DCB 2025
III Младежка научна конференция с международно участие
„Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 29 октомври 2025 г., София
III Youth Scientific Conference with international participation
„Design and Construction of Buildings and Facilities“, October 29, 2025, Sofia, Bulgaria
ISSN 2738-7887 (online); ISSN 2738-7879 (CD-ROM)

ОЦЕНКА НА СЪПРОТИВЛЕНИЕТО НА ИЗТРЪГВАНЕ НА ДЮБЕЛИ ЗА ETICS СЪГЛАСНО EOTA TR 051 И BS 8539

Иван-Александър Цонев[1], Лъчезар Хрисчев[2]

EVALUATION OF THE PULL-OUT RESISTANCE OF INSULATION ANCHORS IN ETICS ACCORDING TO EOTA TR 051 AND BS 8539

Ivan-Aleksandar Conev[1], Lachezar Hrischev[2]

Abstract:
This study evaluates the pull-out resistance of insulation anchors used in External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS), based on on-site testing. This parameter is fundamental for ensuring wind resistance and the overall reliability of façade systems. The testing and analytical procedures were performed according to EOTA TR 051 and BS 8539, and the results were analysed in order to identify methodological similarities and divergences. The outcomes reveal notable differences in the characteristic resistance values depending on the type of the substrate, and standard applied. The results are discussed with regard to their implications for design optimisation and practical implementation. Finally, technical recommendations are provided, along with directions for further research.

Keywords:
ETICS, facade, plastic insulation anchors, pull-out resistance, wind actions, substrate type

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Механичните скрепителни средства (дюбели) представляват ключов компонент на външните топлоизолационни композитни системи (ETICS) и са обект на значителен брой научни изследвания [1–6]. При този тип системи, опънните натоварвания действат локално („точково“) и се поемат изцяло от дюбелите. По този начин те осигуряват устойчивостта на фасадната система срещу ветрови въздействия, изчислявани съгласно изискванията на Еврокод 1 [7].

През последното десетилетие редица изследвания обръщат внимание на нарастващата роля на полимерните продукти в строителството, особено по отношение на тяхната дълготрайност, механична устойчивост и екологичен отпечатък [8]. Тъй като дюбелите за ETICS са изцяло или частично изработени от такъв тип материали и по-конкретно от

[1] Иван-Александър Цонев, инж., асистент, Катедра „Технология и механизация на строителството“, Строителен факултет, УАСГ- България, София 1164, бул. Христо Смирненски № 1, ivan_conev_fce@uacg.bg
Ivan-Aleksandar Conev, eng., PhD student, Dept. of Construction Technology and Mechanisation, Faculty of Civil Engineering, UACEG - Bulgaria, Sofia 1164, 1 Hristo Smirnenski Blvd., ivan_conev_fce@uacg.bg
[2] Лъчезар Хрисчев, доц. д-р инж., Катедра „Технология и механизация на строителството“, Строителен факултет, УАСГ- България, София 1164, бул. Христо Смирненски № 1, l.hrischev@abv.bg
Lachezar Hrischev, Assoc. Prof. eng., PhD, Dept. of Construction Technology and Mechanisation, Faculty of Civil Engineering, UACEG - Bulgaria, Sofia 1164, 1 Hristo Smirnenski Blvd., l.hrischev@abv.bg

термопластични полимери експлоатационните характеристики на тези анкери следва да се анализират в по-широк контекст, в т.ч. и по отношение на поведението и дълготрайността на полимерните материали в сградната обвивка. Установено е, че стареенето на полимерите под въздействието на UV-лъчение, температурата и влажността оказват съществено влияние върху тяхната дълготрайност и експлоатационна надеждност [9].

Актуалните документи за оценка на строителните продукти (EAD) [10–12], както и други приложими стандарти [13, 14], съдържат указания относно изпитването и монтажа на дюбелите. Въпреки това в редица случаи се наблюдава липса на пълна унификация в подходите за изчисляване на необходимия брой дюбели за дадена фасадна площ [15, 16]. Поради тази причина в инженерната практика се прилагат различни методики, основани на експериментални резултати и конкретни технически ръководства [17, 18].

Ефективността на ETICS в реални експлоатационни условия зависи в значителна степен от реакцията на системата спрямо ветровите натоварвания. Най-уязвими са периферните зони на сградата, където въздушните потоци създават повишено засмукване, а степента на натоварване варира в зависимост от височината на сградата, нейната геометрична форма и архитектурни особености [19, 20]. При сгради от културното наследство, с цел запазване на външния облик на фасадите на сградите, топлоизолационните системи се монтират от вътрешната страна на фасадните стени, но въпреки това тяхната механична устойчивост също следва да се осигури посредством използването на подходящи механични скрепителни средства (дюбели).

Сред основните причини, поради които силни ветрове могат да доведат до частично или пълно разрушаване на фасадната топлоизолационна система, се открояват: недостатъчен брой дюбели на единица площ, неподходяща схема на разположение, използване на дюбели с малък диаметър на главата, липса на сгъстяване в критичните зони, както и други технологични пропуски при монтажа [21] и др. Влияние върху носимоспособността на различните типове механични скрепителни средства оказват редица фактори – физико-механичните свойства на основата [22, 23], дебелината и съставът на преминаваните слоеве, дълбочината на анкериране, както и технологията на пробиване на отворите, особено при основа от блокове за зидария и други [24, 25]. Поради това при отговорни временни съоръжения, като например строителните скелета, особено внимание следва да се обръща именно на анкерите и тяхното закрепване към фасадите [26, 27].

В случаите, когато дюбелите за ETICS са монтирани в основа, различна от посочената от производителя в съответния документ за оценка, тяхното съпротивление на изтръгване следва да бъде определено чрез изпитвания на място [11, 28]. Методики за определяне на характеристичната стойност на съпротивлението на изтръгване са представени в британския стандарт BS 8539 [29] и в техническия доклад EOTA TR 051 [30]. Двата нормативни документа обаче предлагат различни подходи за определяне на тази характеристична стойност.

Основната цел на настоящото изследване е да се извърши сравнение на резултатите от изпитвания на дюбели за ETICS, анализирани съгласно различни нормативни документи, с акцент върху определянето на характеристичната стойност на съпротивлението при изтръгване съгласно методологиите и подходите, залегнали в BS 8539 [29] и EOTA TR 051 [30].

2. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

Изследването обхваща шестнадесет типа строителни основи, характерни за съвременната българска строителна практика. Типовете основи включват: девет вида глинени блокове за зидария – пет с вертикални кухини, три с хоризонтални и един плътен, основа от обикновен бетон и три вида блокове за зидария от автоклавен газобетон с

различна плътност, якост на натиск и обемно тегло [31]. В рамките на изследването са включени и три типа стоманобетонни фасадни панели на едропанелни жилищни сгради (ЕПЖС), предвид на това, че съвременните тенденции са свързани с енергийната ефективност и топлоизолирането на този тип сгради [32, 33]. В обобщен вид, информацията за типовете основи, включени в настоящото изследване, е обобщена в таблица 1.

Механичните скрепителни средства, използвани в изпитванията, са пластмасови дюбели с усилен пластмасов набивен пирон („пластмасова игла“), предназначени за монтаж на външни топлоизолационни композитни системи (ETICS). Дюбелите са с обща дължина 115 mm, диаметър на стеблото 8 mm и диаметър на главата 60 mm. Минималната дълбочина на анкериране е съответно ≥ 50 mm за глинени блокове за зидария, ≥ 65 mm за блоковете за зидария от автоклавен газобетон и ≥ 30 mm за бетон [34].

Изпитванията са проведени в два технологични режима на пробиване – ударен и безударен режим на леката строителна механизация (перфоратор).

Якостта на натиск на основните материали е определена чрез хидравлична преса съгласно изискванията на приложимите стандарти [35–37]. За бетон товарът се прилага перпендикулярно на посоката на изливане. При глинените блокове са използвани най-малко шест пробни тела, натоварвани с контролирана скорост до разрушаване. При блоковете за зидария от автоклавен газобетон са взети три цилиндрични ядки от различни зони на блока, като е отчетена средната стойност на якостта на натиск. Якостта на натиск на панелите за ЕПЖС е определена чрез големината на отскока, съгласно изискванията на БДС EN 13791:2019/NA:2022 [38].

Таблица 1. Характеристики на типовете основи, включени в изследването [24, 28]

Тип основа	Вид на опитния образец	Група, съгласно EAD 330196-00-0604 [11]	Дебелина на основата	Якост на натиск (N/mm^2)
„Тип 1“	Глинени блокове с верт. кухини	C	250	18,4
„Тип 2“	Глинени блокове с верт. кухини	C	250	16,6
„Тип 3“	Глинени блокове с верт. кухини	C	250	13,4
„Тип 4“	Глинени блокове с хор. кухини	C	250	4,6
„Тип 5“	Глинени блокове без кухини	B	120	28,8
„Тип 6“	Глинени блокове с хор. кухини	C	250	3,7
„Тип 7“	Глинени блокове с хор. кухини	C	250	3,3
„Тип 8“	Глинени блокове с верт. кухини	C	250	10,3
„Тип 9“	Глинени блокове с верт. кухини	C	250	14,9
„Тип 10“	Бетон C35/45	A	1000	41,5
„Тип 11“	Газобетон B2 D350	E	250	2,0
„Тип 12“	Газобетон B2,5 D400	E	250	2,5
„Тип 13“	Газобетон B5 D600	E	250	5,0
„Тип 14“	Фасаден панел на ЕПЖС	A	200	42,13
„Тип 15“	Фасаден панел на ЕПЖС	A	200	56,53
„Тип 16“	Фасаден панел на ЕПЖС	A	220	60,72

Съпротивлението на изтръгване (pull-out resistance) на дюбелите е определено с уред Hydrajaws M2000 Pull-out Tester [39], състоящ се от механичен винт, хидравлична динамометрична клетка, електронен манометър и индикатор за движение с ход 50 mm. Максималният измерим товар на уреда е приблизително 25 kN. Използваното оборудване е приложимо за изпитвания съгласно редица стандарти, включително BS 8539 [29], BS 7883:2019 [40] и BDS EN 795:2012 [41], като резултатите се регистрират и обработват автоматично чрез специализирано мобилно или таблетно приложение.

2.1. Изпитване на механичните скрепителни средства (дюбелите)

Пробиването на отворите в опитните образци е извършено с лека строителна механизация в два технологични режима – безударен (БУ) и ударен (УД), избрани в зависимост от вида на основата. Следва да се има предвид, че съгласно указанията на производителя на дюбелите, пробиването на отворите при блоковете за зидария с кухини и при блокове от автоклавен газобетон се изисква да се използва безударно пробиване, а при плътни глинени блокове и бетон – ударно пробиване. Въпреки това в строителната практика това изискване не винаги се спазва. Дори при блоковете за зидария с кухини и при блоковете от автоклавен газобетон често се използва ударно пробиване на отворите. Поради тази причина в рамките на настоящото изследване е възприет подход, при който при основите от глинени блокове за зидария с кухини и при тези от автоклавен газобетон, отворите се оформят както чрез безударно, така и чрез ударно пробиване на леката строителна механизация.

За всеки тип материал се оформят по 15 отвора, като минималното разстояние между отворите или между отвор и ръб е 10 cm. Блоковете за зидария се притискат в хидравлична преса с цел симулиране на експлоатационно натоварване като между челюстите на пресата и образците се поставят шперплатови пластини за равномерно разпределяне на усилията. След пробиване отворите се почистват чрез изчеткване и продухване.

Монтажът на дюбелите се извършва с междинна приставка от XPS (60 mm), имитираща топлоизолационен слой и осигуряваща необходимата дълбочина на анкериране. Минималното разстояние между дюбелите, както и между дюбел и ръб, е 10 cm.

Натоварването на опън по време на изпитването се прилага с уред Hydrajaws M2000 Pull-out Tester [30] в статичен режим, така че максималната стойност да бъде достигната в рамките на 1–3 min. Дюбелите се натоварват до отказ – чрез изтръгване от основата или чрез разрушаване на елемента – при центрично прилагане на опънното усилие. Примери за изпитвания на съпротивлението на изтръгване при някои от типовете строителни основи са представени на фигура 1.

а)

б)

в)

Фигура 1. Изпитване съпротивлението на изтръгване на дюбелите в:
а) основа от глинени блокове с вертикални кухини; б) основа от блокове от газобетон;
в) основа от стоманобетонни фасадни панели на ЕПЖС.

2.2. Определяне на характеристичната стойност на съпротивлението на изтръгване съгласно EOTA TR 051

Съгласно EOTA TR 051 [30], при липса на национални изисквания, характеристичната стойност на съпротивлението на изтръгване на пластмасови дюбели се определя експериментално върху основа, изработена от материал, идентичен с този, използван на строителния обект. Когато за продукта е налична европейска техническа оценка (ETA) по EAD 330196-00-0604 [11], нейните резултати могат да бъдат използвани, при условие че дюбелите имат сходни конструктивни характеристики и са изпитвани в същия тип основа.

Характеристичната стойност се определя чрез минимум 15 изпитвания на изтръгване при центрично натоварване на опън, проведени в лабораторни или полеви условия. Монтажът на дюбелите следва процедурите за пробиване, почистване и монтаж, като се спазват нормативно определените разстояния между дюбелите и отстоянията от ръбовете на елемента, както и специфичните изисквания за пробиване – ударно при бетон и безударно при глинени блокове за зидария с кухини.

Когато дюбелите са монтирани през топлоизолационен слой, монтажът се извършва в съответствие с указанията на производителя, а преди изпитване изолацията се отстранява внимателно. Пробиването се осъществява със свредла от твърд метал съгласно ISO 5468 [42] и с подходящ диаметър. Използваният тестов стенд трябва да осигурява бавно и непрекъснато увеличаване на натоварването, измервано чрез калибрирана товарна клетка, като усилието се прилага перпендикулярно на повърхността, а реакционните сили се предават на разстояние ≥ 15 cm от дюбела. Максималното натоварване се достига за приблизително 1 min, след което се отчита крайното натоварване N_1 и се регистрира видът на разрушението.

За дюбели, притежаващи ETA по EAD 330196-00-0604 [11], характеристичната стойност на носимоспособността $N_{\mathrm{Rk},1}$ се изчислява на база средната стойност на петте най-ниски измерени крайни натоварвания N_1. Изчислението се извършва съгласно формулата, посочена в EOTA TR 051 [30]:

$$N_{\mathrm{Rk},1} = 0{,}6.\, N_1 \leq 1{,}5kN, \tag{1}$$

където: $N_{\mathrm{Rk},1}$ е характеристична стойност на съпротивлението при опън за конкретния материал на основата при изпитване, N_1 – средна стойност на петте най-малки измерени крайни натоварвания.

2.3. Определяне на характеристичната стойност на съпротивлението на изтръгване съгласно BS 8539

Стандартът BS 8539 [29] препоръчва специфични процедури за изпитване на място, насочени към определяне на допустимата носимоспособност на дюбели, монтирани при реални строителни условия. Изпитванията се извършват при условия на натоварване на чист опън, като подходът се избира в зависимост от вида на дюбела и характеристиките на основата. Когато дюбелите притежават европейска техническа оценка (ETA), изпитването има за цел да уточни изчислителната им носимоспособност за конкретния тип основа, например бетон или зидария. В случаите, когато дюбелите нямат ETA, тестовете се използват за директно определяне на тяхната носимоспособност и съпротивление на изтръгване.

Във всички случаи дюбелите за изпитване се монтират извън зоните на бъдещо натоварване, като се спазват минимални отстояния между самите дюбели и от ръбовете на конструктивния елемент. Монтажът трябва стриктно да следва указанията на производителя, включително изискванията относно диаметъра и типа на свредлото, дълбочината на пробиване и начина на почистване на отвора. Процедурата по изпитване обикновено включва пробиване на отвори и монтаж на дюбелите, като броят на изпитваните

образци варира между пет и петнадесет. След това образците се натоварват до разрушаване с контролирана скорост, като се регистрират натоварването при първо преместване, крайната носимоспособност и характерът на разрушението. Получените резултати се обработват чрез изчисляване на средни стойности и определяне на характеристичната стойност на съпротивлението по статистически път, като се използва корекционен коефициент, зависещ от броя проведени изпитвания.

Стандартът BS 8539 [29] допуска и провеждането на по-големи серии тестове, което повишава надеждността на резултатите, но може да предизвика локални повреди в основата. Изпитаните дюбели не се използват повторно, а отворите се запълват с подходящ ремонтен разтвор.

Характеристична стойност на съпротивлението при опън се определя съгласно следната формула, дадена в стандарта:

$$N_{\mathrm{Rk},1} = N_{\mathrm{Ru,m}}.(1 - K.v).\beta \leq N_{\mathrm{Rk,ETA}}, \quad (2)$$

където: $N_{\mathrm{Rk},1}$ е характеристично съпротивление на опън за конкретния материал на основата, $N_{\mathrm{Ru,m}}$ – изчислително съпротивление на опън от серията изпитвания, K – статистически коефициент, отразяващ ширината на доверителния интервал, v – коефициент на вариация на резултатите от серията тестове, β – корекционен коефициент, използван при анализ на резултатите от изпитванията на място, $N_{\mathrm{Rk,ETA}}$ – характеристично съпротивление на опън, цитирано в ЕТА за съответния тип материал на основата.

Стойностите на коефициента K се определят в зависимост от броя на проведените изпитвания – при петнадесет теста K = 2,33, при десет теста K = 2,57, а при пет теста K = 3,40. Коефициентът на вариация v се изчислява по формулата:

$$v = \frac{s}{N_{\mathrm{Ru,m}}}.100\% \quad (3)$$

където: s е средното квадратично отклонение от серията измерени стойности.

3. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

3.1. Резултати от изчисленията съгласно EOTA TR 051

Резултатите от изпитванията за определяне на съпротивлението на изтръгване на дюбелите, монтирани в разглежданите основи, са обработени съгласно формула (1) и са обобщени в табл. 2. Представени са както определените средни стойности на петте най-малки измерени крайни натоварвания ($N_{\mathrm{Rk},1}$), така и изчислената съгласно EOTA TR 051 [30] характеристична стойност на съпротивлението при опън ($N_{\mathrm{Rk},1}$).

Таблица 2. Резултати от изпитванията за съпротивление на изтръгване на дюбели при безударно (само за блокове за зидария) и ударно пробиване съгласно EOTA TR 051 [30]

Тип основа	Безударно пробиване на отвора		Ударно пробиване на отвора	
	N_1, kN	**$N_{Rk,1}$**, kN	**N_1**, kN	**$N_{Rk,1}$**, kN
„Тип 1“	0,60	0,36	0,32	0,19
„Тип 2“	0,52	0,31	0,28	0,17
„Тип 3“	0,48	0,29	0,20	0,12
„Тип 4“	0,44	0,26	0,14	0,08
„Тип 5“	-	-	0,78	0,47
„Тип 6“	0,24	0,14	0,10	0,06
„Тип 7“	0,20	0,12	0,10	0,06
„Тип 8“	0,20	0,12	0,10	0,06
„Тип 9“	0,44	0,26	0,16	0,10

„Тип 10“	-	-	0,84	0,50
„Тип 11“	0,42	0,25	0,30	0,18
„Тип 12“	0,50	0,30	0,34	0,20
„Тип 13“	0,76	0,46	0,48	0,29
„Тип 14“	-	-	0,66	0,40
„Тип 15“	-	-	0,68	0,41
„Тип 16“	-	-	0,68	0,41

3.2. Резултати от изчисленията съгласно BS 8539

Резултатите от изпитванията са обработени съгласно формули (2) и (3) и са обобщени в табл. 3. Аналогично на т.3.1, са представени както изчислително съпротивление на опън от серията изпитвания ($N_{\mathrm{Ru,m}}$), така и характеристично съпротивление на опън за конкретния материал на основата ($N_{\mathrm{Rk,1}}$).

Таблица 3. Резултати от изпитванията за съпротивление на изтръгване на дюбели при безударно (само за блокове за зидария) и ударно пробиване съгласно BS 8539 [29]

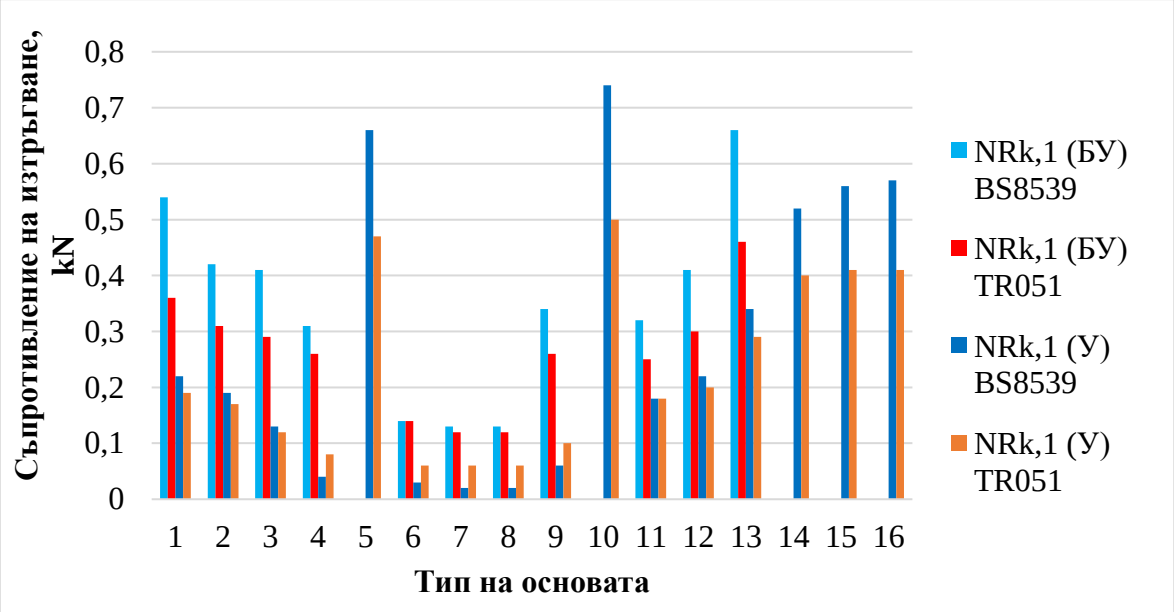
Тип основа	Безударно пробиване на отвора					Ударно пробиване на отвора				
	$N_{Ru,m}$, kN	K	s	v	$N_{Rk,1}$, kN	$N_{Ru,m}$, kN	K	s	v	$N_{Rk,1}$, kN
„Тип 1“	0,66	2,33	0,05	0,08	0,54	0,40	2,33	0,08	0,19	0,22
„Тип 2“	0,60	2,33	0,08	0,13	0,42	0,34	2,33	0,06	0,19	0,19
„Тип 3“	0,56	2,33	0,06	0,11	0,41	0,25	2,33	0,05	0,20	0,13
„Тип 4“	0,54	2,33	0,10	0,18	0,31	0,21	2,33	0,07	0,34	0,04
„Тип 5“	-	-	-	-	-	0,89	2,33	0,10	0,11	0,66
„Тип 6“	0,31	2,33	0,07	0,23	0,14	0,15	2,33	0,05	0,34	0,03
„Тип 7“	0,25	2,33	0,05	0,20	0,13	0,12	2,33	0,04	0,35	0,02
„Тип 8“	0,25	2,33	0,05	0,20	0,13	0,12	2,33	0,04	0,35	0,02
„Тип 9“	0,52	2,33	0,08	0,15	0,34	0,22	2,33	0,07	0,31	0,06
„Тип 10“	-	-	-	-	-	0,93	2,33	0,08	0,09	0,74
„Тип 11“	0,51	2,33	0,08	0,16	0,32	0,38	2,33	0,09	0,23	0,18
„Тип 12“	0,59	2,33	0,07	0,13	0,41	0,41	2,33	0,08	0,20	0,22
„Тип 13“	0,83	2,33	0,07	0,10	0,66	0,57	2,33	0,10	0,17	0,34
„Тип 14“	-	-	-	-	-	0,73	2,33	0,09	0,12	0,52
„Тип 15“	-	-	-	-	-	0,75	2,33	0,08	0,11	0,56
„Тип 16“	-	-	-	-	-	0,79	2,33	0,09	0,12	0,57

3.3. Сравнение между стойностите на характеристичната носимоспособност съгласно различните нормативни документи

Резултатите от изчисленията за определяне на характеристичните стойности на съпротивлението на изтръгване определени по BS 8539 [29] и по EOTA TR 051 [30] са обобщени в табл. 4 и представени графично на фиг.2. В табл. 4 също е дадена и процентната разлика на определените по двата нормативни документа стойности.

Таблица 4. Сравнение на резултатите получени съгласно различните стандарти

Тип основа	Безударно пробиване на отвора			Ударно пробиване на отвора		
	Носимоспособност $N_{Rk,1}$ съгласно BS 8539 [29], kN	Носимоспособност $N_{Rk,1}$ съгласно EOTA TR 051 [30], kN	Процентна разлика, %	Носимоспособност $N_{Rk,1}$ съгласно BS 8539 [29], kN	Носимоспособност $N_{Rk,1}$ съгласно EOTA TR 051 [30], kN	Процентна разлика, %
„Тип 1“	0,54	0,36	34	0,22	0,19	14
„Тип 2“	0,42	0,31	26	0,19	0,17	13
„Тип 3“	0,41	0,29	30	0,13	0,12	10
„Тип 4“	0,31	0,26	15	0,04	0,08	97
„Тип 5“	-	-	-	0,66	0,47	29
„Тип 6“	0,14	0,14	0	0,03	0,06	82
„Тип 7“	0,13	0,12	10	0,02	0,06	155
„Тип 8“	0,13	0,12	10	0,02	0,06	155
„Тип 9“	0,34	0,26	22	0,06	0,10	54
„Тип 10“	-	-	-	0,74	0,50	32
„Тип 11“	0,32	0,25	21	0,18	0,18	0
„Тип 12“	0,41	0,30	27	0,22	0,20	7
„Тип 13“	0,66	0,46	31	0,34	0,29	15
„Тип 14“	-	-	-	0,52	0,40	24
„Тип 15“	-	-	-	0,56	0,41	27
„Тип 16“	-	-	-	0,57	0,41	29



Фигура 2. Сравнение на резултатите получени съгласно различните стандарти

Фигурата по-горе илюстрира сравнението между стойностите, определени съгласно стандартите BS 8539 [29] и EOTA TR 051 [30], при безударно пробиване на отворите. В този режим според приетата методика на изследването, резултати са налични само за част от опитните образци. За основите „Тип 5“, „Тип 10“ и от „Тип 14“ до „Тип 16“ изпитвания не са проведени, тъй като при тях безударното пробиване не се препоръчва, като то е икономически нецелесъобразно и с потенциален риск от повреда на машината.

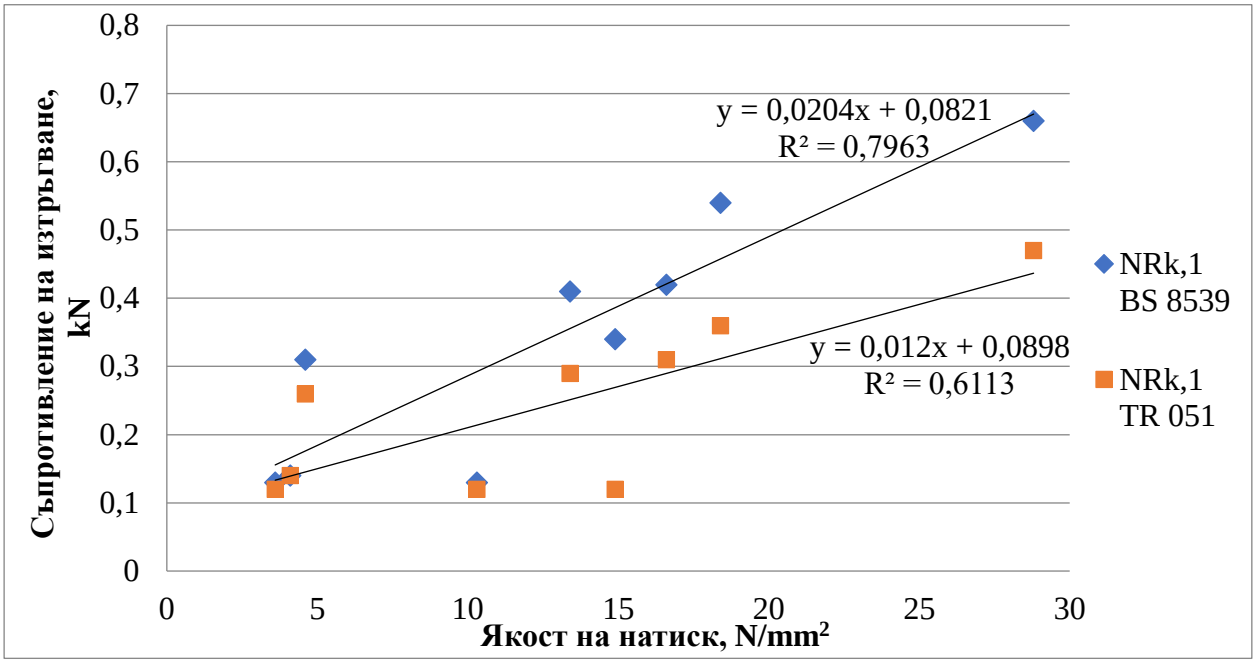
При останалите образци се установява, че най-високи характеристични стойности на съпротивление на изтръгване при опън се наблюдават при блокове за зидария от автоклавен газобетон и при глинените блокове за зидария с вертикални кухини. Най-ниски стойности са отчетени при глинените блокове с хоризонтални кухини.

Фигура 2 включва също и аналогично сравнение и за случаите на ударно пробиване на отворите, при което са налични резултати за всички типове основи. Данните показват, че най-високи стойности на характеристичното съпротивление на изтръгване при опън се постигат при бетон и плътни глинени блокове за зидария, следвани от стоманобетонните фасадни панели. Блоковете за зидария от автоклавен газобетон и глинените блокове с вертикални кухини заемат междинни позиции, докато глинените блокове с хоризонтални кухини отново показват най-ниски резултати.

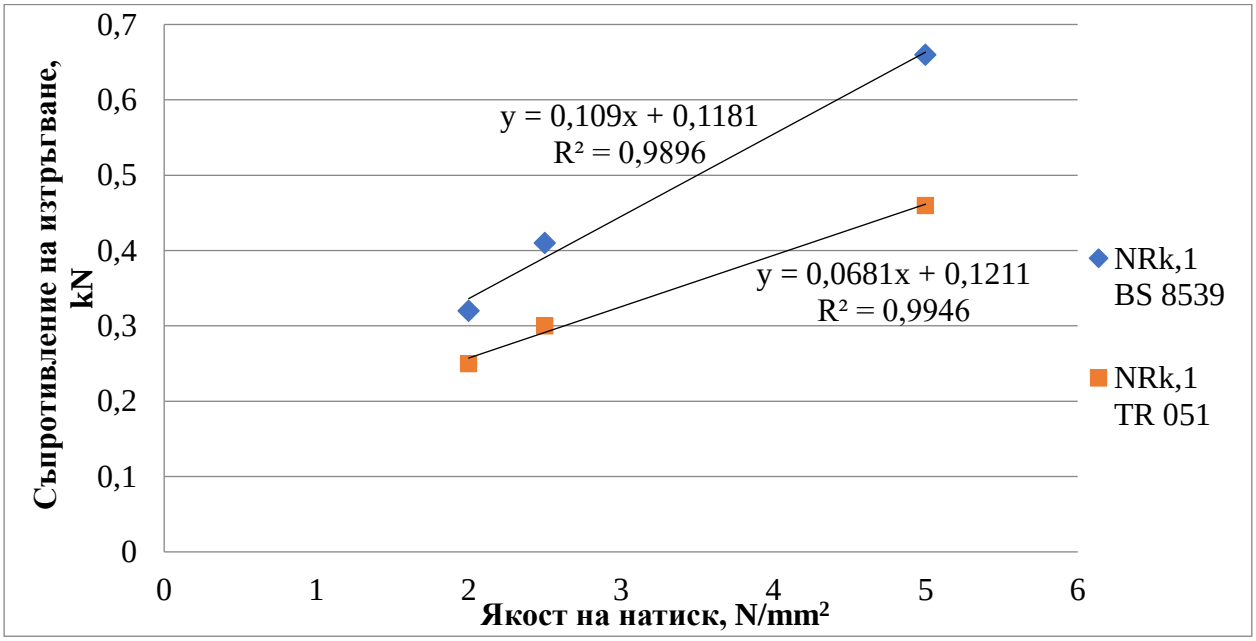
Анализът на резултатите представени в таблица 4 за безударното пробиване показва, че процентната разлика между стойностите, изчислени по двата стандарта, варира в сравнително широки граници в зависимост от типа основа. При глинените блокове с вертикални кухини тя се движи между 22% („Тип 9“) и 34% („Тип 1“), докато при блоковете с хоризонтални кухини стойностите са между 10% („Тип 7“) и 15% („Тип 4“). При блоковете за зидария от автоклавен газобетон разликата е в диапазона от 21% („Тип 11“) до 31% („Тип 13“). Наблюдава се отчетлива тенденция – с повишаване на якостта на натиск на основата се увеличава и процентната разлика между стойностите, определени по BS 8539 [29] и EOTA TR 051 [30].

При ударно пробиване анализът на резултатите, дадени в същата таблица показва, че за бетона разликата достига 32% („Тип 10“), за плътните глинени блокове – около 29%, а за стоманобетонните фасадни панели стойностите варират от 24% („Тип 14“) до 29% („Тип 16“). При глинените блокове за зидария се наблюдават два ясно разграничени сценария: в някои случаи процентната разлика е изключително висока – от 82% до 155%, докато в други тя остава пренебрежимо малка – в границите до около 7%. Тези резултати потвърждават, че ударният метод на пробиване не осигурява надеждни резултати при този тип основи, от гледна точка на съпротивлението на изтръгване на дюбелите.

Може да се обобщи, че при правилен избор на метод за пробиване, разликите между стойностите по BS 8539 [29] и EOTA TR 051 [30] варират в границите от 10% до 35%, като стандартът EOTA TR 051 [30] води до по-консервативни (по-ниски) стойности на характеристичната носимоспособност на дюбелите ($N_{\mathrm{Rk},1}$).



Фигура 3. Зависимост между якостта на натиск и съпротивление на изтръгване при опън в опитните образци от глинени блокове за зидария



Фигура 4. Зависимост между якостта на натиск и съпротивление на изтръгване при опън в опитните образци от блокове за зидария от автоклавен газобетон

От представените на фигури 3 и 4 резултати ясно се установява зависимост между якостта на натиск на основата и съпротивлението на изтръгване при опън на пластмасови дюбели, монтирани в опитни образци от глинени блокове за зидария и блокове от автоклавен газобетон. Общата тенденция показва, че с повишаване на якостта на натиск на основата нараства и съпротивлението на изтръгване. Тази зависимост е логично следствие от механичните характеристики на материалите – при по-висока плътност и якост на зида се осигурява по-голяма способност за пренасяне на опънни усилия от дюбела към основата.

Въпреки сходната форма на зависимостта, съпротивлението на изтръгване на дюбелите, монтирани в глинени блокове за зидария, е отчетливо по-ниско в сравнение с

това при блоковете за зидария от автоклавен газобетон. Основните причини са свързани с по-ниската якост на натиск на глинените блокове, наличието на кухини и хетерогенността на структурата, която вероятно води до неравномерно разпределение на напреженията около анкера.

Корелационната зависимост между двете величини е оценена чрез коефициента на детерминация R^2. При стойности на R^2 в диапазона 0,6–0,8 зависимостта се определя като висока, а при стойности между 0,8 и 1,0 – като много висока. За глинените блокове за зидария са получени $R^2 = 0,7963$ при изчисления по BS 8539 [29] и $R^2 = 0,6113$ при изчисления по EOTA TR 051 [30], което показва добра, но умерена корелация. За блоковете за зидария от автоклавен газобетон се наблюдават значително по-високи стойности – $R^2 = 0,9896$ (BS 8539 [29]) и $R^2 = 0,9946$ (EOTA TR 051 [30]), което свидетелства за изключително силна зависимост между якостта на натиск и съпротивлението на изтръгване.

По-ниските стойности на R^2, отчетени при глинените блокове с вертикални и хоризонтални кухини, вероятно се дължат на по-сложната вътрешна структура на материала и на нееднородността на напреженията, възникващи в зоната на взаимодействие между дюбела и основата. При блоковете за зидария от автоклавен газобетон, който има по-хомогенна структура, тази зависимост е по-устойчива и ясно изразена.

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. 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.

4. ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на проведените изследвания и анализа на нормативните документи, могат да бъдат изведени няколко обобщени извода относно осигуряването на топлоизолационните фасадни системи (ETICS) срещу ветрови въздействия:

4.1. Недостатъчната носимоспособност на дюбелите, монтирани в различни типове строителни основи представлява един от основните проблеми при осигуряване на дълготрайността и надеждността на фасадните топлоизолационни системи. Основите от глинени блокове за зидария, особено тези с хоризонтални кухини, поради по-ниската якост на натиск и хетерогенна структура, осигуряват значително по-малко съпротивление на изтръгване в сравнение с бетона.

4.2. Експерименталните резултати показват, че е налице ясно изразена зависимост между якостта на натиск на основата и съпротивлението на изтръгване на дюбелите. При по-висока якост на основата се наблюдава съответно по-висока стойност на характеристичното съпротивление.

4.3. Сравнителният анализ на използваните стандарти показва, че характеристичната стойност на съпротивлението на изтръгване може да бъде определяно съгласно методиките на EAD 330196-00-0604, EOTA TR 051 и BS 8539. Сред тях EOTA TR 051 се характеризира с по-консервативен подход и съответно осигурява по-висока степен на надеждност, което го прави препоръчителен при липса на национални изисквания или при неизвестни характеристики на основата.

4.4. В съществуващите европейски документи не е налице унифицирана методика за определяне на необходимия брой дюбели, осигуряващи устойчивост на ETICS при ветрови натоварвания. Това налага необходимост от допълнителни изследвания и разработване на единен подход, който да отчита влиянието на типа основа, метода на пробиване на отворите и избраната методика за изпитване.

В заключение, проведеното изследване потвърждава, че надеждността и дълготрайността на фасадните топлоизолационни системи в значителна степен зависят от комбинацията между типа на основата, метода на пробиване на отворите и прилаганата методика за изпитване. Оптималният подбор и съгласуваното прилагане на тези фактори са от ключово значение за осигуряване на устойчивостта на ETICS при реални ветрови натоварвания. Получените експериментални данни и зависимости могат да се използват за оптимизация на процеса на монтаж, разработване на технически ръководства и избор на подходящи методологии в зависимост от изискванията за безопасност и експлоатационните условия, за основа за разработване на инженерни методики, както и за актуализиране на националните указания за проектиране и изпълнение на ETICS.

БЛАГОДАРНОСТИ

Статията е резултат от изпълнението на проект BG16RFPR002-1.014-0011 „Устойчиво развитие на Център за върхови постижения „Наследство БГ“, финансиран по процедура за предоставяне на безвъзмездна финансова помощ № BG16RFPR002-1.014 „Устойчиво развитие на Центрове за върхови постижения и Центрове за компетентност, в т.ч. и на конкретни инфраструктури или техни обединения от Националната пътна карта за научна инфраструктура“.

Авторите изразяват благодарност към фирма „Баумит България“ ЕООД и фирма „Аустротерм България“ ЕООД за съдействието и предоставянето на материалите, изследвани в настоящото проучване.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Neamţu C., Mold Design for Polystyrene Plastic Anchor, Applied Mechanics and Materials, Vol. 808, 2015, pp. 143–148. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.808.143
[2] Di Nunzio G., Pinoteau N., Muciaccia G., Derivation of an innovative testing protocol for plastic anchors for fixing light façade claddings under seismic action, Engineering Structures, Vol. 248, 2021, 113191. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.113191.
[3] Ibadov N., Technika zamocowań w wybranych robotach budowlanych. In: XII Rosyjsko-Polskie Seminarium „Teoretyczne podstawy budownictwa“, Moscow–Nizhny Novgorod, 2003.
[4] Orlik-Kozdon B., Nowoswiat A., Krause P., Ponikiewski T., A numerical and experimental investigation of temperature field in place of anchors in ETICS system, Construction and Building Materials, Vol. 167, 2018, pp. 553–565.
[5] Malanho S., Veiga M. do R., Bond strength between layers of ETICS – Influence of the characteristics of mortars and insulation materials, Journal of Building Engineering, Vol. 28, 2019, 101021. DOI: 10.1016/j.jobe.2019.101021.
[6] Sinica M., Sezemanas G., Mikulskis D., Kligys M., Determination of fixing loads for plastic anchors subject to structure and voidage of masonry units. In: Modern Building Materials, Structures and Techniques, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania, 2010, pp. 536–543.
[7] BDS EN 1991-1-4:2005, Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions, Bulgarian Institute for Standardization, Sofia, 2005.
[8] Turk K., Kalčíková G., Jemec Kokalj A., Mušič B., From plastic use in the construction and built environment to state-of-the-art circular economy solutions to combat microplastic pollution, Environmental Sciences Europe, Vol. 37, No. 1, 2025. DOI: 10.1186/s12302-025-01228-0.

[9] Riahinezhad M., Hallman M., Masson J.-F., Critical Review of Polymeric Building Envelope Materials: Degradation, Durability and Service Life Prediction, Buildings, Vol. 11, No. 7, 2021, Art. 299. DOI: 10.3390/buildings11070299.
[10] EAD 040083-00-0404 (ETAG 004), External thermal insulation composite systems (ETICS) with rendering, EOTA, Brussels, 2019.
[11] EAD 330196-00-0604 (ETAG 014), Plastic anchors for fixing of external thermal insulation composite systems with rendering, EOTA, Brussels, 2017.
[12] EAD 330284-00-0604 (ETAG 020), Plastic anchors for redundant non-structural systems in concrete and masonry, EOTA, 2018.
[13] BDS EN 13499:2004, Thermal insulation products for buildings – External thermal insulation composite systems (ETICS) based on expanded polystyrene – Specification, Bulgarian Institute for Standardization, Sofia, 2004.
[14] BDS EN 13500:2004, Thermal insulation products for buildings – External thermal insulation composite systems (ETICS) based on mineral wool – Specification, Bulgarian Institute for Standardization, Sofia, 2004.
[15] Sulakatko V., Lill I., Witt E., Methodological framework to assess the significance of ETICS on-site activities, Energy Procedia, Vol. 96, 2016, pp. 446–454. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.09.176.
[16] Sulakatko V., Vogdt F., Construction process technical impact factors on degradation of the external thermal insulation composite system, Sustainability, Vol. 10(11), 2018, 3900. DOI: 10.3390/su10113900.
[17] Hrischev 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 Nov. 2023, Sofia.
[18] Nazarski D., Nikolov Y., Manolov V., Guide for design and implementation of thermal insulation systems of buildings, BAIS, 2023, 152 p.
[19] Amaro B., Saraiva D., Brito J., Flores-Colen I., Inspection and diagnosis system of ETICS on walls, Construction and Building Materials, Vol. 47, 2013, pp. 1257–1267. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.06.024.
[20] Hrischev L., Conev I., Requirements for testing of ETICS components on wind actions (in Bulgarian). In: XX National Youth Scientific and Practical Conference, FSTU, 16–17 Nov. 2023, Sofia.
[21] Stroiteli.bg, Mistakes when installing thermal insulation, available at: https://stroiteli.bg/greshki-pri-polagane-na-toploizolacio-2/ (accessed 13 Aug 2025).
[22] Ivorra S., Garcia-Barba J., Mateo M., Perez-Carraminana C., Macia A., Partial collapse of a ventilated stone facade: Diagnosis and analysis of the anchorage system, Engineering Failure Analysis, Vol. 31, 2013, pp. 290–301.
[23] Giresini L., Puppio M. L., Taddei F., Experimental pull-out tests and design indications for strength anchors installed in masonry walls. Materials and Structures, Vol. 53, 2020, Article 103. DOI: 10.1617/s11527-020-01536-2.
[24] Hrischev L., Conev I., Resistance of plastic anchors for fixing on ETICS in different types of base materials, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 1323, 012006, 2024. DOI: 10.1088/1757-899X/1323/1/012006.
[25] Conev I., Hrischev L., Ivanov G., Effect of the drilling method on pull-out resistance of insulation anchors for ETICS, ANNUAL OF UACEG, 2024, 57(4), pp. 897–912.
[26] Ramezantitkanloo A., Czepiz˙ak D., Pien´ko M., Comparative Analysis of Properties and Behaviour of Scaffolding Joints and Anchors, Applied Sciences, Vol. 15, 2025, 10371. DOI: 10.3390/app151910371.

[27] Pienko M., Robak A., Błazik-Borowa E., Szer J., Safety conditions analysis of scaffolding on construction sites, International Journal of Civil and Environmental Engineering, Vol. 12, 2018, pp. 72–77.
[28] Conev I., Hrischev L., Bogdanova E., Assessment of wind load resistance of external thermal insulation systems during the renovation of a large panel dwelling building, ANNUAL OF UACEG, Vol. 58(3), 2025, pp. 497–516.
[29] BS 8539:2012+A1:2021, Code of practice for the selection and installation of post-installed anchors in concrete and masonry, British Standards Institution, London, 2021.
[30] EOTA TR 051, Recommendations for job-site tests of plastic anchors and screws, 2018. Available at: https://www.eota.eu/ (accessed 10 Oct 2025).
[31] Xella, Ytong page, https://www.xella.bg/ (accessed 13 Aug 2025).
[32] Wardach M., Krentowski J., Current Perspective on Large-Panel Buildings – A Review, Structures, Vol. 58, 2023, 10553. DOI: 10.1016/j.istruc.2023.105537.
[33] Tofiluk A., Knyziak P., Krentowski J., Revitalization of twentieth-century prefabricated housing estates as interdisciplinary issue, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. DOI: 10.1088/1757-899X/471/11/112096.
[34] Baumit, Baumit Dübel HA, https://baumit.bg/ (accessed 13 Aug 2025).
[35] BDS EN 12390-3:2019, Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens, Bulgarian Institute for Standardization, Sofia, 2019.
[36] BDS EN 772-1:2011+A1:2015, Methods of test for masonry units – Part 1: Determination of compressive strength, Bulgarian Institute for Standardization, Sofia, 2015.
[37] BDS EN 771-4:2011+A1:2015/NA:2019, Specification for masonry units – Part 4: Autoclaved aerated concrete masonry units. National Annex, Bulgarian Institute for Standardization, Sofia, 2019.
[38] BDS EN 13791:2019/NA:2022, Assessment of in-situ compressive strength of concrete in structures and precast concrete components. National Application, Bulgarian Institute for Standardization, Sofia, 2022.
[39] Hydrajaws, Hydrajaws M2000 Pro Tester Kit, https://www.hydrajaws.co.uk/ (accessed 13 Aug 2025).
[40] BS 7883:2019, Personal fall protection equipment – Anchor systems – System design, installation and inspection – Code of practice, British Standards Institution, London, 2019.
[41] BDS EN 795:2012, Personal fall protection equipment – Anchor devices, Bulgarian Institute for Standardization, Sofia, 2012.
[42] ISO 5468:2017, Rotary and rotary impact masonry drill bits with hardmetal tips – Dimensions, International Organization for Standardization, Geneva, 2017.