

GRINZI COMPUSE REALIZATE DIN PROFILE FORMATE LA RECE ȘI INIMĂ DIN TABLĂ CUTATĂ, ASAMBLATE CU SUDURI ÎN PUNCTE

**VIOREL UNGUREANU^{1,2}, IOAN BOTH¹, MIRCEA BURCĂ³,
THAI HOANG NGUYEN¹, CĂLIN NEAGU¹ și DAN DUBINĂ^{1,2}**

¹Departamentul CMMC, Universitatea Politehnica Timișoara, Timișoara, România

²Laboratorul de Construcții Metalice, Academia Română - Filiala Timișoara, Timișoara, România

³Departamentul IMF, Universitatea Politehnica Timișoara, Timișoara, România

Rezumat. În cadrul proiectului de cercetare WELLFORMED, derulat în Centrul de Excelență CEMSIG al Universității Politehnica Timișoara, s-a propus o nouă soluție tehnologică pentru grinzi de oțel formate la rece cu secțiuni compuse realizate cu inimă din tablă cutată și tălpi din profile cu pereți subțiri formate la rece, îmbinate prin sudură în puncte. Proiectul de cercetare integrează un amplu program experimental pe astfel de grinzi scara 1:1, pentru a demonstra fezabilitatea soluțiilor propuse și evaluarea performanțelor, urmat de simulări numerice în scopul caracterizării și optimizării detaliilor de îmbinare. Lucrarea de față prezintă rezultatele unui amplu program experimental, pe specimene mici, supuse la forfecare, formate din două sau trei straturi de tablă din oțel și îmbinate prin sudură în puncte.

Termeni cheie: grinzi din secțiuni compuse, profile din oțel format la rece, inimă din tablă cutată, sudură în puncte, analiză experimentală

1. Introducere

Grinzile compuse, cu inimă ondulată sau cutată, reprezintă un sistem structural relativ nou, apărut în ultimele două decenii, în special în Germania și Austria. S-a observat un interes crescut al acestei soluții pentru utilizarea ca și cadre principalele ale halelor parter, respectiv la poduri metalice. Principalul avantaj ale acestui tip de element este legat de faptul că, inima fiind ondulată sau cutată duce la creștea stabilității la flambaj, care conduce la o proiectare mai economică. Utilizarea unor inimi mai subțiri conduce la costuri mai mici pentru materiale, cu o economie de 10-30% în comparație cu secțiunile tradiționale fabricate prin sudare, și peste 30% comparativ cu grinzile laminate la cald. Înălțimea cutelor unei table ondulate sinusoidale folosită pentru inimi, este comparabilă cu o tablă plană de 12 mm grosime sau chiar mai mult. În soluțiile elaborate până în prezent, tălpile grinzii sunt realizate din table plane, sudate de foaia de tablă sinusoidală pentru inimă, ceea ce implică și o

tehnologie specifică de sudare. La aceste elemente tălpile oferă în special rezistență la încovoiere grinzii, cu un aport forte mic din partea inimii sinusoidale care oferă capacitatea de forfecare. Dimensionarea grinzilor cu inima din tablă ondulată este reglementată prin Anexa D a EN 1993-1-5 (2006), împreună cu aspectele specifice din EN 1993-1-1 (2006) și EN 1993-1-3 (2006).

O nouă soluție tehnologică a unei astfel de grinzi, compusă din inimi realizate tablă cutată trapezoidală și tălpi paralele cu secțiune compusă, realizate din profile de oțel cu pereți subțiri formate la rece, cu secțiune de tip C, a fost dezvoltată în cadrul Centrului de Cercetare CEMSIG (<http://www.ct.upt.ro/en/centre/cemsig>) al Universității Politehnica Timișoara (Dubină *et al.*, 2013, 2015), la care legăturile dintre tălpi și inimă au fost realizate cu șuruburi autoforante. Este important de subliniat faptul că noua soluție, în ansamblu, este compusă 100% din elemente din oțel formate la rece, evitând combinația a două tipuri de produse, și anume elemente formate la rece pentru inimi și laminate la cald pentru tălpi. O prezentare detaliată a acestei soluții, a literaturii de specialitate legată de acest tip de element, respectiv a diferitelor tehnologii de îmbinare, a fost prezentată de Dubină *et al.* (2013, 2015).

Soluția tehnică prezentată mai sus (Dubină *et al.*, 2013), a fost extinsă și pentru grinzi cu formă trapezoidală (Nagy *et al.*, 2016, 2017). În acest caz, s-au realizat încercări experimentale pe două grinzi cu deschiderea de 12 m, având îmbinări de legătură diferite între tălpi și inimă.

Pentru a răspunde cerințelor ridicate din industria automobilelor, s-au dezvoltat procedee de sudare noi, care împing din ce în ce mai departe limitele fizice și mecanice ale tehnologiei sudării. Fronius este lider de piață în domeniul sistemelor de sudare robotizate, cu mai mult de 50 de ani experiență în industria automobilelor și industria furnizoare de componente auto. Aceste tehnologii, datorită avantajelor oferite au început să fie preluate și de sectorul de construcții metalice. Dintre aceste tehnologii se pot remarca: (1) Procedeul de sudare „la rece“ CMT care garantează arcul electric cel mai stabil din lume și un control precis al procesului, oferind cordoane sudate și lipite aproape fără stropi, sudarea de table subțiri, începând de la 0.6 mm – și încă multe alte aplicații; (2) Sudură cu laser care combină avantajele procedeelelor de sudare industriale MIG și cu fascicul laser, dar fără dezavantajele acestora. Acest lucru permite îmbinarea automatizată a diverselor piese din oțel, cu o viteză de până la 8 metri pe minut, într-o calitate de primă clasă; (3) Sudura în puncte este un procedeu de îmbinare de rezistență, a două sau mai multe foi de tablă de metal, de regulă oțel, fără să se folosească material de adaos. În zona de sudat, cu ajutorul a doi electrozi din aliaje de cupru, se aplică o forță de comprimare și se transmite curent electric, care produce încălzirea pieselor la nivel local. Ca urmare, materialul dintre electrozi se topește iar după întreruperea curentului de sudură materialele se solidifică și are loc îmbinarea, realizându-se punctul de sudură. O primă aplicație în domeniul construcțiilor metalice a fost realizată de Landolfo *et al.* (2008), care a evaluat comportarea grinzilor compuse realizate din bare cu pereți subțiri formate la rece, asamblate cu sudură cu laser.

În cadrul Centrului de Cercetare CEMSIG se derulează în prezent proiectul de cercetare WELLFORMED, finanțat de UEFISCDI, proiect care propune o nouă soluție de îmbinare pentru grinzi de oțel formate la rece cu secțiune compusă realizate cu

inimă din tablă cutată și tălpi din profile cu pereți subțiri formate la rece, și anume sudura în puncte. Proiectul de cercetare desfășoară un amplu program experimental pe specimene mici, supuse la forfecare, formate din două sau trei straturi de tablă din oțel și îmbinate prin sudură în puncte, respectiv pe grinzi scara 1:1, pentru a demonstra fezabilitatea soluției propuse și pentru evaluarea performanțelor, urmat de simulări numerice pentru optimizarea detaliilor de îmbinare, respectiv parametrizarea soluției.

Lucrarea de față prezintă rezultatele parțiale ale programului experimental pe specimene mici, supuse la forfecare, formate din două sau trei straturi de tablă din oțel și îmbinate prin sudură în puncte.

2. Soluția tehnică. Elemente și tehnologii de îmbinare

Soluția nou propusă are la bază un program experimental realizat anterior în cadrul Centrului de Cercetare CEMSIG al U.P. Timișoara, în cadrul căruia au fost testate cinci grinzi cu inimă din tablă cutată și tălpi realizate din secțiuni compuse din profile C spate în spate, cu deschiderea de 5157 mm și o înălțime de 600 mm, având diferite aranjamente pentru șuruburile autoforante, respectiv pentru panourile suplimentare de forfecare (Dubină *et al.*, 2013, 2015).

Componentele soluției standard se prezintă în Fig. 1 și sunt detaliate mai jos:

- profile cu secțiuni de tip C, spate-în-spate, pentru tălpi - $2 \times C120/2.0$;
- inimă din tablă cutată cu grosime nominală de 0.7 mm - A45/0.7;
- panouri de forfecare suplimentare - table plane cu grosimea de 1 mm și lungimea de 830 mm, dispuse la capetele grinzii, unde forța tăietoare este maximă;
- profile de întărire U 150/2.0 sub punctele de aplicație ale încărcărilor;
- șuruburi autoforante pentru îmbinarea inimă-talpă – STP-6.3×25;
- șuruburi autoforante pentru fixarea plăcilor de forfecare la capete – STP-5.5×25;
- șuruburi autoforante pentru țeserea inimilor din tablă cutată – STT-4.8×20;
- șuruburi M12 gr. 8.8 pentru fixarea la capete a tălpiilor.

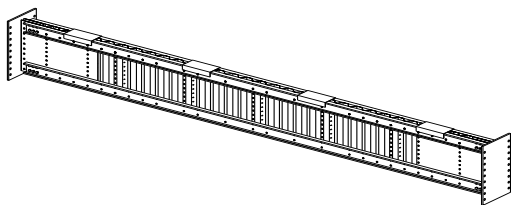


Fig. 1 – Soluția standard – grinda cu inimă din tablă cutată CWB-1 (Dubină *et al.*, 2013, 2015)

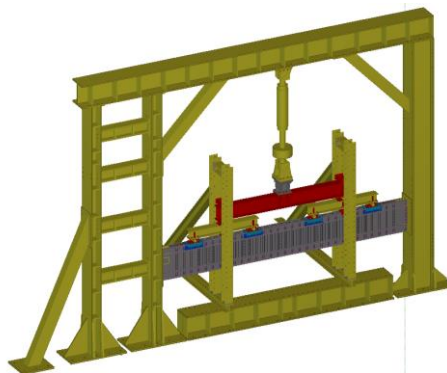


Fig. 2 – Grinda cu inimă din tablă cutată îmbinată cu sudură în puncte. Aranjamentul experimental

Programul experimental a fost completat cu teste de tracțiune pe epruvete extrase din elementele componente ale grinzii (profile și tablă cutată), atât din zonele plane cât și colțurile elementelor, respectiv încercări pe tipuri de îmbinări pentru determinarea comportării acestora.

În prezent, în cadrul proiectului de cercetare WELLFORMED, se propune o nouă soluție de îmbinare, și anume sudura în puncte, care să înlocuiască șuruburile autoforante, reducând manopera și costurile tehnologiei de îmbinare și pregătind soluția pentru automatizare. Patru tipuri de grinzi cu tălpi din profile de oțel formate la rece și inimă plină din tablă cutată, cu deschiderea de 5157 mm și înălțimea de 600 mm vor fi testate (vezi Fig. 2), considerând diferite distribuții ale punctelor de sudură, diferite grosimi ale inimii și a panourilor de forfecare.

Cu scopul de a determina comportarea tuturor tipurilor de îmbinări folosite la asamblarea grinzii, se vor studia șase tipuri de îmbinări, și anume: (1) SW1 - îmbinare de țesere table cutate; (2) SW2 - îmbinare de țesere tablă cutată cu tablă plană panou de forfecare; (3) SW3 - îmbinare tablă plană panou de forfecare cu tălpile grinzii; (4) SW4 - îmbinare tablă plană panou de forfecare cu piesa de reazem; (5) SW5 - îmbinare tălpi cu piesa de reazem; (6) SW6 - îmbinare tălpi cu inima din tablă cutată. Grosimile ce urmează a fi studiate sunt 0.7 mm, 0.8 mm, 1.0 mm, 1.2 mm, 1.5 mm, 2.0 mm și 2.5 mm. Se vor testa specimene mici, supuse la forfecare, formate din două sau trei straturi de tablă din oțel și îmbinate prin sudură în puncte. Încercările experimentale vor fi completate de teste pe material.

3. Încercări experimentale pe specimene mici îmbinate cu sudură în puncte

Pentru a crește viteza de fabricare a unor astfel de grinzi, a fost adoptată sudarea în puncte ca tehnică de îmbinare, atât pentru țeserea tablelor cutate pentru a construi inima, cât și pentru conectarea inimii de tălpi. Combinațiile de tablă îmbinate cu sudură în puncte, încercate experimental, sunt prezentate în Tabelul 1. Mărimile t_1 și t_2 reprezintă grosimile tablelor din îmbinare, iar d_s este diametrul punctului de sudură. Au fost testate 340 de specimene. Dimensiunile specimenelor s-au ales în conformitate cu specificațiile prezentate în capitolul 8.4 din EN1993-1-3. Conform Tabelului 1 și a normei EN1993-1-3, toate tipurile de îmbinări au fost testate folosind singur punct de sudură.

Trebuie subliniat faptul că un program experimental similar, dar concentrat pe combinații de tablă 0.7 și 0.8 mm, a fost testat de Benzar *et al.* (2015) în cadrul Centrului de Cercetare CEMSIG al U.P. Timișoara. Combinațiile de tablă de mai sus au avut în vedere doar țeserea tablelor de inimă.

Echipamentul de sudură utilizat la realizarea specimenelor, Inverspotter 14000 Smart Aqua de la firma Telwin. Diametrul punctului de sudură d_s a fost determinat în conformitate cu EN 1993-1-3, pentru cazul sudurii de rezistență, adică $d_s = 5\sqrt{t}$ [cu t în mm], unde t este grosimea mai subțire a tablei conectate.

Încercările experimentale s-au efectuat la presa universală pentru încercări TESTWELL/UTS. Distanța dintre palpatorii extensometrului a fost de 80 mm. Fig. 3

prezintă un specimen încercat cu un punct de sudură din setul SW-1.2-1.5. Modurile de cedare posibile sunt smulgerea punctului de sudură din materialul de bază și forfecarea punctului de sudură.

Tabel 1

Tipuri de îmbinări prin sudură în puncte testate (unul punct de sudură per specimen)

| Denumire | t_1 [mm] | t_2 [mm] | Nr. teste | d_s [mm] | Denumire | t_1 [mm] | t_2 [mm] | Nr. teste | d_s [mm] |
|------------|---------------|---------------|--------------|---------------|------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| SW-0.7-0.7 | 0.70 | 0.70 | 7 | 4.2 | SW-1.0-1.0 | 1.00 | 1.00 | 7 | 5.0 |
| SW-0.7-0.8 | 0.70 | 0.80 | 7 | 4.2 | SW-1.0-1.2 | 1.00 | 1.20 | 7 | 5.0 |
| SW-0.7-1.0 | 0.70 | 1.00 | 7 | 4.2 | SW-1.0-1.5 | 1.00 | 1.50 | 7 | 5.0 |
| SW-0.7-1.2 | 0.70 | 1.20 | 7 | 4.2 | SW-1.0-2.0 | 1.00 | 2.00 | 7 | 5.0 |
| SW-0.7-1.5 | 0.70 | 1.50 | 7 | 4.2 | SW-1.0-2.0 | 1.00 | 2.50 | 7 | 5.0 |
| SW-0.7-2.0 | 0.70 | 2.00 | 7 | 4.2 | SW-1.2-1.2 | 1.20 | 1.20 | 7 | 5.5 |
| SW-0.7-2.5 | 0.70 | 2.50 | 7 | 4.2 | SW-1.2-1.5 | 1.20 | 1.50 | 7 | 5.5 |
| SW-0.8-0.8 | 0.80 | 0.80 | 7 | 4.5 | SW-1.2-2.0 | 1.20 | 2.00 | 7 | 5.5 |
| SW-0.8-1.0 | 0.80 | 1.00 | 7 | 4.5 | SW-1.2-2.5 | 1.20 | 2.50 | 7 | 5.5 |
| SW-0.8-1.2 | 0.80 | 1.20 | 7 | 4.5 | SW-1.5-1.5 | 1.50 | 1.50 | 7 | 6.1 |
| SW-0.8-1.5 | 0.80 | 1.50 | 7 | 4.5 | SW-1.5-2.0 | 1.50 | 2.00 | 7 | 6.1 |
| SW-0.8-2.0 | 0.80 | 2.00 | 7 | 4.5 | SW-1.5-2.5 | 1.50 | 2.50 | 7 | 6.1 |
| SW-0.8-2.5 | 0.80 | 2.50 | 7 | 4.5 | SW-2.0-2.0 | 2.00 | 2.00 | 7 | 7.1 |
| | | | | | SW-2.0-2.5 | 2.00 | 2.50 | 7 | 7.1 |

Un alt aspect important în cadrul investigației a fost regimul de sudare. Echipamentul de sudare are setări prestabilite din fabrică pentru diferite combinații de grosimi, așa numitul program „SMART”, dar și posibilitatea de a utiliza programe stabilite de utilizator. Tabelul 2 prezintă, spre exemplificare parametrii analizați pentru o serie din speciemenele SW-1.2-1.5, unde următorii parametrii au fost considerați: curentul de sudură I_s (A), forța de apăsare F (daN), presiunea 1 bar și timpul de sudare, t_s (ms), pentru tipul electrodului cu diametrul 13mm și raza curbura 32 mm.

Tabel 2

Regimuri diferite de sudură pentru setul de speciemeni SW-1.2-1.5

| | Denumire | I_s | Putere | F | Presiune | t_s |
|-------|--------------|-------|--------|-------|----------|-------|
| | | (A) | (%) | (daN) | (bar) | (ms) |
| REG 1 | SW-1.2-1.5-1 | 10366 | 70 | 365 | 6 | 380 |
| REG 2 | SW-1.2-1.5-2 | 10336 | 70 | 365 | - | 380 |
| REG 3 | SW-1.2-1.5-3 | 11088 | 75 | 483 | 6.8 | 600 |
| REG 4 | SW-1.2-1.5-4 | 11088 | 75 | 472 | 6.6 | 600 |
| REG 5 | SW-1.2-1.5-5 | 11055 | - | 457 | 6.4 | 600 |
| REG 6 | SW-1.2-1.5-6 | 11775 | 80 | 449 | 6.2 | 600 |

Fig. 3 prezintă setul de șase epruvete SW-1.2-1.5 cu parametrii prezentați în Tabelul 2, înainte și după testare. Se poate observa că în toate cazurile modul de cadare a fost smulgerea punctului de sudură din materialul de bază.



Fig. 3 – Setul de specimene SW-1.2-1.5 înainte de încercare și după încercare, analizând diferite regimuri de sudare

Fig. 4 prezintă comparativ curbele forță-deplasare pentru setul de specimene de mai sus. Se poate observa că toate speciunile prezentate au capacitate și ductilitate foarte bune, forța maximă fiind în jurul valorii de 12 kN.

În urma testelor efectuate pe toate speciunile prezentate în Tabelul 1 se poate trage următoarea concluzie generală, și anume, atât capacitatea cât și ductilitatea obținută pentru speciunile testate este foarte bună. Mai mult, comparativ cu aceleași speciunile testate cu șuruburi autofiletante (Dubina *et al.*, 2015), capacitatea speciunilor testate este dublă, dar mai puțin ductile comparativ cu speciunile folosind șuruburi autofiletante.

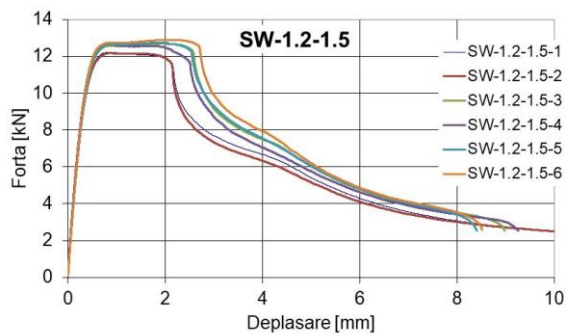


Fig. 4 – Curbe forță-deplasare pentru speciunile SW-1.2-1.5 (1 punct de sudură)

4. Simulări numerice

Pe baza rezultatelor obținute mai sus și, având în vedere modelele MEF validate în Dubină *et al.* (2013), acest capitol urmărește evaluarea capacității și comportamentului unei grinzi cu deschidere de 12 m, cu tălpi paralele folosind simulări numerice. Elementele grinzii sunt: (1) secțiuni de tip C spate în spate pentru tălpi - 2 × C150/2.0, oțel de calitate S350GD + Z; (2) inimă din tablă cutată cu înălțimea cutei de 45 mm și grosimea de 0.7 mm, oțel de calitate S320GD + Z; (3) panouri de forfecare,

plăci cu grosimea de 1 mm și lungimea de 2000 mm, la capetele grinzilor, oțel de calitate S320GD + Z; (4) șuruburi autoforante pentru legătura talpă-inimă - 6.3×25 (3 șuruburi autoforante pe înălțimea profilului); (5) șuruburi autoforante pentru fixarea plăcilor de forfecare de reazemul de capăt - 5.5×25 ; (6) șuruburi M16 clasa 8.8 pentru îmbinarea tălpilor de reazeme (6 șuruburi pentru fiecare talpă); (7) înălțimea grinzii a fost constantă de-a lungul lungimii, cu înălțimea de 1000 mm.

Pentru analiză au fost considerate următoarele particularități la nivelul inimii, și anume: CAZ 1 – inima formată din panouri te tablă cutată îmbinate cu șuruburi autoforante pentru țeserea panourilor de inimă (16 șuruburi autoforante 4.8×20 pe înălțimea profilului); CAZ 2 - inima formată din panouri te tablă cutată îmbinate cu sudura în puncte pentru țeserea panourilor de inimă (16 puncte de sudură cu diametrul de 4.5 mm pe înălțimea profilului); CAZ 3 - inima realizată din tablă cutată continuă pe toată lungimea grinzii. Grinda a fost considerată în analiză având talpa superioară fixată în dreptul panelor de acoperiș.

Modelul numeric a fost creat folosind programul comercial FE ABAQUS/CAE v.6.14. Detalii privind tipul elementelor finite, comportamentul materialelor, parametrii de contact, modelarea conectorilor și a șuruburilor sunt prezentate în Dubină *et al.* (2013).

În Fig. 5 se prezintă curba forță-deplasare pentru grinda analizată în cele trei cazuri de mai sus. Se poate observa că influența țeserilor este foarte mică, atât în ceea ce privește capacitatea grinzii, cât și flexibilitatea ei. Așa cum era de așteptat, grinda care utilizează șuruburi cu autoforante este cea mai flexibilă. În toate cazurile, forța maximă este de aproximativ 402 kN.

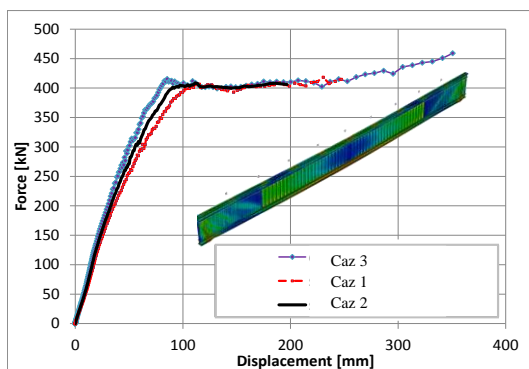


Fig. 5 – Curba forță-deplasare pentru grinda cu inimă din tablă cutată cu deschiderea de 12 mm

5. Concluzii

În cadrul proiectului de cercetare WELLFORMED, derulat în Centrul de Excelență CEMSIG al Universității Politehnica Timișoara, a fost lansat un nou program de cercetare experimental pe grinzi de oțel formate la rece cu secțiune compusă realizate cu inimă din tablă cutată și tălpi din profile cu pereți subțiri formate la rece, îmbinate prin sudură în puncte.

În prezent sunt finalizate încercările pe specimene mici, 340 de specimene supuse la forfecare, formate din două sau trei straturi de tablă din oțel și îmbinate prin sudură în puncte, pentru a putea caracteriza comportarea acestor îmbinări. Sunt în pregătire pentru testare patru grinzi scara 1:1, pentru a demonstra fezabilitatea soluției propuse și pentru evaluarea performanțelor, cercetări urmate de simulări numerice pentru optimizarea detaliilor de îmbinare, respectiv parametrizarea soluției.

Pe baza rezultatelor de mai sus a fost evaluat numeric comportamentul unei grinzi cu dechidere de 12 m, cu tălpi paralele, considerând trei situații distince pentru inimă. S-a constatat că influența țeserii panourilor de inimă este foarte mică atât în ceea ce privește capacitatea, cât și flexibilitatea grinzii. Rezultatele sunt încurajatoare și demonstrează potențialul acestei soluții pentru standardizare și fabricare industrializată.

ACKNOWLEDGEMENTS

Această lucrare a fost publicată din grantul nr. 57PED/2017, WELLFORMED - Grinzi de oțel din elemente formate la rece asamblate cu tehnologii de sudare cu productivitate ridicată, Proiect tip PN-III-P2-2.1-PED-2016, finanțată de Unitatea Executivă pentru Finanțarea Învățământului Superior, a Cercetării, Dezvoltării și Inovării (UEFISCDI), România.

BIBLIOGRAFIE

- Benzar, S., Ungureanu, V., Dubina, D. and Burca M., *Built-up cold-formed steel beams with corrugated webs connected with spot welding*, Advanced Materials Research, Vol. 1111, 157-162 (2015).
- Dubina D., Ungureanu V., Gîlia L., *Experimental investigations of cold-formed steel beams of corrugated web and built-up section for flanges*, Thin-Walled Structures, 90, 159-170 (2015).
- Dubina D., Ungureanu V., Gîlia L., *Cold-formed steel beams with corrugated web and discrete web-to-flange fasteners*, Steel Construction, 6(2), 74-81 (2013).
- EN 1993-1-1, *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*, CEN, Brussels, 2005.
- EN 1993-1-3, *Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3: General Rules. Supplementary rules for cold-formed thin gauge members and sheeting*, CEN, Brussels, 2006.
- EN 1993-1-5, *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-5: Plated structural elements*, CEN, Brussels, 2006.
- EN ISO 6892-1, *Metallic materials - Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature*, CEN, Brussels, 2009.
- Landolfo R., Mammana O., Portioli F., DiLorenzo G., Guerrieri M.R., *Laser welded built-up cold-formed steel beams: Experimental investigations*. Thin-Walled Structures, 46(7-9), 781-91 (2008).
- Nagy Zs., Ungureanu V., Dubina D., Ballok R., *Experimental investigations of cold-formed steel trapezoidal beams of screwed corrugated webs*, Proc. of the Int. Coll. on Stability and Ductility of Steel Structures-SDSS'2016, Timisoara, Romania, 30 May-01 June 2016, 387-394.
- Nagy Zs., Ungureanu V., Dubina D., Ballok R., *Încercări experimentale pe grinzi din profile formate la rece cu inimă din tablă cutată asamblate cu șuruburi autoforante*, A 15-a Conferință Națională de Construcții Metalice, Iași, 16-17 noiembrie 2017 (în acest volum).