

## Burkolatok tárcsahatásának kísérleti úton történő vizsgálata acélszerkezetek esetében

### Analyzing the diaphragm effect of claddings on steel structures through experimental investigation

dr. NAGY Zsolt egyetemi docens<sup>1,2</sup>, LŐRINCZ Barnabás-Attila<sup>1,2</sup>, KELEMEN Andrea<sup>1,2</sup>,  
SÁNDULY Annabella<sup>1,3</sup>, dr. GOBESZ Ferdinánd-Zsongor egyetemi docens<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Constantin Daicoviciu utca, 15 szám, 400020, Kolozsvár,  
Románia, zsolt.nagy@dst.utcluj.ro, www.constructii.utcluj.ro

<sup>2</sup> GORDIAS KFT, Kárpát utca, 1 szám, 400180, Kolozsvár, Románia,  
barnabas.lorincz@gordias.ro, www.gordias.ro

<sup>3</sup> Lodzi Műszaki Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Stefana Zeromskiego utca, 116 szám, 90-924, Lodz,  
Lengyelország, annabella.sanduly@dokt.p.lodz.pl, www.p.lodz.pl

#### Abstract

*In Romania, there is currently no design guide for the analytical evaluation of the stiffening effect conferred by sandwich panels. The provisions of the code NP 041-2000 "Calculation standard for metal structures with corrugated sheet diaphragm" are not valid for sandwich panels, and the recommendations of ECCS (1995), on which this code is based, are quite limiting, not covering a series of current constructive solutions commonly practiced by the industry.*

*Even if an analytical calculation based on the mentioned design guide is used, the limited available solutions raise a series of questions: the guide offers values of flexibilities for fixing details of simple Z purlins (1Z), but the most common cladding details used in practice are applicable in the case of overlapped Z profiles (2Z).*

*This paper presents preliminary comparative results obtained experimentally by the authors using common details identified in current practice on two types of roof cladding: corrugated sheets and sandwich panels. The presented experimental study is still ongoing at the moment of writing the current article.*

**Keywords:** stressed-skin design, sandwich panels, corrugated sheets, ECCS recommendations, experimental tests.

#### Kivonat

*Romániában jelenleg nem létezik tervezési útmutató a szendvicspanelekből álló burkolatok merevítő hatásának analitikus úton történő számolására. Az NP-041-2000 "Szabvány a trapézlemezekkel burkolt acélszerkezetekre" számolási procedúrái nem érvényesek a szendvicspanelekből alkotott burkolatok esetén, az ECCS analitikus metodológiái, amelyeken ez a szabvány alapul, meglehetősen korlátozóak, hiszen nem fedik le az iparban jelenleg általánosan alkalmazott szerkezeti megoldásokat.*

*Egy tárcsa merevségének/kapacitásának meghatározása során több kérdés merül fel az említett számolási metodológiákat használva: a szabványban leírt analitikus módszer csak átlapolás nélküli szelemenek (1Z) különböző rögzítési részleteihez javasol merevségi értékeket, viszont a jelenleg leggyakrabban használt átlapolós megoldásokra (2Z) nem találunk értékeket.*

*Ez a tanulmány bemutatja a szerzők kísérleti munkájának kezdeti eredményeit: különböző burkolati konfigurációk analitikusan számolt tárcsamerevségeit, kísérleti úton tapasztalt viselkedésük leírását és ezeknek az összehasonlítását. Az iparban közkevdelten használt részletek lettek alkalmazva a szendvicspanelekből vagy trapézlemezekből alkotott konfigurációk kialakításánál és az elemek rögzítésénél. A kutatói munka jelen cikk megjelenésekor is folyamatban van.*

**Kulcsszavak:** tárcsa hatás, szendvicspanelek, trapézlemezek, ECCS számolási procedúrák, kísérleti vizsgálatok.

## 1. BEVEZETŐ

A tanulmány célja egy olyan kísérletsorozat bemutatása, amely segítségével vizsgálni és számszerűsíteni lehet a szelemenekből és szendvicspanelekből vagy trapézlemezekből álló burkolati rendszerek merevítő hatását acélszerkezetű csarnokok esetén.

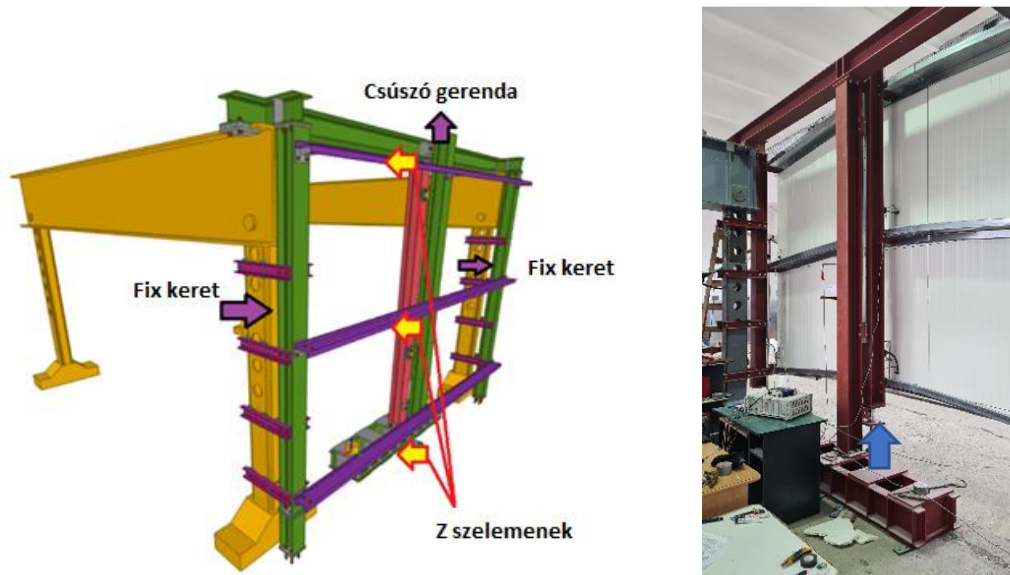
A trapézlemezekből álló tárcsákra vonatkozóan a publikált eljárások csak bizonyos rögzítési részletek és megfogási elemek alkalmazása esetén szolgáltatnak információkat. Az említett eljárásokat kísérleti vizsgálatok vagy végelemek alkalmazó numerikus modellek alapján dolgozták ki a szerzők, amelyek a burkolati rendszerek egy szűk szegmensére koncentrálnak. Ezekből a vizsgálatokból nyert tapasztalatok képezik a jelenleg is érvényben lévő szabványok számolási procedúráinak alapjait [1,2,3], amelyek csak bizonyos feltételek mellett alkalmazhatóak. A szelemenekből és trapézlemezekből álló burkolati rendszerek tárcsahatásának meghatározására vonatkozó tervezési irányelvek az 1990-es évek közepe óta létező ismereteket tükrözik. Azóta a keretszerkezetek óriási átalakuláson mentek keresztül, mivel méreteik megnöttek, magasabbak és karcsúbbak lettek. Ennek köszönhetően az említett burkolati rendszerek hagyományos rögzítési részletei módosultak és az érvényben lévő szabványok által leírt metodológiák elavultak. Ez motiválja az aktuális eljárások [1,2,3] fejlesztését és kiegészítését.

A szelemenekből és szendvicspanelekből álló burkolati rendszerek esetén a számolási eljárások elhanyagolják a burkolatok síkja szerinti merevséget és a szendvicspaneleket úgy tervezik, hogy azok csak a síkjukra merőleges terheknek álljanak ellen (technológiai terhek, hó vagy szél). A szendvicspaneleket gyártó vállalatok többsége olyan táblázatokat bocsajt a tervezőmérnökök rendelkezésére, amelyek csak a maximális teherbírást tartalmazzák a festsáv és a támaszok jellege szerint, jelentősen leegyszerűsítve ezzel a tervezési folyamatot.

## 2. A KÍSÉRLETEK LEÍRÁSA

### 2.1. A kísérletek módszertana

A tárcsahatás kísérleti úton történő vizsgálata során, az 1. ábrán feltüntetett vázra (zöld szín) rögzített Z szelemenekből és szendvicspanel vagy trapézlemezekből álló burkolati rendszerek tönkremenetelét a csúszó gerenda elmozdulásával lehetséges előidézni.



1. ábra. Kísérleti elrendezés: terv és megvalósított szerkezet

A tönkremeneteli mechanizmusból generált erő-elmozdulás görbék használhatóak a későbbiekben végelemek alkalmazó numerikus modellek kalibrálására, majd a kalibrált modellek segítségével újabb, immár csak numerikus úton generált tönkremeneteli folyamatokat tudunk tanulmányozni, csökkentve ezzel a költséges laboratóriumi kísérletek számát.

## 2.2. A kísérleti szerkezet kialakítása

A kísérleti program egy valós méretű 3D szerkezet statikai modelljének átfogó elemzésével kezdődött, majd az említett szerkezet tetőtárcsájából izolált részegység vizsgálatával folytatódott. A részegység kísérleti vizsgálatához, a szerkezeti váz geometriáját a Kolozsvári Műszaki Egyetem laboratóriumában lévő keresztirányú keretekhez igazítottuk. Ez a szerkezeti kialakítás egy 2x2.5 m széles és 3 m magas diafragmát eredményezett, amelynek szélső gerendái egy valós szerkezet szélrácsokkal kimerevített ormfali kereteinek felelnek meg. A valós szerkezet köztes kereteként a középső, csúszó gerenda azonosítható, melynek súrlódásmentes elmozdulása egy sín és egy erre kialakított csapágyrendszer segítségével lett megoldva. Következtetésképp, a szelemenekből és trapézlemezekből vagy szendvicspanelekből álló tárcsa terhelése a középső gerenda emelővel történő elmozdításával jön létre.

A kísérleti vizsgálatok során a szerkezet és a tárcsa alkotóelemeit két osztályba sorolhatjuk: állandó vagy cserélendő elemek. A kísérleti váz szerkezete (2. ábra – bal oldal) merev a tetőtárcsához képest (2. ábra – jobb oldal), ezért elegendő, ha a kísérletek során tönkrement elemek cserélődnek ki (szelemenek, trapézlemezek vagy szendvicspanelek, néha a szelemeneket tartó konzolok).



2. ábra. A kísérleti szerkezet váza (balra) és a kísérletre előkészített tetőtárcsa (jobbra)

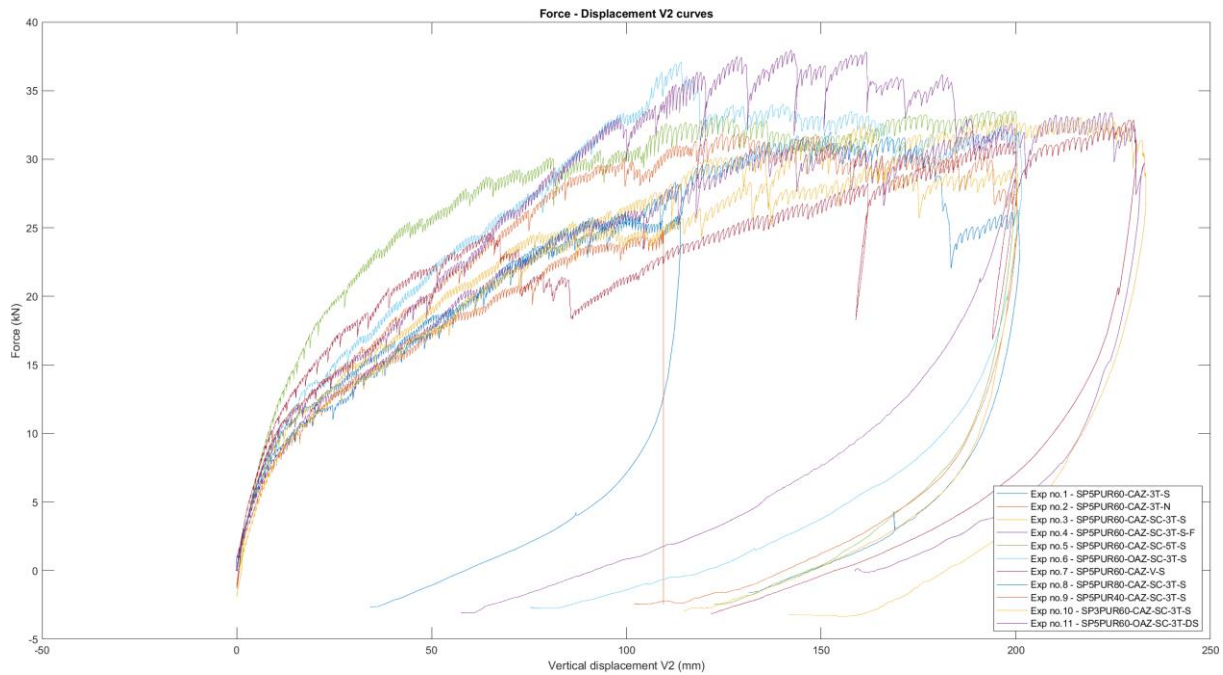
## 2.3. A tesztelt konfigurációk leírása és a kísérletek eredményei

A szendvicspaneles konfigurációk tesztelése során a következő paraméterek hatása volt vizsgálva a tetőtárcsa merevségére nézve: bordák száma egy panel esetében (5 borda-SP5 vagy 3 borda-SP3), hőszigetelő réteg típusa (poliuretán-PUR vagy kőzet gyapot-MW), a panel vastagsága (40 mm, 60 mm vagy 80 mm), gerenda-szelemen kapcsolat típusa (folytonos-C vagy átlapolt-O), terhelési irány (erős irány, ilyenkor a szelemen rátapad konzolra -AZ, vagy gyenge irány, ilyenkor a szelemen eltávolodik a konzoltól-BZ), kalotás csavarok használata (SC), a szendvicspanelek szelemenekhez történő rögzítésének pozíciója (borda taréj-T vagy völgy-V), egy panel szelemenhez történő rögzítési pontjainak száma (minden bordában-5T vagy minden második bordában-3T) és a fűzőcsavarok száma egy átfedés esetén (fűzőcsavarok 50 cm távolságra-S, fűzőcsavarok 25 cm távolságra-DS, fűzőcsavarok nélkül-N).

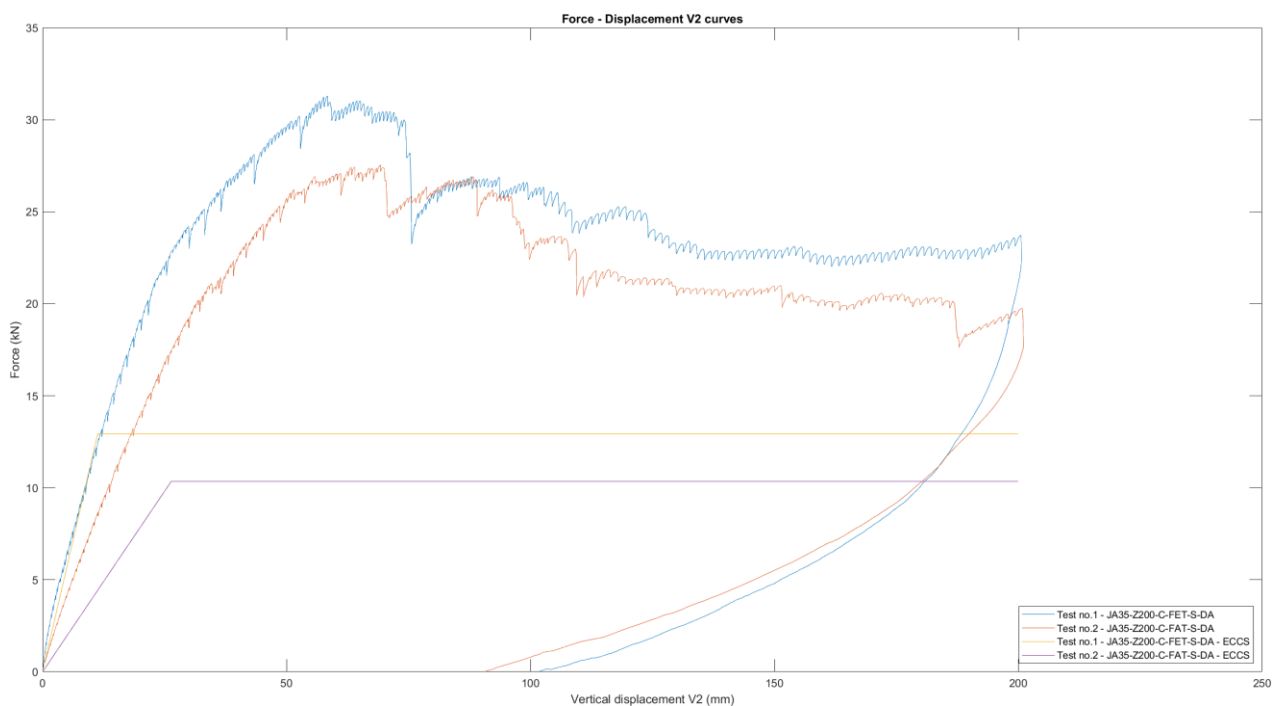
Az említett azonosítási rendszer alapján az SP5PUR60-CAZ-SC-5T-S kódolású konfiguráció 5 bordájú, poliuretán hőszigetelő anyaggal ellátott szendvicspanelekből van kialakítva, melyeknek keresztmetszeti magassága 60 mm. A szelemenek a gerendákhoz való rögzítésüknél nincsenek átlapoltva (folytonosak) és a tetőtárcsa terhelése erős irányban történt. A panelek minden bordában voltak rögzítve, kaloták használatával, valamint az átfedéseknél a fűzőcsavarok 50 cm távolságra voltak befúrva.

A trapézlemezes tetőtárcsák merevségének kísérleti meghatározásánál különböző tényezők befolyása lesz vizsgálva: trapézlemez típusa (16.5.137,5.1100-JA16.5 vagy 35.205.1035-JA35), szelemen keresztmetszetének magassága (Z150 vagy Z200), gerenda-szelemen rögzítésének típusa (folytonos-C vagy átlapolt-O), szelemen-trapézlemez rögzítésének típusa (minden völgyben lefogott-FET vagy minden második völgyben lefogott-FAT), a trapézlemezek rögzítésének pozíciója (szelemen felső övéhez rögzített egy réteg trapézlemez-S vagy szelemen felső és alsó övéhez rögzített 2 réteg trapézlemez-D) és a tetőtárcsa terhelési iránya (erős irányú terhelés-DA vagy gyenge irányú terhelés-DB).

Az eddig elvégzett kísérletek erő-elmozdulás görbéi 3. és 4. ábrákon vannak feltüntetve.



3. ábra. A szelemenekből és szendvicspanelekből alkotott konfigurációk kísérleti eredményei



4. ábra. A szelemenekből és trapézlemezekből álló konfigurációk kísérleti és analitikus eredményeinek összehasonlítása

### 3. EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA ÉS ELŐZETES KÖVETKEZTETÉSEK

A kísérleti vizsgálatok még folyamatban vannak, ezért a kutatások kiértékelése csak részeredményekre vonatkozó következtetéseket tükröz. Az eddig elvégzett analízisek során kialakult észrevételeinket az alábbiakban részletezzük.

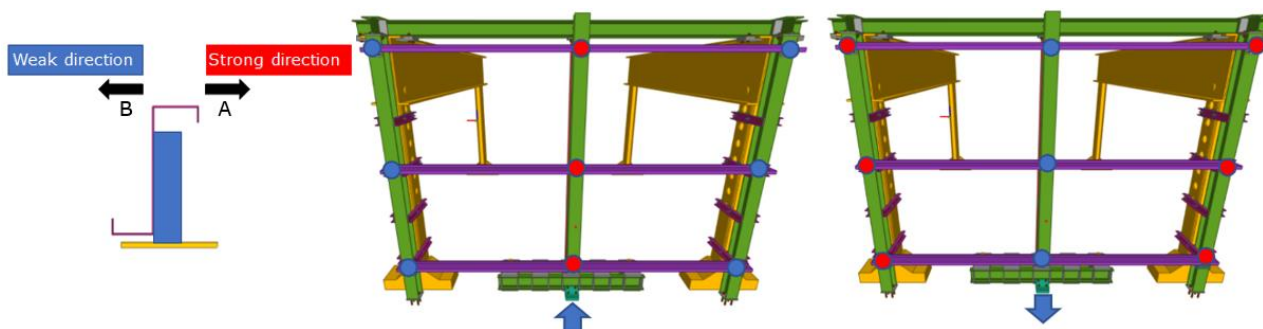
A szendvicspanelekből kialakított diafragmák esetén az erő-elmozdulás görbék lineáris viselkedést mutattak az 5-10 kN tartományban és legtöbb esetben a szendvicspanel belső lemezének tönkremenetele következik be az erő irányában, közvetlenül a rögzítő csavarok körül. A 10-25 kN közötti erőtartományban a diafragmák merevsége a kezdeti merevségi érték felére csökken. A szelemenekből és szendvicspanelekből

álló tárcsák nagy alakváltozási képességet mutatnak (a kísérleti vizsgálatokban az elmozdulások nagyjából 200 mm-ig fejlődtek) még akkor is, ha a leginkább igénybevett csavarok kitépődnek a panelből (általában ezek a diafragmák sarkainál elhelyezkedő csavarok). Ennek ellenére, a bevitt össz elmozduláshoz képest már viszonylag kis deformációknál (kb. 50 mm) a feljegyzett tönkremeneteli mechanizmusoknak tulajdoníthatóak, a burkolati rendszer nem képes ellátni elsődleges funkcióját, a csapadékvíz bejutásának meggátolását.

A kísérleti program jelenlegi szakaszában limitált adathalmaz áll rendelkezésre a trapézlemez konfigurációk esetén, hiszen a vizsgálatok száma jelentősen kisebb. Ennek ellenére megfigyelhető, hogy megközelítőleg 15-20 kN-ig lineáris viselkedést mutat és a maximális nyírókapacitás körülbelül 100 mm-es elmozdulásnál érhető el. Hasonlóan a szendvicspaneles tárcsákhoz, nagy alakváltozási képességről tesznek bizonyosságot, viszont velük ellentétben hajlamosak számottevően hosszabb ideig megőrizni elsődleges vízzáró burkolatként betöltött szerepüket.

A 4. ábrán az eddig letesztelt, trapézlemez konfigurációk kísérleti úton meghatározott erő-elmozdulás görbéi láthatók, valamint a tervezési útmutatóban [2] leírt analitikus módszerek segítségével esztimált elméleti merevség és nyírókapacitás van feltüntetve. Összehasonlítva a kísérleti görbéket az elméleti esztimált eredményekkel kiténik, hogy a diafragmák kapacitását az analitikus eljárások alábecsülik.

A szelemenekből és trapézlemezekből vagy szendvicspanelekből álló tárcsák merevségét jelentősen befolyásolja a gerenda-szelemen kapcsolat merevsége. Ennek meghatározására a jelenleg érvényben lévő tervezési útmutató [2] csak korlátozott információt tartalmaz. Egyáltalán nem különbözteti meg a gerenda-szelemen kapcsolat merevségét a két terhelési irány szerint (erős (A) irány és gyenge (B) irány). Bryan E.R. és El Dakhkni W.M [4] vizsgálata kimutatta, hogy különbség van a két merevségi érték között, azonban az ECCS által leírt eljárások egyetlen értéket említenek, amelyek vagy konzervatívabbak vagy a két irány merevségi átlagát adják meg.



5. ábra. A gerenda-szelemen kapcsolatok kettős viselkedése a kísérletek során

Az elvégzett kísérleti vizsgálatok rávilágítanak az említett kapcsolatok kettős viselkedésére (5. ábra). Megfigyelhető, hogy ha a középső gerenda a kék nyíl irányában elmozdul, akkor a csúszó gerenda-szelemen kapcsolatok ellentétes irányban aktiválódnak. Ezáltal az első esetben három erős irányú kapcsolati merevség, a második esetben pedig 6 erős irányú kapcsolati merevség aktiválódik. A szerzők által végzett eddigi numerikus analízisek kimutatták a diafragmák merevségének változását az alkalmazott terhek függvényében, amelyek befolyásolják az említett kapcsolatok aktiválódásának irányát és arányát is. A változó merevség behatóbb megértését a tárcsahatás további vizsgálatát igényli.

A kutatási program a szelemenekből és trapézlemezekből álló tetőtárcsák kísérleteivel folytatódik, majd a kísérletek során összegyűjtött adatok alapos feldolgozásával és elemzésével.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket fejezik ki a CHIULAN KFT, CON-A KFT, EJOT ROMANIA KFT, HILTI ROMANIA KFT, JORIS IDE KFT, MEXI WEB PROJECT KFT és a TERASTEEL RT. vállalatoknak a bemutatott kutatási program megvalósításában nyújtott támogatásukért.

Továbbá, a szerzők köszönetüket fejezik ki Magyarország Collegium Talentum programjának támogatásáért és a Magyar Tudományos Akadémia (MTA) Domus ösztöndíjprogramon keresztül nyújtott segítségével, a kutatások folytatásában és feldolgozásában.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Davies J. M., Bryan E. R. - *Manual of Stressed Skin Diaphragm Design*, London, 1982.
- [2] European Recommendations for the Application of Metal Sheeting acting as a Diaphragm - *Stressed Skin Design, European Convention for Constructional Steelwork No. 88*, 1995.
- [3] INCERC București - *Normativ de calcul pentru construcții metalice cu diafragme din tablă cutată, indicativ NP 041 – 2000*, Buletinul Construcțiilor Vol. 19 – 20, Universitatea Tehnică de Construcții București – Facultatea de Construcții Civile și Industriale - Catedra de Construcții Metalice, Universitatea Politehnică Timișoara, 2000.
- [4] Bryan E. R., El-Dakhkhni W. M. - *Shear Flexibility and Strength of Corrugated Decks*. Journal of STRUCTURAL DIVISION, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 1968.
- [5] Nagy Zs., Pop A., Moiş I., Ballok R.: *Stressed Skin Effect on the Elastic Buckling of Pitched Roof Portal Frames*, Structures, Volume 8, Part 2, 2016, Pages 227-244, ISSN 2352-0124.
- [6] Nagy Zs., Nedelcu M., Dező A. - *Stabilization effect on portal frames given by stressed skin action of sandwich panels*, THE SEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL ENGINEERING, MECHANICS AND COMPUTATION, SEMC 2019, Cape Town, South Africa, 2019.
- [7] Nagy Zs., Nedelcu M., Dező A. - *The influence on portal frame buckling of different cladding systems – a comparative numerical study considering stressed skin effect*, Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Coupled Instabilities in Metal Structures, CIMS 2021.
- [8] Nagy Zs., Kelemen A., Nedelcu M. – *The influence on portal frame buckling of different cladding systems – A comparative numerical study considering stressed skin effect*, Thin-Walled Structures 182 (2023) 110310.
- [9] Nagy Zs., Bács B., Kelemen A., Sánduly A., Nagy Ö., Lőrincz B. A. – *Rafter-purlin connection stiffness impact on the stressed skin effect of corrugated sheet claddings*, Thin-Walled Structures 185 (2023) 110615.