

ПАРАДОКСЪТ НА УСТОЙЧИВОСТТА: ЗАЩО ПОЖАРОУСТОЙЧИВИЯТ ТЕКСТИЛ Е ГРЪБНАКЪТ НА БЕЗОПАСНАТА ЗАСТРОЕНА СРЕДА

доц. д-р Капка Йорданова Манасиева
ВСУ „Черноризец Храбър“
е-мейл адрес:kapka.manasieva@vfu.bg

Резюме: Статията изследва критичната връзка между съвременния текстилен товар в застроената среда и пожарната безопасност, анализирайки парадокса на устойчивостта: конфликтът между използването на екологични, често рециклирани полимерни материали и драстичното нарастване на енергийната плътност в съвременните домове. В изследването се анализира трансформацията на променливия пожарен товар, като се подчертава преходът от целулозни материали към петролно базирани синтетични структури. Текстът класифицира текстилната екосистема според международните стандарти и разкрива конфликта между ниския въглероден отпечатък на рециклираните материали (rPET) и техния висок енергиен риск. Изследването завършва с концептуален модел за устойчива сигурност, при който пожарната издръжливост се разглежда като задължително условие за реална екологична устойчивост на застроената среда.

Ключови думи: пожарен товар, устойчиво строителство, текстил, безопасност на жизнената среда, скорост на освобождаване на топлина (HRR), пожарна издръжливост, общо запалване

THE SUSTAINABILITY PARADOX: WHY FIRE-RESISTANT TEXTILES ARE THE BACKBONE OF A SAFE BUILT ENVIRONMENT

Abstract: This article examines the critical nexus between contemporary textile loads in the built environment and fire safety, analyzing the "Sustainability Paradox": the conflict between the use of eco-friendly, often recycled polymeric materials, and the dramatic increase in energy density within modern homes. The study analyzes the transformation of the variable fire load, highlighting the transition from cellulosic materials to petroleum-based synthetic structures. The text classifies the textile ecosystem according to international standards and reveals the inherent conflict between the low carbon footprint of recycled materials (rPET) and their high energetic risk. The research concludes with a conceptual model for sustainable security, in which fire resilience is positioned as a mandatory prerequisite for the genuine ecological sustainability of the built environment.

Keywords: fire load, sustainable construction, textiles, life safety, heat release rate (HRR), fire resilience, flashover

Въведение

Текстилната и строителната индустрия са два от най-ресурсоемките сектори в ЕС, наричани „втора“ и „трета“ кожа на човечеството. Въпреки различната динамика на потребление, те са изправени пред идентични предизвикателства провокирани от устойчивостта и енергийната ефективност. В архитектурата фокусът върху „зелените“ решения никога не е бил по-силен. Същевременно строителния бранш гарантира сигурност. Но, докато усъвършенстваме „обвивката“ на сградите, в тях се натрупва невидима заплаха: драматичната промяна в енергийната плътност на интериора. В сърцето на този риск лежи концепцията за „пожарния товар“ — показател, който съгласно дефинициите на Витенис Бабраускас (Babrauskas, 2003) и стандарта Eurocode 1, определя

общото количество топлинна енергия, отделена при пълното изгаряне на материалите в дадено пространство. Докато *конструктивният пожарен товар* е строго регулиран, *променливият товар* — мебелите, дрехите и декорациите — остава извън контрола на инженерите. Това налага използването на нови аналитични инструменти за прогнозиране на риска, като например *Байесовия подход* за оценка на пасивните мерки за защита, което позволява интегриране на експертни знания и статистически данни при несигурни условия (Чакър А. и др. 2021).

Динамиката на развитие на съвременния интериор повлиян от иновациите в текстилната и мебелна промишленост трансформира характеристиките на средата в която живеем. В средата на XX век доминираха естествените материали (памук, вълна, дърво), докато днес съвременният дом е наситен с полимери на петролна основа. Това води до *ускорен пожар*, при който фазата на общо запалване (*flashover*¹) се случва експоненциално по-бързо. Според изследвания на FSRИ прозорецът за безопасна евакуация е редуциран от 17 минути през 1970-те години до под 3 минути в съвременни условия (Fire Safety Research Institute, 2021). Синтетиката не само гори по-бързо, но отделя и смъртоносни коктейли от водороден цианид и въглероден оксид. Една сграда не може да бъде истински „устойчива“, ако нейният жизнен цикъл може да бъде прекъснат за минути, превръщайки ресурсите в токсичен отпадък. Съвременният пожар е много по-„тъмен“ и токсичен. Видимостта пада до нула почти мигновено, което прави евакуацията невъзможна дори ако пламъците още не са достигнали човека. При традиционния пожар огънят се развива бавно и линейно. При модерния (полиестер, полиуретан) енергията се освобождава експлозивно и *скоростта на освобождаване на топлина (HRR*²). е висока. Полимерите се топят и превръщат в течено гориво, което буквално „залива“ повърхностите.

1. Текстилната екосистема на дома: Анатолия на риска и енергийни противоречия

Преходът от концепцията за конструктивна безопасност към анализа на реалната среда на обитаване разкрива текстилната екосистема като скрит, но мощен проводник на енергия. В съвременния интериор текстилът вече не е просто естетически елемент, а ключов инженерен параметър, определящ оцеляемостта. Изследванията на Стив Кърбер (Fire Safety Research Institute, 2021) подчертават фундаментално противоречие: докато общото тегло на вещите в домовете остава сравнително константно през последните 50 години, тяхната химическа структура се е променила радикално от целулозна (памук, дърво) към полимерна (синтетика). Този преход към доминиращи полимерни структури в дома е повишил критично *Пиковия капацитет на освобождаване на топлина (PHRR*³). Както отбелязва проф. Хосе Тореро (Torero, 2019), пожарната безопасност

¹ *Общо запалване (Flashover)* — Фаза на пожара, при която топлинното излъчване от горящите газове под тавана възпламенява едновременно всички открити повърхности в помещението.

² *HRR (Heat Release Rate)* — Скорост на освобождаване на топлина; основен показател за мощността на пожара.

³ *PHRR (Peak Heat Release Rate)*: Пикова скорост на освобождаване на топлина. Това е най-критичният параметър в пожарното инженерство, който измерва максималната мощност на пожара в неговата най-интензивна точка. Докато общата отделена топлина показва колко гориво има, PHRR определя колко бързо се развива пожарът и колко време имат обитателите за евакуация преди настъпването на фатални условия.

трябва да бъде интегрирана още в концептуалната фаза на строителния проект и е с променлива тежест в съответствие с риска от пожар. В тази насока, изследванията върху *приложението на пасивната противопожарна защита още при проектирането на сгради (Чакър А., 2021)* подчертават ролята на архитектурните решения като първа линия на защита.

Основните функционални групи в дома и разпределението на енергията им при пожар са:

1. Интериорен текстил за прозорци (**EN 13773 / ISO 9237**)⁴: Завесите представляват най-големия вертикален риск. Тяхната 2D геометрия позволява на пламъка да се развива експоненциално, подхранван от циркулацията на въздух от двете страни на материята. Поради този специфичен конвективен топлообмен, пламъкът по тях се движи до 10 пъти по-бързо от хоризонталния, достигайки тавана за под 60 секунди. Това създава критичен слой от горещи газове под тавана, който чрез лъчиста енергия ускорява фазата на *общо запалване*. Проблемът се задълбочава от модерните „блекаут“ завеси, които комбинират полиестер с акрилни покрития — при горене те се топят и създават „пламтящи капки“, които пренасят огъня към пода.
2. Подови настилки (**EN 13075**)⁵: Докато завесите пренасят огъня вертикално, килимите и мокетите (найлон, полипропилен) служат за неговото хоризонтално разпространение, действайки като „огнен мост“ между отделните помещения. Тестовите по стандарт **EN ISO 9239-1**, измерващи критичния радиационен поток, доказват, че тези синтетични настилки имат способността да поддържат пламъка дори при ниски нива на кислород, позволявайки на пожара да премине под вратите и да обхване съседни сектори.
3. Тапицерии и мека мебел (**BS 5852**)⁶: Това е енергийният център на риска. Тапицерията служи като обвивка на полиуретановата пяна (дунапрен) — комбинация, която Стив Кърбер (**Fire Safety Research Institute, 2021**) описва като „твърд бензин“, а данните показват, че един съвременен тапициран диван освобождава мощност от 2 до 3 MW. Тази енергия и мигновено достигане на критични температури 600 – 800 (**Годоров, 2015**) е достатъчна за мигновено обхващане на цялата стая /стандартна дневна.

Еволюцията в химическия състав на тези три функционални групи текстил променя фундаментално не само интензитета на горене, но и времевата рамка на инцидента.

⁴ Докато ISO 9237 определя физическата способност на завесите да пропускат въздух (което влияе на горивния процес чрез подаване на кислород), основната пожарна класификация се извършва по EN 13773. Този стандарт разделя завесите на класове от 1 до 5 според тяхната пламъкоустойчивост. Тъй като текстилът за прозорци е разположен вертикално, той е един от най-опасните елементи – вертикалното горене е до 10 пъти по-бързо от хоризонталното, което превръща прозорците в „пътища“ за вертикално разпространение на пожара към по-горните етажи.

⁵ EN 1307: Европейски стандарт, който класифицира текстилните подови настилки според техните експлоатационни характеристики и устойчивост на износване. В контекста на пожарната безопасност стандартът е пряко свързан със системата Euroclasses (EN 13501-1), която оценява поведението на настилката при горене и отделянето на дим. Тъй като подовите настилки заемат огромна хоризонтална площ,

⁶ BS 5852: Британски стандарт за изпитване на запалимостта на тапицирани компоненти (седалки, мека мебел) чрез излагане на тлеещи и пламтящи източници на запалване. Стандартът въвежда т.нар. „източници на запалване“ (Ignition Sources) от 0 до 7, като прочутият „Crib 5“ е тест с дървена конструкция, имитираща интензивен пламък. Съответствието с BS 5852 е ключов индикатор за способността на тапицерията да не позволява прерастването на малък инцидент в неконтролируем пожар.

Взаимодействието между високия вертикален риск на завесите, хоризонталния пренос на настилките и огромната мощност на тапицериите създава нов тип динамика, при която секундите заместват минутите в борбата за оцеляване.

Технологичният анализ на този срив в безопасността разкрива критично разминаване между топлинната реакция на традиционните естествени материали и агресивното поведение на съвременната полимерна среда. Изследванията на динамиката на пожара показват, че при „модерния“ интериор, доминиран от синтетичен пожарен товар, фазата на нарастване е драстично съкратена. Точката на *общо запалване* се достига до 5 пъти по-бързо в сравнение с „традиционния“ интериор, базиран на целулозни и протеинови влакна.

Тази драстична разлика в скоростта на разпространение и времето за евакуация не е случайна, а е пряко следствие от химичния състав и енергийната плътност на материалите, детайлно систематизирани в Таблица 1:

Таблица 1: Сравнителен анализ на горивните характеристики на битовия текстил

Стандартизирана група	Тип материя	Енергия (MJ/kg)	Динамика на пламъка	Основен риск
Завеси	Полиестер/Акрил	30 - 32	Вертикално ускорение	Бързо задимяване на тавана
Килими	Найлон/PP	28 - 30	Хоризонтално пренос	Свързване на пожарни сектори
Дамаски	Смесени синтетички	25 - 30	Експлозивно	Общо запалване
Спално бельо	Памук/Полиестер	17 - 30	Контактно горене	Термичен шок и залепване
Дрехи	Бърза мода	30+	Скрита плътност	Поддържане на горенето

Данните от Таблица 1 илюстрират високия енергиен потенциал на съвременните полимери, но системният риск се допълва най-осезаемо от личното облекло и спалния текстил (ISO 12952)⁷, Данните от Таблица 1 илюстрират високия енергиен потенциал на съвременните полимери, но системният риск се допълва най-осезаемо от личното облекло и спалния текстил (ISO 12952), които често остават подценени в общия пожарен товар на помещението. Един стандартен дрешник, изпълнен с изделия от „бърза мода“, съдържа енергиен еквивалент на 15-20 литра бензин, осигурявайки гориво, което поддържа пожара дълго след изчерпване на първоначалния източник. Това доказва, че променливият пожарен товар не е просто страничен фактор, а активен участник в разрушаването на сградата. В този контекст, текстилната екосистема трябва да се анализира като критичен инженерен параметър: ако устойчивото строителство цели дълголетие на сградите, то не може да пренебрегва материалите, които буквално могат да ги изпепелят отвътре за броени минути.

Въпреки че европейската рамка (включваща EN 1103 за облекло, EN 14878 за детски нощници и EN 1021-1/2 за мека мебел) се базира предимно на доброволни

⁷ ISO 12952: Международен стандарт за оценка на запалимостта на спално бельо (чаршафи, одеяла, калъфки, завивки). Стандартът включва тестови методи, използващи тлееща цигара (Част 1) и малък открит пламък (Част 2) като източници на запалване. Тъй като спалното бельо често е в пряк контакт с потребителите по време на сън, съответствието с този стандарт е от критично значение за предотвратяването на фатални инциденти, причинени от невнимателно боравене с огън в жилищната среда.

стандарти, те се явяват единственият обективен инструмент за доказване на безопасност съгласно **Регламент (ЕС) 2023/988**. Към тях се прибавят **EN 13773** за вертикално окачен текстил и серията **ISO 12952**, които заедно формират техническата база за оценка на приноса на интериорните материали към риска от пожар. В България законовата рамка се определя от **Наредба № Из-1971 (2009)**, но тя често остава фокусирана върху конструкцията, а не върху съдържанието на интериора. Изследванията на Максимова (**Maximova, 2022**) и Цекова (**Цекова, М. 2025**) подчертават необходимостта от организационни промени и интегриран дизайн, за да се отговори на изискванията на Зелената сделка, без да се жертва сигурността.

Анализът на съвременната *устойчивост* изисква преминаване отвъд повърхностните дефиниции за „зелено“. Очертаният конфликт между екологичното проектиране и физическите закони на горенето разкрива една критична каскада от рискове. В изложението ще бъде проследен този сблъсък в неговата цялост: от макро-проблема (влиянието върху планетарния въглероден баланс), през микро-риска за индивида (вдишването на токсични емисии в затворени пространства), до крайната нужда от решение чрез нова, по-дълбока дефиниция за функционална устойчивост.

2. Конфликтът: Екологичност срещу пожарна безопасност

Тази сложна екосистема ни изправя пред парадокса на съвременната устойчивост, където стремежът към опазване на околната среда често влиза в директен конфликт с физическата безопасност. Ярък пример е масовото използване на рециклиран полиестер (rPET)⁸, който макар и да намалява пластмасовите отпадъци с до 75% и да понижава въглеродните емисии при производство, запазва всички опасни характеристики на суровия петролен продукт в условия на пожар. Според доклади на WWF (2017), текстилната индустрия е на прага на радикална трансформация, но преходът към кръгова икономика често пренебрегва енергийния риск на материалите.

Тук се сблъскват две различни визии за „зелен“ продукт: едната, фокусирана върху декарбонизацията и организационните промени в контекста на Европейската зелена сделка (**Maximova, 2022**), и другата — върху оцеляемостта на жизнената среда. Както отбелязва **Meacham (Meacham, 2020)**, предизвикателствата пред „зелените“ сгради включват именно този скрит пожарен риск, който може да анулира екологичните ползи при евентуален инцидент.

2.1. Въглеродният парадокс: Емисии срещу пожарна мощ

Анализът на жизнения цикъл (LCA)⁹ на материалите в съвременното строителство често страда от критичен пропуск: той игнорира фазата на внезапно прекъсване на експлоатацията вследствие на пожар. Както отбелязва Гийермо Рейн (**Rein, 2014**), пожарният товар на интериора е динамична променлива, която може да анулира абсолютно всички екологични ползи от една енергийно ефективна сграда. Ако една сграда, проектирана за 50-годишен жизнен цикъл, изгори преждевременно поради високоенергиен текстилен товар, нейният реален въглероден отпечатък се умножава десетократно. Това се дължи на огромните емисии по време на инцидента и

⁸ rPET (Recycled Polyethylene Terephthalate): Рециклиран полиестер. Макар да е символ на кръговата икономика поради ниския си въглероден отпечатък (Norwell et al., 2009:2118), в контекста на пожарната безопасност той запазва рисковия профил на синтетичните петролни продукти.

⁹ LCA (Life Cycle Assessment): Анализ на жизнения цикъл; методология за оценка на екологичното въздействие на продукта през всички етапи — от добива на суровини до изхвърлянето или рециклирането му.

ресурсоемкото повторно изграждане. Стремещт към декарбонизация на текстилния сектор превърна рециклирането на пластмаси в основен приоритет. Както посочват **Хопуел и др. (Hopewell et al., 2009)**, рециклирането на полимери като PET предлага значителни ползи за околната среда чрез намаляване на потреблението на нефт и енергия, но това създава нов тип зависимост от тези материали в интериора, без да се отчита техният енергиен риск при пожар. Данните в **Таблица 2** илюстрират този сблъсък на показатели, като разкриват, че най-популярните екологични стратегии често водят до отрицателен нетен ефект върху сигурността.

Таблица 2: Сблъсък на показателите – екологичност срещу пожарен риск

Материал / Стратегия	Екологично предимство	Пожарен недостатък	Нетен ефект
Рециклиран PET	Редуциране на CO емисиите	Висока калоричност, токсичен дим	Отрицателен
Био-полимери	Възобновяем ресурс	Ниска точка на запалване	Неутрален
Натурална Вълна	Биоразградима, ниска обработка	Естествено самозагасваща	Максимално положителен
Безхалогенни забавители на горенето / HFFR ¹⁰ /	Нетоксични за екосистемата	Понякога по-ниска ефективност	Положителен

Анализът сочи, че единствено материали като натуралната вълна или внедряването на иновативни, нетоксични забавители на горенето (**Flame Retardants -FR**¹¹), успяват да балансират двата вектора на устойчивостта: екологичната отговорност (чистота на материалите и биоразградимост) и пожарната сигурност (ограничаване на енергийния риск в интериора).

2.2. Химическият парадокс: Токсичният цикъл на забавителите

Конфликтът се задълбочава от парадоксалното третиране на текстила: стремещт към безопасност чрез химия често компрометира здравето на обитателите. За да се постигне съответствие със строгите пожарни норми, много „устойчиви“ тъкани се обработват със забавители на горенето (Flame Retardants - FR). Исторически, халогенираните FR бяха стандарт, но тяхната токсичност и биоакumulативен характер доведоха до строги рестрикции в ЕС (съгласно регламента **REACH**)¹².

Премахването на тези химикали обаче създава „порочен кръг“: премахването им без фундаментална смяна на синтетичната текстилна основа оставя интериора беззащитен срещу огъня, докато замяната им с нови, често недостатъчно изследвани

¹⁰ Безхалогенни FR (HFFR): Забавители на горенето, които не съдържат халогенни елементи (флуор, хлор, бром или йод). Те действат предимно чрез физическо изолиране (със защитен слой въглен) или чрез отделяне на водна пара, което охлажда материала. Смятат се за по-безопасни, тъй като при горене отделят значително по-малко токсичен и гъст дим в сравнение с халогенираните алтернативи.

¹¹ FR (Flame Retardants): Забавители на горенето; химически съединения, добавени към материалите за потискане или забавяне на запалването чрез химична или физична реакция.

¹² REACH: Регламент на ЕС относно регистрацията, оценката, разрешаването и ограничаването на химикали. В текстилната индустрия REACH играе критична роля, тъй като забранява или ограничава употребата на определени забавители на горенето (като полибромираните дифенил етери), които са доказано токсични за хората и околната среда. Това принуждава производителите да търсят „зелени“ алтернативи или да се връщат към естествено устойчиви влакна като вълната.

алтернативи, продължава да компрометира качеството на въздуха. Както посочва Arlene Blum (**Blum, A. 2023**) в изследванията си за „Класовия подход към химикалите“, добавянето на забавители към силно запалими синтетични основи често е неефективно и води до т.нар. „*regrettable substitution*“ (злополучна замяна) – замяна на един токсичен химикал с друг, също толкова опасен.

Данните на European Fire Safety Alliance (EuroFSA) потвърждават мащаба на този микро-риск: близо 80% от фаталните инциденти при пожар в затворени пространства не са резултат от термични изгаряния, а от вдишване на токсични газове, отделени именно от такива третирани синтетички (**Fire Safety Research Institute, 2021**). Така „устойчивият“ избор на материал, разчитащ на външна химическа защита, се превръща в източник на вторична опасност за здравето.

2.3. Сертификационният парадокс: „Зелено“ не означава „безопасно“

Настоящата система за сертифициране създава фалшиво чувство за сигурност. Водещи стандарти като **ОЕКО-ТЕХ¹³** или **EU Ecolabel** се фокусират върху химическата чистота, но често пренебрегват поведението на материала при пожар. Това разминаване между екологична устойчивост и пожарна безопасност е най-видимо при трите основни групи „устойчиви“ материали, които доминират пазара, но крият сериозни рискове:

- **Натурални сертифицирани материали (стандарт GOTS¹⁴ -Памук, Лен...):** Екологично отлични, но поддържат интензивно горене без добавена масивна химическа обработка.
- **Рециклирани синтетички (Стандарт GRS¹⁵ -rPET, Найлон...):** Почистват океаните, но в интериора остават „твърдо гориво“, което при горене отделя огромна енергия (**HRR**) и токсичен дим.
- **Целулозни влакна (Стандарт FSC¹⁶или PEFC – Tencel, Viscose):** Възобновяеми и биоразградими, но поради молекулярната си структура горят дори по-бързо от памука.

Докато изброените материали се фокусират върху възобновяемостта, често се пренебрегва критичният фактор „*токсичност на дима*“.

2.4. Физическият парадокс: Протеинова защита срещу синтетична калоричност

¹³ **ОЕКО-ТЕХ (STANDARD 100):** Една от най-известните в света етикетировки за текстил, тестван за вредни вещества. Тя сертифицира, че всеки компонент на артикула (от конеца до копчетата) е безвреден за човешкото здраве в контекста на химическата чистота, но не е пряк индикатор за пожарна безопасност

¹⁴ **GOTS (Global Organic Textile Standard):** Водещ световен стандарт за обработка на текстил от органични влакна, включващ екологични и социални критерии.

¹⁵ **GRS (Global Recycled Standard):** Международен стандарт, който проверява съдържанието на рециклирани материали в продуктите и проследява веригата на доставки.

¹⁶ **FSC (Forest Stewardship Council):** Международен сертификат, гарантиращ, че суровината за целулозните влакна (Tencel, Viscose) произхожда от устойчиво управлявани гори. Макар и екологично сертифицирани, от гледна точка на пожарната безопасност тези влакна притежават висока скорост на горене и ниска температура на овъгляване.

За да илюстрираме разликата между естествената протеинова защита и масово разпространената рециклирана синтетика, в следващата таблица сравняваме техните показатели при реално горене:

Таблица 3: Сравнителен анализ на токсичността – вълна и рециклиран полиестер

Показател	Натурална Вълна (Wool)	Рециклиран Полиестер (rPET)
Въглероден оксид (CO)	Умерено (основно при тлеене)	Екстремно високо
Водороден цианид (HCN)	Ниско до умерено	Критично (задушавашо)
Дим (Оптична плътност)	Сивкав, ниска плътност	Черен, непрогледен, мазен
Поведение при огън	Самозагасва, карбонизира се	Топи се и образува пламтящи капки
Време до фатален изход	Сравнително дълго	Много кратко

Сравнението доказва, че макар rPET да е „устойчив“ по отношение на отпадъците, той е критично опасен при пожар. Докато вълната образува защитен въглероден слой, rPET се топи, разпространявайки огъня чрез пламтящи капки и отделяйки задушаваш дим.

На този фон, истинският стандарт за функционална устойчивост се открива в естествената протеинова защита на вълната – биологичен механизъм, който природата е усъвършенствала в продължение на милиони години. За разлика от термопластичните полимери, които се деформират и отделят токсичен дренаж, протеиновата структура инициира моментален процес на *карбонизация* (овъгляване), който изолира пламъка, предотвратява разпространението на огъня и драстично минимизира отделянето на опасни летливи съединения.

2.5. Пътят към симбиоза: Устойчивостта като функция на пожарната издръжливост

Всичко изложено дотук налага предефиниране на концепцията за устойчивост. Истински зеленият текстил не е само този, който е рециклиран, а този, който притежава вградена пожарна издръжливост, гарантираща запазването на застроената среда и живота в нея. Както подчертава експертът по пожарна безопасност и бивш президент на SFPE Брайън Мийчам (**Brian Meacham, 2020**), автентичната устойчивост е илюзия, ако не включва концепцията за *Fire Resilience* (пожарна издръжливост). В този контекст вълната остава недостижим еталон: тя е едновременно 100% биоразградима и естествено пожароустойчива, благодарение на благодарение на своя висок граничен кислороден индекс¹⁷ (GKI > 25%) Докато „структурният пожарен товар“ е обект на строги регулации,

¹⁷ ГКИ (GKI -Граничен кислороден индекс): Минималната концентрация на кислород в смес от азот и кислород, която поддържа горенето на материала. Тъй като атмосферата съдържа около 21% кислород, материали с ГКИ над 21% (като вълната) се считат за труднозапалими и често самозагасват при отстраняване на източника на запалване.

„променливият товар“ (мебели, текстил, облицовкиоблекло) остава „сива зона“. За преодоляването на този парадокс е необходима интеграция на следните три нива:

- **Превантивен подбор:** Директна замяна на високоенергийни синтетични с естествено пожароустойчиви протеинови влакна. Това съответства на принципа *Safety by Design*¹⁸ (*Вградена безопасност чрез дизайн*) — стратегия, при която пожарната безопасност не е допълнително прибавено свойство, а е заложена в самото ДНК на избраните материали. Вместо да се опитваме да направим горимите синтетични тъкани безопасни чрез химия, ние избираме материали, които по природа не поддържат горенето.
- **Зелена химия:** Развитие на интелигентни био-базирани нано-покрития (например на базата на хитозан или силикати). Те създават физическа бариера за кислорода, без да отделят халогенирани токсини.
- **Холистичен LCA:** Въвеждане на „Пожарен индекс“ в елитните сертификати за зелено строителство като **LEED**¹⁹ (САЩ) и **BREEAM**²⁰ (Великобритания). Настоящите им модели за оценка на въглеродния отпечатък трябва да се разширят, за да включат потенциалните емисии при пожар .

Бъдещето на застроената среда изисква симбиоза, при която пожарната безопасност е вградена в самото ДНК на устойчивия дизайн. Само по този начин домовете на бъдещето ще бъдат не само „зелени“ на хартия, но и истински сигурни убежища.

4. Решенията: Синергия между иновации, дизайн и регулация

Преодоляването на парадокса между устойчивост и риск изисква холистичен модел, който трансформира текстила от пасивен декор в активен защитен елемент. В духа на принципа *Вградена безопасност чрез дизайн*, безопасността се интегрира още в зародиша на проекта, базирайки се на реалната енергийна плътност в помещенията (съгласно **Наредба № Из-1971**), а не на формалното покриване на минимални изисквания. Предложеният модел за интегрирано проектиране се гради върху три основни стълба:

- **Технологични иновации: „Зелената“ химия и биомиметиката**

Бъдещето на устойчивия текстил лежи в развитието на материали, които защитават, без да замърсяват. Ключова роля тук играят *Биомиметичните покрития*: вместо токсични FR, се използват забавители, вдъхновени от природата на основата на **ДНК или казеин**²¹ . При излагане на топлина тези съединения имитират естествената

¹⁸ *Safety by Design (Вградена безопасност чрез дизайн):* Подход, при който рисковете за здравето и безопасността (вкл. пожарната опасност) се анализират и елиминират още във фазата на идейния проект и избора на материали, вместо да се разчита на последващи защитни системи или химическа обработка. В статията този принцип се илюстрира чрез използването на естествено пожароустойчиви протеинови влакна като превантивна мярка.

¹⁹ *LEED (Leadership in Energy and Environmental Design):* Най-широко използваната в света система за сертифициране на зелени сгради. *BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method):* Първият в света метод за оценка и сертифициране на устойчивостта на сгради и инфраструктура.

²⁰ *BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method):* Първият в света метод за оценка и сертифициране на устойчивостта на сгради и инфраструктура.

²¹ *Казеин:* Основен протеин в млякото, използван в „зелената химия“ за създаване на екологични био-покрития, които действат като естествени бариери срещу пламъка.

карбонизация на вълната, образувайки защитен слой (char layer), който изолира тъканта от кислорода. Изследване в *Green Chemistry* (Malucelli et al. 2014) демонстрира потенциала на този подход чрез ДНК покрития, извлечени от отпадъци от рибната индустрия, които правят памука самозагасващ, без да отделят вредни емисии.

- **Дизайн, ориентиран към издръжливостта**

Архитектите и интериорните дизайнери трябва да възприемат текстила като активен компонент от противопожарната стратегия на сградата. Първият аспект е **зонирането на горивния товар**: стратегическото разпределение на текстилните групи предотвратява „ефекта на доминото“. Използването на вълнени прегради с естествено ниска пикова скорост на освобождаване на топлина- **PHRR** помага за ограничаване на т.нар. „пътуващи пожари“ по модела на Гийермо Рейн (Rein, G.,2014). Вторият аспект е даването на **приоритет на естествените бариери** – интегрирането на протеинови тъкани в евакуационните пътища създава естествени „термични щитове“. Изследвания на **National Institute of Standards and Technology (NIST)** (Национален институт по стандарти и технологии -САЩ) потвърждават, че конфигурацията на обзавеждането и разстоянието между текстилните елементи са толкова критични за скоростта на разпространение на пламъка, колкото и самите материали.

- **Проектиране на облекла: Безопасността като част от „Бавната мода“**

Тъй като облеклото е „най-близкият слой“ до човешкото тяло, неговата устойчивост е пряко свързана с оцеляемостта при инцидент. Решението се крие в **интегрираната безопасност**, постигната чрез хибридни прежди, които комбинират комфорта на естествените протеини с издръжливостта на **арамидни смеси**²². Паралелно с това е необходима строга регулация на „Бързата мода“. Критичният риск от употребата на леки синтетични тъкани (rPET) се потвърждава от реални инциденти, описани в специализирани издания като *Journal of Fashion Technology*. Те показват, че поради ниската си повърхностна плътност и термопластична природа, тези материи се възпламеняват за секунди. В процеса на горене те се превръщат в „пламтящ флуид“ (melt-drip²³) – разтопен полимер, който капе и разнася огъня вертикално и хоризонтално, създавайки нови огнища и драстично съкращавайки времето за евакуация. Това явление, детайлно изследвано в контекста на пожарната динамика от проф. Ричард Лион²⁴(Richard Lyon, FAA), демонстрира как течната фаза на горящия полимер пренася огъня извън първоначалния източник, създавайки вторични огнища. Следователно, бъдещите стандарти за „огнеустойчив дизайн“ трябва да изискват специфична плътност и състав на материалите, гарантиращи време за реакция при възпламеняване.

²² Арамидни смеси: Синтетични влакна с висока термична и механична устойчивост (като Kevlar и Nomex), които не се топят и не се запалват при нормални нива на кислород.

²³ Melt-drip феномен: Характерен за термопластични влакна като полиестер (rPET) и найлон. При достигане на температура на топене, материалът преминава в течна фаза, преди да се е овъглил. Тези „горящи капки“ са основна причина за тежки изгаряния и бързо разпространение на пожара в затворени пространства, което превръща леките завеси и тапицерии в основен рисков фактор.

²⁴ Lyon, R. E., & Walters, R. N.: Автори на фундаментални изследвания в лабораториите на FAA (Federal Aviation Administration) върху микромащабната калориметрия на горене. Тяхната работа доказва, че при синтетичните тъкани като rPET, термопластичното поведение води до „капещ огън“, който ускорява разпространението на пламъка много по-агресивно от естествените влакна, които овъглюват (charring).

5.Интегриран модел за устойчива сигурност

Вдъхновени от работата на **Кристиан Малук**²⁵, , предлагаме концептуален модел визуализиран на Фиг.1 , който трансформира парадигмата на устойчивото проектиране. Вместо да разглеждаме екологията и сигурността като конкурентни цели, ние ги обединяваме в три нива на защита:

1. Ниво: Молекулярна интелигентност (интелигентен подбор) Основата на модела е преходът към **естествени протеинови влакна (вълна, коприна)** и „зелена“ химия. Използването на биомиметични покрития (на базата на ДНК или казеин) осигурява естествено нисък **PHRR**, имитирайки природния процес на карбонизация. Това е защитата в самото „ДНК“ на материала.

2. Ниво: Пространствена устойчивост (динамично зонирание) Второто ниво превръща интериорния текстил в стратегическа бариера. Чрез архитектурно зонирание и използване на вълнени термични щитове се създават „прекъсвачи“, които спират верижната реакция. Този подход директно неутрализира риска от „*пътуващи пожари*“, ограничавайки огъня в рамките на неговия източник.

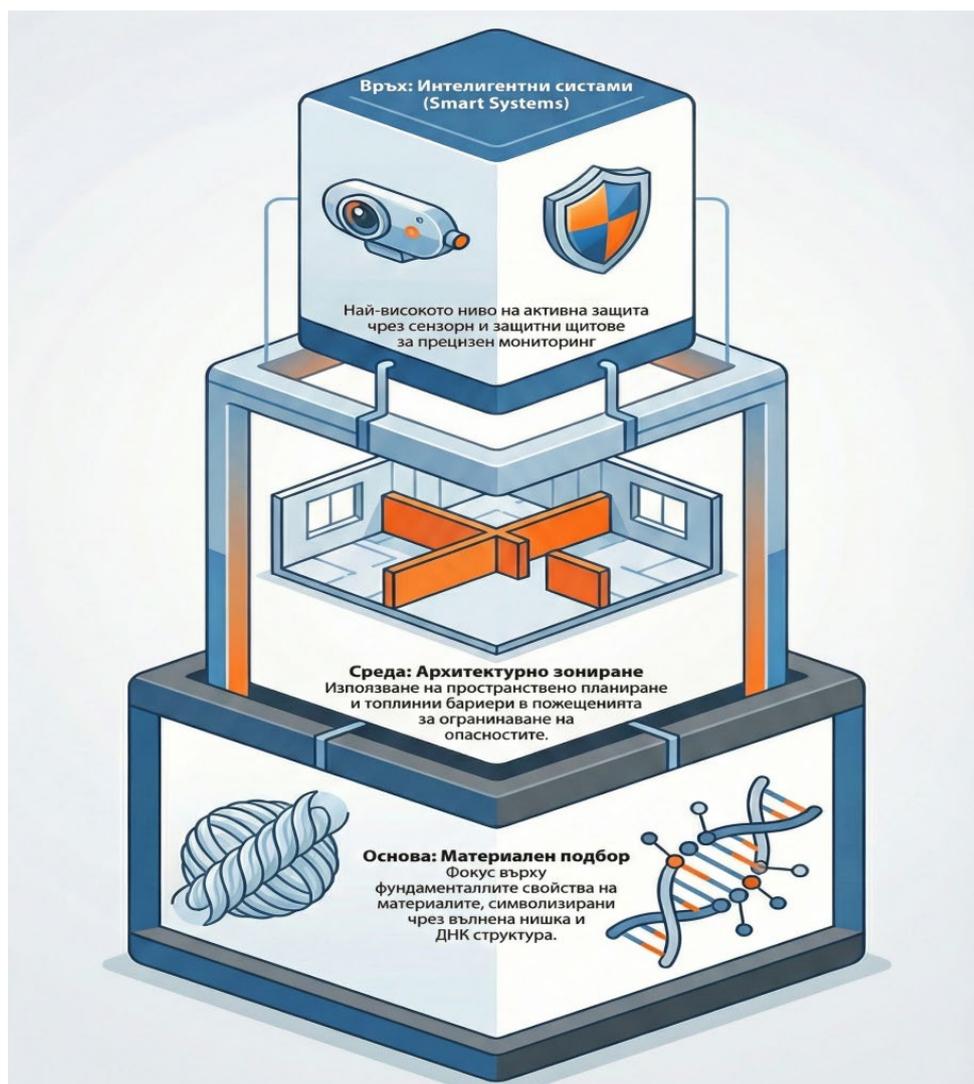
3. Ниво: Технологичен надзор (интелигентни системи) Върхът на модела интегрира нано-сензори в „умни“ повърхности. Тези системи гарантират ранна детекция на термични аномалии и инициират локално потушаване секунди преди достигане на точката на *flashover*.

За да работи този модел на практика, той трябва да се подкрепя от три оперативни стълба:

- **Зелена химия**²⁶: Замяна на токсичните *забавители на горенето* с биомиметични бариери, които създават изолиращ карбонизиран слой без отделяне на вредни емисии.
- **Устойчиво проектиране**: Стратегическо планиране на интериора, което предотвратява „ефекта на доминото“ (верижно запалване) чрез оптимизиране на дистанцията между обектите и подбор на материали с контролирана пожарна мощ, следвайки принципите за динамика на пожара по модела на проф. Гийермо Рейн.

²⁵ **Кристиан Малук (Cristian Maluk)**: Професор по пожарно инженерство в University of Queensland. Пионер в развиването на холистични стратегии за сигурност. Вж. **Maluk, C., et al. The potential of integrated fire safety design.** – В: *Fire Safety Journal*. 2017, № 91, с. 21 – 29.

²⁶ **Зелена химия (GC) и Bio-FR**: Концепция за проектиране на химически продукти и процеси, които намаляват или премахват генерирането на опасни вещества. В контекста на статията това включва **биомиметични бариери** — забавители на горенето, вдъхновени от природата (на основата на ДНК, казеин или фитинова киселина). За разлика от традиционните халогенирани FR, те образуват защитен слой чрез карбонизация, без да отделят токсичен дим, като по този начин решават парадокса между екология и безопасност.



Фигура 1. Интегриран модел на устойчива сигурност

- **Регулаторна еволюция:** Актуализиране на **Наредба № Из-1971** с фокус върху енергийната плътност на интериора, а не само върху конструкцията.

Заклучение

В крайна сметка трябва да признаем фундаменталната истина: **устойчивостта е функция на безопасността**. Една сграда или облекло, проектирани с мисъл за природата, губят своята нетна екологична стойност в момента, в който се превърнат в пепел и облак от токсични емисии. Интегрирането на пожарната издръжливост в концепцията за устойчиво строителство не е техническа подробност, а акт на висока професионална и морална отговорност. Бъдещето на застроената среда зависи от способността ни да проектираме системи, които са не само щадящи към планетата, но и безусловно сигурни за хората. Единственият път напред е симбиозата: свят, в който „зеленото“ означава и „безопасно“, а устойчивостта защитава едновременно екосистемата и най-ценния ресурс в нея – човешкия живот.

Библиография

Български институт за стандартизация. БДС ISO 690:2021: Информация и документация. Ръководство за библиографски позовавания и цитиране на информационни ресурси. София: БИС, 2021.

Министерство на вътрешните работи. Наредба № Из-1971 от 29 октомври 2009 г. за строително-технически правила и норми за осигуряване на безопасност при пожар. – В: Държавен вестник, № 96, 2009.

Тодоров, И. Пожарна безопасност на сгради и съоръжения. София: Технически университет - София, 2015.

Цекова, М. Пожарна безопасност и устойчиво строителство: най-добри практики за интегриран дизайн. – В: Научен атлас. 2025, № 13, с. 47 – 55. ISSN 2738-7518.

Чакър, А., Р.Атанасов, Ал. Близнаков. Байесов подход за оценка на пасивните мерки за защита от пожар в помещение. e-Journal VFU Брой 15 – 2021. ISSN 1313-7514

Чакър А. Приложение на пасивната противопожарна защита при проектирането на сгради. X международна научна конференция по архитектура и строителство ArCivE 2021 29 Май 2021 г., Варна, България, стр. 469-473, ISSN 2535-0781

Alongi, J., & Malucelli, G. Bio-derived, bio-inspired and biomimetic polymers for flame retardancy. London: Royal Society of Chemistry, 2015.

Babrauskas, V. Ignition Handbook: Principles and Applications to Fire Safety Engineering, Fire Investigation, Risk Management and Forensic Science. Issaquah, WA: Fire Science Publishers, 2003.

Blum, A., et al. Organophosphate Ester Flame Retardants: Are They a Regrettable Substitution for Polybrominated Diphenyl Ethers? – In: Environmental Science & Technology Letters. 2019/2023.

European Chemicals Agency (ECHA). Regulatory Strategy for Flame Retardants. Helsinki: ECHA, 2023.

European Parliament and Council. Regulation (EC) No 1907/2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH). Brussels: Official Journal of the European Union, 2006.

Fire Safety Research Institute (FSRI). Analysis of Changing Residential Fire Dynamics and Its Implications on Firefighter Operational Timeframes. UL Research Institutes, 2021.

Hopewell, J., Dvorak, R., Kosior, E. Plastics recycling: challenges and opportunities. – In: Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 2009, № 364 (1526), с. 2115 – 2126. ISSN 0962-8436.

ISO 9237:1995 Textiles — Determination of the permeability of fabrics to air. Geneva: International Organization for Standardization, 1995.

ISO 12952-1:2010 Textiles — Assessment of the ignitability of bedding items — Part 1: Ignition source: smouldering cigarette. Geneva: International Organization for Standardization, 2010.

Lyon, R. E., & Walters, R. N. Pyrolysis combustion flow calorimetry., *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2004, Volume 71, Issue 1, pp. 27-46. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165237003000962?via%3Dihub>

Malucelli, G., et al. DNA: An unusual, natural flame retardant for cotton fabrics. – In: *Green Chemistry*. 2014, № 16 (4), c. 1853 – 1862.

Maluk, C. The potential of integrating fire safety in modern building design. Brisbane: University of Queensland, 2017.

Maluk, C., Woodrow, M., Torero, J. L. The potential of integrated fire safety design. – In: *Fire Safety Journal*. 2017, № 91, c. 21 – 29. ISSN 0379-7112.

Maximova, V. The EU Green Deal and the Necessity for Organizational Changes in Bulgarian Apparel and Textile Companies. – In: *Izvestia Journal of the Union of Scientists - Varna. Economic Sciences Series*. 2022, № 11 (1), c. 175 – 184.

Meacham, B. J. *Fire Safety Challenges of Green Buildings*. Quincy, MA: NFPA, 2020.

National Institute of Standards and Technology (NIST). *Impact of Furniture Configuration on Fire Spread in Residential Settings*. Gaithersburg, MD: NIST, 2020. Technical Note 2100.

OEKO-TEX Service GmbH. *Standard 100 by Oeko-Tex: General requirements*. Zurich: Oeko-Tex, 2023.

Rein, G. *Travelling fires for structural design*. London: Imperial College London, 2014.

Schubert-Polzin, S., Zech, S. Horizontal Fire Spread in a Contemporary Apartment: The Role of Interior Linings and Furnishings. – In: *Journal of Fire Sciences*. 2019.

Torero, J. L. *Holistic Fire Safety Design*. London: UCL Engineering, 2019.

WWF Report. *Changing Fashion: The clothing and textile industry at the brink of radical transformation*. 2017.