

ВЛИЯНИЕ НА ПЪЛНЕЖА ВЪРХУ НОСЕЩАТА СПОСОБНОСТ НА ПОЛОЖИТЕЛНИ ОГЪВАЩИ МОМЕНТИ ПРИ ПОКРИВНИ САНДВИЧ ПАНЕЛИ

Борислав Тотев Даалов¹

INFLUENCE OF FILLING ON THE LOAD-BEARING CAPACITY OF POSITIVE BENDING MOMENTS IN ROOF SANDWICH PANELS

Borislav Totev Daalov¹

Abstract:

In recent years, self-supporting, double-sided sandwich panels lined with metal sheets have been widely used for wall and roof coverings in the construction of factories, warehouses and other buildings. The load-bearing capacity of sandwich panels depends on a number of factors. The most significant are:

- the steel grade and the thickness of the steel sheets;*
- the profiling of the steel sheets and the classes of their cross-sections;*
- the composite action of the metal sheets with the insulating filling between them.*

This report presents a comparative analysis of the load-bearing capacities under positive bending moment of roof sandwich panels filled with polyurethane (PUR), polyisocyanurate rigid foam (PIR) and mineral wool (MW), determined experimentally.

Keywords:

Sandwich panels, Polyurethane, Polyisocyanurate rigid foam, Mineral wool, Bending moment resistance.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В последните години масово се използват самоносещи, двустранно облицовани с метални листове сандвич панели за стенни и покривни покрития в строителството на заводи, складове и други сгради. Основни предимства на тези панели са ниското собствено тегло, съчетано с дълготрайност и добри топло и звуко-изолационни качества. Носещата способност на сандвич панелите зависи от редица фактори. По-значими са:

- класът на стоманата и дебелината на стоманените листове;
- профилирането на стоманените листове и класовете на напречните им сечения;
- осъществяване на съвместна работа на металните листове чрез изолационния пълнеж между тях.

¹, доц. д-р инж. Борислав Тотев Даалов в катедра „Строителни конструкции“, Строителен факултет на ВСУ „Любен Каравелов“, гр. София, ул. Суходолска №175, bobdaal@abv.bg;

Borislav Totev Daalov PhD, Chief. Assoc. Prof. Eng in Department of Building Structures at the VSU "L. Karavelov", address: 1373 Sofia, 175 Suhodolska Street , e-mail: bobdaal@abv.bg

От особено голяма важност за осъществяване на съвместна работа на металните листове е качеството на връзката на стоманените листове с пълнежния материал. При панелите с пълнеж от полиуретан (PUR) и полиизоциануратна твърда пена (PIR) връзката се осъществява от адхезионните свойства на съответната пена, а при изолационните панели с пълнеж от минерална вата (MW) адхезията се осъществява с подходящи лепила.

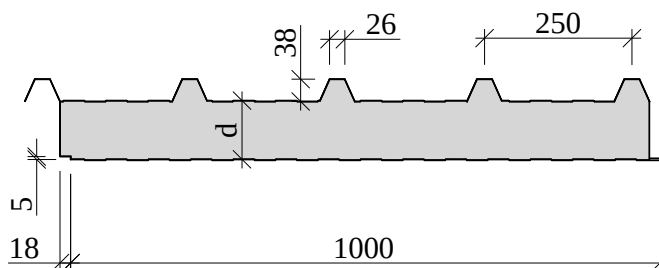
В настоящия доклад е представен сравнителен анализ на носещите способности при положителен огъващ момент на покривни сандвич панели с пълнеж от полиуретан (PUR), полиизоциануратна твърда пена (PIR) и минерална вата (MW), установени експериментално. Изпитванията, резултатите от които се анализират в настоящия доклад, са проведени в НАУЧНОИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИ СТРОИТЕЛЕН ИНСТИТУТ НИСИ ЕООД гр. София.

2. НАПРЕЧНИ СЕЧЕНИЯ НА РАЗГЛЕДАНИТЕ ПОКРИВНИ САНДВИЧ ПАНЕЛИ

Покривните панели, поради по-високите експлоатационни натоварвания, спрямо стенните панели, са оформени с висок профил на единият или двата облицовъчни стоманени листове. Стенните панели се произвеждат с много нисък профил на стоманените листове. Дължините на панелите обикновено са различни и се произвеждат по индивидуална поръчка за конкретни обекти.

2.1. Размери на напречните сечения на изпитваните покривни панели.

Разрез, показващ напречното сечение на покривните панели е представена на Фиг. 1.

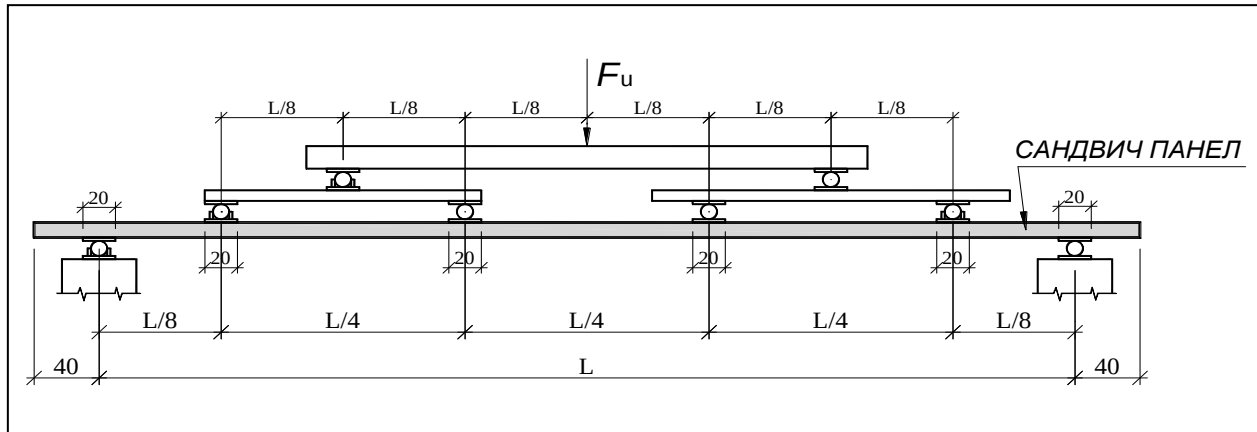


Фигура 1. Типово напречно сечение при покривни панели

В докладът са включени резултати от изпитване на покривни панели с пълнеж от полиуретан (PUR), полиизоциануратна твърда пена (PIR) и минерална вата (MW) , с дебелина d: 100mm и 150mm.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПОСТАНОВКА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НОСЕЩАТА СПОСОБНОСТ ПРИ ПОЛОЖИТЕЛНИ ОГЪВАЩИ МОМЕНТИ

Изпитванията за определяне на носеща способност на огъване на сандвич панели са извършени съгласно изискванията на БДС EN 14509:2013 Самоносещи се двустранно облицовани с метални листове сандвич панели, произведени в заводски условия. Изисквания. т.А.5 Изпитване за определяне на носещата способност за огъване на панел при подпиране – проста греда. На фиг.2 е представена схемата за изпитване на покривни панели за определяне носещата им способност при положителни огъващи моменти.



Фигура 2. Схема за изпитване на покривни панели за определяне носещата им способност при положителти огъващи моменти

При изпитването, отворите на подпиране на на панелите са съобразени с препоръчителните индикативни отвори, дадени в БДС EN 14509:2013 , с цел разрушението да бъде доминирано от работа на огъване.

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

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

Изпитванията са проведени при следните отвори на подпиране:

При дебелина $d = 100\text{mm}$ и $d = 150\text{mm}$: $L=6,0 \text{ m}$.

Натоварването е приложено на стъпки до разрушение на опитните образци.

Изпитваните панели с различен пълнеж от една и съща дебелина имат еднакви характеристики на стоманените листове.



Фигура 3. Изпитване на покривен сандвич панел за определяне на носеща способност при положителни огъващи моменти

4. РЕЗУЛТАТИ ПРИ ИЗПИТВАНЕТО НА ПОКРИВНИ ПАНЕЛИ

4.1. Резултати от изпитването на покривни панели с пълнеж от полиуретан (PUR)

В Табл. 2 са показани достигнатите носещи способности при положителни огъващи моменти на покривни панели с дебелина 100 mm и пълнеж от полиуретан .

Таблица 2. Достигнати носещи способности при положителни огъващи моменти на покривни панели с дебелина 100 mm и пълнеж от полиуретан при крайно гранично състояние ULS.

Панел	M_u
Покривен PUR 100 mm	kNm
1	10,03
2	9,69
3	9,69
4	10,38
Средно	9,95

В Табл. 3 са показани достигнатите носещи способности при положителни огъващи моменти на покривни панели с дебелина 150 mm и пълнеж от полиуретан .

Таблица 3. Достигнати носещи способности при положителни огъващи моменти на покривни панели с дебелина 150 mm и пълнеж от полиуретан при крайно гранично състояние ULS.

Панел	M_u
Покривен PUR 150 mm	kNm
5	12,71
6	12,19
7	13,05
8	12,53
Средно	12,62

4.2. Резултати от изпитването на покривни панели с пълнеж от полиизоциануратна твърда пяна (PIR)

В Табл. 4 са показани достигнатите носещи способности при положителни огъващи моменти на покривни панели с дебелина 100 mm и пълнеж от полиизоциануратна твърда пяна.

Таблица 4. Достигнати носещи способности при положителни огъващи моменти на покривни панели с дебелина 100 mm и пълнеж от полиизоциануратна твърда пяна при крайно гранично състояние ULS.

Панел	M_u
Покривен PIR 100 mm	kNm
9	11,60
10	10,92
11	11,43
12	11,94
Средно	11,47

В Табл. 5 са показани достигнатите носещи способности при положителни огъващи моменти на покривни панели с дебелина 150 mm и пълнеж от полиизоциануратна твърда пяна.

Таблица 5. Достигнати носещи способности при положителни огъващи моменти на покривни панели с дебелина 150 mm и пълнеж от полиизоциануратна твърда пяна при крайно гранично състояние ULS.

Панел	M_u
Покривен PIR 150 mm	kNm
13	16,38
14	17,07
15	16,72
16	16,73
Средно	16,72

4.3. Резултати от изпитването на покривни панели с пълнеж от минерална вата (MW)

В Табл. 6 са показани достигнатите носещи способности при положителни огъващи моменти на покривни панели с дебелина 100 mm и пълнеж от минерална вата.

Таблица 6. Достигнати носещи способности при положителни огъващи моменти на покривни панели с дебелина 100 mm и пълнеж от минерална вата при крайно гранично състояние ULS.

Панел	M_u
Покривен MW 100 mm	kNm
17	7,94
18	7,95
19	7,95
20	6,92
Средно	7,69

В Табл. 7 са показани достигнатите носещи способности при положителни огъващи моменти на покривни панели с дебелина 150 mm и пълнеж от минерална вата.

Таблица 7. Достигнати носещи способности при положителни огъващи моменти на покривни панели с дебелина 150 mm и пълнеж от минерална вата при крайно гранично състояние ULS.

Панел	M_u
Покривен MW 150 mm	kNm
21	11,46
22	11,29
23	11,12
24	9,92
Средно	10,95

4.4. Критерии за настъпване на крайно гранично състояние ULS при работа на огъване



Фигура 4. Настъпване на местно смачкване при изпитване на покривен сандвич панел на огъване

На Фиг. 4 е показан момента на настъпване на местно смачкване при горния лист ламарина, попадащ в натисковата зона при работа на положителни огъващи моменти. В случая това е критерия за достигане на крайно гранично състояние при ипитване на огъване.

5. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ИЗПИТВАНЕТО НА ПОКРИВНИ ПАНЕЛИ ЗА НОСЕЩА СПОСОБНОСТ ПРИ ПОЛОЖИТЕЛНИ ОГЪВАЩИ МОМЕНТИ

5.1. Анализ на получените резултати от изпитването на покривни панели с дебелина 100 mm

От покривните панели с дебелина 100 mm, най-голяма носеща способност при работа на положителен огъващ момент имат панелите с пълнеж от полиизоциануратна твърда пяна. Средната стойност на огъващия момент, при достигане на крайно гранично състояние, е $M_u = 11,47 \text{ kNm}$. При покривните панели с пълнеж от полиуретан средната стойност на огъващия момент, при достигане на крайно гранично състояние, е $M_u = 9,95 \text{ kNm}$, което е с близо 13 % по-малка носеща способност от тази на панелите с пълнеж от полиизоциануратна твърда пяна. При покривните панели с пълнеж от минерална вата средната стойност на огъващия момент, при достигане на крайно гранично състояние, е $M_u = 7,69 \text{ kNm}$, което е с близо 31 % по-малка носеща способност от тази на панелите с пълнеж от полиизоциануратна твърда пяна.

5.2. Анализ на получените резултати от изпитването на покривни панели с дебелина 150 mm

От покривните панели с дебелина 150 mm, най-голяма носеща способност при работа на положителен огъващ момент имат панелите с пълнеж от полиизоциануратна твърда пяна. Средната стойност на огъващия момент, при достигане на крайно гранично състояние, е $M_u = 16,72 \text{ kNm}$. При покривните панели с пълнеж от полиуретан средната стойност на огъващия момент, при достигане на крайно гранично състояние, е $M_u = 12,62 \text{ kNm}$, което е с близо 25 % по-малка носеща способност от тази на панелите с пълнеж от полиизоциануратна твърда пяна. При покривните панели с пълнеж от минерална вата средната стойност на огъващия момент, при достигане на крайно гранично състояние, е $M_u = 10,95 \text{ kNm}$, което е с близо 35 % по-малка носеща способност от тази на панелите с пълнеж от полиизоциануратна твърда пяна.

5.3. Изводи относно съвместната работа при огъване на стоманените листове при покривните панели при различен пълнеж между тях.

На базата на разгледаните резултати от изпитванията може да се направи заключението че най-добре се осигурява съвместна работа на огъване на листовите стоманена ламарина при панелите с пълнеж от полиизоциануратна твърда пяна. По-малка с 13 % до 25 % е съвместната работа на огъване на листовите стоманена ламарина при панелите с пълнеж от полиуретан. Още по-малка с 31 % до 35 % е съвместната работа на огъване на листовите стоманена ламарина при панелите с пълнеж от минерална вата.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторът на публикацията изразява благодарност към Г-жа Мая Косева, Управител на НИСИ ЕООД, за предоставените данни.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 14509:2013 Самоносещи се двустранно облицовани с метални листове сандвич панели, произведени в заводски условия. Изисквания. т.А.5 Изпитване за определяне на носещата способност за огъване на панел при подпиране – проста греда. *(стандарт)*.
- [2] БДС EN 1993-1-3:2024. Проектиране на стоманени конструкции. Част 1-3: Общи правила. Допълнителни правила за студеноформувани елементи и профилирани листове“. *(стандарт)*.