

**PLĂCILE STRATIFICATE DIN LEMN
MASIV - PROPRIETĂȚI ȘI UTILIZAREA ÎN
CONSTRUCȚII: O SINTEZĂ DIN
EXPERIENȚA CERCETĂTORILOR
ELVEȚIENI**

**CROSS LAMINATED TIMBER –
PROPERTIES AND USE FOR BUILDING
PURPOSES: A REVIEW FROM THE
EXPERIENCE OF SWISS
RESEARCHERS**

Peter NIEMZ*

Prof.Dr. - ETH Zürich, Institut für Baustoffe, Holzphysik
Adresa/Address: Schafmattstrasse 6, CH 8093 Zürich
Tel: 0041.44.6323230
E-mail: niemzp@ethz.ch

Walter SONDEREGGER

Eng - ETH Zürich, Institut für Baustoffe, Holzphysik
E-mail: wsonderegger@ethz.ch

Rezumat:

Lucrarea constituie o sinteză asupra proprietăților fizice și mecanice ale plăcilor stratificate din lemn masiv și a utilizării acestora în construcții. Sunt discutate relațiile structură-proprietăți pentru diferite materiale pe bază de lemn masiv. Proprietăți importante, precum rezistența, sorbția, difuziunea, conductivitatea termică sunt prezentate în corelație cu tipul de structură a plăcii. Prin varierea structurii, proprietățile pot fi optimizate într-un interval larg. Prezenta lucrare este bazată pe teste experimentale realizate de către cercetătorii elvețieni de la ETH Zürich.

Cuvinte cheie: plăci stratificate din lemn masiv; proprietăți mecanice; proprietăți fizice; construcții din lemn.

INTRODUCERE

Încă de la începutul anilor '90 au câștigat teren la utilizarea în construcții, pe lângă grinzile stratificate cunoscute de peste 100 de ani (dezvoltate în 1906 de Hetzer) și alte materiale noi, pe bază de lemn masiv, cum ar fi:

- plăcile stratificate din lamele de lemn masiv (așezate alternativ transversal, încleiate sau îmbinate cu cepuri din lemn de foioase tari, dispuse perpendicular pe planul plăcii);
- plăci din lamele îmbinate în cepuri de lemn, cuie sau încleiate;
- profile încleiate sau elemente de construcții cu ramă (parțial umplute cu materiale termoizolatoare sau nisip pentru izolare fonică).

La elementele îmbinate în cepuri, ținta este de a elimina complet adezivul. Masa mare a acestor elemente se valorifică prin proprietățile superioare de izolare termică și hidrofugă (Joscaș ș.a. 2011).

Fig. 1 prezintă o serie de materiale de construcție pe bază de lemn masiv.

Abstract:

An overview on the mechanical and physical properties of cross laminated timber (solid wood panels) in the building industry and its use in timber construction is presented. Structure-property relations for solid wood based materials are discussed. Important properties, such as strength, sorption, diffusion, thermal conductivity in relation to the board structure are presented. By varying the structure, the properties can be optimized over a wide range. The focus of this publication lies on experimental works performed by Swiss researchers at the ETH Zürich.

Key words: cross laminated timber; mechanical properties; physical properties; timber engineering.

INTRODUCTION

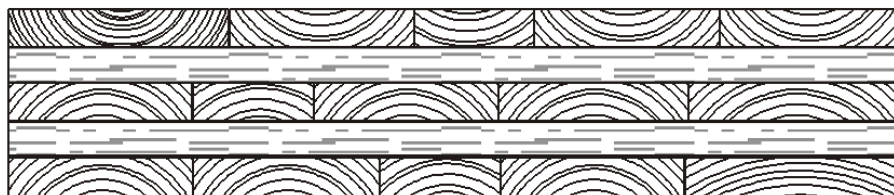
Since the early '90s, in addition to the laminated beams known for over 100 years (developed in 1906 by Hetzer), other new materials based on wood, came into attention for building purposes, such as:

- laminated solid wood panels made of lamellas (alternately transversally arranged, edge joined or glued with hardwood dowels placed perpendicular to the board surface);
- boards made of wood lamellas jointed with dowels, nails or glued together;
- glued profiles, framed building elements (partially filled with insulating materials or sand for soundproofing).

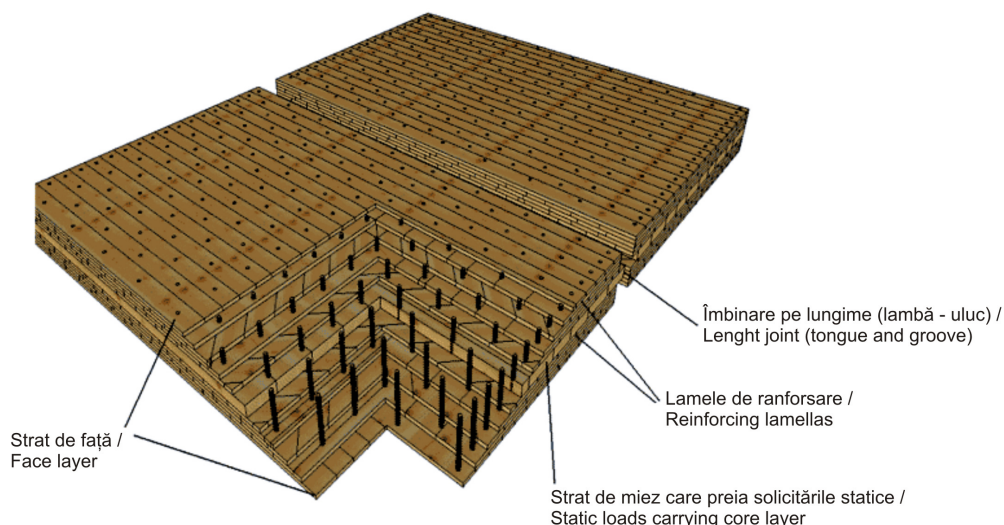
In case of dowel jointed elements, the aim is to completely remove the adhesive. The high mass of these elements is exploited through the superior thermal insulation and waterproof properties. (Joscaș *et al.* 2011).

Fig. 1 shows a range of wood-based materials used in timber engineering.

* Autor corespondent / Author to whom all correspondence should be addressed



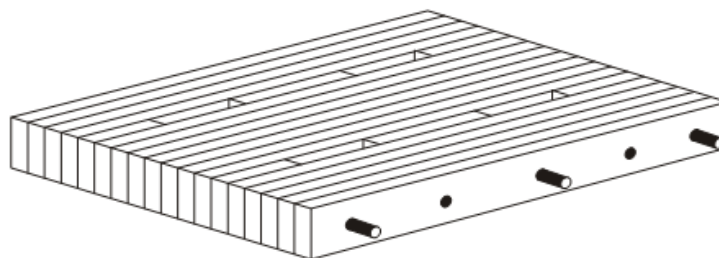
a – Placă stratificată din lamele de lemn masiv așezate alternativ transversal și încleiate / Cross-laminated solid wood panels made of alternately transversally arranged lamellas.



b – Placă stratificată din lamele de lemn masiv îmbinate în cepuri / Cross-laminated solid wood panel made of dowel jointed lamellas (Nägeli Holzbau AG, Switzerland).



c - Panou reconstituit din lamele de lemn masiv îmbinate cu cepuri tip lambă aplicată / Solid wood panel made of inlaid tongue jointed lamellas (Soligno, Italy).



d - Placă stratificată din lamele încleiate, parțial îmbinate cu planșeul de beton așezat deasupra / Laminated panel made of edge jointed lamellas, partially glued to the concrete ceiling (Tschopp Holzbau AG, Hochdorf, Switzerland).

Fig.1.

Materiale de construcție pe bază de lemn masiv / Solid wood-based building materials.

UTILIZAREA ÎN CONSTRUCȚII A PLĂCILOR STRATIFICATE DIN LEMN MASIV

Plăcile stratificate din lemn masiv pot fi utilizate în diferite construcții: case simple, multietajate, mansardări, lucrări pliate (de exemplu pentru construcția acoperișurilor), școli, dar și turnuri înalte (pentru centrale eoliene etc.), cum este TimberTower (Hanovra) cu o înălțime de 200m.

Materia primă utilizată este de cele mai multe ori lemnul de rășinoase (predominat-molid și brad, mai rar - pin și larice). Densitatea mai mare a lemnului de foioase (frasin, fag) crează probleme cu privire la masa elementelor, umflarea/contragerea mai mare, riscul crescut de fisurare, la care se adaugă problemele de încliere (Schmidt ș.a. 2010) și costurile mai mari, motiv pentru care aceste specii sunt mult mai rar utilizate. Krackler ș.a. (2010) au investigat soluții de depășire a acestor probleme și promovarea utilizării lemnului de foioase în componența materialelor de construcție pe bază de lemn masiv.

Plăcile pe bază de lemn masiv înglobează mult lemn (mult mai mult decât construcțiile tip ramă), dar acesta poate fi, mai ales la interiorul panourilor, de calitate inferioară. Față de alte materiale de construcție, lemnul are calitatea că absoarbe umiditatea în exces și CO₂-ul din aerul din încăpere și astfel se asigură o climă plăcută în casă. În Elveția, 18-20% din construcțiile noi de case sunt din lemn, iar la casele „Minergie” (cu consum redus de energie) procentajul ajunge la 40-50%.

În Fig. 2 se prezintă câteva exemple de utilizare a plăcilor pe bază de lemn masiv în construcții.

USE OF CROSS LAMINATED SOLID WOOD PANELS FOR BUILDING PURPOSES

Cross laminated solid wood panels can be used for various buildings: single houses, multi-storey houses, attics, folded constructions (e.g. roofing), schools and high towers (for wind and so on), as the Timber Tower (Hannover) is, with a height of 200m.

The most used raw material is the softwood (spruce and fir; rarely - pine and larch). The higher density of hardwoods (ash, beech) creates problems on the element masses, on a higher value of swelling / shrinkage, on an increased risk of fracture, a plus of gluing problems (Schmidt *et al.* 2010) and higher costs, so that these species are rarely used. Krackler *et al.* (2010) have investigated the solutions to overcome these problems and promote the use of hardwood in the composition of building materials based on wood.

Wooden based boards incorporate more solid wood (much more than standard frame constructions), but this one could be of a lower quality, especially inside the panel. Unlike other building materials, wood has the property of absorbing the moisture in excess and CO₂ from the air, ensuring thus a pleasant climate inside the house. In Switzerland, 18-20% of new buildings are wooden houses, and for the "Minergie" (low-energy) houses the percentage reaches 40-50%.

Fig. 2 shows some examples of the use of cross laminated solid wood panels in timber engineering.



a - Casă cu anexă realizată din plăci stratificate din lemn masiv (s-au utilizat 300m³ de lemn) / House and annex made of cross-laminated timber (300m³ of solid wood were used).

Foto: Nägeli Holzbau AG, Switzerland



*b – Montajul unei case multietajate din plăci stratificate din lemn masiv / Assembly of a multi-storey house made of laminated solid wood panels.
Foto: Nägeli Holzbau AG, Switzerland*



*c – Plăci stratificate din lemn masiv folosite ca elemente constructive supuse la încovoiere / Solid wood laminated panels used as structural elements subjected to bending.
Photo: Schilliger AG, Switzerland*

*Fig. 2.
Construcții din plăci stratificate din lemn masiv / Buildings made of laminated solid wood panels.*

Plăcile stratificate din lamele de lemn masiv se utilizează de mult timp și pentru cofraje de turnat beton. De asemenea, plăcile unistratificate, cunoscute sub denumirea de lemn reconstituit, constituie un segment de piață solid în industria fabricării mobilei.

În construcții se utilizează predominant formatele mari, de 3,4mx13,7m și grosimi până la 0,8m. Elementele sunt prelucrate pe mașini cu comandă numerică (pentru decuparea ușilor, ferestrelor, dozelor de priză etc.), ceea ce permite un grad avansat de pregătire (pre-prelucrare).

Costurile construirii cu materiale pe bază de lemn sunt mai mari decât în cazul utilizării betonului sau pietrei. Conform revistei Winter (2009), 1m³ de cherestea de construcții costă cca. 200 Euro comparativ cu 1m³ de beton, care costă cca. 50 Euro. Dar construcțiile din lemn au și anumite avantaje: durate de construcție mai scurte, climat mai sănătos în interiorul de locuit.

În continuare este prezentată o sinteză privind proprietățile plăcilor stratificate realizate din lamele de lemn masiv dispuse alternativ transversal și înclinate, pornind de la istoricul cercetărilor asupra acestui material.

CERCETĂRI PRIVIND PROPRIETĂȚILE PLĂCILOR STRATIFICATE DIN LEMN MASIV

Cercetările asupra plăcilor stratificate realizate din lamele de lemn masiv au fost demarate în Elveția la începutul anilor '90 de către G. Schickhofer de la Universitatea Tehnică din Graz și E. Gehri de la ETH Zürich. Grupul de lucru de la TU Graz condus de Prof. Schickhofer este și astăzi leader în domeniu, evidențiindu-se prin rezolvarea multor probleme practice. La sfârșitul anilor '90 au început cercetările și la IHD Dresda privind proprietățile mecanice și stabilitatea formei (Tobisch 2006). La ETH Zürich (în colaborare cu EMPA) s-au elaborat lucrări privind calculul proprietăților mecanice, stabilității formei și a rezistenței la umiditate (Gereke 2009), precum și cu privire la conductivitatea termică și difuziune (Bader ș.a. 2007, Sonderegger 2011). Tot în cadrul ETH Zürich, Gülzow (2008) a stabilit caracteristicile de elasticitate ale acestui tip de plăci din oscilațiile proprii. În prezent, numeroase firme fabrică acest material.

Modulul de elasticitate și rezistența la încovoiere statică

Prin înclădirea unor straturi transversale și diferite structurări ale plăcilor stratificate din lamele de lemn masiv, pot fi obținute proprietăți care variază în limite foarte largi. Cei mai importanți factori de influență sunt:

- proprietățile straturilor (modulul de elasticitate la încovoiere, modulul la torsiune, rezistențele mecanice);
- structura plăcii (grosimea straturilor, adezivul, incizarea straturilor de miez pentru reducerea

The laminated wood panels have been used for a long time for concrete formworks. Also, the one layer solid wood panels, known as reconstituted wood, represent a strong market share in the furniture manufacturing industry.

The large formats of 3.4mx13,7m and thicknesses up to 0.8 m are generally used for building purpose. The elements are processed on CNC machines (to cut the contour of the doors, windows, outlet boxes etc.), which results in a high level of pre-processing the elements.

The costs of buildings made of wood-based materials are higher than of the ones made of concrete or stone. According to Winter magazine (2009), 1m³ of timber for construction costs approx. 200 Euro compared with 1m³ of concrete, which costs approx. 50 Euro. But wooden buildings have certain advantages: shorter construction periods, healthier environment inside the house.

A summary of the properties of the cross laminated timber is presented hereinafter, right after a brief presentation of the history of the research work done on this material.

INVESTIGATIONS ON THE PROPERTIES OF CROSS LAMINATED SOLID WOOD PANELS

The investigations upon the laminated panels made of solid wood lamellas were started in Switzerland in the early '90s by G. Schickhofer from the Technical University of Graz and E. Gehri from ETH Zurich. The Working Group led by Prof. Schickhofer (TU Graz) is still a leader in the field, coming into attention because of their capacity of solving many practical problems. In the late 90's, the investigations on the mechanical properties and shape stability were started at HD Dresden (Tobisch 2006). Investigations regarding the calculation of the mechanical properties of the shape stability and of the resistance to the air humidity were developed at ETH Zürich (in cooperation with EMPA) (Gereke 2009) and also regarding the thermal conductivity and diffusion (Bader *et al.* 2007, Sonderegger 2011). Gülzow (2008) determined the elastic characteristics of this type of boards through own oscillations, in the frame of ETH Zürich, too. At present, a lot of companies manufacture this type of material.

MOE and Bending Strength

By gluing transversal layers and different structures of wood laminated panels, new properties can be obtained, which vary in large limits. The most important factors of influence are as follows:

- the properties of the layers (MOE, modulus of torsion, mechanical strength);
- the structure of the board (thickness of layers, adhesive, incision of the core layers in order to reduce the stresses caused by moisture content etc).

The cross laminated wood panels are so made,

tensiunilor cauzate de umiditate ș.a.).

Plăcile stratificate din lemn masiv se realizează astfel încât să reziste la solicitări perpendiculare pe planul plăcii (ex: planșee, poduri), dar și paralele pe planul plăcii (ex: pereți, structuri portante în hale – vezi Fig. 2c). La pereți apare și o solicitare de compresiune. La utilizarea pentru elemente supuse la încovoiere și solicitări paralele cu planul plăcii pot fi preluate, spre deosebire de cazul grinzilor stratificate, solicitări de tracțiune perpendiculară mult mai mari, pentru că în cazul plăcilor, stratul de miez este solicitat în lungul fibrei. Astfel, faptul că lemnul are o rezistență redusă la tracțiune perpendicular pe fibre nu mai contează.

Fig. 3 și 4 ilustrează influența structurii plăcii și a incizării stratului de miez asupra rezistenței la încovoiere a unor probe de format mic (Steiger și Niemz 2004). În cazul testării unor bucăți de placă apare adeseori fenomenul cedării stratului de miez din cauza forfecării la rulare/rostogolire (rupere în planul RT al stratului de miez).

to withstand the perpendicular strains on their faces (e.g. floors, bridges), but also parallel ones (e.g. walls, halls structures - see Fig. 2c), too. At the same time, compression strains occur in the walls. In case of elements subjected to bending strain and parallel forces to the faces of the board, unlike the laminated beams, much higher perpendicular tensile strains can be absorbed by the core layer of the laminated panel, where the force is applied along the grain. In this case, the fact that the wood has a reduced tensile strength perpendicular to the grain is not important.

Fig. 3 and Fig. 4 show the influence of the panel structure and of the incision of the core layer upon the bending strength of certain small samples (Steiger and Niemz 2004). In case of testing some parts of the panel, the phenomenon of fracture in the core layer often occurs, because of the rolling shear (fracture of the core layer in the RT plane).

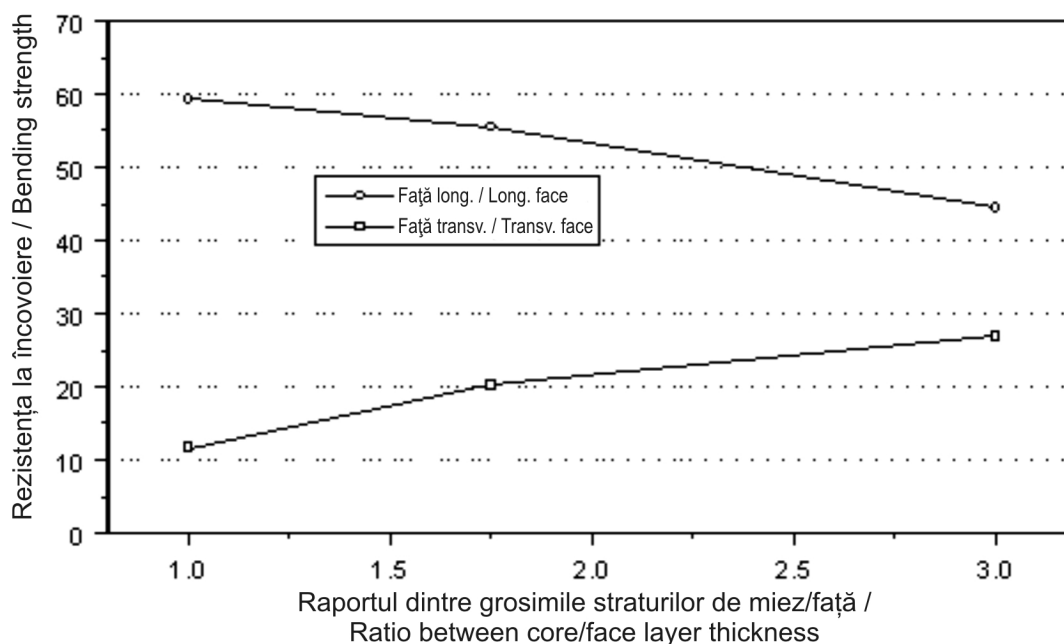


Fig. 3.

Modulul de elasticitate și rezistența la încovoiere statică, în funcție de raportul grosimilor straturilor de față și de miez (raport 1: 10/10/10; raport 1,75: 8/14/8; raport 3: 6/18/6), la o grosime a plăcii de 30mm și o presiune de presare de 6 bar / MOE and bending strength, as function of the rate between the thicknesses of the face and core layers (rate 1: 10/10/10; rate 1,75: 8/14/8; rate 3: 6/18/6) for a 30mm thick board and a pressure of 6 bar (Steiger and Niemz 2004).

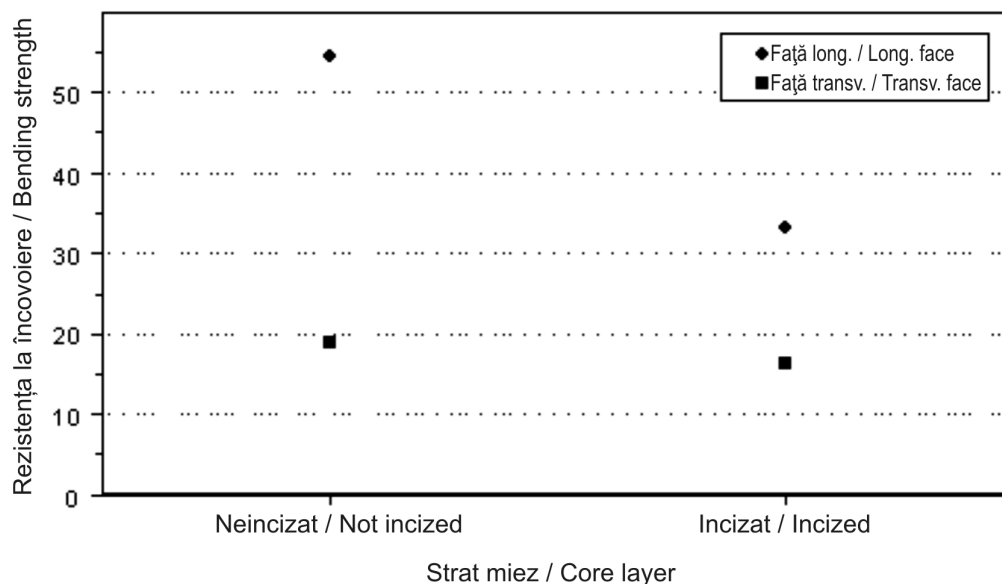


Fig. 4.

Influența incizării stratului de miez / The influence of incising the core layer of the panel (Steiger and Niemz 2004).

Modulul de elasticitate la încovoiere al plăcii poate fi calculat pe baza modulelor de elasticitate ale straturilor și în funcție de structura plăcii. În Tabelul 1 se prezintă câteva modele de calcul selectate.

Testele pe plăci rezemate pe patru laturi (Fig. 5) cu formate de 2,5x2,5m (70mm grosime) și măsurători comparative pe bucăți de placă au arătat că, ruperea prin forfecare este foarte rară (Czaderski ș.a. 2007). Pe aceste plăci s-au măsurat valori mai mari ale rezistenței la rupere decât la grinzi (Tabelul 2). Se vede aici influența clară a calității lemnului folosit pentru straturile de față. Prin utilizarea lemnului sortat în funcție de rezistență pentru straturile de față, pot fi majorate modulul de elasticitate și rezistența la încovoiere statică a întregului element în ansamblu. În Tabelul 3 se prezintă o sinteză a celor mai importanți factori structurali care influențează proprietățile fizico-mecanice ale plăcilor tristratificate din lemn masiv, realizate în condiții de laborator.

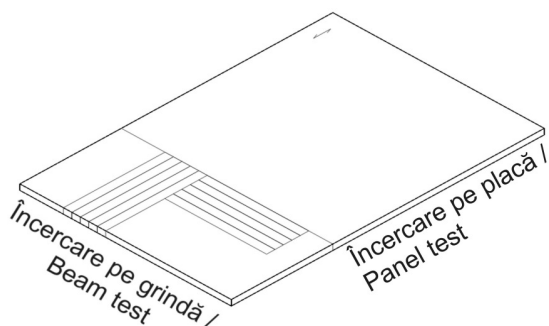
MOE of the board can be calculated as function of the particular MOE of the layers and depending on the structure of the panel. In Table 1 several methods of calculation are selected.

The tests performed on the panels supported on four sides (Fig. 5) with sizes of 2,5x2,5m (70mm thick) and on panel parts showed that shear fracture is very rare (Czaderski *et al.* 2007). On these boards, higher values of the tensile strength were measured than in case of beams (Table 2). Thus, the influence of the wood quality of the face layers can be clearly seen. Using the sorted wood depending on the required strength of the face layers, the modulus of elasticity and the bending strength of the entire element as a whole can be increased. Table 3 presents a summary of the most important structural factors that have influence upon the physical and the mechanical properties of the three-layered solid wood panels made in laboratory conditions.

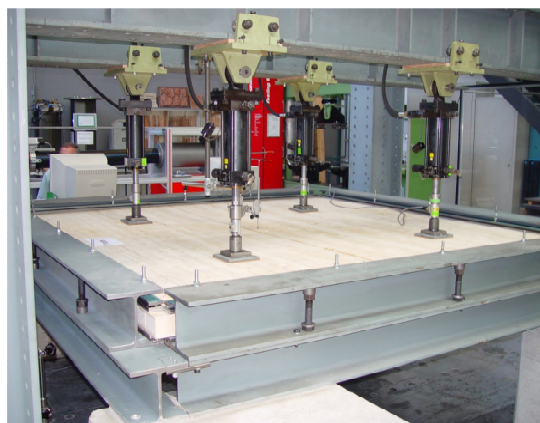
Tabelul 1 / Table 1

Exemple de calcul ale modului de elasticitate al plăcii la plăci tristratificate/ Examples of MOE calculation in case of three-layered laminated boards

Paralel pe fibrele stratului de față/Parallel to the fibers of the face layer	Perpendicular pe fibrele stratului de față/Perpendicular to the fibers of the face layer
$E_{m,0} = E_0 \cdot \gamma_0$ (1)	$E_{m,90} = E_0 \cdot \gamma_{90}$ (2)
Prin analogie cu placajul / Analogy to plywood (Steck 1988): $\gamma_0 = \frac{h_3^3 - h_1^3}{h_3^3}$ (3)	Prin analogie cu placajul / Analogy to plywood (Steck 1988): $\gamma_{90} = \frac{h_1^3}{h_3^3}$ (4)
Analogie cu placajul modificată / Modified analogy to plywood (Blass & Görlacher 2003): $\gamma_0 = \frac{h_3^3 - \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) h_1^3}{h_3^3}$ (5)	Analogie cu placajul modificată / Modified analogy to plywood (Blass & Görlacher 2003): $\gamma_{90} = \frac{\frac{E_{90}}{E_0} h_3^3 + \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) h_1^3}{h_3^3}$ (6)
E_0 = modulul de elasticitate al unui strat în direcție paralelă pe fibre / MOE of a layer parallel to the grain E_{90} = modulul de elasticitate al unui strat în direcție perpendiculară pe fibre / MOE of a layer perpendicular to the grain $E_{m,0}$ = modulul de elasticitate al unei secțiuni multistrat în direcție paralelă pe fibrele stratului de față / MOE of a multilayer section parallel to the fibers of the face layer $E_{m,90}$ = modulul de elasticitate al unei secțiuni multistrat în direcție perpendiculară pe fibrele stratului de față / MOE of a multilayer section perpendicular to the fibers of the face layer $n/0$ = factor de structură paralel pe fibrele stratului de față / structure coefficient parallel to the fibers of the face layer $n/90$ = factor de structură perpendicular pe fibrele stratului de față / structure coefficient perpendicular to the fibers of the face layer h_1 = grosimea stratului de miez / thickness of the core layer h_3 = grosimea totală a plăcii tristratificate / total thickness of the panel.	



a.



b.

Fig. 5.

Testarea plăcilor / Boards testing:

a – schema prelevării probelor / sampling scheme; b – stand de încercare / stand for tests
(Foto: Empa, Dübendorf).

Tabelul 2 / Table 2

Rezistența la încovoiere statică a grinzilor și plăcilor tristratificate (grosime 70mm; format placă 2,5mx2,5m); testare grindă prin testul în patru puncte conform EN 789 / Bending strength of beams and of three-layered panels (70mm thick; panel sizes 2,5mx2,5m); four points tests of the beam according to EN 789 (Czaderski et al. 2007)

Producător/ Producer	n	Min [N/mm ²]	Media/Mean [N/mm ²]	Max [N/mm ²]	Median [N/mm ²]	S [N/mm ²]	X ₀₅ [N/mm ²]
Teste pe grinzi/ Beam tests							
A	70	18.7	36.5	50.4	37.6	6.18	25.5
B	78	20.3	39.9	54.4	41.1	6.71	28.0
Teste pe plăci/ Panel tests							
A	12	35.1	50.7	61.4	50.0	8.20	35.1
B	12	49.6	59.8	68.6	59.5	5.86	48.0

Sorbția și umflarea

Comportamentul la sorbție al plăcilor stratificate în lemn masiv coincide cu cel al speciei utilizate (aproape exclusiv molidul). În domeniul superior al izotermei sorbției (în domeniul condensăției capilare), umiditatea plăcii este mai mică decât la lemnul masiv. Prin efectul de închidere dat de suprapunerea încrucișată a foilor de furnir, umflarea longitudinală este mult mai redusă decât cea perpendiculară pe fibre la lemnul masiv, dar ușor mai mare decât cea în lungul fibrelor la lemnul masiv (Tabelul 3). Astfel, umflarea longitudinală la o variație de 1% a umidității este de cca. 0,01%/ la lemnul masiv de molid, în timp ce la plăcile din lemn masiv de molid ea este de cca. 0,016-0,025%/ în planul plăcii și 0,3-0,5%/ pe grosimea acesteia (Dunky și Niemz 2002)(Fig. 6).

Sorption and Swelling

The sorption behavior of cross laminated panels is similar to that of the solid wood of the same species (almost exclusively spruce). In the upper level of the sorption isotherm (in the terms of capillary condensation), the panel moisture content is smaller than that of the solid wood. The cross overlapping of the veneer sheets has as result a much lower longitudinal swelling than perpendicular to the grain of solid wood, but slightly higher than along the grain of solid wood (Table 3). Thus, the longitudinal swelling at a variation of 1% moisture content is about 0.01%/ for spruce wood, while for the spruce panels it is about 0.016 to 0.025%/ in the plane of the panel and 0.3 to 0.5%/ on its thickness (Dunky and Niemz 2002) (Fig. 6).

Tabelul 3 / Table 3

Proprietăți selectate ale plăcilor tristratificate de lemn masiv (Bader ș.a. 2007); măsurarea difuziunii realizată cu testul Dry Cup (20°C/Silikagel-20°C/65%)/ Selected properties of the three-layered solid wood panels (Bader et al. 2007); diffusion measurement by Dry Cup test (20°C/Silikagel-20°C/65%)

Structura plăcii ^a /Structure of the board ^a	Umflarea la variația cu 1% a umidității/Swelling at a variation of 1% moisture content		Rezistența la difuziunea vaporilor de apă/ Resistance to the water vapor diffusion	Conductivitatea termică/ Thermal conductivity
	Paralel pe fibrele straturilor de față/ Parallel to the fibers of the face layer	Perpendicular pe fibrele straturilor de față/ Perpendicular to the fibers of the face layer		
mm	%	%	-	W/m·K
10 / 10 / 10	0.012	0.016	0.091	134.2
10 / 20 / 10	0.018	0.011	0.096	122.4
10 / 40 / 10	0.014	0.010	0.099	148.3
7 / 14 _G / 7	0.010	0.009	0.095	109.2
20 / 30 _G / 20	0.013	0.015	0.094	95.7
10 _{st} / 10 / 10 _{st}	0.015	0.016	0.088	120.7
14 _{st} / 14 _{st} / 14 _{st}	0.011	0.020	0.104	165.7
10 / 10 _{AO} / 10	0.018	0.017	0.101	124.9
10 / 10 _{A5} / 10	0.014	-	0.100	117.6
10 / 10 _{A10} / 10	0.012	-	0.094	81.1
10 / 10 _{A30} / 10	0.015	-	0.091	69.8
10 _{li} / 10 / 10 _{li}	0.010	0.024	0.096	91.5

^a G-incizat, st – inele anuale verticale, li – inele anuale orizontale, Ax – lamele neîncleiate (cu distanța x)/
G-incised, st – vertical annual rings, li – horizontal annual rings, Ax – unglued lamellas (with x distance)

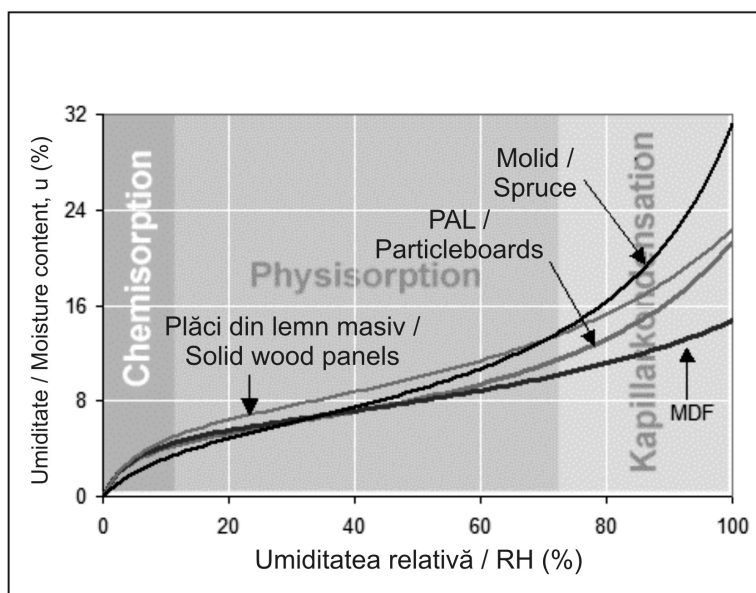


Fig. 6.

Comportamentul la sorbție a diferite materiale de construcții pe bază de lemn/ Sorption behavior for various wood based materials (Dunky and Niemz 2002).

Rezistența la difuziunea apei

În Tabelul 3 și Fig. 7 și 8 se prezintă rezultatele obținute cu privire la comportamentul plăcilor stratificate la difuziunea apei. Este evidentă influența densității asupra coeficientului de difuziune, la toate plăcile analizate, dar și influența structurii plăcii. Mărirea distanței între lamelele stratului de miez conduce la scăderea densității. Simultan scade rezistența la difuziune și conductivitatea termică. Rezistența de difuziune este vizibil mai mică în direcție radială. Incizarea stratului de miez și aplicarea unor goluri între scândurile stratului de miez conduc la o reducere semnificativă a rezistenței la difuziune.

Resistance to the Water Vapor Diffusion

In Table 3 and Fig. 7 and 8, the results of the behavior of the cross laminated boards to the water vapor diffusion are presented. The influence of the density and of the board structure upon the diffusion coefficient in case of all investigated boards is obvious. Increasing the distance between the lamellas of the core layer leads to the decreasing of the density. The resistance to the diffusion and the thermal conductivity decrease simultaneously. The resistance to the diffusion is visible lower on the radial direction. The incision of the core layer and the gaps between the wood strips drive to a major decrease of the resistance to diffusion.

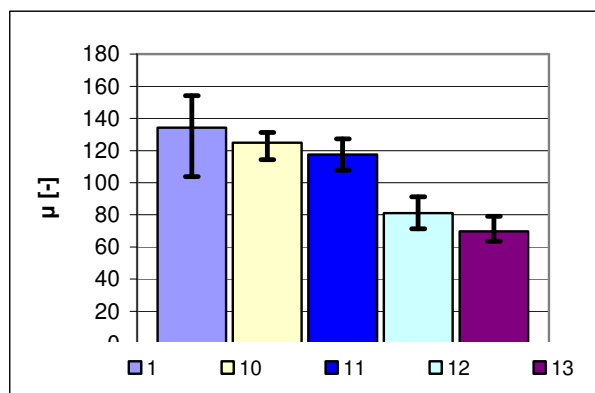


Fig. 7.

Influența distanței între lamelele stratului de miez asupra rezistenței la difuziune a plăcilor din lemn masiv (Bader ș.a. 2007), testul dry cup:

1=încleiere pe canturi; 10-neîncleiate; 11-5mm, 12-10mm, 13-30mm /

The influence of the distance between the lamellas of the core layer upon the resistance to diffusion in case of solid wood panels (Bader et al. 2007), dry cup test: 1- edge jointed; 10-unjointed; 11-5mm, 12-10mm, 13-30mm.

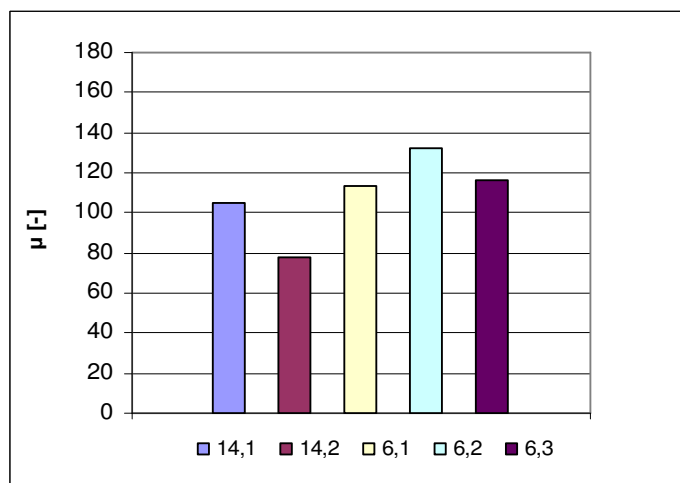


Fig. 8.

Influența orientării structurale a fețelor asupra rezistenței la difuziune a plăcilor din lemn masiv, testul dry cup: 6.1-6.3-difuziune tangențială; 14.1-14.2-difuziune radială; plăci 10/10/10 / The influence of structure orientation upon the resistance to diffusion in case of solid wood panels, dry cup test: 6.1-6.3-tangential diffusion; 14.1-14.2-radial diffusion; panel structure 10/10/10 (Bader et al. 2007).

Conductivitatea termică

Conductivitatea termică a unei plăci tristratificate din lemn masiv de molid este puțin sub 0,1W/MK, comparabilă cu cea a lemnului masiv de molid, în direcție perpendiculară pe fibre. În Tabelul 3 se prezintă valorile determinate ale coeficientului de conductivitate termică și a umflării longitudinale la variația cu 1% a umidității la plăci tristratificate realizate în condiții de laborator, cu diferite structuri. Stratul de miez a fost realizat din elemente incizate, iar distanța între lamelele stratului de miez a fost variată pentru a vedea cum variază sub această influență coeficientul de conductivitate termică (Fig. 9). Aici trebuie ținut cont că distanțe prea mari între lamele conduc la creșterea conductivității termice prin convecție.

Thermal Conductivity

The thermal conductivity of a three-layered laminated solid wood panel made of spruce wood is a little smaller than 0,1W/MK, and it is quite similar to that of the solid wood, perpendicular to the grain. In Table 3, the values of the thermal conductivity coefficient and the longitudinal swelling for a variation of 1% moisture content for three-layered panels in various structures, made in laboratory conditions, are presented. The core layer was incised, and the distance between the lamellas of the core was variable, in order to investigate the variation of the thermal conductivity coefficient accordingly (Fig. 9). In the specified case, the higher distance, the higher thermal conductivity through convection obtained.

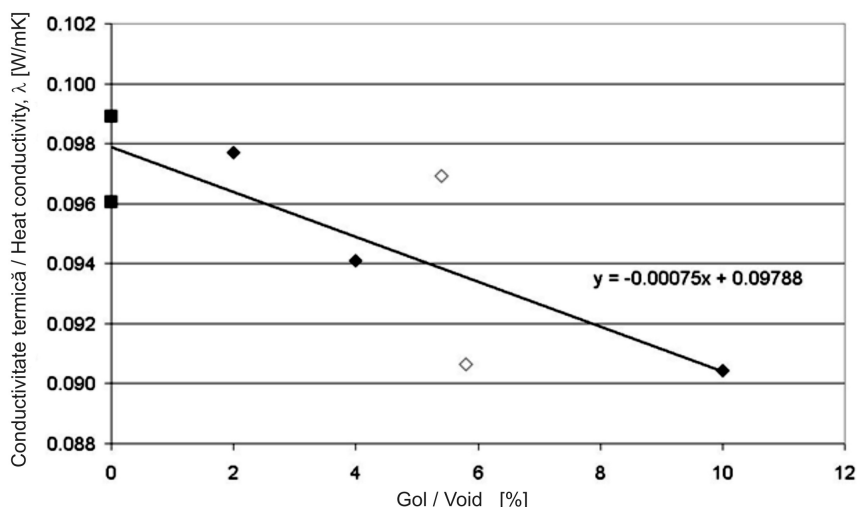


Fig. 9.

Conductivitatea termică a plăcilor tristratificate din lemn masiv ca funcție de distanța între lamelele stratului de miez / The thermal conductivity of three-layered solid wood panels, as function of the distance between the lamellas of the core layer (Bader et al. 2007).

Tensiuni induse de variațiile de umiditate

Tensiunile existente în plăci pot fi evidențiate prin debitarea unor epruvete și măsurarea alungirii și modului de elasticitate conform principiului lui Hooke. Pentru măsurarea presiunii de umflare s-a utilizat dispozitivul prezentat în Fig. 10 (modificat după Döhring 2004).

Stresses Induced by the Moisture Content Variation

The internal stresses in panels can be identified by cutting some samples and measuring the elongation and modulus of elasticity according to Hooke's principle. In order to measure the swelling pressure, the device shown in Fig. 10 was used for tests (modified according to Döhring 2004).

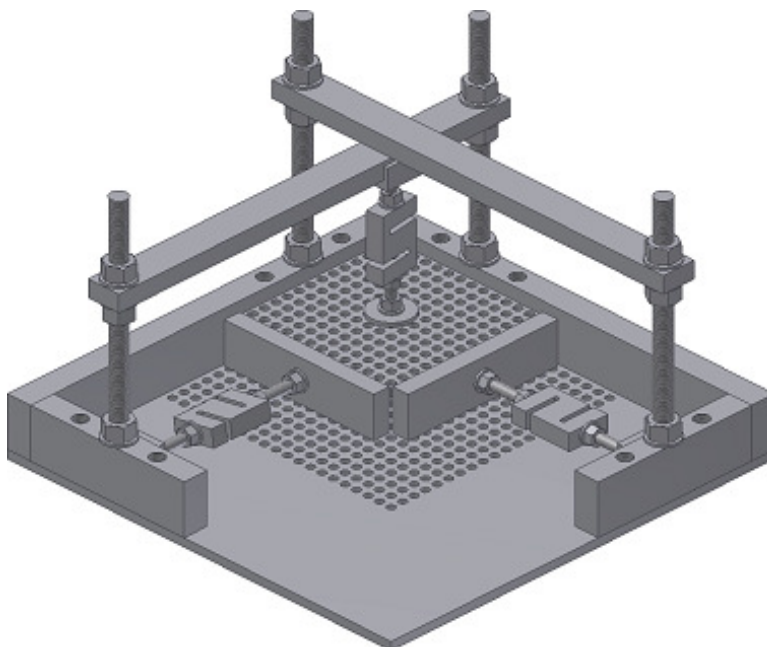


Fig. 10.

Dispozitiv de măsurare a presiunii de umflare, modificat după Döhring 2004 (Clauss ș.a. 2010)/ The device used for measuring the swelling pressure, modified according to Döhring 2004 (Clauss et al. 2010).

În Tabelele 4 și 5 este prezentată o selecție a rezultatelor obținute. Presiunea de umflare măsurată are valori net inferioare tensiunilor măsurate după debitare. O mare parte din tensiuni este preluată așadar de straturile de adeziv, respectiv se atenuează prin deformări plastice.

In Tables 4 and 5, a selection of the results is presented. The measured swelling pressure has much lower values compared with the stresses measured after cutting operation. A major part of the stresses is taken by the adhesive layers and reduced by plastic deformations.

Tabelul 4/Table 4

Presiunea de umflare după 10 zile de depozitare într-o climă umedă 20°C/85% (după condiționarea la 20°C/65%)(Clauss ș.a. 2010)/ The pressure of swelling after 10 days of storage in a humid climate 20°C/85% (after conditioning at 20°C/65%)(Clauss et al. 2010)

Variante/ Variants	p_{Qx} N/mm ²	p_{Qy} N/mm ²	p_{Qz} N/mm ²
EL-FI-90	0,53	0,78	0,02
EL-FI-0	0,61	1,09	0,04
EL-MDF	0,30	0,32	0,03
DSP-FI-90	0,21	0,25	0,03
DSP-FI-0	0,18	0,19	0,03
DSP-MDF-90	0,17	0,20	0,03

EL - unistratificată, DSP - tristratificată, 0 - inele anuale orizontale (radială), 90 - inele anuale verticale (tangentială), p_Q - presiunea de umflare, x - în lungul fibrelor, în planul plăcii, y - perpendicular pe fibre, în planul plăcii, z - perpendicular pe planul plăcii /
EL - one layer, DSP - three-layered, 0 - horizontal annual rings (radial), 90 - vertical annual rings (tangential), p_Q - swelling pressure, x - along the grain, in the plane of the panel, y - perpendicular to the grain, in the plane of the panel, z - perpendicular on the plane of the panel.

Tabelul 5 / Table 5

Tensiuni interne determinate după 10 zile de depozitare într-o climă umedă 20°C/85% (după condiționarea la 20°C/65%)(Clauss ș.a. 2010)/ Internal stresses occurred after 10 days of storage in a humid climate 20°C/85% (after conditioning at 20°C/65%)(Clauss et al. 2010)

Variante/ Variants	Poziție/ Position	Material	Orientare/ Orientation	σ N/mm ²	v_{σ} %	ω %	n
DSP-FI-90	Față	Molid	radial	-0,98	66	14,2	51
	Miez	Molid	radial	-0,73	23	13,6	20
DSP-FI-0	Față	Molid	tangențial	-1,18	34	14,7	43
	Miez	Molid	tangențial	-0,69	37	14,7	20
DSP-MDF-90	Față	Molid	radial	-0,95	35	14,2	56
	Miez	MDF	-	0,43	74	8,0	27

DSP - tristratificată, 0 - inele anuale orizontale (radială), 90 - inele anuale verticale (tangențială);

σ - tensiunea internă, v - coeficient de variație, ω - umiditatea, n - număr epruvete/

DSP – three-layered, 0 – horizontal annual rings (radial), 90 – vertical annual rings (tangential);

σ – internal stresses, v – variation coefficient, ω - humidity, n – number of samples.

Formarea de crăpături

Prin înclădirea încrucișată a straturilor, la variații de umiditate apar tensiuni interne mari în lemn și în straturile de adeziv. Dacă se folosește lemn uscat la o umiditate mai mică decât cea de echilibru, nu apar probleme, doar că supra-uscarea înseamnă costuri nejustificate și de aceea trebuie evitată. În schimb, dacă se folosește lemn insuficient uscat, tensiunile create la uscarea acestuia în timpul și după punerea în operă poate duce la apariția crăpăturilor. În special în cazul suprafețelor interioare vizibile este necesară uscarea până la 8%. Problemele apar în principal pe timp de iarnă în încăperile încălzite (unde umiditatea relativă este scăzută). În cadrul unor teste de laborator, s-a observat că la plăcile condiționate la 20°C și 35% umiditate relativă, și expuse apoi în medii cu aceste umidități relative nu au apărut crăpături, în timp ce la cele condiționate la 85% au apărut (Fig. 11). Crăpăturile pot fi diminuate prin scobituri, care atenuează efectele contragerilor inegale.

Deformația minimă se produce la un unghi de 45° al inelelor anuale în stratul de față și crește odată cu creșterea raportului LR.

Reducerea tensiunilor interne prin varierea tipului de adeziv și grosimea stratului de adeziv

În Fig. 14 se prezintă tensiunile interne măsurate în straturile de față ale unor plăci tristratificate din lemn masiv, cu structură variabilă, condiționate inițial la 20°C/35% și apoi depozitate timp de 7 zile într-un mediu de aer umed, cu parametri constanți 20°C/85%.

Cracks Occurrence

By crossing the layers of the structure when gluing them, internal stresses in wood and in the adhesive layers occur due to the humidity variations. If dry wood is used, having the moisture content smaller than that of the equilibrium state, no problems occur, but the over-drying costs are not justified and must be avoided. Instead, if the wood is not dried enough, the stresses when wood dries into the structure of the panel leads to the cracks occurrence. In case of inner visible surfaces, the final moisture content after drying has to be up to 8%. The problems occur especially in winter time in the heated rooms (where the air humidity is low). During a test laboratory, it was noticed that for the panels conditioned at 20°C and 35% relative air humidity, no cracks occurred. Instead, the cracks occurred for the panels conditioned at 85% (Fig. 11). The cracks occurrence can be diminished by making holes, which reduce the effects of the uneven shrinkage.

The minimum deformation is achieved at an inclination angle of the annual rings of 45° on the face layer and increases with the increasing of the LR ratio.

Internal Stresses Mitigation by Varying the Type of Adhesive and its Thickness

Fig. 14 shows the internal stresses measured on the face layers of the three-layered laminated panels with variable structure. They were conditioned first at 20°C/35% and then stored for 7 days in a humid climate characterized by constant parameters 20°C/85%.

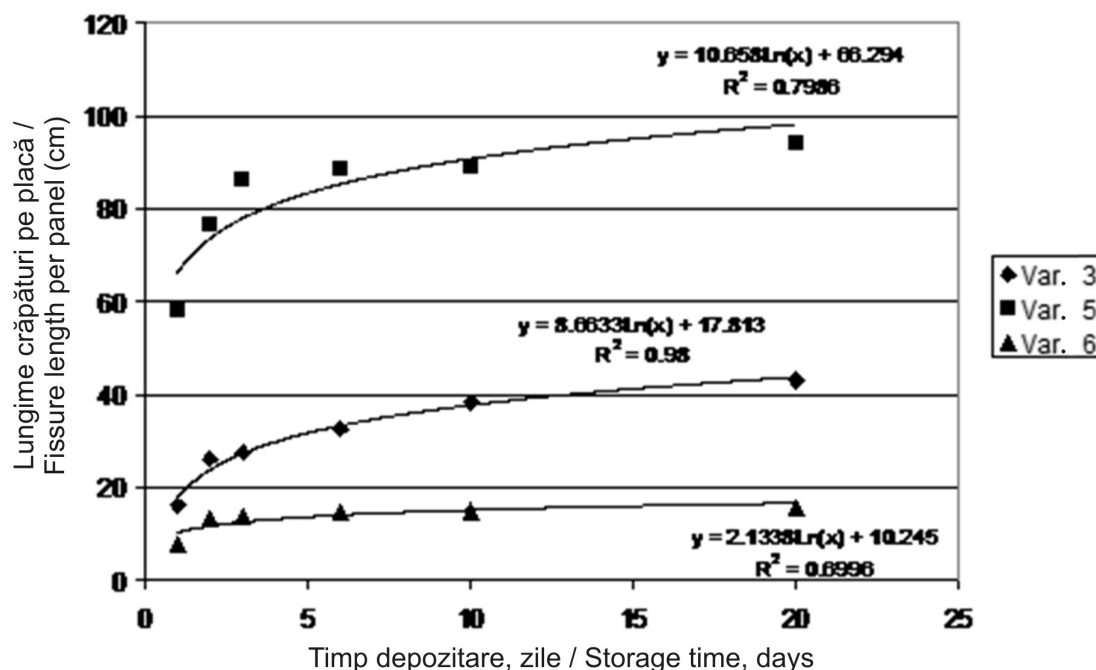


Fig. 11.

Suma lungimilor crăpăturilor pe placă la variantele de structură 3, 5 și 6, în funcție de durata de depozitare într-un mediu cu temperatura de 20°C și umiditate relativă de 35% (încleiate după condiționarea la 20°C/85%). / **The sum of the lengths of the cracks found on the panels with structure 3, 5 and 6, depending on the storage time in an environment with a temperature of 20°C and relative air humidity of 35% (glued after conditioning at 20°C/85%).**

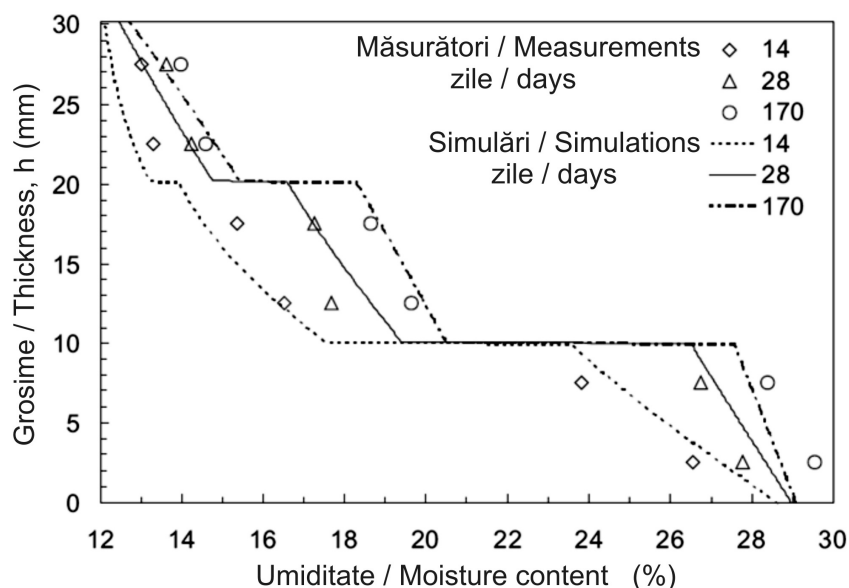


Fig. 12.

Distribuția umidității, măsurată și calculată, într-o placă tristratificată din lemn masiv de molid la difuziune (mediu variabil: 20°C/65%-20°C/100%, cupa umedă) / Distribution of the moisture content, measured and calculated in a three-layered laminated spruce wood panel, after diffusion (variable environment: 20°C/65%-20°C/100%, wet cup) (Gereke 2009).

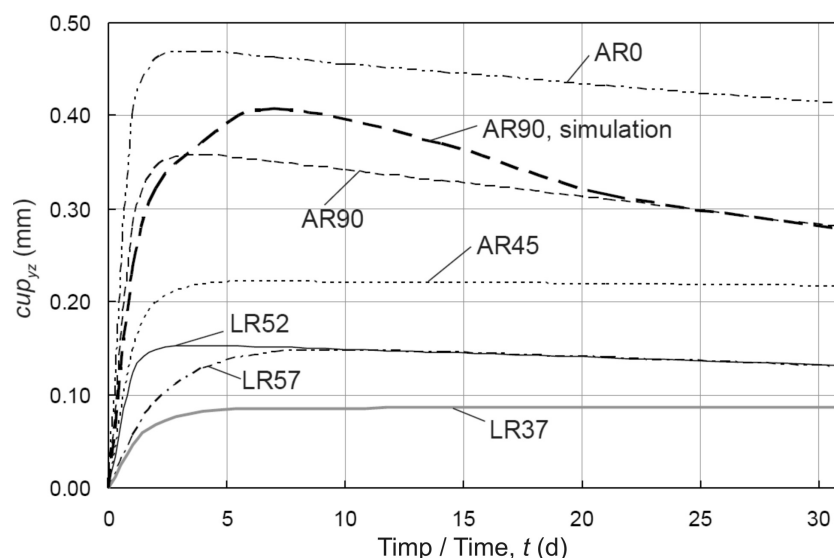


Fig. 13.

Deformația (măsurată și calculată) a unei plăci tristratificate din lemn masiv de molid la variația umidității din mediul înconjurător de la 20°C/65% la 20°C/100%, cupa umedă, la diferite unghiuri de înclinare a inelelor anuale (AR) și la un raport variabil al lamelelor/ Deformation (measured and calculated) for a three-layered laminated spruce wood panel at a variation of the environment parameters from 20°C/65% to 20°C/100%, wet cup, at various inclination angles of the annual rings (AR) and at a different rate between lamellas (Gereke 2009).

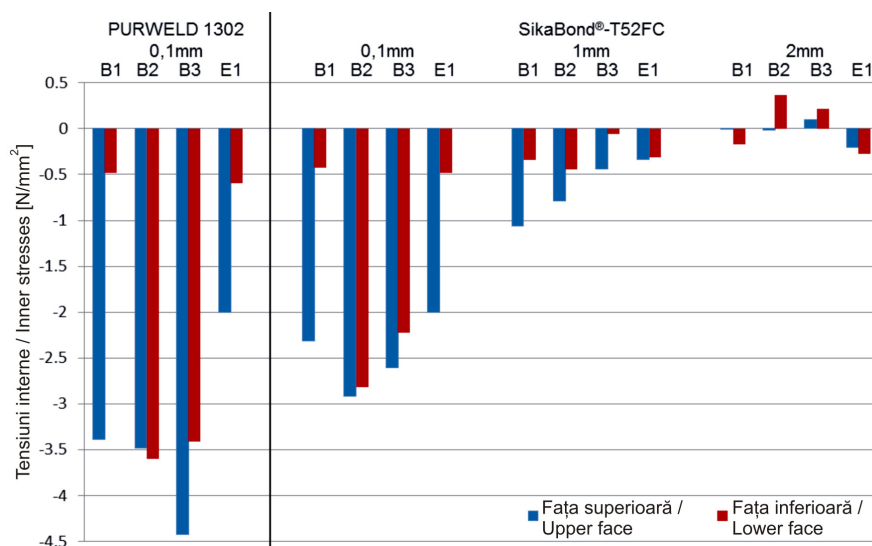


Fig. 14.

Tensiuni interne în straturile de față/dos ale unei plăci tristratificate de lemn masiv după depozitarea timp de 7 zile într-un mediu cu 20°C/85%. Variante de structură: Fața superioară: B1...B3 - fag, E1 - frasin; Fața inferioară: B2...B3 - fag; B1 și E1 - molid/ Internal stresses for the face layers of a three-layered laminated panel stored for 7 days in a humid climate with 20°C/85%. Variants of structure: Upper face: B1...B3 - beech, E1-ash; Bottom face: B2...B3 – beech; B1 and E1 – spruce.

După cum se arată în Fig. 14, datorită umidității ridicate și a umflării asociate, au apărut tensiuni de compresiune în plăci. Excepția au făcut epruvetele B2 și B3 cu strat de adeziv de 2mm grosime. Tensiunile au rezultat din efectul de închidere dat de straturile de adeziv, prin care

As shown in Fig. 14, because of the higher humidity and of the corresponding swelling, compression stresses occurred inside the panels, except the samples B2 and B3, having an adhesive layer of 2mm thickness. The stresses occurred due to the sealing effect of the adhesive layers, through

umflarea radială a fețelor a fost inhibată de mai mica umflare longitudinală a stratului de miez.

Wetzig, Hass și Niemz (2011) au cercetat proprietățile unor plăci stratificate din lemn masiv de fag, frasin, molid și combinații de specii. Principalul obiectiv a constat în reducerea tensiunilor induse de variațiile de umiditate prin varierea adezivului și a grosimii stratului de adeziv. S-au utilizat în aceste teste două tipuri de adeziv 1K-PUR, cu vâscozitate și modul de elasticitate mult diferite: adezivul Purweld 1302 cu modul de elasticitate foarte ridicat, adică foarte rigid ($E=940\text{N/mm}^2$) și Sika Bond ®T52FC, un adeziv foarte elastic ($E=0,4\text{N/mm}^2$). Grosimea stratului de adeziv a fost de 0,1mm, 1mm și 2mm. Au fost măsurate atât alungirile individuale ale fiecărui strat, precum și tensiunile interne generate de expunerea într-un mediu cu umiditate foarte ridicată. Standul de încercare pentru măsurarea coeficienților de umflare este prezentat în Fig. 15, iar Tabelul 6 prezintă rezultatele obținute.

Rezultatele au arătat clar influența elasticității adezivului și a grosimii stratului de adeziv asupra stabilității formei și dimensiunilor plăcilor testate. În cazul folosirii adezivului rigid PURWELD 1302, au rezultat tensiunile cele mai mari. De asemenea, s-au constatat diferențe mari între specii. Lemnul de fag, cu o umflare radială (q_r) de 5,8% a dezvoltat cele mai mari tensiuni, urmat de lemnul de frasin (q_r 4,6...5%) și apoi cel de molid (q_r 3,5...3,7%). În cazul utilizării adezivului SikaBond®-T52FC s-a constatat aceeași tendință, dar valorile tensiunilor sunt mai mici, fapt care poate fi pus numai pe seama modului de elasticitate mai mic al adezivului SikaBond®-T52FC. Modulul de elasticitate mai redus al peliculei de adeziv a permis o rezistență mai mică a acestuia la umflarea straturilor de față. Acest efect a fost foarte clar vizibil la plăcile cu strat de adeziv de 1 sau 2mm. Diferențele dintre coeficienții de umflare ai straturilor de față și miez au fost compensate prin decalarea straturilor (Fig. 16).

Cu excepția plăcilor cu grosime de 2mm a stratului de adeziv, toate celelalte plăci s-au deformat.

CONCLUZII

Plăcile stratificate din lemn masiv câștigă o importanță tot mai mare în domeniul construcțiilor. Ele au un grad de prefabricare, sunt etanșe și economisesc duratele lungi de uscare necesare în cazul construcțiilor din beton sau cărămidă. Prin varierea structurii, proprietățile lor pot fi și ele variate într-o gamă foarte largă și estimate cu ajutorul metodei elementelor finite. Întrucât atât materialele, cât și tehnologia lor de fabricare au fost dezvoltate la sfârșitul anilor '80, există în prezent câmp deschis de cercetare pentru actualizarea acestor materiale și tehnologii. Prezentă lucrare constituie o sinteză a celor mai interesante cercetări efectuate în acest domeniu la ETH Zürich.

which the radial swelling of the faces was removed by the smaller longitudinal swelling of the core layer.

Wetzig, Hass and Niemz (2011) investigated the properties of some three-layered laminated boards made of beech, ash and spruce wood and also mixed wood. The main objective was to reduce the stresses resulted because of humidity variations and the thickness of the adhesive layer. Two types of adhesive were used in the above mentioned tests, and we refer to 1K-PUR, with different values of viscosity and modulus of elasticity, as follows: Purweld 1302 adhesive with a high value of MOE, ie very rigid ($E=940\text{N/mm}^2$) and Sika Bond ®T52FC, as an elastic adhesive ($E=0,4\text{N/mm}^2$). The thickness of the adhesive layer was successively 0,1mm, 1mm and 2mm. The elongations of each layer and the internal stresses occurred due to the humid climate were measured. The measuring stand for the swelling coefficient is presented in Fig. 15, and Table 6 shows the obtained results.

The results show the clear influence of the elastic properties and of the adhesive thickness upon the shape and sizes of the tested panels. In case of using the PURWELD 1302 rigid adhesive, higher stresses resulted. Also, different wood species determined different results. The beech wood, with a radial swelling (q_r) of 5,8% developed the highest stresses, followed by ash wood (q_r 4,6...5%) and then by spruce wood (q_r 3,5...3,7%). For the SikaBond®-T52FC adhesive the same trend has been noticed, but smaller stresses resulted, fact explained by the smaller value of the modulus of elasticity of the SikaBond®-T52FC adhesive. The smaller MOE of the adhesive layer induced a reduced resistance of the face layers to the swelling phenomenon. This result was very clear for the adhesive layers of 1mm or 2mm thickness. The differences between the swelling coefficients of the core and faces were compensated by shifting the layers (Fig. 16).

Except the boards having the adhesive layer of 2mm thickness, all the other boards have got deformations.

CONCLUSIONS

The laminated wood panels gain more and more importance in the building field. They have a great capacity to be pre-processed, to seal and to shorten the drying time necessary for the buildings made of concrete or bricks. By varying the structure, the properties can also be varied in a wide range and estimated using the finite element method. Because both materials and their manufacturing technology were developed in the late '80s, there is now an open field of research to update these materials and technologies. This paper is a review of the most interesting studies done in this area at ETH Zürich.

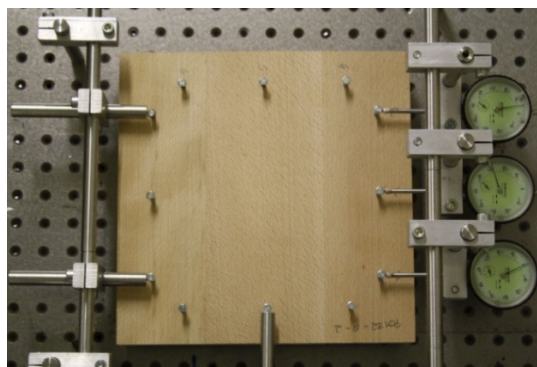


Fig. 15.

Stand de încercări pentru măsurarea coeficienților de umflare liberă (fără restricționarea plăcii pe vreo direcție)/ Stand of measuring the free swelling coefficient (not restrictions of the board to any direction).

Tabelul 6 / Table 6

Coeficienții de umflare radială totală a straturilor de față ale unor plăci tristratificate din lemn masiv, format 250x250mm, la variația de mediu de la 20°C/35% la 20°C/85% și menținerea celui din urmă timp de 7 zile/ Radial swelling coefficient of the faces of the three-layered laminated panels, sizes of 250x250mm, at a climate varying from 20°C/35% to 20°C/85% and maintaining the last one for 7 days
Straturi / Layers

Cod/ Code		Față/ Face	Miez/ Core	Față/ Face
B3	Specia/ Wood species Grosimea/ Thickness [mm]	Fag/ Beech 10	Fag/ Beech 10	Fag/ Beech 10
B2	Specia/ Wood species Grosimea/ Thickness [mm]	Fag/ Beech 10	Molid/ Spruce 10	Fag/ Beech 10
B1	Specia/ Wood species Grosimea/ Thickness [mm]	Fag/ Beech 8	Molid/ Spruce 10	Molid/ Spruce 12
E1	Specia/ Wood species Grosimea/ Thickness [mm]	Frasin/ Ash 8	Molid/ Spruce 10	Molid/ Spruce 12

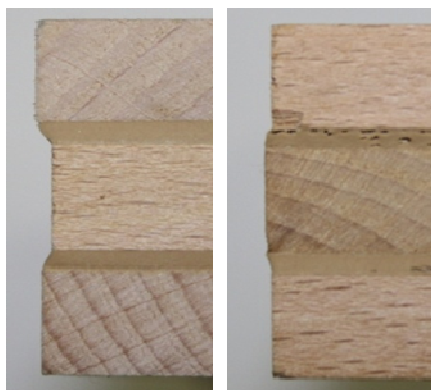


Fig. 16.

Decalarea straturilor unei plăci cu strat de adeziv de 2mm, la încheierea cu un adeziv elastic / Shifting the layers of the panel, having an adhesive layer of 2mm thickness.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- Bader H, Niemz P, Sonderegger W (2007) Investigation on the influence of the panel composition on selected properties of three-layer solid wood panels. *Holz Roh Werkst*, 65:173-181.
- Blass HJ, Görlacher R (2003) Bemessung im Holzbau: Brettsperrholz – Berechnungsgrundlagen. *Holzbau-Kalender*, 2:580-598.
- Clauss S, Kröppelin U, Niemz P (2010) Untersuchungen zum Quellverhalten dreischichtiger Massivholzplatten. Teil 1 und 2 *Holztechnologie*.
- Czaderski C, Steiger R, Howald M, Olia S, Gülzow A, Niemz P (2007) Tests and calculations on 3-layered cross-laminated solid wood panels supported at all edges. *Holz Roh Werkst*, 65:383-402.
- Döhring R (2004) Entwicklung einer Prüfmethode zur Ermittlung des Quelldruckes von Vollholz und Holzwerkstoffen. Diplomarbeit, TU Dresden.
- Dunky M, Niemz P (2002) *Holzwerkstoffe und Leime*, Berlin: Springer pp. 954.
- Gereke T (2009) Moisture - induced stresses in cross laminated wood panels. Dissertation, ETH Zürich.
- Gereke T, Schnider T, Hurst A, Niemz P (2009) Identification of moisture - induced stresses in cross - laminated wood panels from beech wood (*Fagus sylvatica* L.). *Wood Sci. Technol.*, 43:301–315.
- Gülzow A (2008) Zerstörungsfreie Bestimmung der Biegesteifigkeiten von Brettsperrholz. Dissertation, ETH Zürich.
- Gülzow A, Gsell D, Steiger R (2008) Non-destructive evaluation of elastic parameters of square-shaped cross-laminated solid wood panels, built up symmetrically with 3 layers. *Holz Roh Werkst*, 66:19-37.
- Joscak M, Sonderegger W, Niemz P, Krus M, Lengsfeld K, Grosskinsky Th, Holm A (2011) Vergleichende Untersuchungen zum Feuchte - und Wärmeverhalten in unterschiedlichen Wandelementen. Reihe Wissenschaft. Band 27, Fraunhofer IRB Verlag 2011.
- Jöbstl RA, Schickhofer G (2007) Traglastnachweis für Brettsperrholz auf Basis der starren Verbundtheorie unter Berücksichtigung von Systemeffekten. In: *Proceedings of the 39. Fortbildungskurs SAH "Praktische Anwendung von Massivholzplatten"*, Weinfelden, Switzerland, pp. 9-23.
- Krackler V, Keunecke D, Niemz P (2010) *Verarbeitung und Einsatzmöglichkeiten von Laubholz und Laubholzresten*. ETH Zürich, Eigenverlag 2010.
- Schmidt M, Glos P, Wegener G (2010) Verklebung von Buchenholz für tragende Holzbauteile. *Eur. J Wood Wood Prod*, 68:43-47.
- Sonderegger W (2011) Experimental and theoretical investigations on heat and water transport in wood and wood – based materials. Dissertation, ETH Zürich 2011.
- Steiger B, Niemz P (2004) Untersuchungen zu ausgewählten Einflussfaktoren auf die Eigenschaften von dreischichtigen Massivholzplatten. *Holz, Mering* 1, pp. 29-32.
- Tobisch S (2006) Methoden zur Beeinflussung ausgewählter Eigenschaften von dreilagigen Massivholzplatten aus Nadelholz. Dissertation, Universität Hamburg.
- Wetzig M, Hass Ph, Hänsel A, Niemz P (2011) Untersuchungen zur Verklebung dreischichtiger Massivholzplatten unter Verwendung von Laubholz. *Bautechnik*, Bautechnik 88, Heft 10:689-693.
- Winter S (2009) Präzise, schneller und sicherer. Interview mit Professor Wolfgang Winter über den Wiederaufbau im Erdbebengebiet von L`Aquila. *Holzforschung Austria* 7:12-13.