtrate, pentru reducerea zgomotului de măsurare. Filtrele recomandate în standarde (SAE J211 și ISO 6487) sunt utilizate și în programele originale dezvoltate, precum și la prelucrarea datelor folosind programele de calcul tabelar (subcapitolul 5.4).

În realizarea încercărilor experimentale s-a avut în vedere reproducerea unor situații ce apar în accidente reale de trafic. Analiza datelor colectate (pulsul de impact), calculul tabelar realizat pe baza modelului matematic (capitolul 3) și simularea cu programul PC-Crash au dus la rezultate apropiate, metodele de analiză confirmându-și reciproc valabilitatea.

Analiza accidentului reprezintă o activitate multidisciplinară cu o complexitate mare. Concluziile, bine argumentate, ale acestei analize, determină măsura în care componentele sistemelor de siguranță ale automobilului contribuie la siguranța ocupanților.

Prin identificarea corectă și obiectivă a factorilor care au concurat și au contribuit la producerea accidentului se pot stabili direcții de acțiune pe componentele sistemului, precum și ponderea acestora în vederea obținerii unei siguranțe sporite în trafic.

Sistemul de analiză a accidentului trebuie astfel dezvoltat încât să poată furniza rezultate cât mai precise într-un timp cât mai scurt și cu costuri reduse. Totodată, acest sistem trebuie să prezinte limitele de aplicabilitate, cu un interval cât mai îngust de eroare relativ la aprecieri subiective care pot influența rezultatul cercetării.

Obiectivul general al cercetării, enunțat la începutul lucrării, a fost rezolvat prin definirea unor metode de analiză a accidentului rutier și realizarea de simulări și teste experimentale capabile, prin datele furnizate, să certifice acuratețea analizei și să realizeze reconstrucția accidentului rutier în vederea identificării cauzelor concrete care au condus la producerea acestuia.



## 6.2 CONTRIBUȚII PERSONALE

Prin activitatea de cercetare desfășurată pentru elaborarea lucrării, autorul a contribuit la dezvoltarea domeniului accidentologiei cu următoarele:

- Definirea unor metode de analiză a accidentelor rutiere, ce pot fi utilizate în situații specifice. Metodele, prezentate în capitolul 2, Metode de analiză a accidentelor rutiere, ca studii de caz, pot fi utilizate ca exemple de bună practică în analiza unor evenimente similare. Aceste cazuri, cu soluțiile găsite pentru soluționarea lor, au fost prezentate și la congresele Asociației Europene a Experților în Reconstrucția Accidentelor, EVU, în fața unui mare număr de experți în accidentologie din Europa.
- Descrierea modelului matematic al coliziunii vehicul-vehicul, pe baza căruia a fost elaborat un algoritm de calcul implementat în programul de calcul tabelar Excel; acesta permite o evaluare rapidă a evenimentului analizat și poate constitui cel puțin o premiză pentru reconstrucția accidentului cu programele de simulare.
- Propunerea unor soluții tehnice pentru dispozitive utilizate în testele de coliziune desfășurate la Universitatea Transilvania din Braşov: sistem de acționare a frânei, sisteme de amarare și de ghidare a vehiculului tractat.
- Realizarea unor sisteme originale de achiziție a datelor din testele de crash: sistem de măsurare a vitezei cu o rată de achiziție de 10 Hz și sistem de măsurare a accelerației, pe 3 axe, cu o rată de achiziție de 1 kHz, cu două domenii de măsurare simultan (6 canale de achiziție). Sunt sisteme cu microcontrolere, pentru care au fost scrise programele necesare. Acestea sunt completate de programele de prelucrare primară a datelor, dezvoltate pentru PC, cu sistem de operare Windows. Programele respective au fost concepute astfel încât să fie ușor de utilizat, să utilizeze un minim de resurse a calculatorului și să poată fi obținute rezultate într-un timp cât mai scurt, astfel că pot fi utilizate imediat după colectarea datelor, la locul de desfășurare a experimentelor. Contribuția directă a autorului la realizarea acestor sisteme constă în realizarea arhitecturii sistemelor și a algoritmilor programelor, conceperea interfeței cu utilizatorul.
- Definirea *pulsului de impact* ca instrument de analiză a datelor rezultate din testele de coliziune și descrierea modului de utilizare a acestuia pentru analiza accidentului (coliziunii). Informații similare pot fi obținute de la dispozitive de înregistrare a datelor instalate la bordul autovehiculelor, așa numitee "cutii negre", sau cum sunt cunoscute în literatura de specialitate, EDR (*Event Data Recorder*). Dispozitivele respective înregistrează date pe baza cărora poate fi determinat pulsul de impact specific unei coliziuni în care este implicat autovehiculul, iar prelucrarea datelor ce rezultă din acesta pot da o mulțime de informații despre eveniment (capitolul 4.4).
- Desfășurarea mai multor teste de coliziune, dintre care au fost selectate doar câteva pentru a fi prezentate în lucrare. Analiza detaliată a unuia dintre testele prezentate arată modul în care





datele obținute din măsurarea directă a unor parametri ai coliziunii se suprapun cu rezultatele obținute prin utilizarea modelului matematic descris în capitolul 3 și cu simularea realizată cu un program dedicat reconstrucției accidentelor rutiere.

Pe lângă rezultatele activității direct legate de elaborarea acestei lucrări, activitatea continuă în domeniul analizei și reconstrucției accidentelor rutiere a dus la implicarea autorului în diverse proiecte, cu contribuții ce merită, de asemenea, a fi menționate.

Astfel, pentru facilitarea înregistrării informațiilor primare de la locul producerii unui eveniment rutier, a fost realizată o aplicație software de schițare a locului accidentului (descriș în capitolul 2). Schița realizată direct pe calculator, la scară, poate oferi informații mai precise despre eveniment și, nu în ultimul rând, poate fi preluată în programul de simulare a accidentelor, ușurând munca experților și reducând timpul necesar pentru analiză.

Pe lângă dispozitivele auxiliare utilizate în testele de coliziune, prezentate în subcapitolul 5.3, au mai fost realizate și altele, precum sistemul de ghidare de la distanță a autovehiculului, sau sistemul de măsurare a vitezei cu senzori optici. Acestea au fost realizate împreună cu studenții participanți la testele de coliziune.

O contribuție importantă constă în realizarea sistemului logistic pentru desfășurarea testelor de coliziune. Acestea sunt activități complexe, care implică mulți participanți, nu numai pentru desfășurarea testului efectiv sau controlul și supravegherea aparaturii, ci și pentru asigurarea siguranței participanților, stocarea tuturor informațiilor, coordonarea echipelor.

Recentele realizări în domeniul achiziției și prelucrării imaginilor au dus la dezvoltarea de dispozitive și aplicații cu costuri reduse, ce pot fi acum utilizate și la reconstrucția accidentelor. Exemple sunt scanerile 3D utilizate la măsurarea deformațiilor și reprezentarea tridimensională a autovehiculelor sau altor obiecte și programul de prelucrare a imaginilor fotografice multiple, pentru realizarea unui model tridimensional al locului accidentului. Autorul prezentei lucrări a fost pionier al acestor tehnici și promotor al utilizării lor în România. Rezultate obținute cu asemenea tehnici au fost, de asemenea, diseminate prin lucrări prezentate la congrese științifice, precum și prin seminarii tematice la care au participat numeroși experți din domeniu.

Autorul a avut o contribuție semnificativă la introducerea în practica expertizelor accidentelor rutiere a programului de simulare PC-Crash, fiind unul din primii utilizatori ai acestuia din țară, devenind de asemenea instructor în utilizarea programului pentru alți experți în reconstrucția accidentelor. În fiecare an se organizează, la Braşov, seminarii cu participarea experților din țară (și chiar și din afara țării), susținute de profesorul Hermann Steffan, autorul programului PC-Crash, precum și seminarii coordonate direct de către autorul tezei. O contribuție importantă la creșterea gradului de utilizare a programelor de simulare în reconstrucția accidentelor reale a avut-o localizarea programului (prin traducerea în limba română a interfeței cu utilizatorul - meniuri și casete de dialog) și traducerea în limba română a manualului de utilizare [30].

Unul din congresele europene ale asociației experților în accidentologie EVU (cel mai important eveniment științific cu această tematică din Europa) s-a desfășurat la Braşov (2012), fiind coordonat



direct de către autor. Lucrările congresului au fost editate sub egida Asociației EVU Grup România (al cărei co-fondator și președinte este autorul) [29].

La Universitatea Transilvania din Braşov a fost creată, în timp, o școală de accidentologie, ai cărei învățăcei activează ca experți în siguranță rutieră și reconstrucția accidentelor, în întreaga țară. Autorul prezentei lucrări a avut o contribuție semnificativă la crearea acestei școli. A contribuit, ca lider de grup, la înființarea Centrului de testare din cadrul Institutului Pro-DD al Universității Transilvania. Astfel că activitatea de cercetare în acest domeniu nu se va încheia odată cu încheierea acestei teze, ci va continua an de an, prin organizarea de teste de coliziune, elaborarea de lucrări științifice, dezvoltarea de programe de cercetare și formarea de noi experți în siguranță rutieră.

### **6.3 DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE**

Lucrarea de față a făcut referire strict la analiza și reconstrucția accidentului la impactul între două vehicule. Domeniul fiind foarte vast, prezenta lucrare nu a putut cuprinde accidentele cu utilizatori vulnerabili ai sistemului de trafic rutier. În acest sens, o preocupare majoră pentru viitor, pentru care sunt deja colectate date și stabilite metode de analiză, o va constitui extinderea cercetării asupra evenimentelor ce includ această categorie de participanți la trafic.

O altă direcție prioritară este constituită de dezvoltarea în continuare a Centrului de analiză și reconstrucție a accidentelor (care a fost inițiat, așa cum este menționat mai sus - 0), prin proiectarea unor sisteme suplimentare pentru compartimentul de logistică și, nu în ultimul rând, omologarea și atestarea Centrului și a pistei de încercare. Totodată, o preocupare continuă este aceea de a elabora un set de metode de analiză a accidentului (precum cele descrise în capitolele 2 și 3) și de a încerca omologarea acestora.

Tendința mondială de introducere a vehiculelor autonome în circulația publică este o provocare și pentru experții în siguranță rutieră, atât în ceea ce privește sistemele de siguranță activă instalate pe autovehicule, cât și identificarea cauzelor eventualelor accidente în care acestea pot fi implicate. Recent, un automobil autonom a făcut prima victimă.



## BIBLIOGRAFIE

1. Akiyama, A., Okamoto, M. and Rangarajan, N., "Development and application of the new pedestrian dummy", International Technical Conference of Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Amsterdam, 2001.
2. Brach R., Brach M., Tyre Models Used in Accident Reconstruction Vehicle Motion Simulation, Proceedings of the 17th EVU Conference, Nice 2008, 253–272.
3. Brach R. M., Brach R. M., Vehicle Accident Analysis and Reconstruction Methods, SAE Publisher, Warrendale 2005.
4. Bratu, P., Sisteme elastice de rezemare pentru masini si utilaje, Editura Tehnica, 1990.
5. Brösdorf K., Moser A., Reifenandrehspuren – aktueller Stand, EVU Conference 2015.
6. Brüderlin, A. *Die Mechanik des Verkehrsunfalls bei Kraftfahrzeugen*. Zürich : Verlag Buchhandlung zum Elsässer, 1941.
7. Brunner, A. *Cercetări teoretice și experimentale ale coliziunilor față-spate ale autovehiculelor*. Universitatea Transilvania din Braşov: Teza de doctorat, 2010.
8. Burg, H., Zeidler, F. *EES-Ein Hilfsmittel zur Unfallrekonstruktion und dessen Auswirkungen auf die Unfallforschung*. Verkehrsunfall 18.4, 5, 6. 1980.
9. Burg, H., Rau, H., Handbuch der Verkehrsunfallrekonstruktion, Verlag INFORMATION Ambs GmbH, Kippenheim 1981.
10. Burg H., Rechnerunterstützte Rekonstruktion von PKW/PKW - Unfällen, Dissertation TU Berlin, Berlin 1984.
11. Burg H., Moser A., Handbuch der Verkehrsunfallrekonstruktion, Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Wiesbaden 2007.
12. Campbell, K. L., Energy Basis for Collision Severity. 3th International Conference on Occupant Protection, SAE Paper 740565, 1974.
13. Cheng, PH, Sens, MJ, Weichel, JF, Guenther, DA: An Overview of the Evolution of Computer Assisted Motor Vehicle Accident Reconstruction, SAE Paper 871,991, Reconstruction of Motor Vehicle Accidents: A Technical Compendium, PT-34, SAE International, Warrendale, PA, 1987
14. Cichos, D., de Vogel, D., Otto, M., Schaar, O., Zoelsch, S., Data Processing Vehicle Safety Workgroup - Crash Analysis Criteria, Version 1.6.1, April 2004.
15. Clif W. E., Bowler J. J., The Measured Rolling Resistance of Vehicles for Accident Reconstruction, SAE Technical Paper No. 980368, Warrendale PA 1998.
16. Clif W. E., MacInnis D. D., Switzer D. A., An evaluation of rectified bitmap 2D photogrammetry with PC-Rect, SAE Technical Paper No. 970952 Warrendale PA 1997.
17. Clif W. E., Montgomery D. T., Validation of PC-Crash - A momentum based accident reconstruction program, SAE Technical Paper No. 960885, Warrendale PA 1996.
18. Clif W.E., Moser A., Reconstruction of twenty staged collisions with PC-Crash's optimizer, SAE Technical Paper No. 2001-01-0507 Warrendale PA 2001.
19. Cordoş, N., Burnete, N., Todoruţ, A. *Coliziunea automobilelor*. Cluj-Napoca, Editura Todesco, 2003.



20. Covaciu, D., Soluții în studiul comportamentului dinamic și în trafic al autovehiculelor prin integrarea sistemelor CAD, PLM și GPS, Teză de doctorat, Universitatea Transilvania din Braşov, 2010.
21. Covaciu, D., Manual de utilizare GstarCAD, Editura Lux Libris, 2012.
22. Covaciu, D., "Sisteme informatice și de comunicare la autovehicule", suport de curs online, <http://auto.unitbv.ro/moodle/course/index.php?categoryid=9>, Universitatea Transilvania din Braşov, 2017.
23. Covaciu, D., Preda, I., Dima, D. S., Chiru, A., "Study on the possibility to estimate the vehicle side slip using two independent GPS receivers", In Proceedings of the SMAT 2014 Conference, Craiova, 2014.
24. Covaciu, D., Preda, I., Dima, D. S., Chiru, A., "Use of GPS/INS Devices for Experimental Study of Vehicle Dynamics", In Proceedings of the European Automotive Congress EAEC-ESFA 2015, pp. 337-347, Springer International Publishing, 2015.
25. Covaciu, D., Dima, D. S., "Crash Tests Data Acquisition and Processing", In CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering, Braşov, Springer Verlag, 2016.
26. Danne, Anja: Vergleich und Bewertung von computergestützten Verfahren zur Rekonstruktion von Fahrzeugkollisionen, Diplomarbeit Nr. 7/99 (FG 7), TU-Berlin, April 1999.
27. Dima, D. S., Florea D., Popa, O., Popa, H., Braking study on cars with gross weight less than 700 Kg, CONAT 2004 Intl. Congress on Automotive and Transport Engineering, Brasov, 2004.
28. Dima, D. S., Trusca, D., Ispas, N., Ciolan, Gh., Preluarea și prelucrarea de date dinamice din probele video, Conferinta experților în restructura accidentelor rutiere, Eforie, 2008.
29. Dima, D. S., editor, Proceedings of the EVU 2012 Congress, EVU Grup Romania, ISBN 978-973-0-13537-4, Brasov, 2012.
30. Dima, D. S., Covaciu, D., Reconstrucția accidentelor de circulație utilizând PC-CRASH, Editura Lux Libris, ISBN 978-973-131-205-7, Braşov, 2012. 35.
31. Dima, D. S., Covaciu, D., "Improved methods to measure and generate 3d road profile in concerning with simulation errors", In Proceedings of the EVU 2012 Congress, Brasov, 2012.
32. Dima, D. S., Covaciu, D., Chiru, A., " Validation of simulation and optimization reconstruction in PC-Crash with video recorded sample", In Proceedings of the SMAT 2014 Congress, Craiova, 2014.
33. Dima, D. S., "Different methods to validate the speed in accidents between truck and car", In Proceedings of the EVU 2014 Congress, Copenhaga, 2014.
34. Dima, D. S., Covaciu, D., "Assessment of using GPS receivers and INS devices to test the dynamic performances of vehicles", In Proceedings of the EVU 2015 Congress, Edinburgh, 2015.
35. Dima, D. S., Covaciu, D., "Simulation method in PC-Crash using point cloud files", In Proceedings of IMT-2015 Conference, Oradea, 2015.
36. Dima, D. S., Covaciu, D., "Use of MEMS sensors for data acquisition in crash tests", In Proceedings of the EVU 2016 Congress, Bratislava, 2016.
37. Dima, D. S., Covaciu, D., "How to manage data from video, possibilities of reconstruction, error estimation ", In Proceedings of the EVU 2017 Congress, Haarlem, 2017.



38. Dima, D. S., Covaciu, D., "Solutions for acceleration measurement in vehicle crash tests", In CAR 2017 International Congress of Automotive and Transport Engineering, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 252 012007, 2017.
39. Fisher, C. J., "Using an Accelerometer for Inclination Sensing", AN-1057 Application Note, Analog Devices, 2010.
40. Florea, D., Filip, N., Dima, D.S., "European strategies for influencing environmental road transport impact", The VIIIth International Conference of Automotives under CAR 2000, Automotive and Environment, Piteşti, 16 – 17 november 2000, vol A&SFRT, p.233- 238, ISBN 973-8212-00-6.
41. Gabauer, D., Gabler, H. C., "Evaluation of the Acceleration Severity Index Threshold Values Utilizing Event Data Recorder Technology", Proceedings of the 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 9-13, 2005.
42. Gilardi, G., Sharf, I.: Literature survey of contact dynamics modeling. Mechanism and Machine Theory, 37 (2002) Pergamon.
43. Grätzer Werner, Bedeutung der Strukturfestigkeiten und EES-Werten, Kontrollparameter bei der Kollisionsanalyse. VUF, nr.2 / 2000.
44. Hagen, H. *Stossvorgänge bei Verkehrsunfällen von Personenzug, untersucht an Modellfahrzeugen*. München: TU München, 1965.
45. Huang, M., Vehicle Crash Mechanics, CRC Press, 2002.
46. Isar, D., Isar, A., Filtre, Editura Politehnica, Timișoara, 2003.
47. Ispas, N., Dima, D.S., Dogariu, M., Using Windows Mobile GPS and Accelerometers – based Application in Traffic Accident Reconstruction, 19th EVU Congress Prague 2010 ISBN 978-80-7399-136-1.
48. Ispas, N., Soica, A., Dima, D.S., Proposal of new versatile devices for uses in traffic accident reconstructions, CONAT 2010, The 11th International Congress, Brasov, 2010.
49. Ispas, N., Năstăsoiu, M., "Cars Crashes with Cars of Same or Different Generation – Occupant's Loads, Timings and Acceleration's Effects", In CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering, Braşov, Springer Verlag, 2016.
50. Ispas, N., Năstăsoiu, M., "Analysis of car's frontal collision against pole", In CAR2017 International Congress of Automotive and Transport Engineering, Piteşti, Springer Verlag, 2017.
51. Kudlich, H., Beitrag zur Mechanik des Kraftfahrzeug-Verkehrsunfalls (Contribuții la mecanica accidentelor de autovehicule), Teză de doctorat, Universitatea Tehnică din Viena, 1966.
52. Lugner, P., Lorenz, R.; Schindler, E., "The Connection of Theoretical Simulation and Experiments in Passenger Car Dynamics", The Dynamics of Vehicles on Roads and on Tracks. Hrsg.: Hedrick, H.J., Lisse, Swets-Zeitlinger 1984.
53. McHenry, R.R., Segal, D. J. and DeLeys, N.J, "Computer Simulation of Single Vehicle Accidents", Stapp Car Crash Conf., Anaheim, California 1967.
54. McHenry, R., Mathematical Reconstruction of Highway Accidents. DOT HS-800 801, 1973.
55. McHenry, R.R., "Extensions and Refinements of the CRASH Computer Program, Part 1, Analytical Reconstruction of Highway Accidents", DOT-HS-5-01124, 1976.
56. Mitchell, M., Forrest, S., Hollande, J., "The Royal Road for Genetic Algorithms: Fitness Landscapes and GA Performance", in: Francisco J. Varela, Paul Bourguine, editors. *Toward a Practice of*



- Autonomous Systems: proceedings of the first European conference on Artificial Life*, MIT Press. 1992.
57. Mitschke M., *Dynamika samochodu. T. 1. Napęd i hamowanie*, (Vehicle dynamics, Vol. 1, Drive and braking), Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1987.
  58. Moser A., Steffan H., *Automatic Optimization of Pre-Impact Parameters Using Post-Impact Trajectories and Rest Positions*, SAE Technical Paper No. 980373, Warrendale PA 1998.
  59. Moser A., Steffan H., Kasanický G., *The Pedestrian Model in PC-Crash – The Introduction of a Multibody System and its Validation*, SAE Technical Paper No. 1999-01-0445, Warrendale PA 1999.
  60. Moser A., Hoschopf H., Steffan H., Kasanický G., *Validation of the PC-Crash pedestrian model*, SAE Technical Paper No. 2000-01-0847, Warrendale PA 2000.
  61. Moser A., Steffan H., Spek A., Makkinga W., *Application of the Monte Carlo methods for stability analysis within the accident reconstruction software PC-Crash*, SAE Technical Paper No. 2003-01-0488, Warrendale PA 2003.
  62. Moser A., Steffan H., Klose A., Tomasch E., Veith J., *Simulationen von ESP und Vergleich mit Fahrversuchen*, Proceedings from XIV EVU Annual Meeting, Bratislava 2005.
  63. Newton, I., *Philosophiae naturalis principia mathematica (Mathematical Principles of Natural Philosophy)*, London, 1687 (1728).
  64. Park, C. K., Kan, C. D., "Objective evaluation method of vehicle crash pulse severity in frontal new car assessment program (NCAP) tests", Center for Collision Safety and Analysis, George Mason University, 15-0055, 2010.
  65. Pawlus, W., Karimi, H. R., Robbersmyr, K. G., "A fuzzy logic approach to modeling a vehicle crash test", *Cent. Eur. J. Eng.*, 3(1), pp. 67-79, 2013.
  66. Pawlus, W., Karimi, H.R. & Robbersmyr, K.G., "Investigation of vehicle crash modeling techniques: theory and application", *Int J Adv Manuf Technol*, 70: 965, 2014.
  67. Pedley, M., *High-Precision Calibration of a Three-Axis Accelerometer*, Freescale Semiconductor Application Note, Document Number: AN4399, 2015.
  68. Peled, A., Liu, B., *Digital signal processing: Theory, design, and implementation*, John Wiley and Sons, 1976.
  69. Peters, G. A., Peters, B. J., *Automotive Vehicle Safety*, Taylor & Francis, London, 2002.
  70. Prasad, AK: *CRASH3 Damage Algorithm Reformulation for Front and Rear Collisions*, SAE Papers 900098, SAE International, Warrendale, PA, 1990.
  71. Prasad, AK: *Energy Absorbed by Vehicle Structures in Side Impacts*, SAE Papers 910.599, SAE International, Warrendale, PA, 1991.
  72. Preda, I., *Ingineria asistata pentru autovehicule*. Editura Universitatii Transilvania, Brasov, 1998.
  73. Preda, I., Ciolan, Gh., Covaciu, D., Seitz, N., Dima, D.S., *Contributions to the study of vehicle impact and post-impact dynamics*, CONAT 2004 Intl. Congress on Automotive and Transport Engineering, Brasov, 2004.
  74. Pritzkov, R., Seitz, N., Ciolan, Gh., Preda, I., Enache V., Dima, D.S., *Evaluarea diagramelor crash-testelor în vederea determinării rigidității caroseriilor*, Conf. Națională CETR, Călimănești 2005.



75. Rabiner, L. R., Gold, B., Theory and application of digital signal processing, Prentice-Hall, 1975.
76. Rábek, V., Sachl, J., Theoretische Auffassung von Aufbau und Eigenschaften der Stoßzahl GEV. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 39 (2001), pp. 177 – 181 (#6), pp. 251 – 254 (#9), pp. 304 – 310 (#11).
77. Rill, G., "Simulation von Kraftfahrzeugen", Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1994.
78. Seitz, Nicolae, Aspecte privind reconstituirea accidentelor rutiere. Universitatea Transilvania, Brasov, 1993.
79. Seitz, N., Dima, D.S., s.a., Corpul Expertilor Tehnici din România - Unele aspecte ale dinamicii accidentelor rutiere si evaluarea mijloacelor de transport auto. Suport de curs, Brasov 2001.
80. Slibar, A. *Die mechanischen Grundsätze des Stoßvorgangs freier und geführter Körper und ihre Anwendung auf den Stoßvorgang von Fahrzeugen.* Archiv für Unfallforschung 2. Jg., H. 1, 31ff. 1966.
81. Soica, A., Florea, D., Aspects of human body modelling with application on car crash tests. Conferinta "Prevention of traffic accidents on roads 2000", Novi Sad - Yugoslavia, 2000.
82. Soica, A., Florea, D., Determining the rigidity coefficient of touring cars' deformed structures in case of frontal collision and offset. The 10th International Congress, CONAT 2004, Automotive and future technologies, Brasov, oct. 2004.
83. Steffan H., "PC-Crash, A Simulation Program for Car Accidents", ISATA; 26th International Symposium on Automotive Technology and Automation, Aachen 1993.
84. Steffan, H., "Accident reconstruction methods", Vehicle System Dynamics, 47:8, 1049-1073. 2009.
85. Steffan, H., Moser, A., "The Collision and Trajectory Models of PC-CRASH", SAE, 960666. 1996.
86. Stronge, W.J., Energy dissipated in a planar collision, Univ. of Cambridge, Cambridge, England, Journal of Applied Mechanics, Transactions ASME Volume 59, Issue 3, September 1992, Pages 681-682, ISSN 0021-8936.
87. Trusca D., Soica. A, The vehicle rear-end collision. IMT 2005 ANNALS of ORADEA University, Fascicle of Management and Tehnological Engineering, Mai, 2005.
88. Trusca D., Soica. A, Study regarding the influence of acceleration superior derivates as part of automotive crash events. The 10th International Congress, CONAT 2004, Automotive and future technologies, Brasov 20-22 october 2004.
89. Trusca D., Soica. A, Stadiul actual. Coliziune fata-spate. ATIC-STL 2006 Conferinta Internationala Chisinau - Sisteme de Transport si Logistica, Materialele Conferintei, Chisinau, Octombrie, 2006.
90. Varat, M. S., Husher, S. E., "Crash pulse modelling for vehicle safety research", Proceedings of the International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (National Highway Traffic Safety Administration), 2003.
91. Vaughan, R., Accident Reconstruction Technology and Animation, SAE papers 970962.
92. Wei, Z., Karimi, H. R., Robbersmyr, K. G., "A model of vehicle-fixed barrier frontal crash and its application in the estimation of crash kinematics", ESV Conference, Seoul, South Korea, 2015.
93. Wiacek, C., Nagabhushana, V., Rockwell, T., Summers, S., Zhao, L., Collins. L.A., "Evaluation of frontal crash stiffness measures from the U.S. New car assessment program", ESV Conference,



Seoul, South Korea, 2015.

### Standarde, rapoarte, pagini Internet

94. Adafruit, website: <https://learn.adafruit.com/adafruit-ultimate-gps-logger-shield> (accesat 2017)
95. Analog Devices (website), MEMS Accelerometers, Online: <http://www.analog.com/en/products/mems/mems-accelerometers.htm> (accesat 2017).
96. Analog Devices, Datasheet ADXL337, Small, Low Power, 3-Axis  $\pm 3$  g Accelerometer. Online: <http://www.analog.com/en/products> (accesat 2017).
97. Analog Devices, Datasheet ADXL377, Small, Low Power, 3-Axis  $\pm 200$  g Accelerometer - Datasheet. Online: <http://www.analog.com/en/products> (accesat 2017).
98. ANCAP. The Australasian New Car Assessment Program. Online: <http://www.ancap.com.au/> (accesat 2017)
99. Arduino (website), Arduino Due Technical Specifications. Online: <https://store.arduino.cc/arduino-due> (accesat 2017)
100. Carat (software): Handbücher und Onlinehilfen Carat-3 und Carat-4.
101. DSD, *PC CRASH Operating and Technical Manual*. 2015.
102. DSD. Doctor Steffan Datentechnik, Linz. Online: <http://www.dsd.at> (accesat 2017)
103. EuroNCAP. The European New Car Assessment Programme. Online: <http://www.euroncap.com> (accesat 2017)
104. Fastec Imaging, HiSpec 5 Datasheet, Online: [http://www.fastecimaging.com/images/fastec/PDF/hispec/fastecimaging\\_hispec5.pdf](http://www.fastecimaging.com/images/fastec/PDF/hispec/fastecimaging_hispec5.pdf) (accesat 2018)
105. Guvernul României, *Strategie națională din 12 octombrie 2016 pentru siguranță rutieră pentru perioada 2016-2020*. București: Monitorul Oficial, 2017.
106. Lazarus, mediu de dezvoltare a aplicațiilor, Online: <https://www.lazarus-ide.org/> (accesat 2018)
107. MNX (MEMS & Nano Technology Exchange). What is MEMS? Online: <https://www.mems-exchange.org/MEMS> (accesat 2017).
108. Monash University. Accident Research Centre. Online: <https://www.monash.edu/muarc/research/reports> (accesat 2017)
109. NHTSA. National Highway Traffic Safety Administration, *Crash3 User's Guide and Technical Manual*, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, USA, 1982.
110. NHTSA. National Highway Traffic Safety Administration. Online: <http://www.nhtsa.gov> (accesat 2017)
111. ISO 6487, Standard, Road vehicles - Measurement techniques in impact tests - Instrumentation, Ed. 6, 2015.
112. ISO/TR 12353-3, Standard, Road vehicles - Traffic accident analysis - Part 3: Guidelines for the interpretation of recorded crash pulse data to determine impact severity, 2013.
113. PRIME Faraday Partnership. *An Introduction to MEMS*. Loughborough University, ISBN 1-84402-020-7, 2002.
114. Regulamentul nr. 32 al ECE-ONU, Comportarea structurii vehiculului la coliziunea spate.





115. Regulamentul nr. 33 al ECE-ONU, Comportarea structurii vehiculului la coliziune frontala.
116. SAE J211, Standard, Instrumentation for impact tests (echiparea pentru teste de coliziune), Rev. 03, 1995.
117. Skytraq, pagina web: <http://www.skytraq.com.tw/products/products-gps-modules.html> (accesat februarie 2018).
118. Sparkfun Electronics, Triple Axis Accelerometer Breakout - ADXL377, Online: <https://www.sparkfun.com/products/12803> (accesat februarie 2018).
119. SR 13261:1995 Determinarea rezistentei autoturismelor la impact cu viteza redusa. Metode de încercare.
120. STMicroelectronics: Tilt measurement using a low-g 3-axis accelerometer, AN4509 Application note, 2014 ([www.st.com](http://www.st.com)), accesat: 2018).



## REZUMAT

Lucrarea de față reprezintă o însumare a unor rezultate obținute în activitatea de cercetare efectuată pe parcursul a 20 de ani de experiență în domeniul analizei și reconstrucției accidentelor rutiere. Aceasta se constituie în prezentarea unor metode noi de analiză a accidentului, în vederea determinării vitezelor de deplasare sau a condițiilor concrete în care accidentul s-a produs.

Structurată în 6 capitole, lucrarea dorește să prezinte, în special prin exemplele descrise, utilitatea și importanța determinărilor riguroase a parametrilor de impact în coliziunea autovehiculelor. Modelul matematic propus în teză, deși este unul simplu, a fost selectat de autor pentru rezultatele precise validate prin metodele prezentate: simulare, teste de coliziune și analiză statistică cu privire la încadrarea în anumiți parametri de control definiți în lucrare. Pulsul de impact, identificat în analiza accidentului, poate aduce informații importante cu privire la intensitatea și gravitatea impactului și creează premisele unei evaluări rapide a vitezelor de coliziune prin simpla integrare grafică a acestuia.

Echipamentele proiectate și întreg sistemul de achiziție și logistic aferent activității de cercetare, au fost realizate într-o concepție originală și prezintă elemente de noutate, precizie și repetabilitate, aspecte determinante, specifice acestei activități.

Lucrarea, prin conținut rezultate și concluzii, poate fi utilă specialiștilor care se formează în domeniul reconstrucției accidentelor rutiere și a siguranței autovehiculelor.

## ABSTRACT

The present paper represents a summary of results obtained in the research activity carried out during 20 years of experience in the field of analysis and reconstruction of road accidents. It shall be made out of the presentation of new methods of analysis of the accident with a view to determining the travel speeds or the specific conditions in which the accident occurred.

Structured in 6 chapters, the paper wishes to present, in particular the examples described, the usefulness and importance of rigorous determinations of impact parameters in the collision of motor vehicles. The mathematical model proposed in the thesis although it is a simple one, was selected by the author for the precise results validated by the methods presented: simulation, collision tests and statistical analysis regarding the classification in certain control parameters defined in Work. The impact pulse identified in the accident analysis can bring important information about the intensity and severity of the impact and creates the premise of a rapid assessment of collision speeds by simply graphical integration.

The projected equipment and the whole acquisition and logistics system for the research activity present elements of novelty, precision and repeatability, decisive aspects, specific to this activity.

The work by resulting content and conclusions can be useful to specialists who are forming in the field of road accident reconstruction and vehicle safety.

INFORMAȚII PERSONALE

**Dragoș Sorin Dima**



d.dima@unitbv.ro



[www.unitbv.ro](http://www.unitbv.ro)

Ă

- 01/04/1992–Prezent **Sef Lucrări/Asistent**  
Universitatea Transilvania din Brașov, Brașov (România)
- 01/01/2002– Prezent **Expert Criminalist Autorizat în Accidente de trafic terestru**  
Ministerul Justiției (România)
- 01/05/1999– Prezent **Expert Tehnic Judiciar Autorizat - Accidente Circulație Rutieră**  
Biroul Central de Expertize Tehnice - Ministerul Justiției (România)
- 21/12/2017– Prezent **Auditor de Siguranță Rutieră - Certificat**  
Autoritatea Rutieră Română ARR (România)
- 01/03/1990–01/04/1992 **Inginer Proiectant**  
ICSITTA/A, Brașov (România)
- 01/09/1988–01/03/1990 **Inginer Proiectant**  
Întreprinderea Mecanică Mîrșa, Sibiu (România)

E

- 01/10/1983–15/07/1988 **Inginer de automobile**  
Universitatea din Brașov, Brașov (Romania)
- 01/10/2010–15/07/2012 **Master în Științe Penale Aprofundate - Facultatea de Drept**  
Universitatea Transilvania Brașov, Brașov (Romania)

Limba maternă Română

Limbi străine

	ÎNȚELEGERE		VORBIT		SCRIS
	Ascultare	Citire	Conversație	Vorbire	
Engleză	C2	C2	C2	C2	C2
Certificat Universitatea Transilvania Brașov					
Franceză	C2	C2	C1	C1	B2

Levels: A1 and A2: Basic user - B1 and B2: Independent user - C1 and C2: Proficient user  
[Common European Framework of Reference for Languages](http://www.europa.europa.eu/education/languages/)

Permis de conducere B

PERSONAL INFORMATION

**Dragoș Sorin Dima**



d.dima@unitbv.ro



[www.unitbv.ro](http://www.unitbv.ro)

WORK EXPERIENCE

- 01/04/1992–Present **Lecturer/Assistent**  
Universitatea Transilvania din Brașov, Brașov (Romania)
- 01/01/2002–Present **Forensic Expert In Accident Analysis and Reconstruction**  
Ministerul Justiției, București (Romania)
- 01/05/1999–Present **Autorized Technical Automotive Expert in Court**  
Biroul Central de Expertize Tehnice - Ministerul Justiției, București (Romania)
- 21/12/2017–Present **Road Saefy Auditor - Certificate**  
Autoritatea Rutieră Română ARR, București (Romania)
- 01/03/1990–01/04/1992 **Designer Engineer**  
ICSITTA/A, Brașov (Romania)
- 01/09/1988–01/03/1990 **Designer Engineer**  
Întreprinderea Mecanică Mîrșa, Sibiu (Romania)

EDUCATION AND TRAINING

- 01/10/1983–15/07/1988 **Automotive Engineer**  
Universitatea din Brașov, Brașov (Romania)
- 01/10/2010–15/07/2012 **Master in Criminal Science - Faculty of Law**  
Universitatea Transilvania Brașov, Brașov (Romania)

Mother tongue(s) Romanian

Other language(s)

	UNDERSTANDING		SPEAKING		WRITING
	Listening	Reading	Spoken interaction	Spoken production	
English	C2	C2	C2	C2	C2
Certificat Universitatea Transilvania Brașov					
French	C2	C2	C1	C1	B2

Levels: A1 and A2: Basic user - B1 and B2: Independent user - C1 and C2: Proficient user  
[Common European Framework of Reference for Languages](#)

Driving licence B