

ВЛИЯНИЕ НА ДЕБЕЛИНАТА НА ПОКРИВНИ ИЗОЛАЦИОННИ ПАНЕЛИ С ПЪЛНЕЖ ОТ PUR ВЪРХУ НОСЕЩАТА СПОСОБНОСТ ПРИ ПОЛОЖИТЕЛНИ ОГЪВАЩИ МОМЕНТИ

Пламена Балева-Йосифова

INFLUENCE OF THE THICKNESS OF ROOF INSULATION PANELS WITH PUR FILLING ON THE LOAD-BEARING CAPACITY UNDER POSITIVE BENDING MOMENTS

Plamena Baleva-Yosifova¹

Abstract:

The report presents an experimental study of the load-bearing capacity for positive bending moments of self-supporting roof insulation panels with polyurethane (PUR) filling, double skin metal faced. Results for three series of four panels with different thicknesses – 30mm, 100mm and 150mm are considered. The mechanism of destruction of the elements and the rate of increase in the load-bearing capacity for the ultimate and serviceability limit state depending on the thickness of the elements are compared.

Keywords:

Insulation panels, testing, load-bearing capacity, bending

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременната строителна практика е много масово използването на самоносещи двустранно облицовани с метални листове сандвич панели за покриви. Техни основни предимства са ниското собствено тегло, съчетано с дълготрайност и добри топло- и звуко-изолационни качества. Най-често използваното антикорозионно покритие при панелите е горещо поцинковане и боя в различни цветове и текстури, което е голямо архитектурно предимство за елементите [3].

Носещата способност на тези строителни продукти се обуславя от носещата способност на подходящо оформени метални листове, разстоянието между тях (дебелината на панела) и свойствата на изолационният пълнеж материал. От особено голяма важност за носещата способност е качеството на връзката на стоманените листове с пълнежния материал. При панелите с пълнеж от полиуретан (PUR) и полиизоциануратна твърда пяна (PIR) връзката се осъществява от адхезионните свойства

¹ Пламена Балева-Йосифова, гл. ас. д-р инж. в катедра „Строителни конструкции“, Строителен факултет на ВСУ „Любен Каравелов“, гр. София, ул. Суходолска №175, baleva_josifova@abv.bg;
Plamena Baleva_Yosifova PhD, Chief. Asst. Prof. Eng in Department of Building Structures at the VSU "L. Karavelov", address: 1373 Sofia, 175 Suhodolska Street , e-mail: baleva_josifova@abv.bg

на съответната пяна, а при изолационните панели с пълнеж от минерална вата (MW) адхезията се осъществява с подходящи лепила [2].

В докладът е представен сравнителен анализ на носещите способности на покривни сандвич панели с пълнеж от полиуретан, установени експериментално.

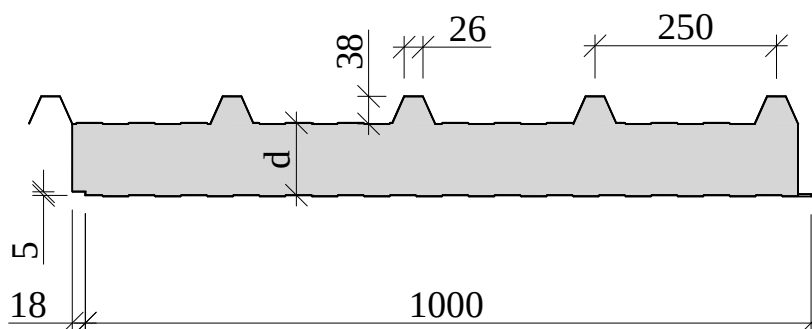
2. ГЕОМЕТРИЯ НА ДВУСТРАННО ОБЛИЦОВАНИТЕ С МЕТАЛНИ ЛИСТОВЕ САНДВИЧ ПАНЕЛИ ПРЕДСТАВЕНИ В ДОКЛАДА

Производителите на сандвич панели разработват продуктите си гами в две направления спрямо предвиденото приложение: покривни и стенни. Покривните панели, поради по-високите експлоатационни натоварвания са оформени с висок профил на единият или двата облицовъчни стоманени листове. Дължините на панелите обикновено могат да бъдат различни и се произвеждат по индивидуална поръчка за конкретният обект. Има разработени различни видове съединения между отделните панели [4], които оказват голямо влияние върху топло- и звуко- изолацията на тези елементи. Съществува известно влияние и върху носещата способност на елементите, особено що се отнася до несиметрично натоварените елементи [2].

В докладът са представени експериментално получени резултати за покривни и стенни панели.

2.1. Геометрия на напречното сечение на изпитваните покривни панели.

Напречен разрез на покривните панели е представена на Фиг. 1.



Фигура 1. Напречен разрез на покривен панел

2.2. Дължина на опитните образци.

С оглед при изпитването на опитният образец разрушението да бъде доминирано от огъване в таблица А.1 от [1] се препоръчват индикативни отвори зависещи от дебелината на панелът.

Таблица 1. Индикативни отвори за получаване на разрушение от огъване.

Дебелина на панелът [d]	Индикативен отвор [L]
$d < 40 \text{ mm}$	3,0 m
$40 \text{ mm} \leq d < 60 \text{ mm}$	4,0 m
$60 \text{ mm} \leq d < 100 \text{ mm}$	5,0 m
$d \geq 100 \text{ mm}$	6,0 m

2.3. Типове панели представени в доклада.

В докладът са включени резултати от изпитване на покривни панели с пълнеж от PUR с еднаква геометрия на напречния профил и различна дебелина.

Използвани са следните серии:

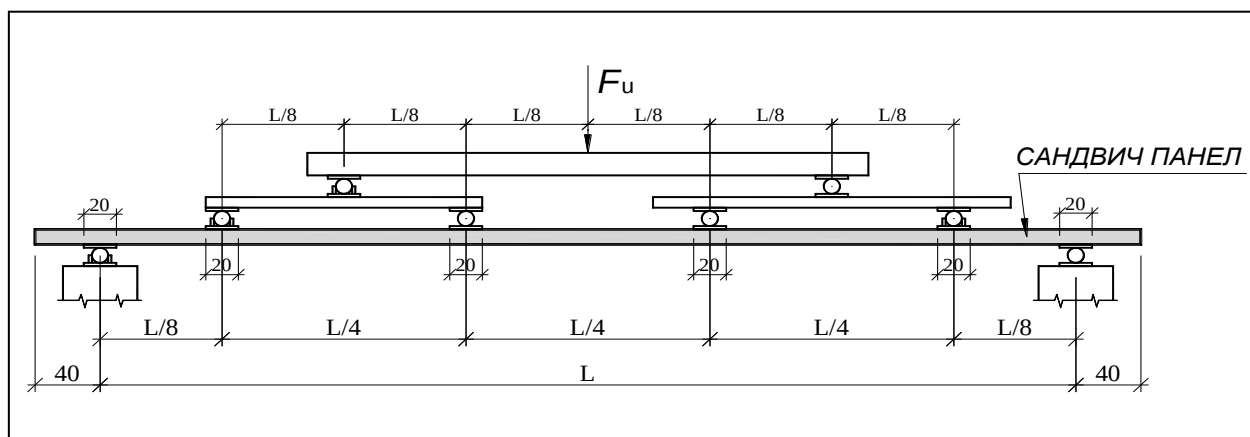
Серия 1: четири броя панели с дебелина d : 30mm и дължина $L=3,0$ m;

Серия 2: четири броя панели с дебелина d : 100mm и дължина $L=6,0$ m;

Серия 3: четири броя панели с дебелина d : 150mm и дължина $L=6,0$ m.

3. СХЕМА ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ

Извършеното експериментално изследване за носеща способност на огъване на покривни сандвич панели е съгласно изискванията на т.А.5 от [1]. Представено е определяне на носещата способност за положителен огъващ момент на покривни панели. Подпирането на образците е проста греди. На фиг.2 е представена схема на подпиране и натоварване на опитните образци.



Фигура 2. Схема на натоварване и подпиране на сандвич панел за определяне на носеща способност при положителни огъващи моменти

Опитните образци са подпрени на линейни опори по цялата ширина на панелите, като едната опора е подвижна, а другата е неподвижна. Широчината на стъпване с оглед ограничаване на локални повреди е 20 cm (фиг.3).



Фигура 3. Подпиране на покривен сандвич панел $d=30$ mm върху подвижна опора

Опитната постановка се натоварва с хидравличен цилиндър, като натоварването се разпределя на четири еднакви линейни товара Фиг.4. Линейното натоварване е по цялата ширина на панела, като стъпването е в ниската част на вълната на стоманената облицовка Фиг.4, съгласно фиг.А.12 от [1]. Широчината на елементите предаващи натоварването е 20 cm.

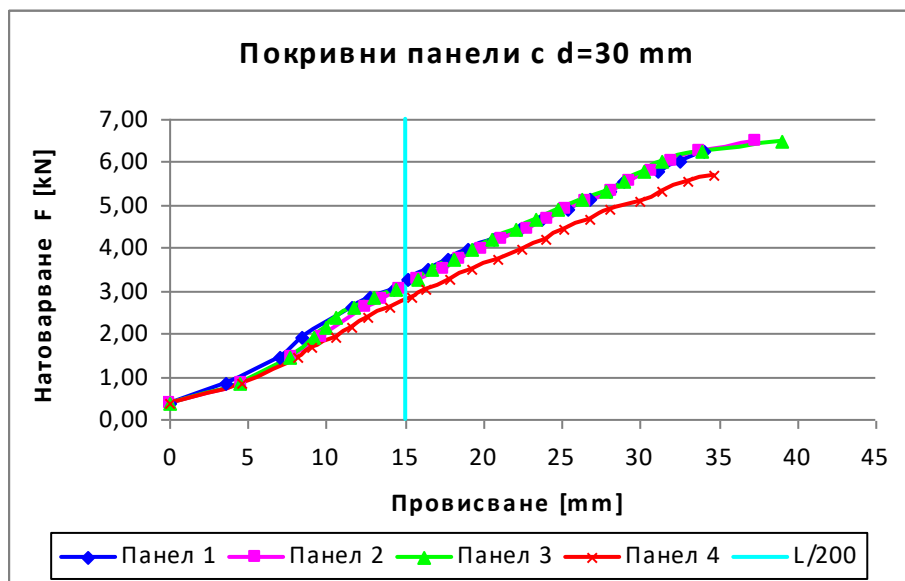
Извършено е натоварване на стъпки до разрушение на опитните образци, като на всяка стъпка са измервани провисванията, за да се определи носещата способност за експлоатационно гранично състояние.



Фигура 4. Изпитване на сандвич панел за определяне на носеща способност при положителни огъващи моменти

4. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗПИТВАНЕТО

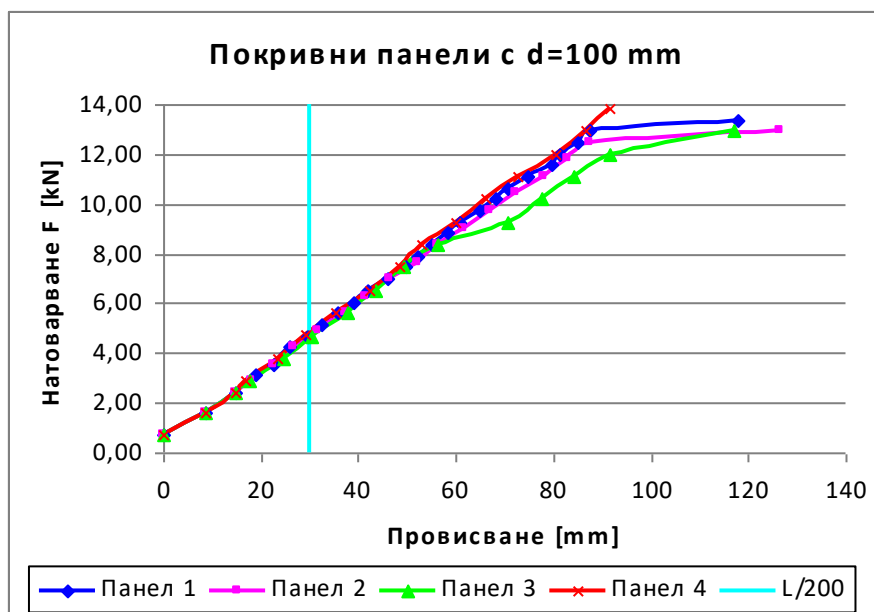
Подробни резултати за провисването на опитните образци за всяка от стъпките на натоварване са дадени на фиг.5, фиг.6 и фиг.7. Извършена е обработка на резултатите за определяне на огъващият момент при разрушение на образците – Крайно гранично състояние M_u^{ULS} и при достигане на гранична деформация - Експлоатационно гранично състояние M^{SLS} . В БДС EN 14509:2013 [1] т. Е.5.4. се препоръчва провисванията при покривни панели да са до $L/200$. Получените резултати са дадени в Таблица 2, Таблица 3 и Таблица 4.



Фигура 5. Провисване на покривни панели с дебелина 30 mm

Таблица 2. Огъващи моменти при достигане на покривните панели с дебелина d=30 mm в експлоатационно гранично състояние SLS и в крайно гранично състояние ULS.

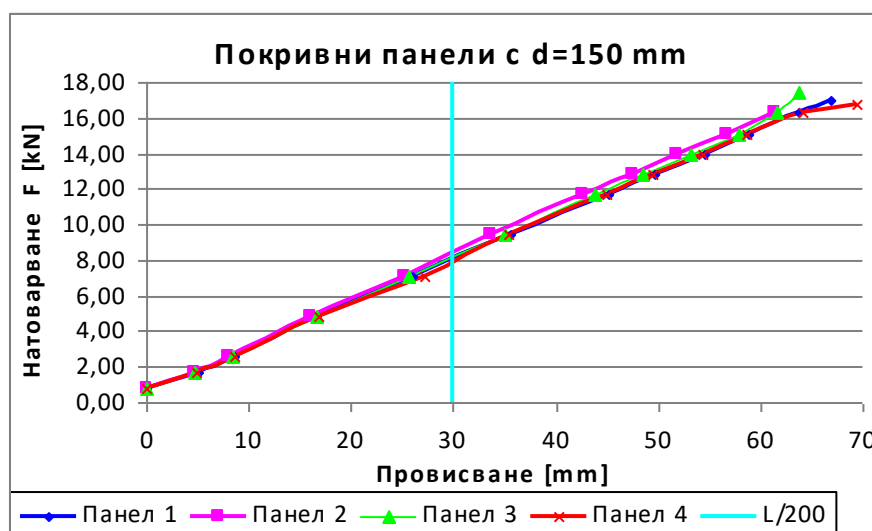
Панел	M_u^{ULS} [kN.m]	M^{SLS} [kN.m]
1	2,42	1,20
2	2,42	1,16
3	2,42	1,17
4	2,22	1,02
Средно	2,37	1,14



Фигура 6. Провисване на покривни панели с дебелина 100 mm

Таблица 3. Огъващи моменти при достигане на покривните панели с дебелина $d=100$ mm в експлоатационно гранично състояние SLS и в крайно гранично състояние ULS.

Панел	M_u^{ULS} [kN.m]	M^{SLS} [kN.m]
1	10,03	3,55
2	9,69	3,53
3	9,69	3,49
4	10,38	3,62
Средно	9,95	3,55



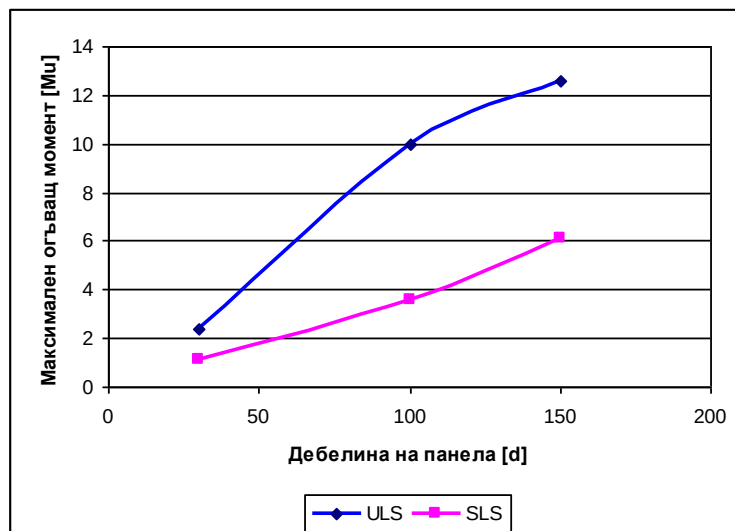
Фигура 7. Провисване на покривни панели с дебелина 150 mm

Таблица 4. Огъващи моменти при достигане на покривните панели с дебелина $d=150$ mm в експлоатационно гранично състояние SLS и в крайно гранично състояние ULS.

Панел	M_u^{ULS} [kN.m]	M^{SLS} [kN.m]
1	12,71	6,05
2	12,19	6,30
3	13,05	6,14
4	12,53	5,92
Средно	12,62	6,10

5. АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗПИТВАНЕТО

На фиг.8 графично е представено изменението на максималния огъващ момент при достигане в крайно гранично състояние (ULS) и огъващият момент при достигане на гранични деформации (SLS) в зависимост от дебелината на изолационните панели.



Фигура 8. Огъващи моменти при достигане на ULS и SLS отнесени към дебелината на панелите

5.1. Носеща способност за крайно гранично състояние ULS:



Фигура 9. Разрушен покривен панел с дебелина 100 mm

Механизмът на разрушение на изпитаните образци е чрез местно смачкване на стоманеният лист в натискава зона (фиг. 9). Моментът на настъпване на местната загуба на устойчивост в голяма степен зависи от характеристиките на пълнежният изолационен материал и на качеството на връзката със стоманените листове.

При сравнение на носещата способност на панели с дебелина от $d=30$ mm до $d=100$ mm нарастването е с $1,08$ kN.m за един сантиметър нарастване на дебелината. При сравнение на носещата способност за панели с дебелина от $d=100$ mm до $d=150$ mm нарастването е с $0,53$ kN.m за един сантиметър нарастване на дебелината.

5.2. Носеща способност за експлоатационно гранично състояние SLS.

С увеличаване на дебелината на покривните панели значително нараства тяхната коравина и граничните провисвания се достигат при по-големи натоварвания, като функцията на нарастване на коравината е нелинейна.

При сравнение на огъващите моменти при достигане на гранично провисване на панели с дебелина от $d=30$ mm до $d=100$ mm нарастването е с 0,34 kN.m за един сантиметър нарастване на дебелината. При сравнение на панели с дебелина от $d=100$ mm до $d=150$ mm нарастването е с 0,51 kN.m за един сантиметър нарастване на дебелината.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Механизмът на разрушение на изпитаните образци е чрез местно смачкване на стоманеният лист в натискава зона. Увеличението на носещата способност в зависимост от дебелина при покривни панели с пълнеж от PUR е с изразено нелинеен характер. С нарастване на дебелината носещата способност на покривните панели забавя значително нарастването си, като измереното при изпитването намаление е с 50,9%.

С увеличаване на дебелината на покривните панели значително нараства тяхната коравина и граничните провисвания се достигат при по-големи натоварвания, като функцията на нарастване на коравината е нелинейна. Максималния огъващ момент при достигане до експлоатационно гранично състояние с увеличаване на дебелината се увеличава в по-голяма степен, като измереното при изпитването нарастване е с 40%.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторът изказва своята благодарност към Научноизследователски строителен институт НИСИ ЕООД за подкрепата и за предоставената възможност да се използва базата и измервателната апаратура за провеждане на изпитванията включени в доклада.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 14509:2013 Самоносещи се двустранно облицовани с метални листове сандвич панели, произведени в заводски условия. (стандарт).
- [2] Т. Георгиев, Пл. Балева, Проектиране на покривни и стенни панели чрез „товарни“ таблици, Годишник на УАСГ, том 54, бр.3, доклад на седмия национален симпозиум по стоманени, дървени и комбинирани конструкции УАСГ, проведен на 18.6.2021. Стр. 625-640, София, 2021, ISSN 1310-814X (публикация в сборник с доклади).
- [3] Ilieva Y., Color solutions for facades using metal cladding and metal three-layer 38 panels. In: Reports of the III International Scientific Conference of the Countries of Southeast 39 Europe BALKANCOLOR - 2013 - "Color in all directions", Veliko Tarnovo, 2013 (публикация в сборник с доклади).
- [4] Ilieva Y., Metal façade panels type “sandwich” – configuration of the elements, types of joints and stages of their development, Report of the 6th International Conference “Architecture, Construction – Modernity”, V 2013 (публикация в сборник с доклади).