

**ÎNCERCAREA LA IMPACT A PLĂCILOR
REALIZATE DIN MATERIALE COMPOZITE
RANFORSATE CU ȚESĂTURĂ DIN FIBRE
DE STICLĂ ȘI FĂINĂ DE LEMN**

**IMPACT TESTING OF THE PANELS MADE
OF COMPOSITE MATERIALS
REINFORCED WITH WOVEN GLASS
FABRIC AND WOOD FLOUR**

Gianina Ileana STAN

PhD-Student – TRANSILVANIA University in Braşov – Faculty of Mechanical Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Braşov, România
E-mail: gianina.stan@unitbv.ro

Camelia CERBU

Assoc.prof.dr.eng. – TRANSILVANIA University in Braşov – Faculty of Mechanical Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Braşov, România
E-mail: cerbu@unitbv.ro

Florin DOGARU

Assist.prof.dr.eng. – TRANSILVANIA University in Braşov – Faculty of Mechanical Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Braşov, România
E-mail: fdogaru@unitbv.ro

Ioan CURTU

Prof.dr.eng. – TRANSILVANIA University in Braşov – Faculty of Mechanical Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Braşov, România
E-mail: curtui@unitbv.ro

Rezumat:

În acest articol s-a cercetat comportarea mecanică a plăcilor din materiale compozite stratificate ranforsate atât cu țesătură din fibre de sticlă cât și cu făină de lemn, în timpul încercării de impact cu viteză mică. În acest scop, s-a utilizat un dispozitiv de încercare prin căderea greutății. Pentru a evalua parametrii de răspuns, o diagramă bloc a fost făcută utilizând programul LabView. Cercetarea a fost efectuată pe cinci plăci compozite având formă dreptunghiulară, rezemate pe toate marginile. Toate plăcile au avut aceeași structură de material: șapte straturi fabricate din țesătură din fibre de sticlă / rășină epoxi și făină de lemn de stejar ca material de umplutură la interfața dintre straturi. S-au analizat efectele diferitelor viteze de impact asupra comportării mecanice în cazul acestor plăci compozite.

Cuvinte cheie: impact de viteză mică; material compozit; fibre de sticlă; făină de lemn.

INTRODUCERE

Compozitele din lemn-plastic apărute pentru prima dată în anii 1960 (Klyosov 2007), ca materiale pe bază de rășini termorigide, conțineau fibre de celuloză ca material de umplutură. În anii care au urmat, cercetările s-au concentrat asupra utilizării fibrelor de celuloză ca material de ranforsare la fabricarea materialelor compozite. Pentru a obține materiale compozite cu caracteristici mecanice mai bune, s-au căutat soluții pentru a îmbunătăți legătura la interfața dintre fibrele de lemn și matricea polimerică.

Abstract:

In this paper, the mechanical behaviour of the laminated composite panels reinforced with both woven glass fabric and wood flour was investigated, during the low velocity impact test. A drop-weight test device was used for this purpose. In order to assess the response parameters, a block diagram was designed using LabView program. Five rectangular composite panels were investigated, simply supported on all edges. All panels had the same structure of materials: seven layers of glass woven fabric / epoxy resin and oak wood flour as the filler material on the interface of the layers. The effects of the different impact velocities on the mechanical behaviour of these composite panels were analyzed.

Key words: low-velocity impact; composite material; glass fibres; wood flour.

INTRODUCTION

Wood plastic composites (WPC) first appeared in the 1960s (Klyosov 2007) as thermosetting resins based materials had contained cellulose fibres as fillers. In the years that followed, the investigations focused on the use of cellulose fibres as reinforcing materials for composites manufacturing. In order to obtain composite materials with improved mechanical characteristics, solutions to improve the connection between wood fibres and polymer matrix at their interface were investigated.

The sawdust briquettes as compounds of the thermoplastic polymers with cellulose materials were

Brichetele din rumeguș care sunt compuși ai polimerilor termoplastici cu materiale celulozice, au reprezentat o altă inovație a anilor 1990 (Klyosov 2007). De asemenea, s-au dezvoltat în ultimii ani, materiale compozite hibride lemn-plastic-poliuretan și cele biodegradabile. Acestea din urmă au fost special concepute pentru a avea o durată de viață scurtă la aplicațiile de exterior.

În acest context, domeniul materialelor compozite pe bază de făină de lemn este în continuă dezvoltare. Există numeroase lucrări care au analizat efectele atât a tipului de fibre de lemn (Cerbu ș.a. 2010) cât și mărimea fibrei de lemn (Cui ș.a. 2008) asupra caracteristicilor mecanice ale materialelor compozite obținute.

Într-o lucrare recentă (Cerbu ș.a. 2010), s-a arătat că, ranforsarea cu țesătură de sticlă a materialelor compozite pe bază de făină de lemn, conduce la îmbunătățirea considerabilă a caracteristicilor mecanice (rezistență la încovoiere, modulul lui Young). Acest material compozit hibrid ar putea fi utilizat în aplicații din domeniul construcțiilor (pereți despărțitori, ornamente de interior), pentru fabricarea mobilierului de grădină, panouri pentru protecție acustică a habitatelor limitrofe autostrăzilor etc.

Rezultatele prezentate în această lucrare, continuă această direcție de cercetare și se concentrează asupra caracterizării acestui material hibrid din punctul de vedere al comportării în testul de impact prin căderea greutății. În literatura de specialitate, există numeroase lucrări care au utilizat acest tip de încercare pentru analiza dinamică a plăcilor dreptunghiulare fabricate din materiale compozite ranforsate cu fibre de carbon (Dogaru 2008a) sau materiale compozite hibride de tip sticlă / grafit / epoxi (Ercan ș.a. 2009).

OBIECTIVE

Lucrarea de față propune utilizarea făinii de lemn rezultate prin reciclarea deșeurilor lemnoase din industrie pentru a fabrica un material compozit hibrid din rășină ranforsată atât cu țesătură de sticlă așezată în șapte straturi bidirecționale cât și cu făină de lemn de stejar (14% în greutate).

Aplicațiile descrise mai sus, pentru un astfel de material compozit hibrid, implică adesea solicitări de impact cu pietre sau ciocniri. Din acest punct de vedere, caracterizarea materialului în ceea ce privește comportarea dinamică la impact, devine o necesitate. Astfel, principalul obiectiv al lucrării de față, este de a analiza efectele diferitelor viteze de impact asupra comportării mecanice în cazul unor panouri fabricate din astfel de material compozit. Deasemenea, se analizează modul de rupere al plăcilor.

METODA, MATERIALE SI APARATURA

Înainte de toate, s-a fabricat un panou din material compozit stratificat format din șapte straturi bidirecționale din rășină epoxi ranforsată cu țesătură

considered another innovation of the 1990s (Klyosov 2007). In the last years, hybrid wood-plastic-polyurethane composites and biodegradable composites were developed. The latter ones were special designed for short lifetime in outdoor applications.

In this context, the field of the wood flour based composite materials is continuously developing. There are numerous papers that have analyzed the effects the wood fibres type (Cerbu *et al.* 2010) and of the wood fibre size (Cui *et al.* 2008) on the mechanical characteristics of the obtained composite materials.

In a recent paper (Cerbu *et al.* 2010), it was concluded that the reinforcement of the wood flour based composite materials with glass fabric leads to considerable improvement of the mechanical characteristics (flexural strength, Young's modulus). This hybrid composite material could be used in applications as buildings (partition walls, interior decorations), garden furniture manufacturing, panels for sound protection of the habitats placed at the limit of highways etc.

The results presented in this paper are a continuity of this direction of research and focus on the presentation of this hybrid material depending on its behaviour on the drop-weight impact test. Numerous papers were found in the literature in the field, where this test of dynamic analysis was used, as for rectangular panels made of composite materials reinforced with carbon fibres (Dogaru 2008a) or for hybrid composite materials of glass / graphite / epoxy type (Ercan *et al.* 2009).

OBJECTIVES

The present paper proposes the use of the wood flour obtained from the recycled industrial wood waste from production into a hybrid composite material made of resin reinforced with six bidirectional layers of glass woven fabric and oak wood flour (14% of weight).

The applications described above for such a hybrid composite material, often involve impact loads with stones or collisions. From this point of view, the analysis of the material concerning the dynamic behaviour in impact, becomes a necessity. Therefore, the main objective of the present paper is to analyse the effects of the different impact speeds on the mechanical behaviour in case of some panels made of such composite material. Also, the failure of the panels it is also analyzed.

METHOD, MATERIALS AND EQUIPMENT

First of all, a laminated composite panel made of seven bidirectional layers of epoxy resin reinforced with glass woven fabric was manufactured. In each layer the oak wood flour was added as a filling material (14% of the weight) in order to increase the

de fibre de sticlă. În fiecare strat, s-a adăugat făină de lemn de stejar ca material de umplutură (14% în greutate) pentru a mări rigiditatea panoului. Caracteristicile mecanice ale rășinii epoxi (cu întăritor) fără ranforsare, sunt: tensiunea de rupere la tracțiune $\sigma = 70\text{MPa}$; modul de elasticitate $E=3100\text{MPa}$; $K=40\text{kJ/m}^2$ – reziliență sau rezistență la impact (epruvetă Charpy necrestată).

Pentru turnarea straturilor s-a utilizat tehnologia formării manuale care utilizează o rolă pentru impregnarea cu rășină, a fibrelor de sticlă. În final, grosimea panoului a fost egală cu 9mm. Placa stratificată a fost ținută la temperatura camerei pentru trei săptămâni.

Apoi, au fost confecționate cinci epruvete având formă dreptunghiulară (150mm x100mm) pentru încercarea de impact prin căderea greutății. Epruvetele au fost tăiate în aceeași direcție deoarece țesătura de sticlă utilizată pentru ranforsare este bidirecțională, cu același tip de fir după ambele direcții. Epruvetele au fost codificate de la S.1.1 până la S.1.5. Dimensiunile epruvetelor au fost stabilite în acord cu standardul ASTM – D 5420 – 98a care se referă la metoda de încercare a rezistenței la impact a epruvetelor din plastic prin căderea liberă a unui percutor.

Încercarea de impact prin căderea greutății este utilizată pentru a caracteriza comportarea dinamică a unui material. Echipamentul (Fig. 1) constă într-un cadru cu două coloane care are o greutate care poate fi ridicată și eliberată să cadă liber, cu frecare mică, prin alunecare de-a lungul coloanelor sub greutatea proprie. Apoi, percutorul lovește la mijlocul epruvetei care este o placă dreptunghiulară (Fig. 2). Percutorul are un cap semisferic al cărui diametru este de 16mm, iar masa sa este egală cu 1,9kg. Accelerometrul este fixat pe partea superioară a percutorului și semnalul (acelerația) este preluat în calculator prin intermediul unei plăci de achiziție NI USB 6251 BNC.

Cele cinci epruvete au fost testate cu viteze diferite de impact: S.1.1 cu viteza $v=2\text{m/s}$; S.1.2, S.1.3 cu viteza $v=4\text{m/s}$; S.1.4, S.1.5 cu viteza $v=5\text{m/s}$. Dacă viteza de impact este mai mică decât 10m/s, se spune că, impactul este de viteză mică (Sierakowski s.a. 1997). În acest context, înălțimea de la care a fost eliberată greutatea s-a calculat cu bine-cunoscuta relație:

$$h = \frac{v^2}{2g} \quad [\text{m}] \quad (1)$$

unde g este accelerația gravitațională.

Utilizând o astfel de încercare, se pot obține câteva date referitoare la proprietățile mecanice ale unui material: energia U absorbită în timpul impactului; variația forței de impact F în momentul impactului; variația deplasării percutorului δ ca funcție de timp etc.

În cazul încercării de impact prin căderea greutății, singura mărime măsurată ca o funcție de timp este forța de contact $F(t)$ exercitată de greutatea care cade pe epruvetă. Săgeata epruvetei este determinată ca o funcție de timp prin integrarea

rigidity of the panel. The mechanical characteristics of the epoxy resin (with hardener) without reinforcement are: Failure tensile stress $\sigma = 70\text{MPa}$; Modulus of elasticity $E=3100\text{MPa}$; $K=40\text{kJ/m}^2$ – resilience or impact strength – (uncut Charpy specimen).

In order to mould the layers, the forming hand-made technology was used. A roll for the impregnation of the glass fibres with resin was used. Finally, the thickness of the panel was 9mm. The laminated panel was preserved at the room temperature for three weeks long.

Then, five specimens with rectangular shape (150mm x100mm) were cut from the panel and have been used for the impact drop-weight test. The specimens were cut in the same direction because the glass fabric used for reinforcement is bidirectional, having the same type of yarns on both directions. The specimens were given code numbers from S.1.1 up to S.1.5. The sizes of the specimens were established according to ASTM – D 5420 – 98a norm, which refers to the impact strength testing method of the plastic specimens using a freefall striker.

The drop-weight impact test was used to analyse the dynamic behaviour of the material. The equipment (Fig. 1) consists of a frame with two columns and a weight that may be raised and released to fall free with low friction force, by sliding along the columns under the own weight. Then, the striker hits at the middle of the specimen which is a rectangular panel (Fig. 2). The striker has a hemispherical head of 16mm diameter and a weight of 1.9kg. The accelerometer is mounted on the top of the striker and the signal (acceleration) is transmitted into the computer by an acquisition board NI USB 6251 BNC.

The five specimens were tested with different impact velocities: S.1.1 with the speed of $v=2\text{m/s}$, S.1.2, S.1.3 with the speed of $v=4\text{m/s}$, S.1.4, S.1.5 with the speed of $v=5\text{m/s}$. If the impact velocity is less than 10m/s, it is considered to be a low velocity impact (Sierakowski et al. 1997). In this context, the height from which the weight was released, was calculated with the well-known formula:

$$h = \frac{v^2}{2g} \quad [\text{m}] \quad (1)$$

where g is the gravitational acceleration.

The use of such a test leads to the obtaining of some data concerning to the mechanical properties of a material: the energy absorbed during the impact (U); the variation of the impact force F at the moment of impact; variation of the striker displacement δ depending on time etc.

In case of the impact drop-weight test, the unique measured characteristic depending on time is the contact force $F(t)$ applied by the weight that drops on the specimen. The deflection of the specimen is determined depending as function of time, by numerical integration of the motion equation of the striker.

numerică a ecuației de mișcare a percutorului.



Fig. 1.

Echipamentul pentru testul de impact prin căderea greutății / Equipment for drop-weight impact test.

Astfel, ecuația de mișcare a percutorului poate fi scrisă (Dogaru 2008b):

$$a(t) = g - \frac{F(t)}{m} \quad [\text{m/s}^2] \quad (2)$$

unde m este masa proiectilului.

Considerând timpul corespunzător inițierii impactului $t=0$, se integrează ecuația de două ori în funcție de timp:

$$v(t) = v_0 + \int_0^t \left[g - \frac{F(t')}{m} \right] t' \quad [\text{m/s}] \quad (3)$$

$$x(t) = x_0 + \int_0^t v(t') \quad [\text{m}] \quad (4)$$

unde condițiile inițiale sunt:

$$\text{pentru } t = 0 \Rightarrow \begin{cases} v = v_0; \\ x = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Cât timp epruveta nu este perforată sau total ruptă, aceasta rămâne în contact cu percutorul și se poate scrie următoarea condiție:

$$\delta(t) = x(t) \quad [\text{m}] \quad (6)$$

Energia absorbită poate fi calculată cu relația:

$$U(t) = \int_0^t F(t') \cdot v(t') \quad [\text{J}]. \quad (7)$$

Pentru achiziția datelor experimentale (acelerația) și pentru a calcula parametrii de răspuns descriși mai sus, s-a conceput o diagramă bloc prin utilizarea programului LabView.

REZULTATE EXPERIMENTALE

După ce semnalul înregistrat de accelerometru a fost transmis la calculator prin intermediul plăcii de achiziție, acesta a fost evaluat iar variația forței de contact F în momentul impactului (Fig. 3) a fost de asemenea calculată prin utilizarea programului LabView.

În aceeași manieră, s-au reprezentat comparativ

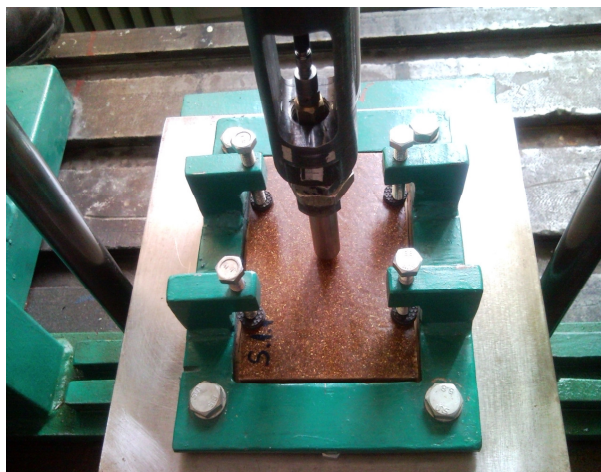


Fig. 2.

Epruveta în momentul impactului / The specimen at the impact time.

Therefore, the motion equation of the striker may be written (Dogaru 2008b):

$$a(t) = g - \frac{F(t)}{m} \quad [\text{m/s}^2] \quad (2)$$

where m is the striker weight.

Considering the time corresponding to the initiation of the impact $t=0$, the equation is twice integrated depending on time:

$$v(t) = v_0 + \int_0^t \left[g - \frac{F(t')}{m} \right] t' \quad [\text{m/s}] \quad (3)$$

$$x(t) = x_0 + \int_0^t v(t') \quad [\text{m}] \quad (4)$$

where the initial conditions are:

$$\text{for } t = 0 \Rightarrow \begin{cases} v = v_0; \\ x = 0. \end{cases} \quad (5)$$

As long as the specimen is not perforated or completely broken, it remains in contact with the striker and the following equation may be written:

$$\delta(t) = x(t) \quad [\text{m}] \quad (6)$$

The absorbed energy may be calculated using the equation:

$$U(t) = \int_0^t F(t') \cdot v(t') \quad [\text{J}]. \quad (7)$$

For the acquisition of the experimental data (acceleration) and in order to calculate the response parameters described above, a block diagram was designed using LabView program.

EXPERIMENTAL RESULTS

After the signal recorded by accelerometer was transmitted to the computer by the acquisition board, it could be assessed and the variation of the contact force F at the moment of the impact (Fig. 3) has been also calculated using the Lab View program.

In the same manner the variations in time of some other parameters calculated for the tested

variațiile în funcție de timp ale altor parametri calculați în cazul epruvetelor testate, după cum urmează:

- variația deplasării δ a percutorului în momentul impactului (Fig. 4);
- variația forței de contact F ca o funcție de deplasarea δ în momentul impactului (Fig. 5);
- variația energiei U în momentul impactului (Fig. 6).

samples were compared and represented, as follows:

- variation of the displacement of the striker δ at the moment of impact (Fig. 4);
- variation of the contact force F depending on the displacement δ at the moment of impact (Fig. 5);
- variation of energy U at the moment of impact (Fig. 6).

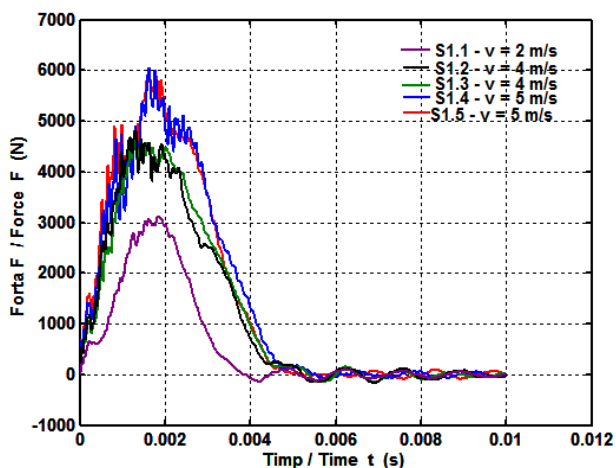


Fig. 3.

Variația forță-timp $F-t$ în momentul impactului / Variation force – time $F-t$ at the moment of impact.

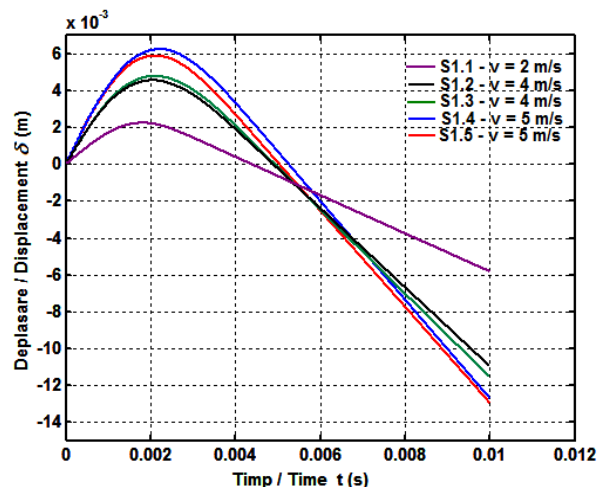


Fig. 4.

Variația deplasării δ a percutorului în momentul impactului / Variation of the displacement δ of the striker at the moment of impact.

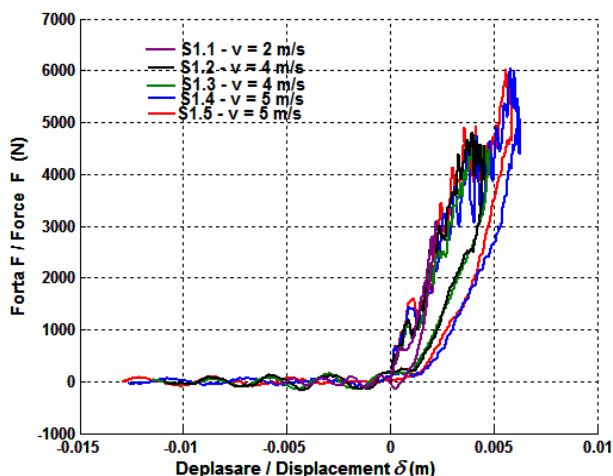


Fig. 5.

Curbele forță-deplasare $F-\delta$ în momentul impactului / Force – displacement $F-\delta$ curves at the moment of impact.

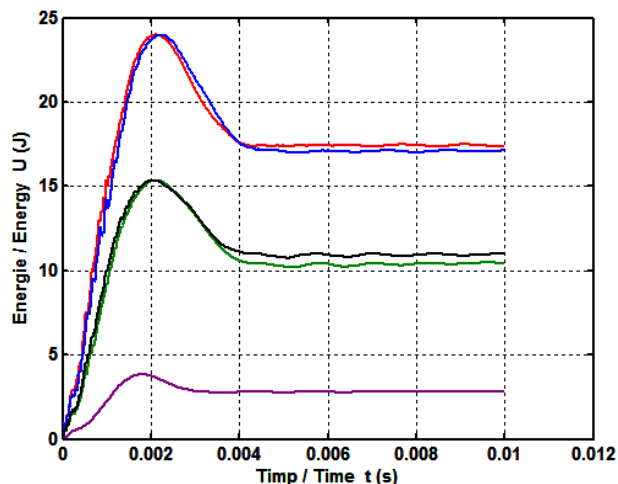


Fig. 6.

Variația energiei U în momentul impactului / Variation of the energy U at the moment of impact.

Se cunoaște deja (Cantwell 1988, Sierakowski ș.a. 1997) că, în cazul unei plăci compozite stratificate solicitată la impact de viteză mică, deteriorarea inițiată se propagă prin material, dinspre zona de impact unde a lovit percutorul. În secțiune, forma fisurilor propagate seamănă cu cea unui “arbore conifer” având vârful în

It is already known (Cantwell 1988, Sierakowski *et al.* 1997) that in case of a laminated composite panel subjected to low velocity impact, the initiated deterioration propagates through the material starting with the impact area where the striker hits. In the cross section the shape of the propagated cracks

zona de impact cu percutorul, în cazul unei ținte rigide. Contrar, fisurile se propagă începând de la suprafața opusă celei unde a lovit percutorul în cazul unui material flexibil (Cantwell 1988, Sierakowski ș.a. 1997). Astfel, deteriorarea se dezvoltă sub forma unui “arbore conifer invers” având vârful situat pe suprafața care este opusă zonei de contact cu percutorul.

Analizând zonele deteriorate prin impact (Fig. 7), se poate observa că, zonele deteriorate localizate pe fața epruvetelor (unde a lovit percutorul) sunt mai mici decât cele localizate pe partea din spate (suprafața inferioară a panoului). Deci, fisurile s-au propagat din locul unde lovește percutorul spre partea din spate a panoului. Această observație conduce la concluzia că panoul fabricat din materialul compozit hibrid implicat în acest studiu, este rigid. Pe de altă parte, așa cum era de așteptat, cu cât viteza de impact a fost mai mare cu atât zona deteriorată a fost mai mare.

appears to be similar to one of a “pine tree” having the peak in the area where the striker hits, if it is the case of a rigid target. In contrast, the cracks propagate from the opposite surface to one where the striker hits, if it is the case of a flexible target (Cantwell 1988, Sierakowski *et al.* 1997). Thus, the deterioration develops as a “reverse pine tree” having the peak located on the surface that is opposite to the contact area with the striker.

Analysing the areas damaged by the impact (Fig. 7), it can be observed that the damaged areas located on the front of the specimens (where the striker hits) are smaller than those located on the back (the bottom surface of the panel). So, the cracks have been propagated from the area where the strike hits to the back of the panel. This remark leads to the conclusion that the panel made of the hybrid composite material involved in this study is rigid. On the other hand, with the increasing of the impact velocity, the damaged area became larger.

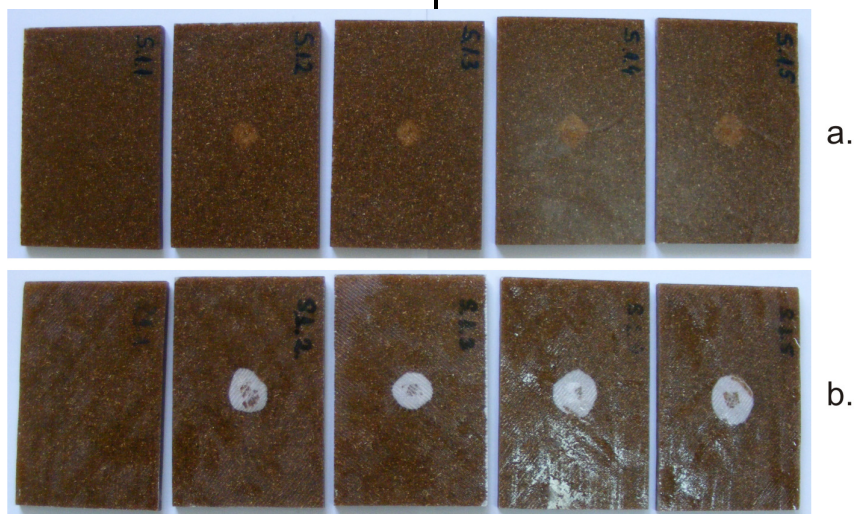


Fig. 7.
Epruvete după încercarea de impact / Specimens after impact test:
a – față / front; b – spată / back.

CONCLUZII

Fig. 4 arată că, deplasarea transversală maximă $\delta_{\max} = 0.0062\text{mm}$ a fost înregistrată pentru viteza de impact $v = 5\text{m/s}$. Deoarece deplasarea maximă este mult mai mică decât jumătate din grosimea plăcii, aceasta este considerată ca fiind o solicitare cu deplasări mici.

Analizând graficele prezentate din Fig. 6, se poate observa că, energia U a percutorului se reduce cu: 25% în cazul vitezei de impact $v = 5\text{m/s}$; 28% în cazul vitezei de impact $v = 4\text{m/s}$; 24% în cazul vitezei de impact $v = 2\text{m/s}$. Diferența de energie este consumată pentru ruperea epruvetei.

Pe viitor, autorii intenționează să cerceteze efectele tipului de făină de lemn (specie, dar mai ales granulație și tratament pentru compatibilizarea cu

CONCLUSIONS

Fig. 4 shows that the maximum transversal displacement $\delta_{\max} = 0.0062\text{mm}$ was recorded for the impact velocity $v = 5\text{m/s}$. Since the maximum displacement is much smaller than a half of the panel thickness, the loading is considered to be with small displacements.

Analyzing the diagrams shown in Fig. 6, it can be observed that the striker energy U is reduced with: 25% in case of the impact velocity $v = 5\text{m/s}$; 28% in case of the impact velocity $v = 4\text{m/s}$; 24% in case of the impact velocity $v = 2\text{m/s}$. The difference of energy is consumed to break the specimen.

In the future, the authors intend to investigate the effects of wood flour type (wood species, but more than that the size of the granules and the treatment to

rașinile sintetice) asupra comportării dinamice a panourilor fabricate din astfel de materiale compozite hibride de tipul țesătură din fibră de sticlă / făină de lemn / rășină.

MULȚUMIRI

Această lucrare a fost sprijinită de CNCSIS – UEFISCSU, număr proiect PNII – IDEI 733 / 2008.

make them compatible to the synthetic resins) on the dynamic behaviour of the panels made of hybrid composite materials with glass fibre fabric / wood flour / resin.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by CNCSIS – UEFISCSU, project number PNII – IDEI 733 / 2008.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- CANTWELL, W. J. (1988). The influence of target geometry on the high velocity response of CFRP. *Composite Structures*, 10 (3): 247-265.
- CERBU, C., CURTU, I. (2009). Particularități privind comportarea mecanică în mediu umed în cazul unui material compozit hibrid cu făină de lemn / Particularities concerning the mechanical behaviour in wet environment in case of a hybrid composite material with wood flour. *ProLigno*, 5 / 3: 37-45.
- CERBU, C., LUCA-MOTOC, D. (2010). Solutions for Improving of the Mechanical Behaviour of the Composite Materials Filled with Wood Flour, *Proceedings of The World Congress on Engineering 2010, Vol II*, ISBN 978-988-18210-7-2, WCE 2010, June 30 - July 2, 2010, London, U.K; Publisher: Newswood Limited; Organization: International Association of Engineers; pp. 1097-1100.
- CUI Y., LEE S., NORUZIAAN B., CHEUNG M., Tao J. (2008). Fabrication and interfacial modification of wood/recycled plastic composite materials. *Composites: Part A*, 39: 655–661.
- DOGARU, FI. (2008a). Mecanica compozitelor laminate. Aspecte privind comportamentul la impact. (Mechanics of the laminated composites. Aspects concerning to the behaviour under impact.) Editura Universității Transilvania din Brașov. ISBN 978-973-598-251-5.
- DOGARU, FI. (2008b). Instrumented impact testing of CFRP composite laminated panel. In: *Annals of DAAAM for 2009 & Proceedings of the 20th International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: focus on Theory, Practice & Education"*, vol. 20, no. 1, Vienna, p. 637 – 638.
- ERCAN, S., LIAW, B., DELALE, F., RAJU, B. B. (2009). Drop-weight impact of plain-woven hybrid glass-graphite/toughened epoxy composites. *Composites: Part A*, 40:1090–1110.
- KLYOSOV, A.A. (2007) *Wood-plastic composites*, John Wiley & Sons Publishing, USA, ISBN 978-0-470-14891-4, p. 75-122.
- SIERAKOWSKI, R.L., CHATURVEDI, S. K. (1997). *Dynamic loading and characterization of fiber-reinforced composites*. John Wiley & Sons Publishing.
- *** ASTM – D 5420 – 98a. Standard test method for impact resistance of flat, rigid plastic specimen by means of a striker impacted by a falling weight.