



DOI: [10.71167/uaceg.2025.580312](https://doi.org/10.71167/uaceg.2025.580312)

Получена: 13.06.2025 г.

Приета: 27.06.2025 г.

ОСИГУРЯВАНЕ НА ВЪНШНИ ТОПЛОИЗОЛАЦИОННИ СИСТЕМИ НА ВЕТРОВИ ВЪЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ОБНОВЯВАНЕ НА ЕПЖС

И.-А. Цонев¹, Л. Хрисчев², Е. Богданова³

Ключови думи: дюбели, ETICS, съпротивление на изтръгване, съпротивление на разкъсване, ветрови въздействия, едропанелни жилищни сгради

РЕЗЮМЕ

В статията се разглежда конкретен практически пример, свързан с определяне на необходимия брой дюбели за външни топлоизолационни комбинирани системи при обновяване на едропанелна жилищна сграда, изпълнена по система ОС-Гл-68 в гр. София. Теплоизолирането на фасадните стени е предвидено да се извърши с топлоизолационен слой от експандиран полистирен с дебелина 12 cm. За механични скрепителни средства се използват пластмасови дюбели с пластмасови пирони.

Необходимото количество дюбели е определено въз основа на ветровото натоварване, като е отчетено съпротивлението на изтръгване на дюбелите от основата и съпротивлението на разкъсване на топлоизолационния слой.

Въз основа на извършените експериментални изследвания и изчисления е определен необходимият брой дюбели за 1 m², както следва: за Зона А – минимум 8 броя дюбели за 1 m²; за Зона В и Зона С – минимум 6 броя дюбели за 1 m².

Ширините на съответните зони са определени в зависимост от геометричните размери на сградата, като за всяка зона се вземат предвид особеностите на експозицията на ветровото натоварване.

¹ Иван-Александър Цонев, ас. инж., кат. „Технология и механизация на строителството“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ivan_conev_fce@uacg.bg

² Лъчезар Хрисчев, доц. д-р инж., кат. „Технология и механизация на строителството“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: lhrishev_fce@uacg.bg

³ Евгения Богданова, гл. ас. д-р инж., кат. „Технология и механизация на строителството“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: bogdanova_fce@uacg.bg

1. Въведение

Строителството на едропанелни жилищни сгради (ЕПЖС) е широко застъпено в българската строителна практика в миналото, като съвременните тенденции са свързани с обновяването на сградите. Най-големият дял на този тип строителство е в гр. София – около 28,5 % [1, 2]. В периода на реализация панелното строителство е обслужвано от над 40 основни и модифицирани строителни системи, като специално за територията на град София най-голям е процентът на сградите, изпълнени по системите Бс-69-Сф и Бс-69-Сф-Уд [3].

От извършените обследвания на ЕПЖС с инфрачервена термография са установени характерни топлинни мостове и зони със значително топлопреминаване, които се наблюдават основно при фугите между панелите, при фасадни панели с вграден топлоизолационен слой, в зоната на дограмите и др. [4 – 6].

Техническите решения за топлоизолиране на ЕПЖС са наложени от съвременните изисквания за енергийна ефективност [7]. Анализът на стойностите на коефициента на топлопреминаване на ограждащите елементи на ЕПЖС, представени в [8], показва, че не са удовлетворени изискванията, заложи в действащата наредба за техническите изисквания към енергийните характеристики на сградите [9]. Важно е да се отбележи, че аналогични проблеми се наблюдават и в други държави, където са изпълнявани едропанелни сгради [10 – 12]. Може да се обобщи, че съществена част от обновяването на ЕПЖС е свързана с топлоизолиране на ограждащите елементи на сградите, като едновременно с това трябва да се обърща съществено внимание и на състоянието на конструкцията на сградата [4, 13].

Топлоизолирането на фасадните стени може да бъде реализирано с използването на външни топлоизолационни комбинирани системи (ETICS), вентилируеми фасади, сглобяеми модулни панели и др. [14 – 16]. Извършеният анализ показва, че най-голямо приложение намират външните комбинирани системи с топлоизолационен слой от експандиран полистирен (EPS).

Някои често срещани проблеми при изпълнението на ETICS, свързани с тяхната механична устойчивост, включват наличие на пукнатини, олющване на финашното покритие, проблеми от въздействието на вятър и други [17]. При изпълнението на ETICS е задължително топлоизолационният слой да се дюбелира [18]. Изследвания върху системи с топлоизолационен слой от EPS показват, че недостатъчният брой на механичните скрепителни средства (дюбели) може да доведе до частично или пълно откъсване на изолационната система от стените на конструкцията при ветрови натоварвания [19, 20]. Именно качествено закрепване с дюбели е един от основните фактори, оказващи влияние върху механичната устойчивост и дълготрайността на топлоизолационните системи [21].

В настоящата статия е разгледан конкретен практически пример, свързан с определяне на необходимия брой дюбели за ETICS, с отчитане на ветровото натоварване върху фасадата на едропанелна жилищна сграда, намираща се в град София.

2. Методология на изследването

2.1. Общ вид на изследваната сграда

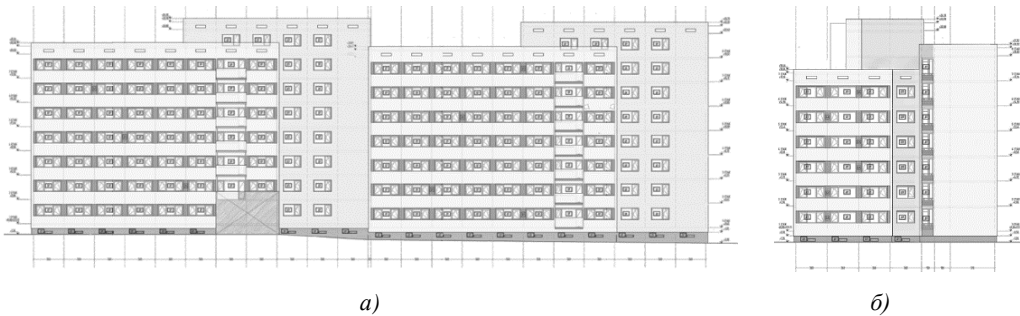
Сградата, обект на настоящото изследване, е студентско общежитие, изпълнено по система ОС-Гл-68, намиращо се в жк Студентски град, гр. София. Сградата е част от

по-старото строителство на комплекса и представлява едропанелна жилищна сграда, изпълнена през 1977 г. Конструкцията на блока е безскелетна, като е съставена от стоманобетонни панелни конструктивни елементи. За основа на система ОС-Гл-68 се използват панелите от системите за безскелетно-панелни жилищни сгради, при оси в план 3,60 m и 5,10 m, и етажна височина 2,80 m, като са проектирани основно общезития от четири до осем етажа. Фасадните калканни панели са изпълнени от трислойни стоманобетонни панели с пълнеж от EPS, а подпрозоречните панели са изпълнени от керамзитоперлитобетон [8].

Разгънатата застроена площ (РЗП) на цялата сграда е 8334,37 m², а застроената площ (ЗП) е 1177,82 m². В настоящата статия е разгледана само една от секциите на сградата. Секцията е с височина $h_{\text{сграда}} = 22,58$ m, дължина $b_{\text{сграда}} = 29,10$ m, широчина $d_{\text{сграда}} = 8,5$ m и застроена площ ЗП = 247,35 m².



Фиг. 1. Общ вид на сградата – в изглед и в план



Фиг. 2. Чертежи на фасадите на сградата
а) фасада изток; б) фасада юг

2.2. Характеристики на ETICS

Върху фасадата на сградата, обект на изследването, е предвидено полагане на топлоизолационен слой от EPS с дебелина 120 mm. Прието е, че ETICS ще бъде изпълнена като механично закрепена система с допълнително лепило. При този тип топлоизолационни системи ветровото натоварване се поема изцяло от механичните скрепителни средства. Механичното закрепване се реализира посредством пластмасови дюбели с усилен пластмасов набивен пирон.

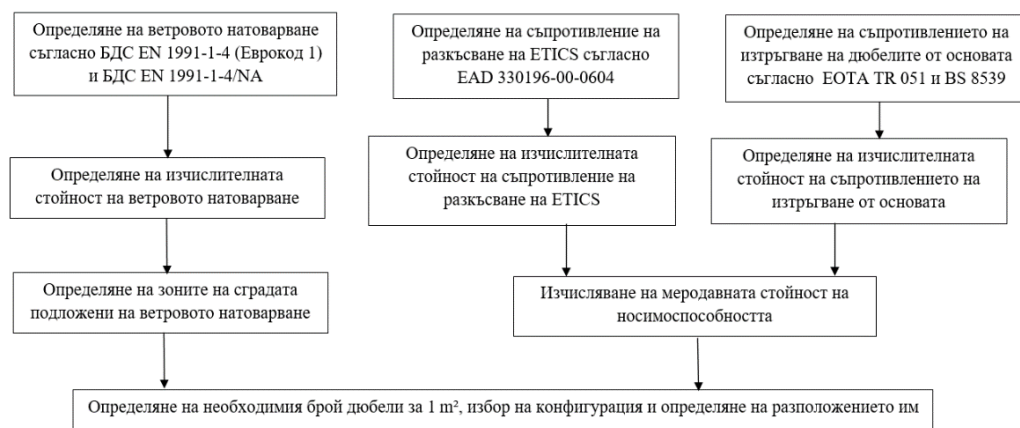
Характеристиките на топлоизолационния слой и използваните дюбели са представени в т. 4 на статията по-долу.

2.3. Основни етапи в изследването

При механично закрепените топлоизолационни системи необходимото количество дюбели следва да се определя чрез отчитане на:

- ветровото натоварване, определено в съответствие с действащите норми [22, 23];
- характеристиките на компонентите на ETICS, включително съпротивлението на изтръгване на дюбелите и съпротивлението на разкъсване на топлоизолационния слой [24]. Използваните дюбели задължително трябва да отговарят на изискванията на [25].

Блок-схема, изобразяваща последователността за изчисляване на необходимия брой дюбели при ETICS, е представена на фиг. 3, като именно тази последователност е възприета и за нуждите на настоящата разработка.



Фиг. 3. Блок-схема за определяне на необходимия брой дюбели при ETICS

3. Ветрови въздействия върху фасадните системи

Тъй като сградата се намира в град София, приетата категория на терена е III-та, съгласно [22 и 23]. Около сградата няма други сгради, т.е. тя е самостоятелно стояща.

За нуждите на настоящото изследване е прието да се разгледа само една от секциите на сградата, с размери в план: дължина $b = 29,10$ m, ширина $d = 8,5$ m и височина $h = 22,58$ m. Направеното приемане за правоъгълно очертание на сградата в план дава възможност директно да се използват зависимостите, дадени в нормите. Следва да се има предвид, че при по-сложни конфигурации на сградите или съоръженията определянето на ветровите натоварвания трябва да се извършва строго индивидуално, в т.ч. с използване на компютърни модели и изчислителната механика на флуидите [26, 27].

Всички стойности на ветровите натоварвания са изчислени съгласно формулите в [24] и съгласно [22, 23]. Същите са обобщени в табл. 1. Обобщение на стойностите на коефициентите за външно налягане ($c_{pe,1}$), за характеристичната стойност на налягането от вятъра върху външни повърхности (w_e) и за изчислителната стойност на налягането от вятъра (S_d) за всички зони е дадено в табл. 2.

Таблица 1. Изчисляване на ветровото натоварване

Компоненти на ветровото натоварване	Означение	Стойност
Коефициент, отчитащ посоката на вятъра	c_{dir}	1,00
Коефициент, отчитащ годишния сезон	c_{season}	1,00
Характеристична стойност на основната базова скорост на вятъра	$v_{b,0}$	26,10 m/s
Базова скорост на вятъра	v_b	26,10 m/s
Коефициент за релефа (или орографията)	$c_0(z)$	1,00
Коефициент на грапавостта на терена	$c_r(z)$	0,931
Разглеждана височина над нивото на терена	z	22,58 m
Параметър на грапавостта в зависимост от категорията на терена	z_0	0,30 m
Минимална височина на сградата над нивото на терена	z_{min}	5,00 m
Максимална височина на сградата над нивото на терена	z_{max}	200,00 m
Височина на препятствията пред сградата (за дадената категория)	$z_{0,II}$	0,05 m
Коефициент за вида на терена, в зависимост от z_0	k_r	0,215
Средна скорост на вятъра	$v_m(z)$	24,29 m/s
Плътност на въздуха	ρ	1,25 kg/m ³
Интензивност на турбулентността	$I_v(z)$	0,231
Коефициент на турбулентност	k_1	1,00
Максимална стойност на скоростния напор на вятъра	$q_p(z)$	966,24 N/m ²
Основна (базова) стойност за определяне на ветровото налягане	q_b	425,76 N/m ²
Базова височина за натоварване от вятър по наветрените стени	z_e	22,58 m
Максимална стойност на налягането на вятъра на височина z_e	$q_p(z_e)$	0,966 kN/m ²

В настоящия пример са разгледани две ситуации за определяне на размерите на зоните на сградата, характеризиращи се с различни стойности на ветровото натоварване. Първата е при вятър, действащ перпендикулярно на дълга страна на сградата, а втората – при вятър, действащ перпендикулярно на късата страна. Въз основа на извършените изчисления са определени размерите на зоните по двете фасади – съответно зона А и зона В по късата фасада, и зона А, зона В и зона С по дългата фасада. Широчините на зоните са представени в табл. 2.

Таблица 2. Обобщени стойности на ветровото натоварване и размерите на зоните

Зона	$c_{pe,1}$	$S_k = w_e$	S_d	Широчина на зоната при ветрово натоварване, действащо перпендикулярно на дългата страна на сградата	Широчина на зоната при ветрово натоварване, действащо перпендикулярно на късата страна на сградата
A	1,4	1,353 kN/m ²	2,030 kN/m ²	5,82 m	1,70 m
B	1,1	1,063 kN/m ²	1,595 kN/m ²	2,68 m	6,80 m
C	0,5	0,483 kN/m ²	0,725 kN/m ²	–	20,60 m

4. Определяне на съпротивлението на разкъсване

Стойностите на съпротивлението на разкъсване на топлоизолационния слой могат да бъдат отчетени от документа за Европейска техническа оценка (ЕТА) на продукта или да бъдат определени експериментално. За практически цели стойностите могат да бъдат отчетени от ЕТА, но следва да се има предвид, че производителите най-често декларират стойности на съпротивлението на разкъсване при дебелина на топлоизолационния слой от 60 mm [28].

За нуждите на настоящото изследване, стойностите на съпротивлението на разкъсване са определени експериментално при дебелина на топлоизолационния слой от EPS 120 mm.

4.1. Материали и методи

Изследването се реализира чрез провеждане на планиран експеримент. Опитните образци са изработени и изпитани съгласно действащия Европейски документ за оценяване EAD 040083-00-0404 [29].

Опитните образци от EPS се свързват към твърда подложка с помощта на подходящо лепило. Те имат размери 350 mm × 350 mm × 120 mm. Изследваното механично скрепително средство представлява пластмасов дюбел с усилен пластмасов набивен пирон (игла), предназначен за закрепване на топлоизолационни плоскости от EPS в основи от блокове за зидария (тухли), бетон и газобетон. Дюбелите имат диаметър 8 mm, диаметър на главата 60 mm и дължина 195 mm. Монтират се централно на всеки образец или в свързката на панелите.

Според изискванията на EAD минималният брой изпитани образци при провеждане на експеримента трябва да бъде не по-малък от пет броя [29]. Изработени са общо 10 броя образци със стандартизирани размери, като при 5 от тях дюбелите са монтирани в панела (извън фугата между плоскостите), а при останалите 5 – в Т-образна свързка на панела (във фугата).

Техническите характеристики на използвания топлоизолационен материал са определени в лабораторни условия и са обобщени в табл. 3.

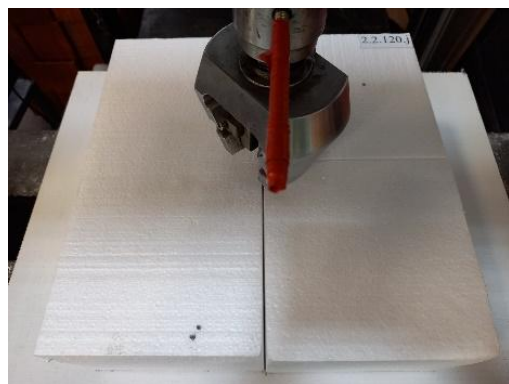
Таблица 3. Характеристики на топлоизолационния слой

Характеристика	Стандарт	Резултат, кПа
Якост на опън перпендикулярно на повърхността	БДС EN 1607:2013	190,00
Якост на натиск при 12 % деформация	БДС EN 826:2013	86,90
Якост на огъване	БДС EN 12089:2013	178,00

Изпитването за определяне на съпротивлението на разкъсване се извършва според указанията, дадени в [29]. След отлежаване на лепилото в лабораторни условия опитните образци се поставят централно върху стенда за изпитване. В началото на изпитването на опитните образци се прилага сила на опън между твърдата подложка и края на дюбела, преминаващ през изолационния продукт, до излизането на дюбела от изолацията. Скоростта, с която се прилага опънната сила, е 20 mm/min.

Уредът, чрез който се отчита приложената опънна сила за провеждане на изпитването на съпротивление на разкъсване, е товарна клетка с обхват до 10,0 kN. За преместванията се използва отчитащо устройство – датчик с обхват от 0 до 600 mm и разделителна способност 0,1 mm. По време на изпитването се извършва непрекъснато записване както на силата, така и на преместването на дюбела.

Общият вид на подготовения за изпитване опитен образец и на опитната постановка са представени на фиг. 4 и фиг. 5.



Фиг. 4. Опитен образец



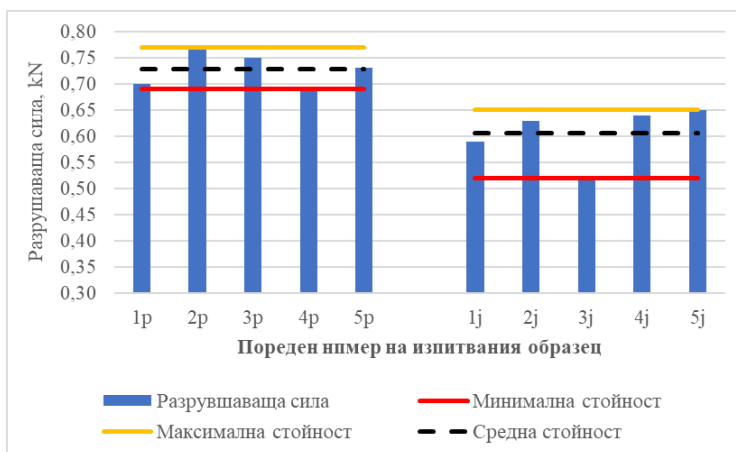
Фиг. 5. Опитна постановка

4.2. Резултати и анализ от извършеното експериментално изследване за определяне на съпротивлението на изтръгване

От това изследване са установени съпротивлението на разкъсване на топлоизолационния слой във фуга и извън нея. Отчетените експериментални резултати са представени в табл. 4 и на фиг. 6. На фиг. 7 е представена усреднената стойност на зависимостта между силата и преместването при реализиране на изпитването.

Таблица 4. Определени стойности на съпротивлението на разкъсване

Местоположение на дюбела	№	Разрушаваща сила, kN	Минимална стойност, kN	Максимална стойност, kN	Средна стойност, kN
Извън фугата	2.1.120.p	0,70	0,690	0,770	0,728
	2.2.120.p	0,77			
	2.3.120.p	0,75			
	2.4.120.p	0,69			
	2.5.120.p	0,73			
Във фугата	2.1.120.j	0,59	0,520	0,650	0,606
	2.2.120.j	0,63			
	2.3.120.j	0,52			
	2.4.120.j	0,64			
	2.5.120.j	0,65			

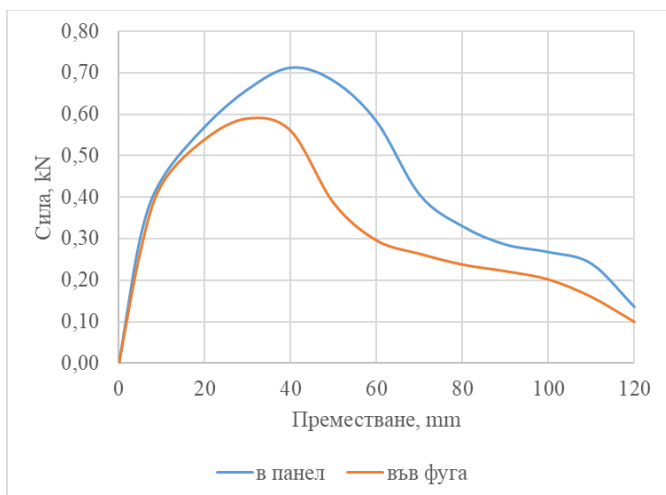


Фиг. 6. Резултати от изпитването за определяне на съпротивлението на разкъсване при дебелина на топлоизолационния слой от 120 mm

Представените таблично и графично резултати показват, че най-голямата стойност на съпротивлението на разкъсване е отчетена, когато дюбелът е извън фугата (монтиран е в панела), и тя е със стойност 0,77 kN. Съответно най-ниската стойност е отчетена, когато дюбелът е монтиран във фугата – 0,52 kN.

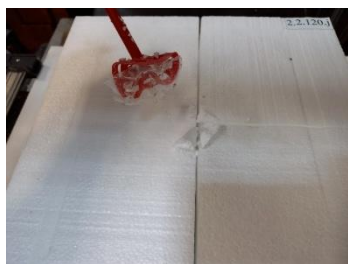
По отношение на средните стойности съпротивлението на разкъсване при дюбел, който е в средата на панела, също е по-голямо спрямо дюбел, поставен във фугата между панелите, като разликата е около 16,8 %. Оттук може да се заключи, че един от факторите, оказващи влияние върху съпротивлението на разкъсване, е местоположението на дюбела в топлоизолационния слой.

От изведената зависимост сила-преместване (вж. фиг. 7) е видно, че максималната разрушителна сила при дюбел, монтиран в панела, се постига при преместване от около 41 mm, докато при дюбел, монтиран във фугата, това преместване е от порядъка на 33 mm.

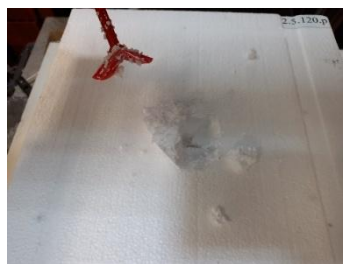


Фиг. 7. Зависимост сила-преместване при изпитване за определяне на съпротивлението на разкъсване

По време на изпитването на опитните образци се констатира видимо деформиране на главата на дюбела (вж. фиг. 8). Също така, при опитните образци не се наблюдава ясно изразено конично разрушение на топлоизолационния слой, каквото би могло да се очаква при топлоизолационни пластове с по-малка дебелина. Подобни деформации и типове разрушение са констатирани както при образците, при които дюбелът е поставен в свързките на панелите, така и при тези, при които дюбелът е в панела. Това би могло да се дължи на концентрация на напрежения в главата на дюбела точно в зоната на свързката на панелите, както и на известни ограничения по отношение на коравината на главата.



а)



б)

Фиг. 8. Констатирани форми на разрушение при изпитване на дюбелите

- а) разрушение при разкъсване на EPS с дюбел във fuga;
- б) разрушение при разкъсване на EPS с дюбел извън fuga

4.3. Изводи от експериментално изпитване на съпротивлението на съпротивлението на разкъсване

От проведеното експериментално изпитване на съпротивлението на разкъсване на топлоизолационния слой за ETICS и след направен анализ на резултатите могат да се формулират следните изводи:

- Средните стойности на разрушителната сила за образци с дюбел, който не е в свързката на панелите, са по-големи от тези за образци с дюбел, поставен в свързката на панелите, като разликата е от порядъка на 16,8 %.
- Максималната разрушителна сила при дюбел, монтиран в панела, се постига при преместване от около 41 mm, докато при дюбел, монтиран във фугата, това преместване е от порядъка на 33 mm.
- Основната форма на разрушение е вследствие на деформиране на главата на дюбела.

5. Определяне на съпротивлението на изтръгване на дюбелите

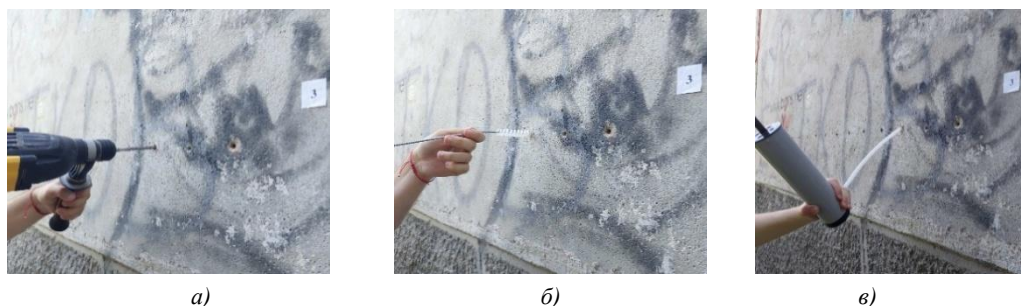
5.1. Материали и методи

Извършено е изследване за определяне на съпротивлението на изтръгване на дюбелите в три типа фасадни панели на едропанелната жилищна сграда: фасаден панел с отвор за прозорец, фасаден подпрозоречен панел и фасаден калканен панел.

Дюбелите са изпитани съгласно действащите стандарти и по-конкретно EOTA TR 051 [30] и BS 8539 [31].

Използваните в изследването дюбели са аналогични на тези, дадени в точка 4.1. Съгласно указанията на производителя дълбочината на анкериране в основа от бетон трябва да бъде ≥ 30 mm. По време на монтажа е извършен контрол на дълбочината на монтажа с цел навлизане на анкериращата част на дюбела в предписаната дебелина.

Апаратурата за изследване на дюбелите за ETICS включва специализиран уред за определяне на носимоспособността на опън. Уредът за измерване на опън (Hydrajaws M2000 pull-out tester) е специално разработена система за тестване на крепежи и крепежни елементи. Той се състои от механичен винт, действащ чрез хидравлична динамометрична клетка, която измерва натоварването, приложено директно към фиксирането. Получената стойност на натоварването се изписва на цифровия манометър. Тестерът има вграден индикатор за движение със скала 50 mm, за да покаже „първото движение“ върху фиксирането преди приложен тестови товар. Максималното натоварване на опън, което този уред може да достигне, е 25 kN, като точността е 0,1 kN.

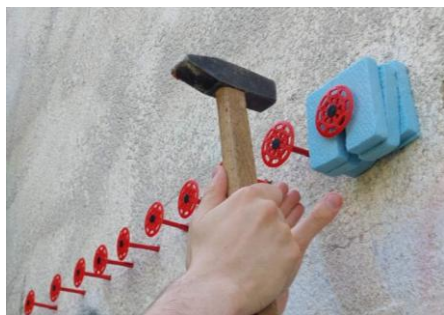


Фиг. 9. Пробиване и подготовка на отворите за монтаж на дюбелите
а) пробиване на отвора; б) почистване чрез изчеткване; в) продухване

Първата технологична операция, която се изпълнява при изследване на съпротивлението на изтръгване на дюбелите, е разпробиване на отворите в строителните

основи. Посредством ударно-пробивната техника във всеки един от типовете панели са пробити по 15 броя отвори с ударно действие. Разстоянието между отворите е повече от 10 cm. Пробитите отвори се почистват внимателно чрез изчеткване и продухване, като се спазват изискванията на производителя. Основните технологични операции, свързани с пробиването и подготовката на отворите, са представени на фиг. 9.

В настоящото изследване е приета закотвяща дълбочина на дюбела $h_{ном} = 30$ mm. След пробиване и почистване на необходимия брой отвори се извършва монтаж на дюбелите с използване на допълнителна приставка. Тя представлява подложка от екструдирани полистирен (XPS), чрез която се симулира слой от топлоизолация с цел осигуряване на навлизането на анкеризиращата част на дюбела до необходимата дълбочина. Монтирането на дюбелите във фасаден панел е представено на фиг. 10 и фиг. 11.



Фиг. 10. Монтиране на дюбели във фасаден панел



Фиг. 11. Общ вид на монтираните дюбели във фасаден панел „Тип 1“

Информация за дълбочината на монтажа, метода на пробиване на отворите, диаметра на свредлото и други детайли са обобщени в табл. 5.

Таблица 5. Информация за монтажа на дюбелите

Наименование на основата	Тип на основата	Диаметър на свредлото	Дълбочина на закотвяне	Минимални отстояния
„Тип 1“	Фасаден панел с отвор за прозорец	8 mm	≥ 30 mm	≥ 100 mm
„Тип 2“	Подпрозоречен панел	8 mm	≥ 30 mm	≥ 100 mm
„Тип 3“	Калканен панел с ТИ слой	8 mm	≥ 30 mm	≥ 100 mm

При изпитването уредът се поставя перпендикулярно на опитните образци след отстраняване на приставката от XPS и се нивелира. Нивелирането в хоризонтално положение се постига с помощта на вградената в уреда водна либела. Натоварването се увеличава постоянно с цел достигане на крайното натоварване, при което настъпва разрушение, след около 1 минута. Натоварването продължава до изтръгване от основата или разрушаване на дюбела. Стойността на силата при крайното натоварване се записва. Изпитването на дюбели, монтирани в различни типове основи, е представено на фиг. 12.



Фиг. 12. Изпитване на дюбели при натоварване на опън във фасадни панели

5.2. Резултати и анализ от извършеното експериментално изследване за определяне на съпротивлението на изтръгване на дюбелите

При спазване на приетата методика и след проведеното експериментално изпитване са определени стойностите на носимоспособността на опън (изтръгване) на дюбелите. Във всеки тип основа (панел) са монтирани и изпитани по 15 дюбела. Резултатите от отделните изпитвания са представени в табл. 6.

Таблица 6. Измерени стойности на съпротивлението на изтръгване при опън на отделните дюбели, kN

Номер на изпитване	Основа „Тип 1“	Основа „Тип 2“	Основа „Тип 3“
1	0,70	0,80	0,70
2	0,80	0,80	0,90
3	0,70	0,70	0,90
4	0,70	0,70	0,90
5	0,80	0,70	0,90
6	0,70	0,80	0,80
7	0,90	0,70	0,70
8	0,70	0,70	0,80
9	0,70	0,70	0,60
10	0,60	0,90	0,80
11	0,90	0,80	0,70
12	0,70	0,90	0,80
13	0,70	0,60	0,70
14	0,60	0,80	0,80
15	0,80	0,70	0,80

Въз основа на получените резултати са изчислени характеристичните стойности на съпротивлението на изтръгване на дюбелите, монтирани в трите типа фасадни панели. Изчисленията са извършени чрез използване на зависимостите, посочени в EOTA TR 051 [30] и BS 8539 [31].

Съгласно BS 8539 [31], определянето на характеристичната стойност на съпротивлението на изтръгване N_{Rk} се извършва съгласно следната формула, дадена в стандарта:

$$N_{Rk} = N_{Ru,m} (1 - Kv) \beta, \quad (1)$$

където $N_{Ru,m}$ е средната стойност на съпротивлението на опън от серия от тестове;

K – коефициент, който регулира широчината на толерантния интервал с оглед на несигурността. Този коефициент зависи от броя на изпитванията, като при 15 изпитвания $K = 2,33$;

β – коефициент, използван при определяне на резултатите от тестовите на място.

Неговите стойности са посочени в документа за одобрение;

v – коефициентът на вариация на изчислителното натоварване в серия от изпитвания;

$$v = \frac{s}{N_{Ru,m}} 100\% \quad (2)$$

s – стандартно (средно квадратично) отклонение.

Съгласно EOTA TR 051 [30], определянето на характеристичната стойност на съпротивлението на изтръгване N_{Rk} се извършва с използване на следната зависимост:

$$N_{Rk} = 0,6N_1, \quad (3)$$

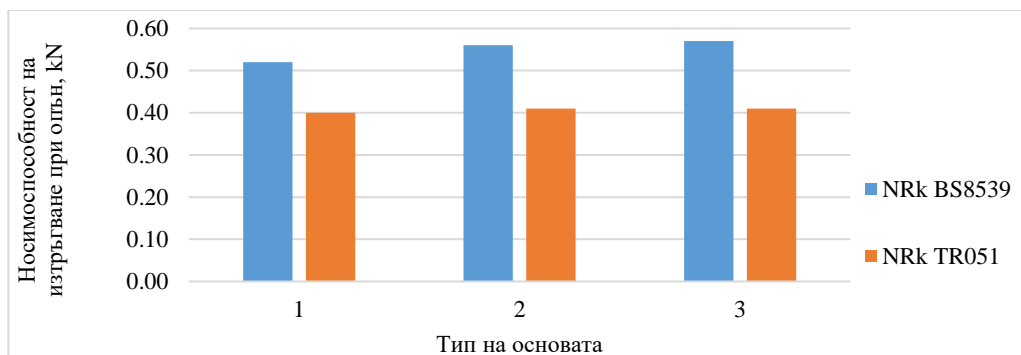
където N_1 е средната стойност на петте най-малки измерени стойности на съпротивлението на изтръгване.

В табл. 7 и на фиг. 13 са представени резултатите от определените характеристични стойности на съпротивлението на изтръгване на дюбелите, съгласно EOTA TR 051 [30] и BS 8539 [31]. Анализът на резултатите показва, че при трите типа панели се наблюдават сравнително сходни стойности на съпротивлението на изтръгване. Това дава основание, при определяне на необходимия брой дюбели, да се използват най-ниските стойности – в случая основа „Тип 1“ – фасаден панел с отвор за прозорец.

Също така е видно, че има разлика между характеристичните стойности на съпротивлението на изтръгване, получени по различните стандарти (вж. табл. 7 и фиг. 13). И при трите типа основи (фасадни панели) определената стойност по BS 8539 [31] е по-голяма от тази, получена по EOTA TR 051 [30]. Тази процентна разлика варира от 24 % при основа „Тип 1“ до 29 % при основа „Тип 3“. Може да се отбележи, че EOTA TR 051 дава по-консервативни стойности при определяне на характеристичните стойности на съпротивлението на изтръгване.

Таблица 7. Характеристични стойности на съпротивлението на изтръгване, получени по различните стандарти

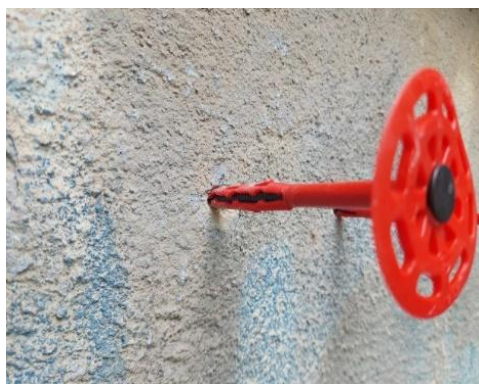
Тип основа	Съпротивление на изтръгване N_{Rk} съгласно BS 8539, kN	Съпротивление на изтръгване N_{Rk} съгласно EOTA TR 051, kN	Процентна разлика, %
„Тип 1“	0,52	0,40	24
„Тип 2“	0,56	0,41	27
„Тип 3“	0,57	0,41	29



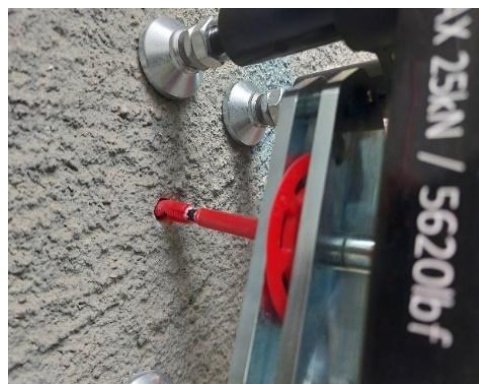
Фиг. 13. Сравнение на резултатите, получени съгласно различните стандарти

При извършената визуална оценка са установени две форми на разрушение при изпитване на дюбелите: разрушение чрез изтръгване (приплъзване) на дюбела от основата и разрушение в тялото на дюбела. Примери за констатираните форми на разрушение са представени на фиг. 14.

Разрушение чрез изтръгване (приплъзване) на дюбелите е установено при трите типа изследвани панели, а разрушение в тялото на дюбела настъпва при разрушаваща сила в диапазона от 0,80 kN до 0,90 kN. Аналогични типове разрушения са констатирани при изпитване на дюбели и в други типове основи [32].



а)



б)

Фиг. 14. Констатирани форми на разрушение при изпитване на дюбелите

а) разрушение чрез изтръгване (приплъзване) на дюбела от основата;

б) разрушение на тялото на дюбела

5.3. Изводи от експериментално изпитване на съпротивлението на изтръгване на дюбелите

От проведеното експериментално изпитване на носимоспособността при натоварване на опън на дюбели за ETICS могат да се формулират следните основни изводи:

- При трите типа изследвани панели се наблюдават сравнително сходни стойности на съпротивлението на изтръгване на дюбелите.

- Характеристичната стойност на съпротивлението на изтръгване, определена по BS 8539 [31], е по-голяма от тази, получена по EOTA TR 051 [30]. За конкретното изследване процентната разлика е в диапазона 24 – 29 %.
- Установени са две форми на разрушение при изпитване на дюбелите: разрушение чрез изтръгване на дюбела от основата и разрушение в тялото на дюбела. Разрушение в тялото на дюбела настъпва при по-високи стойности на разрушаващата сила.

6. Проверка на носимоспособността на брой дюбели за 1 m²

В настоящата част на изследването, въз основа на ветровото натоварване, съпротивлението на разкъсване на топлоизолационния слой и съпротивлението на изтръгване на дюбелите, е извършено определяне на необходимото количество дюбели за 1 m². Прието е, че ще бъдат използвани минимум 6 броя дюбели за 1 m².

Изчислителната стойност на съпротивлението на разкъсване на топлоизолационния слой за 1 m² се определя по следната формула:

$$R_d = \frac{R_{panel} n_{panel} + R_{joint} n_{joint}}{\gamma_n}, \quad (4)$$

където R_d е изчислителното съпротивление на разкъсване за 1 m²;

R_{panel} – съпротивлението на разкъсване на топлоизолационния слой за дюбел, който не е разположен в свръзката (фугата) между топлоизолационните плочи;

R_{joint} – съпротивлението на разкъсване на топлоизолационния слой за дюбел, който е разположен в свръзката (фугата) между топлоизолационните плочи;

n_{panel} – брой дюбели на 1 m², които не са разположени във фугата между топлоизолационните плочи;

n_{joint} – брой дюбели на 1 m², които са разположени във фугата между топлоизолационните плочи;

γ_n – коефициент на сигурност ($\gamma_n = 1,5$, в случай че в ЕТА не е посочено друго).

Експериментално определената стойност във фуга е $R_{joint} = 0,606 \text{ kN/m}^2$.

Експериментално определената стойност извън фуга е $R_{panel} = 0,728 \text{ kN/m}^2$.

Таблица 8. Определяне на съпротивлението на разкъсване за площ от 1 m²

За зона А	За зона В и зона С
При 8 броя дюбели за 1 m ² (4 бр. във фугите и 4 бр. извън фугите)	При 6 броя дюбели за 1 m ² (4 бр. във фугите и 2 бр. извън фугите)
$R_d = \frac{R_{panel} n_{panel} + R_{joint} n_{joint}}{\gamma_n} =$ $= \frac{0,728 \cdot 4 + 0,606 \cdot 4}{1,5} = 3,56 \text{ kN/m}^2$	$R_d = \frac{R_{panel} n_{panel} + R_{joint} n_{joint}}{\gamma_n} =$ $= \frac{0,728 \cdot 2 + 0,606 \cdot 4}{1,5} = 2,59 \text{ kN/m}^2$

Изчислителната стойност на съпротивлението на изтръгване на дюбелите от основата за 1 m² се определя по формулата:

$$N_{Rd} = \frac{n_{Anch} N_{Rk}}{\gamma_m}, \quad (5)$$

където N_{Rd} е изчислителното съпротивление на изтръгване на дюбелите от основата за 1 m²;

n_{Anch} – брой дюбели на 1 m²;

N_{Rk} – характеристичното съпротивление на изтръгване на дюбела от основата;

γ_m – частен коефициент на сигурност.

Във формула (5) по-горе, въз основа на БДС EN 13499, е прието частният коефициент на сигурност γ_m да бъде със стойност 1,5 [33]. Следва да се има предвид, че в много случаи коефициентът се регламентира изрично в издадената европейска техническа оценка (ЕТА) и може да бъде и с по-висока стойност, например $\gamma_m = 2,0$ [34, 35].

Таблица 9. Определяне на съпротивлението на изтръгване за площ от 1 m²

За зона А	За зона В и зона С
При 8 броя дюбели за 1 m ²	При 6 броя дюбели за 1 m ²
$N_{Rd} = \frac{n_{Anch} N_{Rk}}{\gamma_m} =$ $= \frac{8 \cdot 0,40}{1,5} = 2,13 \text{ kN/m}^2$	$N_{Rd} = \frac{n_{Anch} N_{Rk}}{\gamma_m} =$ $= \frac{6 \cdot 0,40}{1,5} = 1,60 \text{ kN/m}^2$

Проверката се извършва по формулата:

$$X_d \geq S_d, \quad (6)$$

където S_d е изчислителната стойност на ветровото натоварване (смучене);

X_d – изчислителното съпротивление на дюбелите за 1 m². То се приема като по-малката стойност от N_{Rd} или R_d .

Таблица 10. Проверки в различните зони

За зона А	За зона В и зона С
$S_{d,A} = 2,030 \text{ kN/m}^2$	$S_{d,B} = 1,595 \text{ kN/m}^2$
$X_d = R_d = 2,13 \text{ kN/m}^2$	$X_d = R_d = 1,60 \text{ kN/m}^2$
$X_d \geq S_d \quad \checkmark$	$X_d \geq S_d \quad \checkmark$
Проверката е изпълнена!	Проверката е изпълнена!

Въз основа на извършените изчисления окончателно определеното количество дюбели е както следва:

- за Зона А – 8 бр. дюбели за 1 m²;
- за Зона В и Зона С – 6 бр. дюбели за 1 m².

7. Заключение

В статията е разгледан конкретен практически пример, свързан с определяне на необходимия брой дюбели за ETICS при обновяване на едропанелна жилищна сграда, изпълнена по система ОС-Гл-68, намираща се в жк „Студентски град“, гр. София. Предвидено е топлоизолирането на фасадните стени да се извърши с топлоизолационен слой от EPS с дебелина 12 cm. Механичните скрепителни средства представляват пластмасови дюбели с набивен пластмасов пирон.

Необходимото количество дюбели е определено чрез отчитане на ветровото натоварване, експериментални изследвания за определяне на съпротивлението на изтръгване на дюбелите и съпротивлението на разкъсване на топлоизолационния слой.

За конкретната сграда и изследване, меродавно за определяне на необходимия брой дюбели е съпротивлението на изтръгване на дюбелите от основата. Поради тази причина може да се обобщи, че с цел осигуряване на издръжливостта на ETICS на ветрови въздействия, носимоспособността на дюбелите на опън следва да се определя чрез тестове на място за всеки конкретен случай.

Въз основа на извършените изчисления е определен необходимият брой дюбели за 1 m², както следва: за зона А – минимум 8 бр. дюбели за 1 m²; за зони В и С – минимум 6 бр. дюбели за 1 m². Широчината на отделните зони се определя индивидуално за всяка фасада в зависимост от геометричните ѝ размери и специфичните ѝ характеристики. Следва да се има предвид, че извършените изследвания и изчисления се отнасят за конкретната сграда, при използване на конкретни дюбели и топлоизолационен слой, и че във всеки отделен случай е необходимо да се подхожда строго индивидуално.

Разгледаната и приложена в статията методика може да се използва за определяне на необходимото количество дюбели и за осигуряване на устойчивостта на фасадните топлоизолационни системи на ветрови въздействия и при други сгради, изпълнени по различни строителни системи.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор № Д-154/2023 е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

Издават се благодарности към фирма „Баумит България“ ЕООД и фирма „Аустротерм България“ ЕООД за осигуряването на материалите за топлоизолационната система. Авторите изказват благодарност и на екипа на Изпитвателната лаборатория при „Лабконсулт плюс“ ООД за оказаната помощ и съдействие по време на експерименталната част от изследването.

ЛИТЕРАТУРА

1. National Program for Renovation of Residential Buildings. 2005.

2. *Hrishev, L., Gocheva, M., Abdulahad, E.* Structural Elements and Details of Large-Panel Prefabricated Buildings System BS-69-SF. Part 1 – Structural Elements. Proceedings of the XI International Scientific Conference “Design and Construction of Buildings and Facilities”, Varna, 10 – 12 September 2020.

3. Specialized Study on the Condition of Residential Buildings Built Using Large-Panel Housing Construction and Their Location in Residential Complexes in the City of Sofia. RCI, Sofia, 1998.

4. *Hrishev, L., Petrov, B., Orlinov, R., Spasov, K.* Investigation of Structural Elements of Large Panel Building. UACG Annual, Volume 50, Issue 1, Sofia, 2017.

5. *Ostanska, A.* Wielka Płyta: Analiza skuteczności podwyższania efektywności energetycznej. Termomodernizacja, termografia, wytyczne naprawcze, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Karol Zawadzki, Editor: Maria Kasperska, ISBN: 978-83-01-18512-1, 2018.

6. *Ilomets, S., Kuusk, K., Paap, L., Arumägi, E., Kalamees, T.* Impact of Linear Thermal Bridges on Thermal Transmittance of Renovated Apartment Buildings. // Journal of Civil Engineering and Management, 2016, 22(8), pp. 1053 – 1063, DOI: 10.3846/13923730.2014.976259.

7. *Chobanov, P.* Energy efficiency in construction. UACG, 2015, ISBN 978-954-724-091-9.

8. *Mitev, I.* Frameless Panel Buildings. Tehnika, Sofia, 1985.

9. Council of Ministers of the Republic of Bulgaria (2022). Ordinance No. RD-02-20-3 of 9 November 2022 on the technical requirements for the energy performance of buildings, // State Gazette, Issue 95, 2022.

10. *Kubecková, D., Vrbová, M.* 2021. Historical Development of Thermal Protection of Prefab Residential Housing and Its Future, an Example of the Czech Republic. Energies, 14 (9), 2623, DOI: 10.3390/en14092623.

11. *Knyziak, P., Kanoniczak, M.*, 2019. Difficulties in Operation of Elevations in Large-Panel Buildings. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 661, 012059, DOI: 10.1088/1757-899X/661/1/012059.

12. *Wardach, M., Krentowski, J.* 2023. Current Perspective on Large-Panel Buildings – A Review. Structures, 58, 10553, DOI: 10.1016/j.istruc.2023.105537.

13. *Wardach, M., Krentowski, J., Knyziak, P.* Degradation Analyses of Systemic Large-Panel Buildings Using Comparative Testing during Demolition. May 2022.

14. *Kazakov, K., Yanakieva, A., Handruleva, A., Stoyanova, I., Matuski, V.* Comparative Analysis of Phased Energetic Renovation of an Office Building, Situated in Sofia. In: Proceedings of the 16th International Symposium of MASE, Ohrid, Macedonia, 1 – 3 October 2015, pp. 269 – 274, ISBN 608-4510-24-8.

15. *Beleva, K., Novakova, V., Belev, B.* (2015). Ventilated façade systems for the renovation of large-panel buildings in Bulgaria. // Proceedings of the First Applied Scientific Conference with International Participation "Rehabilitation and Strengthening of Buildings and Facilities" (VUSS2015), November 5 – 6, Sofia, Bulgaria, ISSN 2367-8224.

16. *Kuusk, K., Pihelo, P., Kalamees, T.* 2019. Renovation of Apartment Buildings with Prefabricated Modular Panels. E3S Web of Conferences, 111, 03023, DOI: 10.1051/e3sconf/2019111030.

17. *Amaro, B., Saraiva, D., Brito, J., Flores-Colen, I.* 2013. Inspection and Diagnosis System of ETICS on Walls. Construction and Building Materials, 47, pp. 1257 – 1267, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.06.024.

18. EAE, European Guideline for the Application of ETICS. European Association for External Thermal Insulation Composite Systems, 2022.
19. *Lucchini, A., Mazzucchelli, E., Stefanazzi, A., Tattoni, S.* Analysis and Control of Façade Claddings Structural Issues. *Technologies Engineering Materials Architecture (TEMA)*, 3(1), pp. 88 – 100, 2017.
20. *Florea, V.* External Thermal Insulation of Buildings with Expanded Polystyrene. *Buletinul Institutului Politehnic Din Iasi, Tomul LVIII (LXII)*, 2012.
21. *Sulakatko, V., Lill, I., Witt, E.* 2016. Methodological Framework to Assess the Significance of External Thermal Insulation Composite System (ETICS) On-Site Activities. *Energy Procedia*, 96, pp. 176 – 183, DOI: 10.1016/j.egypro.2016.09.176.
22. BDS EN 1991-1-4:2005, 2005. Eurocode 1: Actions on Structures – Part 1-4: General Actions – Wind Actions. Bulgarian Institute for Standardization.
23. BDS EN 1991-1-4:2005 /NA:2011, 2011. Eurocode 1: Actions on Structures – Part 1-4: General Actions – Wind Loads – National Annex to BDS EN 1991-1-4:2005. Bulgarian Institute for Standardization.
24. *Hrishev, L., Conev, I.* Methodology for Design and Assuring of ETICS Against Wind Loads (in Bulgarian). In: II Youth Scientific Conference “Design and Construction of Buildings and Facilities” (DCB’2023), 9 – 10 November 2023, Sofia.
25. European Organisation for Technical Assessment (EOTA), EAD 330196-00-0604 (ETAG 014): Plastic Anchors for Fixing of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering, 2016.
26. *Georgiev, Tzv., Dinev, D., Raykov, St.* CFD Estimation of Wind Loading on a Stadium Roof. *Annual of the UACEG*, 54(3), pp. 491 – 500, 2021.
27. *Zdravkov, L.* Influence of the Roof Structure on the Forces in Top Angle Under Wind Loading. *Annual of the UACEG*, 55(2), pp. 245 – 254, 2022.
28. *Baumit Beteiligungen GmbH.* Baumit Prosystem ETA 16/0911, Version 02, 15 May 2018.
29. European Organisation for Technical Assessment (EOTA). EAD 040083-00-0404: External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Rendering, 2019.
30. European Organisation for Technical Assessment (EOTA). Technical Report 051 (EOTA TR 051): Recommendations for Job Site Tests of Plastic Anchors and Screws, 2016.
31. BSI (British Standards Institution), BS 8539:2012+A1:2021: Code of Practice for the Selection and Installation of Post-Installed Anchors in Concrete and Masonry.
32. *Hrishev, L., Conev, I.* 2024. Resistance of Plastic Anchors for Fixing on ETICS in Different Types of Base Materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1323, 012006, DOI: 10.1088/1757-899X/1323/1/012006.
33. BDS EN 13499, Thermal Insulation Products for Buildings – External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) Based on Expanded Polystyrene – Specification. Bulgarian Institute for Standardization, 2003.
34. Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), European Technical Assessment ETA-11/0192 of 6 December 2022: EJOT H1 eco, EJOT H4 eco and ejotherm H1, 2022.
35. Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), European Technical Assessment ETA-09/0394 of 18 October 2022: fischer TermoZ CN 8 / fischer TermoZ CN 8 R / fischer TermoZ CNplus 8, 2022.

ASSESSMENT OF WIND LOAD RESISTANCE OF EXTERNAL THERMAL INSULATION SYSTEMS DURING THE RENOVATION OF A LARGE PANEL DWELLING BUILDING

I.-A. Conev¹, L. Hrishev², E. Bogdanova³

Keywords: insulation anchors, ETICS, pull-out resistance, tear-through resistance, wind actions, large-panel buildings

ABSTRACT

The paper presents a practical example related to determining the required number of insulation anchors for ETICS during the renovation of a large-panel residential building constructed using the OS-GI-68 system in Sofia, Bulgaria. The thermal insulation of the façade walls is planned to be carried out using a 12 cm thick layer of expanded polystyrene (EPS). The mechanical fastening elements consist of plastic insulation anchors with driving plastic pins. The required number of insulation anchors is determined based on wind load calculations that account for both the pull-out resistance of the insulation anchors from the base material and the pull-through resistance of the thermal insulation layer. Based on the experimental investigations and calculations, the required number of insulation anchors per square meter has been determined as follows: For Zone A – a minimum of 8 insulation anchors per 1 m²; For Zone B and Zone C – a minimum of 6 insulation anchors per 1 m². The widths of the respective zones are defined individually for each façade, based on the geometric dimensions of the building and the specific characteristics of the wind loads.

¹ Ivan-Aleksandar Conev, Assist. Prof. Eng., Dept. “Construction Technology and Mechanisation”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ivan_conev_fce@uacg.bg

² Lachezar Hrishev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Construction Technology and Mechanisation”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: lhrishev_fce@uacg.bg

³ Evgenia Bogdanova, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Construction Technology and Mechanisation”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: bogdanova_fce@uacg.bg