



Получена: 07.05.2021 г.

Приета: 17.05.2021 г.

## ПРОЕКТИРАНЕ НА ПОКРИВНИ И СТЕННИ ПАНЕЛИ ЧРЕЗ „ТОВАРНИ“ ТАБЛИЦИ

Т. Георгиев<sup>1</sup>, Пл. Балева<sup>2</sup>

*Ключови думи:* панели, сандвич, монопанел, проектиране, таблици, товарни

### РЕЗЮМЕ

В доклада са разгледани товарните таблици за оразмеряване на покривни и стенни панели, които производителите предлагат във фирмените си каталози. Разгледани са видовете таблици и техните предимства и недостатъци. Направени са предложения, за да може таблиците да се ползват безпроблемно в проектирането.

### 1. Въведение

Под покривни и стенни панели в текста по-долу трябва да се разбира:

- панели с два външни слоя профилирана ламарина и среден слой от топлоизолация; за краткост ще бъдат наричани „сандвич панели“;
- панели със само един слой профилирана ламарина, един слой топлоизолация и един слой хидроизолация; за краткост ще бъдат наричани „монопанели“.

Първият вид панели се употребяват и като покривни, и като стенни – външни и преградни, както и за тавани. Вторият вид се употребяват само като покривни панели. Според [1] идеята за панели от няколко слоя материали е на инженерите от Forest Products Laboratory в САЩ от 1935 година. За първа реализация се смятат „Usonian houses“, проектирани и реализирани от известния архитект Франк Лойд Райт през 30-те години на XX век също в САЩ. В тези сгради са използвани стенни панели от 3 слоя шперплат и два слоя намазана с битум хартия, поставени между слоевете шперплат.

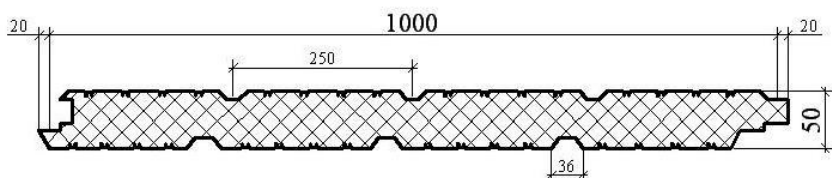
---

<sup>1</sup> Тодор Георгиев, доц. д-р инж., кат. „Строителни конструкции“, ВСУ „Л. Каравелов“, ул. „Суходолска“ № 175, 1373 София, e-mail: georgiev.todor.d@gmail.com.

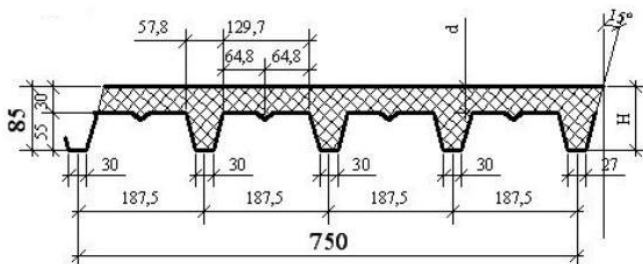
<sup>2</sup> Пламена Балева-Йосифова, гл. ас. д-р инж., кат. „Строителни конструкции“, ВСУ „Л. Каравелов“, ул. „Суходолска“ № 175, 1373 София, e-mail: baleva\_josifova@abv.bg

През 1952 г. Alden B. Dow, ученик на Райт, създава първата панела от два слоя шперплат и сърцевина от пяна, която може да се приеме за първата „сандвич” панела, макар и с дървени носещи слоеве. Тази конструкция се прилага и до днес в дървените конструкции.

Съвременните строителни сандвич панели с два външни слоя от метална профилирана ламарина и среден изолационен слой от полиуретан са патентовани през 1961 година от италианската фирма Metecno [2] (фиг. 1). По същото време Metecno създават и монопанелите (фиг. 2). На фиг. 1 и 2 са показани произвежданите преди 1989 г. в България по лиценз на Metecno сандвич панели и монопанели.



Фиг. 1. Стенни „сандвич” панели „Булгарсоматерм” с дебелина 50 mm [3]



Фиг. 2. Покривни панели „Булгармонопанел”с ЛТ-55 [3]

Оразмеряването на монопанелите първоначално става при предпоставката, че профилираната ламарина сама носи товарите, включително собственото тегло на панела [4]. Панелът се разглежда като греда – проста или непрекъсната, а усилията се определят в еластичен стадий. За целта са дадени геометричните характеристики на профилираната ламарина. В този начален етап ламарината има дебелини от 0,6 до 1,2 mm, а стоманата, от която се произвеждат, е от най-ниския клас.

Но още с появата на първите сандвич панели оразмеряването им поставя трудна за решаване задача. Това се дължи на сложното поведение на панелите под товар.

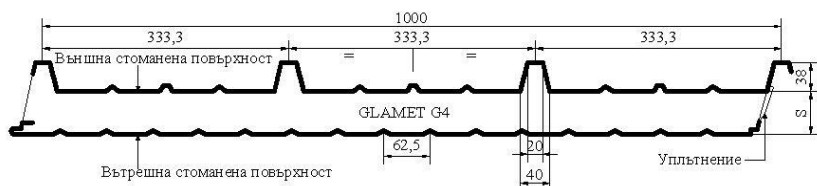
У нас първоначално приложението на сандвич панелите е като стенни панели, които имат по-щадящи товари (в сравнение с покривните) – равномерен натиск или смучене от вятър и липса на концентрирани товари. В много конструкции те са прилагани или без изчисления, или оразмеряването е ставало по приблизителни начини.

## 2. Конструкция и материали на панелите

Разглежданите равнинни сандвич панели имат два типа конструкции:

- типични „сандвич” панели с два слоя метални профилирани ламарини с ниско оребряване и среден изолационен слой (фиг. 1); ламарините са стоманени и алуминиеви, срещат се и от неръждаема стомана, дори от мед [6];

- „сандвич” панели с два слоя метални профилирани ламарини и среден изолационен слой; едната ламарина е с ниско, а другата с високо оребряване (фиг. 3). При 1000 mm ширина високите ребра са от 3 до 5.



Фиг. 3. Сандвич панели с втори тип конструкция [2]

Монопанелите имат следната конструкция: един слой профилирана ламарина с високо оребряване; следва слой топлоизолация и слой хидроизолация. Тъй като се прилагат само за покриви, профилираната ламарина е вътрешен слой и стъпва върху столците (фиг. 2).

Производителите на панели не дават информация за класа на стоманата на профилираната ламарина, както и информация за нейните геометрични характеристики.

Произвеждат се панели с три вида масово използвани изолации – PUR (полиуретан), PIR (полиизоцианурат) и MW (минерална вата). По-рядко се прилагат експандиран пенополистирол EPS, XPS (екструдирани пенополистирол), фенолна пяна PF, клетъчно стъкло CG и полистирен. Има случаи на панели с два слоя изолация [6], което по-късно е изоставено. Целта е да се осигурят достатъчна топлинна, звукова и пожарна защита на сградите. Поради наличието на фреони екологичните изисквания към изолациите са твърди строги, но проблемите засега са решени.

Възможни са всякакви комбинации на параметрите – материал, профил и дебелина на ламарините, височина и брой на ребрата, материал и дебелина на изолационния слой, вид и цвят на пластмасовото покритие, вид на сглобките.

У производителите на панели съществува стремеж за оптимизация на стоманените профилирани ламарини на базата на експериментални резултати. Първоначално те имат дебелини 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1 и 1,2 mm. Днес дебелините са основно от 0,4 до 0,8 mm. Единствено при монопанелите дебелините достигат до 1 mm. Създават се профили с нова геометрия. Височините на ребрата също намаляват – от 60 – 80 mm намаляват дори до 23 mm [2 и 7]. Това облекчаване се дължи на сигурните експериментални данни.

Антикорозионното покритие на ламарините е горещо поцинковане плюс пластмасово покритие с различни цветове в огромно разнообразие, което е архитектурно предимство [8].

Производителите на панели доказват качествата на вложените материали чрез сертификатите на производителите на самите материали.

### 3. Функции на панелите

Функциите на леките панели могат да се обобщят като:

- а) основни: носещи, хидроизолационни, топлоизолационни и звукоизолационни и преграждащи;
- б) допълнителни: защита от пожар и повишена издръжливост при агресивност на средата в ограждения обем.

Посещите функции на панелите в конструкцията може условно да се дефинират така:

- локално носене – пренасяне на товарите към водачи и столици;
- глобално носене – пренасяне на товарите директно към колоните или към ригелите (пълностенни или прътови), т.е. без водачи и столици;
- двойна носеща функция: укрепване на елементите на главната носеща конструкция плюс глобално или локално носене.

#### 4. Натоварвания и въздействия върху панелите

Реалното натоварване върху стенните панели (фасадни и преградни), таванните панели (вътрешни) и покривните панели (външни) има пряко отношение към желаното от проектанта конструктор съдържание на товарните таблици.

Нормираните натоварвания и въздействия може да се разделят на две групи:

- товари, перпендикулярни на равнината на панелите;
- товари в равнината на панелите;
- топлинни въздействия на околната среда.

Товарите, които са перпендикулярни на равнината на панелите, трябва да се разглеждат в две групи – притискащи (отвън-навътре; позитивни) и придърпващи (смучещи; отвътре-навън; негативни).

При **стенните фасадни** панели към групата на притискащите товари се отнася натоварването от вятър – външен натиск плюс вътрешно смучене. Към групата на придърпващите товари се отнася отново натоварването от вятър – външно смучене плюс вътрешен натиск. В равнината на панела натоварването е от собственото тегло на панела, което е гравитационно и с малки стойности.

Ако панелът е **стенен, преграден**, той ще носи натоварване от вятър, перпендикулярно на равнината му, в две посоки, а от групата на товарите в равнината му ще трябва да поеме и опорния товар от таванните панели, които носят експлоатационен товар.

При **таванните** панели, които са хоризонтални, товарите, перпендикулярни на равнината на панелите, са експлоатационни и са притискащи.

При **покривните** панели към групата на притискащите товари се отнасят: натоварването от сняг, натоварването от вятър – външен натиск (ако има такъв) плюс вътрешно смучене, както и експлоатационни товари според това дали покривите са използвани или неизползваеми. От тези товари снегът и вятърът са разпределени върху площ, но при експлоатационните товари може да бъдат и линейни, или концентрирани сили [30]. Към групата на придърпващите товари се отнася натоварването от вятър – външно смучене плюс вътрешен натиск.

Топлинните въздействия от околната среда натоварват само стенните фасадни и покривните панели чрез нагряването или охлаждането на външния им метален слой. Тук голяма роля играе цветът на панелите.

От това описание на натоварвания се вижда, че при най-тежки условия работят покривните панели.

Разпределените върху площ товари може да бъдат както равномерно разпределени, така и неравномерно разпределени – по дължината или по ширината на панела.

Например натоварването от вятър върху стенните панели, в зависимост от категорията на местността, е равномерно разпределено до някаква височина и над нея започва да нараства неравномерно. Върху покривните панели ветровото натоварване е стъпаловидно и зависи от зоната, в която се намира панелът. По принцип, при чупки в равнините и при ъгли се получава сериозно увеличение на товара, заради големите стойности на аеродинамичните коефициенти.

При натоварването от сняг, ако върху покрива има горно осветление или монтирани машини на вентилационните инсталации, или са монтирани парапети, или рекламни съоръжения, поради което покривните скатове не са гладки равнини, се получават т.нар. „снежни торби” и натоварването от сняг около препятствията става неравномерно.

В научната литература панелите се наричат още „сандвич греди”. Разрезните усилия може да се определят както при обикновените греди, но трябва да се внимава с разпределението на товара спрямо „силната” ос на гредата. Формата на напречното сечение на панела може да се приеме за правоъгълник. Ако товарът, перпендикулярен на равнината на панела, не е симетричен спрямо „силната” ос, той предизвиква и усукване, което причинява премествания (провисвания), които са твърде големи поради особеностите на панелите. Това е илюстрирано по-долу.

Има още една особеност на натоварванията, свързана с тяхната продължителност и предизвикваща т.нар. „пълзене” на изолационния слой на панелите. Тази особеност е важна за снеговите райони с продължително задържане на снежната покривка.

## **5. Теоретични и експериментални изследвания на сандвич панелите**

Както беше казано по-горе, проблемът с оразмеряването на сандвич панелите е трудна задача. Това се дължи на сложното поведение на панелите под товар – съвместна работа на различни материали, свързани основно с адхезия, пълзене (смачкване) на изолацията под продължителни товари; голямо влияние на температурните разлики, сложна геометрия на напречните сечения на панелите.

Тъй като сандвич панелите намират приложение и в други области – космонавтика, самолетостроене, хладилни камиони и вагони, хладилни камери и др. – започва сериозна изследователска работа по тяхното изучаване. Някои резултати стават публично достъпни години по-късно [5].

Първоначално, с оглед на времето на поява на сандвич панелите, теоретичните изследвания са аналитични. Панелите се разглеждат като комбинирани конструкции. Предложени са множество формули за определяне на геометричните характеристики на сечението на панелите, както и за определяне на напреженията и провисванията, за проверка на местната устойчивост на натисковия метален лист и др.. Прилагат се методите на крайните ивици, крайните слоеве, крайните призми, крайните разлики [26, 27]. Създадени са различни изчислителни модели на сандвич панелите [21 ÷ 23].

Като резултат са издадени наръчници като [5], в който е обобщен и в известна степен опростен натрупаният опит. Създадени са и ръководства, като например [31], за проектиране с решени числени примери.

Дълго време резултатите от тези аналитични изследвания се използват за проверка на резултатите на новия метод на крайните елементи и създадените на негова основа програмни продукти [26].

Числените изследвания с подходящи програмни продукти стават популярни след появата на програмните системи NASTRAN, NISA, ANSYS, ABAQUS и FEA [26].

Провеждат се изследвания на различни проблеми на сандвич панелите – загуба на местна устойчивост на натисковия метален лист, отчитане на геометрични несъвършенства и фабрични дефекти, поведение на панела при прекъснат изолационен слой (такъв има при панелите с минерална вата), разрушение в зоната на подпиране на панела и др. [20, 24 ÷ 27].

Експерименталните изследвания се провеждат за проверка на получените резултати по другите начини на изследвания [5, 26, 27].

Финансирани са и са реализирани мащабни изследователски програми, включващи и експериментални изследвания [20, 24 ÷ 27, 33]. Като резултат от тях са съставени товарни таблици за стенни панели, без да се указва производителят.

В [26] са описани експериментални изследвания на покривни сандвич панели за продължителни товари, провеждани във Финландия и продължили 10 години.

Най-подробни резултати от експериментални изследвания има в лабораториите на производителя на сандвич панели, на базата на които се съставят техните товарни таблици. Тези резултати са недостъпни, защото не се публикуват.

Има още един вид изследвания – тези за повредите и дефектите на панелите: фабричните и получените при експлоатацията на панелите. У нас има само една публикация по тази тема [29].

## 6. Регулиране на качеството на панелите

Всеки производител трябва да докаже качеството на панелите, които произвежда. Това става чрез сертифицирането на продукцията му.

Показателите, на които трябва да отговарят сандвич панелите, са подробно описани в стандарта БДС EN 14509:2013 [9] (заменил редакцията от 2007 г.). Макар че този стандарт все още не е преведен на български език, именно по него се извършва сертифицирането на панелите от т.нар. „лица по оценка на съответствието”, регистър на които се поддържа в МРРБ. Не е задължително всички показатели да се сертифицират едновременно и от едно и също лице за оценка.

За някои показатели освен сертифицирането е задължително периодично да се проверява поддържането на нивото на качеството чрез производствен контрол, периодични одити и разработена и поддържана система за качеството.

Целта на цялата тази процедура е да се гарантира постоянното съответствие на качеството на сандвич панелите с изискванията към тях. За монопанелите няма подобен на [9] стандарт.

В нотифицираната лаборатория на Научноизследователския строителен институт (НИСИ) се провеждат лабораторни изследвания при сертифицирането на сандвич панели съгласно БДС EN 14509:2013 [9]. Изпитванията са свързани със свойствата на готовия панел. Показателите, свързани с носимоспособността, са: якост на срязване  $f_{Cv}$  и еластичен модул при срязване  $G_C$ ; якост при натиск  $f_{Cc}$  и еластичен модул при натиск  $ECc$ ; якост при опън  $f_{Ct}$ , включително за метод DUR2, без отлежаване в термовлажностна камера; еластичен модул при опън  $E_{Ct}$ ; якост при опън  $f_{Ct}$  при повишена температура; еластичен модул при опън  $E_{Ct}$  при повишена температура; носеща способност при огъване; огъващ момент при разрушаване; напрежение при огъване  $\sigma_w$ ; определяне на характеристиките при огъване при повишена температура; носеща способност при огъване при централна опора при натиск; огъващ момент при разрушаване при централна опора при натиск; напрежение при огъване при централна опора при натиск  $\sigma_w$ ; определяне на горните три характеристики при повишена температура; плътност на минералната вата;

якост при опън  $f_{CT}$  след 7 дни отлежаване при повишени влажност и температура; якост при опън  $f_{CT}$  след 28 дни отлежаване при повишени влажност и температура; отклонение от размерите по дължина; коефициент на пълзене (само за покривните панели).

На фиг. 4 са показани снимки от изпитванията на дълготрайност на 28-ия ден.



**Фиг. 4.** Опитни образци от сандвич панели с минерална вата, престояли 28 дни в температурно-влажностна камера (вляво) и разрушен образец, подложен на опън

Освен това се правят и редица изпитвания за доказване на експлоатационните качества на панелите – топлопроводност и звукоизолация, въздухонепроницаемост и др.



**Фиг. 5.** Изпитване на сандвич панели на срязване: вляво – начало; в центъра – край на експеримента; вдясно – срязаната от хлъзгане минерална вата

На фиг. 5 са показани снимки от изпитване на панела на срязване.

В България има само една лаборатория за изпитване на огнеустойчивост. Тя се намира в Стара Загора. Изпитването за пълзене от продължителни товари е твърде продължително, поради което стойността му е доста висока и затова клиентите предпочитат да не го поръчват.

Съществуват няколко международни научни организации, които много преди появата на [9] подготвят и въвеждат т.нар. „препоръки” относно сандвич панелите [10] – през 1991 г. Препоръките [10] са допълнени през 1993 чрез включване на сандвич панелите с минерална вата и са произведени през 1995 г.

И след влизането в сила на [12], предхождащ [9], продължава създаването на препоръки за сандвич панелите [11]. Последната редакция на препоръките е от 2015 г. [13]. Като причина за продължаващите изследвания се изтъква фактът, че във ЕС 1 товарите са дефинирани без оглед на материалите и продуктите, от които е направена сградата. Тези продукти, поради тяхното поведение под товар, понякога изискват допълнителни и уточнени товари.

През 2011 г. научната организация ЕРАQ [14] се обявява за въвеждането на независим троен контрол:

- независими лаборатории;

- независими експерти;
- независим одит.

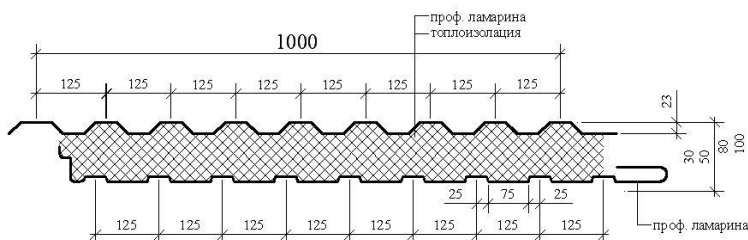
Предлаганият допълнителен контрол на практика ще покрива изцяло изискванията на EN 14509:2006 и ще добави доста нови изисквания, описани в таблици. Например – нови методи на изпитване. Някои тестове трябва да се правят с определена периодичност като време, или при производство на определено количество панели. Освен изпитването на панелите се изпитват и материалите, от които са направени.

В момента по линия на CEN се работи по ново издание на стандарта EN 14509. Той ще има 5 части, от които две трябва да бъдат представени за обсъждане в края на месец май 2021 г. Целият стандарт трябва да бъде готов преди края на 2022 година.

България е в процес на подготовка на нормативен документ за вторична употреба на демонтирани сандвич панели, както и за рециклирането на негодните за повторна употреба [35].

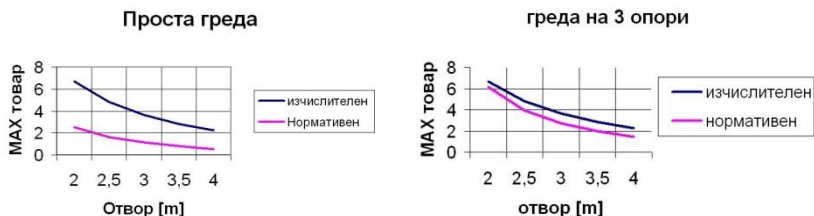
## 7. Товарните таблици като пример за проектиране, придружено с изпитване

През 1998 г. в България е създадена първата „товарна” таблица [15] на новите покривни сандвич панели „Велека” (фиг. 6). Тя съдържа данни за две статически схеми – проста греда и греда на три опори с равни подпорни разстояния и равномерно разпределен товар. Изрично се отбелязва, че товарните таблици трябва да се правят на базата на експериментални резултати. Не е уточнено как е съставена тази таблица, но е очевидно, че е направена по изчислителен път, което е видно от самите гранични товари – изчислителен и нормативен. При съставените на базата на експерименти кривата е една.



Фиг. 6. Български покривни сандвич панели „Велека”

На фиг. 7 са показани двете двойки криви за двете статически схеми. Максималният товар има дименсия  $\text{kN/m}^2$  – равномерно разпределен товар върху цялата площ на един панел, широк 1 m и подпрян по късите си страни.

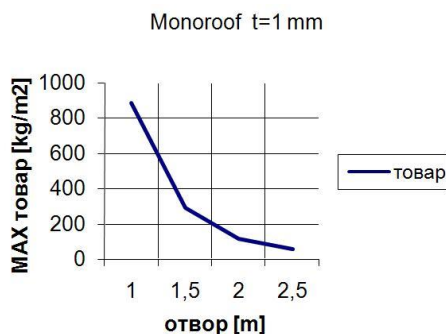


Фиг. 7. Графично представяне на товарните таблици на покривните панели „Велека”



Има два типа товарни таблици – изчислени и експериментални.

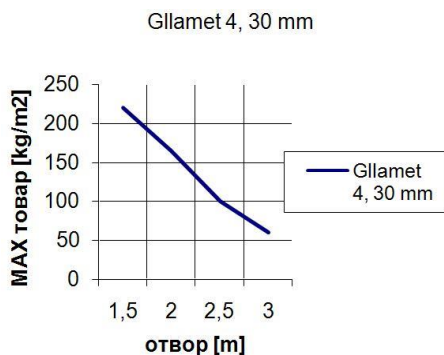
Изчисленията се изготвят за монопанелите. При тях се отчита единствено носещата способност и коравината на единствения слой профилирана ламарина. Такава таблица е представена в графичен вид на фиг. 8.



**Фиг. 8. Графично представяне на товарната таблица на покривната панела Monoroof със статическа схема проста града и дебелина на профилираната ламарина 1 mm [2]**

Фиг. 8 е направена по подобие на експериментално получените – има само една крива с голям скок между подпорните разстояния от 1 и 1,5 m. Само при 1 m определяща е носещата способност, а при останалите – провисването. Дадени са само меродавните товари.

На фиг. 9 графично е представена експериментално получената товарна таблица на покривен сандвич панел Glamet G4 с дебелина на изолацията 30 mm.



**Фиг. 9. Графично представяне на товарната таблица на покривната сандвич панела Glamet G4 със статическа схема проста града и дебелина на изолацията 30 mm [2]**

Ясно се вижда, че кривата е плавна, без скокове в стойностите. Причината е, че таблицата е съставена след статистическа обработка на експериментални резултати от изпитване на панели с естествени размери.

Самата товарна таблица е показана на фиг. 10.

Товарите, при които причината за стойността на допустимия товар е провисването, са дадени с червен цвят. При покривните панели провисването, включително пълзенето на изолацията от продължителни товари, е  $L/200$  [2].

допустим товар										
	$q$ (daN/m <sup>2</sup> )	L [m]								
	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00
дебелина	30	220	145	85	50					
	40	270	185	115	75	50				
	50	315	225	145	95	65				
	60	365	265	180	125	85	60			
	80	465	350	250	175	130	95	70	50	
	100	560	435	325	235	175	130	100	75	60
	120	660	520	405	295	220	170	130	105	80

Фиг. 10. Товарна таблица на покривната сандвич панела Glamet G4 със статическа схема проста града и дебелина на изолацията 30 mm [2]

Когато панелът е степен, допустимото провисване е  $L/100$  и то се дължи единствено на натоварването от вятър [2].

Причината за липсата на скокове в кривата „отвор-товар“ е в начина на достигането на отказ – начало на разрушение или прекомерни деформации.

Съгласно [9] формите на разрушение в крайно гранично състояние (КГС) са 7 бр. Тяхната проява е критерий за достигане до КГС – чрез един или в комбинация от повече критерии едновременно. Формите на разрушение са:

- пластифициране на външния метален слой с последваща повреда;
- загуба на местна устойчивост с последваща повреда;
- срязване на изолацията;
- повреда на връзката на изолацията с металния лист;
- повреда от срязване на профилираната ламарина;
- смачкване (местно) на изолацията при опората;
- повреда на панела в местата на присъединяването му към опорната конструкция.

Отново съгласно [9] формите на отказ в експлоатационно гранично състояние (ЕГС) са 6 бр. Тяхната проява е критерий за достигане до ЕГС. Критериите са:

- пластифициране на външния метален слой без последваща повреда;
- загуба на местна устойчивост без последващо разрушение (повреда);
- срязване на изолацията;
- повреда на връзката на изолацията с металния лист;
- достигане на граничната деформация (провисване);
- достигане на специфична стойност на температурни надлъжни (осови) деформации) премествания поради удължения и свивания (твърди се, че това може да бъде проблем при панели, по-дълги от 20 m.

При малките подпорни разстояния меродавни се оказват якостните критерии.

При обработката на резултатите от експериментите разрушителните товари се делят на коефициент на сигурност. Той също не се дава от производителите. Според [32] минималната стойност на този коефициент е 3.

Товарните таблици са голяма крачка в правилната посока. Направени са на базата на експериментални резултати при работа на огъване на самостоятелен панел под равномерно разпределен товар. Статическите схеми са проста греда и греда на три и на четири опори. Фирмите създават свои лаборатории за непрекъснато обогатяване на таблиците, които предлагат, защото това увеличава продажбите.

С помощта на таблиците се реализира проектиране, придружено от изпитване.

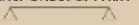

Но, ако се има предвид товарните таблици от [33], възниква съмнение, че може би някои от наличните таблици са съставени и чрез изчисление, но с реалните деформационни свойства на материалите на панелите.

В България се предлагат леки панели от две фирми производителки, работещи у нас. Останалите панели са вносни. От тези две фирми само едната предлага товарни таблици на своите панели.

Търсенето в интернет позволява да се намерят панели и от други производители. Те имат търговски партньори в България, но продажбите им са незначителни, поради високата им цена. От тях товарни таблици имат само фирмите Kingspan, Isopanel и Isopan.

Днешните товарни таблици са плод на конкуренцията между производителите. Тя ги кара да обогатяват непрекъснато таблиците, предполага се за улесняване на проектантите конструктори.

Най-подробни са таблиците на Kingspan [7] (фиг. 11), които съдържат данни и за придърпащи (повдигащи) товари за панели на 2, 3 и 4 опори. Твърди се, че някои от таблиците може да се ползват и за сандвич греди с конзоли, както и че позволяват отчитане на влиянието и на температурни разлики. Жалкото е, че панелите не се купуват.

Span Condition	Core Thickness (mm)	Load Type	Uniformly Distributed Loads (kN/m <sup>2</sup> ) Span L in Meters							
			1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
SINGLE SPAN Outer Sheet 0.7 mm Inner Sheet 0.4 mm 	45, 60, 80 & 100	Pressure	13.31	9.19	6.71	5.00	3.48	2.50	1.85	1.40
		Suction	10.71	7.50	5.57	3.93	2.79	2.07	1.59	1.25
DOUBLE SPAN Outer Sheet 0.7 mm Inner Sheet 0.4 mm 	45, 60, 80 & 100	Pressure	8.68	5.98	4.35	3.29	2.57	2.05	1.67	1.38
		Suction	9.95	6.98	5.18	4.02	3.22	2.65	2.23	1.91

Фиг. 11. Товарна таблица на покривни сандвич панели KS1000RT Roof System [7]

Друга важна особеност на някои от таблиците е, че стойностите на допустимите товари са всъщност характеристични стойности на променливите товари и тези допустими товари са изчислени.

В заключение може да се каже, че таблиците на различните фирми не са съставени по единна методика.

## 8. Недостатъци на товарните таблици

Всеки проектант очаква да открие в товарните таблици натоварването, което е изчислил, и да е сигурен, че данните в тях са сигурни.

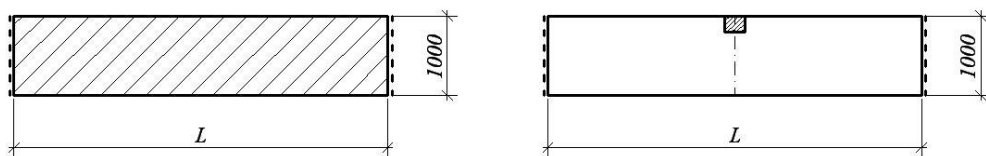
Първият недостатък на таблиците е, че те не дават решения за концентрирани товари, предизвикващи усукване.

Колкото по-малко е подпорното разстояние на конструктивния елемент, толкова по-голяма е ролята на концентрираните товари, защото те имат точни, независещи от размерите стойности. В същата ситуация разпределените товари генерират по-малък сумарен товар. Това е известно от дървените покривни конструкции: например – дъсчената обшивка и ребрата на дървените покривни конструкции. При тях меродавно за оразмеряването им излиза т.нар. „монтажно” състояние (сегашната краткотрайна изчислителна ситуация) [16].

И при покривните панели може да се очаква подобен ефект, защото те се характеризират с малки подпорни разстояния от порядъка на 1,5 до 4 метра. Малките разстояния са характерни за столици от студено формувани профили [17 и 18], а големите – за столици от горещовалцувани профили [15, 17 и 19].

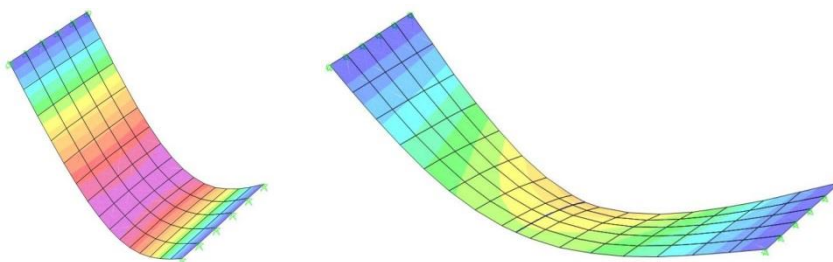
Когато концентрираната сила е приложена по надлъжния ръб на панела тя предизвиква усукване, което е по-ясно изразено при тънките панели и води до голямо провисване и големи тангенциални напрежения.

Като илюстрация на това беше решен опростен пример на SAP 2000 за покривен панел с размери в план  $1000 \times 3000$  mm, и дебелина 40 mm, ставно подпрян по късите си страни (фиг. 12). Беше прието, че панелът има плътно правоъгълно напречно сечение. Това приемане не отговаря на реалното сечение на панела, но дава качествена характеристика на поведението му.



Фиг. 12. Панелът и неговото натоварване по два начина

Панелът беше натоварен по два начина – с равномерно разпределен товар с интензивност  $1 \text{ kN/m}^2$  върху цялата площ и с една концентрирана сила  $1 \text{ kN}$ , приложена върху площ  $300 \times 300$  mm. Приетите товари трябва да се приемат за „единични товари”.



Фиг. 13. Деформирана схема на панела от: вляво – равномерно разпределен единичен товар; вдясно – концентрирана единична сила

Резултатите (табл. 1) показаха, че концентрираната сила създава малко по-голям огъващ момент от разпределения товар, макар и в по-малка по площ зона, и два пъти по-голям усукващ момент. Провисването от концентрираната сила е близко до това от равномерния товар. Разпределеният върху панела е общо  $18 \text{ kN}$ .

**Таблица 1. Резултати**

дебелина 4 см	$q=1 \text{ kN/m}^2$	$F=1 \text{ kN}$ по ръба на плочата
$M_y$ [kN.m/m']	1,12	1,41
$V_{max}$ [kN/m']	1,32	2,9
$M_{xy}$ [kN.m/m']	0,08	0,17
$U_z$ , [mm]	6,5	4,3

Товарните таблици не дават решения за несиметрични (усукващи) товари в напречно на панела направление.

Липсват решения и за конзолни участъци (например стрехи).

Друг недостатък на товарните таблици е, че не е указано с какъв равномерно разпределен товар трябва да се ползват – от дълготрайна или от характеристична комбинация, тъй като разликата в стойностите им е голяма. Изключение прави една от таблиците на Kingspan.

Таблиците на различните фирми не са съставени по единна методика.

Загадка е как са съставени.

Но най-големият недостатък на таблиците са забележките в някои от тях, с които производителят не поема отговорност за ползването им за проектиране. Тогава възниква въпросът „Кому са нужни те?“.

## 9. Проблемът със закрепването на панелите

Обикновено във фирмените каталози или не се дават указания за разположението на закрепващите винтове и оразмеряването на закрепването на панелите към носещата конструкция, или тези указания са твърде общи и не помагат на проектанта.

В българската литература има само една публикация, засягаща тази тема, и тя е дело на архитекти [28]. За сметка на това тя разглежда в детайли закрепванията и сглобките.

Закрепванията са два вида:

- закрепване към водачите, столиците, колоните и ригелите;
- закрепване към съседните панели.

Плод на непрекъснатите изследвания в тази област са препоръките [34], които решават този проблем.

## Заклучение

1. Фирмените товарни таблици трябва да се изготвят по единна методика от всички производители и да преминат на проверка, от оторизиран орган (определен например от МРРБ) и да могат да имат официален статут за ползване при проектиране, ако проектното решение отговаря на условията, при които са съставени. При тяхно допълване допълненията трябва да минат по същата процедура. Като пример може да се посочи ползването на стойности на геометрични характеристики на стоманени профили както от

стандарти, така и от фирмени каталози. Друг пример е каталожното проектиране.

2. Производителите да предоставят във фирмените си каталози данни за свойствата на материалите, от които са произведени панелите, както и геометричните характеристики на профилираните ламарини.
3. Товарните таблици трябва да съдържат всички схеми за натоварване, срещани в практиката.
4. Да се поощряват изследванията върху съединенията и съединителните средства, върху сглобките между съседните панели по неподпрените им страни, както и върху поведението на изрязани панели.
5. Трябва да се събират данни за фабричните дефекти на панелите и за дефектите, получени от експлоатацията на панелите.
6. В България има малко разнообразие от панели на пазара, затова трябва да се изисква те да имат подробни товарни таблици. Наличните към момента товарни таблици са най-близо до натоварването на стенните панели.
7. Крайно време е у нас да започне обучението в специалисти по „Фасаден инженеринг“. Във ВСУ „Л. Каравелов“ има изготвен учебен план за магистърски курс.

## Благодарности

Авторите изказват своите благодарности на г-жа Виолета Ангелова, представител на Metecno в София, на г-жа Елена Иванова, представител на Kingspan, на инж. Дабижева, изпълнителен директор на БИС, на студентките по архитектура от ВСУ „Л. Каравелов“ Дениза Кьорова и Светлана Делинска, които помогнаха при изчертаването на някои фигури, и на гл. ас. д-р инж. Станислав Цветков от ВСУ „Л. Каравелов“, който реши числения пример на SAP 2000.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Prathan, R.* Structural behavior of structural insulated panels (SIPS). A thesis submitted to The University of Birmingham for the degree of Phd, B., april 2012.
2. <https://metecno.bg>. Metecno-Bulgaria website, visited on 29.8.2020.
3. *Dimitrova, M., Lazarov, A.* Lightweight steel structures for one-storey buildings. S., Technique, 1980.
4. *Venkov, I. and all.* Manual for course design in steel structures. S., Technique, 1977.
5. *Zenkert, D. and all.* The handbook of sandwich construction. Stockholm, 1997.
6. *Ilieva, Y.* Metal facade 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.
7. [www.kingspan.info](http://www.kingspan.info). Kingspan website, visited on 29.8.2020.

8. *Ilieva, Y.* Color solutions for facades using metal cladding and metal three-layer panels. In: Reports of the III International Scientific Conference of the Countries of Southeast Europe BALKANCOLOR – 2013 – "Color in all directions", Veliko Tarnovo, 2013.
9. BDS EN 14509:2013, Self-supporting double skin metal faced insulating panels. Factory made products – Specifications (effective from 21.01.2014).
10. Preliminary European Recommendations for the design and testing of sandwich panels, ECCS, 1991.
11. European recommendations for sandwich panels, part 1 – Design, European Convention for Constructional Steelwork /CIB report, 2010.
12. BDS EN 14509:2007, Self-supporting double skin metal faced insulating panels. Factory made products – Specifications.
13. European recommendations for the determination of loads and actions on sandwich panels, 1<sup>st</sup> edition, CIB, 2015.
14. Quality regulations for sandwich panels, European Quality Assurance Association for Panels and Profiles – EPAQ, Dusseldorf, 2011.
15. *Venkov, I. and all.* Steel structures. Design manual. Second revised edition edited by Prof. Venkov, S., UACEG – PEC – Publishing Center, 1998.
16. *Boyadzhieva, D.* Wooden constructions. Guide for course and diploma design in accordance with BDS EN 1995-1-1. Second supplemented and revised edition, Sofia, UACEG, 2016.
17. *Rangelov, N.* Steel structures of thin-walled cold-formed elements. S., KIIP, 2015.
18. *Rangelov, N., Vasilev, M.* Resistance of purlins to Wind Suction, UACEG Annual, Volume XLVI (2014), Scroll XI, Sofia, 2015, pp. 141-152.
19. *Zdravkov, L.* One-storey buildings with steel load-bearing structure, First edition, PDF format, ISBN 978-619-90766-0-6. Sofia, 2016.
20. *Pozorska, J.* Numerical modeling of sandwich panels with a non-continuous soft core, MATEC Web of Conferences 157, 06007 (2018).
21. *Noor, A., Burton, W., Bert, C.* Computational models for sandwich panels and shells. Applied Mechanics Reviews 49 (3), 155-199 (1996).
22. *Hohe, J., Librescu, L.* Advances in the structural modelling of elastic sandwich panels. Mechanics of Advances Materials & Structures 11, 395-424 (2004).
23. *Kreja, I.* A literature review on computational models for laminated composite and sandwich panels. Central European Journal of Engineering 1 (1), 59-80 (2011).
24. *Pozorski, Z.* Sandwich panels in civil engineering – theory, testing and design (Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2016).
25. *Pozorska, J., Pozorski, Z.* Analysis of the failure mechanism of the sandwich panel at the support. Procedia Engineering 177, 168-174 (2017).
26. *Pokharel, N.* Behavior and Design of Sandwich Panels Subject to Lokal Buckling and Flexural Wrinkling Effects. A thesis submitted to The School of Civil Engineering Queensland University of Technology for the degree of Phd, November 2003.
27. *Nelke, H.* Tragfähigkeit von Sandwichelementen unter Biegung und Querdruck, dissertation zur erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs. Technische Universität Darmstadt, 2018.

28. *Tilev, J., Ilieva, Y.* Metal roof sandwich panels – analysis of configuration of elements, kinds of joints and problems appearing during the particular stages of their development. Annual of the University of architecture, civil engineering and geodesy, volume XLV, Sofia, 2010.

29. *Dakov, D., Belev, B., Penelow, Ch.* Deterioration of connections and failure of light-weight envelopes due to sequence of seismic and wind actions. 19th IABSE Congress “Challenges in Design and Construction of an Innovative and Sustainable Built Environment”, Stockholm, 21-23 September 2016.

30. BDS EN 1991-1-1/NA, Eurocode 1 – Actions on structures – Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for buildings – National annex to BDS EN 1991-1-1:2004.

31. *Käpplein, S., Misiek, T.* Frameless buildings made of sandwich panels, Design guideline. Karls-ruher Institut für Technologie (KIT), K., 2011.

32. *Tsachev, S.* Steel structures with the normative base of Eurocode 3. S., KIIP, 2014.

33. Mechanical resistance of sandwich panels, Technical report, Applus laboratories Tessaloniki, 2015.

34. European recommendations for the design, detailing and applications of fastenings for sandwich panels, 1<sup>st</sup> edition, CIB, 2019.

35. RAZ Consult EOOD. National requirements and methodologies for the use in the constructions of the Republic of Bulgaria of construction products doors and thermal panels from construction waste, prepared for reuse, and criteria for their provision for use in construction. Contract № RD-02-29-87 dated 29.06.2020.

## DESIGN OF ROOF AND WALL PANELS THROUGH “LOAD” TABLES

**T. Georgiev<sup>1</sup>, P. Baleva-Josifova<sup>2</sup>**

*Keywords: panels, sandwich, monopanel, design, tables, load*

### ABSTRACT

The paper examines the load tables for designing roof and wall panels, which manufacturers offer in their company catalogues. The types of tables and their advantages and disadvantages are considered. Suggestions have been made so that the tables can be used seamlessly in the design.

---

<sup>1</sup> Todor Georgiev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Construction Structures”, UCEA (VSU), 175 Suhodolska St., Sofia 1373, e-mail: georgiev.todor.d@gmail.com

<sup>2</sup> Plamena Baleva-Josifova, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Construction Structures”, UCEA (VSU), 175 Suhodolska St., Sofia 1373, e-mail: baleva\_josifova@abv.bg