



MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
Universitatea POLITEHNICA din București
Școala Doctorală de
Inginerie Industrială și Robotică

Oana-Maria D. MANTA (BĂLAȘ)

**Cercetări privind dezvoltarea unor sisteme
anti-clipocit pentru rezervoarele
autovehiculelor**

*** Rezumatul tezei de doctorat ***

Conducător științific,
Prof.univ.dr.ing. Cristian Vasile DOICIN

- 2021 -

Cuprins

Cuvânt înainte.....	4	X
Introducere.....	5	XII
Glosar de termeni.....	6	XVI
<i>Partea 1: Stadiul actual al cercetărilor privind comportamentul carburanților în rezervorul autovehiculelor și existența unor sisteme anti-clipocit</i>		
CAPITOLUL 1: Stadiul actual al cercetărilor privind comportamentul carburanților în rezervorul autovehiculelor și dezvoltarea unor sisteme anti-clipocit	7	3
1.1. Sistemul rezervor de carburant	7	3
1.2. Comportamentul carburantului în rezervor	8	26
CAPITOLUL 2: Concluzii referitoare la stadiul actual al cercetărilor.....	10	37
<i>Partea a doua: Contribuții teoretice și practice privind dezvoltarea unor sisteme anti-clipocit pentru rezervoarele autovehiculelor</i>		
CAPITOLUL 3: Obiectivele tezei de doctorat	11	41
CAPITOLUL 4: Contribuții teoretice și practice privind dezvoltarea unor sisteme anti clipocit pentru rezervoarele autovehiculelor	12	43
4.1. Proiectarea unor sisteme anti-clipocit pentru rezervoarele autoturismelor.....	12	43
4.2. Elaborarea modelelor 3D pentru soluția Spărgător de valuri tip aripi – îmbarcate	13	44
4.3. Elaborarea modelelor 3D pentru soluția de Spărgător de valuri tip za....	14	48
4.4. Elaborarea modelelor 3D pentru soluția de Spărgător de valuri tip Fishbone	15	53
CAPITOLUL 5: Analiza statică a variantelor de sisteme anti-clipocit dezvoltate	17	57
5.1. Considerente generale	17	57
5.2. Analiza statică pentru Spărgătorul de valuri tip aripi	18	58
5.3. Analiza statică pentru Spărgător de valuri tip za	19	60
5.4. Analiza statică pentru spărgătorul de valuri tip Fishbone	23	65
5.5. Concluzii si direcții de cercetare	25	69
CAPITOLUL 6: Analiza dinamică prin modelare matematică a mișcării valurilor de carburant într-un rezervor, cu și fără spărgător de valuri.....	26	70
6.1. Introducere	26	70
6.2. Descrierea problemei	26	70
6.3. Formularea modelelor matematice	27	82
6.4. Perspective viitoare de cercetare. Calcule de viitor	37	101
CAPITOLUL 7: Analiza funcțională - teste acustice privind utilizarea variantelor de sisteme anti-clipocit în condiții reale	38	102
7.1. Considerente generale ale analizei	38	102
7.2. Imprimarea 3D.....	39	104
7.3. Definirea metodei de testare si a scenariului de testare	41	107
7.4. Interpretarea variației nivelului de zgomot	46	125
CAPITOLUL 8: Concluzii generale, contribuții personale, diseminarea rezultatelor, direcții viitoare de cercetare.....	50	141

UPB	Rezumatul tezei de doctorat	Cercetări privind dezvoltarea unor sisteme anti-clipocit pentru rezervoarele autovehiculelor	Oana-Maria D. MANTA (BĂLAȘ)
	8.1. Concluzii generale	50	141
	8.2. Contribuții personale	51	145
	8.3. Diseminarea rezultatelor	52	148
	8.4. Direcții viitoare de cercetare	53	149
	Bibliografie selectivă	54	151
	Anexe	/	173

Cuvânt înainte

Iată-ne la final, după mai mulți ani de studii doctorale. O perioadă plină de entuziasm, provocări, ascensiuni, așteptări, rezultate, satisfacții, reflecții, înțelegere, viziuni, competențe profesionale și personale noi, vechi, descoperite, consolidate, perfecționate. Prin intermediul acestei etape profesionale am înțeles că studiile doctorale nu înseamnă numai aport științific pe un anumit segment academic, ci înseamnă mai presus de toate reziliență, comunicare, tenacitate, perseverență, ambiție, orientare către rezultat, self leadership, ca în final, procesul în sine să contribuie decisiv, la definirea mea profesională și personală. Așadar, finalizarea prezentei teze doctorale nu ar fi fost posibilă fără sprijinul, susținerea și perseverența unui amplu colectiv pe care țin să îl menționez în cele ce urmează.

Mulțumesc :

Conducătorului de doctorat, Dlui Prof. Univ. Dr. Ing. Cristian Vasile Doicin, care a crezut în potențialul temei de doctorat și a acceptat coordonarea acestei teze. Transpunerea realizărilor mele profesionale într-un context academic, domnul profesor fiind direct implicat în toate aspectele lucrării, comunicarea deschisă privind abordările potențiale, sfaturile, direcționările, susținerea efectivă privind participarea la multiple conferințe, redactarea articolelor, materializarea ideilor în prototipuri fizice prin imprimarea 3D a elementelor necesare în cadrul Laboratorului de imprimare 3D al Facultății de Inginerie Industrială și Robotică, sunt doar o mică parte din multitudinea de acțiuni pe care acesta și-a pus amprenta și au condus la progrese remarcabile în cadrul tezei de doctorat. Înțelegerea a fost elementul cheie în tot procesul acestor ani de studii doctorale.

Dnei Lector Univ. Dr Elena Corina Cipu, din cadrul catedrei de Matematici Aplicate al Universității Politehnica din București, pentru deschidere, implicare, dedicare și suport în descoperirea legăturilor dintre mișcarea carburantului dintr-un rezervor al unui autovehicul, dinamica mașinii și sunetul perceput de utilizatorul mașinii, rezultatul final, dependențele evidențiate prin ecuațiile de mișcare având caracter de noutate la nivel mondial.

Dlui ing. Radu Bălaș – Manager Lean 6 Sigma & Digitizare la Garrett Advancing Motion România, soțul meu, pentru suportul acordat privind interpretarea statistică a datelor, elaborarea metodologiilor de testare, realizarea testelor fizice și nu în ultimul rând participarea activă la activitățile științifice.

Echipei de management Renault Technologie Roumanie – Dlor Costin Ionescu, Ovidiu Mantali, Gheorghe Marin pentru suportul și resursele acordate în proiectarea soluțiilor tehnice, eu fiind angajat al companiei Renault Technologie Roumanie din anul 2012.

Dlui ing. Ion Comănescu – Director Inginerie Platformă în cadrul Renault Technologie Roumanie, pentru aprobarea brevetelor și permisiunea de a utiliza soluțiile tehnice în scopuri academice. Tema doctorală a fost inițiată într-un context practic, de serviciu, care s-a concretizat cu șase brevete oficiale aplicate și finanțate de Renault S.A.S. & Renault Technologie Roumanie.

Dnei Dr. Anda Dumitrașcu - Medic Primar, Doctor în Medicină - Șef Laborator Radiologie și Imagistică Medicală, Institutul National de Endocrinologie "C.I. Parhon" București, Conducător echipă de audit, Sistemul de Management al Calității și Senior HR Consultant, mama mea, pentru suportul privind managementul schimbării, soft skills, reziliență emoțională.

Dlui Ing. Dan Manta – director general la SC. TAVI COM PROD SERV SRL, tatăl meu, pentru punerea la dispoziție a mijloacelor fixe necesare realizării testelor fizice și anume pista de testare, spațiu pentru crearea laboratorului de testare cat si mijloace suport pentru desfășurarea activităților în condiții optime.

Anii trec repede, iar eu parcă am evoluat și mai repede de la un statut la altul, ajungând astăzi sa fiu mama a doi băieți minunați (Ștefan și Dimitri), angajată a grupului Renault de noua ani, doctorandă, dar și soție, fiică, nepoată activă în îndatoririle aferente. Nimic din cele de mai sus nu ar fi fost posibil fără sprijinul necondiționat al soțului meu, mamei și bunicilor mei care au avut grijă ca dezvoltarea mea profesională să fie perfect integrată în armonia vieții de familie. Împreună suntem o echipa. Vă mulțumesc mult, familia mea iubită!

Introducere

Teza de doctorat intitulată "Cercetări privind dezvoltarea unor sisteme anti clipocit pentru rezervoarele autovehiculelor" prezintă cercetările întreprinse de autoare cu privire la îndeplinirea obiectivului lucrării, de modelare a comportamentului dinamic al carburantului din rezervorul automobilelor în timpul deplasării acestora și la dezvoltarea unor soluții tehnice inovative de spărgătoare de valuri integrabile în, dar și adaptabile la rezervoare de carburant existente, în vederea ameliorării fenomenului de slosh noise (clipocit).

Teza de doctorat își propune să vină cu soluții privind ameliorarea zgomotelor produse de fenomenul de clipocit, cunoscut și ca fenomenul "slosh noise", care apare atunci când carburantul se lovește de pereții rezervorului automobilului în care este stocat. Lucrarea este structurată în șapte capitole, începând cu prezentarea unei imagini de ansamblu asupra pieței actuale a automobilelor și a carburanților utilizați, precum și a tendințelor viitoare din perspectiva sistemului de carburant, ca după aceea să se detalieze dezvoltarea soluțiilor tehnice menite să reducă efectul de "slosh noise" - "clipocit", modelând comportamentul dinamic al lichidului aflat în rezervor, proiectând sisteme anti-clipocit, îmbunătățind apoi soluțiile propuse și validând rezultatele obținute.

Primele două capitole prezintă o bază de lucru în vederea analizei soluțiilor actuale și dezvoltării unor noi soluții și concepte necesare datorită evoluției tehnologiei, reglementarilor de securitate, normelor de poluare, exigențelor pieței, politicii de îmbunătățire continuă și de reducere a costurilor din industrie, dar și nevoilor clienților.

Capitolul al treilea, „Obiectivele tezei de doctorat”, definește atât obiectivul principal al tezei: *„Dezvoltarea și implementarea unor sisteme anti-clipocit inovative, integrabile în anvelopa unui rezervor de carburant existent, în vederea modificării comportamentului dinamic al carburantului și reducerii fenomenului de slosh noise”*, cât și obiectivele derivate lucrării, astfel încât problematica identificată mai sus să treacă în faza de rezolvare efectivă prin aplicarea de soluții tehnice cu aplicabilitate industrială și eficacitate demonstrată, prin teste fizice efective ce au avut la baza componente prototip.

Capitolul al patrulea, „Contribuții teoretice și practice privind dezvoltarea unui sistem anti clipocit pentru rezervoarele autovehiculelor”, prezintă trei soluții tehnice propuse pentru reducerea zgomotelor de tip slosh noise, care au la bază imbarcarea sau, mai exact, integrarea unor elemente de tip „aripi” pe o piesă deja existentă în interiorul rezervorului și anume, modulul joă - pompă. Așadar, se trece de la stadiul de schiță al soluțiilor tehnice de spărgătoare de valuri imbarcate pe modulul joă pompă, la proiectare conceptuală avansată astfel încât să fie realizat primul pas pentru demonstrarea aplicabilității industriale

Capitolul al cincilea, „Analiza statică a variantelor de sisteme anti-clipocit dezvoltate” face trecerea de la proiectare avansată la testarea celor trei soluții tehnice studiate prin intermediul simulărilor numerice.

Capitolul al șaselea, „Modelarea matematică a mișcării valurilor de carburant într-un rezervor, cu și fără spărgător de valuri” prezintă transpunerea fenomenului de clipocire / slosh noise în limbaj matematic prin mișcarea suprafețelor libere în două contexte, într-un rezervor fără spărgător comparativ cu un rezervor ce prezintă soluții de spărgătoare de valuri.

Modelarea matematică a fenomenelor a relevat o atenuare a valurilor și, implicit, a zgomotului provocat de acestea, fapt demonstrat și prin utilizarea unor modele noi de spărgătoare de valuri, subiect al unor brevete naționale și internaționale. S-a evidențiat faptul că implementarea unei soluții tehnice de spart valurile reduce amplitudinea mișcării suprafeței libere a carburantului din rezervor la jumătate.

Capitolul al șaptelea, „Analiză funcțională - teste acustice privind utilizarea variantelor de sisteme anti-clipocit în condiții reale” debutează cu realizarea fizică a tuturor componentelor necesare unui test, în

condiții reale de rulaj. Cum în prezent nu există nicio procedură standard de testare a fenomenului de „anti – clipocit/slosh noise”, automobilul echipat cu bancul de testare, instrumentația aferentă și piesele supuse testării a rulat conform unei metodologii de testare proprii, definite în concordanță cu literatura de specialitate, care permite reproducerea valurilor în condiții pe care le poate întâlni și un client în condiții standard de utilizare urbană a unui automobil. Datele înregistrate au fost filtrate, analizate din punct de vedere statistic și interpretate.

Capitolul al optulea, „Concluzii generale, contribuții personale, diseminarea rezultatelor, direcții viitoare de cercetare”, înglobează concluziile de la fiecare etapă a cercetării efectuate, ca în final să confirme obiectivul principal al tezei. Nivelul de noutate al soluțiilor studiate, activitatea inventivă, simulările numerice, modelarea matematică și testele fizice ce au confirmat aplicabilitatea industrială a acestora, au permis brevetarea ideilor reținute, autoarea fiind titulara a unui brevet național, a patru brevete internaționale și a șase cereri de brevete pe tema abordată în lucrarea prezentă. De asemenea, au fost publicate articole aferente literaturii de specialitate. În plus, au fost identificate și posibile direcții de cercetare ulterioară.

Glosar de termeni

CAFE	Corporate Average Fuel Economy – Consum mediu de carburant per corporație
CAGR CAGR	Compound growth rate – rată de creștere compusă
CAN	Controller Area Network – Magistrala standard de transmitere a informațiilor
ECV	Electrical Charging Vehicle – Vehicul încarcabil electric
EMAG	Eteri metilici ai acizilor grași (Esters méthyliques d'acides gras)
EPA	Environmental Protection Agency – Agenția de Protecție a Mediului
EU27+2	Uniune Europeană (27 de state) plus Elvetia și Norvegia
EVALTM EVOH	Ethylene vinyl-alcohol copolymers (EVOH)
FDM	Fused Deposition Tehnology- tehnologia depunerii prin topire
GDI	Gasoline Direct Injection – injecție directă de benzină
GHG	Greenhouse gas – gaz generator de efect de seră
GNC	Gaz natural comprimat
GPL	Gaz petrolifer lichefiat
HAP	Hidrocarburi aromatice policiclice
HDPE	Polietilena de înaltă densitate (High Density Polietilene)
HEV	Hybrid Electric Vehicle – Vehicul Hibrid
MA	Model matematic analitic
MJP	Modul joja pompa
MN	Model matematic numeric
NVH	Noise, Vibration and Harshness – Zgomot , vibrații și severitate acustică
PE	Polietilenă
ROV	Roll Over Valve – valvă anti-rasturnare
TFT	Thin-film-transistor - tranzistor cu film subțire
UE	Uniunea Europeană
WWFC	Worldwide Fuel Charter - Carta mondială a combustibilului

Lista standardelor utilizate

Nr.crt.	Cod	Denumire	Conținut
1.	EN228	Carburants pour automobiles - Essence sans plomb - Exigences et méthodes d'essai	Exigente și metode de testare pentru carburanții de tip benzină fără plumb
2.	EN590	GAZOLE	Proprietăți fizico-chimice pentru motorină

Partea 1: Stadiul actual al cercetărilor privind comportamentul carburanților în rezervorul autovehiculelor și existența unor sisteme anti-clipocit

CAPITOLUL 1: Stadiul actual al cercetărilor privind comportamentul carburanților în rezervorul autovehiculelor și dezvoltarea unor sisteme anti-clipocit

1.1. Sistemul rezervor de carburant

În urma cu 40 de ani, rezervoarele vehiculelor erau construite din metal. Totuși, cu toate că ofereau o barieră excelentă împotriva emisiilor poluante, acestea se confruntau cu probleme din cauza apariției coroziunii, lipsei etanșeității și a masei ridicate. Din cauza acestor considerente, industria auto a început să caute alternative și să se orienteze către materialele plastice [ALV96]. Astfel, în Europa anilor 1976 a fost fabricat primul rezervor din plastic (HDPE¹ mono strat). Reușita acestuia s-a bazat pe rezistența la coroziune, masa scăzută, rezistența la impact, flexibilitate geometrică, sistem de producție facil, mediu și condiții de lucru mult îmbunătățite [PLA19]. Ponderea ridicată a tehnologiei de fabricație bazată pe plastic HDPE este dată de cele două tipuri de rezervoare din plastic: monostrat și coextrudate multistrat (Fig. 1.1). Prin prisma durabilității, performanța stratului barieră prezintă o atractivitate incomparabilă cu soluția florurată [ZOH11].

Sistemul rezervor de carburant (fig.1.2) este caracterizat prin următoarele funcții principale: umplere, stocare, alimentare, indicarea nivelului de carburant. Constrângerile acestuia sunt reprezentate de: reglementări, arhitectura vehiculului, exigențe acustice etc. [AUT14].

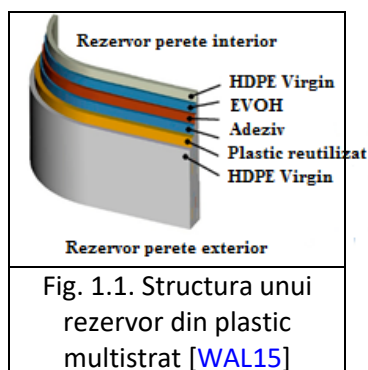


Fig. 1.1. Structura unui rezervor din plastic multistrat [WAL15]

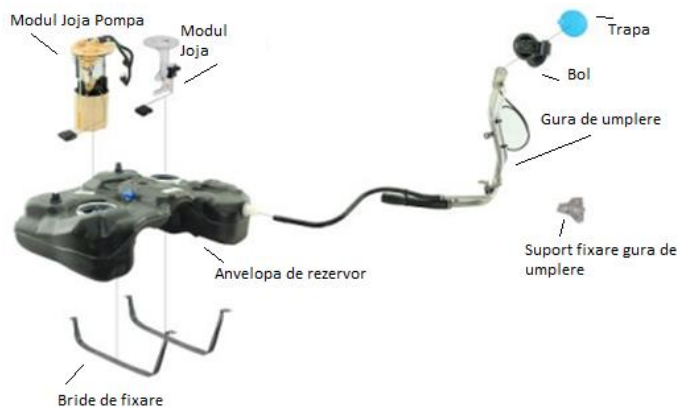


Fig. 1.2. Sistemul rezervor de carburant [A2M15]

Tipurile de tehnologii utilizate pentru fabricarea rezervoarelor de carburant din plastic influențează modul în care se pot integra soluții pentru atenuarea zgomotului produs de valurile din interiorul rezervorului. Astfel, există soluții geometrice integrate în forma anvelopei rezervorului în cadrul procesului de suflare în matriță, soluții de spărgătoare sudate direct pe anvelopă în timpul dublei suflări în matriță (twin sheet blow molding, fig.1.3.), soluții anti valuri sudate după procesul de suflare în matriță.

¹ Material plastic rezistent și ușor ce permite producătorilor să reducă în mod considerabil greutatea vehiculelor, crescând eficiența consumului de carburant.

«Carburantul este un combustibil lichid folosit la motoarele cu ardere internă» [DEX15]. Combustibilii sunt substanțe care reacționează din punct de vedere chimic cu o altă substanță pentru a produce căldură sau care produc căldură prin procese nucleare. În Europa există două norme principale: EN228 care definește calitatea benzinei și EN590, care definește calitatea motorinei. Toți carburanții existenți trebuie să corespundă specificațiilor tehnice normalizate care stau la baza celor două norme (EN590, EN228) [MAT16]. Orizontul 2024 prezintă trecerea la EURO 6/7 și la un coeficient CAFE = 95 g/km, Fig.1.4. În plus, 10% din energia folosită în



Fig. 1.3. Rezervor - Detaliu Twin sheet blow molding [PLA16]

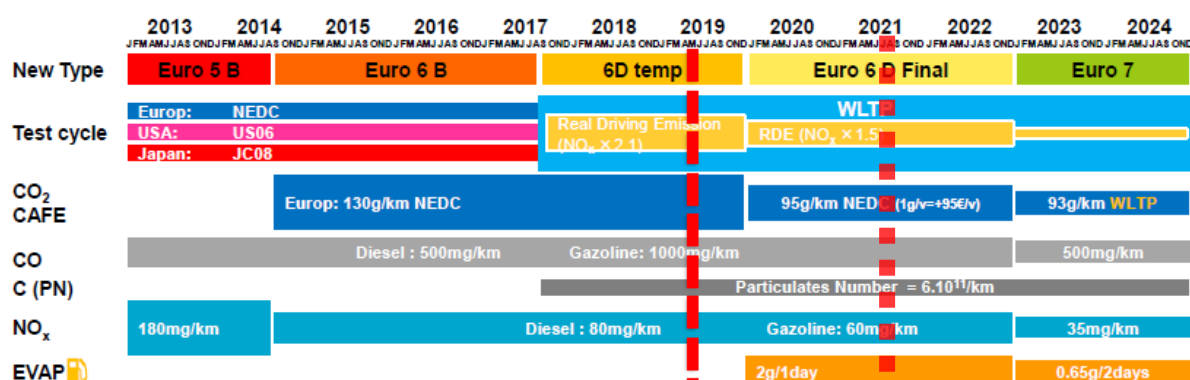


Fig. 1.4 Evoluția normelor Euro [IFP16]

1.2. Comportamentul carburantului în rezervor

Rezervorul asigură mai multe funcții: de alimentare, de stocare, de indicare a nivelului de carburant și de ventilare. În funcțiune, odată ce carburantul din rezervor este acționat de către o pompă pentru a alimenta motorul cu carburantul necesar, se produc anumite mișcări ale lichidului denumite și valuri [HAL11]. Când vehiculul rulează – prin accelerare, decelerare, oprire bruscă sau prin parcurgerea unui drum cu denivelări, în interiorul rezervorului se formează valuri. Acestea ajung să se spargă și să lovească pereții recipientului. Cu cât valurile au o amplitudine mai mare, cu atât mai violent este contactul cu peretele. Zgomotul produs de acest tip de valuri este cunoscut sub denumirea de „slosh noise”. Fenomenul constă, de fapt, în mișcarea continuă a suprafeței libere a unui lichid aflat într-o incintă umplută parțial, cu generare de zgomot. Momentul de inerție exercitat de lichid este în strânsă corelație cu unitatea de timp și poate fi chiar superior forței de greutate exercitate de un solid cu masă similară. Acest aspect este unul din fundamentele care stau la baza transportului și stocajului lichidelor. Cel mai elocvent exemplu este dat de cisternele care transportă carburanți. Din cauza comportamentului dinamic al lichidului transportat, acesta poate avea o influență capitală asupra ținutei de drum a vehiculului. Situația este întâlnită în cazul transportului de lichide pe cale maritimă, feroviară etc.

Prin prisma metodologiei „Problem solving” [ADA16], planul cel mai eficient și economic de acțiune în acest caz îl reprezintă rezolvarea fenomenului prin schimbarea designului rezervoarelor, integrând soluții privind spargerea valurilor. Pe lângă multiplele avantaje asociate acestui timp de soluție, trebuie luate în calcul și aspectele negative, precum diminuarea capacității utile a rezervorului și, implicit, a volumului de expansiune asociat unei cantități de carburant, dar și prețul ridicat al tehnologiei.

Fenomenul este foarte des întâlnit la rezervoarele din plastic (HDPE). Acestea sunt ușoare și, în același timp, rezistente. Tehnologia de obținere a acestora, termosufierea în matriță, permite scăderea grosimii pereților rezervoarelor, ceea ce duce la amplificarea zgomotului resimțit în habitacul, produs de

mișcarea lichidului. Acest lucru confirmă necesitatea implementării unor geometrii complexe, cu scopul de a diminua formarea valurilor sau de a le scădea din amplitudine. Totuși, o eficiență sporită este dată de inserția de spărgătoare de valuri în timpul procesului de suflare și nu numai. Acest tip de soluție constituie o reală provocare pentru furnizorii de rezervoare. Rezultatul fizic este influențat de numărul de spărgătoare de valuri inserate, forma și dimensionarea acestora. Pe lângă optimizarea la nivel acustic, solicitările la nivelul pereților și punctelor de sudură se diminuează, sporind astfel durata de viață a produsului.

În prezent, nu există o procedură standard, o serie clară de parametri care ar putea fi definiți și aplicați pentru rezolvarea efectului de slosh noise. Datele de intrare sunt foarte variate și variabile, iar apariția valurilor nu poate fi transformată într-un eveniment 100% predictibil.

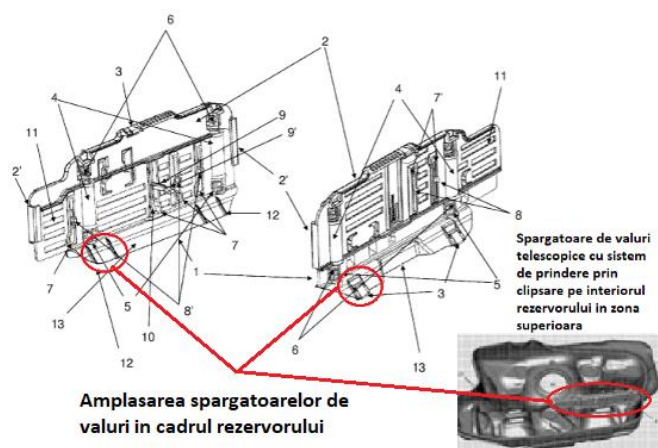


Fig. 1.5. Spărgătoare telescopice [JAC11]

În general, cele mai multe spărgătoare de valuri dezvoltate se fixează în rezervor după suflarea acestuia, prin inserarea printr-una din deschiderile rezervorului, cum ar fi gaura de introducere a modului pompă. Din cauza dimensiunilor mari ale unor spărgătoare ce nu puteau fi inserate prin deschiderile standard, compania Inergy Automotive Systems Research a identificat oportunitatea dezvoltării unor spărgătoare retractabile (Fig. 1.5).

În vederea menținerii spărgătorului în poziție, în cadrul anvelopei de rezervor s-au creat zone duble de fixare, atât în partea inferioară, cât și în partea superioară. Materialul din care se realizează spărgătoarele de acest tip este HDPE. În vederea reducerii spărgătorului, dar și a conservării proprietăților de rezistență mecanică, ambele componente (superioară și inferioară) prezintă diverse nervuri și decupaje [JAC11].

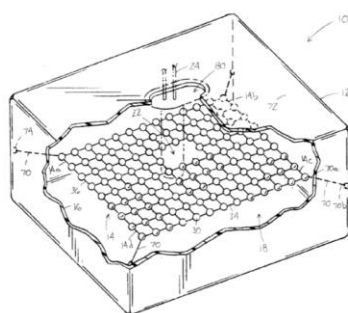


Fig. 1.6. Plasa absorbanta [RAM09]

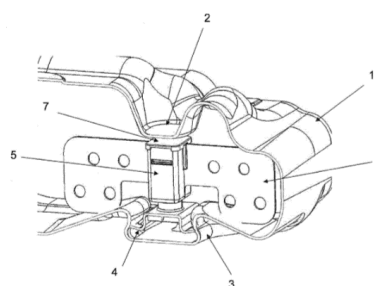


Fig. 1.7. Spărgător cu dubla funcție pentru rezervoare rezistente la presiune negativă [PAR10]

În unele țări, din cauza reglementărilor privind implementarea normelor OBD (On Board Diagnostic Systems), este necesară testarea etanșeității rezervoarelor prin aplicarea de presiuni negative. Astfel, designul rezervorului cuprinde secțiuni de interferență între suprafața inferioară și suprafața superioară a rezervorului. Compania Inergy folosește formele create și ca spărgătoare de valuri (Fig. 1.7). După cum se poate observa și în figură, există și dezavantaje privind diminuarea capacității utile a rezervorului și creșterea masei acestuia [PAR10].

În vederea identificării unor soluții tehnice de spărgătoare de valuri, a fost realizat un benchmark pe baza analizei a 23 de modele de rezervoare ce aparțin unor vehicule din segmentul B (detalii în Tab.1.13 din teză). Analiza a fost desfășurată atât prin participarea la demontaje ce au avut loc în cadrul Grupului

Renault în România și în Franța, cât și pe baza informațiilor existente în baza de date „a2mac1”. S-au luat în considerare pentru acest studiu caracteristici cheie precum: masa rezervorului, dimensiuni, volum, material și existența spărgătoarelor de valuri [A2M15]. S-a constatat că, din 23 de cazuri analizate, numai 17,4% prezintă rezervoare din metal cu soluții ce integrează spărgătoare de valuri. Acestea sunt tot metalice și se fixează de cochila superioară/ inferioară prin multiple puncte de sudură.

Din restul de 82,6% de rezervoare din plastic, numai 8,69% prezintă spărgătoare integrate în anvelopa rezervorului (Fig.1.34, 35). Niciunul dintre rezervoarele din plastic analizate nu a prezentat o soluție de spărgătoare imbarcată pe rezervor (prin sudare in line sau off line).

Constructorii de mașini au lucrat împreună cu furnizorii de rezervoare pentru a găsi diverse metode de reproducere a valurilor încă din faza de dezvoltare a rezervoarelor. Au transformat acest efect într-o exigență privind prestația acustică a unui rezervor. În prezent, nu există o procedură standard, o serie clară de parametri care ar putea fi definiți și aplicați pentru rezolvarea efectului de slosh noise. Datele de intrare sunt foarte variate și variabile, iar apariția valurilor nu poate fi transformată într-un eveniment 100% predictibil [JAC11].

CAPITOLUL 2: Concluzii referitoare la stadiul actual al cercetărilor

Această primă parte reprezintă o introducere în domeniul auto, carburanți, sisteme de rezervoare și probleme identificate. Fenomenele ce apar în interiorul rezervorului, precum mișcarea carburantului și producerea de valuri, evidențiază complexitatea ansamblului proprietăților fizico-chimice ale unui lichid, dar și importanța aplicării unor soluții tehnice cu mare impact.

Un aspect notabil și foarte important este faptul că în prezent nu există nicio procedură standard pentru reproducerea evenimentelor de tip val și nici un șablon pentru aplicarea unei anumite soluții tehnice. Este o abordare la început de drum care permite realizarea de analize diverse și inovații pe măsură.

Spărgătoarele de valuri sunt subiectele multor brevete, dar aplicabilitatea lor încă nu este dovedită la scară globală. Pe măsură ce exigențele clienților se accentuează, materialele evoluează, iar zgomotul devine din ce în ce mai perceptibil de către client. Spărgătoarele de valuri se vor „reinventa” astfel încât adoptarea unei astfel de soluții să nu se mai confrunte cu considerente de tip financiar, de timp sau chiar de resurse.

Partea a doua: Contribuții teoretice și practice privind dezvoltarea unor sisteme anti-clipocit pentru rezervoarele autovehiculelor

CAPITOLUL 3: Obiectivele tezei de doctorat

Din analiza literaturii specifice privind tipurile de carburanți utilizați, problemele tehnice pe care le pot genera, fenomenul de clipocit și comportamentul lichidului din interiorul rezervorului de carburant al unui vehicul, prezentate în capitolul 1 privind stadiul actual al prezentei teze, s-a stabilit ca obiectiv principal de cercetare științifică doctorală:

Dezvoltarea și implementarea unor sisteme anti-clipocit inovative, integrabile în anvelopa unui rezervor de carburant existent, în vederea modificării comportamentului dinamic al carburantului și reducerii fenomenului de clipocit.

Pentru îndeplinirea obiectivului principal, au fost definite următoarele obiective derivate:

- a) Cercetări privind dezvoltarea unui sistem anti clipocit pentru rezervoarele autovehiculelor:
 - Elaborarea unui concept de spărgător de valuri integrabil într-un rezervor deja existent;
 - Studiul soluțiilor tehnice de spărgătoare de valuri îmbarcabile pe modulul joă pompă;
 - Analiza statică a variantelor de sisteme anti-clipocit dezvoltate prin realizarea de simulări numerice în programul ANSYS V19.0 Static pentru studiul deformabilității și rezistenței la rupere a soluțiilor tehnice studiate;
 - Modelarea matematică pentru cele două ipoteze de studiu: rezervorul de carburant fără soluții tehnice de start valuri și rezervorul de carburant ce prezintă soluții pentru spargerea valurilor;
 - Corelarea mișcării suprafețelor libere cu nivelul de zgomot generat prin prisma modelării matematice.
- b) Cercetări experimentale ce vizează analiza funcțională - teste acustice privind utilizarea variantelor de sisteme anti-clipocit în condiții reale
 - Elaborarea metodei de testare și a scenariului de urmărit;
 - Proiectarea și fabricarea prototipurilor necesare și suportul de testare aferent;
 - Stabilirea limitărilor ipotezelor de testare;
 - Realizarea testelor acustice efective;
 - Colectarea înregistrărilor și filtrarea datelor reprezentative;
 - Analiza statistică a datelor prelucrate;
 - Diseminarea rezultatelor obținute;

În vederea materializării obiectivului principal, cât și a obiectivelor derivate, sunt realizate următoarele activități:

- Conceperea unor modele generice pentru piesele din ansamblul de testat;
- Studiul materialelor optime pentru fabricarea spărgătoarelor de valuri;
- Identificarea materialului optim pentru imprimarea 3D a pieselor prototip și limitările acestuia în raport cu materialul utilizat în simulările numerice realizate;
- Proiectarea optimizată în vederea imprimării 3D a prototipurilor necesare;
- Elaborarea unei metodologii de testare a soluțiilor tehnice în vederea reproducerii fizice a valurilor, în condiții reale: pe mașină în cadrul unui rezervor generic;
- Validarea aplicabilității industriale pentru soluțiile tehnice de spărgătoare de valuri studiate;
- Validarea eficienței soluțiilor tehnice inovative privind reducerea efectului de clipocit în raport cu un rezervor fără spărgătoare de valuri integrate.

CAPITOLUL 4: Contribuții teoretice și practice privind dezvoltarea unor sisteme anti-clipocit pentru rezervoarele autovehiculelor

4.1. Proiectarea unor sisteme anti-clipocit pentru rezervoarele autoturismelor

În urma benchmark-ului descris în capitolul 1 al lucrării, s-au luat în considerare caracteristici cheie precum: masa rezervorului, dimensiuni, volum, material și prezența spărgătoarelor de valuri. Astfel, s-au trasat și primele ipoteze pentru elaborarea unui model generic de rezervor care va fi utilizat pentru studiul soluțiilor integrate de spărgătoare de valuri.

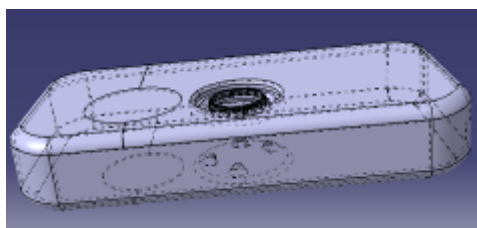


Fig. 4.1. Detaliu asupra modelului general de rezervor

Pentru alegerea unei forme în ceea ce privește modelul general de rezervor ce va fi studiat, s-a considerat un paralelipiped cu laturile calculate ca medie a valorilor lungimilor și lățimilor rezervoarelor prezentate în tabelul 13 din capitolul 1. Înălțimea este calculată ca dimensiunea necesară pentru a obține volumul mediu din studiu. Așadar, rezervorul va avea dimensiunile 1000 X 520 X 160 mm. Acesta va respecta particularitățile unui rezervor de plastic, precum grosimea pereților laterali (2-4mm), muchii

rotunjite, zone de fixare a modului Jojă-Pompă (Fig.4.1). Pornind de la rezervorul generic obținut, s-au realizat mai multe variante conceptuale (Fig. 4.2, 4.3) pentru concretizarea ulterioară a unor concepte de spărgătoare de valuri. Pentru soluția prezentată în Fig. 4.2 principalul avantaj îl reprezintă faptul că nu adaugă operații suplimentare procesului tehnologic de fabricare și poate fi folosită pentru mai multe rezervoare. Suprafețele pot fi modelate în orice formă și/sau poziție. Dezavantajul unei astfel de soluții este acela că reduce volumul util al rezervorului și, totodată, nu poate fi implementat decât modificând considerabil actualul design, dar poate fi luat în considerare în ceea ce privește situația rezervoarelor aflate în faza de proiectare.

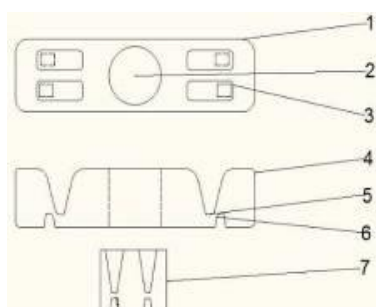


Fig.4.2. Soluția A – vedere din față a unor spărgătoare integrate în forma anvelopei de rezervor în timpul procesului de suflare în matriță, atât pe cochila inferioară, cât și pe cochila superioară;
1/vedere de sus a rezervorului; 2/modul jojă pompă;
3/vedere de sus a spărgătorului; 4/vedere din față a rezervorului; 5/vedere din față a spărgătorului superior; 6/vedere în față a spărgătorului inferior; 7/vedere din lateral

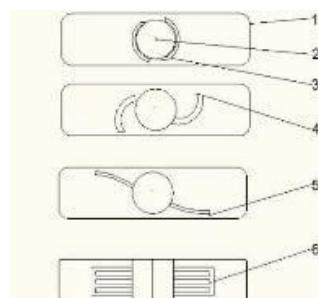


Fig.4.3. Soluția B – spărgător de valuri integrat pe modulul jojă pompă;
1/vedere de sus; 2/modul; 3/spărgător în poziție închisă;
4/vedere de sus-spărgător în timpul montajului-faza de deschidere; 5/spărgător în poziție; 6/vedere din față a spărgătorului - secțiune

Soluția evidențiată în Fig. 4.3. reprezintă un spărgător de valuri realizat dintr-un material maleabil cu o elasticitate crescută, ce se înfășoară pe modulul jojă pompă. După inserția în rezervor, spărgătorul de valuri se deschide datorită proprietăților elastice. După cum se poate observa și în Fig. 4.3., lungimea spărgătorului nu poate acoperi întreaga lungime a rezervorului model. Lungimea este limitată de circumferința modulului jojă pompă. O soluție simplă o reprezintă proiectarea unei aripi a spărgătorului

cu lungimea egală cu maximum jumătate din circumferința modului, însă printr-o proiectare mai complexă se poate realiza și o aripă cu lungimea egală cu circumferința modulului. Prin implementarea spărgătorului schițat în Fig. 4.3. se vizează diminuarea zgomotului produs de valurile din interiorul rezervorului ce se sparg de pereții acestuia. În plus, în cazul unui rezervor care a avut severizată prestația la slosh noise fără modificarea concepției anvelopei, acest tip de soluție reprezintă un potențial de ameliorare la costuri minime.



Fig. 4.4. Spărgători de valuri integrat în rezervor

4.2. Elaborarea modelelor 3D pentru soluția Spărgător de valuri tip aripi - îmbarcate

În baza argumentelor generate pentru soluția prezentată în Fig. 4.3, s-a trecut la elaborarea modelelor 3D pentru a studia în detaliu posibilitatea implementării soluțiilor proiectate. Pentru o imagine de ansamblu, în Fig. 4.4 sunt evidențiate: ansamblul Modul Joă Pompă – Spărgător de valuri – Tip Aripi, dar și integrarea acestuia în cadrul rezervorului generic [MAN15]. În urma aprofundării acestei soluții, s-au constatat câteva constrângeri și limitări :

- Prezența flotorului și dezbateră acestuia influențează lungimea și forma aripilor;
- Dezbateră brațului influențează zonele de prindere / inserție a aripilor ;
- Structura aripilor poate prezenta riscuri în ceea ce privește flexibilitatea accentuată și păstrarea poziției deschise în funcționare ;
- Numărul de aripi limitat ;
- Lungimea aripilor, limitată de diametrul modului joă-pompă.



Fig. 4.5. Ansamblu Modul-aripi închise

Dacă inițial aripile erau pliate în jurul modului, acum aripile se strâng una peste alta prin suprapunere. Acest tip de pliere nu interferează cu dezbateră plutitorului și permite păstrarea lungimii spărgătoarelor de tip aripi (Fig. 4.5).

Asamblarea modului echipat în cadrul rezervorului generic este prezentată în Fig.4.6. Introducerea modului cu aripile pliate de încadrează în gaura deja existentă în rezervor, destinată inserării modului joă pompă.



Fig. 4.6. Ansamblu rezervor – aripi închise - pre montaj

Pentru păstrarea aripilor în poziție deschisă și evitarea riscului de supra extensie a acestora s-a adoptat o soluție tehnică ce presupune implementarea unor nervuri multiple, atât la baza aripilor, cât și pe restul suprafeței .

Modulul joă pompă echipat vine cu aripile în poziție deschisă. În momentul montajului, operatorul strânge / apropie aripile una peste alta pentru a facilita asamblarea modului cu rezervorul. Aripile modului prezintă nervuri pentru rigidizare aripilor, astfel încât în timpul funcționării să își păstreze deschiderea și să își îndeplinească funcția de spargere a valurilor [DEM12].

Caracteristicile generale ale conceptului de modului joă pompă echipat cu aripi îmbarcate pentru spargerea valurilor produse în interiorul unui rezervor sunt:

- Inserție a spărgătoarelor / aripilor în aceeași operație de inserție a modului în rezervor;
- Utilizare în cadrul unui rezervor deja existent la care se dorește îmbunătățirea prestației de tip slosh noise;
- Posibilitate de a genera forme și dimensiuni variate, în funcție de design-ul rezervorului;
- Bază pentru studiul și dezvoltarea altor soluții tehnice similare.

În baza concepției realizate anterior pentru soluția prezentată în Fig. 4.4., păstrând caracteristica principală – spărgătorul de valuri utilizabil pe rezervoare deja existente – s-a generat un al doilea concept pentru a rezolva problemele identificate în aprofundarea conceptului «Spărgător de valuri Tip Aripă» :

- Dezbaterea brațului plutitor influențează zonele de prindere / inserție a aripilor;
- Structura aripilor poate prezenta riscuri în ceea ce privește flexibilitatea accentuată și păstrarea poziției deschise în funcționare;
- Numărul de aripi limitat;
- Lungimea aripilor, limitată de diametrul modului joă-pompă.

4.3. Elaborarea modelelor 3D pentru soluția de Spărgător de valuri tip zale

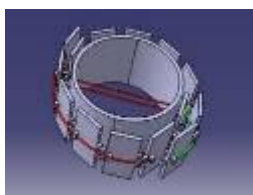


Fig. 4.7. – Aripa Tip ZA strânsă

Pentru diminuarea riscurilor privind flexibilitatea și poziția aripilor, s-a considerat realizarea unui suport central (Fig.4.7) ce va înfășura modulul joă-pompă și va determina poziția aripilor în rezervor.

Realizarea acestui suport modifică una dintre caracteristicile conceptului «Aripă», aceea de inserție a spărgătorului în același timp cu modulul joă pompă. Totodată pentru a nu limita lungimea aripilor, precum și numărul lor, aceste aripi sunt modificate astfel încât să poată fi inserate odată cu suportul central. Pentru aceasta s-a realizat un concept nou de aripă, tip «za» (Fig. 4.7).

Lungimea aripilor poate fi dată de numărul de zale. Acestea sunt conectate una de alta, atât direct cu



Fig. 4.8. – Pre inserție MJP

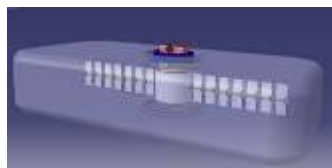


Fig. 4.9. – Inserție Finală MJP

ajutorul unor pini, cât și printr-un cablu rigid de oțel ce asigură interconectarea acestora. Numărul de aripi tip za poate să difere în funcție de necesitatea și de complexitatea proiectului. Cablul conectează zalele cu suportul central, asigurând totodată și o conectare a aripilor, trecând prin corpul central (Fig. 4.8–cablu în poziție liberă). În momentul

inserției modulului joă pompă (Fig. 4.9), acesta se tensionează și întinde zalele asigurând o poziție rigidă și fixă a acestora. Caracteristicile generale ale conceptului spărgător de valuri cu aripi tip za sunt următoarele:



Fig.4.9. Detaliu cilindru adiacent flexibil
îmbarcat pe modul joă pompă – zona de fixare și poziționare / anti-rotăție

- inserția spărgătoarelor / aripilor - facilă pentru procesul tehnologic de fabricare;
- se poate utiliza pentru un rezervor deja existent, la care se dorește îmbunătățirea prestației de tip slosh noise;
- posibilitate de a genera forme și dimensiuni variate, în funcție de design-ul rezervorului;
- baza pentru studiul și dezvoltarea altor soluții tehnice similare;
- Posibilitatea modificării formelor corpului central, dar și a celorlalte elemente, în funcție de cerință.

- Posibilitatea de a adăuga mai multe structuri de zale interconectate.

În urma unei analize de detaliu privind conceptul, s-au constatat câteva dificultăți care au dus la optimizări. Prin urmare, s-a realizat un proces amplu de optimizare a proiectului. Astfel au fost implementate următoarele soluții:

- Decuparea cilindrului conex (suport central), atât în zona brațului plutitor, cât și în zona venturi (Fig. 4.9).
- Gradele de libertate au fost preluate printr-un sistem anti rotație între cilindrul conex și modulul joă pompă, după cum poate fi vizualizat în Fig. 4.9:

- c. Modul de conectare a spărgătorului a fost reproiectat, astfel încât să permită asamblarea unui pin pentru blocare pe o suprafață mai mare. Această soluție a condus la rigidizarea structurii spărgătorului. În plus, pe lângă pin s-a realizat și un canal de ghidare și poziționare. Acesta limitează și rotația dintre două zale. Suprafețele mai mari necesită o precizie mai mică în cadrul procesului de fabricație, iar astfel se reduce costul de execuție pentru zale;
- d. Spațiile dintre zale au fost și ele diminuate pentru a facilita scurtarea cablului. Această măsură îmbunătățește stabilitatea spărgătorului după etapa de asamblare. Pentru un plus de eficiență, zona de trecere a cablului prin za a fost modificată prin crearea unei zone de contact de lungime similară cu cea a unei zale, conferind astfel un plus de robustețe ansamblului. Numărul de zale se definește în funcție de geometria rezervorului în cauză.



Fig.4.10. Introducerea spărgătorului în rezervor



Fig.4.11. Spărgătorul în etapa de pre-asamblare

introducerea spărgătorului în rezervor cu impact pozitiv asupra procesului de asamblare realizat de către operator (Fig. 4.10, Fig. 4.11). Zalele



Fig. 4.12. Cilindrul central și zalele interconectate prin cablu în poziție netensionată, ansamblu puțin flexibil

au o formă dreptunghiulară pentru a putea permite integrarea soluției tehnice de autoblocare și prindere prin canal și pin. O soluție de zale circulare nu favorizează asamblarea complexă.

Cablurile trec pe ambele fete ale zalelor (Fig. 4.12). Acestea se tensionează în momentul în care se introduce progresiv modulul jojă pompă. Lungimea cablului netensionat este egală cu lungimea cablului tensionat. Astfel se asigură rigiditatea față de mișcările lichidului din rezervor.

Conform literaturii tehnice studiate, perforațiile din spărgătoare diminuează forțele exercitate de valuri asupra spărgătoarelor (Fig. 4.12) [HOI04].

4.4. Elaborarea modelelor 3D pentru soluția de Spărgător de valuri tip Fishbone



Fig. 4.13 – spărgător de valuri de tip Fishbone

Ca și în cadrul subcapitolelor 4.3 și 4.4, noutatea constă în crearea unei soluții tehnice de spărgătoare de valuri modulare și adaptabile la geometria unui rezervor deja existent. Soluția propusă este prezentată în Fig. 4.13 și reprezintă un spărgător de valuri adaptabil pentru mai

multe tipologii de rezervoare de combustibil, utilizând ca și componentă funcțională un modul complex ce formează aripa spărgătorului prin asamblarea cu “n” astfel de module. Datorita formei aripii rezultate ce seamănă cu un schelet de peste, spărgătorul de valuri a primit denumirea “Fishbone”.

Modulul ce formează aripile reprezintă o componenta complexă. Astfel, principalele caracteristici constructive sunt:

- Înălțimea tijei este ajustabilă în funcție înălțimea rezervorului prin intermediul resortului integrat (Fig. 4.14. Balon 3) în tija (Fig. 4.14, Balon 2).;

- Pentru evitarea agresiunii suprafeței rezervorului (superioară/ inferioară) se utilizează terminații din cauciuc (Fig. 4.14. Balon 1);
- Suprafețele plane reprezintă aripile superioare și inferioare ce au ca rol spargerea valurilor produse în interiorul rezervorului. Găurile/ decupajele prezente în geometria aripilor eficientizează procesul de spargere a valurilor;
- lungimea spărgătoarelor se adaptează în funcție de spațiul disponibil în rezervor și de geometria acestuia. Asamblarea se face prin elementele de interconectare (Fig. 4.14, Balon 5) în două etape:
 - o Punerea în poziție și introducerea parțială în elementul conjugat (Fig. 4.15).
 - o Împingerea elementului în elementul conjugat până la declanșarea sistemului de autoblocare (Fig. 4.16). Ansamblul astfel creat este nedemontabil. În Fig. 4.17 se observă o vedere izometrică a subansamblului.

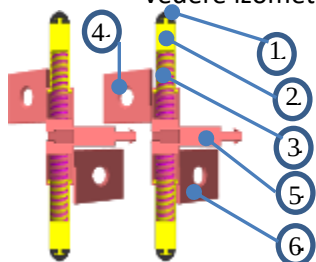


Fig. 4.14. Schema element / schema Element

1. plot de cauciuc/ 2.tijă/ 3.resort/ 4. aripă superioară/ 5. element de interconectare/ 6. aripă inferioară

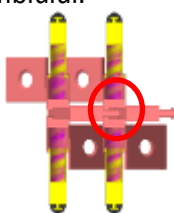


Fig. 4.15. Interconectare elemente – pas 1

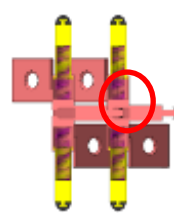


Fig. 4.16. Interconectare elemente

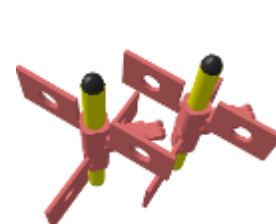


Fig. 4.17. Vedere izometrică

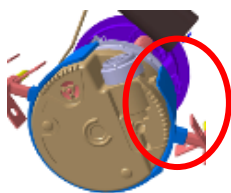


Fig. 4.18. Decupaj cilindru zona Venturi și dezbatere plutitor

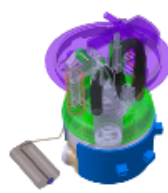


Fig. 4.19. Asamblare cilindru pe modul joă pompă

Elementele interconectate se assemblează pe un cilindru conex modulului joă pompă. Cilindru este decupat în zona cu venturi și cu dezbaterea plutitorului modulului joă pompă (Fig. 4.18). Acesta prezintă zone predefinite de îmbarcare a spărgătoarelor de valuri interconectate. Zonele se vor utiliza în funcție de geometria rezervorului. Cilindru se corelează cu poziția modulului joă pompă și nu se rotește. În Fig. 4.19 se prezintă modelul de element de poziționare și anti rotație [FRA13]. Tijele interconectate își păstrează principiul de asamblare (Fig. 4.16) pentru a fi montate pe cilindru (Fig. 4.18).

CAPITOLUL 5: Analiza statică a variantelor de sisteme anti-clipocit dezvoltate

5.1. Considerente generale

Analiza are ca scop studiul asupra comportamentului spărgătorului de valuri în timpul funcționării. Se consideră o analiză pe baza aplicării unor forțe pe suprafețele spărgătorului de valuri în vederea aprecierii rezistenței acestuia la rupere și a comportamentului acestuia la deformare.

Se studiază cele trei modele de spărgătoare de valuri prezentate:

- Spărgător de valuri tip aripi;
- Spărgător de valuri tip za;
- Spărgător de valuri tip fishbone;

Materialul considerat pentru analiza celor trei tipuri de spărgătoare de valuri este polipropilena - „un polimer termoplastic, utilizat într-o gamă largă de aplicații: ambalare, etichetare, textile, piese din materiale plastice, componente auto etc. Acest polimer termoplastic este foarte robust și incredibil de rezistent împotriva multor solvenți chimici, acizi și baze” [ULP15]. Câteva din caracteristicile sale pe care le urmărim în acest studiu se găsesc în Tabelul 5.1.

Tab. 5.1. Proprietăți mecanice ale polipropilenei [ULP15]	
Duritate, Rockwell R	20.0 – 118 HR
Rezistența la tracțiune	9.00 - 80.0 MPa
Rezistența la rupere, randament	60 - 170 MPa
Alungire la rupere	900 %
Rezistența la încovoiere, randament	20.0 - 180 MPa
Rezistența la compresiune, randament	55.2 MPa

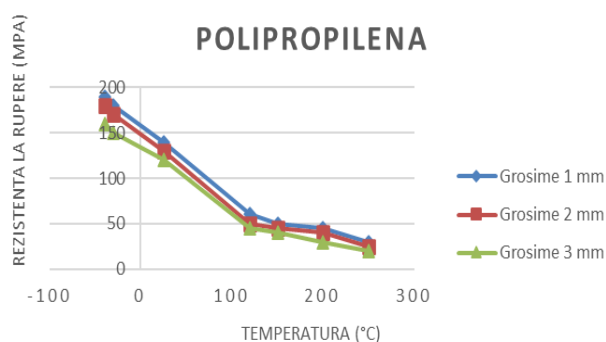


Fig. 5.1. Rezistența la rupere a polipropilenei în funcție de temperatura [ULP15]

Se observă din Fig. 5.1. că rezistența la rupere variază în funcție de grosimea materialului și temperatura mediului în care este utilizat. Așadar, la nivelul rezervorului de carburant auto se considera temperaturi cuprinse între - 30 °C și 80 °C. Astfel, putem considera rezistența la rupere a polipropilenei în aplicația „Spărgător de valuri” cuprinsă între 60-170 MPa (Fig. 5.1) [ULP15].

Calculul forței aplicate de studiu s-a realizat considerând forța maximă posibilă cu care poate acționa cantitatea de lichid din rezervor raportată la viteza de deplasare considerată (Tab.5.2).

Tab.5.2. Parametrii de intrare			
Viteza [km/h]	Timp [s]	Viteza [m/s]	Accelerație [m/s ²]
10	1,39	2,78	2
30	3,65	8,33	2,28
50	5,40	13,89	2,57

Astfel, conform volumului de carburant și vitezei de rulare propuse în studiu, s-au obținut rezultatele prezentate în Tab. 5.3.

Tab. 5.3. Calculul forțelor aplicate în funcție de parametrii dependenți					
Volum carburant [L]	Densitate carburant diesel [kg/L]	Masa [kg]	Forța 10km/h [N]	Forța 30km/h [N]	Forța 50km/h [N]
15	0.832	12,5	25,1	28,6	32,2
25	0.832	20,9	41,8	47,6	53,6
35	0.832	29,2	58,5	66,6	75,1
45	0.832	37,6	75,2	85,7	96,6

Forța maximă dezvoltată de lichidul tip carburant în rezervor este de 96.6 N pentru un volum de carburant Diesel de 45L, considerând o accelerație de la 0km/h la 50 km/h în 2.57 secunde.

Astfel, pentru simulările numerice, privind studiul deformării, realizate cu ajutorul software-ului ANSYS V19.0 Static se va considera o rotunjire superioară a valorii maxime a forței (96.6N) și anume 100N.

5.2. Analiza statică pentru Spărgătorul de valuri tip aripi

5.2.1. Determinarea caracteristicilor de studiu

Se consideră parte fixă a ansamblului, suprafețele exterioare ale modulului joă pompă și suprafețele de prindere ale aripilor situate pe modul (Fig. 5.2). Totodată se ia în considerare poziția verticală a modulului în sistemul de analiză.

5.2.2. Studiu privind deformarea

Se aplica o forță de 100 N perpendiculară pe suprafața aripilor spărgătorului de valuri în vederea determinării deformației teoretice maxime a acestuia în sistem.

Fig. 5.2. Modul joa pompa imbarcat cu spărgător de valuri tip aripi

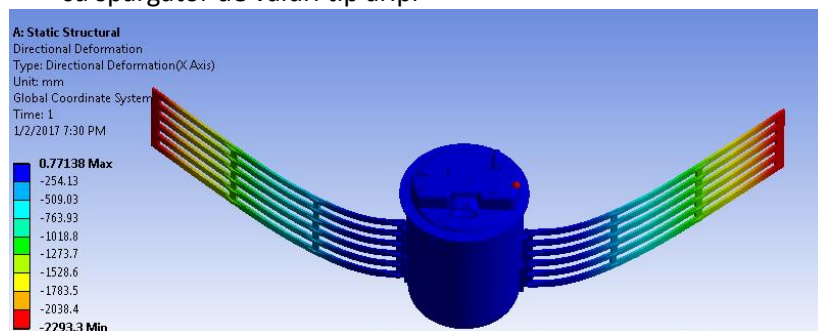


Fig. 5.3. Deformarea aripii de direcția axei "X"

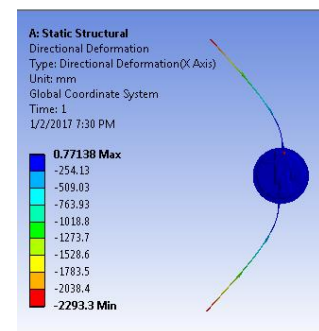


Fig. 5.4. Deformare maxima a aripilor

Se poate observa o deformare a aripii pe direcția de aplicare a forței (Axa -X) de până la 2300mm (Fig. 5.3.). Mai mult, deformarea se produce pe lungimea aripii, iar gradul de deformare maximă este prezent pe extremitatea aripii putând să ajungă la 2300 mm față de poziția inițială. Comportamentul se poate observa în planul XY din Fig. 5.4. Aceasta valoare a deformării concluzionează și o alungire a materialului în utilizare.

5.2.3. Studiu privind rezistența la rupere

În vederea studiului rezistenței la rupere se aplica aceeași forță de 100 N pe suprafața aripilor. Pentru determinarea zonelor de risc se aplica teoria Von Mises. Mai exact, dacă spărgătorul va rezista la condițiile impuse de încărcare. Conceptul de Von Mises rezultă din teoria energiei de deformare. Aceasta reprezintă comparația dintre două tipuri de energii: energia de deformare în cazul actual și energia de deformare într-un caz de deformare simplă la momentul ruperii. Conform acestei teorii, ruperea apare atunci când energia de deformare în caz real este mai mare decât energia de deformare într-un caz de tensiune simplă în momentul ruperii [PHA16]. Din simulare (Fig.5.5) se pot observa suprafețele cu cel mai mare risc la rupere.

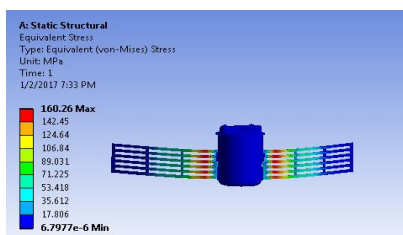


Fig. 5.5. Identificarea zonelor de risc la rupere

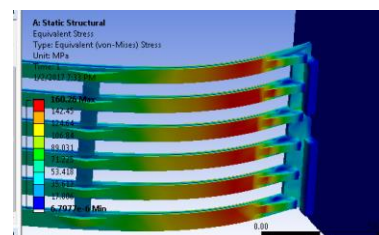


Fig. 5.6. Detaliu privind zona de risc maxim la rupere

Considerând teoria Von Mises, aripa spărgătorului de valuri are cel mai mare risc la rupere în zona indicată prin culoarea roșie (Fig. 5.5) cât și în zona de prindere cu modulul joă pompă (Fig. 5.6), înregistrând valori de 160.26 MPa. Luând în considerare caracteristicile de material ale polipropilenei, și anume rezistența la rupere cuprinsă în intervalul 60 MPa - 170 MPa, în condițiile date, putem concluziona că materialul și concepția/proiectarea propriu-zisă prezintă risc la rupere.

5.3. Analiza statică pentru Spărgător de valuri tip za

Analiza statică pentru spărgătorul de valuri de tip za s-a realizat folosind aceeași structură și aceleași date de intrare ca în sistemul din studiul anterior – Spărgător de valuri tip aripi. În funcție de scenariul testat, pentru studiul cazurilor extreme tratate în cadrul simulărilor numerice, se vor lua în considerare:

- O forță de 100N aplicată perpendicular pe suprafața spărgătorului- valoarea acestei forțe este considerată valoarea maximă posibilă rotunjită superior, conform secțiunii 5.1 din prezentul capitol.
- O forță de 30N aplicată pe zona inferioară a spărgătorului, iar valoarea acesteia reprezintă 30% din valoarea extremă posibilă a unei forte, conform Tab. 5.3.
- O forță de 20N aplicată pe ultima structura a spărgătorului, iar valoarea acesteia reprezintă 20% din valoarea extremă posibilă a unei forțe, conform Tab. 5.3. și ține seama de faptul ca ultima za din cadrul spărgătorului reprezintă 20% din structura acestuia.

5.3.1. Studiu privind deformarea

5.3.1.1. Deformarea în condițiile aplicării forței considerate pe ansamblul Spărgător de valuri tip Za

Se aplică o forță de 100 N perpendiculara pe aripile spărgătorului de valuri tip Za pe direcția axei X în vederea determinării deformației teoretice. Se poate observa un comportament diferit spre deosebire

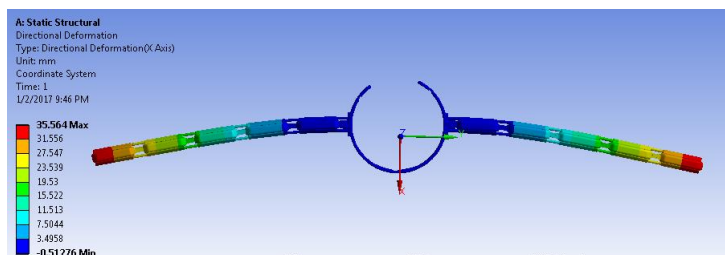


Fig. 5.7. Zonele de deformare cu risc de rupere pentru spărgătorul de valuri tip za

de cazul anterior studiat. În cazul analizei actuale, se observă o mișcare a zalelor în urma aplicării forței și o tensionare/deformare a cablului de legătură dintre acestea. Deformarea materialului zalelor este aproape inexistentă. Se obține o îndoire/deformare totală a aripilor pe direcția axei X de până la 35 mm. (Fig. 5.7)

5.3.1.2. Deformarea în cazul aplicării unei forțe pe întreaga suprafață a unei aripi

Se aplică o forță de 100 N pe una din aripile spărgătorului. Astfel, se poate observa o deformare totală a aripii mai mare decât în cazul precedent, și anume 92 mm pe direcția de aplicare a forței (Axa X), (Fig. 5.8). Comportamentul deformării nu este liniar pe suprafața aripii, fiecare Za a acestui spărgător modificându-și poziția. Comportamentul poate fi observat în planul XY conform cu Fig. 5.9. Se poate considera această deformare ca fiind deplasarea zalelor în momentul impactului cu valurile din rezervor, ce teoretic, respectă și ideea acestei proiectării în vederea reducerii forțelor ce acționează asupra spărgătorului.

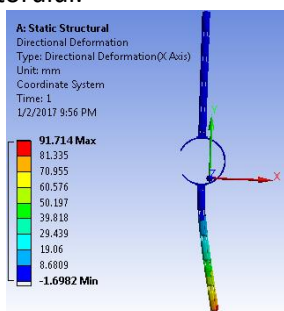


Fig. 5.8. Deformarea spărgătorului de valuri tip za

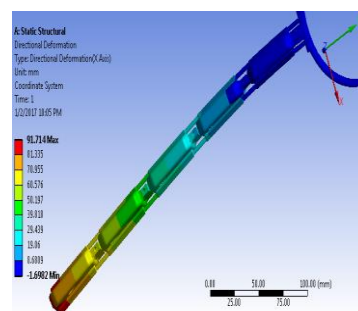


Fig. 5.9. Detaliu privind deformarea structurii

5.3.1.3. Deformarea subansamblului Za în urma aplicării unei forțe de 20N pe ultima za a ansamblului

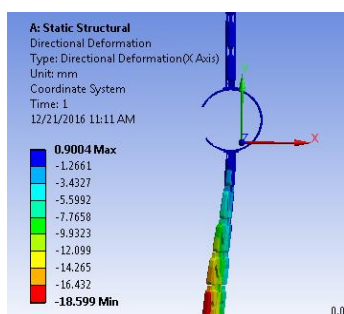


Fig. 5.10. Fenomenul de răsucire a aripii spărgătorului de valuri în urma aplicării unei forțe de 20N pe ultima za a ansamblului

Datorită acestui comportament este nevoie de aplicarea unor forțe independente pe zalele unei aripi în vederea stabilirii conformității acestui design. Astfel se consideră aplicarea unei forțe de 20 N pe ultima Za a ansamblului Aripa, pe direcția -X, considerând o cantitate mai mică de combustibil ce poate acționa pe suprafață. Se poate observa o deformare neuniformă și o schimbare a formei întregii suprafețe a aripii spărgătorului în planul XY. Astfel, zona superioară a aripii ajunge la o deformare de 18 mm pe axa X, iar zona inferioară ajunge la o deformare de 9mm pe axa X, producându-se practic o răsucire a subansamblelor, (Fig. 5.10). Această modificare a formei poate duce la creșterea tensiunii în cablu și la degradarea acestuia.

5.3.1.4. Deformarea în cazul aplicării a două forțe pe o aripă

Pentru a concluziona acest lucru, se consideră aplicarea unei forțe extreme de 100 N pe zona superioară a zalelor (Fig. 5.11) și o forță mai mică, de 30N, pe zona inferioară pentru a evidenția deformabilitatea ansamblului.

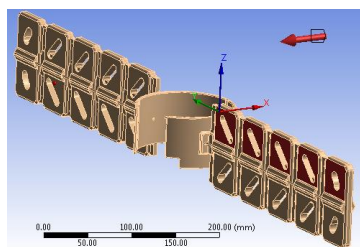


Fig. 5.11. Zona de aplicare a forțelor

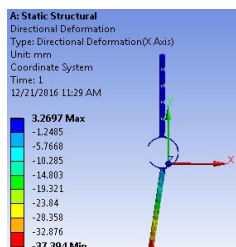


Fig. 5.12. Deformabilitatea ansamblului

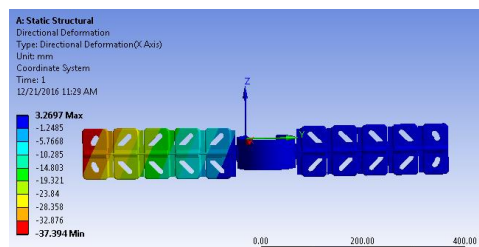


Fig. 5.13. Deformabilitatea ansamblului – vedere din fata

Se poate observa același comportament ca cel anterior, cu o scădere a diferenței nivelului de deformare în planul XY între partea inferioară și cea superioară (Fig. 5.12). Ca și în cazul aplicării unei forțe extreme, ce teoretic nu ar putea fi atinsă în funcționare, că doar pe o zonă a spărgătorului, aria se deformează cu un total de 37mm, fără a exista o deformare a subansamblului Za, deformarea fiind indusă de cablu de legătură și prinderile zalelor, (Fig. 5.13).

5.3.2. Studiu privind rezistența la rupere

Rezistența la rupere a ansamblului se va realiza considerând aplicarea teoriei Von Mises pe cele trei simulări aplicate în cazul studiului deformabilității.

5.3.2.1. Rezistența la rupere în condițiile aplicării forței considerate pe ansamblul Spărgător de valuri tip Za

În vederea studiului se consideră simularea de la punctul 5.3.1.1., privind aplicarea unei forțe de 100 N pe ansamblul spărgător de valuri tip Za și utilizând teoria Von Mises. Astfel, se poate observa o creștere a tensiunii în cablu de legătură cât și în zona de prindere a zalelor pe zona de întindere maximă. (Fig. 5.14, Fig. 5.15)

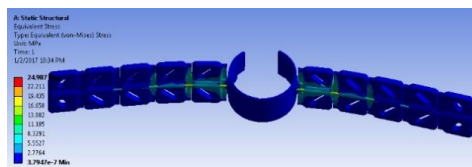


Fig. 5.14. Evidențierea tensiunii din cablu de legătura



Fig. 5.15. Evidențierea zonei de risc pentru ruperea cablului de legătura

În detaliu (Fig. 5.16, Fig. 5.17), se evidențiază creșterea tensiunilor în materialul cablului de legătură de până la 25 MPa și în materialul zalei, în zona de prindere, de până la 22 MPa. Considerând că materialul pentru za polipropilena, spărgătorul de valuri va rezista expunerii la o forță de 100 N, polipropilena având rezistența la rupere între 60-170 MPa. În cazul unui cablu de legătură din oțel, acesta va rezista la rupere în aceste condiții datorită rezistenței sale la rupere între 1500-2500 MPa [ULP15].

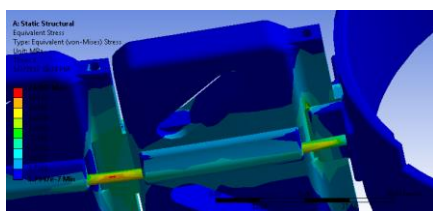


Fig. 5.16. Detaliu zona de tensiune în risc de rupere – vedere din față

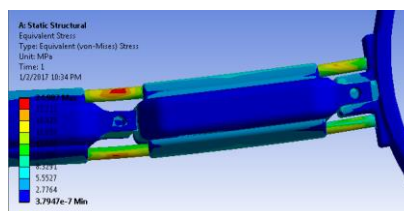


Fig. 5.17. Zona de tensiune cu risc de rupere – vedere de sus

5.3.2.2. Rezistența la rupere în cazul aplicării unei forțe pe întreaga suprafața a unei aripi

În acest caz, în urma aplicării unei forțe de 100 N pe suprafața unei aripi, se poate observa creșterea probabilității ruperii doar în zona de prindere a zalelor cu suportul fix, (Fig. 5.18). În detaliu (Fig. 5.19, Fig. 5.20), se observă două zone în care deformarea poate duce la rupere. Una din zone reprezintă zona de prindere a zalei de capăt, unde din cauza deformării ansamblului se poate produce frecare cu suportul fix. În această zonă materialul ajunge la tensiune maximă de 30-35 MPa, ceea ce înseamnă că materialul va rezista la rupere în cazul folosirii polipropilenei, aceasta având rezistența la rupere cuprinsă între 60-170 MPa.

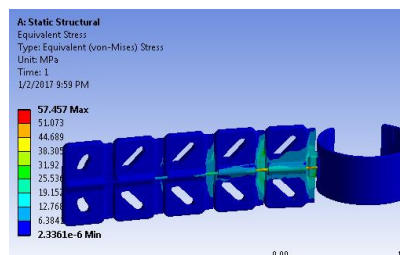


Fig. 5.18. Deformabilitatea ansamblului

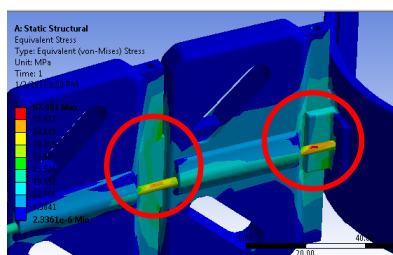


Fig. 5.19. Detaliu privind tensiunea din cablu _ vedere din lateral

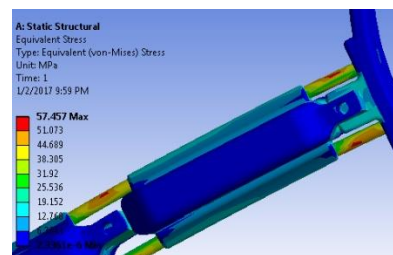


Fig. 5.20. Detaliu privind tensiunea din cablu – vedere de sus

Se poate observa și o creștere a tensiunii de până la 60 MPa a cablului de prindere.

5.3.2.3. Rezistența la rupere în cazul aplicării unei forțe pe un subansamblu al aripii

În această simulare, se considera aplicarea unei forțe de 20 N pe ultima za a aripii (Fig. 5.21, Fig. 5.22). Dacă în cazul deformării s-a observat o deplasare a aripii în două plane, în cazul rezistenței la rupere, forțele ce acționează în material nu depășesc 15 MPa. Considerând limita de 60-170 MPa a rezistenței la rupere în cazul polipropilenei, în acest caz, spărgătorul va rezista.

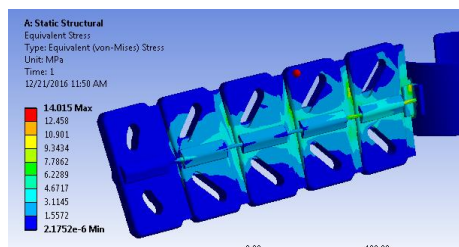


Fig. 5.21. Deformabilitatea ansamblului

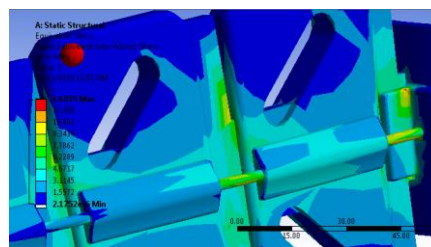


Fig. 5.22. Detaliu zona de risc

5.3.2.4. Rezistența la rupere în cazul aplicării unei forțe extreme

Cea de-a treia simulare confirmă rezultatele din prima simulare. Astfel, în cazul aplicării unor forțe extreme în zona superioară a zăbrei se pot observa forțe pe suprafața de până la 82 MPa pe zona suprafeței de fixare a zăbrei, (Fig. 5.23, Fig. 5.24).

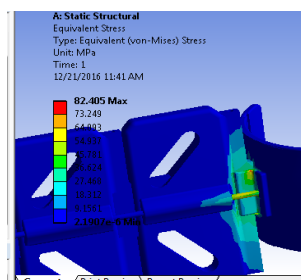


Fig. 5.23. Evidențierea zonei de risc

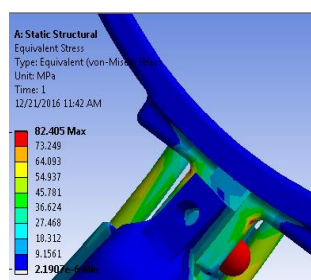


Fig. 5.24. Detaliu zona de risc

Așadar, în condiții normale de utilizare, spărgătorul de valuri tip za va rezista la rupere și își poate schimba forma/poziția cu până la 35 mm. Acest concept prezintă un design mult mai sigur în utilizare decât spărgătorul tip aripi.

5.4. Analiza statică pentru spărgătorul de valuri tip Fishbone

Analiza statică pentru spărgătorul de valuri de tip Fishbone (Fig.5.25) s-a realizat folosind aceeași structura și aceleași date de intrare în sistem ca și pentru studiul spărgătorului tip za.

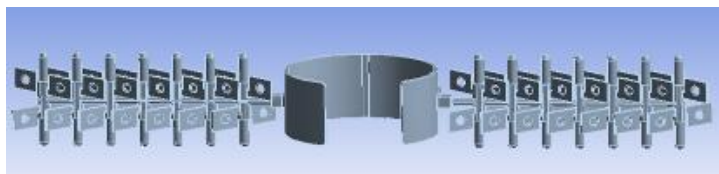


Fig. 5.25. Spărgătorul de valuri tip fishbone

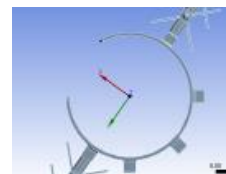


Fig. 5.26. Detaliu cilindru de fixare

5.4.1. Studiu privind deformarea

5.4.1.1. Deformarea în cazul aplicării unei forțe pe aripa

În vederea stabilirii gradului de deformare, se aplică pe una din aripi pe direcția axei X, o forță de 100 N. Se poate observa o deformare mai mică a aripii în comparație cu cele două studii anterioare. Astfel, deformarea se produce între 0.3 mm și 1.8 mm (Fig. 5.27). În plus, se poate observa și o ușoară răsucire a paletelor, (Fig. 5.28).

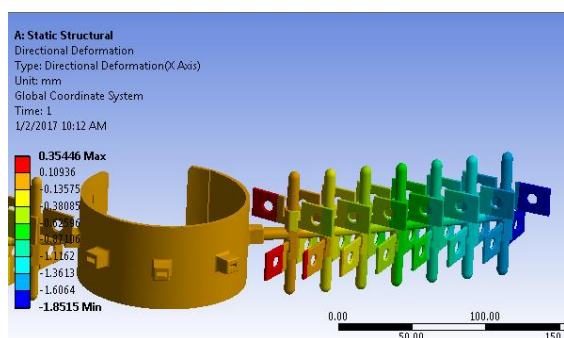


Fig. 5.27. Deformabilitatea ansamblului tip fishbone

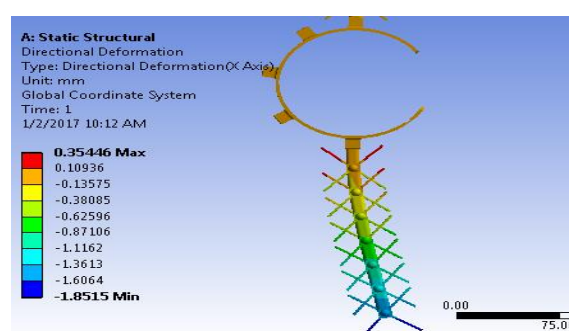


Fig. 5.28. Vedere de sus privind deformabilitatea ansamblului

5.4.1.2. Deformarea în cazul aplicării unei forțe pe subansamblu paletă

Datorită acestui comportament este nevoie de aplicarea unor forțe independente pe paletele unei aripi în vederea stabilirii eficienței și rezistenței acestora, (Fig. 5.29).

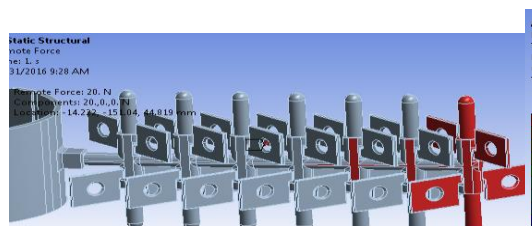


Fig. 5.29. Forțe aplicate independente pe paletele unei aripi

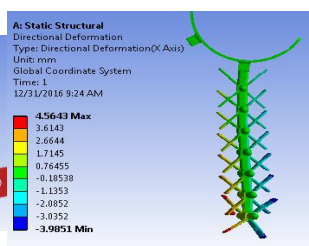


Fig. 5.30. Deformabilitate spărgător

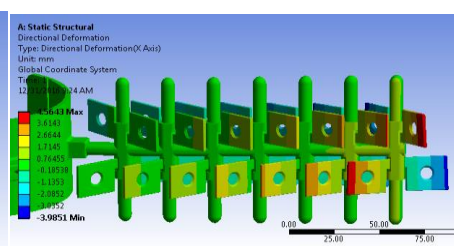


Fig. 5.31. Detaliu deformabilitate

Astfel, se consideră aplicarea unei forțe de 20 N pe ultimul ansamblu de paletă, pe direcția X, considerând o cantitate mai mică de combustibil ce poate acționa pe suprafața. Se poate observa o deformare neuniformă și o schimbare a formei paletelor și a aripii ca ansamblu, în planul XY (Fig. 5.30, Fig. 5.31).

Astfel, deformarea aripii ajunge la 4 mm pe axa X incluzând și o deformare a unor paletă.

5.4.1.3. Deformarea în cazul aplicării unor forțe extreme

În vederea verificării deformabilității ansamblului, se va realiza aplicarea unei forțe extreme precum în cazul spărgătorului tip za. Se va aplica o forță de 100 N pe zona superioară a structurii aripii și o forță de 30N, pe zona inferioară pentru a evidenția deformabilitatea ansamblului. Se poate observa creșterea deformării în planul XY până la 7mm pe direcția axei X, cea mai mică deformare din cele trei tipuri de spărgătoare studiate (Fig. 5.32, Fig. 5.33).

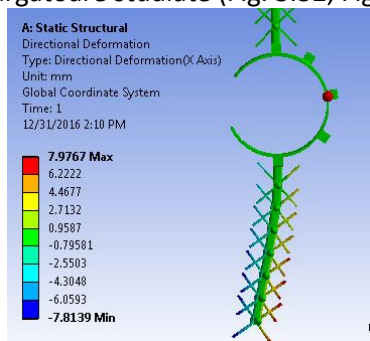


Fig. 5.32. Deformare ansamblu – vedere de sus

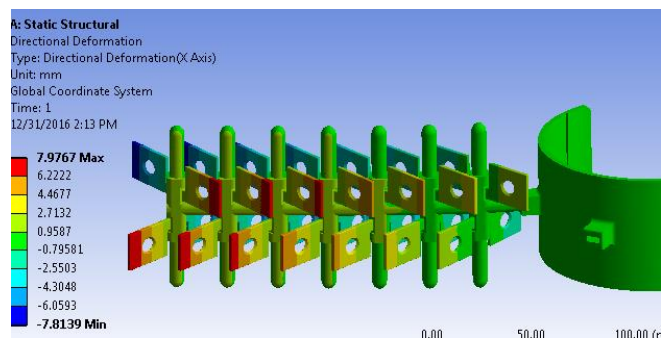


Fig. 5.33. Deformare ansamblu – vedere din fata

5.4.2. Studiu privind rezistența la rupere

Se iau în considerare cele trei cazuri de simulări pentru a studia și evidenția rezistența la rupere a ansamblului tip Fishbone cât și a paletelor acestuia.

5.4.2.1. Rezistența la rupere în cazul aplicării unei forțe uniforme pe suprafața aripii

Se aplică o forță de 100 N pe direcția axei X pe suprafața unei aripi a spărgătorului. Se poate observa în figura 5.34 apariția unor tensiuni în material doar în zonele de prindere a paletelor.

Astfel, se înregistrează cel mai mare risc de rupere în zona de prindere a ansamblului Fishbone cu zona centrală fixă (Fig. 5.35). Considerând rezistența la rupere cuprinsă între 60-170 MPa se poate considera că ansamblul rezistă la rupere în funcționare.

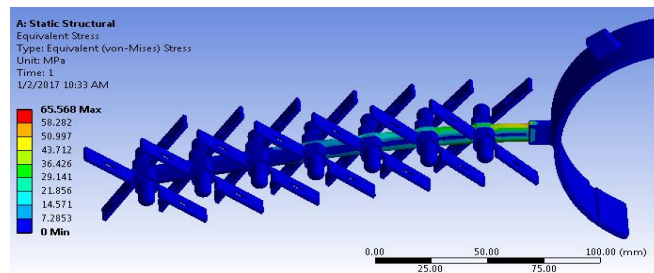


Fig. 5.34. Zona de tensiune – vedere de ansamblu

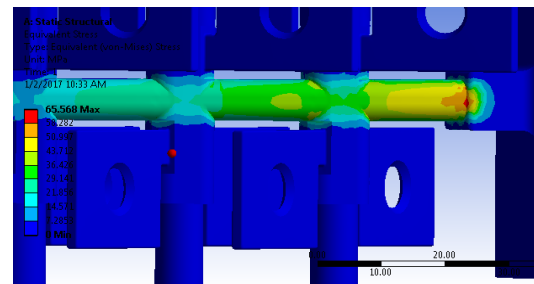


Fig. 5.35. Detaliu zona de tensiune

Se poate vedea o acumulare a tensiunilor în material în zona de prindere cu ansamblul fix al spărgătorului tip Fishbone. Efectul este asemănător la toate cele trei spărgătoare de valuri analizate.

5.4.2.2. Rezistența la rupere în cazul aplicării unei forțe pe subansamblu palete

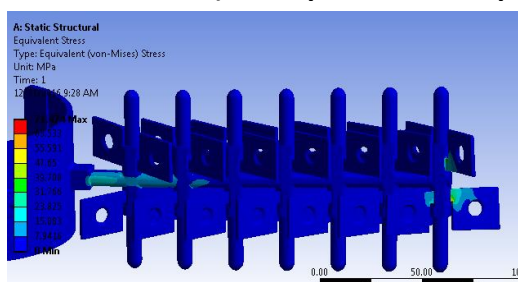


Fig. 5.36. Zone de risc de rupere – vedere de ansamblu

În urma aplicării unei forțe de 20 N pe subansamblu de paleta situat la extremitatea liberă a unei aripi se pot observa acumulări de tensiuni (Fig. 5.36) atât pe brațul aripii (15-30 MPa), cât și la nivelul paletelor în zona de contact cu brațele subansamblului (15-70 MPa).

Considerând proprietățile materialului, se poate concluziona că rezistența ansamblului la rupere este mai mare decât valorile simulate.

5.4.2.3. Rezistența la rupere în cazul aplicării unor forțe extreme

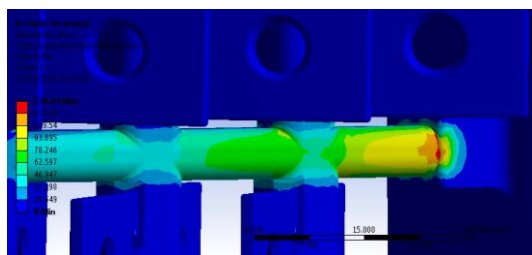


Fig. 5.37. Detaliu zonă de rupere

În urma aplicării unor forțe de 100 N pe zona superioară a ansamblului și a unei forțe suplimentare de 30 N pe zona inferioară, se observă creșterea tensiunilor în material în zona de prindere a aripii cu suportul fix. Astfel se confirmă studiul inițial. Materialul poate ceda (Fig. 5.37) în cazul folosirii în condiții de temperaturi ridicate ($>50^{\circ}\text{C}$), polipropilena putând intra în zona de deformare plastică.

Considerând rezultatele acestei analize statice, spărgătorul de valuri tip Fishbone prezintă deformări mai mici decât anterioarele concepte studiate, însă poate prezenta riscuri la rupere în cazul aplicării unor forțe ce duc la răsucirea subansamblului aripa.

5.5. Concluzii si direcții de cercetare

În urma analizei statice a celor trei modele, în cazul folosirii în condiții normale, se concluzionează următoarele:

1. Spărgătorul de valuri tip aripi prezintă o deformare a aripilor de 2300mm și risc la rupere a aripilor, cea mai mare deformare dintre cele trei concepte analizate.
2. Spărgătorul de valuri tip aripi prezintă un risc la rupere, materialul putând să cedeze la 180 MPa, considerând aplicarea unei forțe de 100 N perpendiculară pe aripi. Acest concept va fi abandonat.
3. Spărgătorul de valuri tip Aripa prezintă cea mai mare deformare a aripii în condiții normale de funcționare $>13\text{mm}$. Astfel, nu se va trece la etapa de realizare a prototipurilor și confirmarea rezultatelor prin realizarea testelor fizice
4. În condiții normale de utilizare, spărgătorul de valuri tip za va rezista la rupere și își poate schimba forma/poziția cu până la 35mm.
5. Spărgătorul de valuri tip Fishbone prezintă cea mai mică deformare a aripii în condiții normale de funcționare $<5\text{mm}$;
6. Pentru utilizare în condiții extreme se recomandă utilizarea unui material cu proprietăți asemănătoare polipropilenei dar cu o rezistență la rupere $>100\text{ MPa}$;
7. Pentru spărgătoarele de valuri tip za și tip fishbone, analiza va continua pentru demonstrarea eficienței asupra modelării comportamentului dinamic al carburantului în rezervorul autovehiculului.

CAPITOLUL 6: Analiză dinamică prin modelare matematică a mișcării valurilor de carburant într-un rezervor, cu și fără spărgător de valuri

6.1. Introducere

Fenomenul de clipocire (sloshing), care apare într-o incintă plină cu lichid, la frânare, după deplasarea acesteia cu viteză uniformă, a fost studiat prin diverse metode: analitică, numerică sau experimentală. [LAZ00] [IAC52]

Metoda analitică presupune utilizarea formulării potențiale pentru definirea suprafeței libere a carburantului, acesta fiind un fluid (aproape) incompresibil. În unele cazuri, teoria potențialului nu este suficientă, determinarea suprafeței libere în interiorul rezervorului fiind în strânsă legătură cu aproximarea corectă a sunetului generat de clipocit, dar poate fi utilizată ca o primă aproximare utilă în modelarea ulterioară.

Metoda numerică presupune abordări diferite în analiza fenomenului de clipocit care apare într-o incintă închisă (rezervor carburant), dintre care se pot enumera: (1) aproximarea MAC (Marker and Cell), (2) aproximarea volumului de fluid VOF (Volume of Fluid Method), metoda LSM (Level Set Method) sau (3) o combinație a acestor metode. Mai nou, aproximarea SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) (4), a fost utilizată în aproximări numerice 2D pentru simularea propagării sunetului [SAG18].

Indiferent de abordare, principalele variabile de care depinde fenomenul de clipocit sunt:

- adâncimea lichidului;
- geometria rezervorului;
- frecvența și amplitudinea forței externe inițiale ce acționează asupra rezervorului.

Pentru a reduce acest fenomen acustic se pot instala în rezervor diverse tipuri de spărgătoare de valuri. Rolul acestora este de a reduce atât presiunea de pe plafon sau de pe pereți, cât și fenomenele manifestate în lichid, inclusiv cel al clipocitului.

Orice modelare matematică presupune identificarea legăturilor ce intervin în proces prin descrierea mărimilor și legăturilor dintre ele.

6.2. Descrierea problemei

În vederea modelării matematice a fenomenului de clipocit care se manifestă într-un rezervor montat pe un autovehicul aflat care frânează brusc, după ce s-a aflat în mișcare cu viteză rectilinie uniformă, vor fi precizate pentru început, ipotezele generale legate de mișcarea fluidului (carburantului).

Modelarea este o metoda de cunoaștere ce constă în înlocuirea procesului real printr-un model al cărui rezultat să fie accesibil și interpretabil. Modelul este o reprezentare simplificată a procesului real prin descrierea comportamentului global al mărimilor esențiale ce intervin în proces.

Se asimilează lichidul din rezervor rezervorul vehiculului cu un sistem material $\mathcal{M}$ în raport cu care se vor utiliza ipoteze de lucru, mărimi și simbolizări, după cum este prezentat în continuare.

A. Ipoteze

1. Masa este o mărime aditivă;
2. Masa sistemului rămâne constantă în raport cu timpul;
3. Momentul cinetic al unei unități elementare² este dat de relația: $\int_D \rho \vec{x} \times \vec{v} dv$.

² Unitatea elementară, în accepțiunea prezentei modelări, este un volum punctiform de lichid care se comportă unitar și păstrează caracteristicile generale ale lichidului căruia îi aparține

B. Mărimi/ simbolizări

„P” reprezintă o parte a sistemului (rezervorului);

„m” reprezintă masa sistemului, ($m > 0$);

„D” este volumul ocupat de partea P (de exemplu, partea de volum de fluid din rezervor);

$\vec{x}$ reprezintă vectorul de poziție al unei unități elementare de fluid, de dimensiune punctiformă;

„p” reprezintă densitatea fluidului, măsurată la nivelul unei unități elementare ca funcție de timp și de poziția respectivei unități.

Fenomenul de clipocit are la bază principii de mișcare a mediilor continue, guvernate de diferite legi constitutive și urmărește principiile termodinamice, toate detaliate în cele ce urmează.

6.3. Formularea modelelor matematice

Se studiază fenomenul de clipocit într-un rezervor aflat pe un autovehicul care frânează brusc, după ce s-a aflat în mișcare cu viteză rectilinie uniformă. Vor fi precizate ipotezele generale legate de mișcarea fluidului. Cele două modelări, analitică (MA) și numerică (MN) vor fi prezentate în paralel.

6.3.1. Modelul analitic (MA) pentru un rezervor fără spărgător de valuri

Ipoteze:

1. Sunt neglijate efectele compresibilității lichidului, vâscozității și tensiunii pe suprafață.
2. Mișcarea este irotațională.
3. Se presupune, de asemenea că mișcarea fluidului este laminară în direcția z, astfel mișcarea este plană. [SU016]

Se fac următoarele notații:

- L = lățimea rezervorului [mm],
- b = lungimea rezervorului [mm],
- ν = vâscozitatea moleculară, [Pa s] sau $[\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}]$

Din ecuația de conservare a masei putem scrie

$$\text{div} \vec{v} = 0, \quad (1)$$

notând $\phi = \phi(x, y, t)$ potențialul vitezei, avem:

$$\vec{v} = \nabla \phi \text{ sau } u = \frac{\partial \phi}{\partial x}, v = \frac{\partial \phi}{\partial y}, \quad (2)$$

$$\Delta \phi = 0 \quad (3)$$

unde :

- vectorul $\vec{v}$ reprezintă vectorul vitezei;
- „ $u = \frac{\partial \phi}{\partial x}$ ” și „ $v = \frac{\partial \phi}{\partial y}$ ” reprezintă vectorul viteză descompus pe direcțiile X și respectiv y;

6.3.1.1. Starea inițială a rezervorului fără spărgător, fig.6.1:

Condițiile pe frontieră: $\frac{d\phi}{dn} = \vec{v} \cdot \vec{n}$ se scriu sub forma:

$$\text{Pe pereții laterali: } \frac{\partial \phi}{\partial x}(-l, y, t) = \frac{\partial \phi}{\partial x}(l, y, t) = 0 \quad (4)$$

$$\text{Pe podea: } \frac{\partial \phi}{\partial y}(x, 0, t) = 0 \quad (5)$$

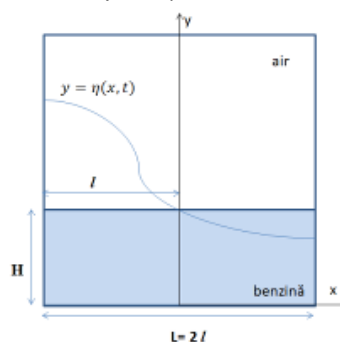
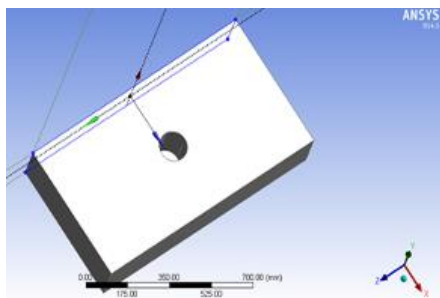
Condițiile pe suprafața liberă: $y = \eta(x, t)$

$$\text{Condiția cinematică: } \frac{\partial \eta}{\partial t} - \vec{v} \cdot \nabla \eta - \frac{\partial \phi}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

Condiția dinamică:
$$\frac{\partial \phi}{\partial t} - \vec{v} \cdot \nabla \phi + \frac{1}{2} (\nabla \phi)^2 + g\eta = 0 \quad (7)$$

unde: "g" reprezintă accelerația gravitațională;

" ϕ " potențialul vitezei; " η " reprezintă amplitudinea suprafeței libere;



a) Geometria rezervorului fără opritor folosită în ANSYS pentru (MN)

b) Geometria rezervorului fără opritor folosită pentru (MA)

Fig. 6.1. Geometria rezervorului

În figura 6.1a este reprezentat sistemul de coordonate asociat rezervorului astfel, pe direcția x se considera lățimea rezervorului (520mm), pe direcția Z se consideră lungimea (1000mm), iar pe direcția Y este considerată înălțimea rezervorului (160mm). Originea este considerată pe planșeu, în centru.

În figura 6.1b se notează cu H înălțimea lichidului din rezervor.

Cum lichidul este incompresibil, energia potențială a unui element lichid este dată numai de energia potențială gravitațională [ANS13] [CHU18] [DEM18]:

$$U^e = \frac{1}{2} \rho g b \int_0^a \eta^2(x, t) dx, \quad (8)$$

Energia cinetică a elementului lichid este dată de [CHU18] [DEM18]:

$$T^e = \frac{1}{2} \rho \int_V (\nabla \phi)^2 dV \quad (9)$$

unde:

- " U^e " reprezintă energia potențială;
- " T^e " reprezintă energia cinetică.

Când rezervorul este supus unei accelerații orizontale $\ddot{X}_0(t)$ vor apărea sunete ("clipociri") laterale ale fluidului conținut, unde:

$$\dot{X}_0(t) = \begin{cases} U_0 - at, & t \in [0, t_1] \\ -at_1, & t \in [t_1, t_s] \end{cases} \quad (10)$$

Unde:

t_s este timpul total de oprire al rezervorului ($t_s = 5s$), $t_1 = 0.4s$, $a = U_0/t_1$.

"a" reprezintă valoarea medie a accelerației (al frânării, în cazul de față)

Mișcarea în rezervor este descrisă de potențialul ϕ . Potențialul ϕ se descompune în două funcții.

$$\phi = \varphi + \psi \quad (11)$$

- φ soluție particulară a ecuației lui Laplace cu condiții statice pe pereți:

$$\varphi = xu + yv \quad (12)$$

$$\psi \text{ satisface ecuația lui Laplace: } \Delta \psi = 0 \text{ în } D \quad (13)$$

și

pe pereții laterali:
$$\frac{\partial \psi}{\partial x} \left(-\frac{L}{2}, y, t \right) = 0 = \frac{\partial \psi}{\partial x} \left(\frac{L}{2}, y, t \right), \quad (14)$$

pe podeaua rezervorului:
$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = 0|_{y=0} \quad (15)$$

pe suprafața liberă:
$$y = \eta(x, t), H = \eta(x, 0)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{\partial \psi}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial x} = 0, \quad (16)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + y\ddot{u} + x\dot{v} + g\eta + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right) = 0, \quad (17)$$

6.3.1.2. Model analitic (MA) pentru determinarea potențialului vitezei. Teoria liniară

Potențialul va fi determinat folosind metoda superpozițiilor funcțiilor proprii ale lichidului din rezervor, bazate pe teoria liniarizată a potențialelor, comparată cu modelul neliniar de tip Boussinesq [SU016].

Potențialul vitezei verifică ecuațiile: $\Delta \Phi = 0$, pe suprafața umedă $\nabla \Phi \cdot \vec{n} = 0$ (18)

Folosim metoda soluțiilor fundamentale, descrisă și în [SU016], [LIN19] și considerăm că potențialul are forma

$$\psi(x, y, t) = \psi_0(x, y, t) + \sum_n \psi_n(x, y, t) \quad (19)$$

în care

$$\psi_n(x, y, t) = f_n(x, y) A_n(t) \quad (20)$$

sunt soluții fundamentale ce verifică ecuația Laplace cu condițiile (13)-(16).

$$\Delta f_n = 0,$$

$$\frac{\partial f_n}{\partial x} \left(-\frac{L}{2}, y \right) = 0 = \frac{\partial f_n}{\partial x} \left(\frac{L}{2}, y \right), \frac{\partial f_n}{\partial y} = 0|_{y=0} \quad (21)$$

cu condiții liniarizate pe frontieră:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{\partial \psi}{\partial y} = 0, \frac{\partial \psi}{\partial t} + g\eta = 0, \quad (22)$$

și potențialul $\psi_0(x, y, t)$ este o soluție particulară ce ține seama de mișcarea rezervorului, verifică ecuația lui Laplace și condiții neomogene pe frontieră:

$$\Delta \psi_0 = 0, \frac{\partial \psi_0}{\partial x} \left(-\frac{L}{2}, y, t \right) = \dot{X}(t) = \frac{\partial \psi_0}{\partial x} \left(\frac{L}{2}, y, t \right), \frac{\partial \psi_0}{\partial y} = 0|_{y=0} \quad (23)$$

pe frontiera liberă:

$$\frac{\partial \eta_0}{\partial t} - \frac{\partial \psi_0}{\partial y} = 0, \frac{\partial \psi_0}{\partial t} + g\eta_0 + \varepsilon \psi_0 = 0, y = \eta_0(x, t) \quad (24)$$

Pentru $n \geq 1, \varepsilon = 0$ (în teoria liniară) obținem
$$\frac{\partial^2 \psi_0}{\partial t^2} = -g \frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{\partial \psi_0}{\partial y}. \quad (25)$$

Astfel, $f_n(x, y)$ și $A_n(t)$ separând variabilele:
$$-\frac{\ddot{A}_n(t)}{A_n(t)} = \frac{g \frac{\partial f}{\partial y}}{f_n(x, y)} = \omega_n^2 \quad (26)$$

găsim ecuațiile
$$g f_{n,y} - \omega^2 f_n = 0, \ddot{A}_n(t) + \omega_n^2 A_n(t) = 0 \quad (27)$$

Potențialul are forma $\psi_n(x, y, t) = f_n(x, y) \sin(\omega_n t)$, ω_n – frecvența unghiulară. (28)

Pentru acest caz, funcțiile proprii sunt:

$$f_n(x, y) = -K_n \cos(\lambda_n(x + l)) \operatorname{ch}(\lambda_n y) \quad (29)$$

$$A_n(t) = \sin(\omega_n t) \quad (30)$$

în care ω_n sunt frecvențele naturale: $\omega_n^2 = g \lambda_n \operatorname{th}(\lambda_n H)$, $\lambda_n = n\pi/L$, ce verifică pe frontiera liberă condițiile:

$$\frac{\partial \eta_n}{\partial t} - \frac{\partial \psi_n}{\partial y}(x, \eta_n(x, t)) = 0, \frac{\partial \psi_n}{\partial t}(x, \eta_n(x, t)) + g \eta_n = 0, \quad (31)$$

$$\eta_n(-l, 0) = H \text{ conduce la determinarea constantelor } K_n = \frac{gH}{\omega_n \operatorname{ch}(\lambda_n H)} \quad (32)$$

$$\eta_n(x, t) = \frac{\omega_n K_n}{g} \cos(\lambda_n(x + l)) \operatorname{ch}(\lambda_n H) \cos(\omega_n t) \quad (33)$$

Amplitudinea suprafeței libere este:

$$\eta(x, t) = \eta_0(x, t) + \sum_n \eta_n(x, t), \quad (34)$$

Pentru determinarea potențialului $\psi_0(x, y, t)$ și a amplitudinii $\eta_0(x, t)$ se rezolvă problema (21)-(22), în care $\dot{X}(t) = U_0 - at$, $a \neq 0$ corespunzător frânării.

$$\psi_0 = A_0(t) + (U_0 - at)x, \eta_0(l, 0) = H, \eta_0(x, t) = -\frac{1}{g} \frac{\partial \psi_0}{\partial t}. \quad (35)$$

Pentru determinarea amplitudinii $A_0(t)$ este folosită ecuația pendulului [SU016]:

$$\ddot{A}_0 + B_1 \dot{A}_0 + \omega_1^2 A_0 = \ddot{X}, B_1 = \frac{\sqrt{2\omega_1 v}}{Lb} \left(b + L + b \frac{\lambda_1(L-2H)}{\operatorname{sh}(2\lambda_1 H)} \right). \quad (36)$$

În condițiile problemei date:

$$\Delta = B_1^2 - 4\omega_1^2 > 0, \quad (37)$$

Notând $\delta = \sqrt{\Delta}$ și $r_{1,2} = \frac{-B_1 \pm \delta}{2}$ Soluția ecuației are forma:

$$A_0(t) = \begin{cases} A_{01}, t \in [0, t_1] \\ A_{02}, t \in [t_1, t_s] \end{cases} \quad (38)$$

$$A_{01}(t) = c_{11} e^{r_1 t} + c_{12} e^{r_2 t} - \frac{a}{\omega_1^2}, t \in [0, t_1], \quad (39)$$

$$A_{02}(t) = c_{21} e^{r_1 t} + c_{22} e^{r_2 t}, t \in [t_1, t_s]. \quad (40)$$

Constantele $c_{11}, c_{12}, c_{21}, c_{22}$ se vor determina din condițiile inițiale astfel:

$$c_{11} = \frac{\dot{A}_0^1(0) - (A_0(0) + \frac{a}{\omega_1^2})r_2}{\delta}, c_{12} = \frac{(A_0^1(0) + \frac{a}{\omega_1^2})r_1 - \dot{A}_0^1(0)}{\delta}, r_1 - r_2 = \delta. \quad (41)$$

$$c_{21} = \frac{\dot{A}_0^2(0) - A_0^2(0)r_2}{\delta}, c_{22} = \frac{A_0^2(0)r_1 - \dot{A}_0^2(0)}{\delta}. \quad (42)$$

Pentru problema dată considerăm condiții compatibile cu relațiile (92) și (100):

$$A_{01}(0) = 0, \dot{A}_{01}(0) = al - gH, A_{02}(0) = A_{01}(t_1), \dot{A}_{02}(0) = \dot{A}_{01}(t_1), \quad (43)$$

Astfel:

$$A_{01}(t_1) = c_{11}e^{r_1 t_1} + c_{12}e^{r_2 t_1} - \frac{a}{\omega_1^2}, \quad \dot{A}_{01}(t_1) = c_{11}r_1 e^{r_1 t_1} + c_{12}r_2 e^{r_2 t_1} \quad (44)$$

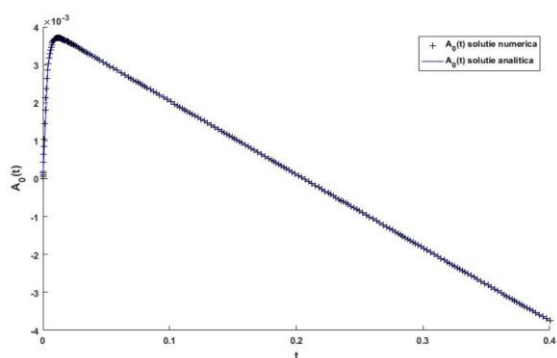


Fig. 6.2a. Evoluția amplitudinii de ordin zero în funcție de timp, $t \in [0, t_1]$, $t=0.4s$, conform relațiilor (38), (43), (44)

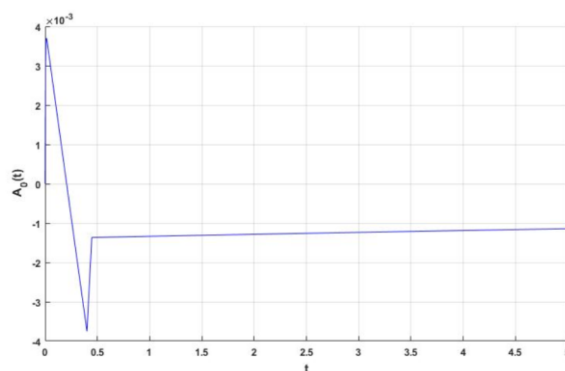


Fig. 6.2b. Evoluția amplitudinii de ordin zero (A_0 [m]) în funcție de timp, $t \in [0, t_s]$, $t=5s$, conform relațiilor (38), (43), (44)

Pentru realizarea graficului din figura 6.2a s-a creat un program de calcul propriu în MatlabR2016.R .

Astfel, în cazul unui rezervor fără spărgător se observă că momentul frânării determină amplitudinea maximă. Apoi acesta scade pana la 0.4s (fig. 6.2a), urmând o urcare lejeră și o stagnare, ceea ce reprezintă „linistirea” valurilor în interiorul rezervorului (fig. 6.2b).

Într-un rezervor de carburant care nu prezintă soluții tehnice pentru spart valuri se observă un val mare urmat de valuri mai mici succesive care se vor lovi unele de altele, (fig. 6.3a și fig. 6.3b). Astfel, zgomotul generat reprezintă fenomenul de clipocit, neplăcut pentru utilizator.

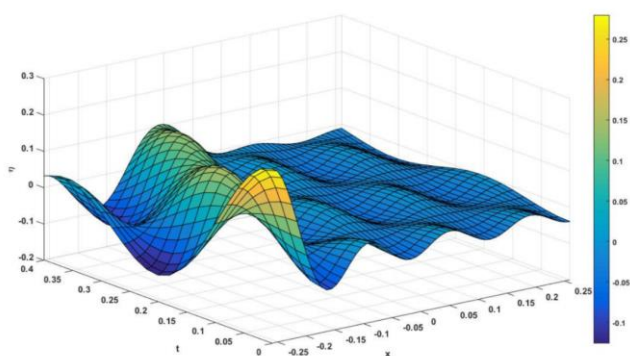


Fig. 6.3a. Evoluția suprafeței libere pentru $t \in [0, t_1]$, $t=0.4s$, conform relațiilor (33) și (34)

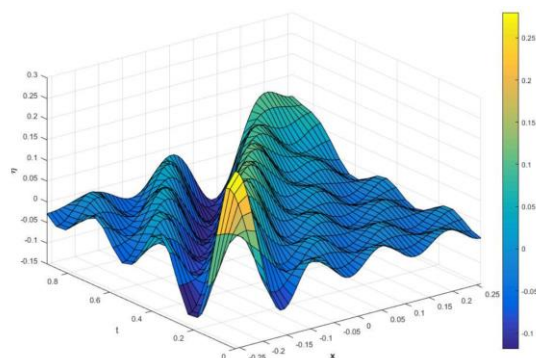


Fig. 6.3b. Evoluția suprafeței libere pentru $t \in [0, t_1]$, $t=0.8s$, conform relațiilor (33) și (34)

Pentru realizarea graficelor din figurile 6.2b, 6.3a și 6.3b s-a creat un program de calcul propriu în MatlabR2016.R, după cum este prezentat în detaliu în teză.

6.3.1.3. Modelul lui Boussinesq neliniar cu o mică perturbare a amplitudinii

Condițiile liniarizate pe suprafața liberă se vor modifica [SU016]

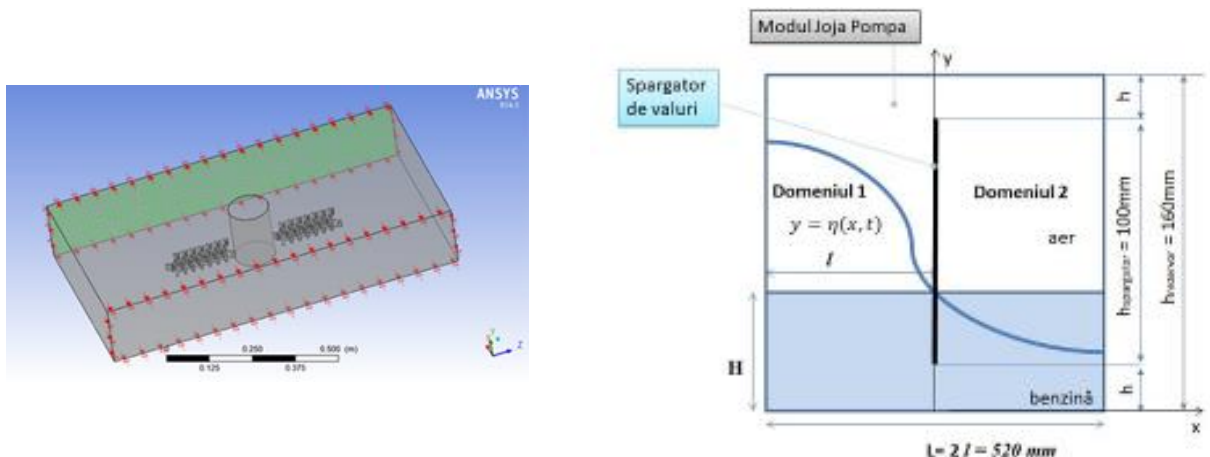
$$\text{Cinematică: } \frac{\partial \psi}{\partial t} + g\eta + \varepsilon \psi = 0 \quad (45)$$

$$\text{Dinamică: } \frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{\partial \psi}{\partial y} = 0 \quad (46)$$

$$\text{Din care eliminând variabila } \eta \text{ obținem: } \psi_{tt} + \varepsilon \psi_t + g\psi_y = 0 \quad (47)$$

6.3.2. Modelul analitic (MA) pentru un rezervor cu spărgător de valuri [CHU18], [LU015]

Starea inițială a rezervorului cu spărgător de valuri, fig.6.4.:



a) Geometria rezervorului cu spărgător de valuri folosită în ANSYS pentru (MN)

b) Geometria rezervorului cu spărgător de valuri folosită pentru (MA)

Fig.6.4. Geometria rezervorului cu spărgător de valuri

Considerăm mișcarea suprafeței libere pe lățimea rezervorului, mișcare plană, în planul transversal și fiind aceeași pe toată lungimea rezervorului.

Unde:

- $h = 30\text{mm}$,
- Lungimea rezervorului = 1000mm,
- Lățimea rezervor (L) = 520mm,
- Înălțime rezervor = 160mm

Conform geometriei prezentate în figura 5.4.b), mișcarea în rezervor este descompusă în două domenii. Potențialul $\phi = \varphi + \psi$ verifică ecuația lui Laplace (13) cu forma (19), iar ψ satisface (13) în ambele

domenii $D_1 \cup D_2 = D$, $D_1 = [h, h + h_{sp}] \times [-l, 0]$,

$D_2 = [h, h + h_{sp}] \times [0, l]$, cu notația $h_{sp} = h_{\text{spărgător}}$:

- e pereții laterali ai lui D_1 :

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} \left(-\frac{L}{2}, y, t \right) = \dot{X}(t), \frac{\partial \psi}{\partial x} (0_-, y, t) = f(t), y \in [h, h + h_{\text{spargator}}] \quad (48)$$

- pe pereții laterali ai lui D_2 :

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} (0_+, y, t) = 0, \frac{\partial \psi}{\partial x} \left(\frac{L}{2}, y, t \right) = \dot{X}(t), y \in [h, h + h_{sp}] \quad (49)$$

- pe podeaua rezervorului

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = 0 \Big|_{y=0} \quad (50)$$

- condiția de salt pe cele două părți ale spărgătorului

$$\left[\frac{\partial \psi}{\partial t}(x, y, t) \right]_{-}^{+} = \frac{\alpha}{2} \frac{\partial \psi}{\partial x} \left| \frac{\partial \psi}{\partial x} \right| + 2C \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial t}. \quad (51)$$

- condiția de continuitate a vitezei la nivelul $y = h$, de trecere de la domeniul lichid fără spărgător, la nivelul $y > h$, în care lichidul este separat de spărgător în domeniile D_1 și D_2 :

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = u_{fsp}(x, t) \Big|_{y=h}, x \in [-l, 0] \text{ pentru determinarea soluției în } D_1 \quad (52)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = u_{fsp}(x, t) \Big|_{y=h}, x \in [0, l] \text{ pentru determinarea soluției în } D_2 \quad (53)$$

$$u_{fsp}(x, t) = \frac{\partial \psi_{fsp}}{\partial x}(x, h, t), \psi_{fsp}, \text{ dat de soluția de forma (19) a problemei de mișcare fără spărgător.} \quad (54)$$

Conform cu soluția determinată anterior obținem că:

$$u_{fsp}(x, t) = -at + \sum_n u_{nfsp}(x, t), t \in [0, t_1]; \quad (55)$$

$$u_s(x, t) = -at_1 + \sum_n u_{nfsp}(x, t), t \in [t_1, t_s]. \quad (56)$$

$$u_{nfsp}(x, t) = K_n \lambda_n c h(\lambda_n H) \sin(\lambda_n(x+l)) \sin(\omega_n t), t \in [0, t_s], \text{ (a se vedea [CHO16])}. \quad (57)$$

În condițiile (48)-(51), C reprezintă coeficientul de inerție și este neglijabil dacă se neglijează grosimea opritorului, iar $\alpha = \left(\frac{1}{PC} - 1 \right)^2$, (a se vedea [POG19]), este un coeficient ce ține seama de porozitatea P a spargatorului. $f(t) = \int \frac{F}{m} dt = f_0 t$, F forța distribuită pe spărgător (ce ține seama de viteza inițială U_0 , volumul de lichid din rezervor (respectiv înălțimea lichidului din rezervor, H).

Presiunea hidrostatică și suprafața liberă pot fi descrise prin:

$$p = -g \frac{\partial \psi}{\partial t}, \eta = \frac{p}{\rho g}. \quad (58)$$

Tab. 6.1. Valorile parametrului f_0 [N/kg] în raport cu viteza inițială U_0				
Volumul de lichid [L]	Masa[kg]	f_0 pentru $U_0=10\text{km/h}$	f_0 pentru $U_0=30\text{km/h}$	f_0 pentru $U_0=50\text{km/h}$
15	12.5	2,00800	2,28800	2,57600
25	20.9	2,00000	2,27751	2,56459
35	29.2	2,00342	2,28082	2,57192
45	37.6	2,00000	2,27926	2,56915

Valorile din tabelul 6.1. au fost obținute pe baza datelor din tabelele 5.2 și 5.3 corespunzătoare capitolului cinci. Aceste valori vor fi folosite în graficele prezentate în fig. 6.2-6.7, parametrul f_0

intervenind în relația (48). Parametrul f_0 se calculează în funcție de Forța F (din tabelul 5.3) la viteza prestabilită (10, 30, 50km/h din tab 5.3) și masa lichidului aflat în rezervor.

Notăm soluțiile funcției de curent în cele două domenii :

$$\psi^1 = \psi_0^1 + \psi_f \text{ (} x \in [-l, 0] \text{)}, \text{ respectiv } \psi^2 = \psi_0^2 + \psi_f \text{ , (} x \in [0, l] \text{)}, \quad (59)$$

cu: $\psi_f = \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n \text{ , } \psi_n(x, y, t) = f_n^1(x, y) \sin(\omega_n^{sp} t)$, soluția de tip (19) cu $n \geq 1$,

$$f_n^1 = -C_n \cos(\lambda_n^{sp}(x + l)) \operatorname{ch}(\lambda_n^{sp} y), \quad (60)$$

cu:

$$\lambda_n^{sp} = n\pi/l, (\omega_n^{sp})^2 = g\lambda_n^{sp} \operatorname{th}(\lambda_n^{sp} H) \quad (61)$$

f_n^1 fiind soluții fundamentale ce verifică:

$$\Delta f_n^1 = 0, \frac{\partial f_n^1}{\partial x}(-l, y) = 0 = \frac{\partial f_n^1}{\partial x}(0, y), \frac{\partial f_n^1}{\partial y} = 0|_{y=0}. \quad (62)$$

iar ψ_0^1 și ψ_0^2 sunt soluții ce verifică (20).

Astfel, $\forall y \in [h, h + h_{sp}]$, pentru $t \in [0, t_1]$,

$$\psi_0^1 = A_{01}^1(t) + \frac{1}{\omega_1^{sp}} \left[\int_0^1 -a(1 - \theta) + f_0 \theta d\theta \right] + x((U_0 - at)(1 - \theta) + f_0 t \theta),$$

$$x \in [-l, 0] \quad (63)$$

și

$$\psi_0^2 = A_{01}^2(t) + \frac{1}{\omega_1^{sp}} \left[\int_0^1 f_0(1 - \theta) - a \theta d\theta \right] + x(f_0 t(1 - \theta) + (U_0 - at)\theta),$$

$$x \in [0, l], \theta = \frac{t}{t_1}, \quad (64)$$

pentru $t \in [t_1, t_s]$,

$$\psi_0^1 = A_{02}^1(t) + x((U_0 - at)(1 - \theta) + f_0 t \theta), x \in [-l, 0], \quad (65)$$

și

$$\psi_0^2 = A_{02}^2(t) + x(f_0 t(1 - \theta) + (U_0 - at)\theta) , x \in [0, l], \theta = \frac{t-t_1}{t_s-t_1} \quad (66)$$

în care:

$$A_{01}^2(t) = A_{01}^1(t) = c_{11}e^{r_1 t} + c_{12}e^{r_2 t}, A_{02}^2(t) = A_{02}^1(t) = c_{21}e^{r_1 t} + c_{22}e^{r_2 t}, \quad (67)$$

considerându-se o mediere a variației în timp a impactului inițial.

Suprafața liberă , fig.6.5, se va determina după relația $\frac{\partial \psi}{\partial t} + g\eta = 0, y = \eta$ (68)

$$\eta_0^1 = -\frac{1}{g} \frac{\partial \psi_0^1}{\partial t} - \frac{1}{g} \frac{\partial \psi_f}{\partial t}, \eta_0^2 = -\frac{1}{g} \frac{\partial \psi_0^2}{\partial t} - \frac{1}{g} \frac{\partial \psi_f}{\partial t}, \quad (69)$$

$$\text{Cu : } -\frac{1}{g} \frac{\partial \psi_f}{\partial t} = \frac{\omega_n^{sp} C_n}{g} \sum_{n=1}^{\infty} \cos(\lambda_n^{sp}(x+l)) \operatorname{ch}(\lambda_n H) \cos(\omega_n^{sp} t), \quad (70)$$

$$C_n = \frac{gH}{\omega_n^{sp} \operatorname{ch}(\lambda_n^{sp} H)}. \quad (71)$$

Pentru $t \in [0, t_1]$:

$$-\frac{1}{g} \frac{\partial \psi_0^1}{\partial t} = -\frac{1}{g} [\dot{A}_{01}^1(t) + x(-a + 2(f_0 + a) \frac{t}{t_1} - \frac{U_0}{t_1})], \quad (72)$$

$$-\frac{1}{g} \frac{\partial \psi_0^2}{\partial t} = -\frac{1}{g} [\dot{A}_{01}^2(t) + x(f_0 + \frac{U_0}{t_1} - 2(f_0 + a) \frac{t}{t_1})] \quad (73)$$

Pentru $t \in [t_1, t_s]$:

$$-\frac{1}{g} \frac{\partial \psi_0^1}{\partial t} = -\frac{1}{g} [\dot{A}_{02}^1(t) + x(-a + 2(f_0 + a) \frac{t}{t_s - t_1} - \frac{U_0}{t_1})], \quad (74)$$

$$-\frac{1}{g} \frac{\partial \psi_0^2}{\partial t} = -\frac{1}{g} [\dot{A}_{02}^2(t) + x(f_0 + \frac{U_0}{t_1} - 2(f_0 + a) \frac{t}{t_s - t_1})]. \quad (75)$$

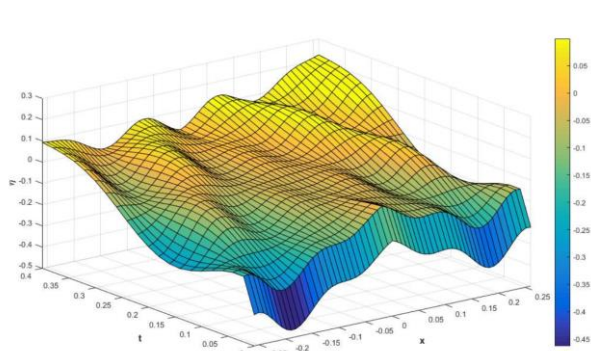


Fig.6.5a. Evoluția suprafeței libere cu spărgător ($\eta(x,t) = \eta_0(x,t) + \sum_n \eta_n(x,t)$ [m]) în cele două domenii de integrare, $t=0.4s$, conform relațiilor (69), (72), (73)

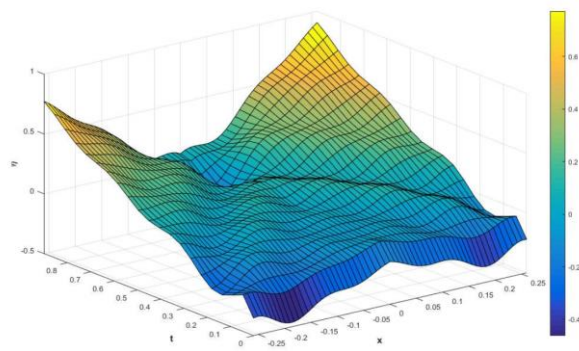


Fig.6.5b. Evoluția suprafeței libere cu spărgător în cele două domenii de integrare, $t=0.9s$ conform relațiilor (69), (72) - (75)

Conform Fig.6.5, în cazul unui rezervor cu spărgător apare un singur val, dar mai mare, iar lichidul tinde să se ducă în părțile laterale. Teoretic, este bună integrarea unui spărgător de valuri în cadrul unui rezervor deoarece zgometul generat de fenomenul de clipocit este diminuat prisma lipsei valurilor.

În concluzie, se observă din cele două figuri, fig. 6.6 și fig. 6.7, că suprafața liberă are comportament total diferit, numărul de valuri scăzând considerabil în cazul integrării unei soluții de tip spărgător de valuri, iar astfel disconfortul cauzat de fenomenul de clipocire va fi diminuat.

Valorile negative pe axa X sunt datorate sistemului de axe considerat, astfel încât $-0.25m$ și $+0.25m$ sunt pereții rezervorului.

Se ia ca referință (zero) suprafață descrisă de nivelul lichidului în stare de repaus. Apar variații pozitive și negative față de nivelul de referință în urma frânării.

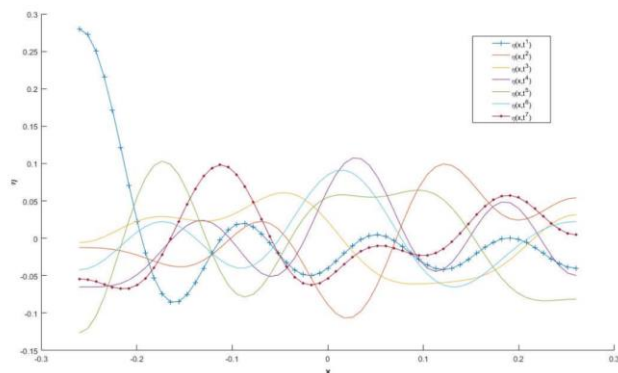


Fig. 6.6a. Evoluția amplitudinii valurilor (secțiunea suprafeței libere pe direcția X) pentru un rezervor fără spărgător, conform relațiilor (33) și (34)

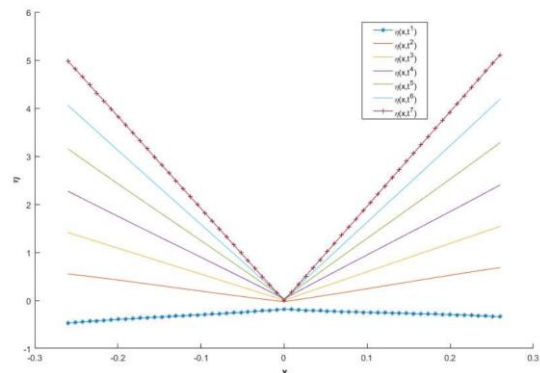


Fig. 6.6b. Evoluția amplitudinii valurilor (secțiunea suprafeței libere pe direcția X) valurilor pentru un rezervor cu spărgător conform relațiilor (69), (72)-(75)

După cum se poate observa în fig. 6.7.b apar ondulații ale suprafeței libere, acestea fiind suprafețe nefracționate (gradientul pe curbele de pe curbele suprafețe nu își schimbă convexitatea), mai netede, și astfel nu se generează zgomote prin ciocnirea valurilor mici. Cu cât distanța este mai mare între două vârfuri ale amplitudinii cu atât suprafața liberă este mai aplatizată, negeneratoare de zgomote.

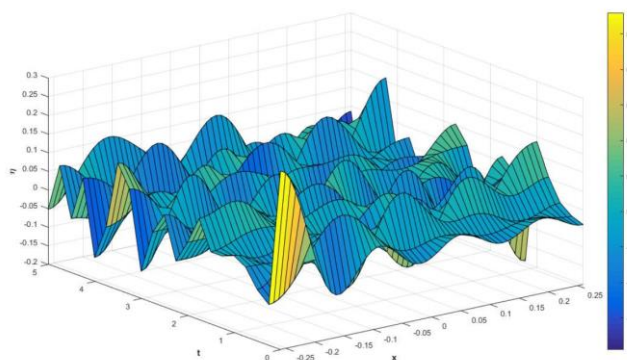


Fig.6.7.a. Comportamentul suprafeței libere pentru un rezervor fără spărgător de valuri, conform relațiilor (33) și (34)

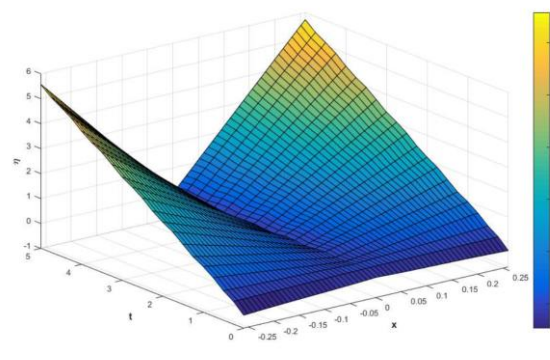


Fig.6.7.b. Comportamentul suprafeței libere pentru un rezervor cu spărgător de valuri, conform relațiilor (69), (72)-(75)

În modelul considerat, studiul este realizat în centrul rezervorului, neluând în considerare că avem o limitare superioară dată de plafonul rezervorului. În ipoteza unor viitoare cercetări se avansează studiul luând în calcul și limitarea modelului în partea superioară, considerând că valul se întoarce, mișcarea potențială devenind turbulentă.

Pentru graficele din figurile 6.5, 6.6 și 6.7 s-a creat un program de calcul propriu în MatlabR2016.R, după cum este prezentat în detaliu în teză.

6.4. Perspective viitoare de cercetare. Calcule de viitor:

Folosind integrala lui Bernoulli avem corespondența:

$$\frac{1}{2}(v_{fsp})^2 + \frac{c^2 f_{sp}}{\gamma-1} = \frac{1}{2}(v_{sp})^2 + \frac{c_{sp}^2}{\gamma-1}. \quad (76)$$

în care c_{sp}^2 este viteza sunetului în cazul al doilea și $(v_{sp})^2 = (u_{sp})^2 + (v_{sp})^2$. (77)

$$u_{sp}^1 = \frac{\partial \psi_0^1}{\partial x} = (U_0 - at)(1 - \theta) + f_0 t \theta + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{c_n}{\lambda_n^{sp}} \sin(\lambda_n^{sp}(x + l)) ch(\lambda_n^{sp} y),$$

$$\theta = \frac{t}{t_1}, \quad (78)$$

$$v_{sp}^1 = \frac{\partial \psi_0^1}{\partial y} = - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{c_n}{\lambda_n^{sp}} \cos(\lambda_n^{sp}(x + l)) sh(\lambda_n^{sp} y), \forall y \in [h, h + h_{sp}],$$

$$t \in [0, t_1]; \quad (79)$$

$$u_{sp}^2 = \frac{\partial \psi_0^2}{\partial x} = f_0 t(1 - \theta) + (U_0 - at)\theta + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{c_n}{\lambda_n^{sp}} \sin(\lambda_n^{sp}(x + l)) ch(\lambda_n^{sp} y),$$

$$\theta = \frac{t-t_1}{t_s-t_1} \quad (80)$$

$$v_{sp}^2 = \frac{\partial \psi_0^2}{\partial y} = - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{c_n}{\lambda_n^{sp}} \cos(\lambda_n^{sp}(x + l)) sh(\lambda_n^{sp} y), \forall y \in [h, h + h_{sp}],$$

$$t \in [t_1, t_s] \quad (81)$$

Energia potențială:

$$U^e = \frac{1}{2} \rho g b \left(\int_{-l}^0 (\eta_0^1)^2(x, t) dx + \int_0^l (\eta_0^2)^2(x, t) dx \right), \quad t \in [0, t_s], \quad (82)$$

$$\text{Energia cinetică : } T^e = \frac{1}{2} \rho \int_V (\nabla \psi)^2 dV. \quad (83)$$

Urmează a se analiza energia potențială în cele două cazuri.

Oricum, rezultatele obținute în modelarea realizată până acum sunt cu totul originale, dependențele evidențiate prin ecuațiile de mișcare având caracter de noutate la nivel mondial.

CAPITOLUL 7: Analiză funcțională - teste acustice privind utilizarea variantelor de sisteme anti-clipocit în condiții reale

7.1. Considerente generale ale analizei

Analiza are ca scop studiul privind nivelul de zgomot generat de spargerea valurilor într-un rezervor al unui vehicul și influența unui spărgător de valuri încorporat în rezervor asupra reducerii acestuia. Se consideră o analiză pe baza unor prototipuri pentru a simula comportamentul lichidului în rezervor și a înregistra datele privind de zgomotul provocat de acesta.

Urmare a deciziei anterioare de a abandona o variantă constructivă, se vor studia doar două modele de spărgătoare de valuri. În vederea realizării testelor fizice s-au considerat modelelor 3D ale celor două spărgătoare de valuri și s-au realizat prototipurile aferente fiecărui model (Fig. 7.1. , Fig. 7.2.).

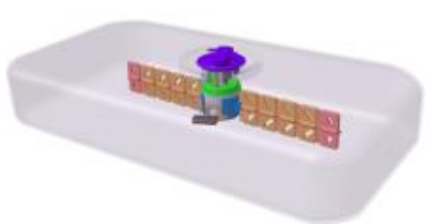


Fig. 7.1. Spărgător de valuri tip za în poziție de funcționare



Fig. 7.2. Spărgător de valuri tip fishbone în poziție de funcționare

Se considera următorii parametri în vederea realizării studiului:

- Cantitatea de lichid din interiorul rezervorului : 15L, 25L, 35L, 45L;
- Viteza de deplasare a vehiculului: 10km/m, 30km/h;

În vederea realizării analizei funcționale și a testelor acustice s-au realizat piese prototip pentru cele două soluții tehnice de spărgător de valuri precum și pentru rezervorul generic prezentat în capitolele anterioare.

Prototipurile celor două spărgătoare de valuri s-au realizat utilizând tehnologia FD01 de imprimare 3D. Din cauza limitărilor tehnice s-a utilizat un alt material decât cel recomandat. Materialul folosit pentru realizarea prototipurilor celor două spărgătoare de valuri este ECOMAX PLA – polylactic acid. Acesta este un material premium folosit pentru imprimarea 3D a prototipurilor diverselor componente, o rășină semicristalină cu proprietăți mecanice ridicate.

Analiza statică a acestor concepte a fost realizată considerând un material diferit, Poliamidă 6+PP, astfel vor exista diferențe în cadrul analizei funcționale datorită proprietăților diferite a celor două materiale amintite. În tabelul 6.1 sunt prezentate câteva din caracteristicile mecanice ale materialului folosit pentru imprimarea 3D a celor două soluții tehnice de spărgătoare de valuri, comparativ cu proprietățile mecanice ale Poliamidei ce a fost utilizată în cadrul simulărilor numerice – tratate în capitolul 5.

Tab. 7.1. Proprietăți mecanice ale materialului Poliamida 6 +PP vs. ECOMAX PLA [ULP15]		
Proprietati mecanice	Poliamida 6+PP	ECOMAX PLA
Densitatea	1.26 g/cm ³	1.24 g/cm ³
Rezistența la tracțiune [Megapascal]	200 MPa	56 MPa
Rezistența la rupere, randament [Megapascal]	140 MPa	34 MPa
Alungire la rupere	500 %	8 %

Se poate observa în Tab. 7.1 că materialul folosit pentru imprimarea 3D asigură o rezistență la rupere mai scăzută precum și o elasticitate mai mică. Testul se va realiza folosind acest material din cauza limitării financiare a proiectului, analiza nivelului de zgomot nefiind influențată de acești parametri, existând doar riscul întreruperii testului din cauza riscului de rupere al spărgătoarelor.

7.2. Imprimarea 3D

În vederea realizării testelor acustice pe piese prototip s-a realizat un rezervor de carburant considerând o formă simplificată, paralelipipedică pe baza dimensiunilor prezentate în capitolul 1 al lucrării.

S-au adoptat mai multe soluții constructive simple în vederea adaptării la autovehiculul utilizat pentru testare. Astfel, rezervorul a fost construit din plăci de plexiglas de 10mm, transparente pentru ca mișcarea lichidului din interior să fie facil vizualizată de către observator și camera de filmat asociată. Acesta a fost așezat pe o placă de PAL melaminat în vederea realizării cât mai simple a prinderii acestuia de vehiculul ce va fi utilizat pentru realizarea testelor fizice (fig. 7.3).



Fig. 7.3. Rezervor de carburant simplificat – paralelipiped dreptunghic

Pentru a putea prezenta introducerea spărgătoarelor de valuri în rezervorul montat în poziția finală, s-a realizat o gaură de 140mm în plafonul rezervorului. Aceasta este realizată conform cu dimensiunea exterioară a flanșei modulului joja pompa, (Fig. 7.4).



Fig. 7.4. Detaliu Rezervor de carburant simplificat – bride de fixare modul

Pornind de la modelele 3D simplificate ale spărgătoarelor de valuri s-au realizat piesele prototip folosite în vederea realizării testelor fizice. Producția acestor piese s-a realizat cu ajutorul imprimantelor 3D ce aparțin Universității Politehnica București – Facultatea Inginerie Industrială și Robotică, Laboratorul de Dezvoltare a Produselor. Astfel s-au realizat următoarele subcomponente:

1. Corp inferior modul joja pompa (Fig. 7.5);
2. Corp central pentru fixarea inferioară a coloanelor modulului (Fig. 7.6, Fig. 7.7, Fig. 7.8)



Fig. 7.5. Corp modul joja pompa



Fig. 7.6. Corp central – vedere de sus



Fig. 7.7. Corp central– vedere de jos



Fig. 7.8. Corp central pt fixarea inferioara a coloanelor modulului – vedere din lateral

3.Coloane modul joja pompa x 3 bucăți (Fig.7.9);

4.Flanșă superioară modul joja pompă (Fig. 7.10, Fig. 7.11, Fig. 7.12);



Fig. 7.9. Coloane modul joja pompă



Fig. 7.10. Flanșă superioara modul joja pompă – vedere de ansamblu



Fig. 7.11. Flanșă superioară – vedere de jos



Fig. 7.12. Flanșă superioară – vedere de sus

5. Structura tip Za (Fig. 7.13);

6.Structura Fishbone (Fig. 7.14);

7.Cilindru adiacent (Fig. 7.15)



Fig. 7.13. structura tip Za



Fig. 7.14. Structura tip fishbone



Fig. 7.15. Cilindru adiacent si fixarea structurilor tip fishbone pe acesta

După cum se poate observa din Fig. 7.16-18, s-a realizat asamblarea pieselor imprimate 3D care formează ansamblul joja pompă ce va fi folosit în cadrul tuturor testelor acustice. S-a verificat și fixarea modulului în cadrul rezervorului prin poziționarea corectă a bridelor de fixare peste fața superioară a flanșei modulului joja pompă.



Fig. 7.16. Fixare coloana pe modulul joja pompa



Fig. 7.17. Modul joja pompa complet



Fig. 7.18. Detaliu prindere flanșă superioara modul joja pompa prin intermediul celor doua bride

Montajul acestor piese s-a realizat utilizând pini auto blocanți, urmând ca un cablu de oțel de 2mm diametru să treacă prin orificiile zalelor și a cilindrului adiacent (Fig. 7.19).



Fig. 7.19. Detalii asamblare zale spărgător

Prototiparea spărgătorului de valuri tip fishbone s-a realizat utilizând aceeași metoda de realizare a subcomponentelor ca și la spărgătorul tip zale, și anume imprimarea 3D.



Fig. 7.20. Detalii asamblare spărgător fishbone

Asamblarea s-a făcut prin îmbinarea directă a pieselor prin intermediul canalelor tip T conform proiectării, cum se poate observa în Fig. 7.20.

7.3. Definirea metodei de testare și a scenariului de testare

Până în prezent nu a fost fundamentată o metodă standard de înregistrare a nivelului de zgomot produs de fenomenul de clipocit, astfel, în cadrul tezei, s-a creat o metodă proprie cu care să se realizeze înregistrări ale nivelului de zgomot și să se studieze influența introducerii unor spărgătoare de valuri asupra acestuia. Metoda va reprezenta baza cercetării experimentale cu privire la înregistrarea nivelului de zgomot așa cum poate fi perceput de conducătorul unui autovehicul. Astfel, testarea a inclus proiectarea a două etape: (1) realizarea și montarea unui rezervor prototip într-un autovehicul și înregistrarea zgomotului, realizată cu un dispozitiv standard. Astfel, s-a definit o variantă de testare și înregistrare a datelor care poate fi utilizată și în cercetări similare ulterioare.

Pentru a efectua testele propuse, rezervorul prototip este fixat pe un cadru și montat în interiorul unui vehicul marca Dacia, model Lodgy. După cum se observă în Fig. 7.28, se montează deasupra rezervorului un cadru ce va fi folosit pentru susținerea dispozitivului de înregistrare a nivelului de decibeli. Dispozitivul este situat la o înălțime de 500mm deasupra rezervorului, fiind menținut în aceeași poziție de către cadrul de susținere. Astfel se elimină variația privind distanța, poziția și mișcarea dispozitivului de înregistrare (Fig 7.21).



Fig. 7.21. Rezervor prototip montat in vehicul

Înregistrarea nivelului de zgomot s-a realizat utilizând un smartphone Marca Iphone, model 5S, cu ajutorul aplicației BOSCH iNVH versiune 1.1. Aplicația este dezvoltată special de inginerii de la Rober Bosch pentru măsurători ale vibrațiilor și zgomotului în interiorul autovehiculelor și detecția surselor de zgomot în acestea în timpul testelor de teren prin simpla utilizare cu ajutorul unui smart device.

Testele vor fi realizate folosind ca parametri de intrare în analiză:

- cantitatea de lichid din rezervor: 15l, 25l, 35l, 45l;
- viteza de deplasare a autovehiculului: 10km/h, 30km/h
- absența sau prezența unui spărgător de valuri în interiorul rezervorului.

În vederea realizării unui set de înregistrări cât mai concludente, testele fizice au fost efectuate într-un spațiu închis ce a asigurat un rulaj al vehiculului la viteza de până la 30 km/h și suficient spațiu de frânare. Astfel, s-a ales un depozit cu o lungime de rulare de aproximativ 120m, cu suprafață carosabilă asfaltată. Realizarea testului în acest spațiu a asigurat o influență minimă a factorilor de zgomot externi.

7.3.1. Înregistrarea datelor privind variația nivelului de zgomot într-un rezervor fără spărgător de valuri

Testul inițial s-a realizat înregistrând nivelul de zgomot în momentul de repaos (cu motorul oprit), lipsa mișcării în rezervor și nici un alt factor extern existent. Aceasta măsurătoare este realizată pentru a identifica nivelul zgomotului de fond perceput de dispozitivul utilizat. Se pot observa variații în jurul valorii de 31 dB.

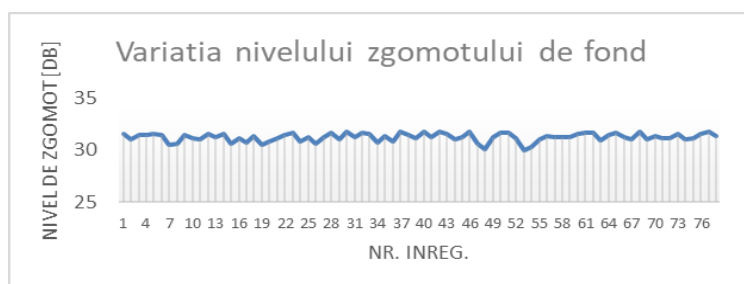


Fig. 7.22. Variația nivelului zgomotului de fond

RESULTS	
Sampling Frequency = 44100.000000	
BlockSize = 4096.000000	
Window = Hanning	
Weighting = A Weighting	
Averaging = Instantaneous	
MinFrequency = 20	
MaxFrequency = 20000	
Time [s]	OverallLevel [Db]
0.0	32
0.1	31
0.2	31
0.3	31
0.4	32
0.5	31
0.6	30

Fig. 7.23. Extras din aplicația Bosch

În Fig. 7.23. sunt prezentate rezultatele extrase din aplicația Bosch INVH.

Cazul "S1" reprezintă rulajul cu o viteză de 10km/h a autovehiculului înaintea frânării, utilizând 15L de lichid în rezervorul prototip. În Fig. 7.24 se poate observa comportamentul valurilor produse în momentul frânării.



Fig. 7.24. Caz S1 cu 15L de lichid, fără spărgătoare

Testul a avut ca scop înregistrarea nivelului de decibeli (axa Y) pe toată durata sa, urmând ca pe baza datelor înregistrate să se realizeze analiza eficienței unor spărgătoare din punct de vedere al nivelului de zgomot produs.

În graficul din Fig. 7.25, se poate observa înregistrarea datelor brute ale simulării. Tot în cadrul acestui grafic s-au putut identifica, la nivel macro al analizei, momentele creșterii și scăderii nivelului de decibeli, astfel:

- A. **Zona roșie** – reprezintă pornirea motorului și accelerarea vehiculului;
- B. **Zona albastră** – reprezintă momentul frânării vehiculului;
- C. **Zona portocalie** – reprezintă momentul opririi motorului (opțiunea Start/Stop);
- D. **Zona verde** – reprezintă momentul de repaos total al vehiculului, practic zgomotul de fond și zgomotul realizat de mișcarea liberă a valurilor în rezervor.

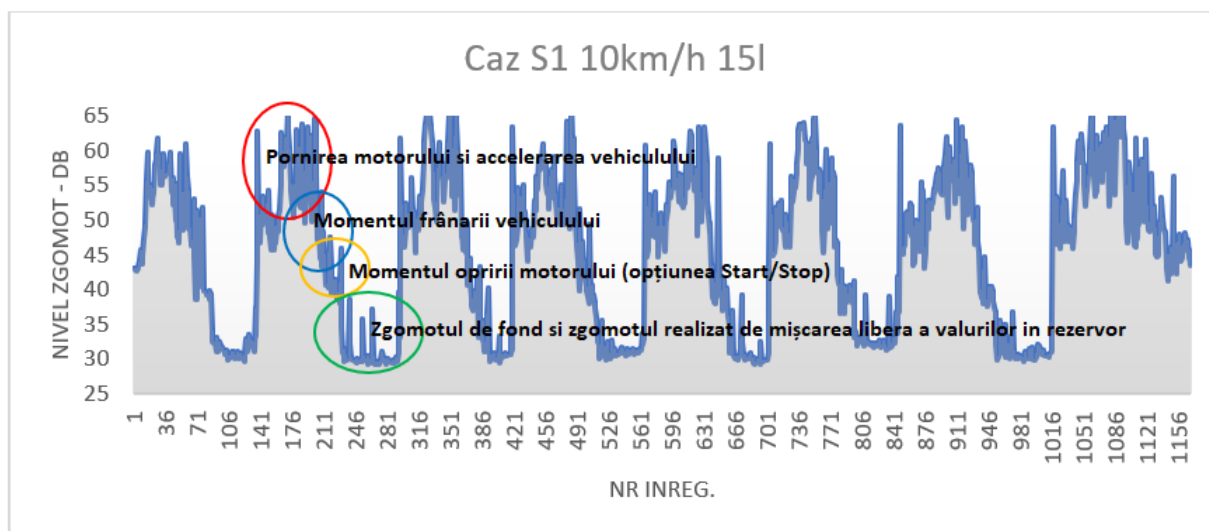


Fig. 7.25. Grafic test S1

Simulările și înregistrarea datelor privind cazurile descrise (rulaj la viteza de 10km/h și 30 km/h cu cantitate de 15l, 25l, 35l, 45l) fără un spărgător de valuri montat în rezervor, se regăsesc în detaliu în cadrul tezei de doctorat.

7.3.2. Înregistrarea datelor privind variația nivelului de zgomot într-un rezervor dotat cu spărgător de valuri tip zale

Testele se vor desfășura utilizând aceeași metoda ca și în cazul anterior, după introducerea spărgătorului tip zale în rezervor, după cum se poate vedea în Fig. 7.26 și Fig. 7.27, modulul spărgător.



Fig. 7.26. Spărgător de valuri tip zale



Fig. 7.27. Spărgător tip zale introdus în rezervor

Testarea prototipului se realizează utilizând aceiași pași ca și în cazul testului realizat fără prezența unui spărgător de valuri. Astfel pentru primul caz, „Z1”, s-a utilizat cantitatea de lichid de 15L și un rulaj al autovehiculului de 10km/h. În fig. 7.28 se poate observa modul în care lichidul se deplasează spre partea frontală a rezervorului în momentul frânării și este evidențiat valul format după oprirea autovehiculului.

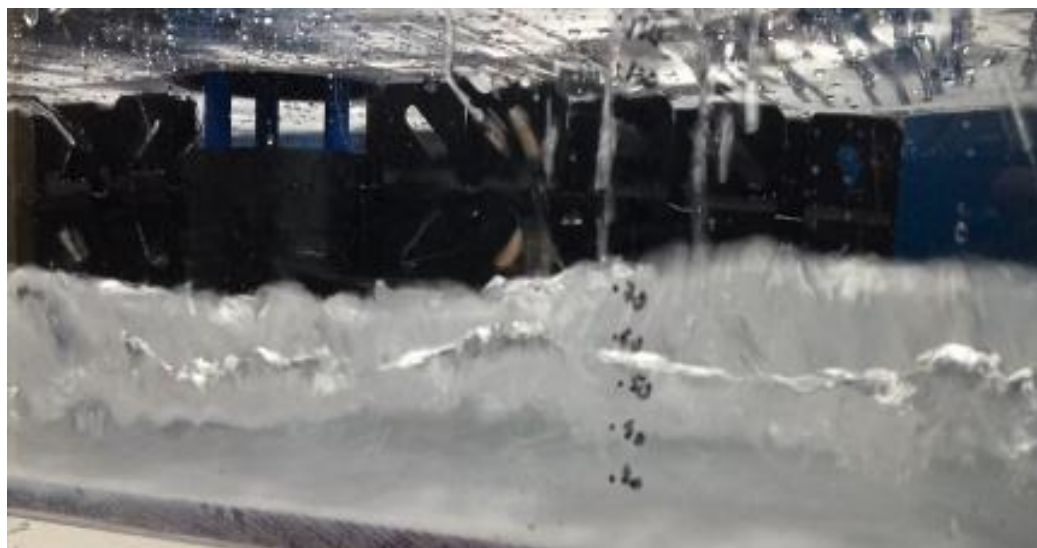


Fig. 7.28. Caz Z1 – Formarea valurilor în rezervor în momentul frânării

Rezultatul testului privind nivelul de zgomot poate fi observat în graficul din Fig. 7.29. Se poate observa pe grafic o scădere a variației a zgomotului (zona verde), însă analiza comparativă se prezintă în teza. Pe grafic se identifică aceleași 4 zone descrise în capitolul 7.3.1. astfel:

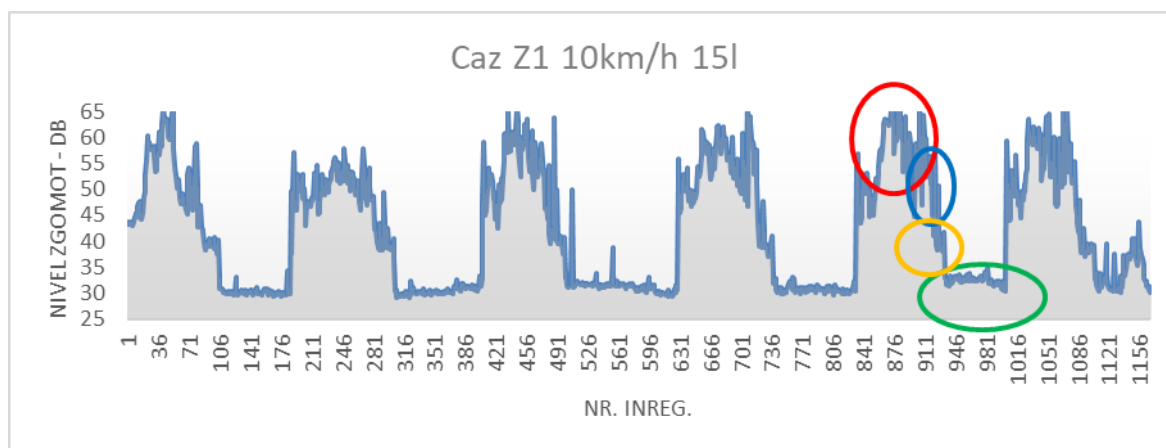


Fig. 7.29. Grafic test Z1

Simulările și înregistrarea datelor privind cazurile descrise (rulaj la viteza de 10km/h și 30 km/h cu cantitate de 15l, 25l, 35l, 45l) utilizând spărgătorul de valuri tip Za montat în rezervor, se regăsesc în detaliu în cadrul tezei de doctorat.

7.3.3. Înregistrarea datelor privind variația nivelului de zgomot într-un rezervor dotat cu spărgător de valuri tip Fishbone

Testele au loc în aceleași condiții ca și cele de la subcapitolul 7.3.2, singura variabilă adăugată fiind spărgătorul de valuri tip Fishbone, Fig. 7.30.

După cum se poate vedea în figura 7.30, spărgătorul este introdus în rezervor cu ușurință prin gaura rezervorului destinată modulului joă-pompă, Fig. 7.31. Apoi, se introduce modulul joă pompa în rezervor fixând totodată și spărgătorul de valuri.



Fig. 7.30. Spărgătorul este introdus în rezervor prin gaura rezervorului destinată modulului



Fig. 7.31. Modulul joă pompa este poziționat în rezervor fixând totodată și spărgătorul de valuri

Testarea prototipului se realizează utilizând aceiași pași ca și în cazurile anterioare. Astfel prima simulare, „F1”, a fost realizată utilizând 15L de lichid (Fig. 7.32) și un rulaj al autovehiculului de 10km/h. În Fig. 7.33 se prezintă graficul ce evidențiază variația nivelului de decibeli în cadrul acestei încercări.



Fig. 7.32. Caz F1 – Formarea valurilor în rezervor în momentul frânării

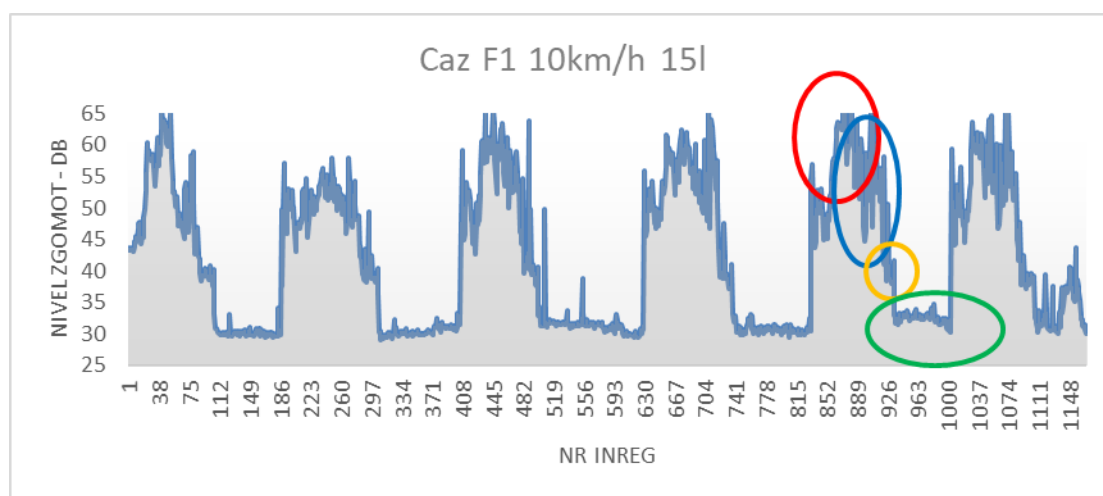


Fig. 7.33. Grafic test F1

Se poate observa un comportament similar ca și în cazul spărgătorului de valuri tip za. Astfel se identifică aceleași patru zone descrise la subcapitolul 7.3.1.

Simulările și înregistrarea datelor privind cazurile descrise (rulaj la viteza de 10km/h și 30 km/h cu cantitate de 15l, 25l, 35l, 45l) utilizând spărgătorul de valuri tip Fishbone montat în rezervor, se regăsesc în detaliu în cadrul tezei de doctorat.

7.4. Interpretarea variației nivelului de zgomot

În vederea analizării datelor obținute în urma testelor fizice, s-a considerat filtrarea datelor din graficele obținute în funcție de observațiile următoare:

- nivelul de zgomot: 29-31dB - înregistrați în momentul în care motorul este oprit și se înregistrează numai zgomotul de fond;
- nivelul de zgomot: 42-45dB – înregistrați în momentul frânării și opririi motorului;
- variația nivelului de zgomot: 29-45dB - înregistrată după momentul opririi motorului reprezintă zgomotul de fond și zgomotul produs de valurile formate în rezervor;
- Se vor analiza doar 18 cazuri din cele 24 propuse anterior din cauza lipsei înregistrărilor în cazul utilizării spărgătorului de valuri tip Za la 45L (detalii în cap 7.3.2. în teza de doctorat)

Pentru a determina eficiența introducerii unui spărgător de valuri în rezervor și a reduce nivelul de zgomot tip « clipocit », se vor analiza înregistrările cazurilor prezentate. Astfel se va analiza variația zgomotului înregistrat după oprirea motorului până în momentul înregistrării zgomotului de fond.

Pentru a realiza o clasificare a celor trei grupe de cazuri se vor analiza comparativ mediile valorilor zgomotului înregistrat (decibeli), variația acestora și se vor analiza comparativ distribuțiile acestora.

În vederea realizării acestei analize comparative privind nivelul de zgomot înregistrat în cazul testelor efectuate, precum și pentru a realiza baza de comparație statistică privind efectul asupra nivelului de zgomot în urma utilizării unui spărgător de valuri, se va realiza un raport tip "sumar graphic" al fiecărui test folosind pentru fiecare caz un număr egal de înregistrări.

Acest raport tip "sumar graphic" este realizat cu ajutorul aplicației software pentru calcul statistic, Minitab - un software dezvoltat de Pennsylvania State University încă din anul 1972. [MIN20],[MIC18].

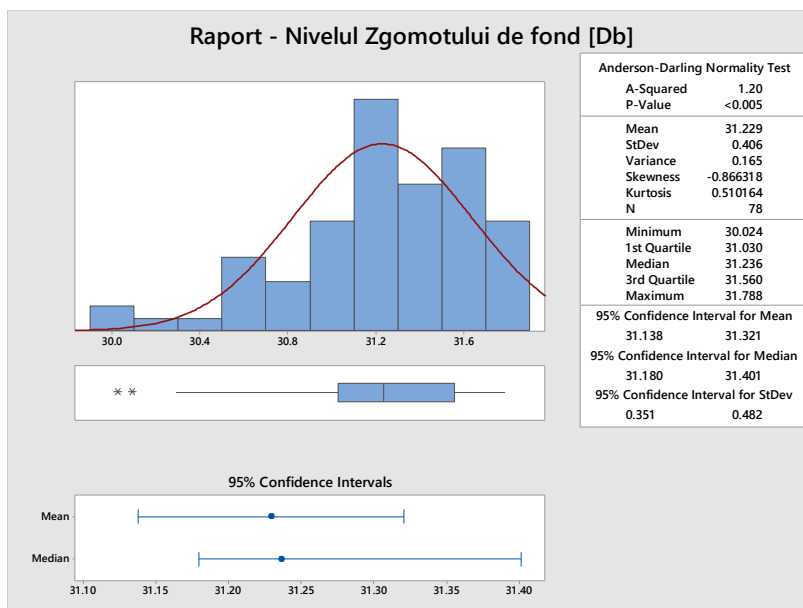


Fig. 7.34. Prezentarea datelor

Mediana și media măsoară amândouă tendința centrală, dar valorile "neobișnuite", denumite valori extreme pot afecta mediana mai puțin decât afectează media. Dacă datele sunt simetrice, media și mediana vor avea aceeași valoare. În cadrul datelor măsurate experimental se poate observa că media este de 31.2dB și Mediana este egală cu 31.22dB. Acest lucru ne poate indica faptul că nu avem valori neobișnuite în șirul de date [MIN20],[MIC18], [ILI09].

Abaterea standard este unul dintre cei mai comuni parametri pentru măsurarea dispersiei, indicând gradul de împrăștiere a datelor față de medie. Variația naturală sau aleatorie a unui proces poate fi denumită și zgomot. În cazul analizei nivelului zgomotului de fond, se poate observa o valoare a abaterii standard relativ mică, 0.46dB considerând media de 31.2dB [ILI09].

În cazul studiat, nivelul zgomotului de fond prezintă o asimetrie negativă, majoritatea valorilor fiind în jurul mediei de 31.2dB, un număr mic de înregistrări fiind orientate spre stânga în jurul valorilor de 30dB.

Valorile extreme sunt acele valori din date care se află la o distanță mare de alte valori și pot influența puternic rezultatul analizei. În cazul analizei noastre, astfel de date aflate în zona de valori extreme, reprezintă valori de zgomot ce sunt considerate zgomote produse de valurile din rezervor. În cadrul datelor privind nivelul zgomotului de fond, se poate observa că nu există astfel de valori [ILI09].

7.5. Analiza comparativă a datelor privind variația nivelului de decibeli în cazurile studiate

Considerând aceeași metoda de analiza ca și în cazul zgomotului de fond, s-au analizat datele prelevate specifice celor 3 cazuri studiate anterior. Se regăsesc în teza de doctorat datele și analiza celor 18 simulări considerate. Rezultate acestei analize se regăsește în Tabelul 7.2.

Tab. 7.2. Centralizarea datelor privind variația nivelului de decibeli în cele trei cazuri studiate							
Nr. Crt.	Caz	Media [dB]	Dispersia [σ^2]	Mediana	Quartila 1	Quartila 3	Diferență (Q3-Q1)
1	F3	30.75	7.9	30.75	29.73	30.27	0.54
2	Z2	31.81	11.454	30.46	30.075	31.115	1.04
3	Z1	31.12	2.26	30.89	30.465	31.259	0.794
4	F4	31.95	18.47	29.96	29.5	31.3	1.8
5	Z6	31.8	7.29	30.97	30.63	31.59	0.96
6	Z5	31.67	6	30.8	30.3	31.84	1.54
7	F1	32.25	15.23	30.71	30.23	31.98	1.75
8	Z4	32.08	6.2	31.26	30.79	32.35	1.56
9	F6	32.43	15.6	30.77	30.3	32.4	2.1
10	F2	33.14	15.24	31.62	30.99	32.72	1.73
11	F5	32.39	9.5	31.4	30.6	32.86	2.26
12	Z3	32.446	11.02	30.84	30.29	33.36	3.07
13	S3	33.69	19.46	31.48	30.92	34.62	3.7
14	S2	34.606	10.8	33.55	32.149	36.43	4.281
15	S4	33.95	21.48	31.34	30.85	38.58	7.73
16	S1	33.15	22.75	30.08	29.77	38.617	8.847
17	S6	34.47	28.07	31.5	30.7	39.18	8.48
18	S5	40.48	43.3	37.55	35.24	45.43	10.19

Se poate observa că în cazurile nefolosirii unui spargător (S1-S6), regăsim valori mai mari pentru toate caracteristicile. În tabel s-a realizat sortarea crescătoare a datelor în raport cu valorile înregistrate prin Quartila 3, care caracterizează cele mai mari 25% din valorile înregistrate.

Diferența (Δ) reprezintă diferența dintre cele mai mari 25% din valorile înregistrate – Quartila 3 – și cele mai mici 25% din valorile înregistrate – Quartila 1 –. Diferența (Δ) poate fi considerată parametrul cel eficient pentru interpretarea variației de zgomot cauzate de spargerea valurilor din rezervor. Studiul a fost realizat în vederea determinării variației de zgomot produse de spargerea valurilor în rezervor în momentul opririi oricărui alt factor perturbator.

Valorile Quartilei 1 sunt situate între 29-32dB pentru majoritatea testelor. Astfel, se poate spune că în cazul testelor, valoarea cea mai mare a primelor 25% din înregistrări se confunda cu zgomotul de fond.

Conform valorilor Quartilei 3, se poate observa o diferență considerabilă între testul realizat fără spargător și testele realizate cu cele două spărgătoare. Astfel, valoarea maximă a primelor 75% din valorile înregistrate se situează între 34.6dB și 45dB în cazul neutilizării unui spargător de valuri. Odată cu introducerea spărgătoarelor de valuri, valorile Quartilei 3 scad, astfel se observă valori între 30.27dB și 33.36dB.

Se pot observa valori ale Diferenței (Δ) mai mici în cazul utilizării unui spărgător de valuri 0.54dB – 3.07dB, în timp ce în cazul neutilizării unui spargător de valuri Diferența (Δ) crește în funcție de cazul

studiat 3.7dB – 10.19dB. Se poate interpreta ca o scădere a nivelului de zgomot produs de valuri în rezervor, în cazul utilizării unui spărgător în interiorul acestuia.

Tab. 7.3. Centralizarea cazurilor testate							
Nr. Crt.	Caz	Media [dB]	Dispersia [σ^2]	Mediana	Quartila 1	Quartila 3	Diferență (Q3-Q1)
1	S	35.06	30.1	32.79	30.89	38.87	7.98
2	Z	31.82	7.4	30.85	30.43	31.78	1.35
3	F	32.156	14.01	30.71	30.05	32.28	2.23

Conform centralizării datelor, din Tab. 7.3, se pot face următoarele observații:

- Introducerea unui spărgător de valuri reduce valoarea medie a valorilor de decibeli înregistrați de la 35dB la 32dB;
- Diferența valorilor înregistrate (decibeli) scade de la 8dB la 1.3dB în cazul introducerii unui spargator de valuri tip Za;
- Dispersia valorilor zgomotului înregistrat (decibeli) scade de la 30.1dB la 7dB în cazul utilizării unui spărgător de valuri tip Za ;
- Diferențele înregistrate între cazurile utilizării celor două spărgătoare de valuri sunt mici, Media, Mediana și Dispersia valorilor de decibeli înregistrate arătând un comportament asemănător în cazul utilizării uneia dintre cele două spărgătoare de valuri

Conform analizei funcționale realizate prin testarea celor două prototipuri într-un rezervor se poate observa o scădere a nivelului de zgomot identificat ca fenomen de clipocire.

CAPITOLUL 8: Concluzii generale, contribuții personale, diseminarea rezultatelor, direcții viitoare de cercetare

8.1. Concluzii generale

În cadrul tezei de doctorat intitulată "Cercetări privind dezvoltarea unor sisteme anti clipocit pentru rezervoarele autovehiculelor" se prezintă cercetările întreprinse de autoare privind dezvoltarea unor soluții tehnice inovative de spărgătoare de valuri integrabile și adaptabile în rezervoare de carburant existente în vederea ameliorării fenomenului de clipocit, prin modelarea comportamentului dinamic al carburantului din rezervor. De altfel, acesta a fost chiar obiectivul principal al tezei.

Concluziile generale ale cercetărilor realizate sunt următoarele:

1. Spărgătorul de valuri tip aripi prezintă o deformare a aripilor de 2300mm și risc la rupere a aripilor, cea mai mare deformare dintre cele trei concepte analizate. De asemenea, acesta prezintă un risc la rupere, materialul putând să cedeze la 180 MPa considerând aplicarea unei forte de 100 N perpendiculara pe aripi. Spărgătorul de valuri tip Aripi prezintă cea mai mare deformare a aripii în condiții normale de funcționare >13mm. Din considerentele enumerate anterior, acesta nu a trecut la etapa de realizare a prototipurilor și confirmarea rezultatelor prin realizarea testelor fizice. Acest concept a fost abandonat din punct de vedere al cercetării.
2. În condiții normale de utilizare, spărgătorul de valuri tip za va rezista la rupere și își poate schimba forma/poziția cu până la 35mm.
3. Spărgătorul de valuri tip Fishbone prezintă cea mai mică deformare a aripii în condiții normale de funcționare <5mm;
4. Pentru utilizare în condiții extreme se recomandă utilizarea unui material cu proprietăți asemănătoare polipropilenei, dar cu o rezistență la rupere >100 MPa;
5. Din punct de vedere matematic, s-a realizat transpunerea fenomenelor de mișcare a fluidului din interiorul rezervorului, reprezentând atât valurile produse, cât și fenomenul de frânare asociat efectului de clipocire, în modele matematice numerice și analitice. Acestea au permis modelarea matematică a suprafeței libere a fluidului în ipoteza în care nu avem o soluție pentru spargerea valurilor din interiorul unui rezervor, comparativ cu situația în care întâlnim soluțiile anti-clipocit integrate în rezervor. Astfel, a reieșit că amplitudinea mișcării suprafeței libere a fluidului în cazul implementării unei soluții anti-clipocit de tip spărgător se reduce la jumătate comparativ cu mișcarea suprafeței libere a fluidului conținut de un rezervor de carburant ce nu prezintă soluții tehnice anti-clipocit.
6. Pentru spărgătoarele de valuri tip za și tip fishbone, analiza a continuat cu testele fizice prin care s-a demonstrat eficiența asupra modelării comportamentului dinamic al carburantului în rezervorul autovehiculului, dar și reprezentativitatea simulărilor numerice efectuate. În plus, riscul de ruptură în cadrul spărgătorului de valuri tip za a fost confirmat prin intermediul testelor fizice.
7. Introducerea unui spargator de valuri reduce valoarea medie a valorilor de decibeli înregistrați de la 35dB la 32dB;
8. Diferența valorilor de decibeli înregistrați scade la 8dB la 1.3dB în cazul introducerii unui spargator de valuri tip Za;

9. Variația valorilor de decibeli înregistrați scade de la 30dB la 7dB în cazul utilizării unui spărgător de valuri tip Za ;
10. Diferențele înregistrate între cazurile utilizării celor două spargatoare de valuri sunt mici, Media, Mediana și Diferența valorilor de decibeli înregistrate arătând un comportament asemănător în cazul utilizării unuia dintre cele două spargatoare de valuri.
11. Implementarea oricărei soluții de spart valuri dintre cele două studiate (tip za sau tip fishbone) prezintă o ameliorare vizibilă din punct de vedere al zgomotului generat, după cum se poate observa și în Figura 8.1.

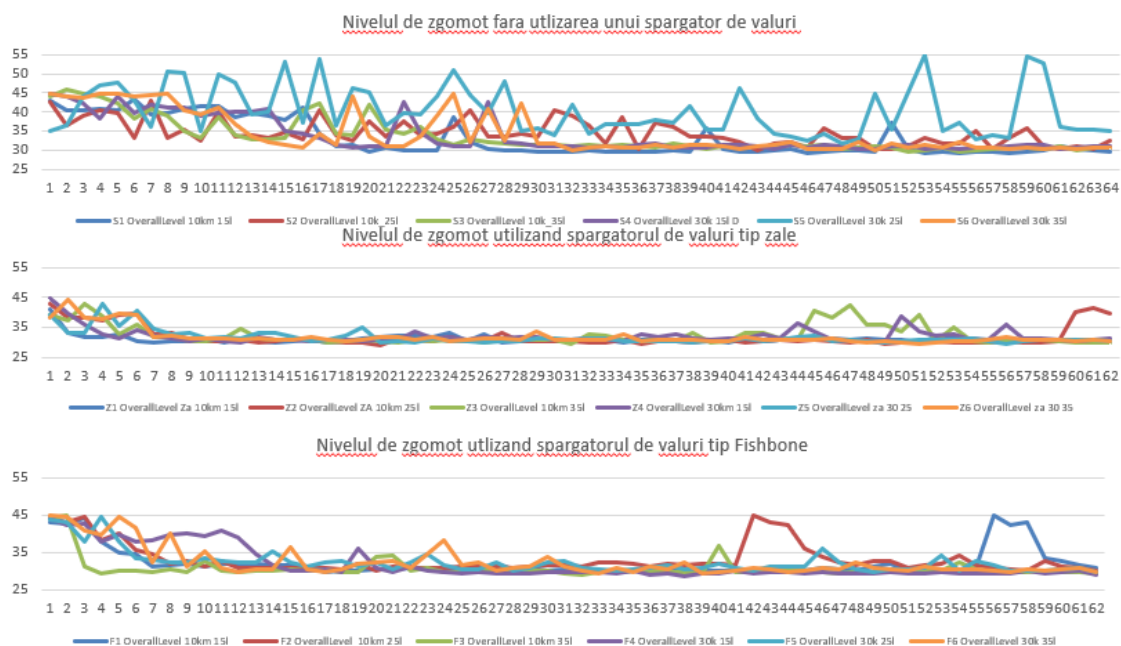


Fig.8.1. Variația nivelului de zgomot în funcție de soluția tehnică pentru spargerea valurilor implementată

8.2. Contribuții personale

În urma cercetărilor prezentate, autoarea și-a adus contribuții personale în domeniul modelării comportamentului dinamic al carburantului aflat în interiorul rezervorului unui vehicul prin:

1. Realizarea studiului bibliografic privind stadiul actual al rezervoarelor din punct de vedere al tehnologiilor de fabricație, tendinței carburanților și reglementărilor în vigoare, (Capitolul 1);
2. Realizarea unui benchmark privind stadiul actual al rezervoarelor din punct de vedere al litrajelor, dimensiunilor, tehnologiilor utilizate, prezenta soluțiilor anti-clipocire, (Capitolul 1);
3. Generarea de modele 3D de componente generice pentru simplificarea procesului de simulare numerică, (Capitolul 4);
4. Proiectarea a trei soluții tehnice inovative de spărgătoare de valuri îmbarcate pe modulul joja pompa din cadrul unui rezervor de carburant, (Capitolul 4) . Pentru cele trei soluții tehnice proiectate au fost lansate atât cereri de brevet în Franța și în România, cât și extensie de brevet la nivel european pentru una din soluții. O parte dintre cererile depuse s-au oficializat în brevete de invenție, după cum urmează:

5. Elaborarea unor scenarii de simulare numerică statică pentru soluțiile tehnice de spărgătoare de valuri astfel încât să fie surprinse cazurile de deformabilitate și rezistență la rupere cât mai aproape de utilizarea reală, cât și extremă, (Capitolul 5);
6. Transpunerea fenomenului de slosh noise/ anti-clipocit (valurile cât și fenomenul de frânare ce generează valurile) prin modelare matematică ce a condus la crearea unor modele matematice numerice și analitice. Analiza acestora a permis identificarea comportamentului mișcării suprafeței libere a fluidului în ipotezele studiate (fără spărgător de valuri integrat, respectiv cu spărgător de valuri integrat în rezervorul de carburant), (Capitolul 6).
7. Identificarea corelării matematice dintre mișcarea suprafeței libere a fluidului și nivelul de zgomot asociat prin intermediul Integralei lui Bernoulli, (Capitolul 6).
8. Elaborarea programului în Matlab în vederea generării suprafețelor libere aferente scenariilor simulate cu rezervorul de carburant fără spărgătoare de valuri integrate, (Capitolul 6);
9. Elaborarea programului în Matlab în vederea generării suprafețelor libere aferente scenariilor simulate cu rezervorul de carburant cu spărgătoare de valuri integrate, (Capitolul 6);
10. Elaborarea programului în Matlab în vederea studiului amplitudinii valurilor aferente scenariilor simulate, (Capitolul 6);
11. Elaborarea unei metode de testare în vederea reproducerii valurilor în condiții reale și a unui scenariu privind alternativele și condițiile de testare. După cum a fost prezentat în cadrul tezei, în prezent nu există o procedură standardizată privind reproducerea fenomenului de clipocire, (Capitolul 7);
12. Proiectarea și realizarea unui banc de testare pentru reproducerea valurilor din interiorul unui rezervor în condiții reale de rulaj, (Capitolul 7);
13. Efectuarea unui set de experimente pentru măsurarea nivelului de zgomot produs de valurile generate în interiorul rezervorului atunci când acestea se lovesc de pereții rezervorului, (Capitolul 7);
14. Elaborarea unei metodologii de filtrare a datelor înregistrate pentru identificarea zgomotului produs de valuri, ce generează efectul de slosh noise. Separarea acestui tip de zgomot față de zgomotul de fond și zgomotul produs de motor sau de frânarea vehiculului, (Capitolul 7).

8.3. Diseminarea rezultatelor

O parte din rezultatele obținute în urma cercetărilor desfășurate în cadrul scolii doctorale au fost diseminate prin:

Publicarea a patru articole științifice:

1. „Study regarding the influence of the fuel tank constructive characteristics on slosh noise effect”, Bălaș O., Bălaș R., Doicin C., Applied Mechanics and Materials - Submitted: 2015-09-20 ISSN: 1662-7482, Vol. 834, pp. 22-27 Revised: 2015-10-25 doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.834.22 Accepted: 2015-10-26 © 2016 Trans Tech Publications, Switzerland Online: 2016-04-19
2. „Research and constructive solutions on the reduction of slosh noise”, Bălaș O., Bălaș R., Doicin C., IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 161 (2016) 012003 doi:10.1088/1757-899X/161/1/012003-
3. „Statistical Analysis of Slosh Noise Baffle”, Bălaș O., Bălaș R., Ulmeanu M., Murzac R., Doicin C., Macromolecular Symposia 389(1):1900119, DOI: 10.1002/masy.201900119.

4. „Construction and testing of the wave breaking prototype - slosh noise baffle”, Bălaș O., Bălaș R., Murzac R., Ulmeanu M., Doicin C. – in curs de publicare, Buletinul Științific UPB, Seria D, 2021

Participare la doua conferințe științifice:

1. ICAMAT 2015 – Advanced Manufacturing Technologies, Romania
2. IMANEE 2016 - Innovative Manufacturing Engineering and Energy Conference, Grecia

Un brevet european: EP3296136 (A1) — 2018-03-21: Anti-clapping device of a fuel tank of a motor vehicle

Patru brevete de invenție (Franța & Romania):

1. Brevet de invenție: FR3060480 (A1) — 2018-06-22. Data depozit : 2016/12/20: Dispositif anti-clapot d'un reservoir de carburant d'un vehicule automobile;
2. Brevet de invenție: RO132647 (B1) — 30-09-20. Data depozit 2016/12/20: Dispositiv anti-clipocit pentru un rezervor de carburant al unui autovehicul
3. Brevet de invenție: FR3061090 (A1) 2018-06-29: Dispositif anti-clapot d'un reservoir de carburant d'un vehicule automobile
4. Brevet de invenție: FR3055835 (B1) — 2018-08-31: Dispositif anti-clapot d'un reservoir de carburant d'un vehicule automobile

Publicarea a șapte cereri de brevet (trei cereri în Franța, trei cereri în Romania, o cerere de brevet european)

1. Cerere de brevet : FR3060480 (A1) — 2018-06-22. Data depozit : 2016/12/ 20
2. Cerere de brevet: RO132647 (A2) — 2018-06-29. Data depozit 2016.12.20
3. Cerere de brevet: FR3061090 (A1) 2018-06-29. Data depozit: 2016/12/27
4. Cerere de brevet: RO132679 (A2) — 2018-06-29. Data depozit 2016.12.27
5. Cerere de brevet: FR3055835 (A1) — 2018-03-16. Data depozit 12.09.2016
6. Cerere de brevet: RO132428 (A2): 30.03.2018. Data depozit 12.09.2016

8.4. Direcții viitoare de cercetare

Cercetările prezentate in cadrul tezei de doctorat contribuie la aprofundarea condițiilor de apariție a fenomenului de slosh noise si la îmbunătățirea metodelor de reproducere a valurilor in vederea testării diferitelor soluții tehnice. Pot fi considerate ca posibile direcții viitoare de cercetare următoarele:

- a) Cercetări asupra materialelor plastice utilizate in construcția spărgătoarelor de valuri
- b) Cercetări asupra variantelor de proiectare a spărgătoarelor de valuri in vederea eficientizării procesului de fabricație al acestora
- c) Cercetări privind corespondenta dintre zgomot, frecventa si amplitudine in cadrul fenomenului de spargere a valurilor din interiorul unui rezervor.
- d) Cercetări privind modelarea matematica ce evidentiază corespondența dintre mișcarea suprafeței libere si nivelul de zgomot generat prin intermediul integralei lui Bernoulli
- e) Cercetări asupra comportamentului energiilor potențiale prin intermediul modelarii matematice pentru rezervoare ce nu prezinta soluții pentru spargerea valurilor comparativ cu rezervoarele de carburant ce prezintă spărgătoare de valuri îmbarcate.
- f) Cercetări asupra comportamentului energiilor cinetice prin intermediul modelarii matematice pentru rezervoare ce nu prezinta soluții pentru spargerea valurilor comparativ cu rezervoarele de carburant ce prezintă spărgătoare de valuri îmbarcate.

Bibliografie selectivă (extras)

- 1 [A2M15] Automotive Benchmarking, disponibil: <https://portal.a2mac1.com>, accesat la 03.05.2015
- 2 [ADA16] Adair John, Decision Making and Problem Solving – 3rd revised edition, Editura Kogan Page Ltd, 2016, ISBN: 9780749475611
- 3 [ALV96] Alvarado Peter J., Steel vs. Plastics: The Competition for Light-Vehicle Fuel Tanks, Journal JOM, 48 (7) (1996), pp. 22-25., disponibil la <https://www.tms.org/pubs/journals/JOM/9607/Alvarado-9607.html>
- 4 [ANS13] ANSYS software User's Guide 15.0, SAS IP., 2013
- 5 [AUT14] Auto Education – the fuel system, Disponibil: <https://www.autoeducation.com/autosshop101/fuel.htm> , accesat la 07.08.14
- 6 [CHO16] Cho I. H., Kim M.H., Effect of dual porous baffles on sloshing reduction in a swaying rectangular tank, Ocean Engineering 126 (2016)364-373
- 7 [CHU18] Chu Chia-Ren, Wu Yi-Ru, Wu Tso-Ren, Wang Chung-Yu, Slosh -induced hydrodynamic force in a water tank with multiple baffles, Ocean engineering 167 (2018) 282-292
- 8 [DEM12] De Man, P. and Van Schaftingen, J. Prediction of Vehicle Fuel Tank Slosh Noise from Component-Level Test Data, SAE Technical Paper 2012-01-0215
- 9 [DEM18] Demirel Ender, Aral M. Mustafa, Liquid Sloshing Damping in an Accelerated Tank Using a Novel Slot Baffle Design, MDPI Water, 2018, 10, 1565
- 10 [DEX15] DEX online, disponibil: <http://dexonline.ro/definitie> , accesat 13.12.2015
- 11 [FRA13] Frank Eric, Moon Chris, Rae Jason, Popovich Michael, Optimization of Test Parameters and Analysis Methods for Fuel Tank Slosh Noise, SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst. 6(2):1306-1312, 2013, disponibil: <https://doi.org/10.4271/2013-01-1961>
- 12 [HAL11] Hallez Raphael, McGann Francis, Sibal Stephen D., Fan Li, Radiated Fuel Tank Slosh Noise Simulation, April 2011, DOI: 10.4271/2011-01-0495, disponibil la: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2011-01-0495/>
- 13 [HOI04] Hoi Sum IU, W. L. Cleghorn, J. K. Mills, Design and Analysis of Fuel Tank Baffles to Reduce the Noise Generated From Fuel Sloshing," SAE Technical Paper 2004-01-0403, 2004, <https://doi.org/10.4271/2004-01-0403>
- 14 [IAC52] Iacob C. „ Introducere matematica in mecanica fluidelor” Editura Academia RPR: An aparitie 1952
- 15 [IFP16] IFP Training, <https://www.ifptraining.com/course>
- 16 [ILI09] Iliescu M., Statistica Aplicata, Editura Man-Dely, 2009 ISBN 9736-7689-08-9
- 17 [JAC11] Jacob Pierre, Yohann L'Hermite, Herve Guillerme, Thibaut Prouveur, Laurent Guyotte, Noise reduction baffle and plastic fuel tank comprising such a baffle – Patent WO2010/029103 A1, 2011, aplicant Inergy Automotive systems Research, disponibil la: <https://www63.orbit.com/?locale=fr&ticket=12500403-b249-4262-88de-00c29ddaa297&embedded=false#PatentDocumentPage>
- 18 [LAZ00] Lazar D., Metode matematice in aerodinamica, Editura: Academia Romana, 2000
- 19 [LIN19] Lin Bing-Ham, Vhen Bang-Fuh, Tsai Chia-Cheng, Method of fundamental solutions on simulating sloshing liquids in a 2D tank, Article in press – Computers and Mathematics with Application, Elsevier Ltd., 2019
- 20 [LU015] Lu Lin, Jiang Sheng-Chao, Zhao Ming, Tang Guo-Qiang, Two – dimensional viscous numerical simulation of liquid sloshing in rectangular tank with/ without baffles and comparison with potential flow solutions, Ocean Engineering 108 (2015) 662 - 667
- 21 [LUB15] Lubrifianti Ploiesti, Mase plastice, disponibil la: <https://www.lubrifiantiploiesti.ro/mase-plastice/> , accesat la 39.04.2015

UPB	Rezumatul tezei de doctorat	Cercetări privind dezvoltarea unor sisteme anti-clipocit pentru rezervoarele autovehiculelor	Oana-Maria D. MANTA (BĂLAȘ)
22	[MAN15]	Manta O., Balas R., Doicin C., Study regarding the influence of the fuel tank constructive characteristics on slosh-noise effect, Applied Mechanics and Materials, Advanced Manufacturing Technologies, Scientific.Net, disponibil la: https://www.scientific.net/AMM.834.22	
23	[MAT16]	Mate Vi (base de donnees des materiels) , Norme Gazole FR EN590, disponibil: https://www.matevi-france.com/fileadmin/user_upload/fichiers_matevi/PDF/informations_pratiques/Norme-EN-590-2004.pdf , accesat la 23.06.2016	
24	[MIC18]	Michael E., University of Toronto, Minitab Manual, disponibil la: http://bcs.whfreeman.com/webpub/statistics/ips6e/Manuals/Student_Minitab_Manual/IPS6e.Mt.St.pdf	
25	[MIN20]	Minitab, Getting Started with Minitab Statistical Software, disponibil la: https://www.minitab.com/content/dam/www/en/uploadedfiles/documents/getting-started/MinitabGettingStarted_EN.pdf	
26	[PAR10]	Park Se-Hyung, Plastic fuel tank comprising a noise reduction baffle and process for manufacturing it – Patent WO2010/023267 A1, 2010, aplicant Inergy Automotive Research, siponibil la: https://www63.orbit.com/?locale=fr&ticket=12500403-b249-4262-88de-00c29ddaa297&embedded=false#PatentDocumentPage	
27	[PHA16]	Pharea software, Ansys 19.1 Release Notes, disponibil la: https://www.pharea-software.com/content/uploads/2018/05/Release_Notes_191.pdf , accesat ma 15.06.2016	
28	[PLA16]	Plastic Omnium – le group, disponibil la: https://www.plasticomnium.com/fr/industrie/clean-energy-systems-fr/systemes-innovants/systemes-a-carburant-en-plastique.html , accesat la 07.05.2016	
29	[PLA19]	Plastic Fuel Tanks and Systems for the Automotive Industry – Manufacturer Association, diponibil la: https://www.plasfuelsys.org/index.php?q=plastic-fuel-tank-solutions/they-choose-plastic-fuel-tanks , accesat la 03.05.2019	
30	[POG19]	Poguluri Sunny Kumar, Cho I.H., Liquid sloshing in a rectangular tank with vertical slotted porous screen: Based on analytical, numerical and experimental approach, Ocean Engineering 189 (2019) 106373	
31	[RAM09]	Ramsay Thomas, Floating absorber assembly for reduced fuel slosh noise – patent US20090078705 A1, aplicant Honda Motor, 2009, disponibil la: https://www63.orbit.com/?locale=fr&ticket=12500403-b249-4262-88de-00c29ddaa297&embedded=false#PatentDocumentPage	
32	[SAG18]	Saghi Hassan, Hashemian Ali, Muti dimensional NURBS model for predicting maximum free surface oscilation in swaying rectangular storage tanks, Computers and Mathematics with Applications 76 (2018) 2496 – 2513	
33	[SU016]	Su Yan, Liu Z.Y. Numerical model of sloshing in rectangular tank based on Boussinesq type equations, Ocean Engineering 121(2016) 166-173	
34	[ULP15]	UL Propector – Material Database, disponibil la: https://www.ulprospector.com/en/eu , accesata la: 28.03.2015	
35	[WAL15]	Walbro - engine management and fuel systems, disponibil la: www.walbro.com , accesat la 05.02.2015	
36	[ZOH11]	Zohir Benrabah, Francis Thibault, Francis Thibault, Robert DiRaddo, Modeling of Fuel Permeation in Multilayer Automotive Plastic Fuel Tanks, 2011, SAE 2011SAE International Journal of Materials and Manufacturing 4(1):449-459, DOI: 10.4271/2011-01-0248,ResearchGate, disponibil la: https://www.researchgate.net/publication/314079533 Modeling of Fuel Permeation in Multylayer Automotive Plastic Fuel Tanks	