



Universitatea
Transilvania
din Braşov

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea de *Design de Prodsu şi Mediu*

Ing. Alexandru THIERHEIMER

CERCETĂRI PRIVIND ANALIZA MECANISMULUI DE VĂTĂMARE LA NIVEL
ABDOMINAL ÎN CAZUL CONDUCĂTORULUI AUTO FEMEIE ÎNSĂRCINATĂ
ÎN OPT SĂPTĂMĂNI

REZUMAT

Conducător ştiinţific

Prof.dr. ing. Cătălin ALEXANDRU

BRAŞOV, 2024

Anual mii de persoane sunt implicate în evenimente rutiere soldate cu traumatisme grave, pierderi de sarcină și nu în ultimul rând cu decese. Totuși statisticile Comunității Europene indică o reducere a numărului de persoane vătămate pentru ultimele decenii, fapt datorat introducerii sistemelor de siguranță pasivă precum perna airbag, centurile de siguranță, ș.a.

Ca urmare, confortul este direct influențat de către nivelul siguranței active respectiv pasive prezentat de automobil.

Siguranței active îi este repartizată totalitatea componentelor tehnice destinate colectării, prelucrării și transmiterii informațiilor în vederea avertizării și controlării împrejurărilor ce favorizează producerea accidentelor din traficul rutier în timp ce *siguranței pasive* îi sunt incluse componentele tehnice care contribuie la diminuarea urmărilor unui astfel de proces imprevizibil. Astfel, se va identifica la nivelul configurării trăsăturilor esențiale, pentru: organizarea elementelor de rezistență ale automobilelor, precum: deformarea controlată a coloanei volan, spațiul vitrat lateral deasupra umerilor; dispozitive de limitare a mișcărilor involuntare ale victimei, precum: centuri de siguranță în puncte multiple, perna airbag cu presurizare multiplă, spătarul scaunului cu suport lateral și tetieră; protecția participanților din exteriorul autoturismului, precum conducătorii vehiculelor pe două sau trei roți, și/sau pedestri; siguranța fazei desfășurate de la separarea automobilelor până la stabilirea poziției finale.

Îmbunătățirea siguranței poate fi realizată atât prin sisteme de asistare a conducătorului auto, în scopul evitării evenimentelor rutiere, cât și prin modificarea structurii de rezistență a autovehiculului pentru o mai bună protecție în momentul coliziunii. Scopul final constă în evitarea sau chiar eliminarea elementelor de risc, iar noile tehnologii contribuie la îndeplinirea acestor deziderate. Este de la sine înțeles că pe termen scurt sau mediu cunoașterea modului de reducere a severității vătămarilor reprezintă o exigență majoră în îmbunătățirea studiului evenimentelor rutiere.

O atenție deosebită se acordă, în ultima vreme, utilizării într-o măsură tot mai mare a tehnicii informatice, adică tactica utilizată la achiziția și interpretarea datelor (măsurarea, condiționarea, memorarea și prezentarea), utilizând sisteme compatibile PC, necesare cercetărilor experimentale.

Luând în considerare totalitatea argumentelor logice prezentate, conținutul acestei teze, cu titlul *Cercetări privind analiza mecanismului de vătămare la nivel abdominal în cazul conducătorului auto femeie însărcinată în opt săptămâni*, urmărește să realizeze cercetările experimentale teoretice și practice asupra mecanismului de producere al vătămarilor în general și comportamentului biomecanic al complexului abdomen-uter-embriion în special.

Stadiul actual al dispozitivelor antropomorfe surogat pentru încercări experimentale

1.1 Dispozitive antropomorfe surogat în testele de ciocnire

Procedurile pentru estimarea vătămărilor prin încercări experimentale s-au desfășurat și cu ajutorul *operatorilor umani voluntari*. Aceștia, operatorii voluntari, erau înzestrați înainte de probele de ciocnire cu senzori și traductoarele care măsurau variabilele de interes. Diagnosticul constat, cu privire la vătămările suferite de operator în urma probelor de ciocnire, era analizat în raport cu mărimile variabilelor măsurate. În aceste condiții, pentru a nu aduce atingere integrității corporale sau sănătății operatorului uman voluntar agresivitatea probelor de ciocnire era redusă la limita producerii vătămărilor, motiv pentru care nu se puteau obține informații despre sarcinile de solicitare care produc vătămări severe. [95, 102, 309, 329].

Analizele posibilităților de vătămare folosind operatori umani voluntari pentru probele de încercări experimentale conțin rezultate viciate din cauza echipamentelor de protecție folosite în timpul testelor, a deosebirilor specifice dintre operatori și nu în ultim rând consecințele contracției musculare și a reacțiilor voluntare datorită cunoașterii apriorice probei care sunt de asemenea greu de cuantificat [329].

Utilizarea cadavrelor umane în testele pentru determinarea gradului de vătămare reprezintă procedura care elimină în totalitate operatorul uman și implică vătămarea lui.

Dezavantajul acestei proceduri este generat de concluziile eronate obținute din cauza vârstei înaintate a persoanei decedate care prezentau în timpul vieții funcții vitale degradate ale organismului, dar și de dobândirea complicată a cadavrelor.

Mărimile măsurătorilor efectuate pe cadavre sunt în strânsă legătură cu modul de conservare și starea cadavrelor (durata de la deces, congelate, îmbălsămate). Păstrarea cadavrelor în mediu salin, ceață salină, menține elasticitatea mușchilor.

Încercările experimentale desfășurate cu ajutorul *animalelor surogat*, precum maimuțe și porcine, au facilitat cunoașterea modului de producere a vătămărilor precum și dinamica victimei (ocupant al automobilului) în timpul ciocnirii.

Reconstituirea accidentelor rutiere prin experimente tehnice de laborator constituie o procedură mai eficientă pentru stabilirea criteriilor de vătămare și foarte utilă pentru stabilirea mărimilor etalon de siguranță rutieră, chiar dacă pentru aflarea cauzelor trebuie păstrate unele toleranțe. Atunci când mediul real în care se desfășoară evenimentul rutier este precis edificat

iar vătămrile victimelor exact diagnosticate, rezultă că accidentele se pot reproduce utilizând la cuantificarea sarcinilor de solicitare a ocupanţilor automobilului *dispozitive antropomorfe pentru teste* de tip manechin *ATD (anthropomorphic test device)* special orientate spre o anumită activitate din ansamblul încercărilor experimentale de ciocnire, frontală, laterală, rostogolire şi/sau răsturnare.

În procedurile testelor experimentale pentru îmbunătăţirea condiţiilor de siguranţă a ocupanţilor unui autovehicul, manechinele au un rol hotărâtor, de aceea este necesară perfecţionarea lor continuă cu privire la fidelitatea comportamentului biomecanic faţă de cel uman cât şi performanţa reproducerii vătămrilor în scopul cuantificării acestora.

Modelele virtuale informatice (manechine virtuale) sunt considerate proceduri moderne de analiză a atitudinii ocupanţilor automobilului la desfăşurarea evenimentelor rutiere, prin experimente tehnice de încercări experimentale. Gradul de acurateţe al modelelor virtuale este din ce în ce mai ridicat depinzând direct de sistemul informatic şi resursele informatice (hard, soft) care reproduc caracteristicile operatorului uman.

Avantajul utilizării manechinelor virtuale, în locul manechinelor fizice pentru teste, constă în aproximarea mai precisă a caracteristicilor biomecanice ale victimelor şi nu se degradează fizic în timpul încercărilor experimentale.

Utilizarea acestor proceduri în mod combinat a făcut posibilă apariţia limitelor de rezistenţă umană cu mărimile extreme pentru cuantificarea nivelului de protecţie cu ajutorul unui manechin.

La stabilirea limitelor de vătămare şi de protecţie pentru copii, utilizând manechine destinate, sunt necesare tehnici de cercetare ample, iar operatorii umani-copii nu trebuie folosiţi sub nicio formă la probele de încercări experimentale.

Procesul determinării valorilor de referinţă ale protecţiei este fundamentat pe încercări experimentale cu manechine care, însă, prezintă grade diferite de biofidelitate dar şi sisteme de măsurare cu performanţe diferite, ceea ce înseamnă că modernizarea calitativă a manechinelor este o măsură prioritară permanentă. Modernizarea calitativă a manechinelor trebuie realizată prin îmbunătăţirea biofidelităţii, pe domenii de aplicare, urmată de optimizării propriilor lanţuri de măsurare. Rezolvarea acestor deziderate atrage după sine şi definirea normelor la determinarea nivelului de pericol la zonele extreme precum membre inferioare, totodată şi formularea criteriilor în cazul estimării traumelor torsului inferior zona bazinului respectiv femur [95, 196, 329].

Se recomandă pentru probele de încercări experimentale, ca:

- îndeplinirea tuturor criteriilor de vătămare;
- precizarea modalităţii de utilizare a manechinului pentru fiecare probă;
- consemnarea observaţiilor suplimentare pentru vătămrile extremităţilor membrelor inferioare;
- pentru estimarea posibilităţilor de lezare abdominală, a zonei coapsei, să fie asigurate proceduri şi aparatură, specifice.

- să fie stipulate în mod clar și precis procedurile respectiv sistemele tehnice cu aparatele dedicate special pentru evaluarea probabilității de lezare a regiunii abdominale, a coapselor dar și al gambelor.

Evoluția manechinelor destinate cercetării solicitărilor corpului uman, a ciocnirilor frontale, laterale, a femeii însărcinate sunt arătate tabelar.

Pentru probele de încercări experimentale ale automobilelor la ciocniri frontale, sunt prezentate manechine specializate, manechine care pot fi întrebuințate și ca manechine pedestre sau conducători ale vehiculelor cu două roți ori autovehicule pentru agrement. Manechinul Hybrid III are un sistem de măsurare cu până la 60-70 de lanțuri de măsurare.

Manechinele complexe nu sunt întrebuințate la orice tip de teste. Testarea diferitelor componente precum sistemul de direcție, bara de protecție sau capota motor la contactul cu victima pieton ori elemente din interior, se vor desfășura cu modele simplificate cum ar fi modulul torace, membru inferior respectiv calota craniului în cădere liberă.

Reproductibilitatea testelor cu același manechin va conduce la date măsurate similare în condițiile repetării aceleași probe de încercare experimentală. Trebuie de reținut că după fiecare probă de ciocnire manechinul cu aparatura și dispozitivele sensibile de măsurare vor fi atent inspectate. Luând în considerare faptul că procesul de etalonare al sistemului de măsurare impune activități de durată respectiv costuri ridicate, manechinul în ansamblul său trebuie să fie fiabil pentru mai multe cicluri de încercări consecutive, fără a induce abateri grosolane de măsurare.

Criteriile de protecție ale manechinului stabilite cu ajutorul mărimilor fizice măsurate de traductoarele amplasate pe acesta sunt asociate *criteriilor de vătămare* ale corpului uman și legiferate imperativ cu caracter normativ de legiuitor ca fiind *limite de toleranță*, adică valorile maxime suportate de om.

Criteriului de vătămare la cap HIC (Head Injury Criterion) reprezintă cuantificarea leziunilor la nivelul capului ce se realizează cu ajutorul unui accelerometru triaxial, cu domeniul de măsurare $\pm 2000 g$, amplasat în centrul de masă al capului. Biomecanic sarcina maximă de solicitare tolerată aplicată direct capului se recomandă ca fiind limitată la intervalul maxim de 36 ms.

Modelul generalizat al accelerațiilor pentru determinarea limitei de toleranță a lezării creierului *GAMBIT*, presupune pe lângă cunoaștere componentelor accelerației liniare și cunoașterea componentele ortogonale ale accelerației unghiulare, a căror măsurare se realizează cu un accelerometru triaxial cu domeniul limitat la 100 *krad/s²*.

Deformarea agresivă a toracelui ca urmare a încărcării nemijlocite a acestuia poate leza organele interne prin efectul de comprimare-strivire.

Manechinul femeie însărcinată este un manechin *Hybrid III*, feminin, de talie mică, pentru a se simula sarcina și vătămările fătului la finalul perioadei de gestație, figura 1.16. Această construcție cu sarcină a manechinului a fost concepută pentru evaluarea dispozitivelor de limitare a mișcării, prin măsurarea forțelor de contact dintre acestea și abdomenul cu sarcină. Dezavantajul constă în faptul că nu oferă informații din interior precum accelerații, viteze și deplasări.

Învelișul abdomenului fiind din uretan cu rigiditate ridicată iar coloana în zona lombară cu un contur anterior, ușor exagerat, fără lordoză ceea ce conduc la interacțiuni nereale ale abdomenului însărcinat cu sistemele de limitare a mișcării corpului și cu alte elemente componente din interiorul automobilului.



Fig. 1.16 Manechinul-femeie însărcinată

1.2 Obiectivele lucrării

Siguranța pasivă are rolul de a proteja conducătorul auto și însoțitorii acestuia în general și a femeilor însărcinate în special în momentele producerii ciocnirii, asigurându-le spațiu non-letal suficient.

Ca acest rol al siguranței pasive să fie realizabil trebuie cunoscut modul în care se transmite forța principală de ciocnire de la locul impactului spre interiorul habitaculului, forma și amplitudinea deformațiilor, variația Δv a vitezei, și compatibilitatea rigidităților zonelor deformate ale autovehiculelor/autovehiculului.

Stabilirea forțelor exercitate asupra victimelor în momentele desfășurării coliziunilor frontale impune cunoașterea profundă a condițiilor de vătămare, gravitatea leziunilor, energiile pierdute înainte, în timpul și după coliziune, cât și modul de lucru al sistemelor de măsurare achiziție memorare și prelucrarea datelor cu privire la comportamentul dinamic al automobilului, solicitarea ocupantului femeie însărcinată și comportamentul dinamic al acesteia în vari moduri și tipuri de coliziune frontală

Astfel se vor concepe modele teoretice pentru simularea conlucrării comportamentului victimei cu cel al automobilului, permițând cuantificarea mărimilor urmărite numai pentru tipul și modul de ciocnire modelat și realizat în condiții reale.

În cadrul tezei obiectivele principale constau în analiza criteriilor de vătămare, cuantificarea cu ajutorul senzorilor *MEMS* a solicitărilor și deformațiilor abdomenului astfel încât să poată fi analizat comportamentul embrionului.

Prelucrarea datelor primare în vederea optimizării rețelei de senzori *MEMS* ce echipează dispozitivul antropomorf pentru determinarea severității solicitării abdomenului ca

urmare a contactului cu sistemele de limitare a mişcării dar şi cu volanul şi/sau alte elemente din interiorul automobilului.

Prin cercetarea experimentală se va urmări mecanismul de producere a leziunilor, severitatea acestora, şi în special comportamentul abdomenului cu sarcină de până la opt săptămâni, la solicitarea generată de sistemul de limitare a mişcării, centură-airbag.

Luând în considerare aceste deziderate autorul a structurat următoarele obiective principale de urmat în cadrul tezei, cum ar fi:

1. Să se realizeze o analiză documentară esenţială, cuprinzătoare, privitoare la istoricul şi realizările actuale ale dispozitivelor antropomorfe pentru teste de încercări experimentale, care să pună la dispoziţie date despre construcţia şi limitele de performanţă biomecanică acestora;

2. Elaborarea în baza lucrărilor bibliografice recente a unei examinări amănunţite şi aprofundate a modului de evaluare a severităţii vătămării respectiv parametrii caracteristici sistemelor de limitare a mişcării care să influenţeze asupra sarcinii umane;

3. Formularea unor modele analitice proprii, pentru simularea ciocnirii frontale centrice cu acoperire totală în condiţii virtuale, urmărind simularea ciocnirii frontale cu un automobil respectiv cu barieră rigidă şi fixă;

4. Constituirea unui stand şi implicit a procedurilor pentru teste experimentale specifice care să permită studiul influenţei presurizării pernei airbag asupra ocupantului conducător auto-femeie, astfel încât desfăşurarea testelor de ciocnire să se realizeze în condiţii reale şi de reproductibilitate optime, fără influenţe externe asupra rezultatelor;

5. Efectuarea analizelor numerice de sinteză a coliziunii frontale cu ajutorul modelelor matematice referitoare la consecinţele contactului sistemelor de limitare a mişcării asupra trunchiului uman şi implicit asupra severităţii leziunilor victimei în scopul eliminării riscurilor majore;

6. Realizarea practică a instalaţiei pentru măsurat şi urmărirea spaţială a traiectoriei descrise de corpul uman şi a complexului embrion-uter-mamă respectiv a acestuia faţă de centrul de masă al autoturismului, structurat pe tehnologie de navigaţie inerţială *MEMS*, cu filtre electronice şi memorarea mărimilor de interes specifice cu un grad ridicat de încredere;

7. Prezentarea ţinutei dinamice a conducătorului auto în raport cu volanul respectiv planşa bord şi dispozitivele pentru limitarea mişcării în momentele coliziunii, a cauzelor identificate ca posibile surse de viciere a investigaţiilor, cu măsurile esenţiale stabilite pentru diminuarea erorilor;

8. Confirmarea informaţiilor rezultate din studiul teoretic, prin confruntare analitică cu datele rezultate din testele experimentale şi stabilirea mărimilor de legătură aferente, expunerea concluziilor finale cu recomandările operative, şi propuneri pentru direcţiile viitoare de cercetare.

1.3 Concluzii

În cadrul acestei secţiuni, pentru o mai bună percepere şi determinări a gradului de vătămare s-a prezentat în mod critic stadiul actual în domeniul tehnologiei dispozitivelor antropomorfe şi al siguranţei pasive.

S-au analizat, la începutul capitolului, standardele privind siguranţa pasivă realizând o descriere a acestora cu privire la sistemul operator uman-autovehicul-drum în vederea identificării cauzelor provocatoare a evenimentelor rutiere în general şi vătămărilor în special.

Ca urmare analizelor sunt expuse în continuare criteriile de vătămare şi mecanismul producerii leziunilor fundamentate pe studii biomecanice care pun la dispoziţie cunoştinţe utile în procedurile de stabilire a probabilităţii de vătămare. Severitate leziunilor este determinată de criteriul de vătămare pentru regiuni distincte ale corpului solicitate mecanic, solicitări care pot degrada ţesuturile anatomice şi implicit denaturarea funcţionalităţii normale a organismului.

Astfel, au fost luate în considerare criteriile pentru cuantificarea gravităţii vătămărilor în strânsă dependenţă cu ţinuta dinamică a subiectului uman-conducător auto respectiv comportamentul/ţinuta dinamică a autovehiculului. De asemenea cercetările bibliografice efectuate relevă importanţa procedurilor folosite la testele experimentale, echipamentul fizic şi/sau virtual precum dispozitivele antropomorfe pentru teste *ATD*-manechine cu avantajele şi dezavantajele acestora.

Stadiul cercetărilor privind siguranţa automobilelor şi criteriile de vătămare

2.1 Siguranţa automobilelor

În sarcina conducătorului auto de a proteja participanţii la trafic sunt incidente obligaţii prevăzute de normele legale iar automobilul trebuie să fie echipat constructiv cu dispozitive adecvate pentru asigurarea protecţiei.

Legislaţia naţională şi internaţională pentru siguranţa automobilelor detaliază şi clasifică criteriile pentru protecţie în normative constructive respectiv proceduri pentru evaluare [343]. Organizaţii guvernamentale urmăresc îndeplinirii acestor măsuri prin retragerea periodică şi în mod aleatoriu automobile noi din procesul de fabricare pentru verificarea standardelor de siguranţă [53]. Legislaţia rutieră în unele state prevăd prin articole distincte care aduc atingere construcţiei şi echipării automobilelor. În ceea ce priveşte normele legale pentru siguranţa pasivă acestea sunt formulate la modul general lăsându-i fabricantului de automobile construirea fără limitări şi fără a-i cere socoteală.

Luând în considerare faptul că automobilul este văzut ca un produs destinat schimbului prin intermediul vânzării-cumpărării, dar totodată i se cere să asigure în timpul circulaţiei protecţia participanţilor la trafic şi/sau a produselor ori animalelor transportate, după 1991 recomandările *ECE* au contribuit la realizarea unei politici rutiere comune, facilitând totodată eliminarea impedimentelor de natură comercială.

Directivele însă, nu sunt implementate nemijlocit astfel că ele trebuie adoptate de toate ţările membre printr-o lege naţională. *Directivele UE sau ECE* sunt facultative, ele sunt asimilate supletiv de către legislaţiile naţionale, asimilare numită proces de *armonizare opţională*.

Statele membre ale *UE* sunt constrânse să nu accepte în traficul rutier naţional automobile care nu corespund normelor, proces de *armonizare obligatorie*.

Deciziile recomandări şi luările de poziţii nu sunt integrate obligatoriu în legislaţiile naţionale şi puse în aplicare fără rezerve.

În condiţiile date diferitele cerinţe ale legislaţiilor naţionale trebuiesc corelate adoptând o *metodologie comună UE/ECE* astfel încât un automobil omologat într-un stat membru să fie recunoscut de toate statele membre, fără omologări suplimentare.

2.2 Siguranța circulației rutiere

Siguranța circulației rutiere nu mai poate fi asigurată atunci când, în mișcarea sa, automobilul intră în contact cu elemente fixe sau mobile poziționate pe platforma drumului ori în afara acesteia, în decor, consumându-se astfel un eveniment rutier. Numărul persoanelor rănite ori decedate, respectiv costurile pagubelor în ansamblul lor (materiale, medicale) reprezintă consecințele neplăcute și primejdioase ale unui eveniment rutier și implicit permit estimarea amplitudinii acestuia.

Culegerea, prelucrarea și înțelegerea datelor specifice, privind starea automobilului după ciocnire, modul producerii leziunilor și gravitatea lor, oferă cunoștințe despre comportamentul dinamic al automobilului în toate etapele evenimentului rutier, ceea ce constituie izvoare hotărâtoare pentru lămurirea cauzelor producerii acestuia.

Securitatea rutieră se înfăptuiește prin intervenția noilor tehnici constructive ale automobilelor, prin calitatea ansamblului drumurilor, cât și prin dispoziții esențiale desfășurate de elementele decizionale în diferite puncte din sectorul circulației rutiere. Ea identifică, recunoaște și propune elemente care să înlăture condițiile de producere a evenimentelor rutiere sau să reducă consecințele acestora [11, 29, 30, 44, 51, 77].

Subiectul uman ca participant direct (conducător, pasager, pieton), vehiculele și spațiul în care se desfășoară circulația rutieră sunt în egală proporție elementele componente ale sistemului transport.

2.3 Limitele rezistenței biomecanice și mecanismul producerii vătămărilor

2.3.1 Biomecanica

Pentru siguranța activă a automobilului, studiile de biomecanică sunt focalizate pe elementele ce concură la inițierea condițiilor de risc, iar în cercetările de siguranță pasivă biomecanica stabilește caracteristicile de rezistență mecanică a ocupantului uman în momentele consumării unei coliziuni.

Leziunile pot fi produse ca urmare a unei sarcini de solicitare mecanică exercitată din exterior asupra ocupantului sau ca urmare a contactului dintre acesta și elemente fixe, dure cu care vine în contact [9, 10, 17, 19, 51].

Biomecanica studiază cu precădere ținuta dinamică a victimei și toleranța acesteia la sarcinile de încărcare exterioare produse ca urmare a contactului cu elementele fixe, dure din interiorul celulei ocupanților în momentele desfășurării evenimentului rutier.

Cercetările de biomecanică au drept obiective teste experimentale privind ținuta dinamică a ocupantului, determinarea modului de producere a leziunilor, facilitarea extinderii modelelor analitice, și perfecționarea manechinelor cu biofidelitate. Problemele principale

tratate de biomecanică se referă la zona: capului, gâtului, toracelui, abdomenului, pelvisului, genunchiului și a membrilor inferioare, făcându-se însă simțită nevoia de elaborării unor proceduri care să permită aprofundarea particularităților țesuturilor corpului uman [71,131,170,172].

2.3.2 Amploarea traumei

Diagnosticul general al severității traumatismului se realizează cu ajutorul **scalei abreviative a leziunilor AIS** (*Abbreviated Injury Scale*) distinct pentru fiecare persoană care a suferit urmările unui eveniment rutier [270, 271, 272, 320]. Această scală constituie unul dintre cele mai importante sisteme de codare și clasificare anatomică. Scala indică mai curând indicele de punere în pericol al vieții în raport cu tipul leziunii, și nu evaluarea individuală a severității fiecărei leziuni în parte.

Tipurile de traumatisme sunt distribuite în cadrul scalei AIS pe grupe majore anatomice ale corpului, după cum urmează: cap, față, gât, torace, abdomen-pelvis, coloana vertebrală, membre superioare respectiv membre inferioare [15, 25, 42, 192].

Indicele AIS maxim sau scorul maxim abreviat al vătămarilor **MAIS** (*Maximum Abbreviated Injury Score*) este folosit ca un reper pentru analiza leziunilor specifice și a severității acestora în comparație cu tipul și severitatea leziunilor produse în același model de automobil dar după îmbunătățirile efectuate pentru protejarea ocupanților sau pedestriilor, stabilind dacă aceste îmbunătățiri au contribuit la reducerea nivelului de severitate sau nu.

Indicele de severitate al leziunilor ISS este o metodă de estimare a leziunilor mai expresivă decât scorul maxim abreviat al vătămarilor **MAIS** (*AIS maxim*) utilizat de majoritatea specialiștilor în domeniul biomecanic. Acesta a fost considerat mult timp cel mai important parametru pentru clasificarea și evaluarea traumelor cauzate de evenimentele din traficul rutier. **ISS** în comparație cu **MAIS** asigură o estimare mai eficientă a prognosticului traumei în ansamblu.

2.3.3 Criterii pentru aprecierea traumatismelor

Cercetarea convingătoare a performanțelor impune perfectarea continuă a dispozitivelor antropomorfe-manechine pentru încercări experimentale. Rezolvarea acestui deziderat se realizează simultan cu dezvoltarea criteriilor pentru aprecierea nivelului de risc la torace, abdomen și membrele inferioare întrucât sunt supuse unei probabilități importante de vătămare. Aprecierea

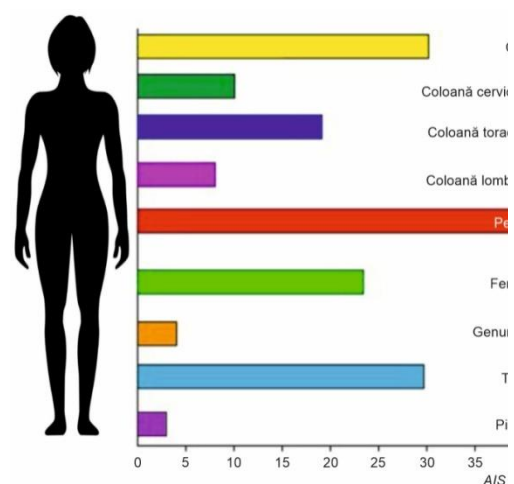


Fig. 2.6 Distribuția procentuală a leziunilor

leziunilor la gât, prezintă o importanță majoră în cunoașterea diverselor procese de formare a leziunilor [27,71, 83, 136].

Astfel, testele experimentale trebuie să: asigure posibilitatea estimării tuturor criteriilor de apreciere a leziunilor; precizeze clar tipul și modul de utilizare al manechinului cu interpretarea expresă a leziunilor la extremitatea membrilor inferioare; să indice în concret procedura și aparatura, specifică, pentru aprecierea riscului lezionar al abdomenului respectiv complexului genunchi.

Modul de formare al leziunilor și modificarea ce depășește limita non-letală a sistemul biologic, ca urmare a solicitărilor mecanice ale organismului uman în timpul evenimentelor rutiere, este investigat de biomecanică, figura 2.6.

Criteriile pentru aprecierea traumatismelor evaluează severitatea leziunilor victimelor ca urmare a ciocnirii [146, 158, 216].

La cuantificarea severității traumei victimei sunt folosite două tipuri fundamentale de criterii de vătămare, și anume: cele bazate pe dinamica autovehiculului, și cele bazate pe dinamica ocupantului.

Pentru reducerea riscului de vătămare a ocupanților, soluțiile constructive de siguranță trebuie să ia în considerare normativele cu privire la limitele biomecanice de performanță. Evaluarea riscului de vătămare se realizează doar pe baza ținutei dinamice a automobilului în momentele producerii evenimentului rutier, cu ajutorul unor criterii bine cunoscute.

2.4 Concluzii

Riscul de vătămare a ocupanților poate fi determinat utilizând datele și informațiile obținute în timpul testelor de încercări experimentale pe surrogat: manechine, animale, cadavre, unde s-au măsurat variabilele de interes precum deplasările, accelerațiile, și sarcinile de solicitare ale acestora coroborate cu datele măsurate pe autovehicul precum variația vitezei, accelerația, viteza și deplasarea, dar și informațiile obținute din cazuistica accidentelor reale.

Criteriile pentru aprecierea traumatismelor, fundamentate pe valorile achiziționate în cadrul testelor experimentale sau din cercetarea accidentelor reale, pot sta la baza inițierii modificărilor limitelor de performanță biomecanică.

În prezent domeniul cercetării și construcției dispozitivelor de limitare a mișcării, centură de siguranță, perne airbag, privind reducerea efectelor colaterale care produc contuzii sau excoriații rămâne deschis pentru noi soluții constructive.

Analiza avariilor în coliziunea frontală cu acoperire totală

3.1 Studiul coliziunii frontale

Impactul este un eveniment, în general, de durată scurtă, ce implică interacțiunea dintre minim două sau multiple corpuri, ducând la schimbarea vitezelor și direcțiilor de deplasare ale acestora. În aceste evenimente, impulsul final rămâne constant.

Ciocnirea descrie interacțiunea între două sau multiple autovehicule sau chiar între un obstacol și un autovehicul, având loc într-un interval de timp determinat. Durata de contact este finită și este cunoscută sub denumirea de timp de impact. Acest timp este semnificativ mai scurt decât timpul avut la dispoziție pentru observarea condițiilor de mișcare în altor stări de mișcare, care variază semnificativ. Rezultatele contactului fac corpurile să decelerează brusc și se deformează. Energia corpului aflat în contact relative cu alt corp devine energie de deformare și o altă cantitate va deveni energie calorică. Astfel, este atinsă deformarea totală a elementelor de caroserie, iar vehiculele încep să se separe, viteza automobilelor începe să crească iar. Acest proces al ciocnirii este divizat după cum urmează: faza comprimării urmată de faza restituirii (până la separarea completă) iar precedent acestei etape este etapa de comprimare

În momentul în care începe comprimarea corpurile au intrat în contact, și tot atunci diferența de viteză înregistrată de automobile se reduce total de la cea avută la intrarea în coliziune, iar deformarea atinge amplitudinea maximă.

Restituirea debutează la punctul de deformare maximă și se încheie când corpurile nu mai sunt în contact.

Duratele fazelor, comprimarea respectiv restituirea, sunt diferite, însă suma lor este egală cu timpul total al coliziunii. Într-un impact real, energia cinetică nu se consumă în totalitate la deformare, ea se va consuma în diverse procese până la oprirea totală a automobilelor.

Aplicarea legii conservării impulsului constituie procedura cea mai uzitată pentru determinarea vitezei de impact a autovehiculelor. În această situație vectorii forțelor de ciocnire (*impulsul*) sunt coliniari cu vectorii vitezelor, indiferent dacă traiectoria autovehiculului este sau nu colinară cu vectorul vitezei. Când direcția vectorilor forțelor de ciocnire, ale autovehiculelor, este identică cu direcția vectorilor vitezelor, atunci aceasta este numită forța rezultantă a ciocnirii *PDOF* (*Principal Direction of Force*). Din legea a treia lui Newton rezultă că

forţa rezultantă a ciocnirii, pentru un autovehicul, trebuie să fie egală şi de sens contrar cu forţa rezultantă de ciocnire a celuilalt autovehicul, indiferent de masa acestora.

Impactul frontal cu totală acoperire apare când vectorul vitezei de ciocnire al automobilelor implicate se suprapun, forţa rezultantă de impact este îndreptată spre centrul de greutate al acestora. Atunci când unul dintre autovehicule este în repaus în momentul coliziunii, acest corp, care nu este întotdeauna un autovehicul, se poate implica în ciocnire. În urma unei coliziuni frontale centrice plastice, se preconizează ca cele două autovehicule se mişcă în tandem precum un solid, de masă unică, cu aceeaşi viteză. Asupra autovehiculelor acţionează forţe ce în timpul coliziunilor, nu induc momente de rotaţie, însă uneori, în faza de separare a vehiculelor, poate să apară o roto-translaţie care determină poziţia finală.

Coliziunea frontală a două autovehicule poate fi centrică sau necentrică. La coliziunile centrice, forţa rezultantă a ciocnirii trece prin centrele de masă ale autovehiculelor. Ambele autovehicule, în timpul ciocnirii, descriu o mişcare comună cu viteza v_c , fără efect de recul sau de giraţie. Dacă vectorii vitezei ai centrelor de masă nu sunt coliniari, dar sunt paraleli, atunci forţa rezultantă nu trece prin centrul de masă, iar autovehiculele vor descrie mişcări diferite, cu viteze diferite, în faza post-coliziune.

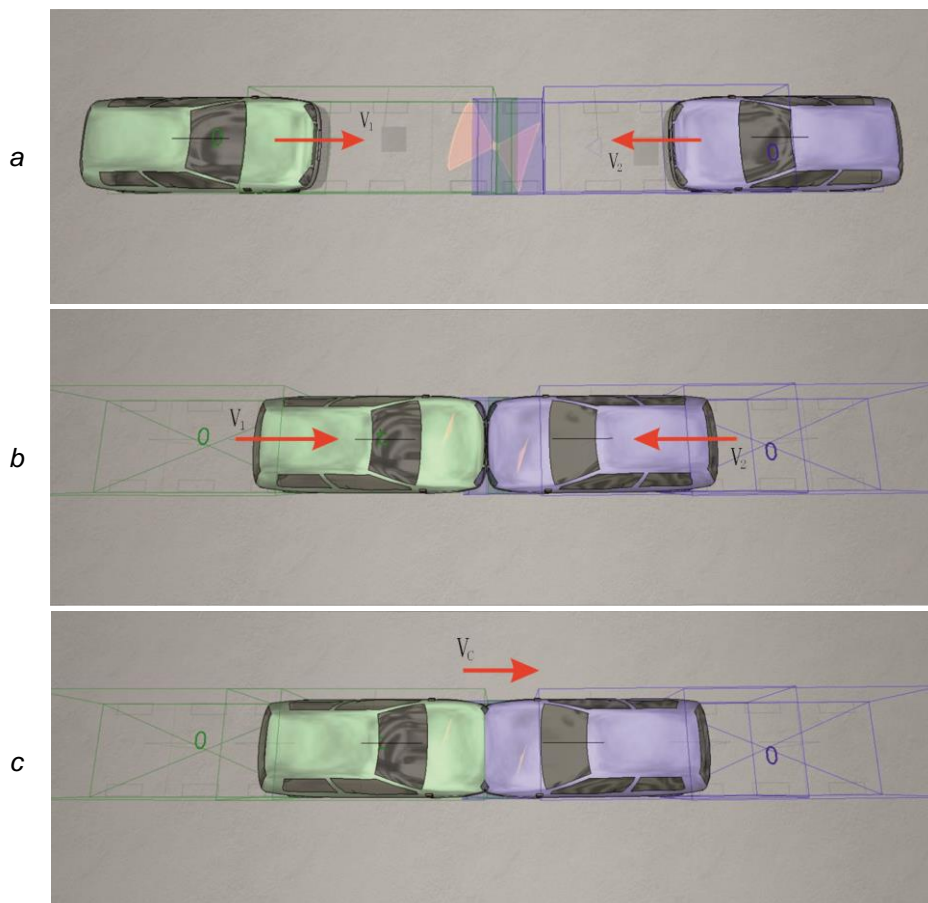


Fig.3.1 Fazele coliziunii frontale centrice

În figura 3.1 este ilustrată o coliziune frontală între două autovehicule, unde partea intrată în coliziune este deformată la viteza similară. Impactul este fără recul, iar după impact, autoturismele se deplasează simultan cu direcţie unică, precum un rigid, conform figurii 3.1 c.

Conform relației (3.13), fiecare automobil exercită aceeași forță în timpul coliziunii, așa cum este prezentat în figura 3.2:

- m_1 și m_2 sunt masele automobilelor exprimate în $[kg]$;
- k_1, k_2 constantele elastice $[N/m]$;
- x_1, x_2 mișcărilor centrului de masă al fiecărui autovehicul în impact $[m]$;
- x deplasarea totală a sistemului format din cele două autovehicule în ciocnire $[m]$.

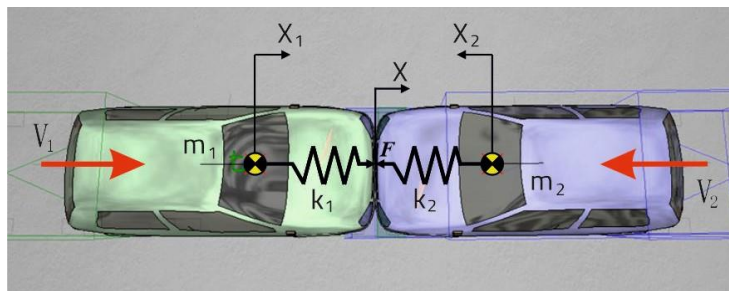


Fig. 3.2 Ciocnire frontală centrică, model matematic

Prima lege a termodinamicii afirmă că energia totală a unui sistem izolat rămâne constantă.

Restituirea

Modelarea variației vitezei unui automobil în mod analitic, se introduce un parametru numit coeficient de restituire, care caracterizează energia consumată în timpul coliziunii.

Acest coeficient ca fiind diferența de viteze, calculată la centrul de greutate al vehiculelor pentru etapa de după impact, și cea din momentul inițial al impactului este definit ca un raport. De asemenea, pentru coliziunile cu acoperire totală, coeficientul poate fi exprimat [13, 134, 164]:

În cazul în care ciocnirea a două autovehicule este colineară, atunci coeficientul de restituire este un număr adimensional, dat de relația (3.66). În cazul în care apare un efect de recul sau respingere reciprocă, se poate utiliza un model analitic pentru o coliziune cvasi-plastică [217, 203, 208].

3.2 Modelul ciocnirii

Scopul crucial pentru analiza accidentelor rutiere este stabilirea vitezei autovehiculelor după impact. Metodele care utilizează date despre gravitatea avariilor implică folosirea modelelor analitice pentru a exprima legătura între presiunea forței de impact pe unitatea de suprafață afectată și magnitudinea deformațiilor.

Modelul static descrie relația dintre forța impactului și deformația plastică reziduală a vehiculului, în timp ce modelele dinamice explorează legătura dintre forța impactului și deformația totală a vehiculului, considerând această dependență direct proporțională. Modelul etapei coliziunii, consideră și energia consumată la avarierea automobilului. Cuantificarea variației Δv în raport cu deformațiile remanente, se poate realiza asimilând automobilul unui element elastic spiral.

Relația între forța impactului amplitudinea deformației remanente facilitează calcularea coeficienților rigidității. O modalitate larg utilizată în cuantificarea energiei consumate la deformare [148], fiind integrată în algoritmi de simulare a ciocnirilor din

programele informatice precum familia CRASH [166, 303]. Aceste modele includ anumite presupuneri simplificate, cum ar fi: avariile de ansamblu identificate și coeficienții rigidității automobilului vor fi deduse din teste de ciocnire cu viteza de 40 și 45 km/h, păstrând ipoteza liniarității relației dintre forță și deformație; energia se transformă în lucrul mecanic pentru efectuarea avariilor [148, 202, 212].

Stabilirea diferenței de viteze ale vehiculului Δv se bazează pe energia consumată la deformarea caroseriei, inclusiv deformațiile reziduale. Felul în care autovehiculul se deformează este comparat cu comportamentul unui element elastic în formă de elicoidală. Datele limitate și informațiile insuficiente despre teste experimentale de ciocnire necesită cercetări detaliate. Modelarea utilizată la evaluarea deformațiilor este elaborată în lucrările de specialitate [213, 201], și este implementată în familia programelor CRASH [303].

Ciocnirea frontală prezentată în figura 3.3 este centrică și cu acoperire totală, implicând o barieră fixă și nedeformabilă. Având în vedere aceste aspecte, pentru evaluarea energetică precisă, este utilizată modelarea masă-element elastic-barieră nedeformabilă, conform figurii 3.4.

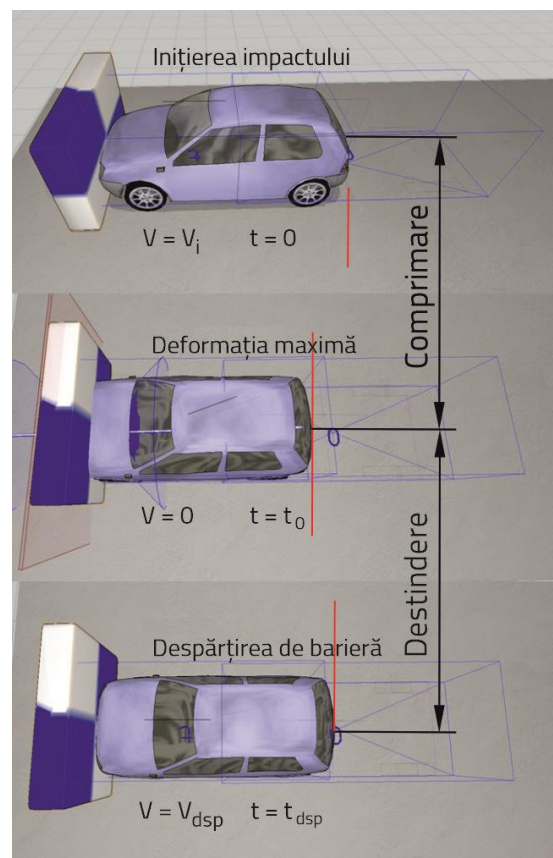


Fig. 3.3 Coliziune centrică cu acoperire totală

Viteza echivalentă la ciocnirea cu bariera (EBS) și variația vitezei (Δv)

Denumită și viteza echivalentă la ciocnirea cu bariera fixă BEV - *Barrier Equivalent Velocity* sau viteza echivalentă energiei la ciocnirea barierei EEBS - *Energy Equivalent Barrier Speed*, este identică cu viteza autovehiculului, a cărei deformație produsă în realitate este egală cu deformația produsă în ciocnirea cu bariera [120, 135].

Dacă există mișcare post-coliziune, atunci *EBS* diferă de viteza de impact [195]. *EBS* se poate afla într-una din următoarele situații în raport cu Δv : *EBS* este mai mare decât Δv la ciocnirea cu un corp mobil și nedeformabil; *EBS* va fi mai mică decât Δv în cazul ciocnirii unui corp deformabil și masiv respectiv *EBS* și Δv vor fi egale atunci când autovehiculul lovește un obstacol a cărui rigiditate este proporțională cu raportul dintre masa obstacolului și masa autovehiculului [159, 199, 201].

Prin urmare, se recomandă ignorarea coeficientului de restituire în calculul energiei de deformare. Dacă, totuși, este necesar, atunci luarea lui în considerare va fi numai la

determinarea lui Δv . În ceea ce priveşte Δv există unele păreri ca acesta să fie utilizat la determinarea coeficienţilor de rigiditate, propunere care ar putea să genereze erori apreciabile în determinarea energiei de deformare, la viteze de ciocnire mici, când coeficientul de restituire este mai mare de 0.1.

3.7 Localizarea şi consemnarea deformaţiilor

Energia consumată pentru deformarea autovehiculului şi energia cinetică pierdută pot fi stabilite din amplitudinea deformaţiilor. Atunci când evaluăm corect aceste deformaţii, este necesar să se efectueze măsurători precise ale zonei avariate.

Măsurarea adâncimii deformaţiilor urmează un protocol standard, ilustrat în figura 3.9. Pentru stabilirea cu exactitate a suprafeţei automobilului deformată din lateral ori longitudinal, se folosesc baghete dimensionate. Tijele definesc limitele pentru măsurarea şi lăţimea suprafeţei deformată. Etichetarea măsurătorilor este realizată cu C_n , unde n reprezintă numărul locaţiilor de măsurare, care poate fi 2, 4, 6, 8, 10, sau 12, numerotate de la 1 la n . Aceste puncte de măsurare sunt distribuite uniform pe întreaga zonă de avarie, iar rezultatele obţinute sunt exprimate în metri [m].

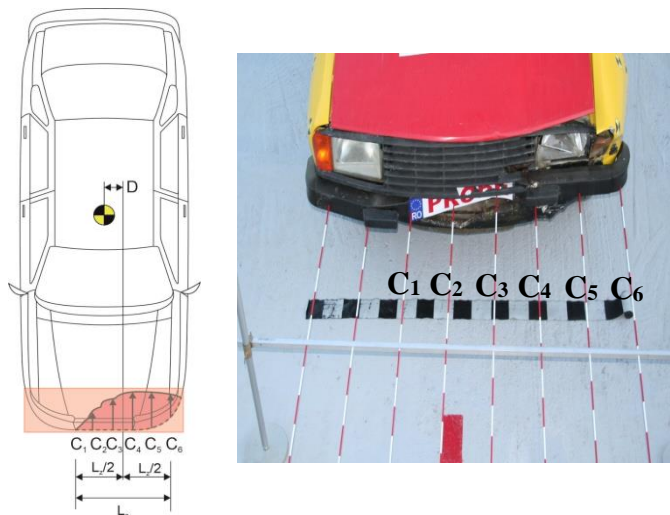


Fig. 3.9 Măsurarea deformaţiilor

Determinările C_n sunt etichetate cu C_i , de la stânga la dreapta pentru avariile situate frontal sau posterior pe întreaga lăţime a zonei afectate, conform figurii 3.9. După ce zona avariata este măsurată, se efectuează măsurători la aceleaşi puncte pe un autovehicul neafectat (identic în marcă şi model). Deformaţiile pentru fiecare punct de măsurare sunt determinate prin diferenţele luate din cele două rânduri de măsurători.

Dimensionarea deformaţiilor

Baghetele gradate, cu ajutorul cărora se măsoară profunzimea zonei avariate, sunt orizontal amplasate, la distanţe egale, pe toată lăţimea acestora. Lăţimea zonei avariate include deopotrivă *deformaţia direcă* cât şi *deformaţia nemijlocit indusă*.

Astfel, zona avariata este analizată sub două aspecte dimensionale: primul aspect este cel numit *lăţimea zonei avariate propriu-zise* L_z , care permite stabilirea numărului locurilor de măsurare şi implicit a suprafeţelor deformate. Numărul suprafeţelor deformate este mai mic cu unu decât numărul locurilor de măsurare.

Zona avariată

După localizarea zonei avariate măsurarea acesteia se va realiza perpendicular pe secțiunea deformată a autovehiculului (frontal, lateral, spate, planșeu, acoperiș). Localizarea zonei deformată se realizează relativ ușor, figura 3.10. Cu toate acestea, sunt situații când zona deformată include colțul autovehiculului (îmbinarea părții frontale/spate cu cea laterală), figura 3.11. Astfel, forța rezultantă a ciocnirii poate trece ori prin planul frontal ori prin cel lateral. În condițiile date alegerea coeficienților de rigiditate pentru modelele matematice se vor realiza cu precauție.

După cum se cunoaște, autoturismele nu sunt corpuri paralelipipedice cu laturi drepte și unghiuri de 90° . Autoturismele prezintă forme convexe pentru partea frontală și spate, colțurile de formă circulară iar părțile laterale concave. Toate aceste combinații geometrice sunt consecința condițiilor de economicitate, performanță și formă. Observăm că există spații libere între conturul formei reale a autoturismului și laturile dreptunghiului dat de dimensiunile de gabarit ($L \cdot l$) conținute în planul de proiecție a vederii acestuia.

3.8 Concluzii

În cuprinsul capitolului sunt explicate căile și algoritmii de cercetare a ciocnirilor și tehnica dimensionării profunzimii deformațiilor cu argumentarea fiecărei tip în parte. Principiul folosit asigură implementarea raționamentelor în programele analitice folosite distinct sau combinate cu programe specializate pentru analiza accidentelor.

De asemenea a fost prezentat modelul ciocnirii în care este prezentată determinarea rigiditatea automobilului, analiza deformațiilor cu volumul zonei deformată și măsurarea acestuia.

De asemenea sunt dezvoltate modurile de estimare a energiei pierdute la deformarea elementelor, intervalul de desfășurare a ciocnirii cu dificultatea acesteia dar și necesitatea corecției forței rezultante la ciocnire.

Modelarea ţinutei cinematice şi dinamice a sistemului autoturism-scaun-ocupant în ciocnirea frontală

4.1 Modelarea-simularea impactului frontal cu acoperire totală

Pentru analiza ciocnirii frontale în cadrul tezei realizate s-a urmărit atitudinea sistemului complex automobil-scaun-conducător auto-dispozitive pentru limitarea mişcării, pe tot parcursul desfăşurării evenimentului rutier. Statistic cele mai des întâlnite ciocniri frontale sunt realizate între un automobil şi un corp plan rigid (zid, cap de pod), corp cilindric rigid vertical fix (stâlp, copac) figura 4.1 *b*, sau între două automobile.



Fig. 4.1 Ciocnire frontală: *a*) automobil-automobil; şi *b*) automobil-obstacol vertical cilindric

Încercările experimentale au reconstituit ciocniri frontale cu acoperire totală cu direcţia forţei rezultante a ciocnirii (*PDOF*) normală la partea frontală, figura 4.1 *a*. în cadrul testelor au fost folosite mai multe tipuri şi modele de autoturisme, urmărindu-se comportamentul manechinului femeie cu abdomen însărcinat în opt săptămâni, soluţie constructivă proprie, şi influenţele sistemelor de limitare a mişcării asupra acestuia.

Simulările virtuale sunt realizate cu ajutorul modelului cinematic-dynamic al manechinului Hybrid III 5th - femeie 5% conţinut în subrutinele *LS-Dyna* pentru impact frontal, dar şi cu ajutorul modelelor *MADYMO* din programul specializat *PC-Crash* 15 licenţă proprie, iar pentru verificări a fost utilizat programul *VirtualCrash* 2.2.

Testele de impact s-au realizat la diferite viteze începând cu 20 *km/h* şi ajungând până la 50 *km/h* din 10 în 10 *km/h*, pentru vehiculul, iar distanţa dintre vehicul şi bariera fixă a fost setată la 0.4 *m*.

La analiza ţinutei cinematice cât şi a celei dinamice a manechinului sunt considerate ca reprezentative cele ale vitezei pentru durata cuprinsă între 0-160 *ms* din caracteristica viteză-timp. În această perioadă de timp viteza s-a modificat de la 13.360 *mm/ms*, adică viteza maxima atinsă, şi până la valoarea zero, atunci când vehiculul îşi stabileşte poziţia finală t_3 şi atinge 160 *ms*.

4.2 Modelarea sistemului *ocupant-scaun-dispozitiv pentru protecție pasivă*

Procesul de modelare și simulare permite determinarea solicitărilor și mișcărilor efectuate de conducătorul auto în timpul unei ciocniri frontale, bazându-se pe un model dinamic dar și cinematic. Acesta include, de asemenea, construirea unui stand pentru încercări experimentale, ce cuprind elemente de bază: planșă bord, manechinul, scaunul reglabil, volanul și coloana volanului, dar și pedalierul, conform figurii 4.5.

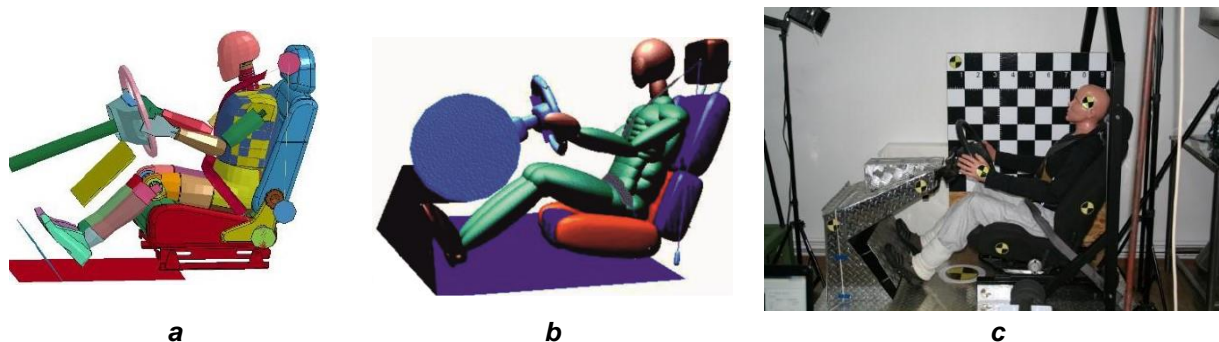


Fig. 4.5 Sistemul manechin-coloană volan--pod pedalier

În figură sunt prezentate standurile virtuale *LS-DYNA* poziția *a* respectiv *PC-CRASH* poziția *b* și standul pentru probe de laborator de concepție și construcție proprie, poziția *c*. Elementele introduse în construcția modelului experimental au menirea de a reproduce cât mai fidel postul de conducere și de a regla postura manechinul în concordanță cu situația de fapt reală.

4.3 Componenta modelului

Din dorința de a măsura solicitările la impact ale diferitelor părți ale corpului și de a evalua tipul și severitatea vătămărilor, prin imitarea răspunsurilor dinamice ale ocupantului la impact, a dus la un interes crescător pentru concepția și dezvoltarea unor modele cât mai apropiate de corpul uman, prin prisma dimensiunii dar și a funcționalității [149].

Manechinul de tip *Hybrid III 50%* reprezintă modelul standard pentru testele de ciocnire, în special testele de impact frontal, figura 4.9. Acesta, este poziționat în general pe locul conducătorului auto [176] iar caracteristicile de greutate și dimensionale ale segmentelor/elementelor componente.



Fig. 4.6 Model virtual cu airbag

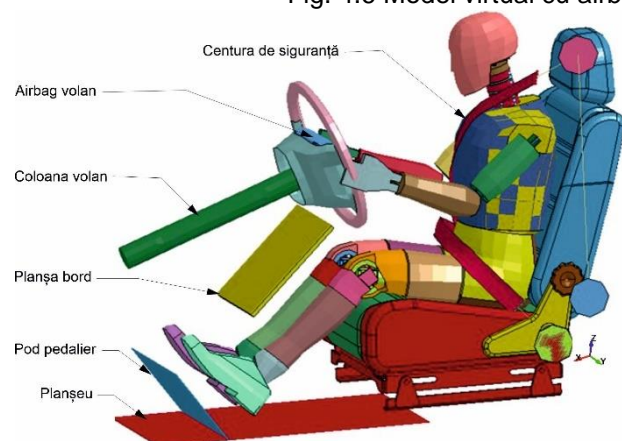


Fig.4.9. Model pentru teste experimentale virtuale

4.3.1 Considerații structurale asupra tipului de manechin virtual

Modelul virtual al manechinului de tip *Hybrid III* al cărui comportament cinematic a fost analizat în simularea unei coliziuni frontale este procesat cu pachetul de programe LS-DYNA. Acest tip de manechin este alcătuit dintr-un număr total de 123 de elemente componente. Fiecare element al corpului uman își găsește corespondența în schema structurală a manechinului bărbat de tip *Hybrid III*, excepție făcând organele interne. După discretizarea modelului s-au obținut 4333 elemente și 7473 noduri.

Principalele elemente componente ale manechinului, prin analogie cu structura corpului uman, sunt prezentate în figura 4.10, poziția *a*:

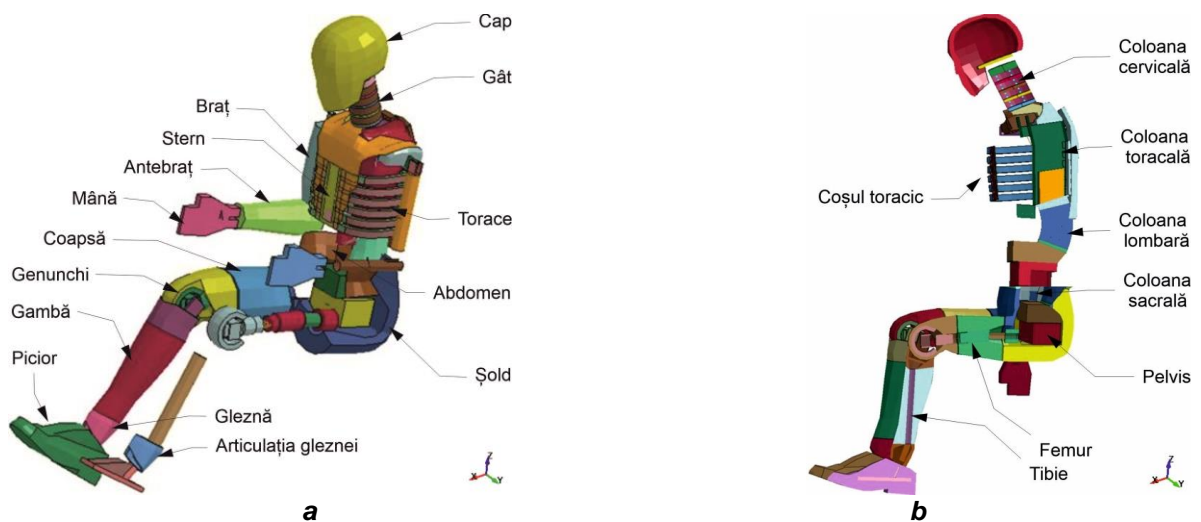


Fig. 4.10 Manechinul *Hybrid III* femeie: *a* - principalele elemente; *b* - secțiune longitudinală

Figura 4.10, poziția *b*, prezintă secțiunea longitudinală, după axa X, în care pot fi observate elementele componente ale structurii interne a manechinului.

4.4.2 Modelul dinamic al manechinului de tip *Hybrid III* 5% femeie

Totodată, în cazul în care este setat contactul cu frecare între elemente, pot fi analizate și sarcinile de solicitare tangențiale. Coeficientul de frecare statică va fi superior coeficientului de frecare dinamică atunci când se dorește trecerea de condițiile de analiză statică la cele de analiză dinamică. De regulă, acest tip de contact se folosește atunci când masterul este un corp rigid, iar verificările la străpungere sunt efectuate numai asupra nodurilor elementului slave, definite de utilizator.

Deoarece contactele de tip *Surface to Surface* au un caracter simetric, ceea ce conduce la rezultate identice indiferent de modelarea suprafețelor elementelor slave și master, pentru testele virtuale de ciocnire frontală s-a optat pentru formularea și setarea contactului de tip *Contact_Automatic_Surface_To_Surface*. Această opțiune este urmare numai a

investigațiilor evenimentelor rutiere cu ciocnire frontală, întrucât pozițiile reciproce și deplasările relative ale elementelor nu pot fi anticipate, iar amplitudinile deformațiilor elementelor de caroserie sunt în general mari.

4.9 Concluzii

În studiul ținutei dinamice a victimei femeie cu abdomen însărcinat la coliziunea frontală cu acoperire totală a autoturismului, s-a formulat modele analitice *CAD*, cinematic-dinamic. Astfel, au fost descrise mișcările cu ajutorul ecuațiilor Newton-Euler având la baza și procedura multiplicatorilor Lagrange. Pentru rezolvarea valorică modele realizate au fost rulate în utilitarul Maple, fiind conceput un program de secvențe cu structură flexibilă, ce facilitează cercetarea soluției constructive de abdomen cu sarcină propusă, care ține seama de starea inițială și de condițiile de contur existente.

S-au determinat legile variației funcție de timp a forțelor de legătură dintre elementele cuplelor cinematice ale manechinului, în regim dinamic, luând în considerare două forme posibile și anume raportarea la sistemul exterior S_o , cât și raportarea la cel local S_i . Au fost analizate mobilitatea zonei abdomen-centură pelviană și mobilitatea șold-coapsă.

În ultima parte a capitolului s-a realizat un model pentru stabilirea coordonatelor centrului de masă plecând de la faptul că probele de ciocnire în condiții reale necesită aparatură de măsurare dependentă de acesta.

Cercetarea experimentală a solicitărilor abdomenului uman în ciocnirea frontală cu acoperire totală

5.1 Tipuri de încercări experimentale

Ciocnirea se referă la interacțiunea dintre cel puțin două vehicule sau la interacțiunea dintre un vehicul și un obiect, ce se desfășoară într-o perioadă specifică, interacțiune care, de altfel, nu este prezentă nici înainte și nici după ciocnire. Contactul dintre vehicule poate fi măsurat în timp, fiind numit timp sau perioadă de ciocnire. Aceasta este mai scurtă în comparație cu durata de observare a celorlalte etape de mișcare care se desfășoară pe intervale foarte lungi. Imediat ce corpurile intră în contact, începe decelerarea reciprocă, bruscă, și, implicit, deformarea acestora.

Cele două etape, comprimarea și relaxarea, au durate diferite, însă suma acestora este egală cu timpul total al ciocnirii. Într-un impact necontrolat, deformările nu se produc uniform ceea ce rezultă într-o convertire a energiei cinetice în alte forme de energie.

Astfel, tipurile de încercări experimentale vor fi prezentate în continuare distinct. Ele reprezintă un anumit segment al lumii evenimentelor rutiere. Stabilirea obiectivelor este de mare importanță pentru simularea experimentală, care pe de o parte poate fi percepută ca validare a eficienței măsurilor de protecție cu privire la anumite moduri de evenimente rutiere. Pe de altă parte scopul testelor poate consta în verificarea comportamentului sistemului de protecție în timpul evenimentului rutier.

În absența intruziunilor, centurile de siguranță și sistemele airbag asigură un spațiu *non-letal*, cu riscuri minime de vătămare, suficient pentru protecția ocupantului.

Unele proceduri de testare recurg la încercări experimentale de ciocnire frontală cu bariera fixă rigidă sau deformabilă cu acoperire parțială sau totală, în scopul evaluării protecției ocupanților respectiv a sistemelor de limitare a mișcării.

În cazul coliziunii laterale este greu de evitat contactul ocupantului cu elementele din interiorul autovehiculului. Protecția acestuia fiind asigurată numai prin materialele de captonare și sistemele airbag laterale care limitează intruziunea și îndepărtează victima de obiectele penetrate.

Desfășurarea corectă a testelor privind comportamentul și deformarea rezultă din încercări cu vehicule integral dotate. Pentru a determina mișcările și solicitările punctelor de

contact, dar și a posibilităților de rănire se apelează în testarea autoturismelor la utilizarea manechinelor antropometrice, reprezentând pasageri sau pietoni.

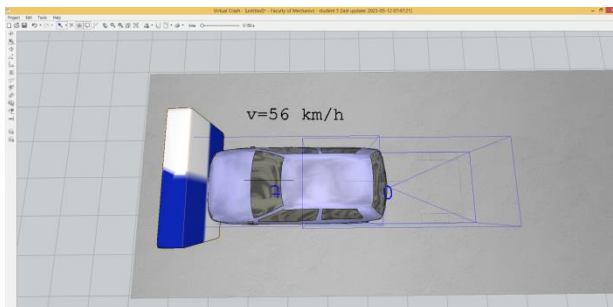


Fig. 5.1 Impactul frontal cu o totală acoperire

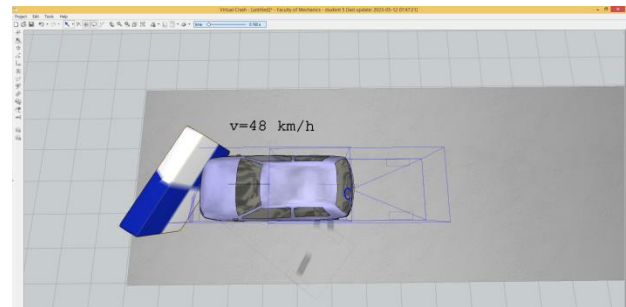


Fig. 5.2 Impactul frontal cu un obstacol rigid, dispusă sub o înclinare de $\pm 30^\circ$

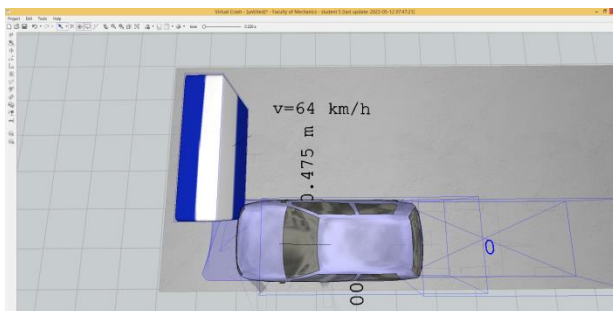


Fig. 5.3 Impactul frontal cu acoperire parțială 25%

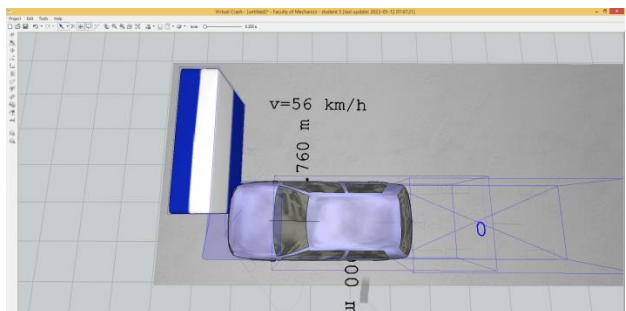


Fig. 5.4 Impactul frontal cu acoperire parțială 40%

Proceduri pentru teste - în funcție de tipul coliziunii, s-a constatat că performanțele de siguranță a autovehiculelor în timpul ciocnirii din față nu pot fi corect creionate dintr-un singur test de coliziune. Prin urmare, stabilirea nivelului de siguranță trebuie realizată numai după efectuarea mai multor încercări experimentale frontale: coliziune din față cu suprapunere totală, cu o obiect fix și rigid, la viteza de 30-50 km/h, a se vedea figura 5.1; impact frontal cu înclinare $\pm 25-30^\circ$, și cu viteza de aproximativ 30-48 km/h, a se vedea figura 5.2; impact din față cu suprapunere parțială de 25%, pe partea stângă a autovehiculului, cu o viteză estimată de 64 km/h, figura 5.3; impact frontal cu suprapunere parțială de 40%, la partea stânga, cu barieră statică, nedeformabilă, cu diferite viteze, începând de la 40 la 56 km/h, a se vedea figura 5.4.

La încercările de *ciocnire frontală*, conform reglementărilor *ECE-R 94*, impactul are loc, în prima etapă, la viteza de 50 km/h, cu o barieră fixă și planul de impact dispus la 0° , plan care este prevăzut cu elemente metalice pentru a nu permite alunecarea *ASD* (*Anti Slide Devices*) în vederea asigurării condițiilor de reproductibilitate ale încercărilor. În etapa a doua, încercarea de ciocnire are loc la o viteză de 56 km/h cu barieră deformabilă și un grad de acoperire 40% pe partea dinspre conducătorul auto.

De aceea industria automobilistică, instituțiile de stat, universitățile și revistele de specialitate, desfășoară încercări experimentale în condiții mai riguroase. Multe din aceste teste sunt limitate de costuri și nu de tipurile de ciocnire dorită efectiv sau vătămări. Testele

de ciocnire frontală la viteza de 55 *km/h* cu barieră rigidă contribuie la studiul comportamentului autoturismelor mici și mijlocii.

Ținând seama de masa mare și structura rigidă, condiționate de procedeele de testare actuale, autoturismele grele constituie un pericol important pentru toate celelalte autoturisme. Din acest motiv, metodele de cercetare experimentală utilizate în trecut pentru cuantificarea siguranței pasive a autoturismelor nu pot fi considerate optime.

Aceste soluții se străduiesc să reproducă fidel condițiile de producere a unui impact frontal, utilizând metode complexe de testare, iar rezultatele obținute să fie cât mai convingătoare în ceea ce privește problematica reconstituirii evenimentelor rutiere. Drept urmare deformațiile structurii de rezistență nu pot fi identificate în totalitate, deci și caracteristicile sarcinilor de solicitare nu vor fi întotdeauna bine cunoscute.

Aceste modele trebuie realizate cu atenție pentru ca acestea să poată fi utilizate în procesul de investigare și reconstituire a evenimentelor rutiere.

Impactul multiplu ocupă locul doi cu 26.5-45%, după impactul frontal, 43.6-55%. Acesta conduce la creșterea procentului de vătămări grave, observându-se faptul că cele mai afectate părți ale corpului uman sunt capul, gâtul, toracele cu abdomenul respectiv extremitățile superioare.

5.2 Teste experimentale în condiții reale

În acest subcapitol sunt prezentate echipamentele, metodele și parametrii utilizați la desfășurarea încercărilor experimentale.

Cercetările experimentale, efectuate în vederea realizării scenariilor de ciocnire, în circumstanțe apropiate cu realitatea, au presupus parcurgerea următoarelor etape:

- stabilirea obiectivelor și a tipurilor respectiv modurilor de ciocnire;
- realizarea manechinului și alegerea tipurilor de autoturisme utilizate;
- verificarea funcționării instalației de măsurare montată pe autoturisme;
- adoptarea, realizarea aparatajului pentru măsurare;
- pregătirea autoturismelor în vederea încercărilor experimentale;

Pentru a asigura rezultate cât mai fiabile în evaluarea performanțelor și calităților automobilelor testate, de obicei, testele trebuie să fie realizate în diverse combinații. Preferabil sunt echipamentele care afișează semnalele în timp real conform cerințelor specifice. Cercetările experimentale au inclus diverse scenarii, cum ar fi: simularea coliziunilor utilizând tehnica virtuală computerizată, testarea și evaluarea manechinului de tip femeie pe un stand propriu de construcție, conform figurii 5.12 poziția *a*, iar conform figurii 5.12 poziția *b* s-au efectuat încercări experimentale în circumstanțe dinamice (acelerație, viteză, decelerare) prin coliziuni frontale între două vehicule, folosind manechinul de test plasat pe scaunul șoferului în vehiculul lovit și pilotul de încercări poziționat pe scaunul șoferului în vehiculul care lovește.



a



b

Fig. 5.12 Simularea pe stand respectiv poligon

În faza de pregătire a testelor experimentale, se instalează sistemul necesar pentru înregistrarea și salvarea datelor complete, acestea fiind compuse din traductoare, senzorică împreună cu cablajele necesare asigurând protecția acestora și eliminând posibilitatea de interferențe cu funcționarea normală a vehiculului. Autovehiculele sunt echipate simultan cu senzori de rezervă, traductoare și tehnica informatică dedicată monitorizării mărimilor relevante la manechin și la vehiculele implicate în testare. Platforma destinată testelor în condiții reale, cu locurile sale distinctive, sunt semnalizate cu elemente distinctive, conform figurii 5.13.



Fig. 5.13 Marcarea platformei de încercări

Dispozitivele folosite pentru măsurători în condiții reale includ dispozitive precum XsensMTi, DSD PicDAQ, MC-32S și traductoare, care sunt instalate și/sau verificate pe vehicule înaintea fiecărei probe individuale. Pentru a asigura desfășurarea în siguranță a testelor și pentru montarea echipamentului tehnic destinat măsurărilor și memorării în vehiculul impingător, am decis eliberarea spațiului din dreapta față și locurile din spate, precum și a rezervorului de combustibil.

5.3 Condiții necesare pentru probele de poligon

Pentru garantarea testelor experimentale cu o eficiență maximă a trebuit să se respecte diverse condiții precum: exactitatea, obiectivitatea, rapiditatea de desfășurare, repetabilitatea, economia și condițiile meteorologice.

Pentru evaluarea performanțelor echipamentelor de siguranță pasivă și pentru o mai bună înțelegere a comportamentului real al corpului uman în timpul unui impact rutier, este evidentă necesitatea testelor să fie obiective.

5.3.1 Propulsia autoturismelor implicate în teste

Vehiculul testat se află într-o poziție statică pe o platformă orizontală din beton, frâna de mână ne fiind trasă, schimbătorului de viteze fiind într-o treapta patru, și autovehiculul care împinge are propulsie proprie. Rezervorul de combustibil al vehiculului în decursul testelor testat a fost golit și apoi umplut până la 2/3 din capacitate cu apă, în timp ce rezervorul vehiculului împingător a fost demontat, iar motorul a fost pregătit prin amorsarea camerei de nivel constant din carburator după ce a atins temperatura de operare.

5.3.2 Pregătirea autoturismelor pentru încercările experimentale

În vederea desfășurării testelor pe poligon, au fost alese autoturisme în stare tehnică bună și foarte bună. Au fost verificate cele mai relevante caracteristici tehnice ale vehiculelor, inclusiv modelul, numărul de motor, șasiu, masele și performanțele, aspecte de fabricație, uzurile la anvelope, funcționarea frânelor, suspensia și geometria roților. Orice abateri dimensionale au fost corectate pentru respectarea valorile tehnice recomandate, iar aspectul exterior al caroseriei a fost complet restaurat, figura 5.14.

Utilizarea manechinelor constituie reproducerea unei condiționări fizice reciproce, apriori cunoscută, între ocupanți și mediul din apropierea lor, având drept consecință producerea leziunilor mecanice sau a traumatismelor, ceea ce înseamnă că scopul tuturor lanțurilor de măsurare este acela de a înregistra parametrii acțiunilor precum: deplasarea, viteza, accelerația, forța și mărimile care derivă din acestea. De asemenea, precum anvelopele, manechinul a fost marcat cu o serie de puncte, numerotate secvențial.

5.3.3 Amenajarea și pregătirea spațiului pentru testele experimentale

Pentru construcția locului destinat încercărilor experimentale de ciocnire reală, figura 5.16, și asigurarea unei strategii fluente și coerentă a scenariilor testelor de ciocnire s-au avut în vedere următoarele aspecte tehnice:

- asigurarea marcajelor și a locului de început și sfârșit a probei de ciocnire;
- asigurarea căilor de acces, evacuare, intervenție spre și dinspre suprafața activă destinată încercărilor experimentale;
- locuri de protecție destinate intervenției pentru situațiile neprevăzute.

5.9 Sisteme microelectromecanice

O tehnologie relativ modernă la nivel global, sistemele microelectromecanice transformă radical construcția și performanța senzorilor inerțiali, fiind cunoscută și sub denumirea de *MEMS (Microelectromechanical Systems)* [58, 76, 80, 223].

Acestea sunt concepute ca rezonatoare electronice și sunt fabricate într-un corp de cuarț

sau siliciu [224, 322, 323].

M - micro, datorită dimensiunilor foarte mici și tehnologiei de fabricație (< 1 mm).

E - electro, indicând utilizarea domeniului electric și/sau electronic.

M - mecanic, descriind transformarea spațială a componentelor, în care mișcarea este convertită în variații ale unei mărimi de natură electrică ori mărimea electrică execută actualizarea poziției unui element.

S - sisteme, rezolvând aspecte legate de ermetizare, modularizare, etalonare, stabilitatea mecanică sau la zgomot, și altele.



Fig. 5.23 Sistem MEMS

Acestea sunt constituite din componente, fie electronice fie neelectronice, îndeplinind funcțiuni precum captarea datelor, prelucrarea și afișarea semnalelor electrice sau reglarea automată, conform figurii 5.23. Dispozitiv inerțial pentru măsurare IMU este prezentat în figura 5.24. Mărimile generate de unitatea inerțială pot fi influențate de câmp electromagnetic, motiv pentru care s-a adăugat o sursă de tensiune ± 15 V.

Modificarea posturii ocupanților este urmărită cu ajutorul sistemului Xsens MTw [90, 316, 317], ce are două elemente fundamentale: componenta de software și componenta de hardware [318, 319, 339, 340].



Fig. 5.24 Unitate inerțială de măsurare

Xsens este un senzorul inerțial ce este utilizat în experimente, cântărește 52 de grame, iar dimensiunile lui sunt: de 61L x 60l x 28 mm, grosime și poate măsura: accelerații în trei direcții ale propriului său sistem de referință până la ± 5 g și mișcare unghiulară raportată la cadru de referință propriu, modificarea zonei magnetice, și poate afișa orientarea spațială a traductorului în raport cu un reper cât și atitudinea traductorului dată de mișcarea de ruluu, tangaj și girație. Prin intermediul soft-ului *MT Manager* pentru analiză, datele măsurate sau stocate pot fi prezentate sub forma graficelor în același timp cu animația poziției unui singur sau mai multor module, conform figurii 5.25.

5.10.3 Accelerometre

Elementul sensibil din structura traductorului de accelerație, figura 5.28, furnizează o mărime mecanică (deplasare sau forță).

Ca urmare, această mărime mecanică trebuie convertită într-o mărime electrică cu ajutorul elementului de conversie pentru a fi recunoscută de adaptor. Combinarea elementului



a

Fig. 5.29 Traductor pentru accelerație

sensibil cu elementul de conversie are doar un caracter funcţional, formând astfel o singură componentă constructivă, figura 5.29 a.

5.12 Prelucrarea datelor măsurate

În această secţiune sunt analizate operaţiile pentru memorarea, stocarea şi procesarea datelor, figura 5.35.

Pentru a separa valorile măsurate de semnalele perturbatoare, se utilizează filtre care taie semnalul cu frecvenţe înalte, trece-jos, cu frecvenţă joasă, filtru trece-sus. Pentru semnalele măsurate la încercările experimentale de ciocnire se defineşte conform clasei de frecvenţă a canalului *CFC* (*Channel Frequency Class*) indicând frecvenţa de filtrare.

Cele mai utilizate filtre sunt filtrele *BUTTERWORTH*, *TSCHEBYSCHIEFF* şi *BESSEL*.

5.12.1 Tehnica pentru înregistrări video

Măsurile de solicitare înregistrate pe manechin reprezintă indicatori ai gravităţii vătămarilor suferite de ocupanţi şi oferă informaţii cruciale despre impactul evenimentelor rutiere. În cadrul experimentelor, automobilele implicate sunt fotografiate înainte şi după fiecare ciocnire. Analiza interacţiunii dintre spaţiul interior şi corpul manechinului, se realizează cu ajutorul filmării de mare viteză, figura 5.36.



Fig. 5.36 Cameră video de mare viteză PHOTRON SA3

În condiţii de laborator instalaţia de iluminare necesară pentru tehnica de filmare cu viteze mari se compune din patru unităţi fixe poziţionate pe obiectul urmărit, care sunt dotate cu becuri led. În figura 5.37 este prezentat modul de amplasare a camerelor video pentru testele experimentale de ciocnire reală, astfel:

1 - cameră de filmare de mare viteză *PHOTRON SA3*; 2 - cameră digitală Samsung ES95; 3 - aparat foto Canon EOS 350D; 4 - cameră video Panasonic A2-DC; 5 - cameră video canon XH-A1.

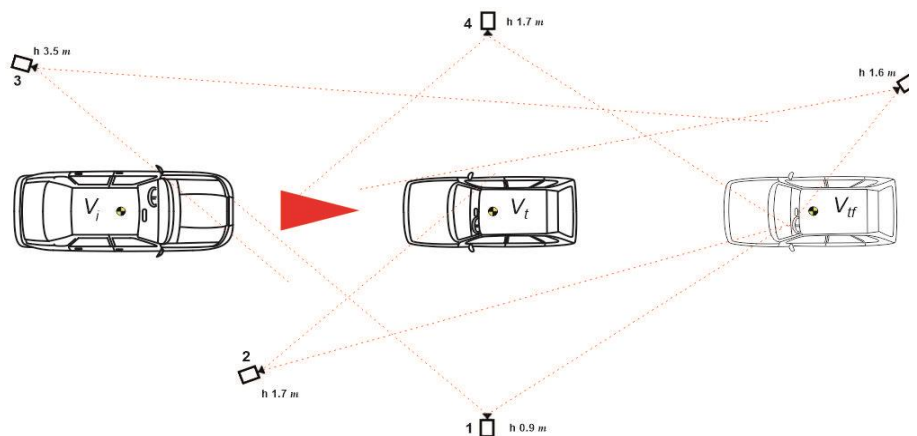


Fig. 5.37 Modul de dispunere a aparatelor pentru înregistrarea video

5.12.2 Sistemul informatic utilizat la procesarea și interpretarea datelor

Prelucrarea și interpretarea datelor obținute din testele de încercare experimentală nu este o problemă deloc simplă. Interpretarea datelor obținute din măsurători sunt realizate cu ajutorul sistemelor moderne de achiziție și procesarea electronică a datelor. În acest scop, a fost realizat sistemul descris în figura 5.38, care include componente precum sistemul MC-32S, DSD, XsensMTi și NANO33IOT, în combinație cu un Laptop echipat cu un procesor i7, cu

o frecvență nominală de 3.41 GHz, 32 GB de memorie RAM DDR3, un hard disc de 3 TB, și un monitor LED PHL273V7.



Fig. 5.39 Senzori XsensMTi

Pe durata testelor multiple variabile au fost supuse verificării și evaluării, acestea fiind: poziția punctului material aflat într-un sistem de coordonate; viteza liniară/ unghiulară precum și accelerațiile; solicitările ce au acționat asupra manechinului de testare. Durata de producere a vătămărilor în timpul unei coliziuni este relativ scurtă, fiind de ordinul milisecundelor, în timp ce impulsul maxim cât și energia cinetică sunt egale, înainte și după coliziune, iar durata impactului este relativ scurtă nedepășind 0.25 s.

Condițiile pot fi extinse, funcție de posibilitățile și performanțele în care se desfășoară probele de laborator sau cele în condiții reale controlate. Rotația segmentelor corpului sunt catalogate ca fiind deformații mari și pot depăși 180°.

5.14 Concluzii

Investigațiile tehnico-științifice implică strânsa dependență dintre analizele teoretice și cercetarea experimentală.

Pentru ducerea la bun sfârșit a analizelor cercetărilor experimentale s-au formulat și realizat instalații de măsură particularizate procedurilor aplicate observării mărimilor supuse controlului evidențiind unele problematice cu privire la asimilarea aplicațiilor de inteligență artificială în structura sistemelor de dispozitive antropomorfe surogat. Conținutul capitolului arată în mod clar programul și metodologia cercetărilor experimentale, tehnica și tactica măsurării, memorării, prelucrării și interpretării datelor, calibrarea traductoarelor și a canalelor destinate măsurătorilor. În aceste condiții, s-au descris diferitele tipuri de aparate și instalații controlate de procesoare, destinate măsurătorilor din cercetările experimentale, făcând cunoscute elementele semnificative, modul de funcționare și eficiența lor.

Prezentarea soluţiei propuse pentru dispozitivul antropomorf-manechin

Traumatismele frecvent întâlnite la femeile însărcinate implicate în evenimente rutiere sunt caracterizate de ruperea placentei, leziuni uterine și vătămările sarcinii embrion sau făt după caz. Ruperea parțială sau totală a placentei în zona de legătură utero-placentară constituie cauza principală a pierderilor de sarcină

Pentru a analiza posibilitățile de încărcare mecanică a abdomenului în general și a complexului uter-embriion în special s-a conceput și realizat o soluție constructivă proprie de analiză. Această soluție echipează un manechin, putem spune minim invaziv, pentru culegerea informațiilor referitoare la forțele și accelerațiile aplicate direct abdomenului cu sarcină de până la zece săptămâni, în diferite scenarii de impact și sisteme de limitare a mișcării corpului conducătorului auto.

6.1 Prezentarea soluției propuse. Elemente de anatomie umană

Anatomia unui abdomen gestant cu sarcină în perioada embrionară de 8-10 săptămâni este prezentată în figura 6.1.

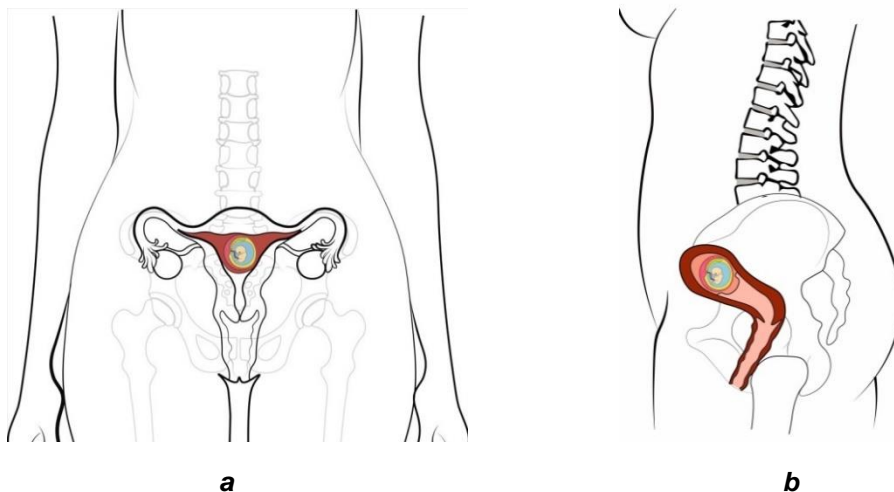


Fig. 6.1 Anatomia abdomenului cu sarcină

Accentul este pus pe soluția constructivă realizată practic și implementată pe manechin, dar și pe simulările cazurilor de ciocnire frontală cu acoperire totală, când uterul poate fi stenoizat (se îngustează) pe direcția de aplicare a solicitării sau pe direcția transversală va suferii un anevrism (o dilatare).

Constructiv autorul a avut în vedere ca soluția propusă și realizată să respecte configurația antropometrică astfel încât sarcinile de solicitare să încarce cât mai real complexul inel pelvian-uter-nucleu embrion 8-10 săptămâni, pentru ca investigațiile să pună în evidență, cu un grad ridicat de acuratețe, potențialul risc de pierdere a sarcinii ca urmare a lezări placentei.

6.2 Realizarea stratificată uter carcasă capsulă membrană

Execuția carcasei membranoase exterioare s-a realizat utilizând tehnologia de obținere a reperelor prin fabricație aditivă fuzionată, și anume tehnologia *Deposition Modeling* (FDM), care oferă posibilitatea obținerii elementelor unicat, cu vari forme dimensionale într-un interval extrem de redus, în raport cu tehnica utilizată până nu demult la realizarea acestora.

Realizarea practică a carcasei embrionului s-a desfășurat la Centrul de imprimare 3D al Universității *Transilvania* din Braşov INNO3D iar pentru configurația uterului s-a colaborat cu o companie privată din Stuttgart, RFG. Ambele unități de imprimare 3D sunt cu sistem cartezian de deplasare a dispozitivului pentru extrudarea materialului, de altfel fiind și cel mai răspândit tip, figura 6.3.

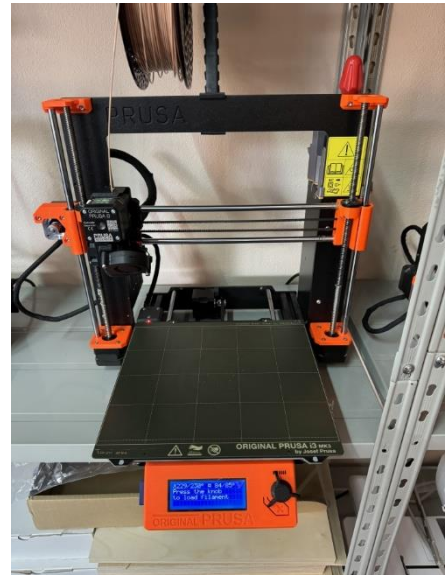
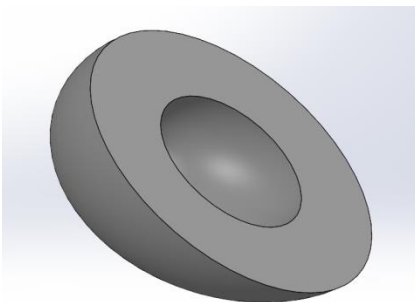


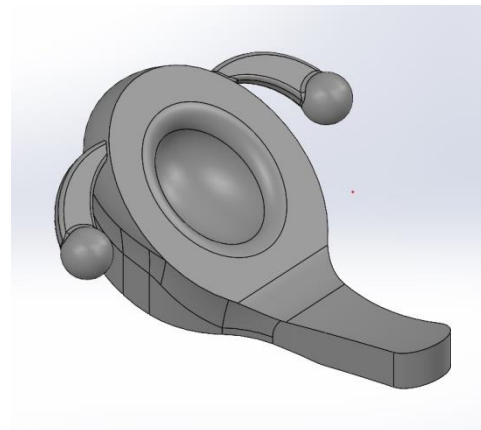
Fig. 6.3 Imprimantă 3D sistem cartezian

6.2.1 Etapele fabricației prin fuziune aditivă

Figura 6.4 ilustrează designul inițial al carcasei în SolidWorks, prezentând detalii despre modul de îmbinare și volumul destinat unității IMU.



a



b

Fig. 6.4 Modelul CAD al casetei în SolidWorks, în format STL

b) modelul CAD este transferat în format *STL* direct din *SOLIDWORKS* în imprimantă, figura 6.5 și 6.6

c) modelul importat în modulul procesor al imprimantei este pregătit pentru conversia *Slicing*, de secționare după plane paralele horizontale ale sistemului de referință, figura 6.7, proces realizat în programul *Bambu Studio* v1.8.4.51, timp în care sunt generate și traiectoriile parcurse de dispozitivul extrudor, pentru crearea fiecărui strat, figura 6.8.

La execuția elementelor, s-a ales un *infill* rectilinear cu o densitate de 12%. *Infill*-ul rectilinear reprezintă o adoptare uzuală în imprimarea 3D datorită echilibrului său între stabilitate structurală și utilizarea eficientă a materialului. Acest tip de *infill* constă în linii paralele care se intersectează la unghiuri regulate, conferind rezistență și elasticitate dorite și un consum minim de material.

d) realizarea efectivă a elementelor prin adăuția succesivă a straturilor folosind materiale mai elastice de tip: *FLEX* tub și *TPU*-poliuretan termoplastice, pe suportul propriu al imprimantei, figura 6.7, cu ajutorul programului *BambuLab P1S*; în această etapă sunt generate traseele de suprapunere a straturilor și solidificarea materialului.

e) În etapa *post-procesare*, am debavurat, înlăturând materialul în exces, și finisat manual suprafețele de contur ale elementelor în formă finală, îmbunătățind calitatea suprafeței acestora, figura 6.10. Elementele finite nu au necesitat impregnarea cu rășini sau tratarea cu UV.

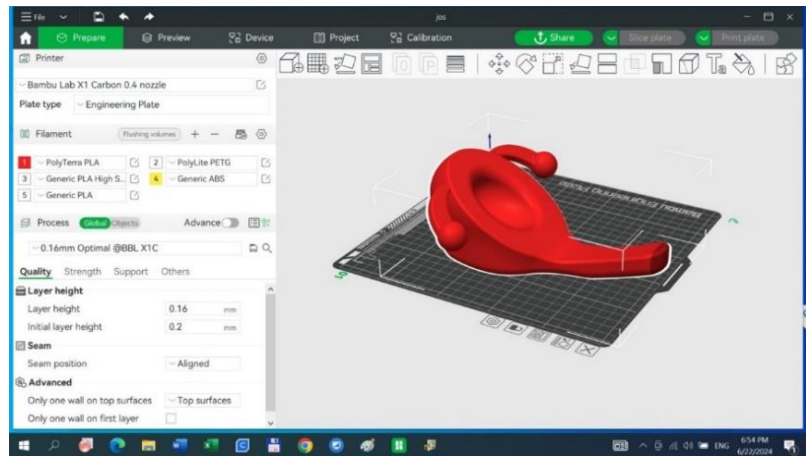


Fig. 6.5 Modelul pentru imprimarea părții inferioare a carcasei uterului

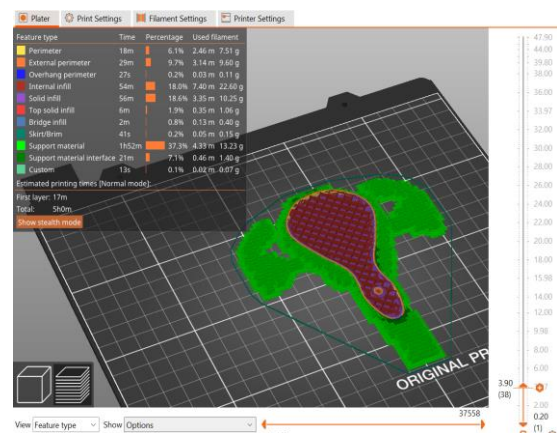


Fig. 6.7 Conversia *Slicing*, de secționare după plane paralele horizontale

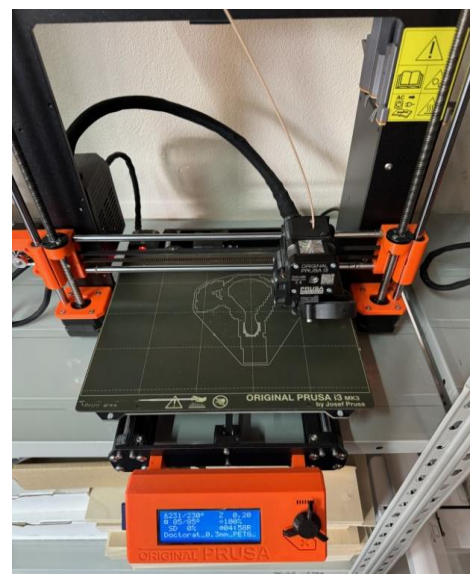


Fig. 6.8 Trasarea traiectoriei extrudorului

6.3 Caracteristici generale ale soluţiei propuse

Odată cu deformarea torsului inferior se deformează și uterul iar în zona placentei se conturează mecanismul de traumatizare a acesteia prin strivire și chiar rupere. Deformațiile abdomenului au fost măsurate la nivelul exterior al învelișului (epidermei) manechinului cu ajutorul unei centuri special concepute și realizată practic în scopul rezolvării obiectivelor tezei, care are în componență cinci unități *IMU NANO3310T*, dispuse la distanțe egale pe lungimea arcadei abdominale orizontale de aproximativ 39 cm, a se vedea figura 6.15.

Fixarea manechinului în scaun se realizează cu ajutorul unei centuri de siguranță în trei puncte, iar spătarul și șezutul scaunului sunt reglate la 45° față de orizontală respectiv verticală, figura 6.16.

Autoturismul real și cel virtual pregătit în vederea desfășurării testelor experimentale pentru coliziune frontală reală și în laborator, iar manechinul echipat cu soluția concepută, proiectată și realizată de autor, este prezentat în figura 6.18 poziția *a*, iar pentru testele virtuale cu manechin configurat din baza de date *LS-DYNA*, structura *FEM* a cestuia, fiind prezentat în poziția *b*.

6.4 Caracteristicile constructive ale dispozitivului-manechin utilizat

6.4.1 Caracteristici antropometrice

Configurația abdomenului cu sarcină este importantă pentru cunoașterea optimă a interacțiunii cu centura de siguranță, volanul, perna airbag sau planșa bord, în timpul desfășurării unei coliziuni.

În acest scop s-a realizat o colaborare de specialitate medicală cu Cabinetul medical Cotarcea Smărăndița Obstetrică-Ginecologie Craiova, fiind urmărită evoluția sarcinii pentru un eșantion de 21 femei însărcinate, Anexa 3. În cazul fiecărei persoane s-au efectuat o serie de

*a**b*

Fig. 6.18 Sistemul autoturism-manechin pentru cercetare: experimentală-*a*, virtuală LS-DYNA-*b*
măsurători pentru a caracteriza mărimea abdomenului cu sarcină pe parcursul a trei sesiuni de teste efectuat la 3, 6 și 8 săptămâni de perioadă embrionară a sarcinii.

6.4.2 Construcţia soluţiei propuse pentru complexul uter-embriion

Realizarea modelului prototip a luat în considerare informaţiile antropometrice ale unui subiect uman femeie cu sarcină de până la 8 săptămâni, descrise anterior, fără a fi necesare modificări ale pelvisului sau ale învelișului abdominal, figura 6.14, poziția *a* și figura 6.11, poziția *a*.

Au fost concepute, realizate și testate mai multe soluții constructive în ceea ce privește vâscoelasticitatea, caracteristicile inerțiale, comportamentul la solicitarea în locuri și după direcții diferite ale abdomenului. În acest context s-au utilizat două modele identice de uter, cu fluid, și materiale de diferite rigidități, fără a fi posibilă mobilitatea sensorului embrion la interiorul acestuia, figura 6.19 poziția *a*. Uterul propus este realizat prin stratificare cu fuziune aditivă, metodă dezvoltată la paragraful 6.2, din două părți: *uter carcasă* și *capsula membrană dublă*, adaptate dezvoltării componentelor de manechin, prezentate în figura 6.10. Aceste elemente reprezintă un factor pozitiv în analiză, sunt necesare dar ridică probleme de biofidelitate sau repetabilitatea testelor dar și măsurarea variabilelor de înțeles care pot fi corelate cel mai bine cu riscul de vătămare sau chiar pierderea sarcinii. Astfel s-a realizat uterul cu sarcină ce include fătul și cordonul ombilical dar fără trofoblast în prima etapă, urmând ca pentru soluții viitoare să se adauge și acest element, dacă rezultatele testelor dovedesc necesitatea includerii lui.

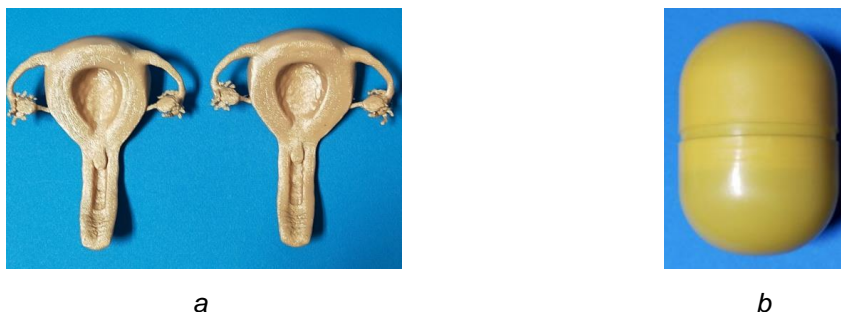


Fig. 6.19 Modele uter testate: *a* - materiale diferite și *b* - formă cilindrică

Implementarea soluției constructive uter cu sarcină pe manechin, se realizează prin dispunerea acestuia în plan sagital, având partea inferioară la nivelul vertebrei coloanei sacrale *S1* iar partea superioară a uterului poziționată la nivelul vertebrei *L4* a coloanei lombare după o dreaptă înclinată cu un unghi de până la 30°, figura 6.20.

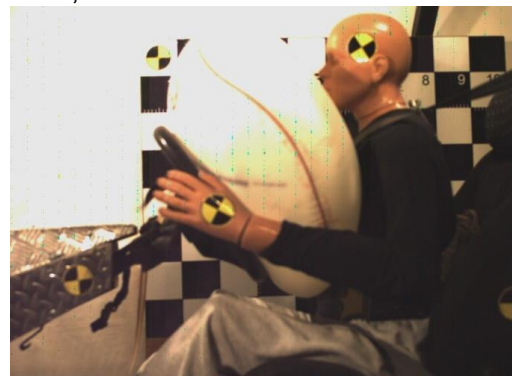


Fig.6.22 Teste de contact airbag-abdomen

6.4.3 Încercări experimentale pe stand

Investigarea riscului de traumatizare la nivel abdominal a conducătorului auto în timpul ciocnirii, s-a realizat prin probe de coliziune cu viteza de 4 și 6 m/s . S-a măsurat accelerația coloanei vertebrale.

Analiza solicitării directe a abdomenului s-a realizat în condiții de laborator pe stand folosind un impactor pentru comprimarea constantă de 16%. Odată cu măsurarea comprimării abdomenului și a vitezei de aplicare a solicitării s-a măsurat accelerația triaxial în două puncte la nivelul coloanei lombare, și la nivelul limitei exterioare a abdomenului în cinci puncte. Presurizarea pernei airbag a fost analizată prin încercări experimentale pe stand astfel încât partea inferioară a acesteia să intre în contact cu torsul superior la nivelul apendicelui sternului sau la 75 mm sub acesta, figura 6.22. Se remarcă faptul că fenomenul de afundare în șezutul scaunului poate fi simulat în condiții experimentale de laborator cu manechine dacă centura de siguranță este poziționată la un nivel ridicat superior ombilicului sau prin înclinarea accentuată a spătarului scaunului în raport cu verticala și implicit a spatelui manechinului.

Constatăm accentuarea influențelor asupra uterului odată cu modificarea de poziție a coloanei vertebrale în plan sagital ca răspuns la contactul cu sectorul volan ori cu perna airbag.

6.5 Concluzii

În capitol sunt analizate și prezentate principalele etape pentru obținerea componentelor prin fuziune aditivă pe imprimante 3D.

În scopul efectuării cercetărilor experimentale s-a propus pentru complexul uter-embriion o soluție constructivă economică dar performantă, a fost utilizat soft de ultimă generație pentru modelarea-simularea fenomenului.

Dotarea tehnică și informatică pentru investigațiile experimentale este realizată în mare parte de autorul tezei în colaborare cu cadre didactice din Universitatea *Transilvania* din Braşov și Universitatea din Craiova.

Pentru realizarea procesului de fabricare prin Tehnologia de fuziune aditivă *FDM* fost utilizat un pachet software dedicat care permite reducerea însemnată a programului de activități generând o imagine generală de perspectivă cu privire la rezistența mecano-termică a filamentelor adoptate pentru realizarea componentelor.

Datorită posibilităților de alegere dintr-o varietate poliformă de caracteristici tehnologice, șansa realizării reperului în condițiile impuse de autor este maximă.

CAPITOLUL 7

Analiza comparativă a datelor teoretice și experimentale

7.1 Stabilirea coordonatelor centrului de masă

Luând în considerare cele prezentate în capitolele anterioare și anume faptul că unele dintre dispozitivele de măsurare sunt direct dependente de coordonatele centrului de masă am realizat o analiză a acestora privind poziția corectă pentru identificarea posibilităților de amplasare a aparaturii de măsurare în vederea eliminării erorilor de montare și amplasare a aparaturii.

Pentru stabilirea coordonatelor plan longitudinal, transversale cât și în plan vertical ale centrului de masă s-a utilizat subrutina *centr_gr*, obținând următoarele caracteristici:

7.1.1 Coordonata verticală

Pentru rularea subrutinei în vederea stabilirii coordonatei verticale a centrului de masă s-au utilizat valorile obținute pe cale experimentală pentru autoturismului pregătit în scopul realizării probelor de ciocnire frontală.

În figura 7.2 sunt afișate fluctuațiile sarcinilor pe punțile vehiculului în raport cu unghiul de înclinare ale acestora. Valorile determinate pentru m (fluctuația încărcării) sunt afișate gradual, potrivit figurii. Se observă că în fiecare scenariu de încărcare a vehiculului (fără nici o încărcătură, încărcat parțial, încărcat la maxim) m fluctuează proporțional cu ridicarea automobilului. În baza măsurătorilor au fost trasate caracteristicile cu originea la intersecția axelor de coordonate ale sistemului în care abscisa

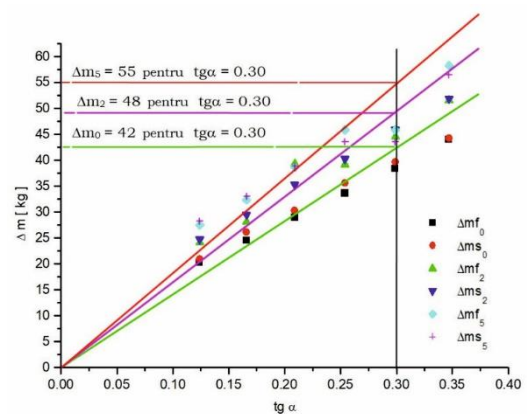


Fig. 7.2 Poziția centrului de masă raportat la încărcare

este ridicarea automobilului tg iar variația masei măsurate m pe ordonată. S-a notat m_f fluctuația masei distribuită pe puntea față iar m_s fluctuația masei distribuite pe puntea din spate. Cu indicele inferior 0 s-a notat vehiculul gol, figura 7.2, indicele 2 corespunde masei automobilului încărcat cu două persoane, identic pentru indicele 5 ce corespunde unei încărcături de cinci persoane și bagaj. Caracteristica oferă o determinare ușoară a datelor m , ce se iau în calcul pentru stabilirea înălțimii centrului de greutate.

7.2 Analiza solicitărilor manechinului protejat cu centura și pernă airbag

7.2.1 Încărcarea toracelui la nivelul coastei T12-L1

Studiul comportamentului cinematic al manechinului în ciocnirea frontală urmărește variația în funcție de timp a componentelor rezultantei mișcării, vitezei și accelerației liniare. Variația accelerațiilor toracelui, la nivelul nodului T12, al șoferului stabilite analitic prin modelarea virtuală a impactului, sunt incluse în publicații ale standardelor leziunilor [105]. Pentru sincronizarea unităților IMU s-a convenit ca axa longitudinală să fie denumită axa y

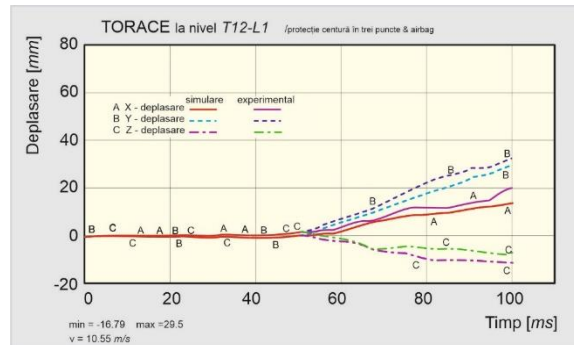


Fig. 7.5 Variația componentelor deplasării

Mișcarea liniară a toracelui pe axa x , y și z este redată în figura 7.5. Se remarcă aspectul că maximul de 30.0 mm se realizează la 100 ms, pe axa longitudinală y .

Mișcările în sensul axei z sunt mai scăzute, aspect ce detaliază tipul de coliziune și procesul instrumentelor pentru limitarea mișcării.

Maximele componentelor vitezei atinge valoarea de 11.982 mm/ms, după axa y , la momentul de timp de 85 ms, figura 7.6. Obținerea valorilor mici ale vitezelor în sensul axelor x și z se datorează faptului că deplasarea pe axa x este restrânsă prin centura de siguranță și perna airbag și modul ciocnirii.

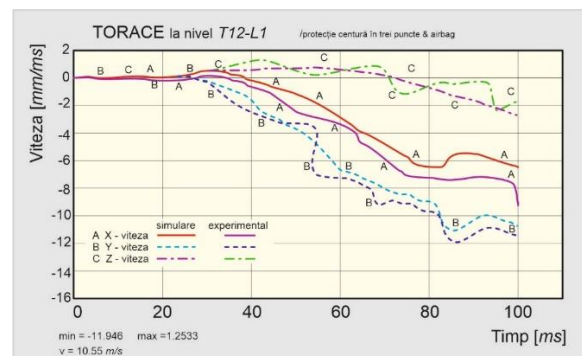


Fig. 7.6 Variația componentelor vitezei

Ca urmare a reconstituirii virtuale a ciocnirii, au fost ilustrate fluctuațiile accelerațiilor triaxiale x , y și z măsurate la vertebra T12.

În condițiile date se observă că accelerația longitudinală, pe y , atinge valori ridicate. Astfel, a fost măsurată valoarea accelerației toracelui la nivelul coastei T12 ca fiind de 30 g la timpul de 70 ms, figura 7.7.

Normativul FMVSS Nr. 208 limitează pentru torace maximul accelerației la 60 g. Constatăm că această limită a accelerației nu este depășită, situație în care severitatea leziunilor în zona toraco-abdominală va fi de nivel moderat. Aceleași normative prevăd

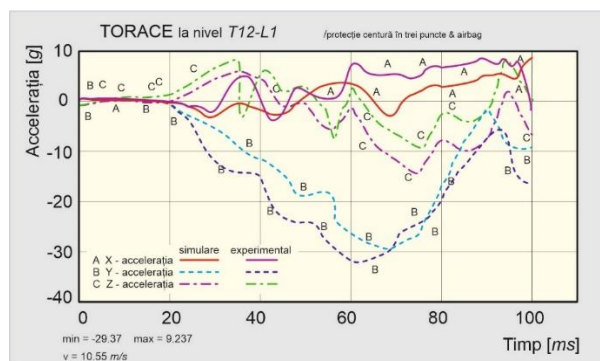


Fig. 7.7 Variația componentelor accelerației

valoarea maximă 1000 pentru criteriul severităţii toracelui *CSI*, ca aceasta să fie compatibilă cu supravieţuirea.

Poziţionare corectă a conducătorul auto la volan şi folosirea centurii de siguranţă împreună cu perna airbag, în cazul ciocnirii frontale cu acoperire totală, pentru viteza de 39 *km/h*, rezultă din figura 7.8 că nu se produc traumatisme zonei abdominale *T12-L1* care să pună viaţa în pericol. Programul de calcul a generat şi inscripţionat valoarea pentru indicele *CSI*, ca fiind 191, mărime ce se află mult sub limita impusă de reglementările testelor experimentale cu ciocnire.

7.2.2 Solicitarea Inelului pelvian

Poziţia pelvisului dată prin componentele mişcării liniare pe axa *x*, *y* şi *z* expusă grafic în figura 7.9. Amplitudinea mişcării pelvisului este de 35.907 *mm*, observată la timpul 100 *ms*, după axa longitudinală.

Mişcarea pe celelalte axe, *x* şi *z*, este redusă, fiind justificată de modul ciocnirii şi limitarea mişcării de către dispozitivele siguranţei pasive.

Maxima vitezei în mărime de 5.873 *mm/ms* este identificată pentru axa longitudinală *y*, la timpul 100 *ms* al simulării, figura 7.10.

Vitezele liniare în sensul axelor *x* şi *z* sunt relativ mici fiind justificate de modul ciocnirii investigat respectiv de fixarea manechinului în scaun cu centura de siguranţă în trei puncte cu bretea ventrală şi peste umăr, astfel că pelvisul poate totuşi aluneca prin scufundare pe sub centură, deci nu îi este stopată mişcarea liberă în totalitate.

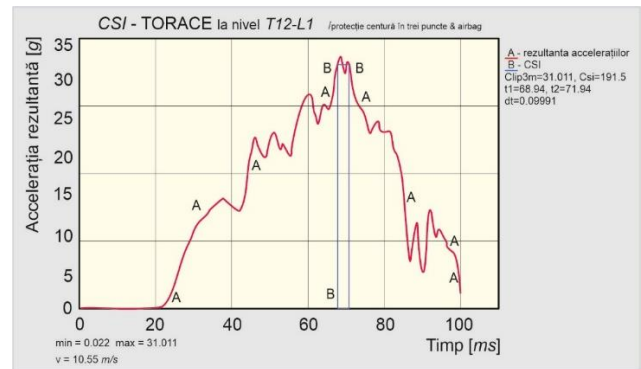


Fig. 7.8 Valoarea *CSI*

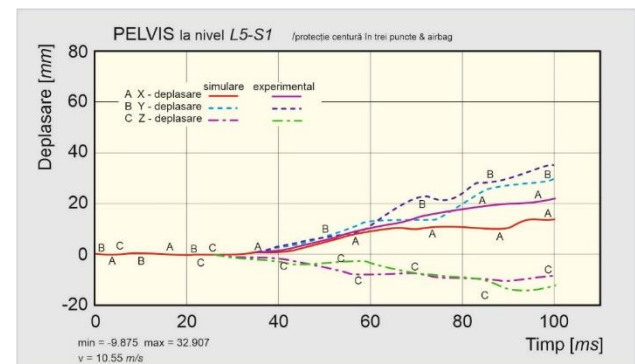


Fig. 7.9 Variaţia componentelor deplasării

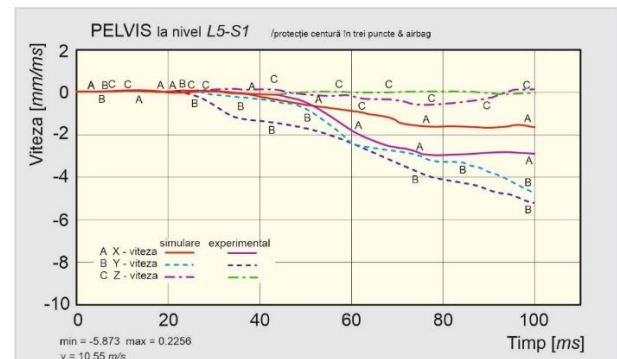


Fig. 7.10 Variaţia componentelor vitezei

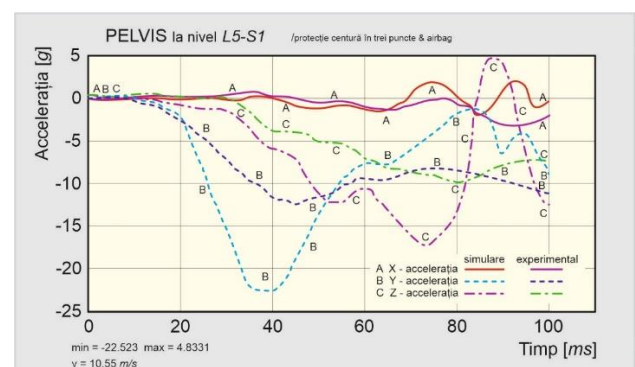


Fig. 7.11 Variaţia componentelor acceleraţiei

Componentele triaxiale ale accelerației liniare, pe x , y și z măsurate în articulația vertebrelor lombo-sacrale $L5-S1$ ale manechinului sunt redată în figura 7.11. Valorile importante ca mărime apar după componenta longitudinală a accelerației, axa y .

Valoarea maximă a accelerației longitudinale, măsurată în interiorul centurii pelviene la $L5-S1$, este de $22.523 g$ la timpul $38 ms$.

Pentru viteza măsurată în articulația coxo-femurală stânga și dreapta s-a observat maximul de $11.75 mm/ms$ la momentul $100 ms$ pe direcție longitudinală, iar accelerația după axele x , y și z , a înregistrat $34 g$ la momentul $32 ms$, pentru femurul din partea dreapta.

7.3 Analiza solicitărilor manechinului protejat cu centura de siguranță

7.3.1 Încărcarea zonei toraco-abdominală la nivelul coastei T12-L1

Mișcarea este prezentată în cele ce urmează, împreună cu viteza, figurile 7.13 și 7.14, în care se constată pentru momentul $100 ms$ mișcarea longitudinală până la $19.3 mm$ cât și viteza după aceeași traiectorie cu valoarea maximă de $10.132 mm/ms$.

În cadrul încercărilor experimentale au fost măsurate și variațiile accelerațiilor, pe x , y și z , la nivelul torsului șoferului, constatându-se că accelerația transversală ajunge până la un maxim de $19.8 g$ pentru momentul de timp $100 ms$, a se vedea figura 7.15. Chiar dacă a fost utilizată numai centura de siguranță fără airbag, limita maximă conform normativului *FMVSS Nr. 208* pentru accelerație a fost mai mică, ceea ce se înseamnă leziuni de gravitate redusă la nivelul abdomenului.

Normele *FMVSS Nr. 208* și *CMVSS 208* prevăd valoarea maximă 1000 pentru CSI , ca aceasta să fie compatibilă cu supraviețuirea.

Vârful accelerației pe y este atins după $85 ms$ de la începutul impactului, cu variații

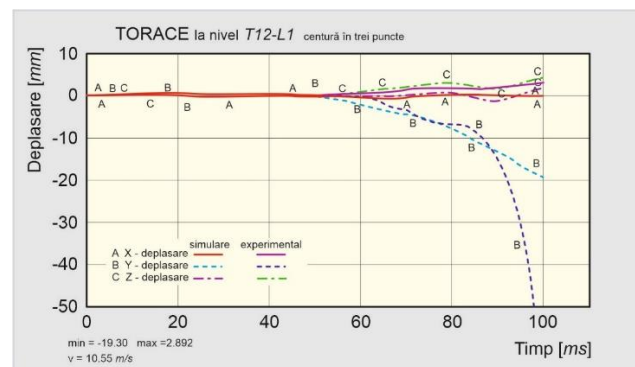


Fig. 7.13 Variația componentelor deplasării liniare

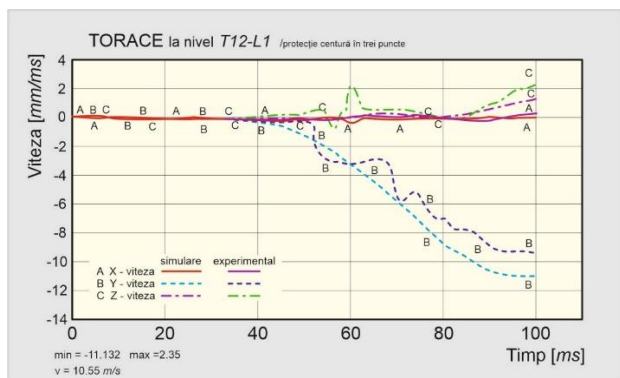


Fig. 7.14 Variația componentelor vitezei liniare

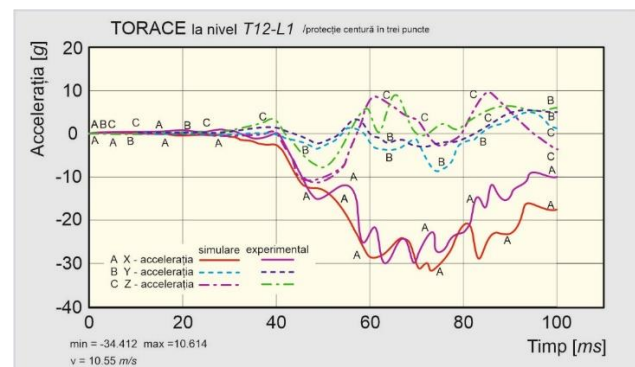


Fig. 7.15 Variația componentelor accelerației liniare

semnificative ale acceleraţiei pe axa x , conform figurii 7.19. Între 52-57 ms , acceleraţia longitudinală atinge un maxim de 16 g , mult mai mare decât acceleraţia transversală.

În concluzie, absenţa sistemelor pentru limitarea mişcării atrage modificări importante de poziţie, viteză şi acceleraţie în plan longitudinal ca urmare a faptului că pelvisul manechinului se mişcă liber fără constrângeri.

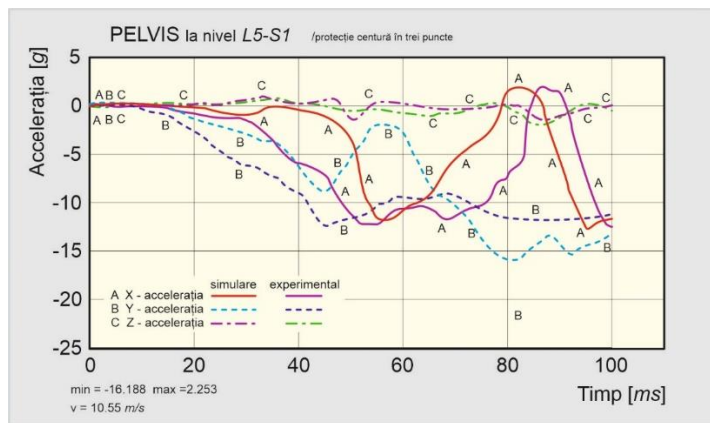


Fig. 7.19 Componentele acceleraţiei liniare

7.4 Concluzii

Pentru amplasarea dispozitivelor și aparatelor din sistemul de măsurare a variabilelor de interes direct dependente de poziția centrului de masă, trebuiau determinate coordonatele acestuia în plan longitudinal, transversal și vertical.

În acest scop, s-a formulat și elaborat un program în limbajul Turbo Pascal pentru determinarea poziției centrului de masă. Programul utilizează valorile constante ale masei totale a autoturismului, masei punții din față/spate, ampatamentului și razei dinamice a roții, care se sprijină pe platforma cântarului. De la tastatură sunt introduse valorile pentru înălțimea de ridicare, și masa punții din față/spate corespunzătoare înălțimii de ridicare, în funcție de caz, generând la final caracteristicile pentru stabilirea coordonatelor centrului de masă în raport cu sarcina transportată.

Analiza informațiilor obținute în urma testelor experimentale de ciocnire frontală la diferite viteze cu soluția tehnică propusă s-a realizat acoperind zona abdominală în general și a uterului cu sarcină în special pentru situația când manechinul este protejat de centura de siguranță și perna airbag, figurile 7.5-7.12 inclusiv stabilirea indexului CS /figura 7.8 și situația când manechinul este protejat numai cu centura de siguranță, figura 7.13-7.20 inclusiv estimarea indexului CS /figura 7.16.

Prezentarea în mod grafic a rezultatelor din figurile 7.1-7.20 sunt parte dintre informațiile teoretice ale modelului analitic privind sistemul scaun-manechin-sistem de protecție, și analizate prin comparație cu rezultatele obținute pe cale experimentală.

Studiul curbelor redade pun în evidență diferențele dintre valorile mărimilor obținute prin calcul și mărimile obținute pe cale experimentală dar care se încadrează în erorile de cercetare, ceea ce înseamnă că modelarea analitică și simulările virtuale cât și testele reale sunt confirmate ca fiind corecte ce pot realiza studii detaliate ale comportamentului dinamic al manechinului în cazul impactului lateral al automobilului.

Concluzii, Contribuţii originale, Propuneri pentru viitor

Activitatea industriei auto la nivel global este ghidată de cerinţele de transport şi de necesitatea protecţiei şoferilor, pasagerilor, participanţilor din exterior şi mediului înconjurător. Lucrarea prezintă o analiză metodică cu privire la protecţia ocupanţilor în general şi a conducătorului auto în special.

Pentru evoluţie, producătorii de automobile se bazează pe studiul cerinţelor certe ale pieţei autentice eliminând gabaritul şi performanţele excesive în favoarea îmbunătăţirii stabilităţii în deplasare, confortului sporit al călătoriei respectiv a creşterii siguranţei în circulaţia rutieră

Automobilul, fiind o unitate indispensabilă de locomoţie trebuie să asigure unele condiţii, precum ţinuta de drum şi manevrabilitatea bune, funcţionare fără defectiuni, exploatare ieftină, confortul interior, şi protecţie în timpul incidentelor rutiere. Îmbunătăţire gradului de confort şi a siguranţei active şi pasive a automobilelor este un principiu esenţial în evaluarea fabricatelor, în comparaţie cu cerinţele pieţei şi ofertele concurenţei, context în care analiza tuturor informaţiilor este indispensabilă în adoptarea deciziilor.

Legislaţia cu privire la siguranţa circulaţiei trebuie respectată cu stricteţe.

Concurenţa intensă la atragerea şi menţinerea unei cote din piaţă trebuie să fie crucială în procesul de concepţie şi proiectare. Unele tratate conferă Uniunii Europene responsabilizări importante, bine definite, în scopul reducerii numărului de incidente din traficul rutier. Putem spune că protecţia sistemului rutier se completează cu aplicarea riguroasă îndelungă a normativelor siguranţei circulaţiei.

Informaţiile privitoare la problematicile siguranţei sunt esenţiale la activitatea organizatorică de cercetare în acest sector, precum şi la estimarea performanţelor măsurilor dispuse. În acest scop trebuie în acest scop informaţiile cu privire la performanţele siguranţei automobilelor şi la traumatisme trebuie fie bine organizate.

Astfel siguranţa pasivă a automobilului deţine o pondere importantă, ce creşte de la an la an.

Obiectivele constante ale producătorilor de automobile sunt: viteză, preţ mic, confort ridicat, siguranţă, astfel că toate informaţiile benefice asumării unor decizii trebuie acceptate.

Posibilităţile oferite de noile tehnologii la realizarea siguranţei dorite, sunt numeroase în condiţii de laborator, care însă trebuie confirmate de situaţiile reale.

Analizând evoluţia sistemelor de siguranţă pasivă, se poate observa că prin perfecţionările continue aduse dispozitivelor pentru limitarea mişcării (centuri de siguranţă, sisteme airbag, scaune, tetiere) şi a componentelor acestora, s-a ajuns la dezvoltarea pernei airbag adaptivă cu presurizare multiplă. Aceasta a fost posibilă odată cu introducerea microprocesoarelor pentru controlul şi comanda capsulelor pirotehnice, a generatoarelor de presiune şi a poziţiei tetierei.