

 Adresă : Strada Calea Severinului, Nr. 40, Craiova, Cod poștal 200609 Judetul Dolj, România Telefon: +40 351 409151; +40 351 409152 +40 351 409153; +40 351 409155 Fax: +40 351 178948; +40 351 178949 Nr. reg. comerțului: J16/61/1999, Capital social: 727500 RON, CUI: RO11492278 E-mail: softronic@softronic.ro http://www.softronic.ro	 SR EN ISO 9001:2008 Certificat SMC nr. 037 SR EN ISO 14001:2005 Certificat SMM nr. 104 SR EN ISO 18001:2008 Certificat SSO nr. 079  TIMIȘOARA EN ISO 3834-2 Certificat 015/1/2011
--	--

SC SOFTRONIC CRAIOVA
DIRECTOR GENERAL
Ing. GÎRNIȚĂ ION

Program PARTENERIATE

Subprogram “Proiecte Colaborative de Cercetare Aplicativă”

CONTRACT: Nr. 192/2012 ”Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la coliziuni a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene” acronim SIPDSI-VTF

FAZA 01: Studiu privind stadiul actual al metodelor si modelelor pentru evaluarea rezistentei la coliziuni a vehiculelor feroviare

TERMEN: 15.12.2012

Responsabil proiect: Dr. Fiz. Ion Manea

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 2
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

CUPRINS

1	Necesitatea și obiectivele proiectului	7
1.1	Necesitatea proiectului	7
1.2	Obiectivele proiectului	9
1.3	Termeni și definiții	9
2	Studiu privind stadiul actual al metodelor și modelelor pentru evaluarea rezistenței la coliziuni a vehiculelor feroviare.....	11
2.1	Introducere	11
2.2	Principii generale privind rezistența la coliziuni ale vehiculelor feroviare.....	12
2.3	Tehnici de evaluare a rezistenței la coliziuni	19
2.3.1	Tehnici experimentale (încercări)	19
2.3.1.1	Încercări la scară naturală	19
2.3.1.2	Încercarea pe componente.....	20
2.3.2	Tehnici analitice	21
2.3.2.1	Prezentare generală a tehnicilor analitice.....	21
2.3.2.2	Tehnici de analiză a cinematicii coliziunilor vehiculelor feroviare.....	24
2.4	Cerințe internaționale de proiectare și realizare a vehiculelor feroviare rezistente la coliziuni 26	
2.5	Cerințe actuale de siguranță pasivă privind rezistența la coliziuni pentru vehicule feroviare	31
2.5.1	Categoriile de proiectare a vehiculelor feroviare la siguranță pasivă	31
2.5.2	Scenarii de proiectare la coliziune.....	32
2.5.3	Siguranță pasivă structural	33
2.5.3.1	Principii generale	33
2.5.3.2	Încălecarea	34
2.5.3.3	Spațiu de supraviețuire, intruziune și ieșire de ajutor	34
2.5.3.4	Limită de decelerație/impuls de coliziune	35
2.5.3.5	Plug de obstacole	35
2.5.4	Validarea aptitudinii la coliziune	37
2.5.5	Cerințe ale unui program de validare	38
2.5.5.1	Specificații de încercare.....	38
2.5.5.1.1	Program de încercare	38
2.5.5.1.2	Criterii de acceptare pentru încercările de calibrare/validare	38
2.5.5.2	Simulări numerice.....	39
2.5.5.2.1	Validare model numeric	39

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 3
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

2.5.5.2.2	Modelarea simulării.....	39
2.6	Tehnici de asigurare a siguranței pasive pentru structurile vehiculelor feroviare.....	40
2.6.1	Structura de rezistență a vehiculelor feroviare convenționale.....	40
2.6.2	Structura de rezistență a vehiculelor rezistente la coliziune.....	41
2.7	Principalele tipuri de elemente de absorbție a energiei utilizate la vehicule feroviare	42
2.7.1	Tampoane	42
2.7.2	Cupla automată.....	45
2.7.3	Sisteme tubulare de absorbție a energiei primare de coliziune	46
2.8	Practici internaționale privind realizarea de vehicule feroviare rezistente la coliziuni.....	50
2.8.1	Practica Stadler Rail pentru GTW DMU/EMU II.....	50
2.8.2	Practica Bombardier	52
2.8.3	Practica Skoda	54
2.8.4	Practica Acela (Statele Unite)	55
2.8.5	Practica TGV (France)	55
2.9	Metode moderne de analiză și de evaluare a rezistenței la impact a vehiculelor feroviare	56
2.9.1	Analiza statică	57
2.9.2	Analiza dinamică.....	58
2.9.3	Analiza rezistenței la coliziuni a vehiculelor feroviare	59
2.10	Stadiul actual al SC SOFTRONIC Craiova în domeniul realizării de vehicule feroviare	61
2.10.1	Locomotive electrice	61
2.10.1.1	Locomotiva electrică de 5100 kW Pheonix	61
2.10.1.2	Locomotiva electrică de 6000 kW TransMontana.....	63
2.10.2	Trenul Electric Regional SB-EMU	65
2.10.2.1	Dotări pentru satisfacerea cerințelor privind rezistența la coliziuni ale vagonului motor 65	
2.10.2.1.1	Cupla automată	66
2.10.2.1.2	Șasiul și pereții laterali	66
2.10.2.1.3	Cabina de conducere și peretele de capăt al cabinei de conducere.....	67
2.10.2.1.4	Absorbitorul de șoc.....	67
2.10.2.1.5	Plugul de obstacole.....	68
2.10.2.1.6	Dispozitiv tată de interconectare vagon motor – vagon purtător.....	69
2.10.2.2	Dotări pentru satisfacerea cerințelor privind rezistența la coliziuni ale vagonului purtător 69	

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 4
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

2.11	Strategia de derulare a proiectului în domeniul analizei rezistenței la coliziuni a vehiculelor feroviare realizate de SC Softronic Craiova.....	70
2.11.1	Achiziții necesare pentru realizarea proiectului	70
2.11.1.1	Software de analiză cu elemente finite,	71
2.11.1.2	Stație grafică	74
2.11.1.3	Laptop	74
2.11.1.4	Instalație pentru încercarea la vibrații și analiza structurală	75
2.11.1.5	Echipament pentru controlul vibrațiilor și analiza structurală	76
2.11.1.6	Traductoare și accesorii pentru încercarea la vibrații și analiza structurală experimentală	77
2.11.2	Strategia de derulare a proiectului în domeniul analizei rezistenței la coliziuni a Trenului Electric Regional SB-EMU	79
2.11.2.1	Încercări statice pe cutia vagonului motor, în vederea calibrării modelele analitice..	79
2.11.2.2	Încercări dinamice pe absorbitorul de șoc, în vederea calibrării modelele analitice..	79
2.11.2.3	Încercări de analiză modală pentru determinarea modurilor proprii de vibrație, în vederea calibrării modelele analitice.....	79
2.11.2.4	Încercări funcționale pentru determinarea răspunsului vibratoriu al Trenului Electric Regional SB-EMU	80
2.11.2.5	Analiza la coliziuni a plugului de obstacole	80
2.11.2.6	Analiza la coliziuni a Trenului Electric Regional SB-EMU.....	80
2.11.2.6.1	Coliziune cu tren identic aflat în staționar	81
2.11.2.6.2	Coliziune cu vagon feroviar de 80 000kg.....	81
2.11.2.6.3	Coliziune cu obstacol mare deformabil de 15 000kg	81
2.11.3	Strategia de derulare a proiectului în domeniul analizei rezistenței la coliziuni a Locomotivelor Electrice de 5100kW și 6000kW	82
3	Bibliografie.....	86

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 5
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

LISTA FIGURILOR

Fig. 2.1. Statistica principalelor accidente feroviare produse în perioada 1980 – 1990 și a tipurilor de coliziune [1].....	12
Fig. 2.2. Dependenta de viteza a energiei de deformare pantru cazul coliziunii cu un vehicul identic aflat în staționar (trasa negru) sau în mișcare (trasa rosu) cu aceeași viteză	15
Fig. 2.3. Dependenta de viteză și accelerația medie a lungimii de deformare pantru cazul coliziunii cu un vehicul identic aflat în staționar (a=1m/s ² -trasa negru, a=2m/s ² -trasa rosu, a=3m/s ² -trasa albastru, a=4m/s ² -trasa verde, a=5m/s ² -trasa magenta).....	18
2.4. Model simplificat de analiză cu mase concentrate a unei garnituri de vagoane supusă unei coliziuni cu un perete fix.....	25
Fig. 2.5 Zonă de degajare a scaunului mecanicului.....	35
Fig. 2.6. Aplicarea încărcării la plugul de obstacole.....	36
Fig. 2.7 Secțiune longitudinală prin structura unui vehicul feroviar realizat pentru a fi rezistent la coliziuni.....	41
Fig. 2.8. Sistemul EST Duplex G1.A1, Berlin, septembrie 2004	43
Fig. 2.9. Sistemul EST Duplex G1.A1, în stare normală și în stare deformată.....	44
Fig. 2.10. Exemplu de acționare a tamponelor EST Duplex G1.A1 după un accident feroviar.....	44
Fig. 2.11. Cuplă automată	45
Fig. 2.12. Reprezentarea scenariilor de coliziune prevăzute prin EN 15227:20011	46
Fig. 2.13. Sisteme de absorbitori tubulari de energie realizați prin sudare și prindere prin șuruburi[26]	47
Fig. 2.14. Caracteristica statică forță-deformare a unui tub gol supus la forțe axiale de compresiune... ..	48
Fig. 2.15. Schema privind poziționarea absorbitorului de energie pe vehicul feroviar	48
Fig. 2.16. Caracteristici de încărcare axială forțe-deformare și structuri deformatate, pentru sistemele de amortizare tubular din oțel și aluminiu, realizat prin prindere cu sudură sau șuruburi sub Cazul 2 de impact la 36km/h [26]	49
Fig. 2.17. Trenul regional GTW DMU/EMU II.....	50
Fig. 2.18. Concepția structurală privind rezistența la coliziuni a trenului regional GTW DMU/EMU II[37].....	51
Fig. 2.19. Simularea scenariul 3 de coliziune, starea deformată [37]	52
Fig. 2.20. Simularea scenariul 3 de coliziune, caracteristicile forțelor de coliziune [37]	52
Fig. 2.21. Lovomotiva TRAXX F140 AC2 - Bombardier	52
Fig. 2.22. Aranjarea dispozitivelor de siguranță pentru partea frontală a locomotivei TRAXX F140 AC2	53
Fig. 2.23. Simularea unei situații de coliziune frontală realizată cu o machetă a părții frontale a locomotivei TRAXX F140 AC2	54
Fig. 2.24. Caracteristici ale forțelor înregistrate la simularea unei situații de coliziune frontală cu macheta părții frontale a locomotivei TRAXX F140 AC2	54
Fig. 2.25. Skoda 109E concepută pentru a satisface necesitățile EN15227 privind rezistența la impact	54
Fig. 2.26. Trenul de pasageri TGV Duplex – Franța.....	55
Fig. 2.27. Accident feroviar pe data de 18 februarie 2011 când un tren TGV a lovit un autoturism BMW la pasaj de cale ferată.....	56
Fig. 2.28. Rezultatul analizei statice comparative, teoretică și experimentală, pentru o cutie de vehicul feroviar [38].....	57
Fig. 2.29. Rezultatul unei analize statice efectuată pe un model analitic calibrat [38]	58

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 6
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Fig. 2.30. Primele trei forme modale ale unui vagon de pasageri determinate prin analiză modală teoretică [38].....	58
Fig. 2.31. Scenarii de coliziune ale unui vehicul feroviar cu diverse tipuri de obstacole, la viteza de 110 km/h [39]	60
Fig. 2.32. Rezultatul coliziunii frontale la 110 km/h cu un obiect deformabil de 40t (stânga) și cu un obiect deformabil de 15t (dreapta) [39].....	60
Fig. 2.33. Locomotiva electrică de 5100 kW Pheonix	61
Fig. 2.34. <i>Trenul Electric Regional SB-EMU</i>	65
Fig. 2.35. Vagonul motor al Trenului Electric Regional SB-EMU.....	65
Fig. 2.36. Cupla automată și caracteristica sa de forță	66
Fig. 2.37. Modul de montare al cuplei automate.....	66
Fig. 2.38. Șasiul și pereții laterali ai vagonului motor	66
Fig. 2.39. Cabina de conducere și peretele de capăt al cabinei de conducere	67
Fig. 2.40. Absorbitorul de șoc	67
Fig. 2.41. Plugul de obstacole, vedere generală și modul de aplicare a sarcinilor de încercare	69
2.42. Dispozitiv tată de interconectare vagon motor – vagon purtător	69
2.43. Vagonul purtător al Trenului Electric Regional SB-EMU	70
2.44. Dispozitiv mamă de interconectare vagon purtător – vagon motor	70
Fig. 2.45. Model analitic utilizat pentru analiza scenariilor de coliziune	80
Fig. 2.46. Tampon EST-G1-200.....	82
Fig. 2.47. Caracteristica specifică forță – cursă pentru tamponale EST G1-200	82
Fig. 2.48. Coliziunea LE 5100kW– cireadă de vaci la viteza de 100 km/h	83
Fig. 2.49. Dispozitiv de amortizare cu lichide magnetoreologice – schema de funcționare.....	84

LISTA TABELELOR

Tabel 2-1. Criterii de Rănire Umană (HIC - Human Injury Criteria) pentru vehicule de transport.....	23
Tabel 2-2. Norme Nord Americane pentru rezistența la coliziuni a vehiculelor feroviare de persoane și de tracțiune	27
Tabel 2-3 Norme Europene pentru rezistența la coliziuni a vehiculelor feroviare de persoane și de tracțiune	28
Tabel 2-4. Categoriile de aptitudine la coliziune a vehiculelor feroviare	32
Tabel 2-5 Scenarii de coliziune și obstacole de coliziune	32
Tabel 2-6 Cerințe de performanță pentru pluguri de obstacole	33
Tabel 2-7. Principale caracteristici tehnice ale cuplei automate pentru rame multiple	45
Tabel 2-8. Masa estimată de coliziune a Trenului Electric Regional SB-EMU.....	81

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 7
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

1 NECESITATEA ȘI OBIECTIVELE PROIECTULUI

1.1 Necesitatea proiectului

La nivel mondial, este unanim acceptat faptul că transportul feroviar reprezintă unul dintre cele mai sigure mijloace de transport, având în același timp o pondere foarte importantă, dacă nu chiar cea mai importantă, în transportul de marfa și persoane.

Locul de lider în transportul mondial este asigurat de câteva caracteristici pe care le prezintă transportul feroviar: capacitate mare de transport, viteză mare de circulație, siguranță sporită, preț scăzut comparativ cu alte mijloace de transport, capacitate mare de organizare și planificare, capacitate sporită de utilizare eficientă a tehnologiilor nepoluante, protejarea și utilizarea de lungă durată a infrastructurii de transport.

Un factor important care a dus la revigorarea transportului feroviar în domeniul transportului de persoane a fost introducerea în circulație a trenurilor electrice modulare de tip *Electric Multiple Unit (EMU)*. Aceste trenuri (numite și rame electrice) sunt destinate în principal transportului regional, specific transportului de persoane spre/dinspre centrele urbane dezvoltate și micile centre urbane și suburbane.

Trenurile EMU sunt optimizate pentru variații mari ale numărului de pasageri, opriri și porniri la distanțe scurte și o viteză medie ridicată. Au o disponibilitate crescută datorată fiabilității superioare față de trenul clasic cu locomotivă și vagoane, iar consumurile energetice și costurile pentru exploatare sunt cu cca. 45% mai mici. Prezintă flexibilitate superioară variantei clasice și avantajele de exploatare pe parcursuri regionale sau extraregionale.

În Europa, cele mai multe unități de transport feroviar fabricate în ultimii 10 ani sunt trenuri de tip EMU, tendința fiind ca transportul de călători să se realizeze, cu acest mijloc de transport.

Totți marii producători europeni de mijloace de transport pe calea ferată au introdus în fabricație trenuri de tip EMU (Bombardier, Alstom, Siemens). În mod curent aceștia au dezvoltat liniile de fabricație pentru carcasa și boghiuri, preferând integrarea de componente produse de diverse firme de prestigiu precum, ABB, Knorr, Voith, Allinox, Ansaldo, Brichel.

Aliniindu-se tendinței generale, și având în vedere perspectiva și necesitatea lărgirii pieței de desfacere, partenerul beneficiar al prezentului proiect, SC Softronic Craiova, a achiziționat în 2010 un *know-how* având ca obiect proiectarea și punerea în fabricație a trenurilor electrice multiple de tip SB-EMU cu alimentare la 3kV/DC și 25 kV/50Hz, în vederea acoperirii unei piețe de desfacere largite, atât pentru România cât și pentru piața externă.

Abordarea *Softronic* urmează același principiu ca al celorlalți producători europeni de mijloace de transport: va fabrica carcasele de vagon și boghiurile și va integra componente produse de firme de prestigiu, recunoscute în rândul furnizorilor de componente pentru vehicule feroviare.

Trenul Electric Regional SB-EMU fabricat de *Softronic* va fi o unitate de transport formată din 4 vagoane interconectate, două motor de capăt și două purtător la mijloc. Pe parcursul realizării, pe componente, și la final de execuție, pe prototip, *Trenul Electric Regional SB-EMU* va fi supus unor complexe încercări pentru determinarea performanțelor structurale și funcționale și va trebui să corespundă tuturor normativelor europene din punct de vedere al dinamicii și al siguranței și securității în transport.

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 8
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

În strategia SC Softronic Craiova un loc distinct îl ocupa dezvoltarea vehiculelor feroviare de mare putere, în particular a locomotivelor de marfă, care în continuare necesită efort de cercetare pentru rezolvarea multor probleme privind dinamica și calitatea mersului. Acesta este de fapt sectorul în care Softronic s-a consacrat și și-a câștigat loc de lider necontestat în economia românească, fiind recunoscut și pe plan mondial.

Pentru ambele variante de vehicule feroviare, de marfă și de călători, o mare provocare o constituie alinierea la normativele internaționale privind comportarea la coliziuni.

În cazul *SB-EMU* problema satisfacerii cerințelor privind comportarea la coliziuni a fost abordată încă din faza de proiect, acesta fiind conceput din punct de vedere structural pentru a satisface necesitățile celor mai recente standarde internaționale în domeniu.

Probleme apar la alinierea locomotivelor de tractiune de mare putere la cerințele privind securitatea la coliziuni, având în vedere că în conformitate cu normativele din domeniu, accesul pe calea ferată din spațiul european va fi permis doar vehiculelor feroviare care satisfac această cerință.

Prezentul proiect vizează abordarea în parteneriat, universitate - institut de cercetări - întreprindere, de cercetări aplicative pentru realizarea unor soluții inovative în vederea evaluării și optimizării performanțelor dinamice, respectiv a siguranței ghidării și a calitatii mersului, la vehiculele de tractiune feroviare fabricate de SC Softronic Craiova. De asemenea, prin proiect sunt abordate cercetări pentru evaluarea securității la coliziuni și optimizării structurale prin utilizarea analizei combinate, teoretică și experimentală, conform noului normativ european SR EN 15227 „Railway applications - Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies / Aplicații feroviare – Cerințe de siguranță pasivă contra coliziunii pentru structurile cutiilor de vehicule feroviare”.

Activitățile în cadrul proiectului sunt orientate spre două direcții majore de cercetare:

A.Cercetări aplicative privind dinamica vehiculelor feroviare. Aceste cercetări vizează:

- A.1. Determinarea forțelor de interacțiune roata – șină.
- A.2. Determinarea coeficientului de suplete.
- A.3. Studiu circulației peste aparatele de cale.
- A.4. Studiu înscrierii în curbe și al forței de interacțiune cu cale de rulare.
- A.5. Studiu miscării de serpuire. Determinarea vitezei critice la serpuire.
- A.6. Studiul calitatii mersului. Soluții pentru optimizarea calitatii mersului.

B.Cercetări aplicative privind securitatea la coliziuni. Aceste cercetări vizează:

B.1. Analiza combinată, teoretică și experimentală, a rezistenței structurale a vehiculelor feroviare și evaluarea comportării la coliziuni conform normativului european prEN 15227.

B.2. Analiza operațională a vibrațiilor generate sau induse pe structura locomotivei, cu evaluarea sollicitărilor dinamice, operaționale sau tranzitorii, care apar la nivelul principalelor echipamente de bord și de automatizare în vederea verificării la vibrații și socuri, conform cu nivelul real de la locul de montaj.

B.3. Proiectarea, realizarea și experimentarea unui dispozitiv, cu fluid magnetoreologic, de preluare a energiei de coliziuni, cu decelerare controlată, suportabilă de factorul uman și a unui dispozitiv “frecare programată”, pentru îmbunătățirea calitatii mersului vehiculelor feroviare.

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 9
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

1.2 Obiectivele proiectului

1. Realizarea unor solutii moderne pentru determinarea teoretica si experimentală a factorilor privind dinamica si calitate mersului vehiculelor de tractiune feroviara.

2. Realizarea unor tehnologii bazate pe analiza teoretica si pe analiza structurala experimentală pentru dimensionarea si optimizarea structurală si pentru evaluarea rezistentei la coliziuni a noilor vehicule de tractiune feroviara în conformitate cu normativul prEN 15227.

3. Realizarea unor tehnologii moderne bazate pe analiza operațională pentru evaluarea nivelului real de solicitare al principalelor echipamente de bord și de automatizare în vederea încercării la vibrații si socuri în conformitate cu starea vibratorie reală la locul de montaj.

4. Realizarea si experimentarea unui dispozitiv cu fluid magnetoreologic de preluare a energiei de coliziuni si a unui dispozitiv cu “frecare programată”, montat în suspensia secundară, pentru îmbunătățirea calitatii mersului vehiculelor feroviare.

1.3 Termeni și definiții

Pentru utilizarea acestei lucrări, se aplică termenii și definițiile următoare:

Siguranță activă: sistem și măsuri care acționează pentru a împiedica producerea unei coliziuni

Risc în general acceptabil: nivel de risc care nu este considerat ca fiind semnificativ, în contextul în care este experimentat

Masă de coliziune: luată ca sumă a masei de proiectare pentru starea normală de funcționare și a masei de 50% din călători așezați

Aptitudine la coliziune: aptitudine de a atenua consecințele unei coliziuni în mod controlat și de a reduce riscul de rănire a ocupanților

Zonă deformabilă: parte a cutiei vehiculului (în general la extremitățile vehiculului) care este proiectată pentru a suporta o deformație controlată și a absorbi energia

Strivire: deformare plastică excesivă, care reduce semnificativ volumul delimitat de structura vehiculului

Scenariu de proiectare la coliziune: (= scenariu/caz limită de coliziune) cea mai severă coliziune/caz pentru fiecare scenariu dat, împotriva căruia este oportună protejarea și care este, în consecință, aplicabil pentru necesitățile proiectării pe baza unei analize de accident de coliziune

Vehicul reversibil: vehicul, nemotorizat, echipat cu o cabină de conducere și care este conceput pentru a fi exploatat în trafic general și care nu face parte dintr-o unitate feroviară de configurație fixă

Dispozitiv de absorbție a energiei: dispozitiv fixat pe structură, dar din care nu face parte din structura vehiculului și care este conceput pentru a se deforma în mod controlat și pentru a absorbi energia (de exemplu aparate de tracțiune absorbante de energie)

Scaun fix: scaun permanent în cabină care este ocupat în exploatare normală (de exemplu, nu poate fi pliat în caz de neutilizare)

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 10
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Încercare la scară reală: încercare pe structura considerată cu macheta de încercare formată din toate dispozitivele adecvate, la scara proiectată

Locomotivă: vehicul motor cu post de conducere exploatabil la cele două capete (sau o cabină unică exploatabilă în cele două sensuri), care are numai funcția să furnizeze putere motoare unei garnituri de vehicule și care este conceput pentru a fi exploatat în trafic general și care nu face parte dintr-o unitate feroviară în configurație indivizibilă

Forță netă de contact: diferență între forțele longitudinale care acționează asupra extremităților opuse ale vehiculului (de exemplu suma algebrică a forțelor longitudinale) în fiecare moment

Condiții normale europene de exploatare: condiții de exploatare comparabile cu cele descrise în documentele listate în bibliografie

Operator feroviar: organizație care are responsabilitatea de a defini cerințele tehnice ale vehiculului feroviar pentru a realiza exploatarea prevăzută și a răspunde criteriilor de omologare

Siguranță pasivă: sisteme care reduc consecințele unui accident în cazul în care acesta se întâmplă

Deformație plastică/deformație permanent: deformație asociată tensiunilor superioare eforturilor teoretice a materialelor sau limitei de elasticitate și care nu sunt reversibile atunci când nu se mai aplică încărcarea

cap Motor: vehicul motor cu cabină de conducere exploatabilă numai la o singură extremitate, care are numai funcția să furnizeze putere motoare pentru o ramă de vehicule, și care este proiectat pentru exploatarea în trafic general și nu ca o parte permanentă a unei unități feroviare în configurație indivizibilă

Tren de referință: configurație a trenului utilizat pentru verificarea și validarea vehiculelor (cuprinde locomotive, capete motoare și vehicule reversibile)

Reglementări: cerințe stipulate în legislație, în standarde și în alte documente mandatate prin legislație

Furnizor: organism care are responsabilitatea furnizării vehiculelor, astfel încât acestea să satisfacă reglementările și cerințele funcționale ale operatorului feroviar

Spațiu de supraviețuire: volum al cutiei vehiculului care include ocupanți, care trebuie să fie menajat în timpul coliziunii limită (de exemplu zonele ocupate, fără a include intercomunicațiile)

RTE (TEN): **Rețea** Trans Europeană definită în Directivele CE 1996/48/CE, 2001/16/CE și 2004/50/CE

unitate feroviară: configurație de exploatare a unei garnituri unice de vehicule cuplate care se ia în considerare în acest standard european

V_{lc}: viteza maximă de exploatare a unei unități feroviare la o trecere de nivel (cea mai mică valoare dintre viteza maximă a unității și de viteza liniei de cale ferată)

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 11
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

2 STUDIUL PRIVIND STADIUL ACTUAL AL METODELOR SI MODELELOR PENTRU EVALUAREA REZISTENTEI LA COLIZIUNI A VEHICULELOR FEROVIARE

2.1 Introducere

Transportul feroviar reprezintă unul dintre cele mai sigure mijloace de transport public și de marfă, aceasta datorându-se în principal controlului dirijat al traficului în asociere cu aplicarea de măsuri de înaltă siguranță activă. Cu toate acestea, în ciuda tuturor măsurilor luate, accidentele feroviare nu au putut să fie eliminate, determinând ca în ultimele două decenii obiectivul asigurării siguranței transportului feroviar să fie orientat către siguranța pasivă, aceasta devenind o problemă de o importanță tot mai mare, în industria feroviară. Necesitatea complementării măsurilor de siguranță activă cu măsuri de siguranță pasivă rezultă din faptul că primul gen de măsuri elimină sursele previzibile de accident, neexistând posibilitatea prevederii accidentelor care au ca sursă factori aleatorii, precum coliziuni accidentale cu obstacole pe parcurs sau la treceri de cale ferată, erori de manevrare datorate factorului uman, defecte accidentale ale vehiculelor feroviare sau ale semnalizărilor, etc.

În acest sens, la nivel european, administrațiile feroviare, operatorii feroviari, institute de cercetare în domeniul feroviar și principalii producători de material rulant au convenit la o abordare sistematică a soluțiilor de creștere a siguranței pasive, pornind de la analiza cauzelor care au condus la accidente și au favorizat consecințele agravante ale acestora. S-a convenit la necesitatea asigurării unor măsuri de protecție pasivă prin deformare controlată a anumitor zone ale structurii vehiculului feroviar, oferind mijloace de protecție atunci când toate posibilitățile de prevenție activă au eșuat.

Au fost investigate un număr mare de accidente feroviare produse în ultimele două decenii și s-a ajuns la un consens unanim în definirea unor recomandări relevante în domeniu și la elaborarea unor standarde pe care trebuie să le respecte toate vehiculele feroviare care au acces pe căile ferate din spațiul european.

O analiză a celor mai importante accidente feroviare arată că cele mai multe decese și răni grave ale ocupanților au apărut ca urmare a coliziunilor frontale, adesea însoțite de supraînălțarea și încălecare a carcaselor vehiculelor de capăt. Prin urmare, cele mai eficiente mijloace de reducere a victimelor în rândul pasagerilor și echipajului de deservire presupun concentrarea atenției către proiectarea unor vehicule de capăt care să reziste la compresiune și care să evite fenomenul de supraînălțare și încălecare.

Necesitățile se reflectă atât în caietele de sarcini ale beneficiarilor de vehicule feroviare cât și în legislație, în acest sens putându-se menționa British Group Standard GM/RT 2100, standardul EN15227, normele TSI (Technical Specifications for Interoperability), sau reglementările FRA (Federal Railroad Administration).

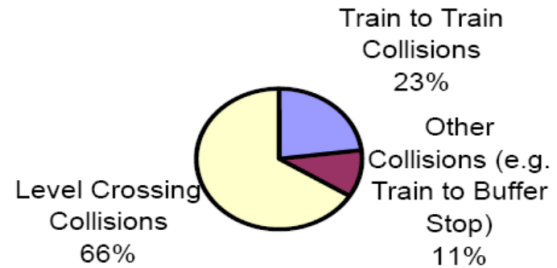
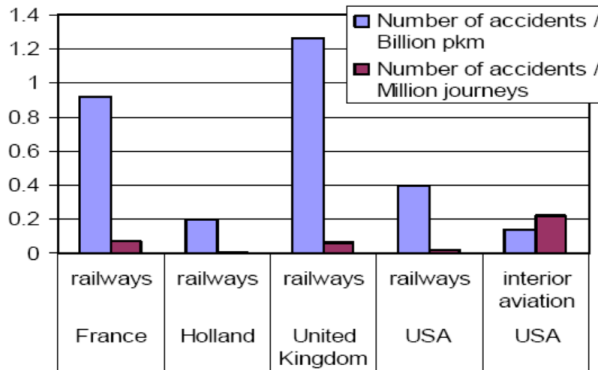
În figura 1 este prezentată o statistică a principalelor accidente feroviare produse în perioada 1980 – 1990 și a tipurilor de coliziune.

Statistica evidențiază faptul că cele mai multe accidente sunt cele la traversări de nivel, care sunt dificil de eliminat prin măsuri de protecție activă. De asemenea un procent mare revine accidentelor realizate prin coliziuni frontale tren – tren.

Pornind de la aceste necesități, de dată relativ recentă a apărut un concept nou, Managementul Energiei de Deformare, cunoscut sub abrevierea de CEM de la Crash Energy Management, care reprezintă o strategie modernă de proiectare ce include zone de deformare controlată în locuri neocupate de pasageri sau de către personalul de deservire a vehiculului. Aceste zone sunt concepute pentru a se zdrobi la niveluri de forță mai mici decât cele din compartimentele ocupate de pasageri sau

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 12
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

de mecanic. Printr-o inginerie adecvata a zonelor de deformare, energia de coliziune poate fi disipată în spațiile neocupate ale trenului, menținând astfel integritatea și siguranța zonelor ocupate.



Statistica principalelor accidente feroviare produse în perioada 1980 - 1990

Statistica accidentelor produse în Europa în perioada 1991 - 1995

Fig. 2.1. Statistica principalelor accidente feroviare produse în perioada 1980 – 1990 și a tipurilor de coliziune [1]

Securitatea pasagerilor și a personalului de deservire depinde de configurația și severitatea accidentului, precum și de ingineria măsurilor de protecție la coliziune și deformare a vehiculului.

În cadrul prezentului studiu atenția este orientată către măsurile de protecție pasivă recomandate de standardul european EN 15227 „Railway applications - Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies” / SR EN 15227 „Aplicații feroviare – Cerințe de siguranță pasivă contra coliziunii pentru structurile cutiilor de vehicule feroviare” care a devenit standardul de referință pentru noile generații de vehicule feroviare care vor fi admise pentru circulație în spațiul comunitar european.

Standardul acoperă toată gama de vehicule de calatori și de marfă, pornind de la tranvaie, metrou, trenuri de navetă, trenuri de mare viteză și terminând cu trenurile de marfă.

Standardul a fost elaborat de Comitetul Tehnic CEN/TC 256 „Railway Applications” sub un mandat dat de Comisia Europeană și de ”Asociația Europeană a Liberului Schimb” (European Free Trade Association).

2.2 Principii generale privind rezistența la coliziuni ale vehiculelor feroviare

Vehiculele feroviare sunt supuse la o varietate de riscuri de coliziune în regimul lor normal de funcționare. Severitatea acestor accidente și, prin urmare, potențialul de vătămare corporală a ocupanților, depinde de o serie de factori care includ: configurația căii de rulare, tipul de tren, numărul de vehicule din componența trenului, viteza de impact, masele în coliziune, natura obstacolelor, etc.

Pornind de la o analiză statistică a celor mai frecvente accidente feroviare, normativele în vigoare consideră patru tipuri de scenarii de coliziune:

- O coliziune frontală între două unități feroviare identice;
- O coliziune frontală cu diferite tipuri de vehicule feroviare;
- O coliziune frontală a unei unități feroviare cu un vehicul rutier de mare tonaj la un pasaj de nivel;
- O coliziune a unei unități feroviare cu un obstacol scund (de exemplu, un autoturism pe un pasaj de nivel, un animal, obstacole oarecare etc.).

În cadrul fiecărui scenariu, accidentele pot fi grupate după direcția și locul impactului:

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 13
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

- Coliziune frontală. Acest tip de coliziune implică un impact între două locomotive de tracțiune care operează pe aceeași cale.
- Coliziune din spate. În acest tip de accident, vehiculul principal (de multe ori o locomotivă) ciocnește din spate a unui alt tren care operează pe același traseu. Vehiculul de la partea din spate poate fi un vagon sau o locomotivă împingătoare.
- Coliziune laterală. Acest tip de accident este mai puțin răspândit comparativ cu cele două menționate anterior și poate apărea într-o varietate de moduri: ca urmare a intrării vehiculului pe o linie adiacentă (de exemplu, la schimbătorul de cale), contactul dintre două vehicule ale aceleiași garnituri care a fost supusă la flambaj lateral, contactul dintre vehiculele din trenuri diferite aflate pe căi de rulare adiacente. Impact lateral pot să apară, de asemenea, între un vehicul din componența trenului și un vehicul terestru, cum ar fi un automobil sau un camion.

După cum sa menționat anterior, un vehicul feroviar care să reziste la un scenariu de coliziune este unul care oferă un mediu sigur pentru ocupanții săi în timpul evenimentului.

Ocupanții vehiculului pot fi răniți sau omorâți prin două mecanisme principale care pot să apară la accelerare sau la decelerarea bruscă vehiculului, sau din cauza deteriorării structurii mecanice sau a echipamentelor din componență:

- În prima fază, definită coliziune primară, energia cinetică este progresiv disipată prin mecanisme de deformare plastică ale structurilor deformabile. În această fază, cele mai importante obiective sunt integritatea compartimentului personalului ocupant (pasageri și mecanic) și asigurarea unui nivel de accelerație suportabil de către personal, structura de rezistență și sistemele de legătură ale diverselor echipamente.
- În faza a doua, definită coliziune secundară, ocupanții sunt supuși la o varietate de evenimente potențial neplăcute, precum contacte ocupant/ocupant, ocupant/interior sau ocupant/echipamente desprinse din vehicul prin cedarea legăturilor.

Protecția ocupanților împotriva efectelor coliziunii primare implică elemente de proiectare a vehiculului care vizează deformarea controlată a structurii, mecanismele de gestionare a energiei cinetice, menținerea integrității compartimentului pasagerilor, precum și o accelerație suportabilă în compartimentul pasagerilor sau mecanicului.

Se menționează că într-un tren, comportamentul cinematic al ansamblului stabilește condițiile inițiale de impact cu care se confruntă fiecare vehicul component în timpul accidentului.

Protecția împotriva leziunilor rezultate din coliziuni secundare presupune luarea în considerare a configurației interioare a compartimentului vehiculului și rigiditatea suprafețelor de contact definită prin caracteristica forță-deformare, precum și reacția biomecanică umană la forțele de impact și accelerații. Trebuie remarcat faptul că natura și severitatea acestor ciocniri secundare sunt, de asemenea, legate de accelerația de răspuns a vehiculului, deoarece această accelerație influențează viteza de contact a ocupanților relativ la interiorul compartimentului.

Structura vehiculului feroviar trebuie concepută pentru a rezista atât solicitărilor datorate condițiilor normale de funcționare cât și solicitărilor care apar în condiții limită de exploatare, precum coliziuni. Mai mult decât atât, structura este supusă la o varietate de constrângeri, cum ar fi dimensiunea, greutatea, costuri de fabricație / asamblare, considerente estetice, etc.

În mod curent starea de solicitare care apare într-un scenariu de coliziune constituie un eveniment unic, nerepetabil, care rezultă din amplitudinea solicitărilor apărute pe durata impactului, când structura este solicitată dincolo de limita de elasticitate, în gama de așa-numitului răspuns de deformare plastică. În acest stadiu de solicitare, deformarea unor elemente structurale devine permanentă, persistând și după înlăturarea cauzelor care au generat-o. Structura este sacrificată pentru a

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 14
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

proteja alte elemente considerate prioritare, în particular aceste elemente putând fi pasageri, mecanic sau marfă de valoare.

Structura oricărui vehicul este concepută pentru a asigura două funcții de bază legate de rezistența la coliziune:

- să acționeze ca o anvelopă protectoare în jurul valorilor din compartimentul ocupanților sau mecanicului;
- să disipeze, într-un mod controlat, energia cinetică a impactului, cu un minim de pagube materiale, în condițiile asigurării unei accelerări/decelerări controlată, protejând pasagerii și mecanicul.

Ultima funcție, servește și ca mecanism pentru limitarea accelerației sau decelerației în compartimentul pasagerilor/mecanicului, într-un efort de a reduce numărul accidentelor și de a atenua severitatea coliziunilor secundare.

Evenimentul de coliziune supune structura la o încărcare severă caracterizată de forțe de mare intensitate și de durată scurtă. Aceste forțe cauzează deformații tranzitorii care se întind de la deformații elastice mici până la deformații plastice mari, permanente.

Deformațiile plastice ale unor metale ductile din structura vehiculului implicat în coliziune pot constitui o modalitate bună de disipare a energiei cinetice a maselor în mișcare. Printr-o proiectare adecvată, structura vehiculului poate servi ca un dispozitiv economic și eficient de atenuare a impactului pentru a protejarea pasagerii și mecanicul în cazul unei coliziuni. Gradul de succes al unei astfel de măsuri depinde de mai mulți factori de proiectare, de configurația accidentului, de viteza de impact și de masele implicate în impact.

Modul în care structura se deformează în timpul coliziunii determină distribuția accelerației pe structura vehiculului. Media spațială a distribuției accelerației-timp suportată de pasageri/mecanic este frecvent referită ca pulsul de coliziune al vehiculului. Forma globală, amplitudinea și durata pulsului de coliziune are o influență semnificativă asupra cinematicii ocupanților vehiculului și a potențialului de rănire care decurge din contactele coliziunii secundare din interiorul compartimentului și/sau interacțiunile ocupanți cu structurile fixe ale vehiculului.

Managementul energiei cinetice, felul cum aceasta este transformată în energie potențială de deformare plastică a unor structuri convenabil alese sunt esențiale în diminuarea pagubelor.

Două legi fizice fundamentale reglementează răspuns global al structurii vehiculelor implicate într-o coliziune: legea de conservare a impulsului și legea de conservare a energiei totale.

În prezenta lucrare va fi analizat cazul simplu de impact coliniar între două vehicule feroviare pentru a obține expresii ale cantității de energie cinetică care trebuie să fie disipată de structura vehiculului și pentru a ilustra alte fenomene de interes despre scenarii de coliziune.

În formulare matematică cele două legi de conservare ale impulsului și energiei totale sunt:

$$2.1 \quad \mathbf{M}_1 \mathbf{V}_1 + \mathbf{M}_2 \mathbf{V}_2 = \mathbf{M}_1 \mathbf{V}'_1 + \mathbf{M}_2 \mathbf{V}'_2.$$

$$2.2 \quad \frac{1}{2} \mathbf{M}_1 \mathbf{V}_1^2 + \frac{1}{2} \mathbf{M}_2 \mathbf{V}_2^2 = \frac{1}{2} \mathbf{M}_1 \mathbf{V}'_1^2 + \frac{1}{2} \mathbf{M}_2 \mathbf{V}'_2^2 + E_d \quad \text{unde:}$$

- $\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2$ – Masa vehiculelor
- $\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2$ – Viteza vehiculelor înainte de ciocnire
- $\mathbf{V}'_1, \mathbf{V}'_2$ – Viteza vehiculelor după de ciocnire
- E_d - Energia disipată prin deformarea structurii în timpul impactului de coliziune.

Partener P1 SC SOFTRONIC CRAIOVA	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 15
	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

În cadrul prezentei abordări se neglijează energia disipată prin frecări și alte mecanisme de disipare care sunt neglijabile comparativ cu energiile cinetice și de deformare schimbate în coliziune.

Pentru simplificare, în continuare se presupune că structura ambelor vehicule posedă proprietăți de deformare complet plastică (fără recuperare în energie cinetică prin revenire elastică), în regiunea în care are loc deformarea. În acest fel, presupunem că viteza celor două vehicule, după ciocnire, va fi V_f .

$$2.3 \quad V_f = V'_1 = V'_2.$$

Substituind 2.3 în 2.1 se obține viteza finală a celor două vehicule:

$$2.4 \quad V_f = (M_1 V_1 + M_2 V_2) / (M_1 + M_2)$$

Substituind 2.3 și 2.4 în 2.2 se obține energia totală disipată în timpul coliziunii:

$$2.5 \quad E_d = \frac{M_1 \cdot M_2}{M_1 + M_2} \cdot \frac{(V_1 - V_2)^2}{2} = \frac{M_1 \cdot M_2}{M_1 + M_2} \cdot \frac{(V_c)^2}{2} \quad \text{unde,}$$

$$2.6 \quad V_c = V_1 - V_2$$

V_c – reprezintă viteza relativă anterioară impactului.

Este de notat că E_d , energia totală absorbită în coliziune, poate fi interpretată ca un indicator al potențialului de distrugere care poate fi provocat vehiculelor în coliziune.

Considerând cazul unei locomotive cu masa de 126.000kg, care are viteza de 36 km/h și se tamponează frontal cu o locomotivă identical ce stă pe loc, rezultă o energie totală de 3.15 MJ care treduie disipată în coliziune.

Considerând cazul a două locomotive identice, cu masa de 126.000kg, care au vitezele de 36 km/h și se tamponează frontal, rezultă o energie totală de 12.6 MJ care treduie disipată în coliziune.

În figura 2.2 este reprezentată dependenta de viteza a energiei de deformare pentru cazul coliziunii cu un vehicul identic aflat în staționat (trasa negru) sau în mișcare cu aceeași viteză (trasa rosu).

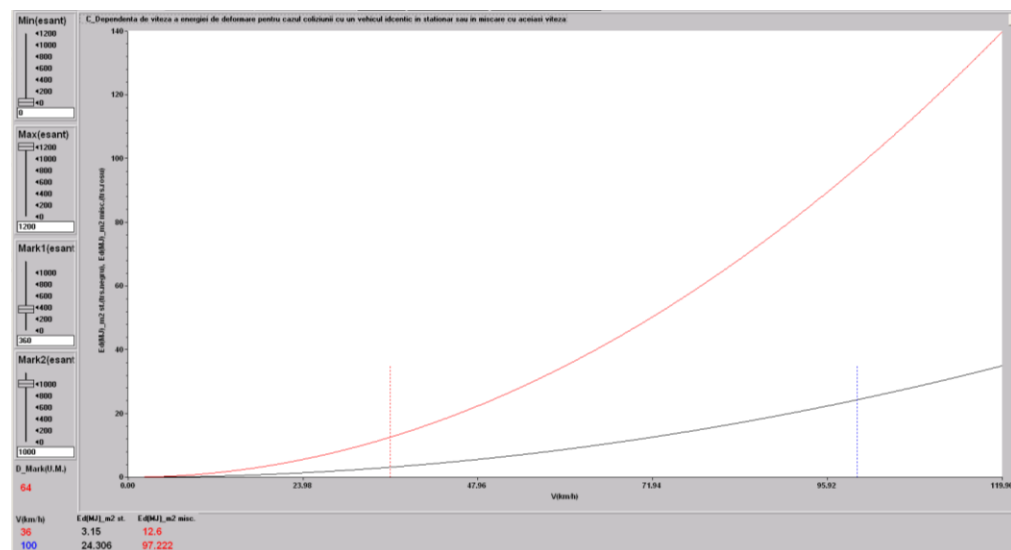


Fig. 2.2. Dependenta de viteza a energiei de deformare pantru cazul coliziunii cu un vehicul identic aflat în staționat (trasa negru) sau în mișcare (trasa rosu) cu aceeași viteză

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 16
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Ecuatiile 2.4 și 2.5 arată că viteza finală comună a ambelor vehicule și energia disipată în timpul impactului depind doar de masele vehiculelor și de vitezele dinaintea impactului, fiind independente de caracteristicile individuale de deformare. Ar părea că acești parametri nu depind de ingineria constructivă a elementelor structurale ale vehiculelor în coliziune. Pentru fiecare coliziune rezultă o cantitate fixă de energie cinetică, care trebuie să fie disipată de către structurile vehiculelor. Modul în care această energie este distribuită între vehicule depinde de ingineria structurală și de materialele utilizate în construcția lor. În general, o determinare exactă a acestei distribuții necesită cunoașterea proprietăților de deformare, forță-deformare ale zonelor care se deformează în timpul scenariului de coliziune.

În realitate lucrurile stau puțin diferit. Vehiculele sunt compuse din elemente structurale și componente/ansambluri funcționale care prezintă un răspuns elasto-plastic la deformare, componenta elastică manifestându-se în perioada de început a impactului, când forțele de impact nu au depășit o anumită valoare limită. Peste limita de elasticitate se intră în zona deformațiilor plastice, care se încadrează în formularistica prezentată anterior.

Pentru coliziuni violente, formularistica are un grad mare de exactitate a fenomenelor care se petrec într-un proces de coliziune și poate fi utilizată.

Astfel, în lipsa fenomenului de încălecare, sau a unor structuri încurcate, două vehicule implicate într-o coliniare coliniară ar începe să se separe în momentul de strivire maximă, pe care în ecuația 5 să îl considerăm momentul t_d . Fenomenul de recuperare prin mecanisme elastice a unei părți din energia consumată pentru deformarea structurii începe de la t_d , structurile deformate ale vehiculelor se vor destinde oarecum, având ca rezultat producerea unor viteze diferite pentru cele două vehicule în coliziune. Mișcare de recul a vehiculelor are ca rezultat recuperarea unei părți din energia consumată la deformare, reducând în acest fel cantitatea de energie cinetică consumată. Pentru situația vehiculelor feroviare de tonaj și de viteză mare, recuperarea energiei elastic este neglijabil de mică în comparație cu energia absorbită de structura vehiculului în evenimentul de coliziune.

Energia totală absorbită prin deformarea permanentă a structurii se poate exprima prin relația:

$$2.7 \quad \mathbf{E}_d = \mathbf{E}_{d1} + \mathbf{E}_{d2} \quad \text{unde,}$$

E_{d1} și E_{d2} reprezintă energia absorbită de vehiculele 1 și 2.

Considerând evenimentele pe durata de timp a realizării coliziunii, și considerând media forțelor care realizează deformațiile plastice, se utilizează relația de echivalență a energiei cinetice ca lucru mecanic pentru realizarea deformațiilor și se rescrie relația 2.7 în următoarea formă:

$$2.8 \quad \mathbf{E}_d = \bar{\mathbf{F}}_1 \cdot \mathbf{L}_1 + \bar{\mathbf{F}}_2 \cdot \mathbf{L}_2 \quad \text{unde,}$$

$\bar{\mathbf{F}}_1$ și $\bar{\mathbf{F}}_2$ respectiv \mathbf{L}_1 și \mathbf{L}_2 reprezintă forțele medii care acționând asupra vehiculelor 1 și 2 realizează deformațiile L_1 respectiv L_2 .

Se utilizează principiul al doilea al dinamicii pentru exprimarea forțelor medii de interacțiune:

$$2.9 \quad \bar{\mathbf{F}}_1 = \mathbf{M}_1 \cdot \bar{\mathbf{a}}_1 \quad \text{respectiv} \quad \bar{\mathbf{F}}_2 = \mathbf{M}_2 \cdot \bar{\mathbf{a}}_2 \quad \text{unde,}$$

$\bar{\mathbf{a}}_1$ și $\bar{\mathbf{a}}_2$ sunt accelerațiile medii ale centrelor de masă ale vehiculelor 1 și 2.

Utilizarea centrului de masă în ecuațiile 2.9 constituie o aproximație de ordinal 1 pentru mișcarea de corp rigid a vehiculelor care interacționează cu forțele medii $\bar{\mathbf{F}}_1$ și $\bar{\mathbf{F}}_2$ la interfața de

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 17
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

coliziune. Conform principiului al treilea al dinamicii, forțele de interacțiune dintre cele două vehicule sunt egale, deci:

$$2.10 \quad \mathbf{M}_1 \cdot \bar{\mathbf{a}}_1 = \mathbf{M}_2 \cdot \bar{\mathbf{a}}_2 \quad \text{sau} \quad \bar{\mathbf{a}}_1 = \bar{\mathbf{a}}_2 \cdot \mathbf{M}_2 / \mathbf{M}_1$$

Din relatia 2.10 se poate observa că:

- Dacă, $m_2 = m_1$ (vehicule cu masă egală) rezultă că $\bar{\mathbf{a}}_1 = \bar{\mathbf{a}}_2$, deci ambele vehicule vor avea aceeași accelerație medie pe durata coliziunii,
- Dacă, $m_2 > m_1$ (vehiculul lovit, 2, este mai greu decât vehiculul care lovește, 1), rezultă că $\bar{\mathbf{a}}_1 > \bar{\mathbf{a}}_2$, deci dacă vehiculul incident are masa mai mică decât vehiculul lovit, atunci pe durata coliziunii accelerația vehiculului incident va fi mai mare decât accelerația vehiculului lovit.

Substituind ecuațiile 2.9 și 2.10 în ecuația 2.8 se poate obține energia de deformată în forma:

$$2.11 \quad \mathbf{E}_d = \mathbf{M}_2 \cdot \bar{\mathbf{a}}_2 \cdot (\mathbf{L}_1 + \mathbf{L}_2); \quad \mathbf{E}_d = \mathbf{M}_1 \cdot \bar{\mathbf{a}}_1 \cdot (\mathbf{L}_1 + \mathbf{L}_2)$$

Considerăm cazul coliziunii a două vehicule identice, dintre care vehiculul 2 este staționar:

$$2.12 \quad \mathbf{M}_2 = \mathbf{M}_1 = \mathbf{M}, \quad \bar{\mathbf{a}}_1 = \bar{\mathbf{a}}_2 = \bar{\mathbf{a}}, \quad \mathbf{V}_1 = \mathbf{V}_0, \quad \mathbf{V}_2 = \mathbf{0},$$

Substituind ecuația 2.12 în ecuația 2.11 se obține:

$$2.13 \quad \mathbf{E}_d = \mathbf{M} \cdot \bar{\mathbf{a}} \cdot (\mathbf{L}_1 + \mathbf{L}_2)$$

În timp ce substituirea ecuației 2.12 în ecuația 2.5 conduce la:

$$2.14 \quad \mathbf{E}_d = \frac{1}{4} \mathbf{M} \cdot \mathbf{V}_0^2$$

Ecuațiile 2.13 și 2.14 arată că deformarea totală a vehiculelor în coliziune poate fi exprimată în termeni de viteză de impact și de accelerație medie pe durata impactului.

$$2.15 \quad \mathbf{L}_1 + \mathbf{L}_2 = \mathbf{V}_0^2 / 4 \cdot \bar{\mathbf{a}}$$

Ca și în cazul ecuației 2.5, ecuația 2.15 nu poate fi utilizată pentru evaluarea deformațiilor separate ale vehiculelor în coliziune, ci doar se poate calcula o deformare globală a celor două vehicule.

Oricum, dacă cele două vehicule au structuri identice și dacă nu s-a realizat încălecare sau deraierea, atunci, deformarea structurală a celor două vehicule este identică, iar deformarea individuală se poate scrie ca:

$$2.16 \quad \mathbf{L}_1 = \mathbf{L}_2 = \mathbf{L}, \quad \text{si} \quad \mathbf{L} = 1/2 \cdot (\mathbf{L}_1 + \mathbf{L}_2)$$

În acest caz special ecuația 2.15 devine:

$$2.17 \quad \mathbf{L} = \mathbf{V}_0^2 / 8 \cdot \bar{\mathbf{a}}$$

În figura 2.3 este reprezentată dependența de viteză și de accelerația medie a lungimii de deformare pentru cazul coliziunii cu un vehicul identic aflat în staționar. Sunt reprezentate cinci cazuri

Partener P1 SC SOFTRONIC CRAIOVA	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 18
	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

de coliziune în condițiile impunerii unei accelerații medii pe durata inimpactului cu valoarea de: 1m/s²-trasa negru, 2m/s²-trasa rosu, 3m/s²-trasa albastru, 4m/s²-trasa verde și 5m/s²-trasa magenta.

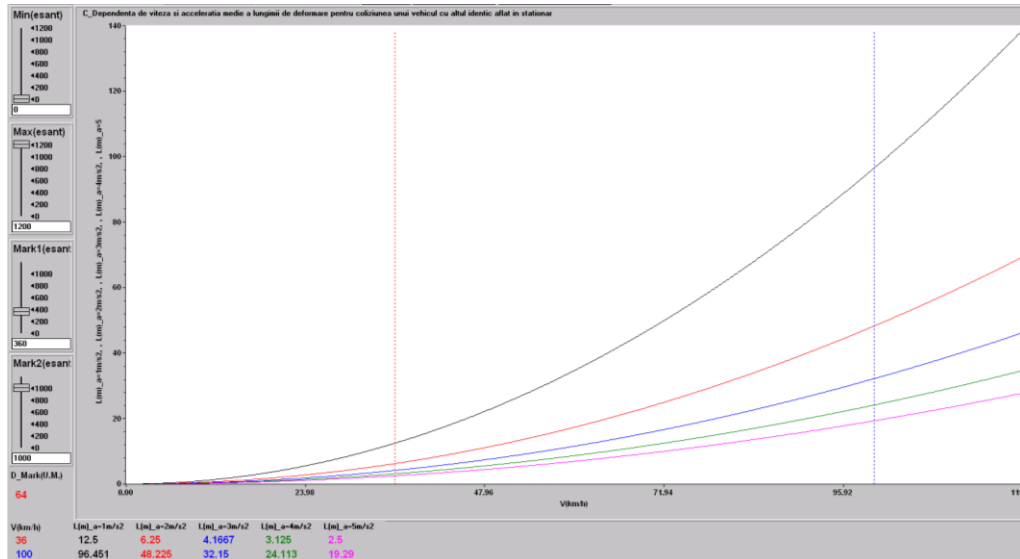


Fig. 2.3. Dependența de viteză și accelerația medie a lungimii de deformare pantru cazul coliziunii cu un vehicul identic aflat în staționat (a=1m/s²-trasa negru, a=2m/s²-trasa rosu, a=3m/s²-trasa albastru, a=4m/s²-trasa verde, a=5m/s²-trasa magenta)

O expresie pentru energia care trebuie disipată de structura unui vehicul pentru cazul impactului cu un perete masiv, neelastic (de exemplu un bloc rigid) se obține utilizând ecuați 2.5 care se scrie:

$$2.18 \quad E_d = M_2 \cdot (V_1 - V_2)^2 / 2 \cdot (M1/M2 + 1)$$

În cazul impactului cu un bloc masiv, rigid, avem: M1=M, M2>>M, V1=V0, V2=0. În aceste condiții ecuația 2.18 devine:

$$2.19 \quad E_d = M \cdot V_0^2 / 2$$

Pentru cazul impactului cu un bloc masiv și rigid, după coliziune acesta nu se deplasează și nici nu se deformează. Deci termenul al doilea din partea dreaptă a ecuației 2.8 dispore, iar ecuația devine:

$$2.20 \quad E_d = \bar{F} \cdot L = M \cdot \bar{a} \cdot L$$

Deoarece energia de deformare este constantă, ecuația 2.20 poate fi satisfăcută pentru toate combinațiile de \bar{F} și L. Aceasta înseamnă că pentru o energie de disipare dată, Ed, un vehicul poate fi conceput ca fi foarte "rigid" (cu deformare mică la forțe mari de impact) sau foarte "elastic" (cu deformare mare chiar la forțe mici de impact) sau poate fi proiectat să reziste la un anumit nivel al forței de impact, situat între cele două extreme. Acest compromis între aceste două situații de impact este valabil pentru orice configurație de impact.

Ecuația 2.20 poate fi satisfăcută pentru toate combinațiile de \bar{F} și L. Astfel o structură rigidă va avea ca rezultat un nivel mare de accelerație chiar și la un impact de nivel coborît (la viteză mică), în timp ce o structură elastică poate suporta un impact de nivel ridicat, la viteză mare, fără a conduce la

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 19
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

acelerație de nivel ridicat. Acest compromis între accelerație și nivel al impactului poate fi valid pentru orice configurație de impact.

De la ecuațiile 2.19 și 2.20 rezultă ecuația ce descrie cazul impactului unui vehicul cu un bloc masiv și rigid:

$$2.21 \quad L = V_0^2 / 2 \cdot \bar{a}$$

Compromisul între un impact admisibil și amplitudinea impulsului impactului poate fi, de asemenea, examinat în contextul raportului rigiditate-greutate. Din această perspectivă, o structură cu rigiditate ridicată presupune atât rezistență ridicată la coliziune cât și capacitatea vehiculului de a face față unor forțe de compresiune ridicată în timpul unei coliziuni în condiții date. Rigiditatea structurală a unui vehicul poate fi crescută semnificativ printr-o alegere judicioasă a tehnicilor de proiectare, prin alegerea corespunzătoare a materialelor din structură, utilizarea selectivă a elementelor de rigiditate și menținerea integrității între elementele de legătură ale vehiculului. Combinația optimă de rigiditate și greutate se bazează pe considerente de ordin practic, cum ar fi considerente de design, costuri de funcționare, precum și pe capacitatea maximă de transport pasageri sau marfă.

2.3 Tehnici de evaluare a rezistenței la coliziuni

Așa cum a fost menționat anterior, un vehicul rezistent la coliziuni trebuie să asigure o protecție adecvată pasagerilor și personalului de deservire împotriva efectelor ambelor tipuri de coliziuni, primare și secundare, ce apar într-un scenariu de coliziune. O evaluare corectă la coliziune trebuie să stabilească performanțele vehiculului în ceea ce privește menținerea integrității structurale, capacitatea de gestionare a energiei cinetice, precum și eficiența amenajărilor interioare de atenuare a efectelor datorate contactelor potențial periculoase caracteristice coliziunii secundare.

În prezent sunt recunoscute trei metode de evaluare a siguranței vehiculelor la coliziuni: experiment(încercări), analiză, metode combinate experiment si analiză.

2.3.1 Tehnici experimentale (încercări)

Coliziunea unui vehicul feroviar constituie un eveniment grav caracterizat de încărcări dinamice severe cu multe interacțiuni complexe între forțele de natură structurală și inerțială precum și de răspunsul caracteristic al ocupanților vehiculului.

O modalitate de a evalua rezistența la coliziune a unui vehicul feroviar este de a-l încerca într-un mediu similar coliziunii. În această abordare, vehiculul întreg sau o parte reprezentativă a acestuia este supus la o condiție de încărcare dinamică, care încearcă să simuleze, în măsura posibilului, condițiile inițiale de impact și de răspuns ulterior al vehiculului, în condiții care să aproximeze cât mai mult condițiile reale de accident. Această abordare generală cuprinde două tehnici majore de încercare: încercare la scară naturală și încercare pe componente.

2.3.1.1 Încercări la scară naturală

În încercările de coliziune la scară naturală, un vehicul complet, echipat cu un sistem complex de monitorizare a principalilor parametri caracteristici (de exemplu, accelerometre, celule de forță, traductoare de deplasare, etc.), este împins sau propulsat de-a lungul unei linii și apoi eliberat chiar înaintea de impact în alt vehicul, obiect sau bloc rigid. Uzual încercările de coliziune la scară naturală sunt filmate în amănunt, utilizând camere de filmare rapidă, plasate în locuri strategice, în vederea redării celor mai relevante detalii, a prelucrării ulterioare și a comparării cu înregistrările efectuate.

Capacitatea de a efectua astfel de încercări necesită o investiție de capital mare constând în echipamente de înregistrare, filmare și monitorizare; echipament de încercat, care potențial poate fi

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 20
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

distrus; personalul cu înaltă calificare și experiență în efectuarea încercărilor, în ingineria măsurătorilor, analizelor și interpretării datelor complexe obținute prin experiment.

Cu o instrumentație de măsurare adecvată și camere de filmare rapidă, o încercare de coliziune la scară naturală poate oferi o mulțime de informații valoroase cu privire la performanțele vehiculului și la răspunsul ocupanților (pasageri și/sau mecanic) la un scenariu dat de impact.

Definirea unei configurații de încercare la scară naturală la coliziune se bazează pe considerente atât economice cât și practice. Pentru că o astfel de procedură este extrem de costisitoare atât din punct de vedere al costului experimentului cât și al potențialei distrugerii a obiectului încercat, încercarea exclusivă la scară naturală la coliziune este prohibitivă chiar și pentru câteva din multele scenarii posibile de coliziune. În consecință, trebuiesc făcute diverse compromisuri, atât în ceea ce privește selectarea și idealizarea configurației accidentului cât și în numărul efectiv de încercări efectuate.

2.3.1.2 Încercarea pe componente

Încercarea pe componente este abordată în proiectarea și evaluarea rezistenței la coliziune a unor componente specifice, sisteme, sau secțiuni ale unui vehicul complet. Exemple elocvente pentru un vehicul feroviar ar fi structura frontală de preluare a impactului, plugul de obstacole, etc.

În general, testele pe componente sunt relativ mai ieftin de efectuat, deoarece acestea evaluează anumite părți ale unui vehicul și necesită, prin urmare, mai puțin echipament, timp de pregătire, și forța de muncă.

În încercările pe componente, echipamentul prevăzut pentru încercare este montat pe un stand de încercări special realizat pentru a oferi echipamentului încercat toate constrângerile și gradele de libertate pe care le-ar avea în condițiile naturale de instalare pe vehiculul original. Succesul unei încercări pe componente constă în asigurarea pentru componentă a unor condiții de lucru cât mai apropiate de cele naturale de funcționare. Imposibilitatea de a instala în mod corespunzător un echipament de încercat ar putea compromite în mod semnificativ valoarea datelor obținute.

Există două tipuri generale de încercări pentru componente: statice și dinamice.

Încercări statice

Încercările statice se efectuează cu cilindrii hidraulici care lucrează la viteză mică de acționare, capabili de a dezvolta forțe controlate de tracțiune sau de compresiune, pe direcții și în locuri bine stabilite, în conformitate cu condițiile de exploatare sau cu condițiile realizabile într-o coliziune.

Încercările statice se efectuează în condițiile măsurării și înregistrării tuturor parametrilor de interes precum, forțe, deplasări, tensiuni mecanice în structură, etc. În paralel se poate efectua filmarea încercării sau secvențe fotografice, care pot contribui la mai buna înțelegere a fenomenelor care se produc în timpul încercării.

Încercările statice furnizează informații referitoare la comportarea structurii mecanice în zona deformațiilor liniare, sau intrarea structurii sau a unor regiuni din structură în zona deformațiilor neliniare sau plastic.

Înregistrările forțe-deplasări sau forțe-tensiuni mecanice pot constitui date de intrare și de validare pentru o analiză teoretică detaliată, precum o analiză cu elemente finite efectuată cu programe de calcul specializate.

Pentru astfel de aplicații, este imperativ necesar ca echipamentul încercat să fie instalat pe ștandul de încercare astfel încât modul de deformarea statică să corespundă modului de deformare din condițiile reale de coliziune.

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 21
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Încercări dinamice

Încercările dinamice se pot efectua pe întregul vehicul sau pe componente. Se efectuează în condițiile aplicării în regim dinamic a solicitărilor prin utilizarea unor cilindri hidraulici sau vibrator electrodinamic care lucrează în regim dinamic, într-o gamă dată defrecvență, sau prin utilizarea unor tehnici de încercare în care solicitările sunt aplicate în regim dinamic, într-o manieră asemănătoare situațiilor de coliziune.

Încercările în regim dinamic pun în evidență caracteristicile de elasticitate și de amortizare ale structurii analizate. Distribuția maselor și caracteristicile de elasticitate sunt evidențiate prin frecvențele proprii și formele proprii de oscilație ale structurii sau echipamentului încercat. Caracteristicile de amortizare sunt evidențiate prin factorii de amortizare care definesc fiecare mod propriu de vibrație.

Încercările dinamice servesc la validarea modelului analitic realizat cu programe de calcul cu elemente finite.

Un model analitic validat prin date experimentale poate fi utilizat cu succes pentru evaluarea analitică a rezistenței structurale la scenarii date de coliziune.

2.3.2 Tehnici analitice

2.3.2.1 Prezentare generală a tehnicilor analitice

Așa cum s-a menționat anterior, utilizarea încercării la scară natural pentru determinarea rezistenței la coliziuni a unui vehicul poate să devină prohibită din punct de vedere al costurilor, al siguranței personalului de încercare sau al vehiculului și/sau echipamentelor de încercare.

Este mult mai accesibilă analiza răspunsului la scenarii de coliziune prin utilizarea unui model analitic care să poată prezice răspunsul structurii sau al ocupanților cu un grad mare de încredere. Ideal, o astfel de modelare nu va fi restricționată la un număr limitat de configurații de impact, dar poate fi susceptibilă de neconcordanța cu comportamentul real al structurii la situațiile date de impact.

În sensul strict al termenului, tehnicile analitice de evaluare a rezistenței la coliziuni a vehiculelor feroviare sunt recunoscute și recomandate de normativele în vigoare, avându-se în vedere costurile și implicațiile încercării la scară natural, doar prin utilizarea de modele analitice validate prin date experimentale. Aici se are în vedere și faptul că încercarea pe componente nu poate fi utilizată pentru validarea întregului vehicul, ci doar ca instrument care furnizează model parțial pentru un echipament, model care poate fi asamblat analitic într-un model global al întregului vehicul.

Necesitatea validării modelului analitic prin date experimentale decurge din faptul că materialele reale care intră în componența structurii fizice, diferă din punct de vedere al caracteristicilor de material de materialele utilizate în realizarea modelului teoretic. Chiar dacă se lucrează cu cel mai performant program de analiză teoretică, iar prin abilitățile operatorului se reușeste realizarea unei modelări geometrice perfecte, faptul că în modelul teoretic se lucrează cu caracteristici de material mai mult sau mai puțin apropiate de realitate, va conduce la obținerea unui răspuns teoretic mai mult sau mai puțin apropiat de răspunsul real al structurii la situații de solicitare date.

Datele experimentale obținute printr-o combinație de analize statice și/sau dinamice servesc la calibrarea modelului analitic, care odată validat poate fi utilizat pentru evaluarea răspunsului vehiculului la oricare scenariu de coliziune.

O simulare realistă a coliziunii unui vehicul feroviar trebuie să fie capabilă să modeleze următoarele fenomene:

- cinematica coliziunii,
- coliziunea primară,
- coliziunile secundare.

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 22
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Cinematica Coliziunii

Un tren este un sistem de vehicule interconectate, fiecare cu propriile caracteristici de rigiditate și deformabilitate, care poate fi subiectul oricărui scenariu de coliziune. Traectoria și defectarea/cedarea mecanismelor fiecărui vehicul în parte va afecta vehiculele adiacente în grade diferite, în funcție de viteză de impact a trenului, de modelul de coliziune, de amplasarea vehiculului în cadrul trenului și în raport cu interfața de impact, etc. O analiză care încearcă să simuleze răspuns la un scenariu de coliziune ar trebui să fie capabilă să descrie traiectoria fiecărui vehicul în timpul scenariului de coliziune precum și evenimentele posibile în care vehiculul să fie implicat în timpul accidentului. Ar trebui să fie posibilă modelarea realistă a tipurilor de conexiuni utilizat între vehicule componente.

Pentru necesitatea modelării cinematiei, este suficient ca fiecare vehicul din componența trenului să fie idealizat ca un corp rigid la care se cunosc principalele caracteristici cinematice, masa, moment de inerție, natura constrângerilor oferite de legătura cu calea și cu vehiculele adiacente. Deși uzual nu este o analiză cinematică în sensul pur al termenului, efectele coliziunii vehiculelor adiacente, precum și efectele fricțiunii între vehicule și terasament trebuie să fie luate în considerare. În această fază, analiza ar trebui să fie în măsură să detecteze apariția flambării, răsturnării și să furnizeze informații referitoare la posibile deformări și/sau încălcări ale vehiculelor adiacente.

Coliziunea Primară

Analiza răspunsului structural al vehiculelor într-un eveniment de coliziune este o sarcină extrem de complexă și de provocator. Toate structurile de vehicule sunt un ansamblu de grinzi, stâlpi, plăci, panouri și bare neregulate, dintre care unele conțin găuri, decupaje, gusee, etc. Chiar și în stadiul actual, analiza dinamică în domeniul elasto - plastic a unei astfel de configurație este în continuare complicată de existența neliniarităților geometrice și de materiale rezultate prin deformări structurale mari. Experimentele au arătat că limita de curgere a unor metale din structură, cum ar fi oțel moale, variază în funcție de nivelul la care este aplicată sarcina. Imposibilitatea de a include acest comportament nelinier semnificativ în analiza de impact a unui vehicul, care conține astfel de elemente structurale, poate duce la previziuni nerealiste. Limita de curgere a oțelului moale, care este utilizat în proporție semnificativă în structura unui vehicul feroviar, precum și capacitatea de disipare a energiei, crește în mod semnificativ la nivel ridicate de deformare.

Alte efecte neliniare, inerente în analiza accidentelor feroviare, își au originea în defecțiuni ale unor elemente structurale, cum ar fi flambaj și fisuri, suduri imperfecte, precum și contactele între structuri deformabile sau între structuri și mase, în esență rigide, atașate structurii.

O simulare pe computer a răspunsului la coliziune a unui vehicul feroviar, în principal ar trebui să fie capabilă să asigure următoarele informații minimale:

- Dependența de timp a accelerației vehiculului, la unul sau mai multe locații din structură. Acest profil servește ca dată de intrare pentru analize dinamicii ocupanților în modelarea coliziunii secundare.

- Configurația deformației structurii vehiculului, inclusiv deformația dinamică maximă suportată de compartimentul ocupanților.

- Dependența de timp a forțelor și deplasărilor pentru diferite regiuni ale structurii.

- Indicații privind pierderea integrității structurale a compartimentului ocupanților.

Unele dintre aceste predicții pot fi obținute cu modele configurate pentru analize relativ simple, care necesită câteva intrare, precum greutatea totală a vehiculului, și caracteristica de ridicare estimată, forță axială-deformare, a vehiculului. Datele de ieșire pentru asemenea predicții vor oferi o imagine grosieră, de ansamblu, asupra fenomenelor dintr-un scenariu de coliziune.

În alte situații răspunsul structurii poate fi obținut doar cu modelele configurate pentru analize sofisticate care necesită efort susținut pentru modelare, tehnică de calcul performantă și timp de rulare mare a unui scenariu de impact.

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 23
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Gradul de încredere în datele generate de o analiză este dat de măsura în care analiza poate modela în mod adecvat structura reală a vehiculului și disponibilitatea și fiabilitatea parametrilor de intrare critici, cum ar fi geometria structurii, rigiditatea structurală, masa, proprietăți inerțiale, etc.

Coliziuni Secundare

Modelarea matematică a răspuns ocupanților în timpul scenariului de coliziune este o problemă extrem de complexă. Astfel de simulări trebuie să furnizeze estimări ale cinematicii ocupanților, suprafețelor și echipamentelor, ulterior impulsului de coliziune și să permită gestionarea energiei structurii vehiculului.

Intrările necesare pentru a modela răspunsul ocupanților trebuie să includă dinamica deformării structurale a compartimentului ocupanților, dependența de timp a accelerației globale, geometria interiorului compartimentului și caracteristica forță-deformare a elementelor implicate în coliziune. Precizia furnizării acestor elemente de intrare este deosebit de important pentru simularea răspunsului ocupanților vehiculului în timpul accidentului.

Există două tipuri distincte de impact datorat coliziuni secundare:

-Coliziuni de tip A: Impact datorat deformării cabinei mecanicului sau compartimentului pasagerilor sub acțiunea forțelor de coliziune. În timpul coliziunii, cabina de conducere sau compartul pasagerilor se pot deforma atât de mult încât pasagerilor/mechanicului nu le mai rămâne suficient spațiu disponibil pentru supraviețuire.

-Coliziuni de tip B: Impact datorat vitezei diferite pe care o capătă pasagerii și vehiculul. Ca o consecință a vitezei diferite a pasagerilor relativ la vehicul, impactul pasagerilor cu suprafețele interioare sau cu echipamente din vehicul va genera accelerații de impact mari sau prea mari pentru corpul omului. Accelerația de impact în combinație cu masa diverselor organe interne poate genera forțe care să conducă la ruperea mușchilor sau a organelor de legătură cu corpul uman.

Actualmente există o mulțime de cercetări în domeniul medical pentru determinarea limitei de suportabilitate a corpului uman.

Pe baza experimentărilor efectuate pe animale și cadavre, au fost stabilite o serie de Criterii de Rănire Umană (HIC - Human Injury Criteria), [13], [14], [15], care sunt utilizate în evaluarea șanselor de supraviețuire a pasagerilor vehiculelor terestre sau aeriene, în general, și a vehiculelor de transport feroviar, în particular.

Tabel 2-1. Criterii de Rănire Umană (HIC - Human Injury Criteria) pentru vehicule de transport

Regiunea corpului sau organ	Parametru înregistrat	Aparat de măsură	Criteriul de rănire (HIC)	Valoarea (HIC)
Cap	Componentele pe trei direcții ale accelerației centrului de greutate	Accelerometru	HIC ₃₆ (t ₂ -t ₁ =36ms)	<10000m/s ²
			HIC ₁₅ (t ₂ -t ₁ =15ms)	<7000 m/s ²
Gât	Forțe de tracțiune	Celulă de forță	4170 N	
	Forțe de compresiune	Celulă de forță	4000 N	
Cutia toracică	Accelerație (Tmax = 3ms)	Accelerometru	<600 m/s ²	
	Deformare	Traductor cursă liniară	<76 mm	
Bazin	Accelerație (Tmax = 3ms)	Accelerometru	<800 m/s ²	
	Rotație	Traductor	<120 grade	

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 24
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

		cursă rotație	
Coloana vertebrală	Forțe de compresiune	Celulă de forță	<675N
	Forțe de tracțiune (aplicate doar la partea superioară)	Celulă de forță	<787.5 kN
Femur	Forțe de compresiune	Celulă de forță	<1 kN

Notă:

1. Accelerația rezultantă a centrului de greutate al capului se calculează pe baza înregistrărilor utilizând următoarea relație de calcul (t_1 și t_2 sunt oricare două momente de timp pe durata impactului care nu sunt separate de un interval mai mare de 36ms și care maximizează integrala):

$$2.22 \quad \mathbf{HIC} = \max_{t_1, t_2} \left\{ \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \mathbf{a}(t) dt \right]^{2.5} \cdot (t_2 - t_1) \right\}$$

2. Este de menționat faptul că nu există o standardizare sau reglementări care să impună Criterii de Rănire Umană (HIC - Human Injury Criteria) pentru ocupanții vehiculelor de transport.

2.3.2.2 Tehnici de analiză a cinematicii coliziunilor vehiculelor feroviare

De bază sunt două tehnici de abordare a cinematicii unei garnituri feroviare sau a unui vehicul individual implicat într-un scenariu de coliziune:

- analiza de tip "mase concentrate"
- analiza cu elemente finite

Este de asemenea posibilă combinarea lor în vederea elaborării unor modele hibride economice din punct de vedere financiar sau al timpului de elaborare și de calcul, în condițiile menținerii pretențiilor referitoare la acuratețea răspunsului dinamic.

Analiza cu mase concentrate

Analiza cu mase concentrate (LMA - Lumped Mass Analyses) este abordată pentru analiza la coliziuni a unei întregi garnituri feroviare. Aceasta este modelată ca o serie de corpuri rigide cu masa concentrată, conectate prin elemente deformabile, de masă nulă, cu rigiditatea neliniară uniaxial distribuită. În sistem pot fi incluse amortizoare pentru a simula amortizarea. Programele de calcul specializate pe acest tip de analiză pun la dispoziția utilizatorului un număr de modele de mase, resorturi și amortizori care pot fi utilizate pentru a realizeze sisteme complexe caracterizate prin legături în serie, paralel sau mixt, pentru realizarea unei configurații de sistem apropiată de sistemul real.

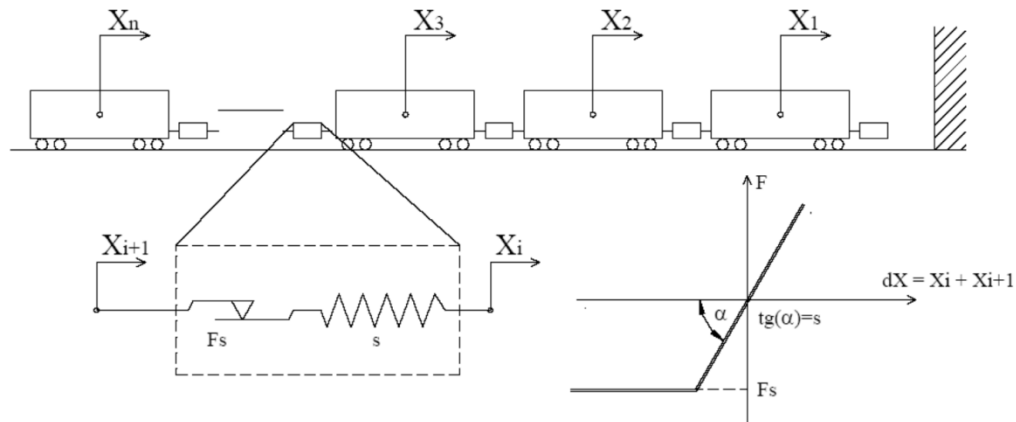
Datele de intrare pentru analiza LMA sunt formate din vitezele de impact inițiale ale maselor concentrate precum și din neliniaritățile caracteristicilor forță-deformare ale componentelor elastic ale vehiculelor sau ansamblurilor de vehicule, în acele regiuni care fac obiectul unor deformări structurale mari. O analiza structurală separată poate fi, de asemenea, efectuată pentru a genera aceste date. Când se utilizează datele provenite de la încercări statice de deformare, efectele dinamice sunt luate în considerare prin aplicarea unor factori de amplificare determinați experimental.

Datele de ieșire ale unui program de analiză LMA constau dintr-o serie de caracteristici ce reprezintă dependența de timp a deplasărilor, vitezelor și accelerațiilor fiecărei mase din sistem precum și dependența de timp a caracteristicilor forță-deplasare ale elementelor deformabile. Partea cea mai utilă a datelor de ieșire o constituie determinarea distribuției globale a accelerației în compartimentul ocupat de pasageri sau personalul de deservire, precum și a caracteristicilor de deformare globală a vehiculului / vehiculelor din garnitura feroviară. Datele privind distribuția spațială a accelerației în

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 25
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

compartimentul pasagerilor pot servi ca date de intrare pentru analiza cinematicii pasagerilor în timpul scenariului de coliziune.

În figura 2.4 este reprezentat un model simplificat de analiză cu mase concentrate a unei garnituri de vagoane supusă unei coliziuni cu un perete fix.



2.4. Model simplificat de analiză cu mase concentrate a unei garnituri de vagoane supusă unei coliziuni cu un perete fix

Analiza cu elemente finite

A doua tehnică de abordare a simulării coliziunilor de vehicule implică utilizarea analizei cu elemente finite (FEA). Structura vehiculului este divizată într-o grilă sau ochiuri (mesh) de elemente simple de tip bare, plăci, elemente spațiale, cuburi, etc, legate între ele printr-un număr de puncte (noduri) și linii de-a lungul limitelor elementare de separare. Ca atare, reprezentarea analitică a obiectului de analizat o constituie un model analitic asociat structurii reale, cu respectarea geometriei, a proprietăților de material și a distribuției de masă.

Fiecărui element îi sunt atribuite caracteristici de elasticitate, forță-deformție, definite în conformitate cu teoria structurală clasică, cu respectarea legilor de inerție și de echilibrul energetic intern și extern. Răspunsul întregii structuri la o încărcare prescrisă se obține ca soluție a unui set complex de ecuații diferențiale care trebuie să fie satisfăcute pentru o orice abatere a punctelor nodale. Cunoașterea acestor deformații elementare permite calculul stării de tensiune în cadrul fiecărui element și a accelerației de răspuns pentru fiecare punct material utilizat în modelare.

Există o largă varietate de programe de analiză cu elemente finite, multe dedicate satisfacerii unor probleme consacrate de natură mecanică, termică, electrică, etc. Dintre ele, programe precum ALGOR, ANSYS și MARC au capacitatea de a efectua analize dinamice în domeniul elastic-plastic al deformațiilor mari.

Cu toate acestea, orice încercare de a idealiza o structură de vehicul (sau chiar o parte din ea) cu suficient de multe detalii (de exemplu, cu un mesh suficient de fin) care să țină seama de toată complexitatea secțiunilor din zona de impact ar conduce la generarea unui model cu un număr neobișnuit de mare de elemente finite. Costurile de calcul și timpul de lucru necesare efectuării unei singure analize de impact la un vehicul feroviar ar fi prohibitive. Factorul de cost, asociat cu timpul mare de lucru necesar generării modelului analitic, capacitatea limitată de care dispun sistemele curente de calcul precum și inabilitatea de a efectua analize dinamice performante în domeniul deformațiilor mari al structurilor tridimensionale complexe, constituie un neajuns major al FEA.

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 26
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Relativ recent au apărut generații noi de programe de analiză care au atenuat parțial disfuncționalitățile menționate anterior, creind posibilitatea efectuării de analize detaliate. Unele programe conțin module specializate pe analize de coliziuni la vehicule, în particular chiar la vehicule feroviare. Dintre acestea se poate menționa ANSYS-LS Dyna, PAM-CRASH și RADIOSS care pot rezolva probleme de mare complexitate orientate pe coliziuni la vehicule cu deformații mari. Mai mult decât atât, algoritmi cuprinși în aceste programe le fac aplicabile pentru utilizare în simularea unor astfel de coliziuni.

Cu toate acestea, amplexarea efortului necesar pentru a crea, analiza și evalua un model de vehicul complet, nu ar trebui să fie subestimată. Pentru a evita parțial acest neajuns, se precedează la o seamă de tehnici de simplificare a modelului. De exemplu, dacă modelul prezintă simetrie axială, se modelează și se analizează doar o jumătate din vehicul. O altă tehnică este de a aplica o modelare fină doar pentru părțile critice implicate în impact, pentru celelalte părți aplicând o modelare mai grosieră.

Poate că cea mai mare provocare asociată analizei cu elemente finite o constituie identificarea acelor detalii cerute de modelare pentru a simula caracteristicile de bază ale unui accident, în același timp permițând ca analiza să fie performantă din punct de vedere economic și de încredere din punct de vedere al simulării condițiilor reale.

2.4 Cerințe internaționale de proiectare și realizare a vehiculelor feroviare rezistente la coliziuni

Vehiculele feroviare sunt proiectate pentru a satisface condițiilor unui eveniment de coliziune în conformitate cu cele mai generale condiții de circulație și de exploatare.

Încă din faza de proiectare sunt luate în considerație particularitățile specifice și sunt implementate acele măsuri care să conducă la atenuarea și minimizarea consecințelor unui scenariu de coliziune, un maxim de atenție acordându-se supraviețuirii personalului de deservire și a pasagerilor.

Tehnicile de proiectare sunt specifice modelului de vehicul feroviar, acestea diferind, parțial, la vehiculele de transport pasageri față de locomotivele de transport marfă.

De asemenea diferențieri, parțiale, apar între vehiculele feroviare cu tracțiune prin cuplă centrală (caracteristice trenurilor de mare viteză și a trenurilor din America), comparativ cu cele care au stop pe tamboane și aparat de legare central.

Pornind de la aceste considerații, în prezentul paragraf se face o scurtă trecere în revistă a măsurilor constructive, separat pentru sistemul american și european.

Așa cum a fost subliniat anterior, în timpul unui accident feroviar, un vehicul realizat pentru a rezista la coliziuni trebuie să fie capabil să absoarbă o cantitate maxim posibilă a energiei cinetice, să păstreze integritatea structurală a compartimentului pasagerilor/personalului de deservire și să limiteze valoarea accelerațiilor din nivelul compartimentului pasagerilor la un nivel tolerabil de corpul uman.

Aceste cerințe generale pot fi traduse în patru obiective generice de siguranță și performanță a vehiculelor rezistente la coliziuni:

1. Menținerea unui spațiu minim de supraviețuire în compartimentul pasagerilor sau personalului de deservire,
2. Limitarea nivelului de accelerare / decelerare în compartimentul ocupanților la limite acceptabile de toleranță umane.
3. Împiedicarea pătrunderii prin geamurilor compartimentului ocupanților de obiecte contondente rezultate cu ocazia coliziunii.
4. Proteja ocupanților împotriva aruncării în exterior.

Așa cum a fost menționat, există mici diferențe în privința standardizării cerințelor privind rezistența la coliziuni pentru vehiculele care circulă pe teritoriul Nord American și în Europa.

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 27
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Tabelul 2.2 face o prezentare sumară a cerințelor impuse de normativele Nord Americane pentru rezistența la coliziuni a vehiculelor feroviare de persoane și de tracțiune.

Tabelul 2.3 face o prezentare a cerințelor impuse de normativele Europene pentru rezistența la coliziuni a vehiculelor feroviare de persoane și de tracțiune care circulă în Europa.

Tabel 2-2. Norme Nord Americane pentru rezistența la coliziuni a vehiculelor feroviare de persoane și de tracțiune

Obiective de performanță și tip de coliziune	Elemente și ansamble structurale relevante	Răspunsul subsistemului	Direcția de încărcare	Metoda de verificare	Reglementări și standarde
Limitarea distrugerii părții frontale a vehiculului de tracțiune și protejarea echipajului la coliziuni majore cu obstacole care traversează calea sau sunt pe cale.	Sasiul locomotivei, Suprastructura Geamurile	Toată structura de geamuri trebuie să reziste necesităților specific unui impact de proiectil. Fiecare locomotivă tractantă trebuie să fie echipată cu o placă terminală care se întinde peste ambele șine, precum plug de obstacole		Încercări dinamice Observație	49 CFR: 223 49 CFR: 229
Prevenirea inițierii încăleccării la impact frontal sau din spate cu vehicule pe aceiasi cale.	Componentele ansamblului de cuplare adiacente șasiului; Asamblul legăturilor dintre boghiu și carcasă.	Asamblul de cuplare trebuie să reziste la forță static de 445 kN (334kN), fără a provoca vreo deformare permanentă componentelor aparatului sau oricărei alte părți a locomotivei. Boghiul trebuie să rămână atașat de carcasă sub o forță statică de forfecare de 1112kN. Deformarea permanentă este permisă.	Vertical (forfecare) Longitudinal (forfecare)	Calcul Calcul	49 CFR: 229 49 CFR: 229
Mentținerea spațiului minim de supraviețuire în compartimentul pasagerilor și asigurarea posibilității de evacuare a pasagerilor după coliziune	Șasiu, traverse și plăci de forfecare; Posturi de coliziune; Cadrul suprastructurii; Elemente de armare	Criterii de rezistență pentru tamponare: aparatul de tracțiune și componente ale șasiului trebuie să reziste la forțe statice de 3560 kN (1780 kN) aplicate aparatului de tracțiune central fără a provoca vreo deformare permanentă, în orice parte a structurii vehiculului. Fiecare dintre cele două posturi de coliziune trebuie	Longitudinal (compresiune)	Încercări statice	49 CFR: 229

Partener P1 SC SOFTRONIC CRAIOVA	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 28
	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

		să reziste la forțe statice de 1335 kN (890 kN) aplicate la 18 cm deasupra scutului. Deformarea structurală permanentă este permisă.	Longitudinal (forfecare)	Calcul	49 CFR: 229
Menținerea spațiului minim de supraviețuire în compartimentul ocupat de pasageri și asigurarea condițiilor de ieșire după coliziune, pentru orice condiții posibile de impact.	Interiorul compartimentului; Uși și ferestre.	-Sunt folosite doar uși culisante, -Suprafața maximă a ferestrei va fi de 0.71m ² -Vor fi prevăzute cel puțin 4 iesiri de siguranță -Vor fi prevăzute ciocane pentru spargerea geamurilor în caz de urgență		Observație Observație Observație Observație	
Limitarea distribuției accelerației în compartimentul pasagerilor la nivel acceptabil de toleranță umane	Întregul vehicul	Nespecificat	Observație		
Prevenirea pătrunderii de resturi de geamuri în compartimentul ocupanților ca rezultat al coliziunii	Geamuri și suprastructura din jurul compartimentului pasagerilor.	Toate geamurile trebuie să reziste la cerințe specifice impactului de proiectil		Încercări dinamice	49 CFR: 223

Tabel 2-3 Norme Europene pentru rezistența la coliziuni a vehiculelor feroviare de persoane și de tracțiune

Obiective de performanță și tip de coliziune	Elemente și ansambluri structurale relevante	Răspunsul subsistemului	Direcția de încărcare	Metoda de verificare	Reglementări și standarde
Limitarea distrugerii părții frontale a vehiculului și protejarea echipajului la	Sasiul locomotivei Suprastructura Geamurile	Structura din fața geamurilor trebuie să reziste la penetrarea de obiecte ascuțite; sticla spartă nu trebuie să aibă margini ascuțite.		Încercări dinamice	UIC 617-4, UIC 617-7 UIC 651

Partener P1 SC SOFTRONIC CRAIOVA	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 29
	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

coliziuni majore		Trebuie să fie utilizată sticlă securizată pentru toate geamurile		Observație	
Prevenirea inițierii încălecrii la impact frontal sau din spate cu vehicule pe aceiași cale.	Asamblul tampon și cuplă precum și echipamentele adiacente șasiului;	Tampoanele trebuie: (a) să dezvolte forța prescrisă de rezistență la compresiune respectând caracteristica statică forță -cursă (b) să absoarbă cel puțin 60% din energia totală prescrisă în fișa de catalog.	Longitudinal (forfecare)	Calcul	UIC 515
	Asamblul legăturilor dintre boghiu și carcasă.	Boghiul trebuie să rămână atașat de carcasă sub o sarcină statică de forfecare, care este o funcție de masa boghiului	Longitudinal (compresiune)	Calcul	UIC 528 O
Menținerea spațiului minim de supraviețuire în compartimentul pasagerilor și asigurarea posibilității de evacuare a pasagerilor după coliziune	Șasiu, traverse și plăci de forfecare;	Cutia și șasiul trebuie să reziste la un număr de solicitări cu forțe statice crescătoare fără a căpăta deformații permanente, după cum urmează: - 2000 kN la nivelul tampoanelor -400 kN la 150mm deasupra nivelului podelei - 300 kN, central la nivelul inferior al ferestrei cabinei de conducere -300 kN central la nivelul superior al ferestrei cabinei de conducere -500 kN în diagonal la nivelul tampoanelor.	Longitudinal (compresiune)	Încercări statice	UIC 566 OR EN 12663-1
	Posturi de coliziune; Cadrul suprastructurii; Elemente de armare		Diagonal (compresiune)		
Menținerea spațiului minim de supraviețuire în compartimentul pasagerilor și asigurarea posibilității de evacuare a pasagerilor după coliziune	Interiorul compartimentului;	Pereții terminali întăriți prin piloni anti-coliziune trebuie să fie uniți la capul terminal (fascicule de bare) cu șinele de cant și acoperișul în așa fel încât acestea să poată să absoarbă o cantitate mare de energie cinetică în plus rezistând și forțelor de ridicare. O cabină de înaltă rezistență la deformare trebuie să furnizeze protecția pentru		Calcul	UIC 566 OR
	Uși și ferestre.			Calcul	UIC 617-5

Partener P1 SC SOFTRONIC CRAIOVA	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 30
	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

		echipajul vehiculului de tracțiune Ușile automate trebuie să aibă un mijloc de deschidere de urgență care să fie acționat manual atât din interiorul, cât și din exteriorul vehiculului. Locomotiva și vagoane de călători trebuie să folosească geamurile, care prezintă cerințe nespecificate de antipenetrare Locomotiva și vagoane de călători trebuie să aibă un număr minim de ferestre de evacuare de urgență		Observație Încercări dinamice Observație	UIC 560 OR UIC 617-4 UIC 617- UIC 564-1
Limitarea distribuției accelerației în compartimentul pasagerilor la niveluri acceptabile de toleranță umane	Întregul vehicul	Nespecificat	Observație		
Prevenirea pătrunderii de resturi de geamuri în compartimentul ocupanților ca rezultat al coliziunii	Geamuri și suprastructura din jurul compartimentului pasagerilor.	La locomotivele de tracțiune partea anterioară a geamului frontal trebuie să reziste la penetrarea obiectelor ascuțite; Fragmentele de geamurile sparte nu trebuie să aibă muchii ascuțite; La toate locomotivele de tracțiune și vagoane se vor utiliza geamuri securizate.		Încercări dinamice	UIC 617-4 UIC 617-7 UIC 651

O comparație între normativele Nord Americane și europene scoate în evidență că, din punct de vedere al solicitărilor longitudinale, normativele americane sunt mai severe decât cele europene.

Există și alte diferențe între practicile standardizării feroviare evidențiate de cele două tabele.

Cele mai notabile se datorează practicii europene de utilizare a tampoanelor și aparatului de cuplare prin ax filetat, care nu pot să preia sarcinile pe verticală. Acesta este motivul pentru care normele europene nu specifică limite pentru sarcinile pe verticală la aparatul de cuplare.

Este de notat faptul că ambele tipuri de reglementări, prezentate mai sus, au la bază o vastă practică în domeniul construcției de material feroviar, al operării cât și al standardizării, fără a se adresa explicit necesității satisfacerii cerințelor legate de rezistența la impact.

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 31
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

2.5 Cerințe actuale de siguranță pasivă privind rezistența la coliziuni pentru vehicule feroviare

Standardul european EN 15227+A1/2011 „Aplicații feroviare – Cerințe de siguranță pasivă contra coliziunii pentru structurile cutiilor de vehicule feroviare” reglementează cerințele pe care trebuie să le satisfacă vehiculele feroviare, din punct de vedere al siguranței passive, pentru a fi admise în circulație în spațiul feroviar comunitar european.

Acest standard se aplică noilor proiecte de locomotive și vehiculelor feroviare destinate transportului de marfă și călători, definind categoriile de aptitudine, C-I ... C-IV din tabelul 2.4.

Are menirea de a proteja ocupanții vehiculului, prin menținerea integrității structural a vehiculului în caz de coliziune.

Cerințele standardului se aplică structurii cutiei și elementelor mecanice direct asociate care pot fi implicate pentru a absorbi energia într-o coliziune, precum aparatele de tracțiune, aparatele de ciocnire, etc. Ele nu acoperă caracteristicile de siguranță ale ușilor, ferestrelor, echipamentelor de sistem sau amenajărilor interioare, cu excepția problemelor speciale referitoare la amenajarea spațiului de supraviețuire. Cerințele nu acoperă toate scenariile de accidente posibile, dar furnizează un nivel de aptitudine la coliziune care reduce consecințele unui accident, atunci când dispozițiile de siguranță activă se dovedesc inadecvate.

Obligativitatea aplicării standardului este valabilă în spațiul European, în afară de cazul în care se specifică printr-o reglementare europeană sau un STI, să NU fie utilizat pentru omologarea tehnică, certificarea sau autorizarea de punere în funcțiune a materialului rulant, când astfel de material rulant intră în una din următoarele categorii de derogare:

- material rulant cumpărat ca urmare a unui contract deja semnat sau în fază finală de procedură de ofertă la data publicării standardului;
- material rulant modernizat sau îmbunătățit pentru care lucrările de execuție care ar fi necesare pentru a realiza compatibilitatea impun modificări structurale care necesită revalidarea integrității structurale a vehiculului.

De asemenea, sunt scutite pe o perioadă tranzitorie, următoarele cazuri:

- material rulant cumpărat ca urmare a opțiunilor unui contract deja semnat sau în fază finală de procedură de ofertă la data publicării standardului european;
- material rulant constituit în conformitate cu un proiect existent omologat; care deja a fost omologat, certificat sau o autorizat pentru punere în funcțiune în interiorul Uniunii Europene înainte de data publicării acestui standard european, și care este cumpărat ca urmare a contractelor semnate în timpul acestei perioade de tranziție.

S-a stabilit ca perioada de tranziție (propusă de 4 ani) să înceapă de la data publicării standardului. S-a stabilit ca derogările menționate să continue să se aplice pe toată durata de exploatare a materialului rulant considerat, incluzând, de asemenea, piesele pentru întreținere și reparație, atâta timp cât materialul rulant nu este nici modernizat nici îmbunătățit.

2.5.1 Categoriile de proiectare a vehiculelor feroviare la siguranță pasivă

Pentru aplicarea standardului EN 15227+A1/2011, vehiculele feroviare sunt clasificate pe categorii de proiectare la siguranță pasivă. Aceste categorii depind de caracteristicile principale ale infrastructurii feroviare și de tipul de exploatare.

Partener P1 SC SOFTRONIC CRAIOVA	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 32
	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Tabel 2-4. Categoriile de aptitudine la coliziune a vehiculelor feroviare

Categorie	Definiție	Exemple de tipuri de vehicule
C-I	Vehicule proiectate pentru exploatarea pe itinerarii TEN, rețele internaționale, naționale și regionale (cu pasaje la nivel)	Locomotive feroviare fixe, vagoane de călători și unități
C-II	Vehicule urbane proiectate pentru exploatare numai pe o infrastructură feroviară specifică, fără interfață cu traficul rutier	Vehicule de metrou
C-III	Vehicule feroviare ușoare proiectate pentru exploatarea pe rețele urbane și/sau regionale, exploatate pe căi partajate și interfațate cu traficul rutier	Trenuri de tramvai, tramvai preurban
C-IV	Vehicule feroviare ușoare proiectate pentru exploatarea pe rețele urbane specifice și interfațate cu traficul rutier	Vehicule de tramvai

2.5.2 Scenarii de proiectare la coliziune

Este recunoscut faptul că este nerealistă proiectarea structurii pentru a proteja ocupanții vehiculului, în toate situațiile posibile de accident sau să se considere toate combinațiile posibile de vehicule. Cerința este de a furniza un nivel de protecție conform riscurilor de coliziune probabile.

Scenariile de proiectare la coliziune specificate mai jos nu sunt singurele cazuri care se produc pe infrastructura de transport public feroviar în Europa, dar ele reprezintă situațiile de coliziune cele mai frecvente și acelea care produc cele mai multe victime.

- 1) Coliziune frontală între două unități feroviare identice;
- 2) Coliziune frontală cu diferite tipuri de vehicule feroviare;
- 3) Coliziune frontală cu un vehicul rutier de mare tonaj la un pasaj de nivel;
- 4) Coliziune cu un obstacol scund (de exemplu, un autoturism pe un pasaj de nivel, un animal, obstacole oarecare etc.).

Tabel 2-5 Scenarii de coliziune și obstacole de coliziune

Scenariu de proiectare la coliziune	Obstacol de coliziune	Caracteristici operaționale cerute	Viteză de coliziune – km/h				Element în coliziune și condiții
			C-I	C-II	C-III	C-IV	
1	Unitate feroviară identică	Toate sistemele	36	25	25	15	Unitate feroviară identică
2	Vagon de 80 t	Trafic mixt cu vehicule echipate cu tamponare laterale	36	n.a.	25	n.a.	A se vedea C.1 pentru specificația vagonului
	Tren regional de 129 t	Trafic mixt cu vehicule cu cuplă automată centrală	n.a.	n.a.	10	n.a.	A se vedea C.2 pentru reprezentarea trenului regional

Partener P1 SC SOFTRONIC CRAIOVA	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 33
	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

3	Obstacol deformabil de 15 t	TEN și exploatare similară cu pasaje de nivel	$V_{lc} - 50 \leq 110$	n.a.	25	n.a.	A se vedea C.3 pentru reprezentarea obstacolului mare
	Obstacol rigid de 3 t	Linie urbană neizolată de traficul rutier	n.a.	n.a.	n.a.	25	A se vedea C.4 pentru reprezentarea obstacolului
4	Obstacol mic scund	Cerințe de îndeplinit pentru plugul de obstacole	A se vedea tabel 2.6	n.a.	A se vedea tabel 2.6	n.a.	A se vedea 2.5.3, de asemenea

Reguli de aplicare a tabelului 2.5 :

- Unitățile feroviare în coliziune și obstacolele sunt nefrânate pe o cale în aliniament și palier;
- La verificarea unei unități feroviare cu diferite vehicule la fiecare extremitate, numai șocurile între vehiculele identice trebuie considerate la scenariu 1, dar trebuie considerate ambele extremități;
- Locomotivele grele de remorcare utilizate numai în transportul de marfă și prevăzute cu aparate de tracțiune centrală care răspund principiului Willison sau Janney nu sunt supuse cerințelor scenariilor 1 și 2 .

Tabel 2-6 Cerințe de performanță pentru pluguri de obstacole

Viteză operațională ^a	≥160 km/h	140 km/h	120 km/h	100 km/h	d80 km/h
Încărcare statică la centru ^b	300 kN	240 kN	180 kN	120 kN	60 kN
Încărcare static la o distanță laterală față de centru de 750 mm ^b	250 kN	200 kN	150 kN	100 kN	50 kN
a Pentru viteze operaționale de valori diferite date, valorile de forță și de energie pot fi interpolate					
b Detalii pentru aplicarea acestor încărcări și caracteristicile de performanță ale plugului de obstacole sunt date în 2.5.3.5.					

Vehiculele trebuie proiectate pentru a satisface scenariile de proiectare la coliziune care corespund condițiilor de exploatare care sunt prevăzute a se întâlni. Dacă condițiile de exploatare sunt astfel încât un scenariu de coliziune nu se poate produce, sau dacă există probe care arată că probabilitatea ca acest scenariu să se producă este atât de mică încât este acceptabilă în linii mari, atunci nu este necesară luarea acestuia în considerare pentru proiectarea vehiculului.

2.5.3 Siguranță pasivă structural

2.5.3.1 Principii generale

Măsurile generale pentru asigurarea protecției ocupanților în caz de coliziune impun:

- reducerea riscului de încălzire;
- absorbția energiei de coliziune în mod controlat;
- ocrotirea spațiului de supraviețuire și integritate structurală a zonelor ocupate;
- limitare a decelerației;

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 34
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

- reducere a riscului de deraiere și limitare a consecințelor unui impact cu un obstacol situat pe cale.

2.5.3.2 Încălecarea

Ridicarea trebuie combătută la extremitățile unității feroviare și între vehiculele care compun ramele. Anti-cățărarea trebuie să fie capabilă să se anclanșeze la un decalaj vertical între unitățile feroviare în coliziune.

Criteriul de acceptare pentru limitarea încălecării pentru scenariul 1 este ca procesul de validare (simulare) să demonstreze că, la un decalaj vertical inițial de 40 mm în punctul de impact (cu unitatea feroviară imobilă la un nivel inferior celui al unității feroviare în mișcare), criteriile de decelerare și de spațiu de supraviețuire sunt respectate.

În plus:

- ar trebui ca cel puțin o osie a fiecărui boghiu să se mențină efectiv în contact cu calea pe toată durata simulării coliziunii. Aceasta se poate stabili prin a arăta că, în orice moment, deplasarea verticală deasupra șinei a cel puțin unei osii a fiecărui boghiu nu este mai mare de 75 % din înălțimea nominală a buzei bandajului; sau dacă aceasta nu poate fi obținută;
- este permisă o distanță de ridicare a roții până la 100 mm, dacă dispozitivele anti-cățărare rămân complet angajate în timpul părții semnificative a simulării coliziunii și oferă un blocaj mecanic stabil între vehiculele în coliziune și dacă forțele de interfață maxime induse sunt corect transmise în interblocarea mecanică. Trebuie, de asemenea, demonstrat că elementele care asigură anti-cățărarea absorb cantitatea de energie cerută, ca orice modul adițional de absorbție de energie.

Demonstrația trebuie realizată printr-un calcul care utilizează un model detaliat al zonelor deformabile de la extremitățile vehiculului. Se poate admite utilizarea modelării echivalente simplificate masă / rigiditate pentru alte părți ale vehiculului, în măsura în care este corect reprezentată comportarea spațiului de supraviețuire.

2.5.3.3 Spațiu de supraviețuire, intruziune și ieșire de ajutor

Structura care formează spațiile de supraviețuire a călătorilor trebuie să păstreze integritatea sa și să reziste la forțele maxime exercitate asupra ei în timpul întregii secvențe de deformare a elementelor absorbante de energie. Sunt acceptate deformații plastice locale și o flambare locală, dacă se demonstrează că sunt limitate suficient pentru a nu reduce spațiul de supraviețuire sub limitele specificate mai jos.

Când sunt supuse scenariilor predefinite, reducerea lungimii spațiilor de supraviețuire a călătorilor trebuie limitată la cel mult 50 mm pe fiecare lungime de 5 m sau eforturile plastice trebuie limitate la 10% în aceste zone. Dacă o lungime de 5 m este situată spre extremitatea structurii vehiculului, se poate reduce lungimea respectivă până la 100 mm. În zonele de ocupare temporară, precum platformele de acces, care sunt utilizate ca zone deformabile, spațiul longitudinal cu o dimensiune laterală mai mare de 250 mm nu trebuie redus cu mai mult de 30 % în această zonă.

Trebuie să existe un spațiu de supraviețuire pentru mecanicul de locomotivă (și alți ocupanți ai cabinei). Acesta trebuie, fie:

- înconjurător fiecărui scaun fix cu o distanță minimă față de scaun (măsurată în axa sa centrală) cum se indică în figura 2.5 (cu scaun în poziție intermediară);
fie
- adiacent poziției principale de șezut, să mențină o lungime și o lățime de cel puțin 0,75 m, și cel puțin 80% din înălțimea originală între nivelurile nominale ale podelei și ale plafonului.

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 35
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

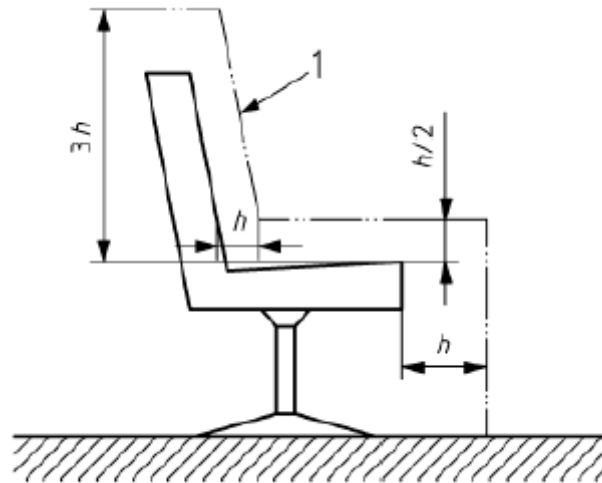


Fig. 2.5 Zonă de degajare a scaunului mecanicului

Legendă

$h = 300 \text{ mm}$

1 profil al spațiului de degajare

Geamul frontal trebuie să fie sprijinit de-a lungul marginilor sale prin suprapunere pe structura cabinei de conducere astfel încât să limiteze intruziunea sa în caz de coliziune.

Trebuie conservată cel puțin o ieșire de evacuare (prin intermediul unei uși sau a unei ferestre de salvare) pentru fiecare spațiu de supraviețuire. Deformarea structurii sub diferite scenarii de coliziune definite nu trebuie să împiedice utilizarea ieșirilor de salvare.

2.5.3.4 Limită de decelerație/impuls de coliziune

Decelerația longitudinală medie în spațiul de supraviețuire trebuie limitată la 5 g pentru scenariul 1 și scenariul 2 și la 7.5 g pentru scenariul 3.

Metoda de determinare a decelerației medii pentru fiecare vehicul considerat din unitatea feroviară trebuie să corespundă timpului dintre momentul în care forța de contact pe vehicul este mai mare ca zero și momentul în care aceasta redevine nulă.

Rezistența limită a fixărilor echipamentelor trebuie corelată cu nivelul decelerației medii celei mai ridicate pe care vehiculul o poate îndura datorită scenariilor de mai sus.

Cerințele de rezistență limită coerente cu nivelurile de decelerație de mai sus pot fi superioare cerințelor de rezistență specificate în EN 12663.

2.5.3.5 Plug de obstacole

Pe vehiculele de capăt din categoria C-I trebuie fixat un plug de obstacole. Pentru alte categorii, trebuie să fie fixat un plug de obstacole, cu excepția cazului în care structura vehiculului principal este suficient de joasă pentru a îndeplini aceeași funcție sau dacă riscul datorat scenariului este în ansamblu acceptabil.

Plugul de obstacole trebuie să aibă o mărime suficientă pentru a devia obstacolele în afara spațiului de trecere a boghiului. Trebuie să fie o structură continuă, proiectată pentru a nu devia obiectele în sus sau în jos. În condiții de exploatare normală, marginea inferioară a plugului de obstacole trebuie să fie atât de aproape de șină cât îi permite mișcarea vehiculului și gabaritul. Atunci

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 36
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

când se deformează la șoc, plugul de obstacole trebuie să rămână în afara căii ferate și a tuturor altor dispozitive ale infrastructurii locale.

Cerințele de performanță structurală a plugului de obstacole și fixările sale pe structura vehiculului sunt specificate în tabelul 2-6 și mai jos, și anume:

- fiecare încărcare statică trebuie aplicată separat în direcția longitudinală a vehiculului. Forța trebuie aplicată pe o zonă de 0,5 m lățime și până la 0,5 m înălțime cu începere de la extremitatea inferioară a plugului de obstacole (a se nota că înălțimea disponibilă poate fi limitată de deschiderile pentru aparatele de cuplare sau de alte echipamente). Direcția forței rezultante trebuie să fie orizontală și să treacă prin centrul fiecărei zone de încărcare, până la o înălțime maximă de 500 mm deasupra nivelului șinei. Figura 2.6 ilustrează aceste cerințe.
- nu trebuie să fie nici o deformare permanentă semnificativă (cum se definește în EN 12663) a plugului de obstacole și a fixărilor sale pe cutia vehiculului, datorată fiecărei încărcări statice aplicate separat;
- dacă plugul de obstacole este supraîncărcat, nu trebuie să se deformeze plastic astfel încât să se desprindă sau să devină el însuși un pericol. Aceasta poate fi pusă în evidență, de exemplu, prin demonstrarea faptului că plugul de obstacole poate absorbi energia corespunzătoare unei încărcări statice specificate cu o deformare de 120 mm.
- Plugul de obstacole trebuie să rămână în afara căii și a tuturor elementelor locale ale infrastructurii când se deformează sub încărcare în limitele cerințelor acestui standard european.

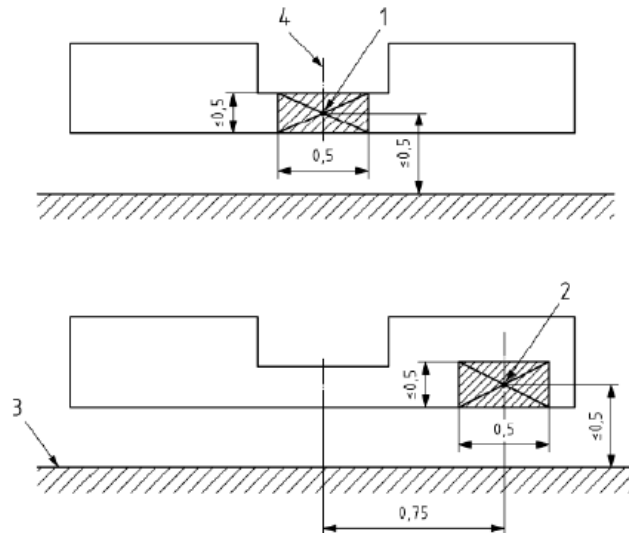


Fig. 2.6. Aplicarea încărcării la plugul de obstacole

Legendă

Zonă de încărcare $\leq 0,25$ m²

1 Poziție rezultantă a încărcării centrale

2 Poziție rezultantă a încărcării laterale

3 Nivelul superior al șinei

4 Deschidere pentru aparatul de cuplare (dacă este aplicabil)

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 37
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

2.5.4 Validarea aptitudinii la coliziune

Obiectivele securității pasive sunt date pentru o unitate feroviară completă. În măsura în care este nerealistă evaluarea comportării unui tren complet prin încercări, realizarea obiectivelor trebuie să fie validată prin simulări dinamice corespunzătoare scenariilor de referință pentru coliziune. Utilizarea numai a unei simulări numerice este suficientă pentru o previzionare precisă a comportamentului structural pentru zonele în care deformația este limitată.

Pentru zonele cu deformare mare, programul de validare trebuie să cuprindă validarea modelelor numerice prin încercări adecvate (metoda combinată). Conformitatea cu cerințele scenariului 4 poate fi direct demonstrată prin încercări.

Principalele etape ale metode combinate pentru un proiect nou de vehicul sunt date mai jos:

Etapa 1 : Încercare pe dispozitive absorbante de energie și zone deformabile:

Pentru a verifica performanțele elementelor în ceea ce privește aptitudinea la coliziune și pentru a furniza date de intrare pentru readaptarea modelelor, trebuie efectuate încercări pe machete de încercare în mărime reală.

Configurația de încercare trebuie definită luând în considerare următoarele obiective:

- reproducerea pe cât posibil a unuia din scenarii;
- realizarea ușoară a calibrării;
- utilizarea capacității maxime de absorbție a energiei;
- demonstrarea unei comportări specifice adaptată proiectului.

Este permisă verificarea performanțelor dispozitivelor inter-cutii, elementelor de absorbție a energiei sau a dispozitivelor anti-cățărare prin încercări la scară reală individual adaptate.

Etapa 2 : Calibrarea modelului numeric al structurii:

După efectuarea încercării la scară natural, descrisă la etapa 1, trebuie realizată recalibrarea modelului numeric prin compararea rezultatelor încercării cu cele ale simulării numerice corespondentă.

Validarea modelului trebuie să pună în evidență două condiții esențiale pentru comparația între încercare și simularea numerică:

- comportarea elementelor de absorbție a energiei, a zonelor deformabile și secvența fenomenului de absorbție a energiei;
- analiza detaliată ale tuturor rezultatelor încercării și în special ale nivelului forțelor și deplasărilor elementelor importante ale structurii.

Etapa 3 : Simularea numerică a scenariilor de coliziune:

Trebuie creat un model tridimensional pentru fiecare tip de structură de vehicul supus la o deformație permanentă. Acest model trebuie să includă modelul calibrat al cabinei de conducere sau al structurilor deformabile de la capătul vehiculului rezultat din Etapa 2, precum și un model complet 3D al restului vehiculului. Ușual numai primul sau primele două modele de vehicul trebuie să cuprindă elemente absorbante de energie și structura supusă deformațiilor cu un nivel ridicat de detaliere.

Celelalte vehicule ale unității feroviare pot fi reprezentate prin sisteme concentrate masă-arcuri care echivalează comportarea lor globală.

Dacă structurile cutiilor sunt simetrice față de axa longitudinală centrală, este permisă considerarea unui semi-model.

Cu modelul analitic calibrat se realizează simularea scenariilor de coliziune (cu excepția cazului în care sunt demonstrate direct prin încercări) pentru a obține omologarea vehiculelor în raport cu

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 38
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

cerințele standardului European EN 15227+A1/2011. Modelul complet a unității feroviare trebuie să conțină modele vehiculelor validate după cum s-a descris mai sus.

Este permisă utilizarea unui program redus de validare dacă, au fost validate în prealabil, caracteristicile esențiale de proiectare și dacă:

- nici o modificare n-a schimbat în mod semnificativ mecanismele care asigură siguranța pasivă; sau
- limitele de siguranță în raport cu cerințele acoperă toate incertitudinile rezultante.

Totuși, în acest caz, performanța de aptitudine la coliziune trebuie validată la un nivel adecvat gradului de modificare prin:

- comparare cu o soluție similară (prin desene de proiectare, rezultate ale încercărilor și alte date tehnice);

sau

- o combinație de calcul și simulări pe calculator (de exemplu FEM sau modelare multi-corpuri).

Datele din încercări cvasi-stactice nu trebuie să fie utilizate decât pentru determinarea comportării mecanismelor de absorbție a energiei la care rezultatul este independent de viteza de deformare, sau la care poate fi făcută o ajustare sau o validare adecvată pentru a se asigura caracteristici dinamice corecte.

Utilizarea unui program redus de validare trebuie să fie justificată. Această justificare trebuie să demonstreze că programul utilizat este echivalent cu un program complet de validare cum se indică mai sus.

2.5.5 Cerințe ale unui program de validare

2.5.5.1 Specificații de încercare

2.5.5.1.1 Program de încercare

Programul de încercare are scopul de a valida modelul numeric utilizat în demonstrația finală a reproducerii corecte a comportării mecanismelor de absorbție a energiei. Încercările trebuie să țină seama de cerințele de absorbție a energiei din scenariul 1 sau din scenariul 2, atunci când acestea se aplică la proiectare, dar această cerință NU impune ca scenariul actual să fie reprodus exact la încercări.

Încercările de calibrare trebuie executate pe fiecare tip diferit de asamblare a extremității vehiculului implicată în absorbția de energie. Dacă asamblările extremității utilizează aceleași principii de absorbție a energiei, nu este necesar să se realizeze calibrări separate.

Este permisă realizarea de încercări separate pe elemente de absorbție a energiei care acționează independent unele de altele.

Toate mecanismele de absorbție a energiei interactive trebuie încorporate în aceeași încercare.

În mod normal, la încercări trebuie să se absoarbă cel puțin 80 % din energia maximă necesară de absorbit de mecanismul supus încercării. Dacă se aplică la încercări o valoare mai mică, ea trebuie justificată și nu trebuie să fie mai mică de 50% din energia impusă.

Încercările în mărime naturală trebuie să prezinte o energie suficientă pentru a asigura:

- că toate mecanismele incluse în încercare sunt implicate;
- la încercările dinamice, că viteza de impact este cel puțin 50 % din viteza de bază a scenariului;
- că toate mecanismele care nu sunt în totalitate validate într-un alt mod sunt verificate la încercare.

2.5.5.1.2 Criterii de acceptare pentru încercările de calibrare/validare

Pentru a accepta validarea modelului numeric al vehiculului, încercările trebuie realizate cu un nivel adecvat de exactitate, parametrii comparabili trebuie să fie măsurați și rezultatele trebuie complet documentate. Încercările acceptabile includ:

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 39
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

- măsurarea forțelor, vitezei de coliziune, decelerațiilor și deformațiilor, pentru a compara performanțele (energii, deformații, etc.) diferitelor dispozitive și mecanisme de absorbție a energiei în timpul încercărilor structurii și componentelor;
- măsurări dimensionale înainte și după încercări în zonele definite și convenite înaintea încercării;
- înregistrările configurației încercării, vederile generale și planurile detaliate care utilizează, dacă este necesar, filmarea rapidă, care permite compararea cinematică a încercării cu simularea corespondentă;
- viteza de impact (măsurată cu o toleranță de cel mult $\pm 0,5$ km/h) și masa vehiculului de încercat (măsurată cu o toleranță de cel mult ± 5 %);
- incertitudinile de măsurare realizate în cursul încercărilor la parametrii corespondenți modelului numeric ce trebuie cuantificate și prezentate în raport.
- semnalele măsurate la încercare trebuie filtrate la cel puțin 1 000 Hz cu filtru trece-jos.

2.5.5.2 Simulări numerice

2.5.5.2.1 Validare model numeric

Modelele utilizate la simulări pentru a demonstra conformitatea scenariilor trebuie bazate pe aceleași tehnici de modelare ca cele utilizate pentru compararea cu încercările. Modelarea este considerată acceptabilă dacă criteriile următoare sunt atinse la compararea cu încercările:

- aceeași secvență de evenimente se produce în timpul coliziunii (când apar mai multe faze de absorbție a energiei, evenimentele corespund);
- deformațiile se produc în aceleași moduri;
- nivelul de energie absorbită de model trebuie să fie cel puțin 10 % din valoare de încercare;
- simularea creează o curbă de forță globală care prezintă aceleași caracteristici generale ca cele măsurate la încercare (prezența efectelor tranzitorii de înaltă frecvență trebuie să fie eliminată prin filtrare de răspuns cu un filtru trece-jos la 180 Hz).

Atunci când energia de coliziune este absorbită de un anumit număr de mecanisme diferite sau de etape succesive, trebuie aplicat fiecăruia și ansamblului următorul criteriu de comparare:

- deplasarea totală (cursa) a simulării este cel puțin 10 % din valoarea de încercare;
- forța medie, determinată din graficul forță – deplasare trebuie să fie cel puțin 10 % din valoarea de încercare.

2.5.5.2.2 Modelarea simulării

Simulările scenariilor de referință se efectuează cu modele numerice care reproduc fidel geometria structurilor și a dispozitivelor de absorbție a energiei. Trebuie reprezentate efectele aparatelor de tracțiune și ciocnire asupra comportării la coliziune. Pentru a fi considerată valabilă, modelarea zonelor de absorbție a energiei (zone deformabile ale vehiculului) ale vehiculelor principale în scenariile de referință trebuie bazată pe aceleași tehnici de modelare, grad de detaliu și exactitate de reprezentare ca cele utilizate la simulările de la încercări.

Pentru toate simulările de scenarii, trebuie elaborat un raport de calcul, care conține o descriere a scenariilor și în același timp descrieri detaliate a modelării obstacolelor și cea a materialului rulant.

Trebuie să fie inclusă procedura de validare a modelului (fie direct, fie prin referință la un alt document). Satisfacerea adecvării simulării fiecărui scenariu trebuie documentată sub forma obiectivelor măsurabile și demonstrabile, precum și comportarea în ansamblu a materialului rulant în conformitate cu specificațiile.

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 40
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

2.6 Tehnici de asigurare a siguranței pasive pentru structurile vehiculelor feroviare

Filosofia generală a conceptului de management a energiei de coliziune presupune proiectarea unor structuri care să se deformeze plastic în zone specificate, neocupate de pasageri, în scopul păstrării integrității compartimentului ocupat de pasageri sau de personalul de deservire. Acest lucru este realizat prin proiectarea unor structuri de sacrificiu, care se deformează în mod controlat, la sarcini mai mici decât sarcinile pentru care este proiectat să reziste compartimentul pasagerilor. Scopul este de a disipa energia de coliziune prin deformarea controlată a acestor structuri de sacrificiu înainte ca energia distructivă să ajungă la compartimentul pasagerilor. Cheia proiectării zonelor de sacrificiu este definiția de cantitatea de energie de coliziune care trebuie absorbită în zona de sacrificiu.

Cu energia cinetică definită ca semiprodus al masei și pătratului vitezei, problema este dependentă de viteza și masa echipamentelor în coliziune, dar depinde mult și de modul de realizare a coliziunii (pentru detalii a se vedea paragraful 2.2).

Cerința specifică pentru o zonă de sacrificiu este de obicei definită în termeni de cantitate de energie care trebuie să fie absorbită pentru o starea prescrisă.

Prima abordare modernă a managementului energiei de coliziune se datorează francezilor care, pentru prima dată, la trenurile de mare viteză TGV, au prevăzut zone de sacrificiu în porțiunea frontală a modulelor de tracțiune, trenurile TGV funcționând într-o configurație cu mașini de tracțiune în fața și în spatele trenului.

Principiile care stau la baza managementului energiei de coliziune sunt similare în toate aplicațiile: absorbția energiei de coliziune prin deformarea controlată a zonelor neocupate ale vehiculului, în scopul conservării volumului ocupant de pasageri/personal de deservire.

Strategiile diferă în funcție de tipurile probabile de coliziune și mediile de operare.

Un scenariu de coliziune cu probabilitate mai mare de realizare pentru trenurile de călători este coliziunea frontală tren-tren. Într-un asemenea scenariu capul motor suferă de obicei pagubele cele mai importante, în timp ce vagoanele care îl urmează rămân relativ intacte.

Un tren de călători compus din vagoane rezistente la coliziune poate fi proiectat pentru a funcționa ca un sistem global rezistent la coliziune prin disiparea energiei de coliziune în lungul trenului, către toate vagoanele componente. O modalitate este proiectarea zonelor de deformare la capetele vagoanelor, energia de coliziune putând, în acest fel, să fie distribuită în lungul întregului tren. În cazul în care zonele de deformare sunt concepute să cedeze la o sarcină mai mică decât șasiul și carcasa din zona pasagerilor, zonele de deformare de la extremitățile fiecărui vagon vor absorbi energie prin deformare și în acest fel vor diminua prejudicial, protejând totodată spațiul ocupat de pasageri.

2.6.1 Structura de rezistență a vehiculelor feroviare convenționale

Conform reglementărilor în vigoare, așa cum se prezintă în tabelele 2.2 și 2.3, vehiculele feroviare convenționale (locomotive, vagoane convenționale, unități multiple) sunt proiectate pentru a susține o sarcină static de 2000kN aplicată la nivelul tamponelor, fără deformări permanente. Această cerință este impusă prin normativul EN 12663-1 și asigură o rezistență minimă pentru conservarea compartimentului ocupat de pasageri/personalul de deservire.

În practica convențională de proiectare, îndeplinirea acestei cerințe are ca rezultat faptul că structura de rezistență prezintă practic aceeași rigiditate de-a lungul său, cu alte cuvinte structurile convenționale sunt la fel de rigide atât la capete cât și la mijloc.

În această situație, când un vehicul feroviar convențional este încărcat cu sarcini longitudinale, la început structura se comportă ca un solid deformabil cu rigiditate mare. În momentul când este depășită o anumită sarcină critică, apare fenomenul de flambaj local, iar structura începe să cedeze. Odată cedarea inițiată, capacitatea vehiculului de a suporta sarcini longitudinal este compromisă, iar din acel moment este necesară o forță mult mai mică pentru a continua deformarea structurii

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 41
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

vehiculului. Când o sarcină longitudinală de coliziune este aplicată unei garnituri formată din mai multe vehicule, vehiculul cel mai apropiat de coliziune va fi cel mai afectat. Într-o coliziune, un vagon care începe să se deformeze în acest mod va absorbi el însuși cea mai mare cantitate din energia de coliziune și sunt toate șansele de compromitere, inclusiv a spațiului destinat pasagerilor. Dacă ciocnirea este extremă, această situație poate duce la distrugerea totală a vehiculului ca urmare a coliziunii.

2.6.2 Structura de rezistență a vehiculelor rezistente la coliziune

Prin controlul deformării structurilor de sacrificiu se gestionează corect absorbția energiei coliziunii, conservarea zonelor ocupate de pasageri/personalul de deservire și severitatea coliziunilor secundare prin limitarea amplitudinii decelerației/acelerației.

O sarcină deosebită în realizarea unor vehicule feroviare rezistente la coliziune este asigurarea protecției mecanicului de locomotivă, care este localizat în proxima vecinătate a zonei de impact, în situațiile de coliziune frontală. O soluție pentru a asigura protecția mecanicului, în situația menținerii acestuia în postul frontal de conducere, este de a realiza o structură de protecție care să înconjoare postul de conducere și poate aluneca înapoi ca element de disipare a energiei coliziunii. În mod normal, zona din spatele mecanicului este neocupată, având destinație de dulap de utilitate generală. În caz de impact, structura de protecție este împinsă în acest compartiment asigurând conservarea volumului minim pentru supravețuirea mecanicului, cu riscul de a-l expune la o accelerare mai mare decât pasagerii. Pentru a proteja mecanicul, în acest aranjament, sunt necesare măsuri suplimentare, cum ar fi centurile de siguranță, airbag-uri, sau structuri gonflabile.

În momentul de față, există o mare varietate de soluții constructive abordate de marii fabricanți de vehicule feroviare rezistente la coliziuni. Toate soluțiile constructive reprezintă varietăți ale aceluiași tip de disipare a energiei de coliziune prin:

- cupla automată / tampon pentru modelele europene,
- absorbitorul primar de energie al structurii deformabile, amplasat uzual la nivelul șasiului
- absorbitorul secundar de energie al structurilor deformabile, amplasat uzual la nivelul acoperișului.

În figura 2.7 este reprezentată o secțiune longitudinală prin structura unui vehicul feroviar realizat sub conceptul de rezistență la coliziuni. În figură se identifică componentele și dispunerea principalelor elemente ale sistemului de absorbție a energiei.

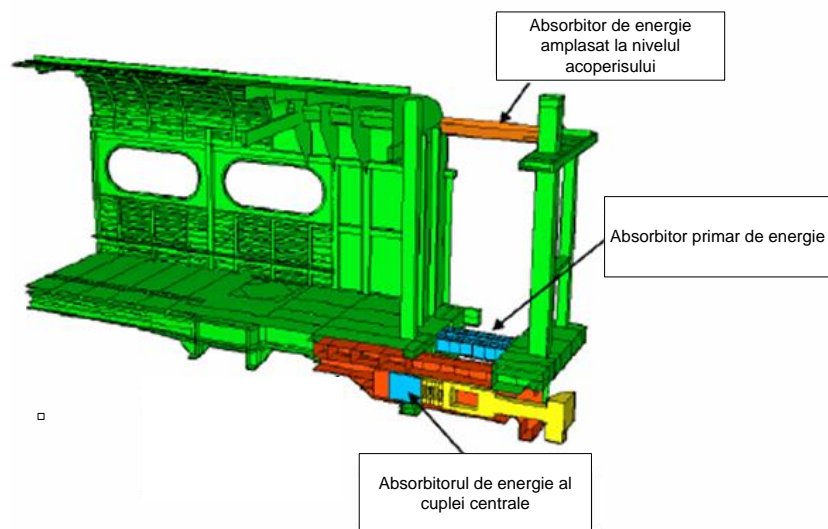


Fig. 2.7 Secțiune longitudinală prin structura unui vehicul feroviar realizat pentru a fi rezistent la coliziuni

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 42
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Primul element implicat în coliziune este cupla automată (tamponanele pentru modelele europene, cu excepția celor care au adoptată cuplă automată).

Uzual, cupla prezintă două etape de absorbție a energiei:

- prima etapă corespunde comportării elastice când sunt realizate sarcinile normale de serviciu privind cuplarea, decuplarea și preluarea eventualelor șocuri funcționale de mică intensitate,
- a doua etapă corespunde fazei de deformare plastică când sub acțiunea unor forțe care depășesc o valoare prestabilită intră în funcție elementele de absorbție deformabile (în cazul reprezentat în figură se permite glisarea înapoi și zdrobirea unei structuri de tip fagure).

Când a fost epuizată cursa prin zdrobirea totală a elementelor cuplei automate, se declanșază șuruburile de prindere, iar cupla culisează sub șasiu, permițând intrarea în acțiune a absorbitorilor principali și secundari de energie.

Din acest moment intră în funcție elementele deformabile amplasate la capetele vehiculului, fiecare fiind conceput pentru a se implica într-o manieră specifică în coliziune.

Absorbitorul principal are rolul major de a prelua controlat energia de coliziune pentru sisteme care au central de greutate la nivelul șasiului, cum este cazul: coliziunii frontale cu unitate feroviară identică, cu vagon de 80 t, sau cu obstacol de referință.

Absorbitorul secundar are rolul major de a prelua controlat energia de coliziune pentru sisteme tamponate care sunt deformabile și au central de greutate la nivelul ridicat, cum este cazul obstacolulelor voluminoase și deformabile.

2.7 Principalele tipuri de elemente de absorbție a energiei utilizate la vehicule feroviare

2.7.1 Tampoane

În momentul de față, lider mondial în domeniul fabricării de tampoane pentru vehicule feroviare este EST Eisenbahn-Systemtechnik. Începând cu anul 2003 a început fabricarea tamponanelor EST Duplex G1.A1 care combină, într-o singură componentă, un tampon lateral standard, pentru vehicule feroviare, cu un element de deformare plastică pentru absorbția de energie. Este o facilitate deosebită pe care acest tip de tampon o prezintă integrând în același spațiu cele două funcții specifice, de preluare a șocurilor și de absorbție de energie de coliziune. Dimensiunile exterioare și flanșa de fixare a tamponanelor EST Duplex G1.A1 sunt identice cu cele ale tamponanelor laterale standard, conforme cu UIC 526-1, acest lucru facilitând ca tamponanele EST Duplex G1.A1 să poată fi montate la toate vehiculele care au fost concepute pentru tampoane laterale standard, în conformitate cu standardul menționat.

Tamponanele EST Duplex G1.A1 prin funcția de element absorbitor al șocului de coliziune, conduc la atenuarea vârfului mare de accelerație care însoțește un eveniment de coliziune, protejând structura de rezistență a vehiculului feroviar și implicit pasagerii și mecanicul.

Prin deformarea planificată a carcasei tamponului, se poate absorbi de cca. 10...20 de ori mai multă energie decât este absorbită într-un tampon standard convențional. Aceasta are consecință extinderea gamei vitezei maxime de impact la cca. 30 km/h. În condiții similare, viteza maximă de impact cu tampoane tradiționale convenționale este de aproximativ 10 km/h.

Funcționarea tamponanelor EST Duplex G1.A1 se realizează în două etape succesive:

- În prima etapă tamponul este reversibil, se utilizează sisteme elastice și de amortizare care absorb până la 40 kJ de energie la o cursă de max 100 mm și o rată de amortizare de 50 %.
- Etapa a doua corespunde deformării plastic, ireversibile care realizează o deformare controlată pentru situații de coliziune severă. În funcție de versiunea de proiectare și de utilizare, de obicei, în această etapă se disipă o cantitate de energie de până la 1MJ. Acest lucru este realizat în combinație cu lungimea tipică de deformare care este între 300 și 700 mm, furnizată de lungimea efectivă de

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 43
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

deformare a elementelor componente: cca. 600 mm pentru tampon și cca. 1100 mm pentru întregul sistem Duplex G1.A1.

Avantajele utilizării tampoanelor EST Eisenbahn sunt:

- Compacte
- Ușoare (doar 127 kg pe unitate)
- Ușor de montat pe vehicule proiectate pentru tipul convențional standard de tampane EST
- Reducerea prețului de reparație după accident
- Reîntoarcerea rapidă în circulație, după înlocuirea tampoanelor, dacă accidental nu a fost extreme de grav
- Protecția și siguranța pasagerilor și a vehiculului
- Evitarea scenariilor necontrolate de coliziune, precum deraierea sau ridicarea

Principale caracteristici tehnice ale tampoanelor EST G1-200M

- Lungime: 620 mm (UIC 526-1)
- Dimensiune taler: 550 x 340 mm²
(UIC 527-1 and ERRI B12 DT 84)
- Sistem de arcuri, clasificare UIC: Category A (UIC 526-1)
- Cursa reversibilă: 105 mm (+0/-5 mm, UIC 526-1)
- Energia absorbită la cursa reversibilă: approx. 40 kJ
- Forța tipică pe tampon: 1500 kN
- Forța medie de deformare pe tampon: 1125 kN
- Deformarea maximă suplimentară cursei elastice: approx. 200 mm
- Energia totală absorbită: approx. 600 kJ
- Greutate: 127 kg



Fig. 2.8. Sistemul EST Duplex G1.A1, Berlin, septembrie 2004

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 44
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01



Fig. 2.9. Sistemul EST Duplex G1.A1, în stare normală și în stare deformată



Fig. 2.10. Exemplu de acționare a tamponelor EST Duplex G1.A1 după un accident feroviar

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 45
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

2.7.2 Cupla automată

Cupla automată are rolul de conectare mecanică și pneumatică a două vehicule feroviare aflate față în față, fără intervenție manual în vederea asigurării forțelor de trage sau de împingere.

În timpul procesului de cuplare a două unități, la viteze normale de funcționare (0.1 - 15 km/h), cuplarea trebuie să se efectueze în întregime fără intervenție manuală. Mecanicul nu ar trebui să părăsească scaunul de conducere și nu ar trebui să fie necesară altă intervenție auxiliară.

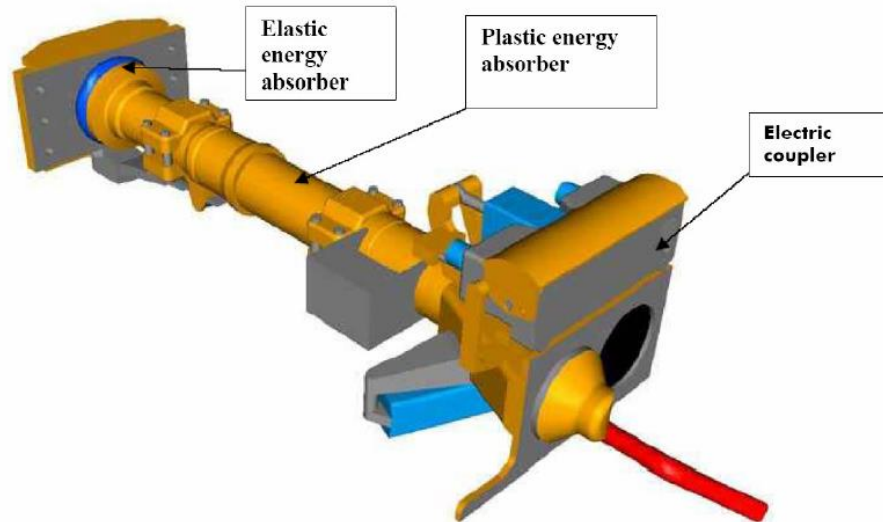


Fig. 2.11. Cuplă automată

Principale caracteristici tehnice ale cuplei automate pentru rame multiple

Tabel 2-7. Principale caracteristici tehnice ale cuplei automate pentru rame multiple

Caracteristica	Valoare
Raza de acțiune	$\pm 20^\circ, \pm 6^\circ$
Limita de elasticitate pentru compresiune	1500 [kN]
Rezistența la tracțiune	1000[kN]
Caracteristica medie forță - deformație a dispozitivului tracțiune (zona de elasticitate)	500 kN-28.5mm
Caracteristica medie forță - deformație a dispozitivului antisoc	1500 kN-200mm
Lungimea cuplei	1550 mm
Raza minimă de curbură pentru cuplare ramă-ramă	150 m
Raza minimă pentru cuplare ramă-ramă în depou	90 m
Dispozitiv de autocentrare	6°
Forța manual maximă pentru decuplare	150 N
Viteza de operare la manevra de cuplare automată	0,1-15 km/h
Reacțiunea maximă la forfecare	1200 kN

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 46
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

2.7.3 Sisteme tubulare de absorbție a energiei primare de coliziune

Cerințele de siguranță pasivă din transportul feroviar sunt descrise în standardul european EN 15227: 2011, al cărui obiectiv este de a reduce consecințele accidentelor de coliziune. Standardul descrie cerințele de proiectare pe care vehicule feroviare trebuie să le îndeplinească pentru a rezista la anumite condiții de coliziune, bazate pe cele mai comune accidente feroviare.

Scenariile de coliziune avute în vedere în EN 15227:20011 sunt prezentate în figura 2.12.

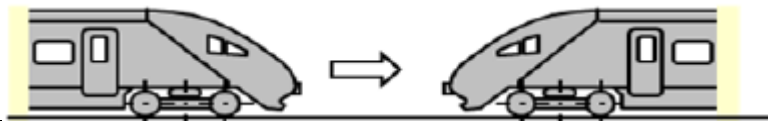
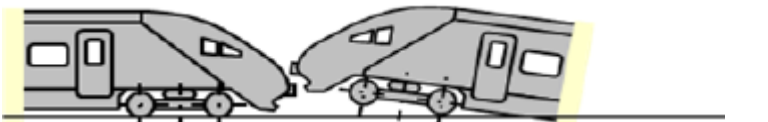

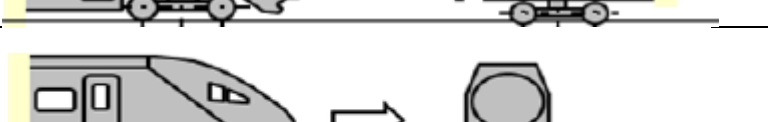
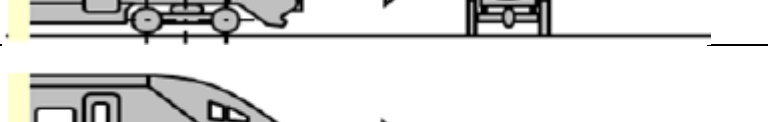
	Coliziune tren – tren la viteza de 36 km/h
	Coliziune tren – tren la viteza de 36 km/h cu decalaj pe verticală de 40mm
	Impact la viteza de 36 km/h cu obstacol greu de 80tone
	Impact la viteza de 110 km/h cu obstacol voluminos deformabil traversând calea
	Impact cu obiecte mici precum automobile, animale, etc.

Fig. 2.12. Reprezentarea scenariilor de coliziune prevăzute prin EN 15227:20011

O măsură pentru realizarea de structuri rezistente la coliziuni este prevederea de dispozitive de absorbție a energiei la fiecare capăt al trenului, a căror funcție principală este de a oferi o rată controlată de decelerare a vehiculului în cazul unei coliziuni, reducându-se astfel energia de impact transferată ocupanților vehiculului.

Selecția unui dispozitiv adecvat de absorbție a energiei se bazează în primul rând pe comportamentul dispozitivului în timpul impactului (timpul de reacție de ordinal a milisecunde) și pe cerințele de mentenanță și de repararea operativă a vehiculului după evenimentul de impact. Acest lucru se traduce prin cerința operatorului feroviar de a fi sigur că absorbitorul de energie își va efectua întotdeauna sarcinile așa cum sunt proiectate (ușurința inspecțiilor periodice și întreținere), precum și prin rapiditatea reparațiilor pentru a permite vehiculului să fie reintrodus înapoi în serviciu.

În momentul de față, cel mai utilizat dispozitiv de absorbție a energiei de coliziune este un tub metalic gol, cu secțiunea circulară sau pătrată, care suferă deformarea sub încărcarea unor forțe axiale. Această abordare este o relativ simplă și puțin costisitoare și este utilizată pe scară largă în aplicații variate de transport feroviar, rutier și în aviație.

Au fost efectuate multe modelări analitice pentru descrierea deformării axiale ale unei structuri tubulare cu secțiunea pătrată sau circular, iar soluții analitice pentru deformarea dinamică pot fi găsite

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 47
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

în literatura de specialitate precum, Hayduk (1984) [31], Wierzbicki (1983) [35], Abramowicz (1989) [29], etc.

Rezultate notabile au obținut Abramowicz & Wierzbicki (1989) [29], care au dezvoltat o expresie pentru forța axială dinamică de deformare a unui tub cu secțiunea transversală pătrat:

$$2.23. \quad P_m = 9.56 \cdot t^{5/3} \cdot C^{1/3} \cdot \left(1 + \dot{\epsilon}/D\right)^{1/q} \cdot \sigma_0$$

Unde, C este lungimea tubului, t este grosimea peretelui țevii, σ_0 este limita de elasticitate statică, $\dot{\epsilon}$ este rata tensiunilor, iar D și q sunt constante (valorile uzuale sunt: $D=300s^{-1}$ și $q=5$ pentru oțel moale și $D=6500s^{-1}$ și $q=4$ pentru aluminiu).

Rata tensiunilor se definește prin relația:

$$2.24. \quad \dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{l-l_0}{l_0} \right) = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{dl}{dt} = v/l_0,$$

Unde v reprezintă viteza de deformare.

Există, de asemenea, multe studii și cercetări privind analiza cu elemente finite pentru modelarea deformării tuburilor circulare și pătrate din aliaje de oțel și aluminiu încărcate axial, precum și ale unor structuri geometrice tubulare având introduse în interior elemente absorbante pentru a le îmbunătăți performanțele de absorbția de energie de (Jiayao (2010), Aljawi (2002) Jones (1990)).

Cele mai multe studii se concentrează pe estimarea energiei absorbite și pe efectele forței de impact (cum ar fi viteza de impact și masa elementului de lovire pe modelul de deformare, etc.).

În continuare se prezintă câteva rezultate pe care George Kotsikos și Marzio Grasso[26] le-au obținut prin modelarea cu elemente finite a unor structuri tubulare din oțel și aluminiu concepute pentru a fi utilizate ca absorbitori de energie la vehicule feroviare. Un sistem de amortizare constă din patru tuburi goale din oțel sau aluminiu prinse la capete de două plăci support prin sudare sau prin șuruburi.

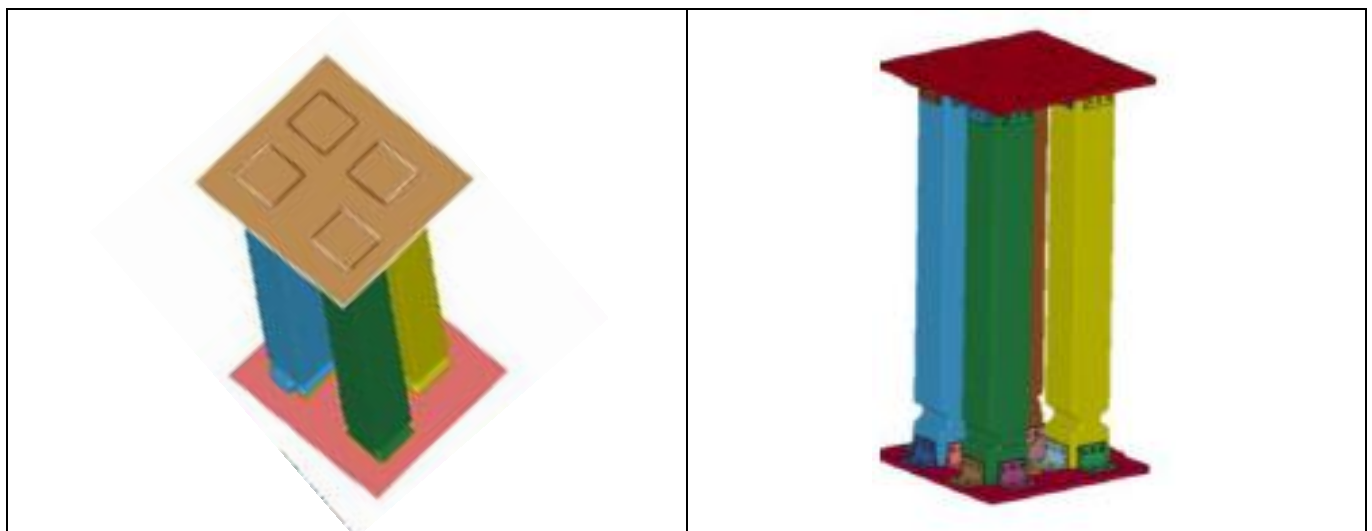


Fig. 2.13. Sisteme de absorbitori tubulari de energie realizați prin sudare și prindere prin șuruburi[26]

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 48
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Pe tuburi individuale au fost efectuate încercări statice de determinare a caracteristicii forță-deformare, în figura 2.14 fiind reprezentată o asemenea caracteristică tipică.

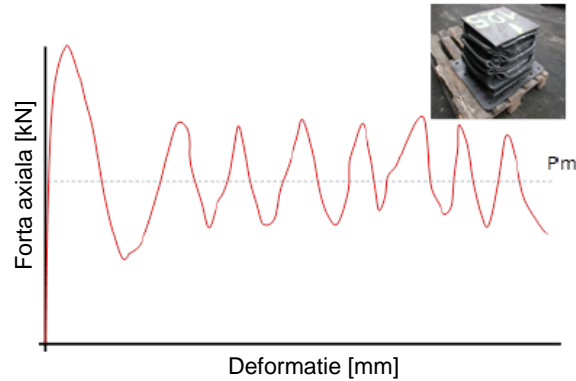


Fig. 2.14. Caracteristica statică forță-deformare a unui tub gol supus la forțe axiale de compresiune

Caracteristica indică faptul că pentru inițierea deformării este necesară o forță mare, care apoi scade, prezentând maxime locale, de mai mică amplitudine, în momentele de inițiere a flambajelor locale. Vârful inițial de sarcină nu este de dorit în timpul unei coliziuni feroviare, acesta având efectul generării unei accelerații mari în structura vehiculului. Pentru acest motiv, absorbitorul de energie tubular necesită un "starter" care să minimizeze efectele sarcinii inițiale.

Experimentările cu sarcini dinamice aplicate pe structuri tubulare din oțel și aluminiu au evidențiat faptul că structurile tubulare prinse prin sudare pe cele două plăci de bază, prezintă riscul fisurării sudurilor la aplicarea sarcinilor. Un comportament mult mai bun prezintă structurile tubular prinse prin șuruburi.

Pentru analiza oportunității utilizării structurilor tubulare ca structuri absorbante la vehicule feroviare, utilizând programul de analiză cu elemente finite ANSYS LSDyna, George Kotsikos și Marzio Grasso[26] au modelat sistemul frontal al unei locomotive la care i-au atașat sisteme absorbante format dintr-un set de patru tuburi goale dreptunghiulare plasate pe fiecare parte a vehiculului, așa cum se arată în figura 2.15. Au fost analizate sisteme de tuburi din oțel și aluminiu, în configurațiile de realizare sudate sau prinse cu șuruburi.

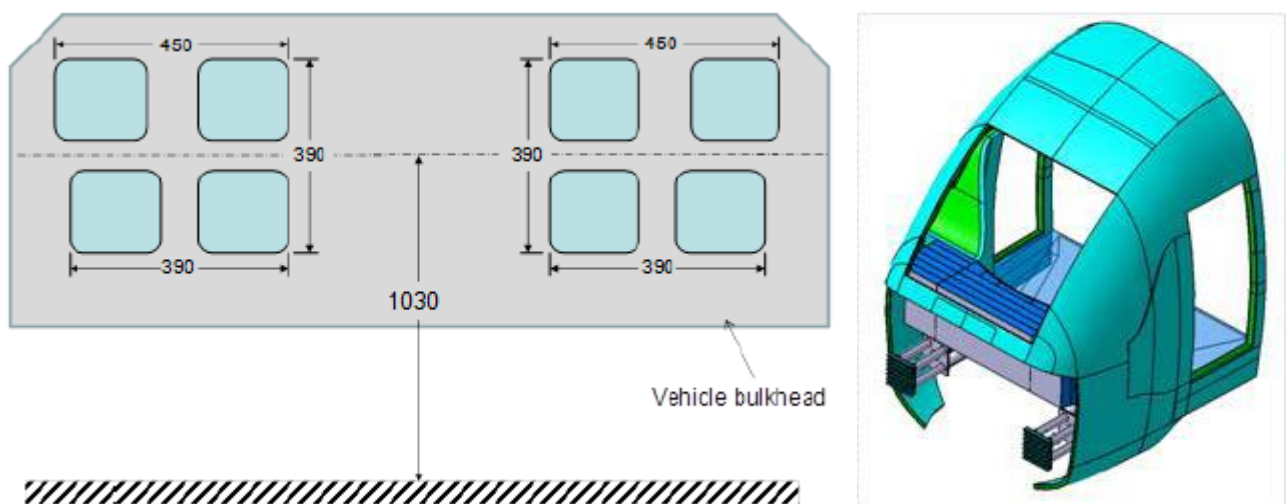


Fig. 2.15. Schema privind poziționarea absorbitorului de energie pe vehicul feroviar

Partener P1 SC SOFTRONIC CRAIOVA	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 49
	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

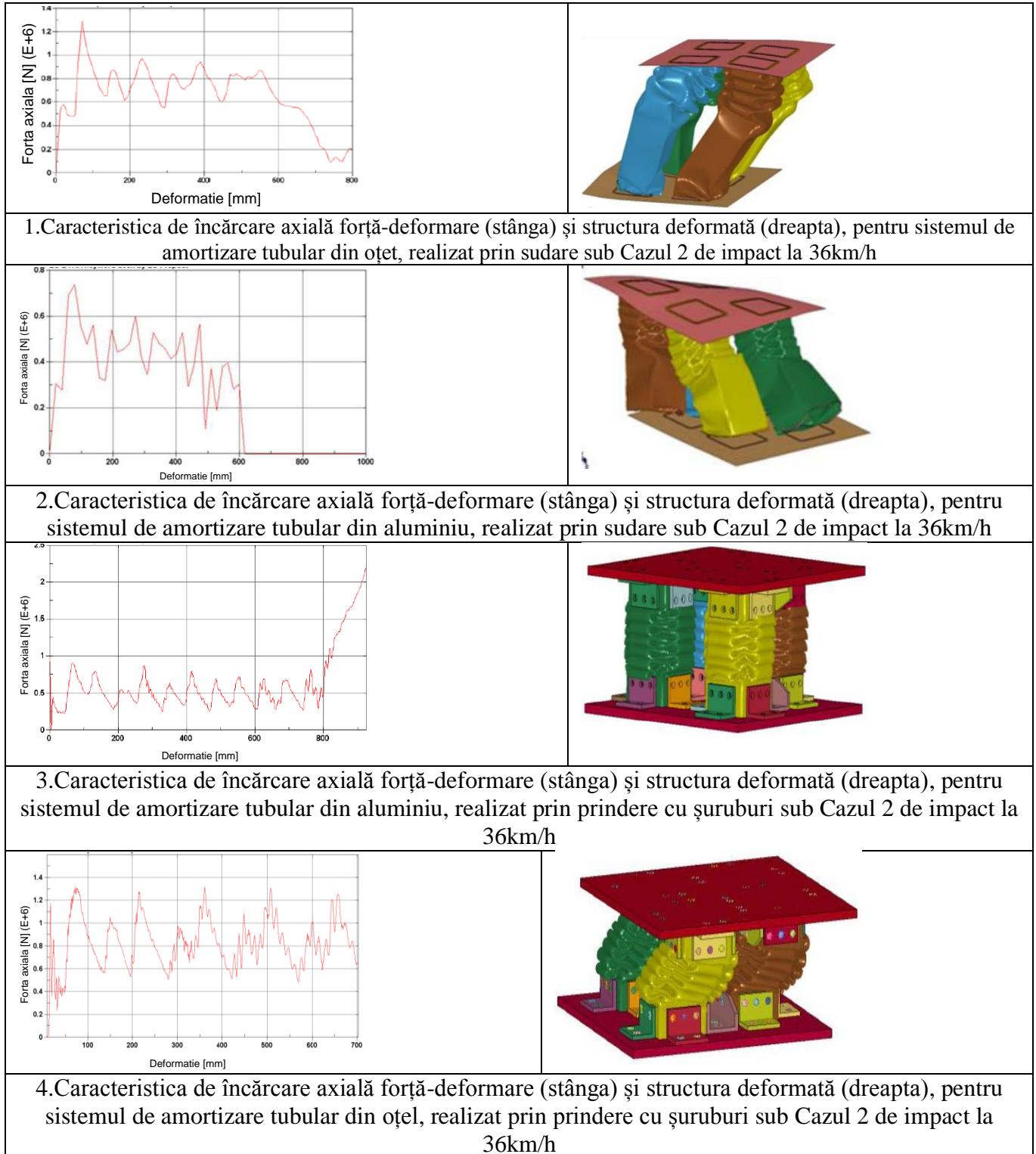


Fig. 2.16. Caracteristici de încărcare axială forțe-deformare și structuri deformate, pentru sistemele de amortizare tubular din oțet și aluminiu, realizat prin prindere cu sudură sau șuruburi sub Cazul 2 de impact la 36km/h [26]

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 50
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Au fost aplicate cazurile de coliziune 1 și 2, iar în figura 2.16 sunt prezentate caracteristicile forță-deformare și starea deformată a sistemelor tubulare, după simularea coliziunii la viteza de 36km/h a unui vehicul feroviar cu altul identic, în condiții de impact frontal decalat pe verticală cu 40mm.

În urma analizei s-a constatat că pentru impactul frontal, nedecalat pe verticală, ambele structuri tubulare, sudate sau prinse prin șuruburi, se comportă aproximativ la fel. Probleme apar la impact frontal, cu decalaj pe verticală de 40mm, când pentru ambele tipuri de sisteme tubulare, din oțel și aluminiu, sistemele sudate au prezentat fisuri la suduri. De aici rezultă recomandarea utilizării sistemelor tubulare la care tuburile sunt prinse prin șuruburi de plăcile de susținere.

Din cele prezentate mai sus, examinând caracteristicile și figurile cu structurile rezultate după impact, rezultă că pentru sisteme sudate de tuburi absorbante de energie, pierderea parțială a integrității sudurii poate să existe, dar nu afectează foarte mult performanțele lor, deteriorarea putând să fie tolerată. Soluția de prindere prin șuruburi este o alternativă viabilă pentru un absorbant de energie destinat vehiculelor feroviare, oferind avantajele unei întrețineri ușoare și înlocuire rapidă în urma unei eventuale coliziuni, cu beneficii economice semnificative, atât în ceea ce privește procedurile de reparare și de timp de revenire în circulație.

Sistemele tubulare din aluminiu, la același gabarit, asigură forțe de impact de nivel mai coborât și cu un vârf de forță aplatizat, comparative cu soluția sistemelor de tuburi din oțel. În schimb realizarea sistemelor de tuburi din aluminiu, necesită o tehnologie mai pretențioasă de realizare.

Cu ocazia studiilor efectuate, George Kotsikos și Marzio Grasso au verificat și ecuația 2.23 propusă de Abramovicz & Wierzbicki pentru expresia forței axiale de deformare a unui tub cu secțiunea transversală pătrat. Pentru a face comparația a fost rulat un model de impact pe un singur tub din oțel și au fost obținute următoarele forțe axiale:

P_m (FEA) : 250kN

P_m (ecuația 2.23): 283 kN (folosind $D=300s^{-1}$, $q=5$)

Rezultă o foarte bună aproximație prin folosirea relației 2.23 pentru determinarea forțelor axiale dezvoltate în sisteme tubulare solificate la compresiune.

Rezultatul poate fi extins și la sisteme paralele de 4 tuburi.

2.8 Practici internaționale privind realizarea de vehicule feroviare rezistente la coliziuni

2.8.1 Practica Stadler Rail pentru GTW DMU/EMU II



Fig. 2.17. Trenul regional GTW DMU/EMU II

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 51
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Gelenk-Trieb-Wagen (“GTW”) este un tren regional realizat pentru a acoperi cele mai noi standarde în domeniul feroviar, incluzând standardele EN15227 și EN12663-1, pentru categoria PII de vehicule feroviare precum și reglementarea Nord Americană ”Technical Criteria and Procedures for Evaluating the Crashworthiness and Occupant Protection Performance of Alternately-Designed Passenger Rail Equipment for Use in Tier I Service”.

Capetele motoare ale trenului GTW DMU/EMU II sunt prevăzute cu cuplă automată, o pereche de module absorbante de energie (absorbție în două etape) și o structură de protecție, toate realizate pentru a acoperi necesitățile normativului EN15227.

Validarea alinierii la acest normative s-a realizat prin metode combinate de analiză numerică explicită și încercări dinamice. În cursul procesului de omologare, suplimentar, au fost impuse și necesitățile specifice pentru omologarea în US: ‘Technical Criteria and Procedures for Evaluating the Crashworthiness and Occupant Protection Performance of Alternately-Designed Passenger Rail Equipment for Use in Tier I Service’, DRAFT RSAC REPORT/2010, editat de Federal Railroad Administration (FRA) [36, 37].

Principalele elemente ale GTW DMU/EMU II pentru satisfacerea necesităților privind rezistența la coliziuni sunt:

- Cupla automată cu absorbție de energie
- O pereche de blocuri absorbante de energie (crash module) cu posibilități de interblocare
- Structură superioară de ranforsare pentru protecția acoperișului cabinei mecanicului contra coliziunii
- O pereche de bare verticale (A-pillar) și un perete frontal rigid al cabinei (crash wall) pentru protejarea mecanicului în caz de coliziune frontală
- O pereche de elemente absorbante de energie (crash boxes) amplasate între peretele absorbant de energie (crash wall) și șasiu.

Alinierea la cerințele standardului EN15227 a fost validată prin simularea următoarelor scenarii de coliziune:

- Scenariul 1: impact frontal cu o unitate identică, la viteza de 36 km/h
- Scenariul 2: impact frontal cu un vehicul echipat cu tampoane, la viteza de 36 km/h
- Scenariul 3: impact frontal cu un obstacol mare și deformabil de 15 ton la viteza de 110 km/h.

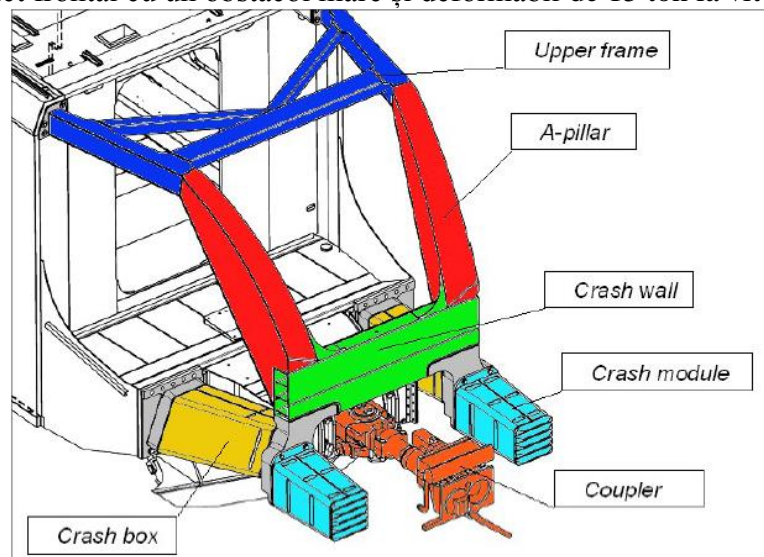


Fig. 2.18. Concepția structurală privind rezistența la coliziuni a trenului regional GTW DMU/EMU II[37]

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 52
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

În lucrare se prezintă doar rezultate ale simulării scenariului 3 de coliziune.

În prima parte a impactului, blocurile absorbante de energie (crash module) și cupla vin în contact cu partea inferioară a obstacolului. Forța de impact duce la deformarea cuplei automate, iar blocurile absorbante se deformează parțial. Succesiv obstacolul intră în contact cu perete frontal rigid și cu barele verticale (A-pillar) care distribuie sarcina la elemente absorbante de energie (crash boxes) și la barele longitudinal ale structurii absorbante de la acoperis, conform figurii 2.19.

În figura 2.20 sunt reprezentate caracteristicile forțelor înregistrate în timpul coliziunii.



Fig. 2.19. Simularea scenariul 3 de coliziune, starea deformată [37]

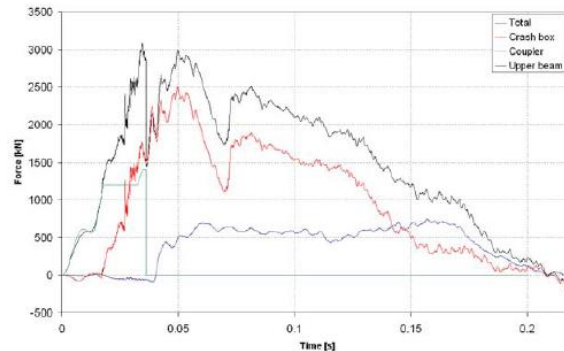


Fig. 2.20. Simularea scenariul 3 de coliziune, caracteristicile forțelor de coliziune [37]

2.8.2 Practica Bombardier



Fig. 2.21. Lovomotiva TRAXX F140 AC2 - Bombardier

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 53
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Locomotiva TRAXX F140 AC2 realizată de firma Bombardier, este parte componentă a familiei TRAXX, fiind o locomotivă pentru transport pasageri care poate atinge o viteză de 160 km/h.

TRAXX F140 AC2 a fost realizată în regim de rezistență la coliziuni, conform normativului EN15227/2011. Conceptul de rezistență la coliziuni a fost implementat prin integrarea în structura de preluare a șocului de coliziune a unui sistem de absorbție a energiei constând din tampoane EST Duplex G1.A1 și o zonă deformabilă plastic, plasată în partea frontală a cabinei mecanicului.

Absorbția energiei de coliziune se face în trei trepte distinct, după cum urmează:

-În prima etapă acționează elementele reversibile ale tamponelor EST Duplex G1.A, asigurând preluarea unei cantități de energie de până la 30...60 kJ pe element. Acest sadiu asigură preluarea solicitărilor care se realizează în regimul current de utilizare, la tamponări cu o viteză de maximum 12km/h. În acest stadiu nu este necesară repararea, ci doar inspecții periodice.

-În etapa a II-a, cu ajutorul elementelor de deformare plastică ale tamponelor EST Duplex G1.A1 se poate absorbi o cantitate de energie de până la 1,7 MJ la ambele capete de vehicule. În acest stadiu este necesară înlocuirea tamponelor și inspecția structurii de rezistență.

-În etapa a III-a, se poate absorbi o cantitate de energie de până la 3 MJ prin acționarea structurilor deformabile controlat, amplasate în partea din față a cabinei mecanicului și a șasiului.

Structurile deformabile includ următoarele elemente:

- Plug de obstacole, care servelte la înlăturarea obstacolelor mici de pe cale. Plugul are o construcție masivă fiind capabil să suporte forțe de 300 kN și este conceput pentru a se deforma într-o manieră controlabilă,

-Dispozitiv anti-cățărare care satisface o forță minimă de 150 kN la fiecare cap al locomotive.

-Un sistem de traverse metalice în fața cabinei mecanicului care oferă rezistență la o forță static de minim 700kN

-Un sistem traverse metalice deasupra ramei ferestrei care rezistă la o forță statică minimă de 300 kN

-Un perete frontal antipenetrant, peste întreaga fereastră a cabinei mecanicului, care are menirea de a proteja mecanicul contra pătrunderii obiectelor / corpurilor exterioare.

-O placă protectoare la peretele din spatele cabinei, care se întinde în spatele spațiului de refugiu al mecanicului și servește pentru prevenirea pătrunderii de obiecte străine în situația coliziunilor frontale.

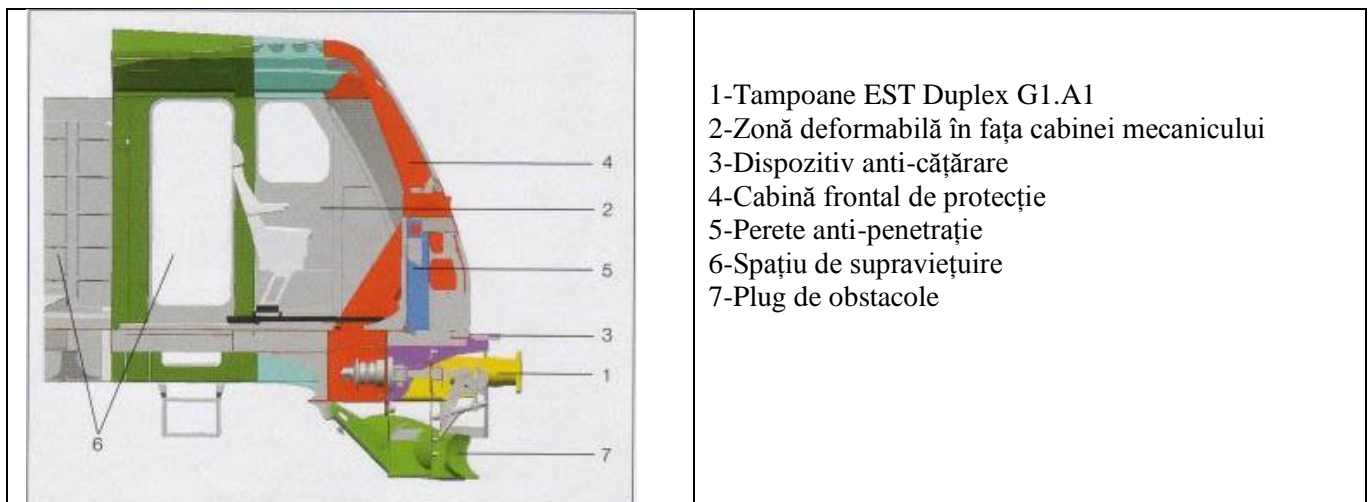


Fig. 2.22. Aranjarea dispozitivelor de siguranță pentru partea frontală a locomotivei TRAXX F140 AC2

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 54
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01



Fig. 2.23. Simularea unei situatii de coliziune frontală realizată cu o machetă a părții frontale a locomotivei TRAXX F140 AC2

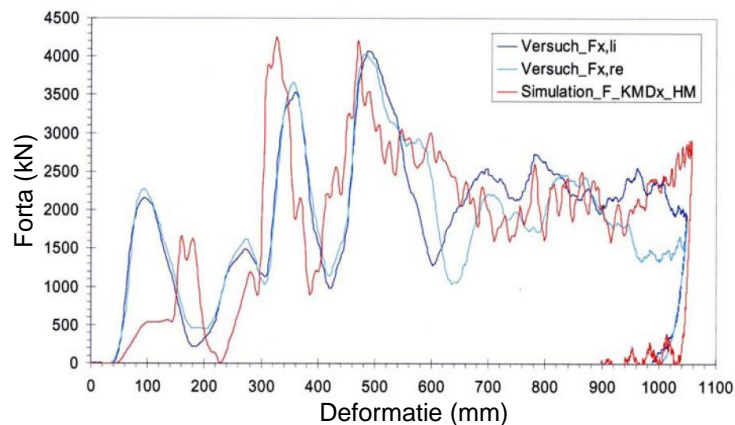


Fig. 2.24. Caracteristici ale forțelor înregistrate la simularea unei situatii de coliziune frontală cu macheta părții frontale a locomotivei TRAXX F140 AC2

2.8.3 Practica Skoda



Fig. 2.25. Skoda 109E concepută pentru a satisface necesitățile EN15227 privind rezistența la impact

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 55
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Nu se cunosc detalii de realizare ale locomotive Skoda 109E, dar din prospecte rezultă că locomotiva realizată în anul 2006 este prevăzută cu tampoane EST Duplex G1.A1 și satisface necesitățile standardului EN15227 privind rezistența la impact.

2.8.4 *Practica Acela (Statele Unite)*

Trenul ACELA a fost proiectat de Bombardier și operează în Statele Unite. Vagonul motor este prevăzut cu o cuplă automată cu absorbitor integrat de energie la care se cunoaște că poate să disipe o energie de până la 1 MJ. De asemenea vagonul motor include o zonă deformabilă pentru disiparea unei energii de coliziune de 4MJ la o lungime de deformare de 1m. În acest fel vagonul motor al trenului ACELA poate disipa o cantitate totală de energie de 5MJ. Vagoanele tractate de asemenea include cuple automate care pot să disipe o energie de până la 1 MJ.

2.8.5 *Practica TGV (France)*



Fig. 2.26. Trenul de pasageri TGV Duplex – Franța

Trenul de mare viteză TGV Duplex, este un tren de pasageri cu vagoane etajate, proiectat de un concern de întreprinderi, în colaborare și pentru operatorul SNCF. Trenul constă din câte un vagon motor la fiecare capăt, cuplat de vagonul adiacent cu o bară de tracțiune și sistem de tampoane. Elementele de preluare a energiei de impact sunt localizate la partea frontală a vagoanelor motor.

Există trei zone distincte pentru disiparea controlată a energiei:

- una la partea frontală a vagoanelor motor,
- una la partea spate a vagoanelor motor, către vagonul purtător,
- una la partea dinspre vagonul motor a primului vagon purtător.

Partea frontală a fiecărui vagon motor cuprinde o structură rigidă, protectoare pentru cabina mecanicului, în fața căreia există trei tuburi absorbante de energie din oțel, dintre care două sunt la un unghi dat față de axa longitudinală. Aceste tuburi continuă partea terminală a șasiului. Un bloc de aluminiu de tip figure este localizat chiar deasupra părții terminale a șasiului.

Din documentația avută la dispoziție rezultă o capacitate de absorbție de energie de cca. 2.7MJ la o lungime de deformare de cca. 1m pentru fiecare parte frontală a vagonului motor.

Partea din spate a fiecărui vagon motor include mai multe structuri absorbante proiectate pentru a absorbi energia într-o manieră controlată. Se estimează că și aceste structuri absorb o energie de cca. 2.7MJ la o lungime de deformare de cca. 1m.

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 56
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Rezultatul unei foarte bune proiectări în ceea ce privește rezistența la coliziune se poate observa din analiza unui accident petrecut în Franța pe 18 februarie 2011, când un tren TGV Duplex a lovit un autoturism BMW la o trecere de nivel. Fotografiile prezentate în fig. 2.27 sunt sugestive.



Fig. 2.27. Accident feroviar pe data de 18 februarie 2011 când un tren TGV a lovit un autoturism BMW la pasaj de cale ferată

2.9 Metode moderne de analiză și de evaluare a rezistenței la impact a vehiculelor feroviare

Așa cum a fost arătat în paragraful 2.5, standardul european EN 15227+A1/2011 recomandă analiza comportării la coliziuni a vehiculelor feroviare prin utilizarea unor metode combinate de analiză teoretică și încercări. Având în vedere particularitățile fenomenelor de coliziune, masele și vitezele mari implicate putând avea ca rezultat deformații mari, duse în zona deformațiilor plastice, normativul recomandă utilizarea unor metode analitice bazate pe programe care să aibă capabilități de lucru în zona deformațiilor plastic mari și tranzitorii.

În analiza numerică, structura vehiculelor feroviare poate fi modelată prin plăci, grinzi și diverse elemente geometrice spațiale, iar corectitudinea alegerii acestor elemente, corectitudinea modelării geometrice precum și corecta alegere a proprietăților materialelor utilizate determină în mod direct comportamentul static și dinamic al modelelor structurale asociate structurii reale. Ca regulă general, un model teoretic trebuie calibrat și validat prin date obținute prin încercări pe structura reală. Culegerea datelor experimentale pentru calibrarea modelului teoretic se face prin mai multe metode, în funcție de menirea modelului analitic.

În general, pentru calibrarea unui model analitic utilizat pentru analize la solicitări statice complexe, sunt suficiente încercări statice, care oricum trebuie să fie efectuate ca efect al recomandărilor standardului EN 12663-1 - Railway applications - Structural requirements of railway vehicle bodies - Part 1: Locomotives and passenger rolling stock [26].

Probleme mai complicate apar atunci când modelul analitic se dorește a fi utilizat pentru analize dinamice, cum este cazul analizei la coliziuni, conform normativului EN 15227+A1/2011.

Dinamica unei structuri mecanice, în special în situații de solicitări tranzitorii, implică cunoașterea unor caracteristici dinamice precum, frecvențe proprii, factori de amortizare, forme modale, care nu pot fi determinate prin încercări statice. Caracteristicile structurale legate de dinamica vehiculului se determină prin încercări specifice precum analize vibratorii, analiză modală, răspuns la solicitări la impact, răspuns la solicitări treaptă, etc.

Caracteristicile statice alături de caracteristicile dinamice, determinate prin încercări pe vehicule feroviare, sau pe structuri componente ale acestora, constituie date experimentale de intrare necesare pentru calibrarea și validarea unui model analitic complex care astfel devine capabil a fi utilizat pentru

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 57
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

evaluarea și certificarea rezistenței la coliziuni în conformitate cu cele mai înalte standarde în domeniu, precum standardul European EN 15227+A1/2011 sau reglementarea Nord Americană ‘Technical Criteria and Procedures for Evaluating the Crashworthiness and Occupant Protection Performance of Alternatively-Designed Passenger Rail Equipment for Use in Tier I Service’ [36].

În continuare se prezintă pe scurt procedura de urmat pentru a obține un model analitic calibrat prin date experimentale.

2.9.1 Analiza statică

Pentru a obține caracteristicile statice structurale ale cutiilor de vehicule feroviare se utilizează normativul EN 12663-1. Cutia vehiculului este supusă la diferite scenarii de încărcare, cum ar fi:

- Forțele longitudinale de tracțiune și de compresiune alicate în zona tamponelor și / sau cuplei.
- Forțele longitudinale de tracțiune și de compresiune alicate pe structura de rezistență la diverse înălțimi față de podea.
- Sarcinile statice verticale pentru simularea condițiilor excepționale și de serviciu.
- Suprapuneri de cazuri de încărcare statică longitudinală și verticală.

În timpul încercărilor se determină deformațiile și tensiunile mecanice în puncte sensibile ale structurii rezultate dintr-o analiză preliminară cu elemente finite (FEM). În general, pentru o corectă calibrare a unui model FEM al unei cutii de vehicul feroviar sint necesarea cca. 100-150 puncte de măsurare a tensiunilor mecanice și un număr de 15...20 puncte de măsurare a deformațiilor. De aici rezultă și complexitatea sistemului de analiză utilizat la încercări.

Sarcinile pe direcția orizontală se aplică cu un sistem de cilindrii hidrauluci capabili să dezvolte forte de tracțiune sau de compresiune de pînă la 2000 kN. Pentru a simula efectul bagajelor și pasagerilor se poate realiza încărcarea podelei cu saci de nisip sau cu rezervoare încărcate cu apă.

Se rulează pe calculator modelul analitic în aceleași condiții de solicitare ca cele aplicate la încercări și se face analiza comparativă a răspunsurilor în tensiuni mecanice și deplasări. O analiză comparativă tipică a rezultatelor teoretice și experimentale se prezintă în figura 2.28.

Se realizează ajustarea modelului analitic prin modificări geometrice sau ale unor caracteristici de material, iar calibrarea se consideră satisfăcută când marea majoritate a răspunsurilor numerice acoperă răspunsul experimental într-o marja dată de erori.

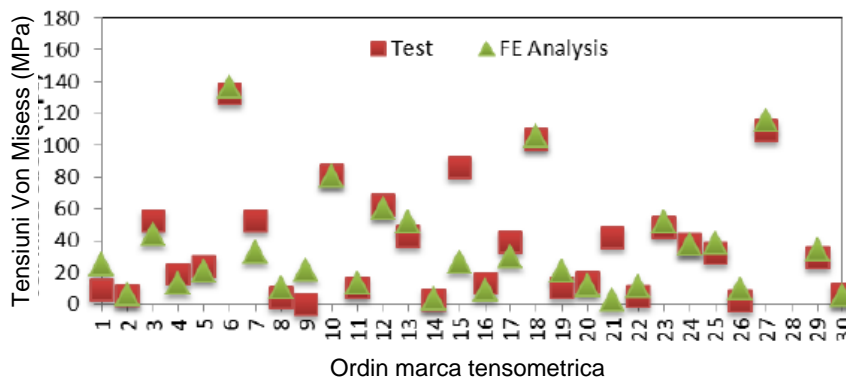


Fig. 2.28. Rezultatul analizei statice comparative, teoretică și experimentală, pentru o cutie de vehicul feroviar [38]

Pe un model analitic validat prin date experimentale se pot aplica diverse tipuri de solicitări care experimental ar fi imposibil de realizat, sau total neeconomic din punct de vedere financiar și al timpului alocat. În figura 2.29 este reprezentat rezultatul unei asemenea analize statice efectuate pe un model analitic calibrat prin date experimentale.

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 58
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

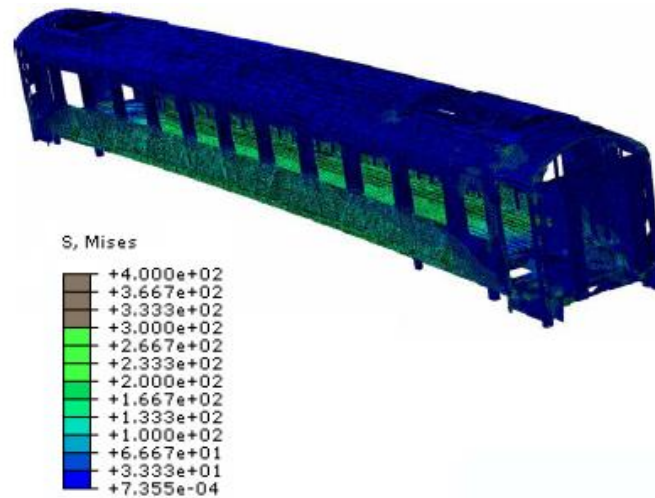


Fig. 2.29. Rezultatul unei analize statice efectuată pe un model analitic calibrat [38]

2.9.2 Analiza dinamică

Programele evolute de analiză cu elemente finite conțin propriul modul de analiză modală care permite evaluarea caracteristicilor dinamice (frecvențe proprii, factori de amortizare, forme modale) pe baza modelului analitic și a răspunsului la solicitări impuse, definite în domeniile timp sau frecvență. Aceste caracteristici sunt necesare pentru a obține comportamentul vibratoriu al vehiculelor, răspunsul la situații concrete întâlnite pe calea de rulare, iar ca fază finală a unei analize dinamice, evaluarea comportamentului și a rezistenței la diverse scenarii de coliziune recomandate prin EN 15227+A1.

În figura 2.30 sunt reprezentate primele trei forme modale ale unui vagon de pasageri determinate prin analiză teoretică, corespunzând la frecvențele proprii de 9Hz, 12,5Hz și 17.4Hz [38].

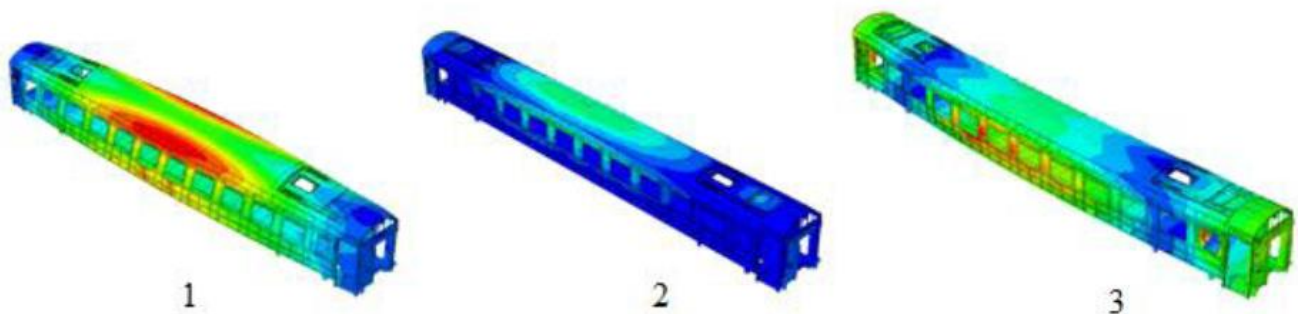


Fig. 2.30. Primele trei forme modale ale unui vagon de pasageri determinate prin analiză modală teoretică [38]

Validarea modelului analitic, dinamic, se face prin analiză structurală experimentală, aplicată pe tren complet echipat, pe carcasă, sau pe module componente.

Analiza structurală experimentală, constituie procedura de elaborare a modelului matematic al unei structuri pe baza datelor experimentale obținute prin măsuratori efectuate pe structura adusa într-o stare vibratorie controlata. Sistemul este excitat in condiții bine definite și, determinând legile de evoluție ale excitației și raspunsului vibratoriu se identifica un numar minim de parametri ce descriu modurile proprii de vibrație: pulsații proprii, factori de amortizare, forme modale. Modelul modal experimental permite realizarea de modificari ale structurii reale și evaluarea teoretica a raspunsului

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 59
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

sistemului modificat la acțiunea excitațiilor externe sau interne, determinându-se modificările optime pentru obținerea unui sistem cu raspuns vibratoriu dorit.

Modelul modal experimental constituie elementul de calibrare al modelului analitic. Modelul modal obtinut prin analiza teoretica este caracterizat de acelasi tip de parametri modali ca si modelul experimental. Daca modelul analitic este bine realizat, analiza teoretica are avantajul unei puteri mari de calcul si posibilitati de extindere a tipurilor de analiza si la alte in situatii greu, sau imposibil de realizat practic.

In mod curent analiza structurala experimentală se aplica in tandem cu analiza teoretica cu elemente finite, iar in funcție de programul utilizat (Ansys, Nastran, Abaques, etc.), de complexitatea structurii analizate și de abilitațiile utilizatorului, se obțin rezultate teoretice care pot sa descrie cu suficienta acuretețe comportarea structurii reale. Atât analiza structurala experimentală cât și analiza cu elemente finite au ca rezultate intermediare parametri modali, obținuți prin procedeele specifice fiecarui tip de analiza. Prin analiza structurala experimentală, parametrii modali sunt furnizați direct de structurăprin incercările de identificare modala, pe cand analiza teoretica lucreaza cu date geometrice si caracteristici de material cunoscute aproximativ. Acesta este motivul pentru care este necesara validarea modelului teoretic prin date obținute prin analiza structurala experimentală.

2.9.3 Analiza rezistenței la coliziuni a vehiculelor feroviare

Scopul principal al analizei la coliziuni este de a furniza date referitoare la rezistența la coliziuni si de a preveni pierderile de viați umane, atunci cand are loc un accident feroviar. Prin normativele recente privind siguranța în transportul feroviar, s-a adoptat soluția asigurării măsurilor de siguranță pasivă ca ultimă soluție atunci când toate măsurile de siguranță activă au fost epuizate. Conform acestei abordări, atunci când coliziunea nu mai poate fi evitată vehiculul feroviar ar trebui să se deformeze într-un mod controlat, în așa fel încât deformare structurală să progreseze de la capăt către interior, fără a afecta regiunile unde sunt localizați pasagerii și personalul operativ. Deformarea unui vehicul feroviar progresează, în general, în cinci faze, după cum urmează:

- Impact în tampone,
- Absorbția energiei în cuplă și tampoane, prin mecanisme elastic,
- Absorbția energiei în cuplă și tampoane, prin mecanisme de deformare plastică,
- Deformație controlată, progresivă, a elementelor de absorbție a energiei primare,
- Deformarea necontrolată a structurii cu riscul atingerii compartimentului pasagerilor.

Pentru ca deformarea să progreseze într-o manieră controlată, este necesar ca deformarea elementelor structurale să evolueze, de asemenea, într-o manieră controlată în așa fel încât cantitatea de energie absorbită într-un vehicul să fie direct legată de limita de curgere și de energia înmagazinată în elementele de rezistență structurală.

Normativul EN 15227+A1/2011 recomandă mai multe scenarii pentru determinarea rezistenței la coliziuni a vehiculelor feroviare, detaliile fiind prezentate în paragraful 2.5.

În continuare se prezintă câteva rezultate interesante, privind modelarea unor scenarii de coliziune cu diverse tipuri de obstacole, accentul punându-se pe evoluția deformației structurii vehiculului feroviar în timpul coliziunii. În lucrarea [39] este analizată coliziune unui vagon motor singular, de ramă multiplă EMU, cu diverse obstacole, conform normativului EN 15227+A1/2011.

Pentru analiză a fost utilizat programul ANSYS LS-DYNA care este dotat cu toate facilitățile de analiză dinamică în zona deformațiilor mari, plastice și tranzitorii. Suplimentar programul are integrat modul pentru analiza la coliziune.

Un prim scenariu este coliziunea frontală, la viteza de 110 km/h cu un obiect cu masa de 40t. Sunt analizate două cazuri când obiectul tamponat este deformabil sau rigid.

Partener P1 SC SOFTRONIC CRAIOVA	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 60
	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

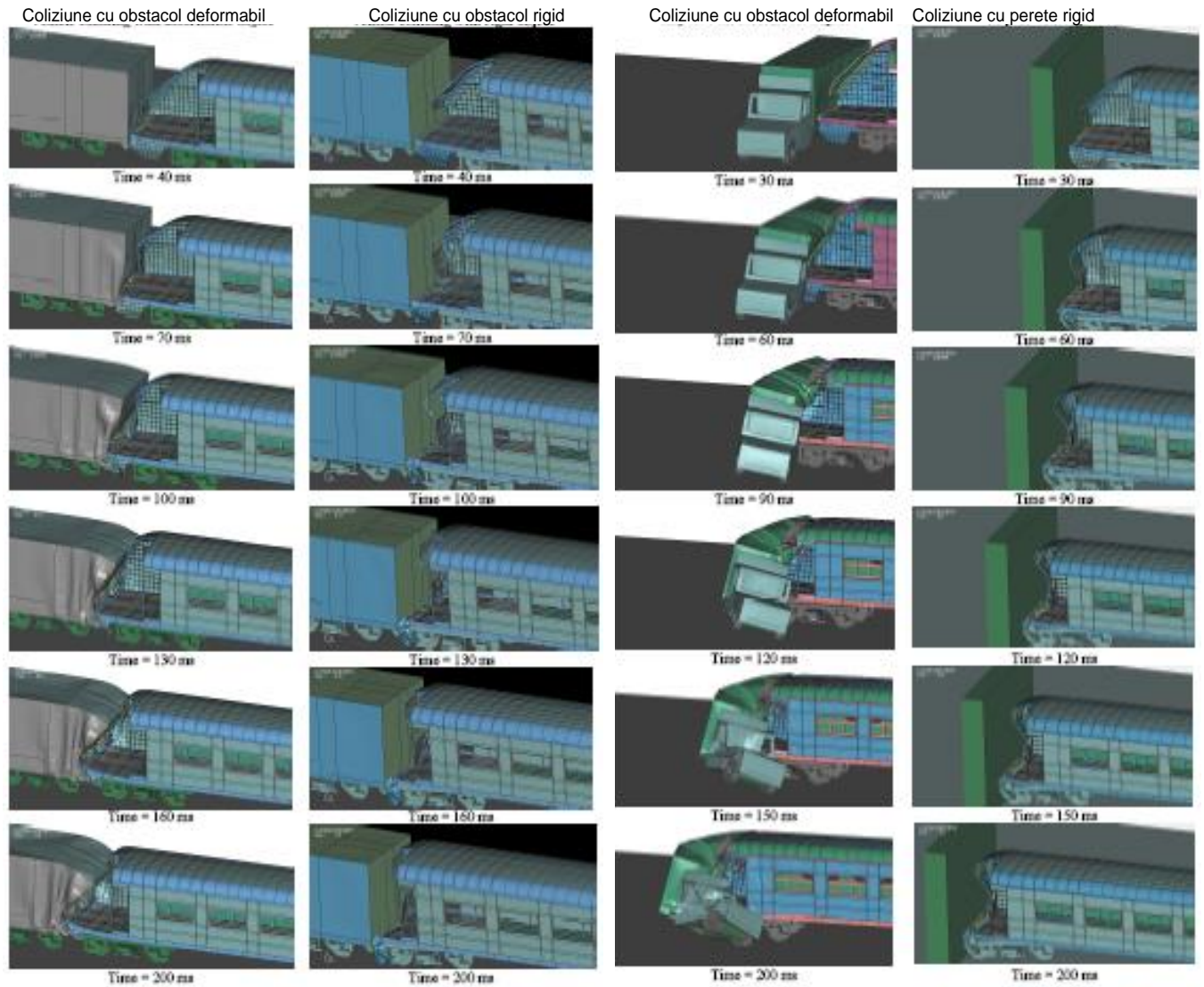


Fig. 2.31. Scenarii de coliziune ale unui vehicul feoviar cu diverse tipuri de obstacole, la viteza de 110 km/h [39]

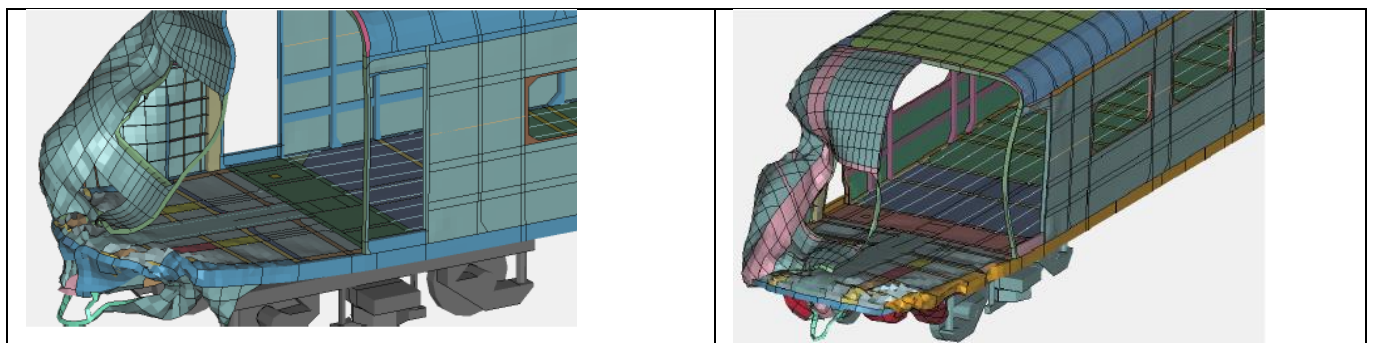


Fig. 2.32. Rezultatul coliziunii frontale la 110 km/h cu un obiect deformabil de 40t (stânga) și cu un obiect deformabil de 15t (dreapta) [39]

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 61
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Ca un rezumat al scenariului de coliziune, așa cum este prezentat în figura 2.31 stânga, în coliziunea cu un obiectul rigid, vehiculul care lovește se deformează într-un model regulat, dar a fost deformat pe o distanță mai mare. În coliziune cu un obiect deformabil, vehiculul care lovește se deformează într-un mod neregulat, dar a fost deformat pe o distanță mai scurtă, comparativ cu situația anterioară. Din analiza dinamică se pot desprinde măsuri de consolidare a structurii, dacă este cazul.

Un alt scenariu este coliziunea frontală, la viteza de 110 km/h, cu un obiect cu masa de 15t. Sunt analizate două cazuri când obiectul tamponat este unul deformabil (camion) sau un perete rigid.

Efectul coliziunii asupra vehiculului feroviar este clar reprezentat în figura 2.32. Cabina de conducere a vehiculului feroviar rezultă mult mai deformată în urma impactului cu vehiculului deformabil cu masa de 15t. Structura superioară a acestuia deformează cabina de conducere a mecanicului afectând spațiul de siguranță. De aici se desprind și măsuri pentru optimizarea structurii vehiculului feroviar în privința consolidării cabinei de conducere.

Analize similare se pot efectua pentru toate scenariile de coliziune recomandate de normativul EN 15227+A1/2011.

Din această prezentare rezultă clar utilitatea metodelor de analiză combinată pentru calificarea din punct de vedere al rezistenței la coliziune a vehiculelor feroviare.

2.10 Stadiul actual al SC SOFTRONIC Craiova în domeniul realizării de vehicule feroviare

2.10.1 Locomotive electrice

În momentul de față are în portofoliul de fabricație două tipuri de locomotive electrice: Phoenix, locomotivă electrică de 5100 kW, și TransMontana, locomotiva electrică de 6000 kW.

2.10.1.1 Locomotiva electrică de 5100 kW Pheonix



Fig. 2.33. Locomotiva electrică de 5100 kW Pheonix

Caracteristici tehnice principale

-formula osiilor: Co-Co

-lungimea peste tampoane: 19800 mm

- lățimea 3000 mm

- domeniul de lucru al pantografului, sub linia de contact, măsurat de la suprafață superioară a ciupercii șinei. 4850 ÷ 6700 mm

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 62
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

- distanta dintre centrele boghiurilor: 10300 mm
- distanta dintre osiile extreme ale unui boghiu 4350 mm
 - _ diametrul roții în stare nouă 1250 mm
 - diametrul roții semiuzate 1210 mm
- greutatea totală:
 - cu balast 126t±2% pt. 120 km/h
 - fara balast 120t±2% pt. 160 km/h si 200 km/h
- sarcina pe osie:
 - cu balast 21t±2% pt. 120 km/h
 - fără balast 20t±2% pt. 160 km/h si 200 km/h
- putere nominală (de durata): 5100 kW (corespunzator regimurilor de scurta durata ale motoarelor de tractiune se pot dezvolta puteri de pana la max.6600kW)
- forța de tracțiune la obadă în regim nominal cu bandaje semiuzate:
 - a) viteza maximă 120 km/h
 - excitație 100% la 69,5 km/h 265000 N
 - excitație 50% la 90,5 km/h 206000 N
 - b) viteza maximă 160 km/h
 - excitație 100% la 92,5 km/h 199000 N
 - excitație 50% la 120km/h 154000 N
 - c) viteza maximă 200 km/h
 - excitație 100% la 122 km/h 150000 N
 - excitație 50% la 163km/h 110000 N
- forța de tracțiune la pornire (raport 1:3,65) : 440000 N pt. $G_L = 126\text{ t}$

Partea mecanică

Boghiurile: Boghiurile si cuplajul dintre acestea sunt derivate din cele utilizate pentru LE 5100 kW din parcul existent si sunt in conformitate cu specificatia tehnica DTB 3653 pentru LE cu viteza maxima de 120 km/h si 160km/h respectiv cu specificatia tehnica F.P./sBL 7061 pentru LE cu viteza maxima de 200km/h fiind echipate cu roți monobloc si cu osii cu fusurile la cutiile de osie cu diametrul nominal de 170mm.



Cutia locomotive: Cutia locomotivei este o construcție metalică sudată, autoportantă, care preia eforturile datorate greutateii agregatelor, forțelor de tracțiune, ciocniri și frânare si este omologata in conformitate cu ST 037/2008, avizata de AFER, fiind destinata asigurării spațiului necesar amplasării echipamentului și deservirii, întreținerii și conducerii locomotivei de către personalul de exploatare.

Locomotiva electrică de 5100 kW Pheonix nu prezintă certificare pentru rezistență la coliziuni.

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 63
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01



2.10.1.2 Locomotiva electrică de 6000 kW TransMontana



Caracteristici tehnice principale

- formula osiilor: Co-Co;
- lungimea peste tamboane: 19740 mm;
- lățimea: 3000 mm;
- domeniul de lucru al pantografului, sub linia de contact, măsurat de la suprafața superioară a ciupercii șinei: 4850 ÷ 6700 mm;
- distanța dintre centrele boghiurilor: 10300 mm;
- distanța dintre osiile extreme ale unui boghiu: 4350 mm;
- diametrul roții în stare nouă: 1250 mm;
- diametrul roții semiuzate: 1210 mm;
- greutatea totală fără balast: 120t±2%;
- sarcina pe osie: 20t±2% ;
- putere nominală (de durată): 6000 kW;
- forța de tracțiune la obadă în regim nominal cu bandaje semiuzate: 292 kN;
- puterea nominală a transformatorului de tracțiune: 7422 kVA;

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 64
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Partea mecanică

Boghiurile: Boghiurile și cuplajul dintre acestea sunt derivate din cele utilizate pentru LE 5100kW din parcul existent și sunt în conformitate cu specificația tehnică SBL7081 pentru LE cu viteză maximă de 160 km/h, fiind echipate cu roți monobloc și osii, unde fusurile pentru lagărele de osie au diametrul nominal de 170 mm. Boghiurile au în componență un angrenaj nou, cu raportul apropiat de ver. 120 km/h, dar cu viteză maximă 160 km/h, lucru posibil datorită folosirii motorului de tracțiune asincron. Suspensia secundară este realizată cu elemente Hurglass. Ramele boghiurilor sunt realizate la S.C. SOFTRONIC S.R.L, iar osiile montate noi la S.C. CAROMET.



Cutia locomotive: Cutia locomotivei este o construcție metalică sudată, autoportantă, care preia eforturile datorate greutateii agregatelor, forțelor de tracțiune, ciocniri și frânare și este omologată în conformitate cu ST 037/2008, avizată de AFER, fiind destinată asigurării spațiului necesar amplasării echipamentului și deservirii, întreținerii și conducerii locomotivei de către personalul de exploatare. Cutia este prevăzută cu tamponi absorbante crash și plug de zapadă îmbunătățit. Oglizile retrovizoare sunt înlocuite cu camere retrovizoare și sistem de înregistrare al acestora și al sunetelor din interiorul cabinei de conducere. Sala mașini este presurizată cu aer filtrat, iar aerul condiționat din cabină este cu împropatare conform UIC 651. Locomotiva electrică de 6000 kW TransMontana nu prezintă certificare pentru rezistență la coliziuni.



Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 65
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

2.10.2 Trenul Electric Regional SB-EMU

Trenul Electric Regional SB-EMU se află în faza de execuție prototip și va fi o unitate electrică multiplă de transport persoane formata din 4 vagoane interconectate, două motor, de capăt, și două purtător, la mijloc. Pe parcursul realizării, pe componente, și la final de execuție, pe prototip, *Trenul Electric Regional SB-EMU* va fi supus unor complexe încercări pentru determinarea performanțelor funcționale și va trebui să corespundă tuturor normativelor europene din punct de vedere al dinamicii, al calității mersului și al siguranței în transportul pe calea ferată.

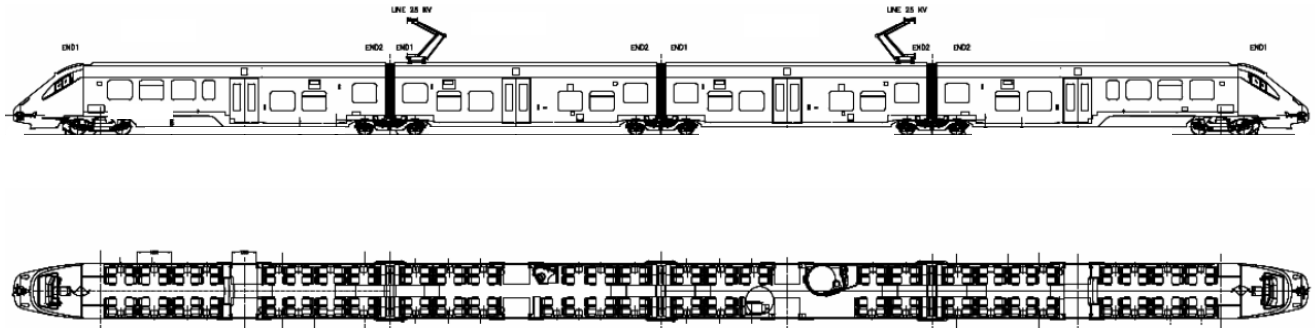


Fig. 2.34. Trenul Electric Regional SB-EMU

Fiecare vagon motor de capăt se sprijină pe un boghiu motor și pe o jumătate din boghiul purtător de tip Jacobs. În felul acesta SB-EMU are două boghiuri motor și trei boghuri Jacobs.

Fiind un proiect de concepție nouă, *Trenul Electric Regional SB-EMU*, a fost conceput pentru a satisface cerințele privind rezistența la coliziuni, în conformitate cu normativul EN 15227+A1/2011.

Aceste cerințe vor trebui certificate, pe durata derulării proiectului, prin încercări și analiză.

2.10.2.1 Dotări pentru satisfacerea cerințelor privind rezistența la coliziuni ale vagonului motor

În figura 2.35 este reprezentată structura vagonului motor, cu evidențierea principalelor elemente care asigură satisfacerea cerințelor privind rezistența la coliziune.

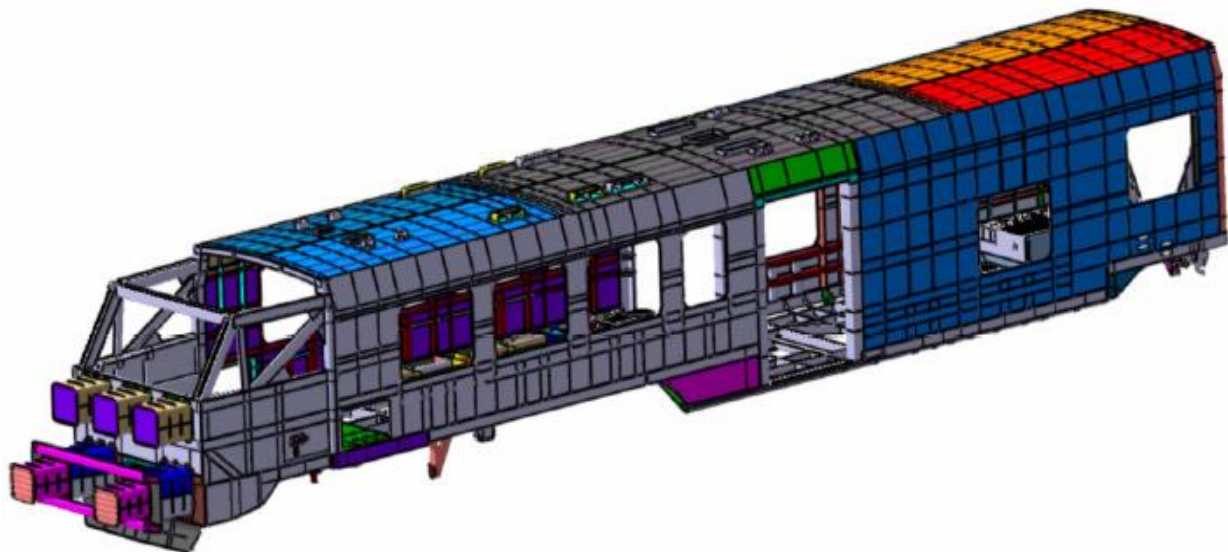


Fig. 2.35. Vagonul motor al Trenului Electric Regional SB-EMU

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 66
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

2.10.2.1.1 Cupla automată

Cupla automată este cea descrisă la paragraful 2.7.2 și se utilizează doar la partea frontală a vagoanelor motor. În figura 2.36 este reprezentată cupla automată utilizată la SB EMU și caracteristica sa de forță, iar în figura 2.37 se prezintă modul de montare și principiul său de acționare.

Cupla este atașată la structura vagonului motor prin intermediul a 6 șuruburi, fiecare prevăzut a se rupe la o forță de 400 kN. La acționarea unei forțe la nivelul cuplei mai mare de 2400kN, șuruburile de prindere se smulg, protejând în acest fel structura șasiului.

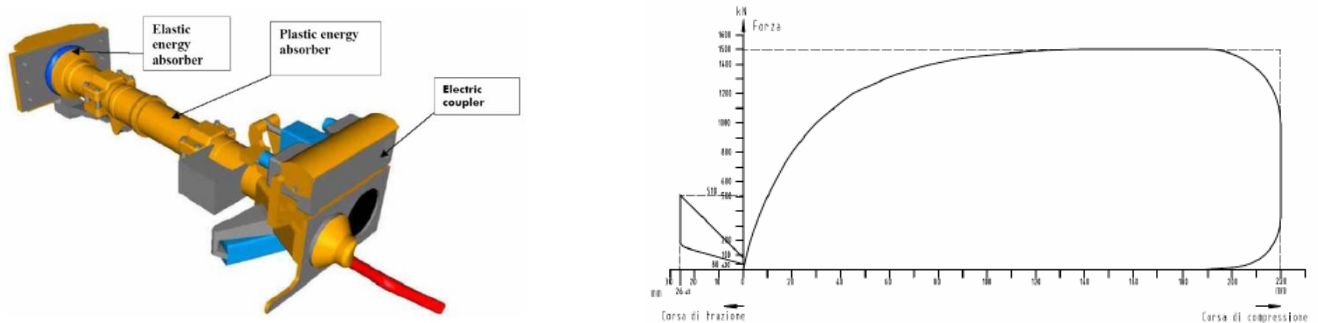


Fig. 2.36. Cupla automată și caracteristica sa de forță

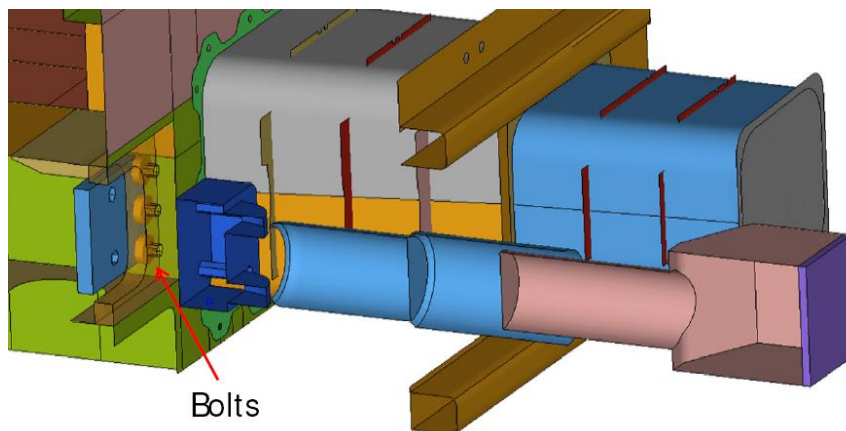


Fig. 2.37. Modul de montare al cuplei automate.

2.10.2.1.2 Șasiul și pereții laterali

Șasiul este o structură cu simetrie axială, având prevăzută în partea frontală zona structurii cu deformație plastică controlată (partea colorată cu galben) care prin deformație preia din energia de coliziune, atunci când toate celelalte elemente de protecție au cedat, protejând astfel mecanicul.

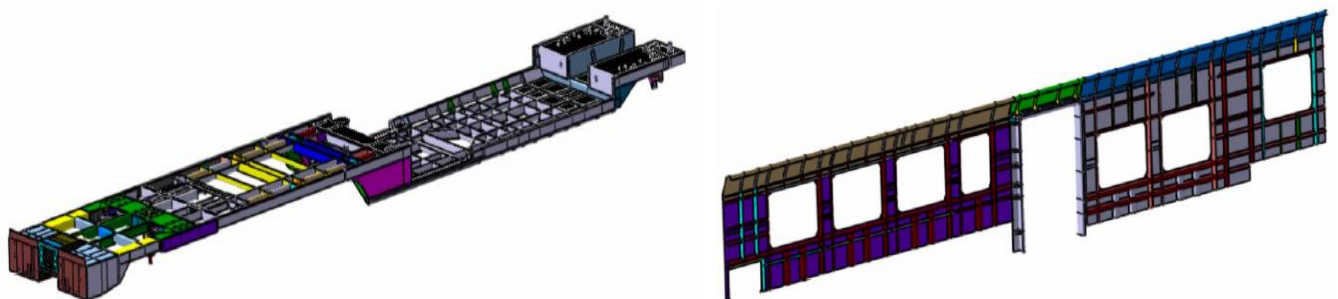


Fig. 2.38. Șasiul și pereții laterali ai vagonului motor

Partener P1 SC SOFTRONIC CRAIOVA	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 67
	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

2.10.2.1.3 Cabina de conducere și peretele de capăt al cabinei de conducere

Cabina de conducere este realizată pentru a proteja mecanicul în fazele primară și secundară ale coliziunii. Este prevăzută cu structuri de ranforsare asigurând protecția mecanicului în caz de coliziune cu obiecte deformabile mari.

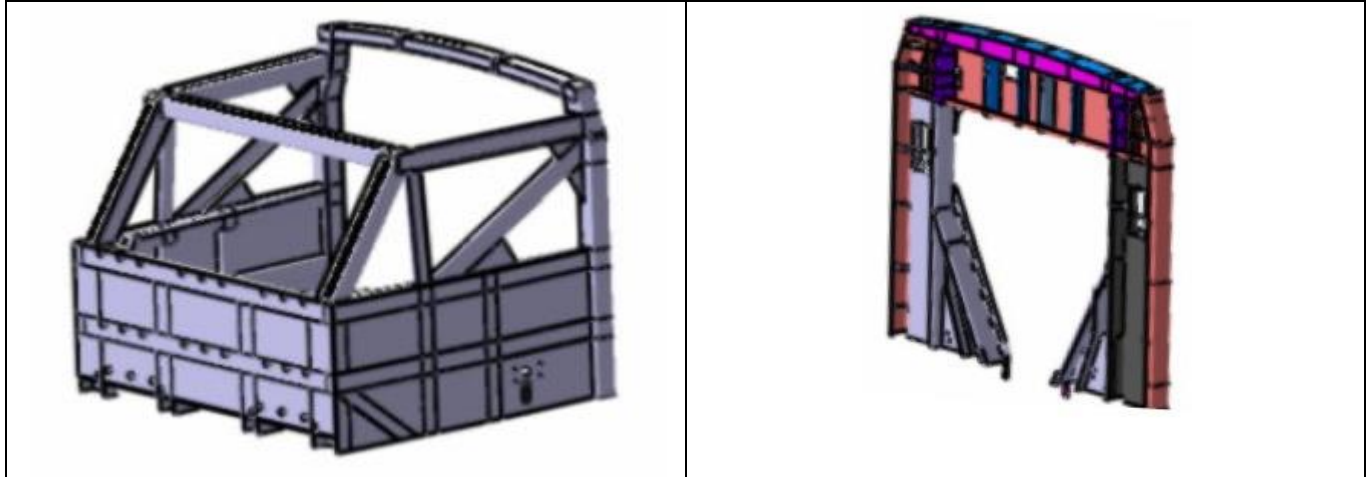


Fig. 2.39. Cabina de conducere și peretele de capăt al cabinei de conducere

2.10.2.1.4 Absorbitorul de șoc

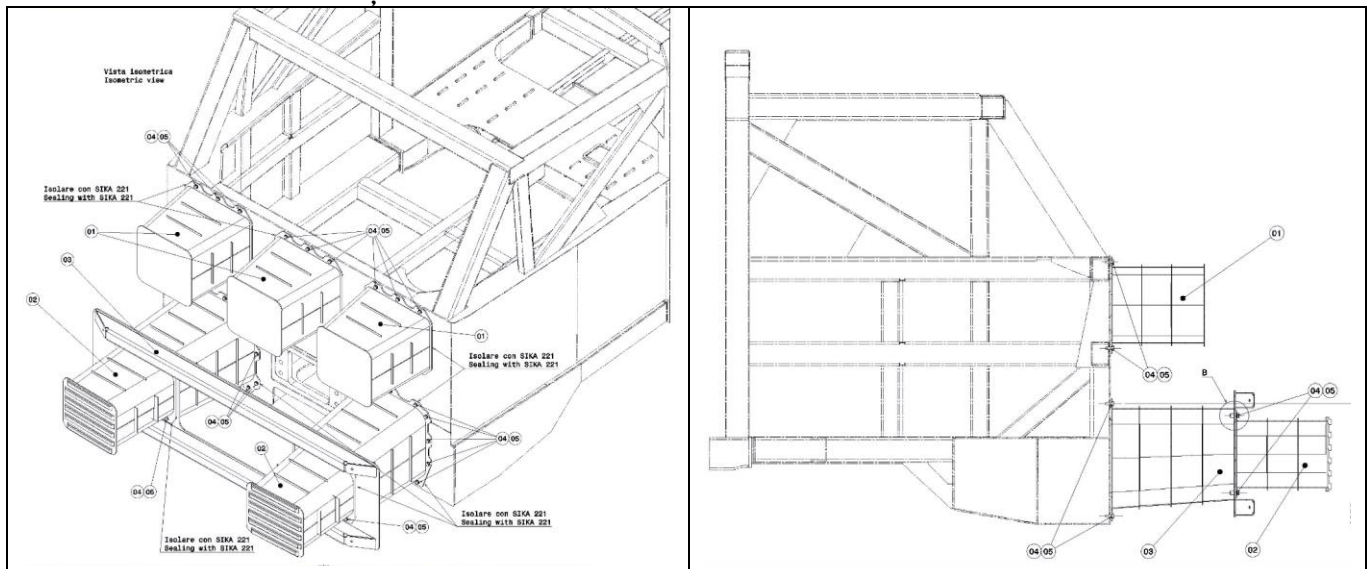


Fig. 2.40. Absorbitorul de șoc

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 68
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Pentru realizarea absorbitorilor de șoc s-a adoptat soluția tuburilor prismatice din tablă de oțel, prevăzute cu elemente de ranforsare în interior. Absorbidorul este realizat în două trepte de absorbție:

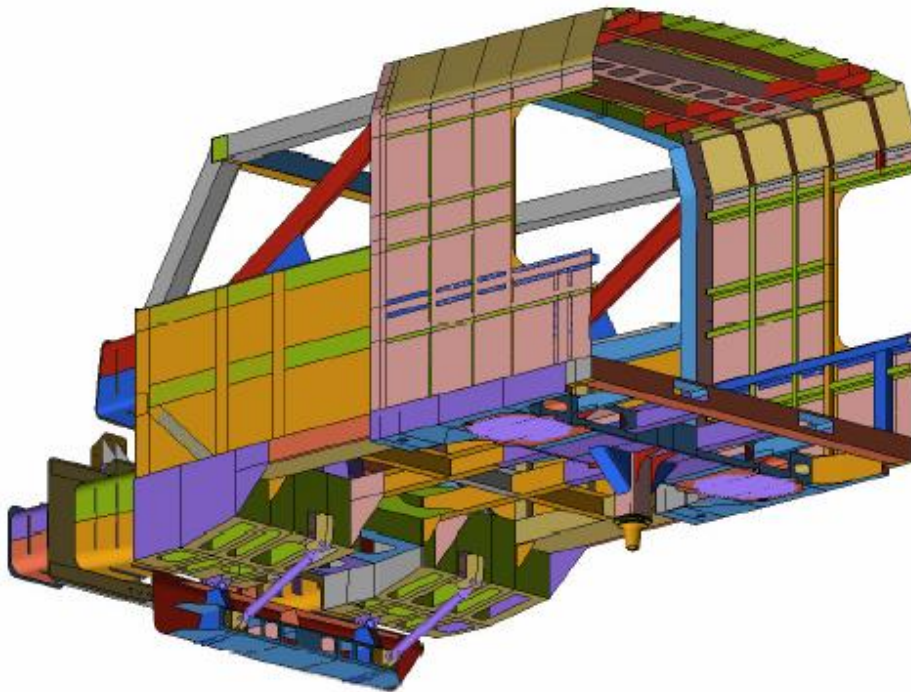
-Treapta inferioară, realizată din două perechi înseriate de absorbitori tubulari, este amplasată la nivelul tamponelor clasice ale locomotivelor convenționale, și are rolul prioritar de preluare a șocului de coliziune datorat impactului cu vehicule feroviare prevăzute cu tamponae.

-Treapta superioară este realizată din trei tamponae prismatice și are rolul de a proteja mecanicul de impactul cu obiecte deformabile mari.

2.10.2.1.5 Plugul de obstacole

Plugul de obstacole este amplasat sub nivelul treptei inferioare a absorbidorului de șoc și are rolul de a înlătura obstacole mărunte aflate pe cale de rulare.

Este prevăzut pentru a face față scenariului 4 de colizoune din EN 15227+A1 cu satisfacerea cerințelor de încercare menționate în tabelul 2.6.



A



B

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 69
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

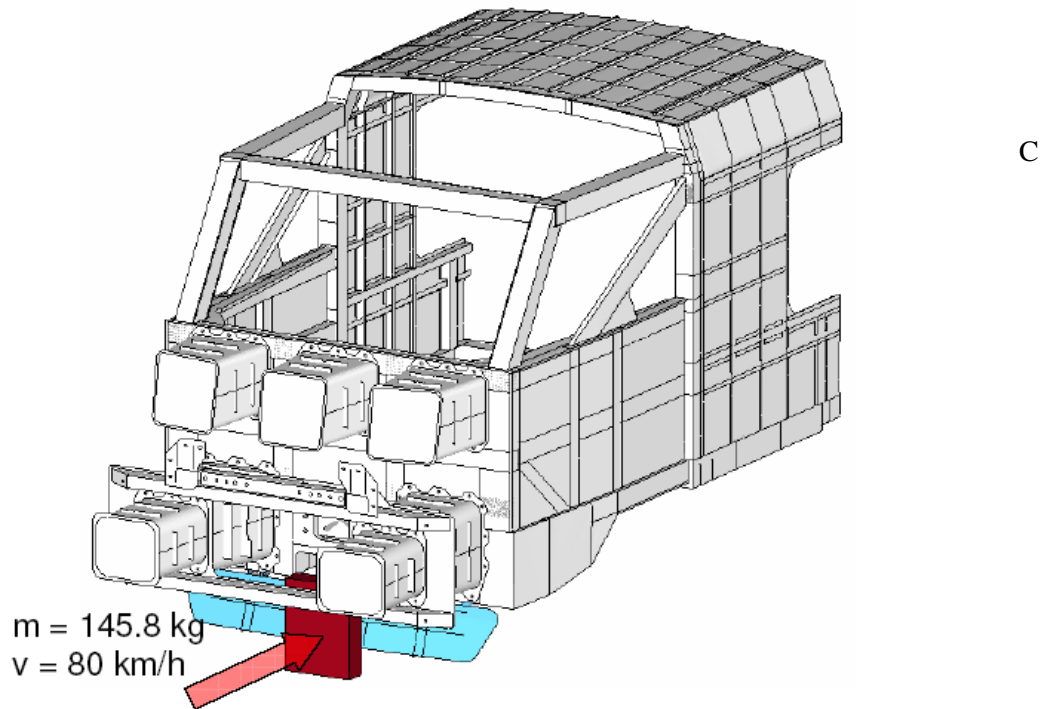


Fig. 2.41. Plugul de obstacole, vedere generală și modul de aplicare a sarcinilor de încercare

2.10.2.1.6 Dispozitiv tată de interconectare vagon motor – vagon purtător

Este dispozitiv cu articulație elastică ce permite jocurile laterale al vagoanelor motor și purtător.



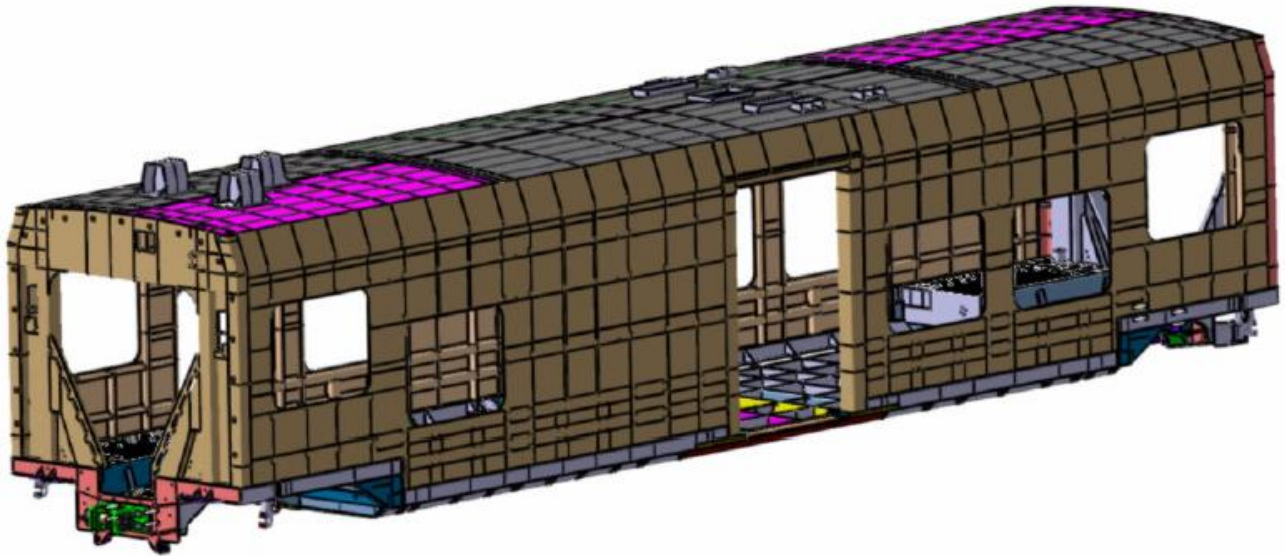
2.42. Dispozitiv tată de interconectare vagon motor – vagon purtător

2.10.2.2 Dotări pentru satisfacerea cerințelor privind rezistența la coliziuni ale vagonului purtător

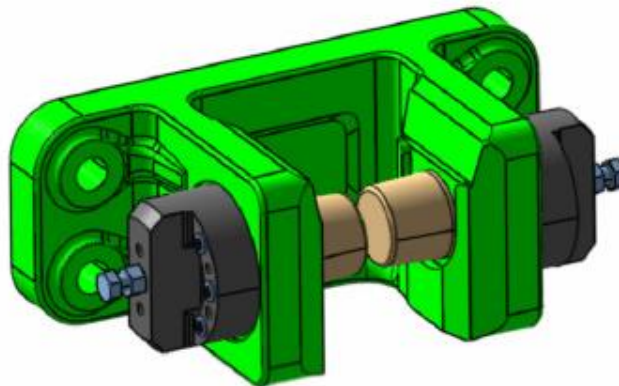
Vagonul purtător nu are prevăzute dotări special pentru preluarea energiei de coliziune, toate măsurile de atenuare fiind luate la nivelul vagonului motor.

În figura 2.43 este reprezentată structura vagonului purtător, iar în figura 2.44 este reprezentat dispozitiv mamă de interconectare cu vagonul motor.

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 70
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01



2.43. Vagonul purtător al Trenului Electric Regional SB-EMU



2.44. Dispozitiv mamă de interconectare vagon purtător – vagon motor

2.11 Strategia de derulare a proiectului în domeniul analizei rezistenței la coliziuni a vehiculelor feroviare realizate de SC Softronic Craiova

2.11.1 Achiziții necesare pentru realizarea proiectului

În cadrul proiectului, în legătură cu analiza rezistenței la coliziuni a vehiculelor feroviare, se vizează următoarele obiective:

1. Realizarea capabilităților și a logisticii pentru aplicarea analizei combinate, teoretică și experimentală, în vederea evaluării și optimizării rezistenței structurale la coliziuni a vehiculelor feroviare din fabricația proprie, conform normativului EN 15227+A1 / 2011.

2. Realizarea capabilităților și a logisticii pentru aplicarea analizei operaționale a vibrațiilor generate sau induse pe structura locomotivei, cu evaluarea solicitărilor dinamice, operaționale sau tranzitorii, care apar la nivelul principalelor echipamente de bord și de automatizare, în vederea verificării la vibrații și șocuri, conform cu nivelul real de la locul de montaj.

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 71
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

3. Realizarea și experimentarea unui dispozitiv cu fluid magnetoreologic de preluare a energiei de impact, cu decelerare controlată, suportabilă de factorul uman, pentru asigurarea rezistenței la coliziuni a vehiculelor feroviare din portofoliul de fabricație.

Cercetarile vor fi orientate și vor fi aplicate pe principalele tipuri de material feroviar aflat în fabricație la SC Softronic, anume: Trenul Electric Regional SB-EMU (aflat în faza de execuție prototip) și locomotivele electrice de 5100kW și 6000kW, aflate în fabricatia curentă.

Analiza combinată presupune o abordare mixtă a problematicii analizei structurale prin analiză structurală teoretică, prioritar cu elemente finite, și analiză structurală experimentală, cu validarea modelului analitic prin date experimentale. Analiza răspunsului vehiculului la situații funcționale complexe, sau de interacțiune cu mediul, se face prin analiză teoretică, pe modelul validat.

Analiza structurala experimentală, constituie procedura de elaborare a modelului matematic al unei structuri pe baza datelor experimentale obținute prin masuratori efectuate pe structura adusa într-o stare vibratorie controlata. Sistemul este excitat in condiții bine definite și, determinând legile de evoluție ale excitației și raspunsului vibratoriu se identifica un numar minim de parametri ce descriu modurile proprii de vibrație: pulsații proprii, factori de amortizare, forme modale. Modelul modal experimental permite realizarea de mici modificari ale structurii reale și evaluarea teoretica a raspunsului sistemului modificat la acțiunea excitațiilor externe sau interne, determinându-se modificările optime pentru obținerea unui sistem cu raspuns vibratoriu dorit. Evaluarea răspunsului sistemului se poate realiza doar în condiții de liniaritate, adică în condițiile limității deformațiilor la limita de elasticitate.

Analiza structurala teoretica, constituie procedura de realizare a modelului matematic al unei structuri prin discretizarea in tipiri definite de elemente finite intre care se stabilesc legi matematice de interactiune si conditii de frontiera. Modelul modal obtinut prin analiza teoretica este caracterizat de acelasi tip de parametri modali ca si modelul experimental. Daca modelul teoretic este bine realizat, analiza teoretica are avantajul unei puteri mari de calcul si posibilitati de extindere a tipurilor de analiza la situații duse peste limita de elasticitate, în zona deformațiilor plastice mari.

Analiza operationala, constituie procedura de determinare a modelului matematic a unei structuri pe baza datelor experimentale obținute prin masuratori efectuate pe structura aflata in condiții date de funcționare sau de interacțiune cu mediu ambiant. Masurarea vibrațiilor este efectuată in diferite puncte ale structurii iar semnatura vibratorie poate fi reprezentată ca animație a modelului geometric, atât in timp cât și la diferite frecvențe. Prin analiza operationala se poate evalua nivelul vibratiilor in puncte in care raspunsul vibratoriu nu a putut fi detreminat experimental. Aplicand in tandem analiza structurala si analiza operationala se determina gradul real de solicitare al echipamentelor de bord si de automatizare atât pentru conditii de normale de functionare cat si pentru conditii limita de functionare (impact), iar echipamentele sa fie supuse la incercarile la vibratii si socuri la un nivel real de solicitare, conform normativului de profil, EN 61373 "Railway applications. Shock and vibration tests".

Având în vedere aplicarea cercetării în domeniul realizării de vehicule feroviare rezistente la coliziuni, pentru buna desfășurare a proiectului este necesară realizarea următoarelor achiziții:

2.11.1.1 Software de analiză cu elemente finite,

Software trebuie să fie abilitat pentru analiza structurală în domeniul deformațiilor plastice tranzitorii și mari, car să aibă înglobată facilitatea de "cresh".

Caracteristici tehnice minimale:

Software care va fi achiziționat trebuie să satisfacă următoarele condiții minimale:

1.Capabilitati de modelare geometrica:

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 72
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

- importul geometriilor din formate care sa permita schimb de date intre sisteme de proiectare computerizate
- capabilitati de generare/reparare/simplificare a geometriei, de obtinerea usoara geometriei ce urmeaza a fi folosita pentru discretizare controlata cu elemente de tip patrulater/hexaedru;

2.Capabilitati de generare a modelului cu elemente finite:

- discretizare automata pe suprafete;
- discretizare automata cu tetraedre;
- discretizare automata cu hexaedre;
- discretizare automata cu elemente mixte tetraedru-hexaedru, la interfata dintre ele generand elemente de tip prisma;
- sa contina o librarie comuna de elemente finite specifice calculului structural cu metoda implicita și explicita (de tip masa concentrata, grinda, arc, suprafata, solid);
- modelul cu elemente finite sa fie atasat/asociat de modelul geometric;
- sa contina capabilitatea utilizarii comenzilor introduse de utilizator (in modul batch), crearea unor modele parametrice;

3.Capabilitati de modelarea a contactului:

- sa poata simula fenomenul de contact standard cu sau fara frecare, alunecator;
- sa contina capabilitatea utilizarii elementelor de contact de tip nod-nod, nod-suprafata, suprafata-suprafata;
- sa contina capabilitatea generarii elementelor de contact rigid-deformabil si deformabil-deformabil;
- utilizarea elementelor de contact in analize dinamice cu raspuns in frecventa (analiza modala, harmonica);
- capabilitati de definire automata a contactului la nivel de componente (suprafata cu suprafata, contact de erodare, etc), cu un criteriu de cautare a contactului intre suprafetele apartinand componentelor diferite sau intre suprafetele aceluiasi component.

4.Capabilitati de modelare a materialelor:

- sa contina un set de legi de material ce pot simula materiale elastice liniare, neliniare, dependente sau independente de viteza de deformatie, hiperelastice, viscoelastice;
- sa contina capabilitati de modelare a criteriilor de cedare/rupere

5.Conditii la limita:

- posibilitatea aplicarii conditiilor la limita atat pe geometrie cat si pe modelul cu elemente finite, cat si combinat;
- capabilitatea de aplicarea a sarcinilor sub forma tabelara

6.Tipuri de analize:

- Analiză structurală statică:
 - o liniar
 - o neliniar
- Analiză dinamică:
 - o tranzitorie (raspuns în timp) liniar și neliniar

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 73
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

- modală (moduri și valori proprii): răspuns armonic, spectral, vibrații aleatoare
- Analiză de stabilitate (flambaj):
 - liniar
 - neliniar
- Analiză de impact/crash (metoda explicita):
 - Analiza si simulare explicita crash
 - Analiza si simulare explicita impact
 - Posibilitatea up-datarii modelului prin date experimentale

7. Tipuri de neliniarități:

- Neliniarități geometrice:
 - deformații mari
 - deplasări mari
 - efectul de rigidizare a structurii în funcție de starea de eforturi (stress stiffening)
 - efectul de rigidizare a structurii la rotația acesteia (spin softening)
- Neliniarități de material:
 - plasticitate
 - hiperelasticitate
 - vâscoplasticitate
 - vâscoelasticitate
 - cedare în timp a materialului (creep)
 - proprietăți de material dependente de temperatură;
 - criterii de cedare/ruptură;
- Neliniarități de element:
 - elemente de tip cablu
 - elemente de contact cu sau fără frecare (suprafață/suprafață, nod/suprafață, nod/nod)
 - elemente de pretensionare
 - elemente 3D pentru studiul fisurii
 - elemente de tip "activat/dezactivat"
 - substructurare pentru regiuni liniare

8. Capabilitati de postprocesare

- Generarea raportului de calcul automat sau posibilitatea capturării pozelor cu rezultate în formate standard recunoscute
- Posibilitatea exportului de rezultate sub forma de liste, tabele, în formate standard sau echivalente
- Posibilitatea postprocesării rezultatelor sub forma de harti cu contururi, reprezentare vectorială; salvarea animațiilor în formate formate standard sau echivalente.

9. Alte capabilitati

- Capabilitatea solutionării paralele atât pentru calcul structural implicit (2 procesoare) cât și explicit (4 procesoare);

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 74
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

- Capabilitatea de salvare intr-o baza de date unica a geometriei, a modelului cu elemente de finite, a conditiilor la limita si a rezultatelor;
- Interfata grafica sa permita trecerea usoara de la metoda implicita la metoda explicita si cu interventia minima a utilizatorului;
- Posibilitatea instalarii softului pe sistem de operare pe 64 bit.

2.11.1.2 Stație grafică

Stația grafică va fi utilizată pentru rularea software de analiză cu elemente finite și trebuie să aibă suficientă memorie, viteză de lucru și capacitate de calcul pentru a permite modelarea geometrică a vehiculelor feroviare și a dinamicii coliziunii conform normativului EN 15227+A1 / 2011.

Caracteristici tehnice minimale:

- Procesor min. 3.0 GHz, 20MB cache, Turbo
- RAM: 128GB DDR3 ECC
- HDD: 2 x 3TB, 7200rpm, 32MB, SATA 6Gb/s, MLC
- DVD +/- RW DL,
- LAN: 2 căi
- Placa video: 2 GB GDDR5 256-bit
- Carcasa: tower cu ventilatie de zgomot redus
- Sistem de operare preinstalat: profesional, 64 bit
- Tastatura: 105 taste
- Mouse: optic 800 dpi
- Monitor: diagonala 26", timp raspuns 5 ms

2.11.1.3 Laptop

Laptopul va fi utilizat pentru achiziția datelor pe teren, sau în parcurs pe vehicule feroviare. Trebuie să aibă capacitate mare de procesare și de acumulare a datelor, rezoluție foarte bună, display cu diagonala mare.

Caracteristici tehnice minimale:

- Tip procesor: Intel® Core™ i7, Frecventa: 2300 MHz, Cache: 8192 KB
- Display: Rezoluție: 1920 x 1080, Diagonala: 17.3 inch, Caracteristici speciale: 3D Display
- Tehnologie display: LCD LED
- Memorie: DDR3, Capacitate memorie: 12 GB, Frecventa: 1333 MHz
- Hard Disk: Capacitate: 1.5 TB, Viteza de rotatie: 7200 rpm, Tip Hard Disk: SATA
- Placa Video: Tip memorie video: Dedicata, Capacitate memorie video: 3072 MB, Producator chipset video: NVIDIA, Seria: GeForce, Model: GT 555M
- Multimedia: Unitati citire/scriere: Blu-Ray Combo, Tuner TV: Internal DVB-T TvTuner, Audio: Difuzoare integrate, Cititor de carduri: Da, Camera WEB: 2.0 MP, Tehnologie: Waves MaxxAudio
- Porturi: Microfon: 1, RJ-45: 1, USB 2.0: 2, USB 3.0: 2, Iesire audio: 2, HDMI: 1, eSATA: 1, DisplayPort: 1 x Mini DisplayPort
- Comunicatii: Retea: 10/100/1000, Wireless: 802.11 b/g, Bluetooth: Da
- Alimentare: Baterie: Li Ion 9 Celule
- Caracteristici speciale: S/PDIF support

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 75
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

- Software: Sistem de operare:Microsoft Windows 7 Home Premium 64 biti

2.11.1.4 Instalatie pentru încercarea la vibratii si analiza structurala

Instalația va fi utilizată pentru realizarea următoarelor sarcini:

- Aplicarea analizei modale experimentale la vehicule feroviare (SB-EMU, LE5100kW, LE6000kW) în vederea determinării caracteristicilor dinamice (frecvențe proprii, factori de amortizare, forme modale de oscilație) și a realizării modelului modal experimental. Excitarea structurii se va realiza prin vibratii si socuri cu amplitudinea de cca. 15000N (pentru excitații sinusoidale) / 4200N (pentru șocuri). Excitarea se va face lateral și vertical, la nivelul șasiului, iar răspunsul vibratoriu se va determina în accelerații.
- Determinarea caracteristicilor dinamice ale elementelor pe preluare a impactului și a forțelor inerțiale (tuburi amortizoare, amortizor cu lichide magnetoreologice, amortizor cu frânare programabilă, etc.). Excitarea structurii se va realiza prin vibratii si socuri cu amplitudinea de cca. 15000N (pentru excitații sinusoidale) / 4200N (pentru șocuri).
- Încercarea la vibrații și șocuri a principalelor echipamente de bord și de automatizare, la un nivel determinat prin analiză operațională, conform cu nivelul real de la locul de montaj.

Caracteristici tehnice minimale:

1. Vibrator electrodinamic

- Tip forță: sinus/ aleator/ șoc cu valoare de vârf minim 15000/15000/42000N
- Domeniu de frecvența: 0 – 3000 Hz
- Cursa maxima - varf la varf: min. 50 mm
- Viteza max. Sin/Aleator/Șoc: min. 1.8 / 1.8 / 2.5 m/s
- Acceleratia max. sinus/ aleator/ șoc: 100 / 100 / 200 m/s²
- Rigiditatea suspensiei: min. 75 N/mm;
- Masa max. de incercat: 250 kg
- Frecvența de rezonanța principala: > 2500 Hz
- Masa pivotantă: ≥ 1400 kg
- Diametrul armaturii (mm): ≥ 340 mm
- Puterea max. consumata la 400 V: 38 kVA
- Interblocaje pentru valori limita: temperatura, supracursa, debit aer, supracurent.

2. Amplificator de putere

- Puterea: max. 35 kVA
- Domeniul de frecvența: 0 – 4000 Hz
- Curent: max.225 A;
- Tensiunea de intrare: max. 10 V
- Distorsiuni: < 0.7%
- Raport semnal – zgomot: > 90 dB

3. Ventilator

- Zgomot: max. 90 dB(A)
- Debit aer: min. 500 m³/h

4. Masa cu ghidaj hidrostatic pentru încercări pe direcția orizontală

- Ghidaj hidrostatic
- Suprafata de lucru a mesei: min.700 x 700 mm

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 76
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

- Cursa mecanica: min. 60 mm
- Masa obiectului de incercat: max. 1000 kg

2.11.1.5 Echipament pentru controlul vibratiilor si analiza structurala

Echipamentul pentru controlul vibratiilor si analiza structurala este un echipament complex care contine integrat un sistem complet pentru conducerea incercărilor de analiză structurală, cu posibilitatea măsurării simultane pe 16 canale a forței de excitare și a răspunsului structurii în accelerații sau deplasări, precum și un software preinstalat de analiză structurală experimentală, incluzând analiza experimentală cu elemente finite. Echipamentul conține:

- Sistem computerizat pentru achizitie, prelucrare, conducerea incercarilor si prezentarea rezultatelor.
- Software preinstalat pentru analiza modala experimentală si analiza experimentală cu elemente finite

Caracteristici tehnice minimale:

1. Sistem computerizat pentru achizitie, prelucrare, conducerea incercarilor si prezentarea rezultatelor

- 16 canale de intrare pentru ICP si tensiune, cu suport TEDS,
- 2 intrari pentru tachometru,
- Frecventa de esantionare simultan pe canale: min. 100 kHz
- Canale analogice de iesire: min 2
- Intrari digitale: min. 8
- Iesiri digitale: min. 8
- Procesare in timp real
- Intrare USB 2.0
- Alimentare: 220V, 50 Hz
- Procesor min. 2,6 MHz, 20MB cache, RAM 8GB 1600 GHz; Hard disk 500 GB, 7200 rpm; Placa video 1GB; Monitor diagonala 26", timp raspuns 5 ms; intrări Ethernet – 2 buc; Sistem de operare profesional 64 bit, preinstalat
- Periferic multifunctional: imprimantă color, inkjet, A4, Rezolutie 5760 x 1440 dpi + scaner A4, cu cartuse refileabile preinstalate

2. Software preinstalat pentru analiza modala experimentală si analiza experimentală cu elemente finite

2.1. Incercari la vibratii cu semnale sinusoidale

- Domeniu de frecventa: 0.25 Hz ... 12.8 kHz;
- Masura: RMS, vârf, medie, filtrat
- Baleiaj linear sau logaritmic constant sau variabil, selectabil prin domeniul de frecventa.

2.2. Incercari la vibratii cu semnale aleatoare de banda larga

- Domeniu de frecventa: pana la max.13 kHz in min. 9 pasi
- Rezolutia maxima: 6.400 linii
- Import spectre de frecventa max. 3.200 puncte; max. 10 profile aleatoare/test

2.3. Incercari la soc clasic

- Forma de unda: sinusoidală, semisinusoidală, dreptunghiulară, trapezoidală, dinți de ferăstrău, triunghiulară;
- Compensare cu viteza si deplasarea;

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 77
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

- Analize extensive si functii de editare raport de incercare, cu generarea automata a raportului in fisiere format standard

2.4. Analiza modala experimentală avansată:

- Timp real cu max. 100 kHz si blocuri de date de min. 50000 linii spectrale
- Numar nelimitat de esantioane pe canal pentru achizitie continua, limitat doar hardware;
- Excitatie: impuls, sinus, aleator
- Diagrame 2D / 3D
- Programare utilizator;
- Conducerea automata a excitarii cu ciocan de impact sau vibrator;
- Crearea geometriei si animarea structurii in timp real si a formelor modale
- Analiza modala experimental avansata
- Intrări și ieșiri multiple

2.5. Analiza masinilor rotative

- Achizitia datelor sincron prin tachogenerator;
- Analiza spectrală
- Filtre.

2.6. Analiza pentru simularea raspunsului dinamic si analiza experimentală cu elemente finite

- Analiza experimentală avansată cu elemente finite pentru simularea raspunsului dinamic si evaluarea modificarilor structurale;
- Solutii complete pentru analize modale experimentale pretest si validare modală;
- Solutii integrate pentru simularea raspunsului dinamic, validarea modelului modal si actualizare
- Interfata si driver pentru program teoretic de analiza cu elemente finite precum ANSYS.

Nota: ICP - Integrated circuit piezoelectric
TEDS - Transducer Electronic Data Sheet

2.11.1.6 Traductoare și accesorii pentru incercarea la vibratii si analiza structurala experimentală

Sistemul de traductoare și accesorii servește pentru măsurarea parametrilor caracteristici încercărilor de analiză structurală: forțe, accelerații, deplasări liniare și unghiulare.

Caracteristici tehnice minimale:

Nr.	Denumire	Caracteristici tehnice	Buc.
1	Accelerometru piezoelectric de calibrare, ICP	ICP, Sensibilitate: 10 mV/(m/s ²), domeniu de masură: ±500 m/s ² , domeniu de frecvanta: 0.5Hz - 10 kHz, rezolutie: 0.04 m/s ² , conector electric lateral: 10-32, conectare mecanica:1/4-28 jos, 10-32 sus.	1
2	Accelerometru piezoelectric, ICP	ICP, Sensibilitate: 10 mV/(m/s ²), montaj: șurub M3 x 0.5 și magnet adițional de fixare, domeniu de frecvanta: 1Hz...10kHz, domeniu de masura: ±500 m/s ² ; rezolutie: 0.001 m/s ² ; conector electric lateral 10-32; greutate max.10 g, rezistenta de izolare >10 ⁸ Ohm	15
3	Accelerometru piezoelectric, ICP	ICP, Sensibilitate 1 mV/(m/s ²), șurub M3 x 0.5 și magnet adițional de fixare, domeniu de frecvanta: 1Hz...10kHz, domeniu de masură:	2

Partener P1 SC SOFTRONIC CRAIOVA	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 78
	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

		$\pm 5000 \text{ m/s}^2$; rezolutie 0.001 m/s^2 ; conector electric lateral 10-32; greutate: max.10 g, rezistenta de izolare $>10^8 \text{ Ohm}$	
4	Microfon piezoelectric, ICP	ICP cu preamplificator integrat, domeniu de frecventa: 16Hz to 20kHz; câmp liber; conector electric BNC, ecran de vânt	2
5	Traductor de forta piezoelectric, ICP	ICP, forta max. de compresiune 25 kN, forta max. de tractiune: 2,5 kN; sensibilitate min. 200 mV/kN; frecventa de raspuns 0,0003 -36 kHz	1
6	Ciocan de impact piezoelectric, ICP	ICP, sensibilitate min. 0.2 mV/N, domeniu de masura min. $\pm 22 \text{ kNpk}$, Frecventa de rezonanta $\geq 12 \text{ kHz}$, liniaritate: $\leq 1 \%$, masa ciocan min 1.0 Kg, connector electric BNC	1
7	Cablu de accelerometru	lungime 10m, ecran din teflon, conectori 10-32 / BNC	16
8	Cablu de accelerometru	lungime 15m, ecran din teflon, conectori 10-32 / BNC	10
9	Convertor sarcina-ICP	Convertor integrat, sensibilitate 100 mV/pC, frecventa de raspuns: 0.5Hz - 60 kHz, neliniaritate: $\leq 1\% \text{ FS}$, tensiunea de iesire $\pm 2.5 \text{ Vpk}$, conector electric la intrare 10-32, conector electric la iesire BNC	1
10	Traductor inductiv de deplasare	domeniul de masura: 0...200mm, cablu 3m montat cu mufa fixa la 90 grade, capete libere, sensibilitate min. 80mV/V, liniaritate $\leq 1\%$, Frecventa de excitare 4.8kHz, Unitate electronica montata, Uin: 15...30Vdc, dUout: 0.5...10V	4
11	Traductor inductiv de deplasare	domeniul de masura: 0...500mm, cablu 3m montat cu mufa fixa la 90 grade, capete libere, sensibilitate min. 80mV/V, liniaritate $\leq 1\%$, Frecventa de excitare 4.8kHz, Unitate electronica montata, Uin: 15...30Vdc, dUout: 0.5...10V	2
12	Senzor inductiv unghiular	domeniu de măsură: 0...360 °, rezoluție: 12 bit, tensiune de alimentare: 15...30 Vcc, ieșire 0...10V	2
13	Traductor de forta cu accesorii de prindere	Marci tensometrice in punte completa, întindere/compresiune, domeniul de masura: $\pm 50 \text{ kN}$, sensibilitate 2mV/V, precizie 0.1%, tensiune excitare 0.5...12V, prevazut cu urechi de prindere.	1
14	Marci tensometrice liniare din const.	Marci tensometrice liniare cu terminal mare integrat, suport din poliamida, rezistenta: 350Ω , retea de masurare: 6/2.6 mm, baza: 16/6.3 mm	40
15	Marca tensometrice tip rozeta 0°/90°	Marca tensometrice tip rozeta cu terminal mare integrat, 0°/90°, suport din poliamida, rezistenta: 350Ω , retea de masurare: 6/5.7 mm, baza: 18/12 mm	15
16	Sursa de alimentare	Sursa de alimentare pentru module de amplificare cu izolare galvanica, alimentare 220V ca, putere max. 30W, ieșire 5Vcc / 5A cu factor de ondulare de max. 100 mVpp	1
17	Modul cu izolare galvanica pentru marci tensometric	punte completa, intrare: $-20 \text{ mV} \dots +20 \text{ mV}$, excitare: 10V, sensibilitate: 2mV/V, domeniul de iesire: $-5 \text{ V} \dots +5 \text{ V}$, banda de frecventa: 10kHz, liniaritate $\pm 0.01\%$	2

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 79
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

2.11.2 Strategia de derulare a proiectului în domeniul analizei rezistenței la coliziuni a Trenului Electric Regional SB-EMU

Trenul Electric Regional SB-EMU este proiectat pentru a fi aliniat standardului european EN 15227+A1/2011 „Aplicații feroviare – Cerințe de siguranță pasivă contra coliziunii pentru structurile cutiilor de vehicule feroviare” care reglementează cerințele pe care trebuie să le satisfacă vehiculele feroviare, din punct de vedere al siguranței pasive, pentru a fi admise în circulație în spațiul feroviar comunitar european. Aceste cerințe vor trebui să fie demonstrate prin încercări și prin analiză teoretică.

Pe durata derulării proiectului se va efectua modelarea analitică a structurii SB EMU utilizând programul de analiză cu elemente finite descris la paragraful 2.11.1.1.

Se vor efectua încercări pentru determinarea performanțelor funcționale ale componentelor majore ale SB EMU și se va efectua calibrarea modelului analitic prin compararea răspunsurilor parțiale ale modelelor analitice și componentele încercate.

La final, pe modelul analitic de Trenul Electric Regional SB-EMU, calibrat prin date experimentale, se vor simula situațiile de impact prevăzute în EN 15227+A1/2011.

2.11.2.1 Încercări statice pe cutia vagonului motor, în vederea calibrării modelele analitice

Pe cutia vagonului motor, care este cel mai reprezentativ din punct de vedere al impactului, se vor efectua încercări statice, conform normativului EN 12663-1/2010, în vederea validării conformității cutiei privind rezistența la solicitări statice impuse și calibrării modelului analitic. Pentru încercări se vor utiliza cilindrii hidraulici, capabili să dezvolte forțe de tracțiune/compresiune de până la 2000kN.

Cutia vagonului motor va fi supusă la următoarele încercări la solicitări statice:

- Încercarea de compresiune axială combinată cu sarcina verticală de proiectare,
- Încercarea de compresiune axială combinată cu sarcina verticală excepțională,
- Încercarea de compresiune cu 400 kN la 150 mm deasupra podelei, la capătul FE,
- Încercarea de compresiune cu 300 kN la nivelul inferior al ferestrei cabinei de conducere,
- Încercarea de compresiune cu 300 kN la nivelul superior al ferestrei cabinei de conducere,
- Încercarea de tracțiune axială combinată cu sarcina verticală de proiectare,
- Încercarea de tracțiune axială combinată cu sarcina verticală excepțională,
- Încercarea la sarcina maximă de exploatare,
- Ridicarea din două puncte de la capătul FE,
- Ridicarea din două puncte de la capătul RE,
- Ridicarea din patru puncte,
- Încercarea de rigiditate torsională a carcasei,

2.11.2.2 Încercări dinamice pe absorbitorul de șoc, în vederea calibrării modelele analitice

Pe un element al absorbitorului de șoc se vor face încercări dinamice de determinare a caracteristicii forță – deformare. Încercările se vor efectua prin tamponarea absorbitorului la viteza de 36km/k de un bloc rigid, a cărui masă va fi determinată ulterior, cu măsurarea simultană a forței de interacțiune și a deformației. Încercarea servește pentru determinarea cantității de energie pe care o poate prelua absorbitorul de șoc și pentru calibrarea modelului analitic.

2.11.2.3 Încercări de analiză modală pentru determinarea modurilor proprii de vibrație, în vederea calibrării modelele analitice

Pe câte o cutie de vagon motor și vagon purtător, se vor efectua încercări de analiză modală pentru determinarea modurilor proprii de vibrație, conform normativului EN 12663-1/2010, în vederea calibrării modelului analitic. Pentru încercări se vor utiliza instalația, tractoarele și echipamentele ce vor fi achiziționate în cadrul proiectului:

- Instalația pentru încercarea la vibrații și analiza structurală,
- Echipamentul pentru controlul vibrațiilor și analiza structurală,

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 80
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

- Laptop
 - Traductoarele și accesoriile pentru încercarea la vibrații și analiza structurală experimentală
- Încercările se vor efectua prin excitarea structurii pe direcțiile verticală și orizontală, la nivelul șasiului, cu măsurarea simultană a forței de excitare și a răspunsului în accelerație într-un număr de puncte care va fi stabilit ulterior.

Modurile proprii de vibrație servesc la calibrarea dinamică a modelului analitic și la determinarea răspunsului structurii la solicitările normate și excepționale de serviciu.

2.11.2.4 Încercări funcționale pentru determinarea răspunsului vibratoriu al Trenului Electric Regional SB-EMU

Încercările se fac în parcurs, pe rama funcțională complet echipată. Pentru diverse viteze și regimuri de funcționare se determină răspunsul vibratoriu al structurii locomotivei, prioritar la scaunul mecanicului, în compartimentul pasagerilor, la locul de amplasare a principalelor echipamente de comandă și de automatizare. Încercările servesc pentru:

- Determinarea confortului vibratoriu la nivelul mecanicului și al pasagerilor,
- Determinarea nivelului de vibrație la locul de amplasare a principalelor echipamente de comandă și de automatizare în vederea încercării acestora la un regim optim de vibrații,
- Calibrarea modelului analitic pentru evaluarea la coliziuni a legăturilor / prinderilor echipamentelor funcționale, a legăturilor carcasă-boghiu, etc.

2.11.2.5 Analiza la coliziuni a plugului de obstacole

Plugul de obstacole va fi supus unor încercări la solicitări statice cu următoarele caracteristici:

- Încărcare statică la centru – 300 kN,
- Încărcare statică la o distanță laterală față de centru de 750 mm - 250 kN.

Pe modelul analitic calibrat al plugului de obstacole se vor simula următoarele situații de coliziune:

- Obiect mic, cu masa de 145.8 kg, lovit central, la viteza de 80 km/h,
- Obiect mic, cu masa de 36.45 kg, lovit central, la viteza de 160 km/h,
- Obiect mic, cu masa de 145.8 kg, lovit lateral la 750mm de centru, la viteza de 80 km/h,
- Obiect mic, cu masa de 36.45 kg, lovit lateral la 750mm de centru, la viteza de 160 km/h.

2.11.2.6 Analiza la coliziuni a Trenului Electric Regional SB-EMU

Analiza la coliziuni se face pe modelul analitic calibrat prin datele experimentale obținute la paragrafele 2.11.2.1 ... 2.11.2.5, în conformitate cu scenariile impuse prin standardul EN15227+A1.

Pentru modelarea dinamicii trenului în scenariile de coliziune se va utiliza un model de vehicul feroviar în care doar primul vagon motor și primul vagon purtător sunt elemente deformabile, celelalte două fiind considerate ca elemente rigide cu masa egală cu masa corespunzătoare vagoanelor, deci se va utiliza un model analitic hibrid. În figura 2.45 este reprezentat modelul analitic preliminar ce va fi utilizat la evaluarea răspunsului la coliziuni al Trenului Electric Regional SB-EMU.



Fig. 2.45. Model analitic utilizat pentru analiza scenariilor de coliziune

Pentru estimarea masei vehiculelor în coliziune se pleacă de la masa estimată a vehiculului la care se adaugă masa pasagerilor. Conform estimărilor preliminare Trenului Electric Regional SB-EMU va avea masa specificată în tabelul 2.8:

Partener P1 SC SOFTRONIC CRAIOVA	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 81
	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Tabel 2-8. Masa estimată de coliziune a Trenului Electric Regional SB-EMU

	Masa de lucru Mw [kg]	Masa persoanelor cu loc Ms [kg]	Mw + 1/2 Ms [kg]
MD1	30210	4000	32210
TI1	18758	3840	20678
TI2	18758	2960	20238
MD2	30210	4000	32210
Boghiuri			39100
Total			144436

2.11.2.6.1 Coliziune cu tren identic aflat în staționar

- Viteza de impact: 36 km/h;
- Masa totală: 144436 kg,
- Energia de coliziune(rel.2.14): $E_d = M \cdot V_0^2 / 4 = 144436 \cdot 10^2 / 4 = 3.61 \text{ MJ}$

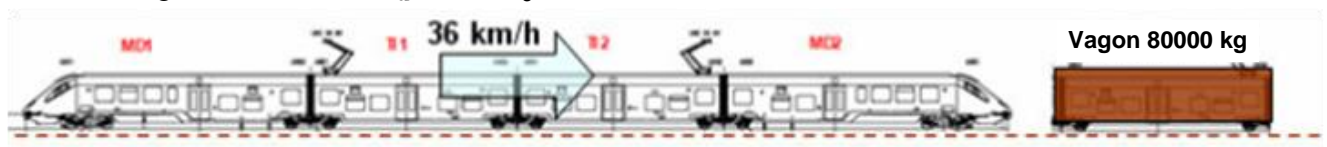


Se vor evalua:

- Energia disipată pe elementele de disipare: cuplă, absorbtorii de șoc;
- Starea deformată, la finalul coliziunii, a elementelor de disipare a energiei;
- Integritatea spațiului de supraviețuire din jurul scaunului mecanicului;
- Distribuția accelerației de coliziune în cabina mecanicului, și compartimentele pasagerilor.

2.11.2.6.2 Coliziune cu vagon feroviar de 80 000kg

- Viteza de impact: 36 km/h;
- Masa totală: 144436 kg,
- Energia de coliziune: $E_d = M \cdot V_0^2 / 2 = 144436 \cdot 10^2 / 2 = 7.22 \text{ MJ}$



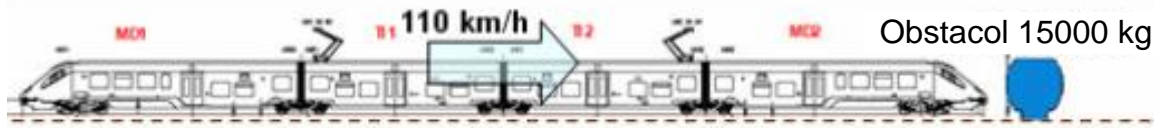
Se vor evalua:

- Energia disipată pe elementele de disipare: cuplă, absorbtorii de șoc;
- Starea deformată, la finalul coliziunii, a elementelor de disipare a energiei;
- Integritatea spațiului de supraviețuire din jurul scaunului mecanicului;
- Distribuția accelerației de coliziune în cabina mecanicului, și compartimentele pasagerilor.

2.11.2.6.3 Coliziune cu obstacol mare deformabil de 15 000kg

- Viteza de impact: 110 km/h;
- Masa totală: 144436 kg,
- Energia de coliziune: $E_d = M \cdot V_0^2 / 2 = 144436 \cdot 30.5^2 / 2 = 67.42 \text{ MJ}$

Partener P1 SC SOFTRONIC CRAIOVA	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 82
	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01



Se vor evalua:

- Energia disipată pe elementele de disipare: cuplă, absorbtorii de șoc;
- Starea deformată, la finalul coliziunii, a elementelor de disipare a energiei;
- Integritatea spațiului de supraviețuire din jurul scaunului mecanicului;
- Distribuția accelerației de coliziune în cabina mecanicului, și compartimentele pasagerilor.

2.11.3 Strategia de derulare a proiectului în domeniul analizei rezistenței la coliziuni a Locomotivelor Electrice de 5100kW și 6000kW

În stadiul actual ambele locomotive electrice de 5100kW și de 6000kW sunt realizate în configurația clasică, cu șasiu rigid, singurele elemente de preluare a șocurilor fiind o pereche clasică de tampoane EST-G1-200 și plugul de obstacole.

În figura 2.46 este prezentat tamponul EST-G1-200, iar în figura 2.47 este prezentată caracteristica forță-deformare a tamponului.

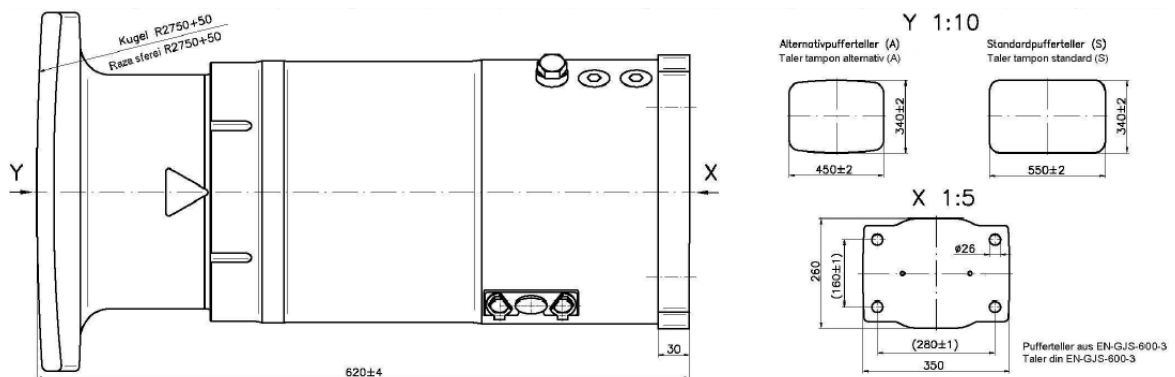


Fig. 2.46. Tampon EST-G1-200

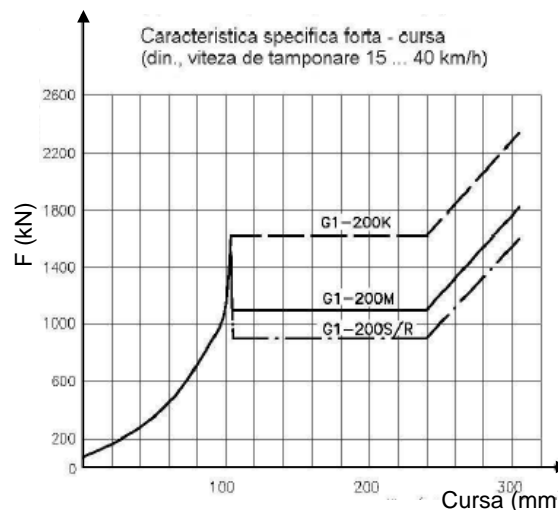


Fig. 2.47. Caracteristica specifică forță – cursă pentru tampoanele EST G1-200

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 83
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Plugul de obstacole care echipează locomotivele electrice de 5100kW și de 6000kW prezintă o construcție robust, și de-a lungul istoriei de exploatare a demonstrate că satisface în totalitate cerințele privind rezistența la coliziuni. În figura 2.48 se prezintă rezultatul asupra plugului de obstacole a coliziunii cu o cireadă de vaci, la viteza de 100 km/h, în urma căruia au murit 15 vaci, majoritatea fiind înpinse lateral de plugul de obstacole. Rezultatul a fost o mică deformare a plugului, care nu a obstrucționat circulația pe calea ferată cu locomotive tractată ca rezultat al altor daune produse în timpul coliziunii.



Fig. 2.48. Coliziunea LE 5100kW– cireadă de vaci la viteza de 100 km/h

În vederea aliniării locomotivelor electrice de 5100kW și de 6000kW la cerințele standardului european EN15227+A1/2011, în cadrul SC Softronic se analizează cele mai economice și fiabile măsuri constructive pentru asigurarea rezistenței la coliziuni. Se au în vedere următoarele măsuri:

- Adoptarea unui sistem de tamponare EST Duplex G1.A1,
- Optimizarea structurală a plugului de obstacole,
- Adoptarea unor măsuri constructive la partea frontală a carcasei care să conducă la creșterea capacității de absorbție a energiei și la protecția mecanicului.
- Abordarea, în cadrul proiectului a unor cercetări aplicative pentru realizarea unui dispozitiv de amortizare cu lichide magnetoreologice și integrarea acestuia în structura de absorbție a energiei. În funcție de performanțele funcționale, dispozitivul va înlocui tamponurile sau va fi amplasat în paralel cu acestea.

Dispozitiv de amortizare cu lichide magnetoreologice

În cadrul proiectului va fi proiectat, realizat și experimentat un sistem novativ de amortizor cu lichide magnetoreologice, propus și susținut în cadrul proiectului de către partenerul Institutul de Mecanica Solidelor al Academiei Romane. În cadrul prezentei lucrări se face doar o scurtă prezentare a sistemului de amortizor cu lichide magnetoreologice, descrierea detaliată fiind făcută în lucrarea elaborată de IMS-AR, în cadrul prezentei faze.

Soluția aleasă pentru sistemul de preluare a socului este o soluție mixtă de tip resort pneumatic–disipator cu fluid MR conform schemei din figura 2.49.

Funcționare se desfășoară în două etape:

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 84
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

-în prima etapa socul este preluat de resortul pneumatic. Se estimeaza o crestere a presiunii in camera pneumatica de la presiunea initiala la o presiune de aproximativ 300 daN/cm^2 . Aceasta presiune va fi atinsa ca urmare a deplasarii disipatorului cu fluid MR (ca un rigid) in interiorul camerei pneumatice,

-la atingerea presiunii de 300 daN/cm^2 pistonul actuatorului va incepe sa se deplaseze. Acesta miscare va fi controlata prin intermediul fluidului MR astfel incat presiunea in camera pneumatica sa ramana aproximativ constanta (la 300 daN/cm^2),

-daca presiunea in camera pneumatica continua sa creasca (in cazul in care viteza de dezvoltare a impactului este mai mare decat viteza maxima de deplasare a pistonului in dispozitivul cu fluid MR) intra in actiune supapa de siguranta pilotata (cu fluid MR).

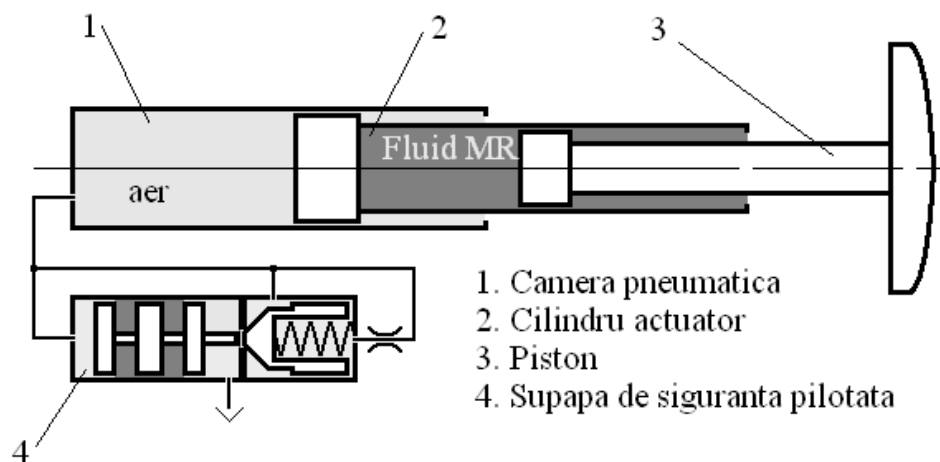


Fig. 2.49. Dispozitiv de amortizare cu lichide magnetoreologice – schema de funcționare

Supapa functioneaza astfel:

-in pozitia “inchis” presiunile in camerele I si II sunt egale. Forta generata de presiunea din camera I este putin mai mare decat suma dintre forta din arcul din camera II si forta generata de presiunea din camera II. Supapa este mentinuta inchisa de forta data de dispozitivul cu fluid MR al supapei,

-daca se comanda anularea fortei din dispozitivul cu fluid MR, supapa se deschide, aerul din camera pneumatica si din camerele I si II ale supapei fiind evacuat cu un debit controlat de sectiunea deschiderii,

-datorita rezistentei hidraulice, in camera II ramane o suprapresine suficient de mare ca sa inchida supapa in cazul in care forta din dispozitivul cu fluid MR este anulata.

Pentru dimensionarea sistemului se considera o presiune initiala in camera pneumatica suficient de mare ca tamponul sa se mentina rigid in conditii normale de lucru. Presiunea maxima se alege 300 daN/cm^2 .

Pentru presiunea initiala se considera ca tamponul trebuie sa disipe 80 de kJ pe o cursa de 110 mm . Se obtine o presiune medie in camera pneumatica de aproximativ 103 daN/cm^2 pentru un diametru al camerei de 300 mm .

Din conditia de transformare adiabatica (coeficientul adiabatic: $\chi = 1.44$) se determina cursa pentru impactul initial. Se considera energia de disipat de aproximativ 5 MJ (o forta de 2000 kN si o cursa de 2.5 m). Aceasta energie se transfera pe doua sisteme. Rezulta o energie de impact de maxim 2.5 MJ pe un sistem. Pentru lungimea de mai sus se obtine o forta maxima de preluat de 1000 kN .

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 85
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

Avand in vedere presiunea maxima acceptata in camera pneumatica, cursa pentru atingerea acestei presiuni rezulta din relatia:

$$p_0 \cdot h_0^\chi = p \cdot h^\chi$$

Determinarea cursei se realizeaza prin incercari. Pentru un $h_0 = 1$ m rezulta:

$$h_0 \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\chi}} = h = 0.5 \text{ m}$$

Cursa obtinuta este acceptabila.

Pentru un impact cu un obiect fix aflat pe sina cu o masa de 80 t, locomotiva de 127 t, la viteza de aproximativ 100 km/h se alege o energie maxima de disipare de 5 MJ. Corespunzator, pentru un sistem de disipare rezulta o forta de actionare pe tampon de:

$$F_T = \frac{E_d}{2 \cdot l} = 1.6 \text{ MN}$$

Fora de care este capabil un tampon, pentru o suprafata activa a camerei pneumatice de $A_{cp} = 706.9 \text{ cm}^2$ si o presiune de 300 daN/cm^2 este de $F_T = 2.121 \text{ MN}$ (mai mare decat forta necesara).

Din punct de vedere functional impactul pe un tampon este preluat de la o forta de 0.707 MN si creste exponential pe o cursa de 0.610 m pana la 2.121 MN dupa care forta se mentine aproximativ constanta pe o cursa de 1 m .

Rezulta caracteristicile sistemului activ de preluare a energiei de impact:

- cursa in camera pneumatica: 0.610 m ;
- cursa pistonului in cilindrul cu fluid MR: 1 m ;
- energie disipata estimata: $> 2.5 \text{ MJ}$ pentru un tampon;
- presiune maxima de lucru in camera pneumatica: $3 \times 10^7 \text{ Pa}$;
- diametrul camerei pneumatice: $d_p = 0.3 \text{ m}$;
- diametrul pistonului dispozitivului cu fluid MR, $d_{MR} = 0.26 \text{ m}$

Dispozitivul de amortizare cu lichide magnetoreologice va fi realizat pe durata derularii proiectului și în funcție de rezultatele obținute se va hotărî amplasarea lui în structura de preluare a energiei de impact.

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 86
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

3 BIBLIOGRAFIE

1. Istvan Nemeth, Krisztian Kovacs, Hans-Gunther Reimerdes, Istvan Zobory, *Crashworthiness Study of Railway Vehicles – Developing of Crash Elements, 8th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, Budapest, Nov.11-13, 2002*
2. Alan J. Bing, *Safety of High Speed Guided Ground Transportation Systems - Collision Avoidance and Accident Survivability, Volume 1: Collision Threat*, Federal Railroad Administration, Office of Research and Development, Washington, DC 20590, March 1993
3. John Harrison, *Safety of High Speed Guided Ground Transportation Systems - Collision Avoidance and Accident Survivability, Volume 2: Collision Avoidance*, Federal Railroad Administration, Office of Research and Development, Washington, DC 20590, March 1993
4. Robert A. Galganski, *Safety of High Speed Guided Ground Transportation Systems - Collision Avoidance and Accident Survivability, Volume 3: Accident Survivability*, Federal Railroad Administration, Office of Research and Development, Washington, DC 20590, March 1993
5. Ronald A. Mayville, Richard G. Stringfellow, Kent N. Johnson, Scott Landrum, *Crashworthiness Design Modifications for Locomotive and Cab Car Anticlimbing Systems*, Federal Railroad Administration, Office of Research and Development, Washington, DC 20590, February 2003
6. McElhaney, J.H., Stalnaker, R.L. and Roberts, V.L., "Biomechanical Aspects of Head Injury," *Human Impact Response Measurement and Simulation*, Plenum Press, New York, 1973.
7. Segal, D.J., *An Assessment of the Crashworthiness of Existing Urban Rail Vehicles, Volume III: Train-Collision Model, User's Manual*, Calspan Corporation, Report No. UMTA-MA-06-0025-75-16. III, November 1975.
8. Reilly, M.J., Shefrin, J. and Patrick, L.M., *Rail Safety/Equipment Crashworthiness Design Guide*, Boeing Vertol Company, Report No. DOT-TSC-821-2, September 1975.
9. Raidt, J.B., Manos, W.P. and Johnstone, B., "Vertical Motions During Railcar Impacts," Pullman-Standard, ASME Rail Transportation Division Paper No. 75-WA/RT-10, 1975.
10. "Advances in Crash Simulation Technology," *Automotive Engineering*, Vol. 99, No. 2, February 1991, pp. 20-23.
11. Jones, N. and Wierzbicki, T., ed., *Structural Crashworthiness*, Butterworth & Co. Ltd., London, 1983.
12. Hahn, E.E., Walgrave, S.C. and Liber, T., *Increased Rail Transit Vehicle Crashworthiness in Head-On Collisions, Volume II: Primary Collision*, IIT Research Institute, Report No. UMTA-MA-06-0025-80-2, June 1980.
13. Code of Federal Regulations: Part 571, Federal Motor Vehicle Safety Standard, 208, "Occupant Crash Protection"
14. Code of Federal Regulations: Part 571, Federal Motor Vehicle Safety Standard, 213, "Child Restraint Systems, Seat Belt Assemblies, and Anchorages"
15. Code of Federal Regulations: Parts 23, 25, 27 and 29, Federal Aviation Agency, "Improved Safety Standards"
16. 49 CFR 223 - Safety Glazing Standards—Locomotives, Passenger Cars And Cabooses
17. 49 CFR 238.209. Forward end structure of locomotives, including cab cars and MU locomotives, Appendix F to Part 238—Alternative Dynamic Performance Requirements for Front End Structures of Cab Cars and MU Locomotives.
18. 49 CFR 229, RAILROAD LOCOMOTIVE SAFETY STANDARDS - Subpart D - Locomotive Crashworthiness Design Requirements

Partener P1	Contractul PN II-PCCA Nr. 192/2012	Pag. 87
SC SOFTRONIC CRAIOVA	Solutii pentru imbunatatirea performantelor dinamice si a securitatii la impact a vehiculelor de tractiune feroviara pentru alinierea la cerintele impuse de normativele europene (SIPDSI-VTF)	Faza 01

19. FRA waiver regulation ‘Technical Criteria and Procedures for Evaluating the Crashworthiness and Occupant Protection Performance of Alternatively-Designed Passenger Rail Equipment for Use in Tier I Service’, DRAFT RSAC REPORT - 6-11-10, issued by Engineering Task Force I, November 2010.
20. UIC 617-4 - Position of front and side windows and of other windows situated in the driving compartments of electric powered stock
21. UIC 617-7 - Regulations concerning conditions of visibility from driving compartments of electric powered stock
22. UIC 651 - Layout of driver's cabs in locomotives, railcars, multiple-unit trains and driving trailers
23. UIC 515-0 - Passenger rolling stock - Trailer bogies - Running gear
24. UIC 515-4 - Passenger rolling stock - Trailer bogies - Running gear - Bogie frame structure strength tests
25. UIC 566 - Loadings of coach bodies and their components
26. EN 12663-1 - Railway applications - Structural requirements of railway vehicle bodies - Part 1: Locomotives and passenger rolling stock (and alternative method for freight wagons)
27. EN 15227+A1-2011 „Railway applications - Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies
28. George Kotsikos, Marzio Grasso – ”Damage tolerance of rail vehicle energy absorbers”, Transport Research Arena– Europe 2012, www.elsevier.com
29. Abramowicz, W., and Wierzbicki, T., 1989, “Axial Crushing of Multicorner Sheet Metal Columns,” J Appl Mech, 56(1), pp 113–20.
30. Aljawi A.A.N., “Axial Crushing of Square Steel Tubes”, The 6th Saudi Engineering Conference, KFUPM, Dhahran, December 2002.
31. Hayduk, R. J. And Wierzbicki, T., “Extensional collapse modes of structural members”, Computers and Structures, 18(3), 447-58 (1984),
32. Jiayao Ma, Yuan Le, and Zhong You, 51st AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, 12 - 15 April 2010, Orlando, Florida.
33. Jones N., “Dinamic progressive buckling”, Structural Impact, Cambridge University Press, 1989, ISBN 0521301807
34. Jones N., and Birch R.S., “Dinamic and static axial crushing of axially stiffened square tubes”, Proc Instn Mech Engrs Vol 204, pp 293-310, 1990.
35. Wierzbicki, T. And Abramowicz, W., “On the crushing mechanics of thin-walled structures”, Journal of Applied Mechanics, 50, 727-34 (1983).
36. FRA waiver regulation ‘Technical Criteria and Procedures for Evaluating the Crashworthiness and Occupant Protection Performance of Alternatively-Designed Passenger Rail Equipment for Use in Tier I Service’, DRAFT RSAC REPORT - 6-11-10, issued by Engineering Task Force I, November 2010.
37. Alois Starlinger, “On the application of ABAQUS for the evaluation of the structural integrity of railway vehicles”, 2011 SIMULIA Customer Conference
38. C. Baykasoglu, E. Sunbuloglu, S. E. Bozdog, F. Aruk, T. Toprak, A. Mugan, Numerical Static And Dinamic Stress Analysis On Railway Passenger And Freight Car Models, International Iron & Steel Symposium, 02-04 April 2012, Karabük, Türkiye
39. Xiangdong Xue, Modelling collisions of rail vehicles with deformable objects, Rail Safety and Standards Board (RSSB), October 2005
40. EN 61373 - Railway applications. Shock and vibration tests