

STUDIUL PRIN SIMULARE LA IMPACT A COMPORTĂRII MATERIALELOR METALICE

Ing. Daniela PINTILIE

Conducător științific: Prof.dr.ing. Cristina PUPĂZĂ

REZUMAT:

Blindajul definește protecția oferită de un vehicul de luptă și este cheia supraviețuirii echipajului, dar influențează dimensiunile, forma și mai ales greutatea vehiculului de luptă, putând afecta mobilitatea și capacitatea de luptă a acestuia. Se impune deci un echilibru între grosimea/protecția blindajului și restul performanțelor vehiculului. Evoluția blindajului este strâns legată de rolurile îndeplinite de vehiculele de luptă, precum și de dimensiunea și tipul proiectilelor folosite de armele menite să combată vehiculele blindate.

Analiza impactului unui proiectil asupra blindajului a fost simulată în programul ANSYS. În lucrare sunt incluse informațiile necesare construirii unui model preliminar: geometrie, caracteristici de material, condiții de simulare. De asemenea, au fost sistematizate date referitoare la experimentele care se pot realiza, necesare pentru validarea simulărilor. Aceste rezultate vor constitui baza unor cercetări parametrice de dinamică explicită.

CUVINTE CHEIE: dinamică explicită, simulare, blindaj, proiectil, impact.

1 INTRODUCERE

Pentru a fundamenta analiza impactului dintre proiectil și blindaj s-au studiat materialele din care sunt realizate acestea și modul în care este utilizat blindajul. Un alt obiectiv al lucrării a fost studiul modului în care ANSYS rezolvă aceste probleme cu modulul ANSYS Explicit.

1.1 Obiective

1. Cunoașterea funcțiilor avansate ale programului Ansys Explicit.
2. Realizarea unei simulări a impactului dintre un proiectil și un blindaj, fabricat dintr-un anumit material.
3. Analiza impactului dintre proiectil și blindaj, în urma lovirii cu o anumită viteză inițială.
4. Analiza modului de distrugere a materialului și a comportării acestuia în timpul impactului.

5. Posibilități de îmbunătățire a rezultatelor simulării și concluzii asupra comportării materialului.

2 STADIUL ACTUAL

Termenul **blindaj** se referă la bariere fizice de protecție folosite în sistemele de transport sau luptă pentru a reduce sau evita avariile cauzate de focul inamic. Blindajul clasic folosește pentru această finalitate plăci metalice din oțel de o grosime considerabilă, care acționează apărând *corpul protejat*. Un factor de mare importanță este greutatea adusă corpului ca rezultat al blindării și efectele acestuia asupra manevrabilității blindatului. De exemplu, tancurile și navele de luptă pot fi echipate cu blindaje puternice de mare greutate. Manevrabilitatea lor este din principiu lentă și nu este afectată radical.

Un jeep, camion sau avion de transport militar au însă nevoie de o mișcare mult mai rapidă și nu pot fi echipate cu un blindaj greu.

În prezent blindajul de oțel laminat reprezintă în majoritatea cazurilor blindajul de bază al corpului

¹ Specializarea CIST, Facultatea IMST;
E-mail: danielapintilie07@gmail.com;

vehiculului la care se adaugă alte tipuri de blindaj, uneori în structură sandwich.

Aluminiul a fost folosit și el în diverse combinații la vehicule și tancuri ușoare, ultima fiind spuma, însă deși rezistent mecanic și ușor, este puțin rezistent la incendii sau la anumite tipuri de proiectile perforante.

Titanul este considerat metalul cu cel mai bun raport rezistență/masă pentru blindaj, însă datorită prețului ridicat este folosit aproape exclusiv în industria aeronautică.

Uraniul, prin densitatea sa ridicată, poate absorbi și disipa impactul unor astfel de proiectile și este folosit în blindajul frontal al tancurilor.

Chiar și plasticul a fost folosit la blindaje, așezat peste oțel, putând opri proiectilele perforante prin duritatea dată de compoziția de granit, deviind proiectilul și încetinindu-l înainte de a atinge stratul de oțel.

Sticla blindată este necesară pentru vizibilitate în manevrarea vehiculelor blindate și este compusă din mai multe straturi de sticlă laminată, sau din inserții de policarbonat (Armormax, Makroclear, Cyrolon, Lexan sau Tuffak [1]), polivinil sau poliuretan între straturi de sticlă. Există și o nouă variantă de blindaj transparent bazat pe un derivat al aluminiului (oxinitrid).



Fig. 1 Urme de lovituri antitanc, unele nepenetrând blindajul [1]

Ceramica este foarte utilă în blocarea proiectilelor penetrante explozive (HEAT), fiind folosită și în soluțiile de blindaj compozit (ex. Chobham) datorită rezistenței ridicate la penetratoare cinetice [1].

Ca modalități de dispunere, blindajul este preferabil a fi așezat înclinat sau curbat pentru a crește artificial grosimea plăcii care trebuie penetrată de un proiectil, dar și pentru a face proiectilele să ricoșeze la anumite unghiuri.

2.1 Tipuri de blindaj utilizate

Tipurile de blindaj se pot clasifica în funcție de materialul utilizat și de modul în care acesta este dispus pe ceea ce se dorește a fi protejat [1].

Blindaj adițional: se folosește din primul război mondial, însă a devenit celebru pe tancurile și tunurile de asalt germane din al doilea război mondial, principala calitate fiind dezintegrarea/devierea proiectilului înainte de a ajunge la blindajul principal cu o creștere minimă în greutate, iar cel aplicat se folosește începând cu a doua conflagrație, pentru a suplimenta blindajul principal, sau a adăuga un strat cu compoziție diferită de a celui principal.

Blindajul reactiv este o soluție parțial eficientă, formată din exploziv plasat între două foi metalice, protejând vehiculul la primul impact în zona în care este așezat. Aceasta determină o ploaie de schije în jurul vehiculului, lucru periculos pentru infanteria care însoțește vehiculul. Practic explozibilul dintre plăci are rolul de a contra jetul penetrant al proiectilului, deviindu-l sau tăindu-l înainte de a atinge blindajul principal.



Fig. 2 Blindajul reactiv [1]

Blindajul stratificat/spațiat protejează împotriva atacurilor cu rachete antitanc, spațiile interioare ducând la deformarea focosului înaintea detonării sau la avariarea mecanismului de amorsare, prevenind detonarea.

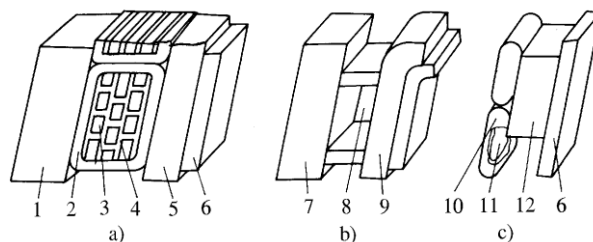


Fig. 3 Exemple de blindaj stratificat [1]

Blindajul încărcat electrostatic, funcționează pe baza a două straturi de blindaj încărcate electrostatic și separate printr-un strat izolator. În momentul penetrării cu un proiectil HEAT a stratului superior puternic încărcat și a izolatorului, se produce, de asemenea, o puternică descărcare electrică care se descarcă prin jet, afectându-l.

Blindajul compozit constă în straturi alternative din materiale diferite, de obicei metale, plastic, ceramică și aer, cu scopul de a bloca penetrarea proiectilelor de tip exploziv-antitanc, fiind mai ușoare decât versiunile echivalente din oțel. Acestea ocupă însă uneori un volum mare și au un cost superior. În ultimul timp, au apărut versiuni de blindaj compozit sub formă de blocuri care pot fi aplicate inclusiv vehiculelor de luptă ușoare și sunt ușor demontabile sau înlocuibile.

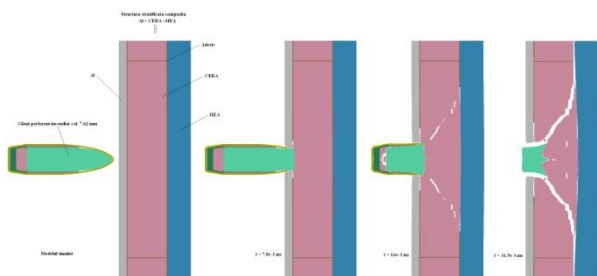


Fig. 4 Modul de comportare a unui blindaj compozit lovit de proiectil [2]

Cel mai cunoscut blindaj compozit este Chobham-ul englezesc, blindaj ceramic în sandwich între plăci din oțel alcătuit din bucăți de mari dimensiuni [1].

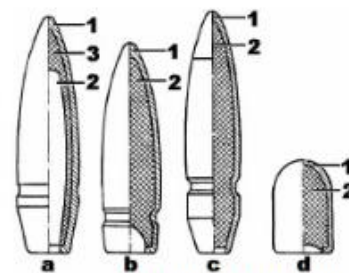
2.2 Tipuri de proiectile:

Gloanțele obișnuite pot fi cu miez de plumb sau cu miez de oțel. Ele se compun din învelișul bimetalic 1, miezul de oțel sau de plumb 2 și cămașa de plumb 3 (la glonțul cu miez de oțel) [2].

Învelișul servește pentru realizarea formei exterioare a glonțului, asamblării cămășii și miezului și pentru asigurarea angajării sigure în ghinturile țevii. Se fabrică prin presare la rece din oțel cu un conținut redus de carbon, placat cu un strat subțire de tombac. Cămașa se fabrică din plumb sau aliaj de plumb cu antimoniu și asigură asamblarea compactă a miezului în înveliș și dispunerea corectă a centrului masei glonțului, contribuind la atenuarea uzurii țevii. Miezul poate fi din aliaj de plumb cu antimoniu sau din oțel. Miezul de oțel înlocuiește o parte din plumbul deficitar, mărinđ și capacitatea de perforare a glonțului.

Gloanțele speciale, după destinația lor pot fi: perforante, trasoare, incendiare, de reglaj-incendiare,

perforant-incendiare, perforant-incendiare-trasoare și explozive.



Gloanțele obișnuite:

a – cu miez de oțel; b – ușor; c – greu; d – pistol; 1 – înveliș bimetalic; 2 – miez de oțel sau de plumb; 3 – cămașa de plumb

Fig. 5 Exemple de proiectile/gloanțe utilizate [2]

Miezul este fabricat din oțel de scule, cu un conținut bogat de carbon sau din aliaj metalo-ceramic dur. În contact cu blindajul, miezul glonțului perforază blindajul, producând efectul urmărit.

Glonțul trasor este destinat pentru corectarea tragerii, indicarea țintelor și semnalizare. Glonțul se compune din: învelișul bimetalic, miezul de plumb presat în vârful glonțului, paharul cu compoziția de aprindere și trasoare, precum și inelul 5 cu un orificiu concentric dispus în partea posterioară a glonțului. Compoziția de aprindere și trasoare este formată dintr-un amestec de carburant, oxidant și liant. Drept carburant se folosește praf de magneziu sau aliaj de aluminiu și magneziu, ca oxidant -oxizii și sărurile unor metale (bariu, stronțiu etc.), iar ca liant - rășini speciale [2].

3 PREZENTAREA PROGRAMULUI

Orice program cu elemente finite comercial este un produs executabil obținut prin compilarea unui text sursă dezvoltat în medii de programare cu ar fi Fortran, C, Visual Basic, etc. Pentru a fi un produs flexibil, de regulă aceste programe sunt concepute în forma unor comenzi de generare a geometriei, rezolvare a problemei și vizualizarea rezultatelor. Aceste comenzi particularizate constituie practic un alt limbaj de programare propriu programului cu elemente finite. Pentru a spori viteza de lucru a utilizatorului, în momentul de față programele accesează comenzile interne prin intermediul unor programe de interfață grafică. Astfel utilizatorul utilizează de regulă mouse-ul și tastatura [3].

ANSYS Dynamics Explicit este un instrument care oferă funcționalități avansate pentru ca rezultatele simulărilor să reflecte realitatea. Gama cuprinzătoare de soluții oferă acces la aproape orice domeniu de

simulare din inginerie care necesită un proces de proiectare.

O cerință esențială pentru eficiență și precizie bună a analizei de dinamică explicită este o discretizare de înaltă calitate.



Fig. 6 Modelul de proiectil utilizat [3]

Discretizarea multizone este un instrument standard în Workbench, care în mod automat descompune geometriile complexe în părți ce pot fi discretizate apoi cu hexaedre.

Câteva diferențe între analiza implicită și cea explicită sunt date în următoarele rânduri:

Astfel, analiza implicită:

1. nu ia în considerare efectul masei (de inerție) sau de amortizare;
2. în cazul ei, analiza statică se realizează cu ajutorul unui solver implicit;
3. soluția din fiecare etapă necesită iterații succesive pentru a stabili un echilibru cu o anumită toleranță;
4. pașii de timp sunt în general mai mari decât pașii de timp din analiza explicită;
5. necesită o rezolvare numerică pentru a inversa matricea de rigiditate o dată, sau chiar de mai multe ori pe parcursul unui pas de timp, fapt care este scump pentru modelele mai mari;

Pe de altă parte, în analiza explicită:

1. masa / inerția și amortizarea sunt incluse.
2. analiza dinamică se poate face prin intermediul solverului explicit.
3. nu sunt necesare iterații, deoarece accelerațiile nodale sunt rezolvate în mod direct.
4. nu există o limită inerentă a mărimii pasului de timp.
5. pasul de timp trebuie să fie mai mic decât pasul de timp Courrant.
6. nu necesită inversarea matricilor.
7. lucrează cu relativă ușurință cu partea de contact și materialele neliniare.
8. odată ce accelerațiile sunt cunoscute la momentul n , vitezele sunt calculate la momentul $n + 1/2$, iar deplasările la momentul $n + 1$. Din

deplasări se determină deformațiile. Din deformații se determină tensiunea. Și ciclul se repetă.

ANSYS Explicit Dynamics ajută inginerii pentru a explora o gamă largă de fenomene:

- de scurtă durată, interacțiuni complexe;
- impacturi de mare viteză;
- încărcări severe care duc la deformarea materialului;
- fragmentarea materialului;
- mecanica de penetrare;
- impactul deșeurilor cosmice (hypervelocity);
- proiectarea echipamentului sportiv;
- procese de fabricație cu răspuns în domeniul plastic neliniar;
- simulare de tip „drop-test”;
- încărcare explozivă;
- interacțiunile exploziei cu o structură portantă.

Graficul următor arată nivelul de complexitate al diferitelor probleme ce pot fi simulate utilizând ANSYS Explicit Dynamics. Cele mai complicate sunt exploziile.

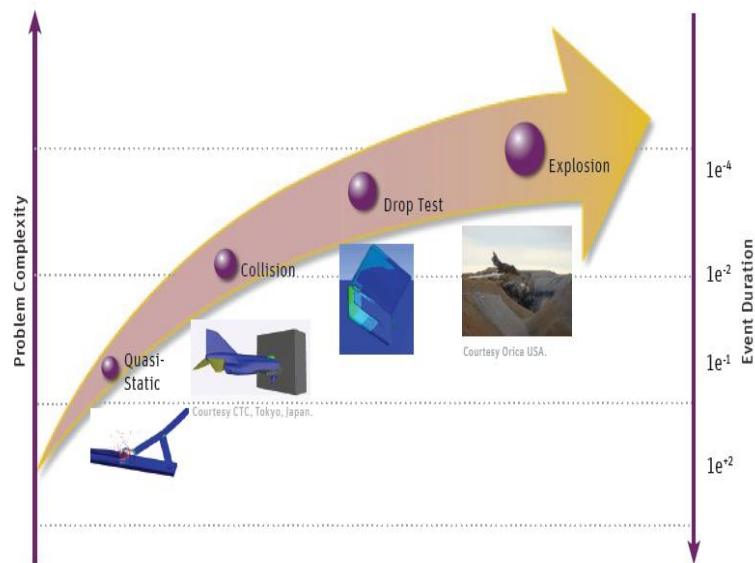


Fig.7 Nivelele de complexitate [4]

Se pot formula câteva concluzii care probează utilizarea modului ANSYS Explicit Dynamics:

- Se folosește pentru probleme cu fenomene tranzitorii scurte de timp și neliniarități extreme. Aceasta include deformații extrem de mari, ruperea materialelor, materiale foarte neliniare;
- Rezolvarea depinde numai de pasul anterior de timp;
- Necesită un end-time foarte mic (microsecunde);
- Este limitată la probleme unde durata fenomenului e foarte mică;
- Pasul de timp este în funcție de discretizarea efectuată;

- Poate rezolva toate problemele unde sunt neliniarități.

4 ELEMENTE DE TEORIE PRIVIND PLASTICITATE A MATERIALELOR

Modelele materialelor (numite, de asemenea, modele constitutive) sunt formulate matematic în funcție de răspunsul materialului la o sarcină aplicată.

Modelele de material includ relațiile dintre tensiune-deformație specifică, gradientul de temperatură - flux termic, tensiune electrică-deformație și curent-tensiune, dar includ, de asemenea, comportări mai generale, cum ar fi frecarea, lipirea și capacitatea de răspuns la schimbarea factorilor din mediul fizic, cum ar fi expansiunea termică, dilatarea.

Referințele din manualul ANSYS furnizează informații despre comportarea modelului de material și modul de utilizare al acestuia, inclusiv detalii cu privire la relația dintre încărcare-răspuns. Modelele sunt grupate pe baza gradelor de libertate, care, în mod direct sau indirect, specifică modul de încărcare și servesc ca date de intrare pentru modelul de material.

Pentru analizele care includ grade de libertate de deplasare, funcția de intrare este deformația specifică, iar răspunsul este dat de tensiunea normală sau tangențială.

Programul cuprinde o listă largă de materiale, dar cele care prezintă interes pentru această lucrare sunt următoarele:

- **Materialul liniar elastic: Comportarea este definită prin faptul că** rezultatele sunt tensiunile care sunt direct proporționale cu deformațiile specifice și materialul își recuperează pe deplin forma inițială atunci când forța încetează a fi aplicată. Pentru materiale izotrope, relația este dată de legea lui Hooke și această relație poate fi generalizată pentru a defini un comportament anizotrop. Multe dintre metale au o comportare liniar-elastică la temperatura mediului ambiant, atunci când deformațiile sunt mici.
- **Material plastic și elasto-plastic:** Deformația materialului este permanentă și va avea o componentă care nu va reveni la configurația inițială dacă sarcina este îndepărtată. Aceste materiale, de asemenea, prezintă și un comportament elastic, astfel încât combinate, deformația include o componentă care poate fi

recuperată după încetarea aplicării forței perturbatoare. Materialele ce pot fi incluse în această categorie sunt: metale, aliaje, soluri, roci, beton și ceramică.

Plasticitatea este utilizată pentru a modela materialele supuse încărcării/deformării dincolo de limita lor elastică. După cum se arată în figura 10, metalele și alte materiale au adesea o regiune elastică inițială în care deformația este proporțională cu sarcina, dar dincolo de limita de elasticitate se dezvoltă o deformație plastică nerecuperabilă:

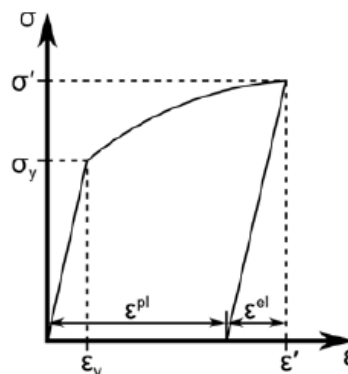


Fig. 8 Diagrama tensiunii –deformații [3]

Încetarea aplicării sarcinii recuperează porțiunea elastică a deformației specifice totale, dar apare cu siguranță o deformație permanentă, datorită comportării plastice, care rămâne în material. Evoluția deformației plastice depinde și de istoricul încărcării aplicate, cum ar fi temperatura, tensiunile interioare ale materialului, de ciclul aplicare a solicitărilor, precum și alte variabile interne.

Pentru a simula comportarea unui material elasto-plastic sunt definite mai multe modele constitutive pentru plasticitate. Modelele variază de la simplu la complex. Alegerea modelului constitutiv depinde, în general, de datele experimentale, astfel încât să se potrivească constantele de material.

Matematic, la o încărcare constantă a materialului, unei tensiuni σ i se asociază o deformație specifică ϵ . Deformația totală este descompus în două părți: elastică și plastică, astfel:

$$\epsilon = \epsilon^{el} + \epsilon^{pl} \quad (1)$$

Tensiunea σ este proporțională cu deformația elastică ϵ^{el} :

$$\sigma = D * \epsilon^{el} \quad (2)$$

Evoluția deformației plastice ϵ^{pl} este un rezultat al caracteristicilor de plasticitate ale materialului.

Pentru un model general de plasticitate, care include aplicarea unor sarcini arbitrare, teoria de

plasticitate se descompune incremental în deformare elastică și plastică:

$$d\epsilon = d\epsilon^{el} + d\epsilon^{pl} \quad (3)$$

În consecință, creșterea tensiunii σ este proporțională cu creșterea deformăției elastice și componenta de deformare plastică incrementală este în funcție de starea de încărcare a materialului și de caracteristicile mecanice ale acestuia.

Modelele de plasticitate sunt aplicabile atât pentru analize în domeniul deformățiilor mici, dar și pentru deformății mari.

Pentru deformății mici, formula folosește tensiunile și deformățiile ingineresti. Pentru deformății mari (NLGEOM, ON), modelele constitutive sunt formulate cu tensiunea Cauchy și deformăția logaritmică.

Criteriul Von Mises

Criteriul von Mises este frecvent utilizat în modelele de plasticitate pentru o gamă largă de materiale. Este o primă aproximare pentru metale, polimeri și materiale geologice saturate. Criteriul este izotrop și independent de presiunea hidrostatică, care poate limita aplicabilitatea sa la materiale microstructurate și materiale care prezintă dilatare plastică.

5 STUDIUL DE CAZ

În continuare se prezintă impactul proiectilului cu ținta simulat cu programul ANSYS.

S-au studiat inițial mai multe modele de geometrie utilizată pentru proiectile. În cazul de față modelul este a unui glonț de calibru 7,62 mm, importat de pe site-ul Grabcad, ce conține modele care se accesează gratuit. Acest proiectil este construit din miezul de oțel (partea interioară) și camașa din cupru (partea exterioară).

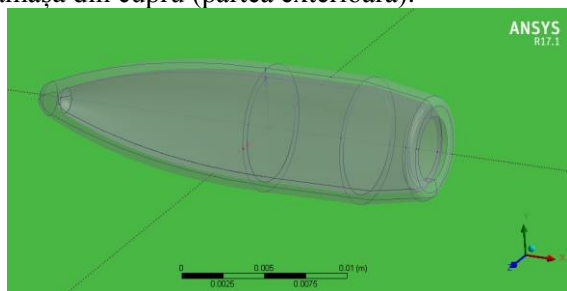


Fig. 9 Modelul de proiectil utilizat

5.1 Etape de rezolvare

În continuare se prezintă etapele parcurse pentru simularea impactului proiectil-placă.

Biblioteca de materiale a fost editată pentru a se adăuga materiale din grupul de materiale implicite.

Modelele de materiale din biblioteca Explicit pot fi utilizate doar în acest tip de analize.

Materialul din baza de date utilizat pentru placă este IRON-ARMCO, având proprietățile de rupere și componența elementelor prezentate în tabelul următor:

Mechanical Properties	Metric	English
Rupture Strength	40.0 MPa	5800 psi
	@Temperature 816 °C, Time 3.60e+6 sec	@Temperature 1500 °F, Time 1000 hour
	60.7 MPa	8800 psi
	@Temperature 816 °C, Time 360000 sec	@Temperature 1500 °F, Time 100 hour
	75.8 MPa	11000 psi
	@Temperature 732 °C, Time 3.60e+6 sec	@Temperature 1350 °F, Time 1000 hour
	110 MPa	16000 psi
	@Temperature 732 °C, Time 360000 sec	@Temperature 1350 °F, Time 100 hour
	159 MPa	23000 psi
	@Temperature 649 °C, Time 3.60e+6 sec	@Temperature 1200 °F, Time 1000 hour
	221 MPa	32000 psi
	@Temperature 649 °C, Time 360000 sec	@Temperature 1200 °F, Time 100 hour

Component Elements Properties	Metric	English
Carbon, C	0.0500 %	0.0500 %
Chromium, Cr	20.0 %	20.0 %
Iron, Fe	30.37 %	30.37 %
Manganese, Mn	4.00 %	4.00 %
Nickel, Ni	45.0 %	45.0 %
Niobium, Nb (Columbium, Cb)	0.150 %	0.150 %
Silicon, Si	0.400 %	0.400 %
Vanadium, V	0.0300 %	0.0300 %

Fig. 10 Caracteristici ale materialului IRON-ARMCO [4]

Lungimea și lățimea plăcii este de 500 mm, cu grosimea de 6 mm, alegând aceste dimensiuni și materiale pentru ca datele din simulare să fie cât mai apropiate de cele folosite în timpul experimentelor în poligonul de tragere.

S-a considerat marginea plăcii ca fiind fixă.



Fig. 11 Proiectilul și placa

După definirea geometriei s-a realizat discretizarea.

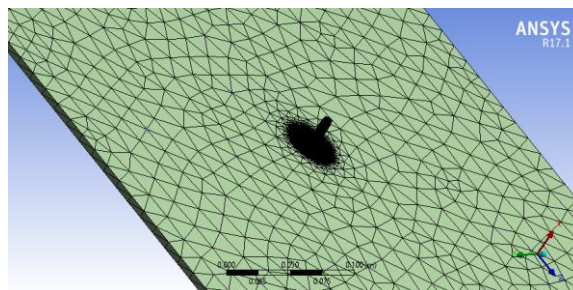


Fig. 12 Rețeaua de discretizare

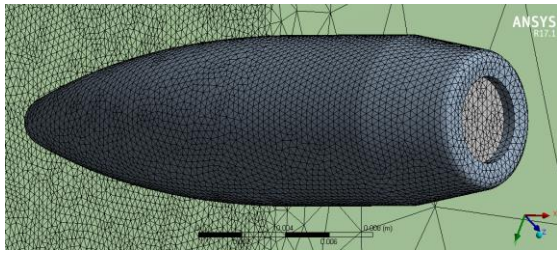


Fig. 13 Modelul de proiectilului discretizat

Metoda folosită pentru discretizare este cea cea implicită pentru toate corpurile, însă în zona de impact a fost introdusă o sferă de influență cu diametrul de 40 mm, în care dimensiunea elementelor din rețeaua de discretizare este mult mai mică decât cea dinafara acesteia.

Viteza de impact a proiectilului a fost inserată ca o condiție inițială. Viteza acestuia este de 650 m/s și este opusă direcției axei X din sistemul de coordonate.

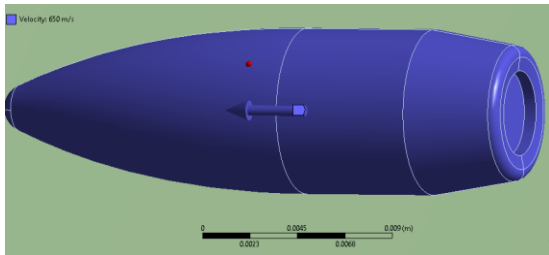


Fig. 14 Viteza inițială

Proiectilul este supus și unei viteze unghiulare, astfel încât acesta descrie o mișcare de roto-translație. Valoarea acesteia este de 2094.4 rad/s.

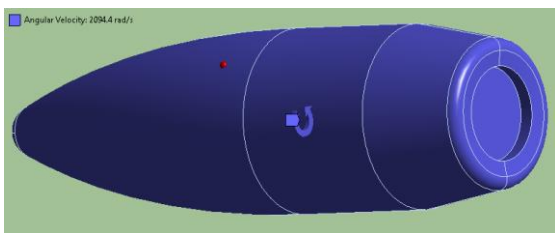


Fig. 15 Inserarea vitezei unghiulare

S-a ținut cont, de asemenea, de accelerația gravitațională, care în mod normal influențează balistica exterioră a unei trageri. Aceasta are direcția opusă axei Z, în cazul simulării.

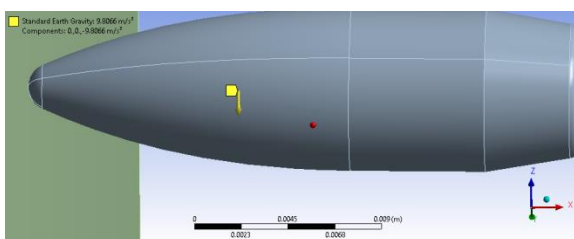


Fig. 16 Accelerația gravitațională

5.2 Rezultatele obținute și interpretarea acestora

Rezolvarea începe cu o discretizare potrivită a materialului atribuit, cu definirea proprietăților acestuia, a sarcinilor aplicate, a constrângerilor, precum și a condițiilor inițiale. Pașii cei mai importanți sunt precizați în continuare:

- Integrarea în timp produce mișcarea nodurilor rețelei de discretizare;
- Mișcarea nodurilor produce deformarea elementelor rețelei;
- Deformarea elementului are ca rezultat o schimbare a volumului și a densității materialului din fiecare element;
- deformația procentuală este folosită pentru a determina procentual solicitarea;
- Legile constitutive ale tensiunii rezultate se scriu pe baza deformațiilor specifice;
- Tensiunea calculată este transcrisă apoi în forțe nodale;
- Forțele nodale externe sunt calculate din condițiile la limită, sarcini și contact;
- Forțele nodale totale sunt împărțite la masa nodală pentru a produce accelerațiile nodale;
- Accelerațiile sunt integrate explicit în timp pentru a produce noi viteze nodale;
- Vitezele nodale sunt integrate explicit în timp până se produc noi poziții nodale;
- Procesul de rezolvare ciclică este repetat până când timpul de simulare este complet.

Schema aferentă pașilor de rezolvare a unei probleme este reprezentată în figura. 21:

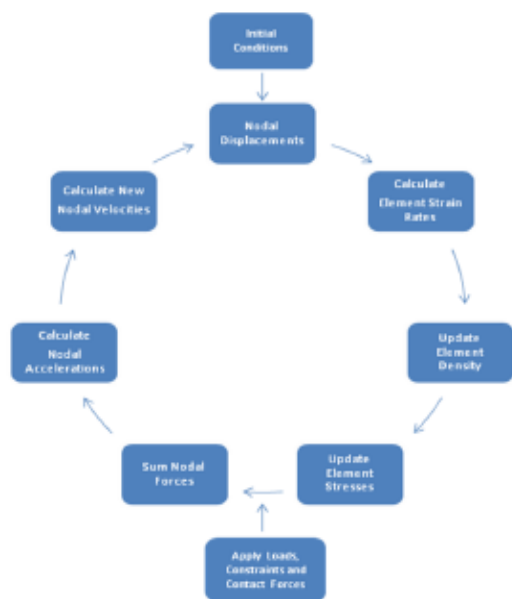


Fig. 17 Reprezentarea pașilor de rezolvare a unei probleme în Explicit Dynamics [4]

Rezultatele obținute în urma rulării programului sunt următoarele:

a. Deplasările totale (Fig. 22).

Se poate observa că proiectilul a pătruns integral prin placă. Aceasta s-a deformat la impact, luând forma proiectilului. Totodată, în urma impactului, cămașa de cupru a proiectilului se desprinde de miezul de oțel, acesta rămânând aproape intact. Valorile maxime ale deplasărilor ajung până la 0,09 m.

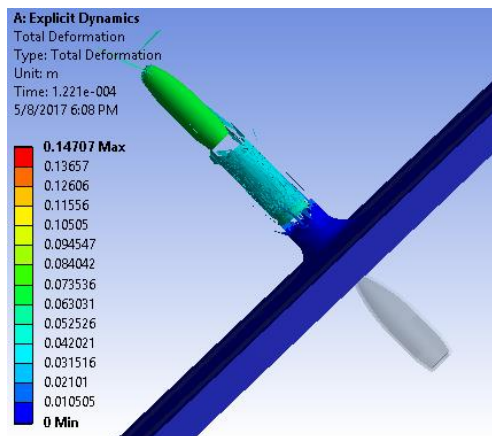


Fig. 18 Deformația totală

Rezultatele obținute în simulare pot fi comparate cu cele experimentale obținute la tragerea în poligon, care se observă în imaginile următoare. În urma vizionării filmării tragerii s-a observat faptul că la impact cămașa de cupru a proiectilului se desprinde de miez.



Fig. 19 Momentul impactului proiectil-placă - experimente din poligonul de tragere

6 CONCLUZII

În urma studiilor teoretice de dinamică explicită, a materialelor care prezintă deformații plastice și a simulărilor efectuate putem formula următoarele concluzii

- Avantajul rezolvării explicite este cuplarea fenomenelor neliniare de natură diferită și rezolvarea integrală a modelului, fără suprapuneri ulterioare de rezultate și transferuri între aplicații;

- Integrarea directă a ecuațiilor de mișcare (prin rezolvare directă - non-iterativă) are avantajul vizualizării realiste a fenomenelor în timpul desfășurării lor;
- Simulările de dinamică explicită se realizează pentru cazurile în care experimentele sunt greu sau imposibil de realizat practic.
- Lucrarea cuprinde cele mai importante realizări științifice în domeniul temei de disertație.
- Sunt incluse informațiile necesare construirii unui model preliminar: geometrie, caracteristici de material, condiții de simulare.
- Au fost sistematizate datele referitoare la experimentele care se pot realiza, necesare pentru validarea simulărilor.
- S-au analizat capacitățile solverelor care vor fi utilizate în continuare și modulele necesare simulării.

În continuare se vor realiza simulări ale lovirii blindajului de către proiectil cu diverse viteze de impact, fără a se lua în considerare balistica exterioară aferentă

7 BIBLIOGRAFIE

- [1] <http://www.rumaniamilitary.ro/blindajul-principala-arma-a-vehiculului-de-lupta>
Accesat la data: 18.01.2016
- [2] <https://ro.scribd.com/doc/133683669/Clasificarea-munitiilor>
Accesat la data: 19.01.2016
- [3] <http://www.ansys.stuba.sk>
Accesat la data: 02.05.2017
- [4] ANSYS 14 Explicit Dynamics
Accesat la data: 02.05.2017
- [5] APDL Material Reference
Accesat la data: 05.05.2017