

## ЕНЕРГИЕН ФОРУМ 2024

### АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА РИСКА ПРИ ПОЖАР НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ АВТОМОБИЛ В ПОДЗЕМЕН ГАРАЖ

Теодоси Цанков

### ANALYSIS AND RISK ASSESSMENT OF AN ELECTRIC CAR FIRE IN AN UNDERGROUND GARAGE

Teodosi Tsankov

The market share of electric vehicles (EVs), powered by lithium-ion batteries (LIB), is expanding constantly worldwide. The world is moving towards green technologies and improving the driving range with a single full charge. The introduction of EVs is considered an important step in reducing transport emissions and mitigating climate impact. However, further research is needed regarding their fire safety. This report examines a case of an electric car fire in an underground garage. The aim is to determine the potential consequences for the structural integrity of the building, particularly the strength of the reinforced concrete slab. Attention is also given to the toxic substances released by the smoke from the fire. Proposals have been made to enhance the fire protection of the building structure by obligatory implementing fire suppression systems and emergency ventilation in underground/enclosed garages.

#### УВОД

Глобалните климатични промени, особено през последните десетилетия водят до състояние на природата на планетата, в което тя се нуждае от „помощ“ за да се възстанови до състояние, характерно за средата на 20-ти век. Протоколът от форума в Киото през 1997 г., с участието на делегации от 180 страни по света показва ускорено влошаване на климата, причинено главно от човешките дейности.

Днес Европейският съюз, проявявайки се като лидер в борбата с климатичните промени с т.н. „Зелена сделка“, която очерта пътя към декарбонизация на обществото до 2050 г. С тази Европейска инициатива се поставят високи изисквания към транспортният сектор, който има около 16% от глобалните емисии на парникови газове [15].

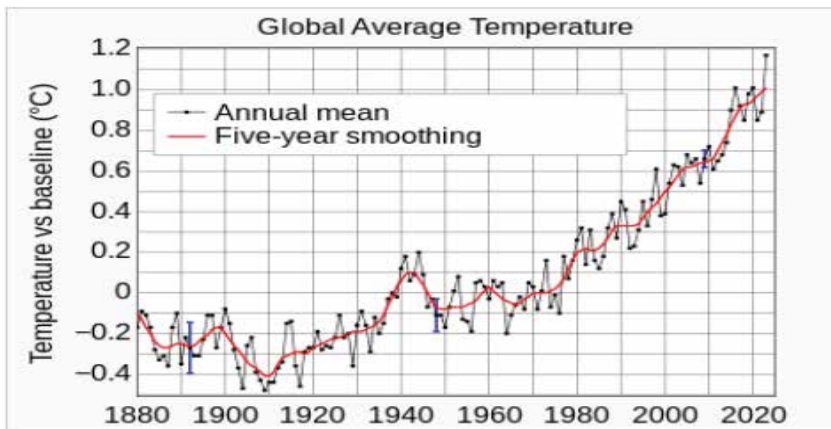
Поради това въвеждането на електрически превозни средства (ЕПС) се счита за важна стъпка в намаляване на емисиите от транспорта, и намаляване на въздействието върху климата. С усъвършенстването на батериите и наличието на все повече зарядни станции ЕПС стават все по-популярни, тъй като са много по-екологични в сравнение с конвенционалните бензинови и дизелови МПС. Те също така имат по-ниски разходи за поддръжка, по-тиха работа и повишена енергийна ефективност.

Въпреки това все още има пречки, които възпрепятстват широкото използване на ЕПС. В допълнение към цената и достъпността на зареждането, рискът от пожар при тях е фактор на който трябва да се обърне сериозно внимание.

Настоящият доклад представя кратък аналитичен преглед на информационни източници по тази тематика и приложението на модели и методики от тях. С доклада от една страна се подчертава актуалността и важността на проблема с парниковите газове и ролята на ЕПС за намаляването му, и от друга страна се показва степента на риска при пожар на електрически автомобил в подземен гараж, което има голямо значение за осигуряване на безопасност в практиката.

## **ИЗМЕНЕНИЕ НА КЛИМАТА**

Глобалното затопляне се дефинира като повишаване на средната температура на атмосферата и световния океан на Земята, което се наблюдава от 1950-те години насам [16]. Често като синоним на глобалното затопляне се използва изменение на климата. За периода 1906 – 2005 г. е установено повишаване на средната глобална температура в близост до земната повърхност средно с  $0,74 \pm 0,18$  °C. Изменението ѝ за по-широк период е дадено на фиг. 1.

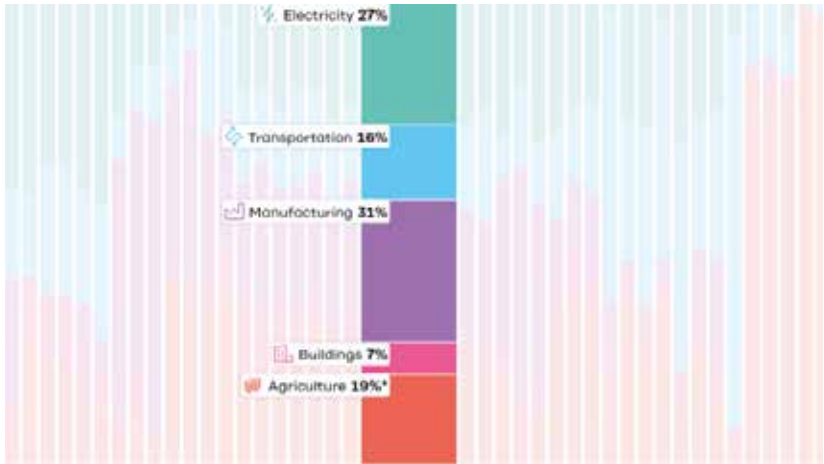


**Фиг. 1** Средна глобална повърхностна температура от 1856 до 2020. [16]

Изменението на климата може да изглежда като проблем, който е или твърде труден, или твърде далеч, за решаване в бъдещето. Глобално, основните източници на емисии на парникови газове са пет [10]:

- Промислено производство (бетон, стомана, пластмасови материали и др.);
- Производство на електроенергия;
- Земеделие и животновъдство;
- Транспорт;
- Отопление и охлаждане на сгради.

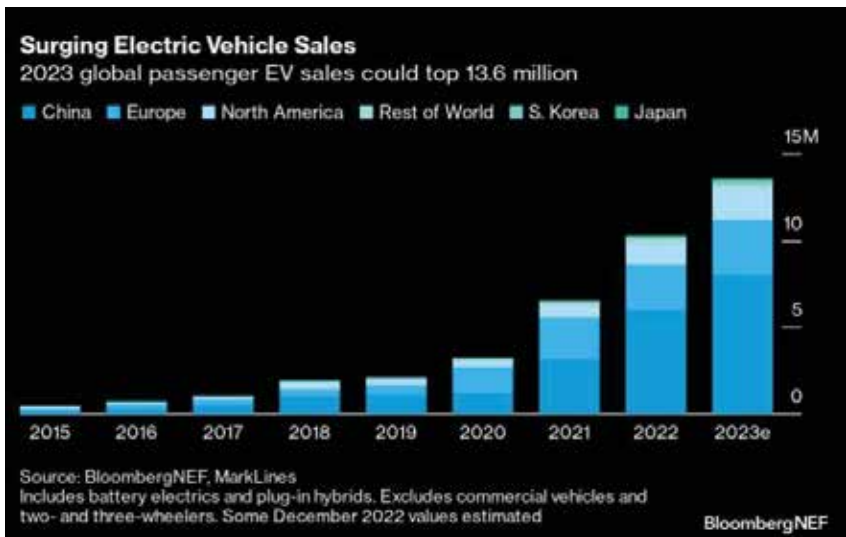
Същите са показани в проценти на фиг. 2



Фиг. 2 Основни сектори, предизвикващи глобални емисии на парникови газове [10]

## ЕЛЕКТРИЧЕСКИ АВТОМОБИЛИ

Понастоящем по пътищата в света се движат 27 милиона ЕПС, а до края на 2024 броят им се очаква да надхвърли 40 милиона. [18]



Фиг. 3 Ръст на продажби на електрически автомобили[17]

Въпреки тази добра тенденция преходът към по-чист транспорт може да не се осъществи достатъчно бързо за постигане на климатичните цели. Както всички нови технологии, ЕПС имат своите предимства и недостатъци.

Някои от основните предимства са:

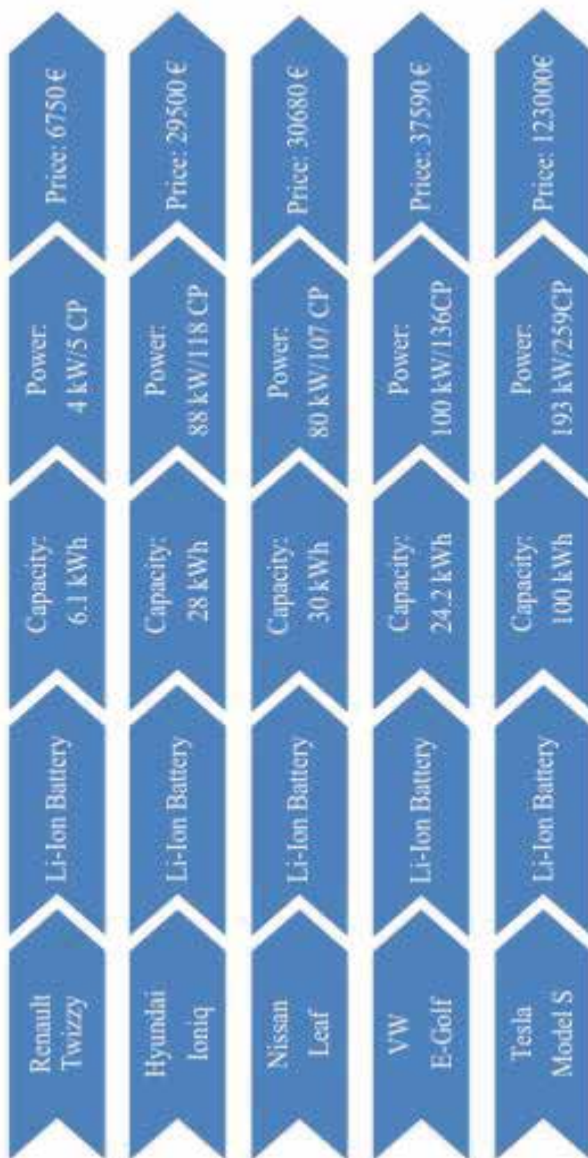
- По-ниски експлоатационни разходи;
- Подобрена енергийна ефективност;
- По-чисти и екологични;
- По-тиха работа;
- По-добра производителност;
- Държавни стимули.

От друга страна основните им недостатъци са:

- По-високи първоначални разходи за покупка на нов автомобил;
- По-малък обхват на шофиране спрямо конвенционалните бензинови и дизелови МПС;
- Зареждането отнема повече време;
- Редките метали, използвани в батериите са скъпи и с ограничени ресурси.

Използваните метали мед, кобалт, алуминий, никел и манган—имат и други приложения, някои от тях са токсични, а добиването им най-често се осъществява в страни от Африка, където има проблеми с глада, човешките права и др., които влияят на устойчивостта на добива им [11].

Батериите в електрическите автомобили трябва да са малки, да могат да се зареждат бързо и да имат достатъчно мощност. Най-използвани за ЕПС в днешно време са литиево-йонните батерии. Сравнение на пазарните цени на няколко марки ЕПС въз основа на капацитета на батерията са представени на фиг. 4.



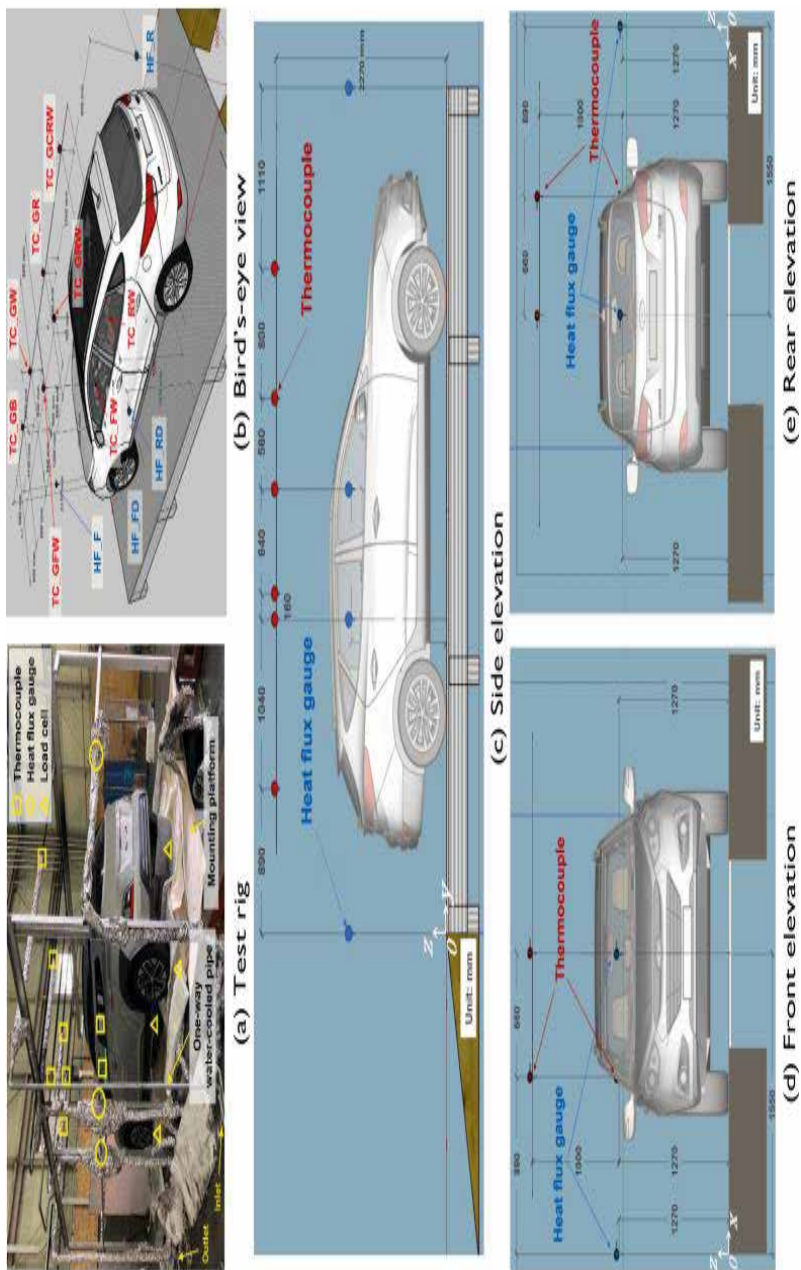
**Фиг. 4** Сравнение на пазарните цени на различни ЕПС въз основа на капацитета на батерията

Въпреки процедурите за контрол на качеството, използвани от производителите на ЕПС, недостатъци все още се проявяват по време на фазите на производство, сглобяване или експлоатация. Те включват разнообразие от потенциални причини.

ЕПС са все още в начален стадий в сравнение с тези с двигателни с вътрешно горене, които са в постоянна употреба и развитие през миналия век. Автомобилите с електрифицирано задвижване имат различни начини за съхраняване на енергия. Това определя различни форми на електрическа мобилност. Те варират от хибриди, до напълно ЕПС, захранвани с батерии, които изискват зареждане от мрежата. Тези алтернативни видове задвижване, за разлика от двигателите с вътрешно горене, обикновено разчитат на батерии с голям капацитет. Батерията при неизправност може да предизвика бързо разрастващ се пожар, при който от една страна се отделя голямо количество топлина, а от друга - химически аерозоли поради високите стойности на силно реактивни химични компоненти [12]. В контекста на нарастващата урбанизация и нарастващото преминаване към подземни инфраструктури за паркиране възниква въпросът за безопасността на ЕПС.

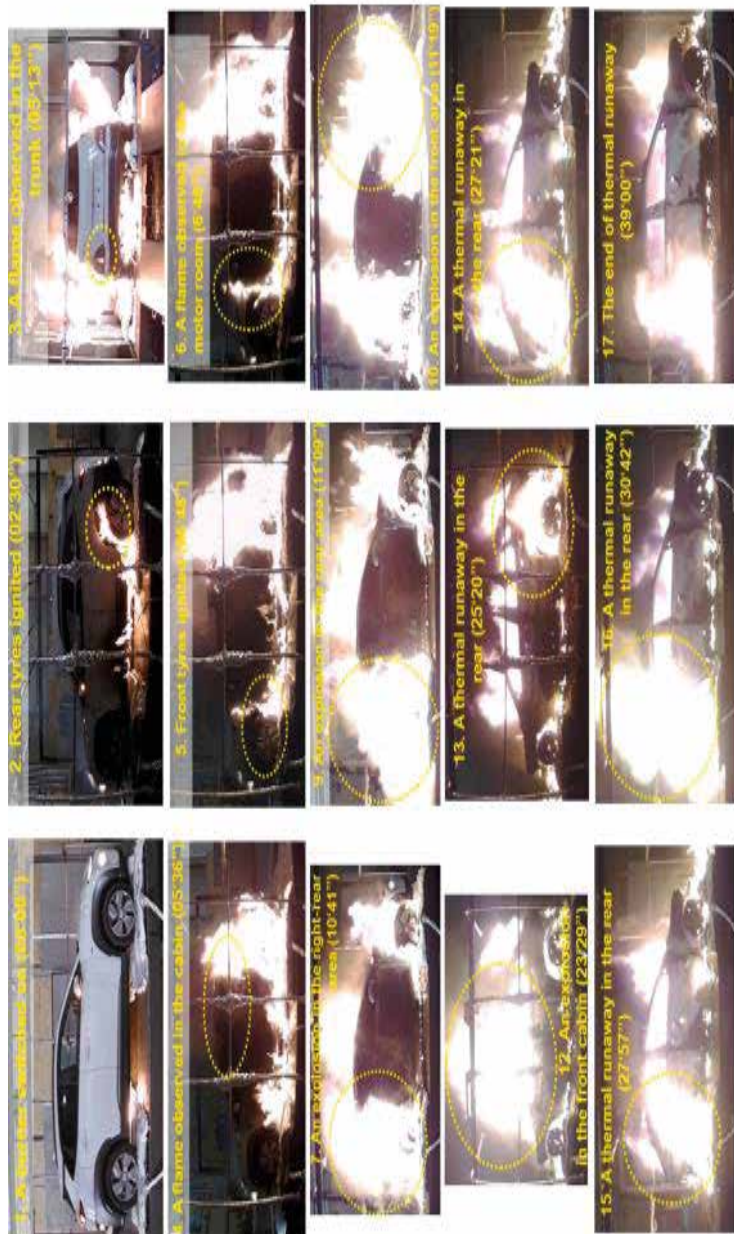
Последици след пожар на електрически автомобил в подземен гараж

База за анализ на риска от пожар на електрически автомобил в подземен гараж е доклад, в който е направен реален експеримент на пожар в електрически автомобил с 64-kWh батерия[9]. За отчитане на температурата са поставени 8 термодвойки на различни места (показани на фиг. 5), като тези които се намират над превозното средство са на височина 2270мм. Минималната височина предвидена от [1] за подземен гараж в България е 2400мм. Тази разлика от 130мм не е съществена за определяна на температурата на горната хоризонтална повърхност [3][8] (стоманобетонната плоча) на гаражите у нас, т.е. може да се използват данните от експеримента, представени в доклада. Експериментът трае 40 мин. Разположението на термодвойките и разпространението на пожара са показани на фиг. 5 и 6.

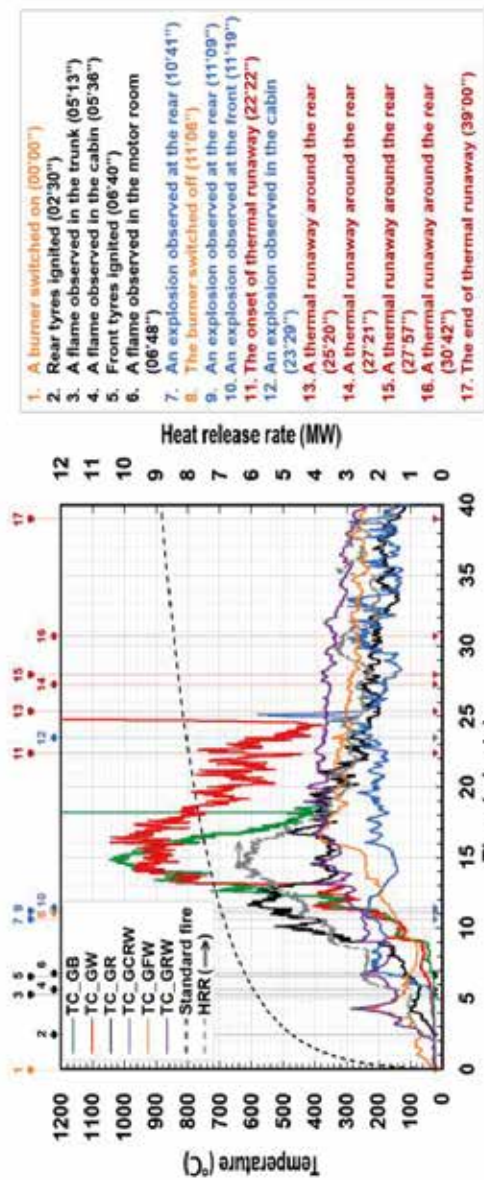


Фиг. 5 Разположение на термодвойките





Фиг. 6 Снимки на разпространението на пожара в електрически автомобил



Фиг. 7 Показания на термодвойките във времеви период от 40 минути

От графика на фиг. 7 се вижда, че термодвойките отчели най-висока температура се намират над предния капак и предното стъкло. След десетата минута те измерват изключително високи стойности на температурата, а именно над 1200 °C.

Като критерий за устойчивост на стоманената плоча може да се използва прекъснатата линия на фиг.7 (“Standard fire”). Същата показва максималната устойчивост на конструкцията при пожар по стандарти в Южна Корея. Следователно по този критерий температурата на горната хоризонтална стоманобетонна повърхност (плочата) след 10-та минута надвишава максимално допустимата и е опасна за конструктивната устойчивост на елементите и евентуално сградата над гаража

### ИЗЧИСЛЯВАНЕ ЩЕТИТЕ ВЪРХУ КОНСТРУКЦИЯТА

За изчисляване здравината на строителната конструкция се използва методиката за оценка на пожароустойчивостта и пожарозащитата на строителни конструкции [2]. Приема се, че стоманобетонната плоча е с дебелина от 100 мм, а армировката в плочата съдържа 9 броя пръти с армировка ф8 и площ  $A_s = 9 \times 0,503 = 4,53 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$

➤ Изчисляване на топлофизичните характеристики при параметри, използвани във формулите по-долу:

- Обемни тегло (плътност) на бетона -  $\gamma_b = 2350 \text{kg} / \text{m}^3$

- Коэффициент на топлопроводимост -  $\lambda_t = 1,2 - 0,00035 \cdot t$   
 $[W / m \cdot ^\circ C]$

- Специфичен топлинен капацитет -  $C_t = 700 + 0,83 \cdot t$   
 $[J / \text{kg} \cdot ^\circ C]$

- Влажност на бетона -  $W = 2\%$

Коефициентът на изменение границата на провлачване на положената армировка във функция на температурата, се определя по формула (1):

$$\gamma_{s,t} = \frac{R_b \cdot h_0 \cdot b}{R_s \cdot A_s} - \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M}{R_b \cdot h_0^2 \cdot b}} \right) = 0,8423 \quad (1)$$

Чрез интерполация на коефициентите за условия на работа на армировката в зависимост от температурата въз основа на данни от [2] се определя стойността на критичната температура ( $t_{cr}$ ), следователно  $t_{cr} = 439,4^{\circ}\text{C}$ . Стойности на температурата над тази ще оказва неблагоприятно въздействие на конструкцията, в частност на плочата.

Теглото на сухия бетон е:

$$\gamma_{b,c} = \frac{100 \cdot \gamma_b}{100 + W} = 2304 \text{ kg} / \text{m}^3 \quad (2)$$

Следва да се определят коефициентите за условия на работа на бетона  $K_1$  и армировката  $K_2$  в зависимост от температурата:

$$K_1 = 0,462 + 7 \cdot 10^{-5} \cdot \gamma_{b,c} = 0,6233, \quad K_2 = 0,5$$

Топлофизичните характеристики при определената средна температура  $800^{\circ}\text{C}$  според [9] са:

$$\lambda_t = 1,2 - 0,00035 \cdot 800 = 0,92 \quad (3)$$

$$C_t = 710 + 0,83 \cdot 50 = 1083,5 \quad (4)$$

Коефициентът на температуропроводимост е:

$$\alpha_{red} = \frac{\lambda_t}{(C_t + 50 \cdot W) \gamma_{b,c}} = 3,37 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s} \quad (5)$$

Разстоянието на нагряваната повърхност до центъра на опънатата армировка е:

$$X^* = \delta + 60 \cdot K_1 \cdot \sqrt{\alpha_{red}} + K_2 \cdot d_s = 0.0357 \text{ m} \quad (6)$$

А относителното разстояние  $r$ :

$$r = 1 - \sqrt{\frac{t_{cr} - 20}{1200}} = 0,409 \quad (7)$$

Тогава времето за разрушаване на плочата

$$P_f = \frac{1}{12 \cdot \alpha_{red}} \left( \frac{X^*}{r} \right)^2 = 1575 \text{ s} \quad (8)$$

Или  $P_f \approx 26,25 \text{ min}$ . Следователно при такъв пожар плочата може да се разруши за по-малко от половин час.

## АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Електрическите автомобили имат редица предимства, които ги правят привлекателни за много хора и компании. И тъй като броят на ЕПС нараства, може да се очаква повреди да се случват по-често. Така, при пожар от една страна отделянето на голямо количество енергия и топлина, което може да доведе до компрометиране здравината на сградата, ако електрическият автомобил гори в закрито помещение. От друга страна от батерията на електрически автомобил може да се отделят отровни вещества, особено ако батерията се нагрее до изключително високи температури или започне да гори. Най-често срещаните отровни вещества в такива случаи са газовете, освободени от електролитите и други компоненти на батерията при горене. Електролитът, който може да бъде органично разтворим и да съдържа химикали, като литиев хексафлуорофосфат, флуороводород, оксид на фосфора и др. Те имат потенциал да застрашат както околната среда, така и здравето на хората, които се намират в близост [13][14]. Най-често това са пожарникарите. Личните предпазни средства, които те използват, само намаляват вероятността от вдишване на отровните газове, а не я изключват напълно [7]. Самият процес по загасяване на ЕПС е много сложен в сравнение с МПС. Поради тези причини възникването на пожар в затворени помещения е особено опасно ако няма принудителна вентилация и пожарогасене. Законодателят предвижда наличието на тези системи в [1] чл.5 а.2 за подземни гаражи, когато броят на автомобилите на етаж или в гаражна клетка надвишава 10. Но от горните изчисления стана видно, че дори при наличието на един горящ електрически автомобил може да се срути горната хоризонтална стоманобетонна повърхност (плочата), което може да доведе до по-тежки последици относно здравината на сградата.[4][5] Всичко това показва необходимостта

от много строги превантивни мерки, контрол в практиката и нови подходи при строителството [6].

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

За да се повиши безопасността при експлоатиране на електрически автомобили при престоят и движението им в подземни и затворени гаражи трябва да задължително наличие на принудителна вентилация и пожарогасителна инсталация. Трябва да се въведат законодателно изисквания подобно на чл. 664 от [1], в според който паркирането на автомобили с автогазова уредба (АГУ) в подземни гаражи е позволено при наличие на проектирани зони за паркиране на автомобили с АГУ. В тези зони трябва да има газсигнализаторна система и вентилация. Аналогично в гаражите трябва да се създават зони за паркиране на електрически автомобили с наличие на аварийна вентилация, която до голяма степен ще изведе отровните газове и отчасти количество топлина от зоната на пожар. Използването на пожарогасителна система ще затрудни нагряването (чрез охлаждане, като най-често за гасенето се използва вода) на носещите конструктивни елементи на сградата до критичните им стойности на здравина.

Безопасността не е случайност - тя е резултат от правилни технически решения, превантивност и контрол, постоянен ангажимент, обучение и отговорност в практиката. В свят на непрекъснато развиващи се технологии, да предвидим и предотвратим рисковете е не само професионален дълг, но и морално задължение.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Наредба № Из-1971 от 29 октомври 2009 г. за строително-технически правила и норми за осигуряване на безопасност при пожар

2. Тодоров И., Тотев И., Даков Д., и Паничков Д, Пожароустойчивост и пожарозащита на строителни конструкции - София 1998г. ISBN 954-8792-30-3

3. Атанасов К., Грозданов К. - Лъчист топлообмен - теория и приложение - монография ISBN 978-954-92423-8-6

4. Първанов Ст. „Аварии в строителството“ – монография, ISBN 978-954-348-233-7

5. Първанов Ст. „Предизвикателства пред оценката на пожарната безопасност и защита при пожар, бедствия и извънредни ситуации“ – сборник научни доклади от

международна конференция в Академията на МВР, 3-4 октомври 2019г. част втора.

6. Първанов Ст. „Ново подходи и направления за подобряване на аварийната безопасност по време на строителството“ XII Международна научна конференция 8-10 септември Варна, ISSN 2683-071X

7. Илиев С., Особенности при експлоатацията на защитните облекла на пожарникарите – Сборник от доклади от годишна университетска научна конференция на НВУ „Васил Левски“, 2021г. ISSN 2376-4781

8. Antonov S. Grozdanov K. „Fire modelling and simulations in cramped space“ monograph, ISBN - 978-954-92423-6-2

9. Full-scale fire testing of battery electric vehicles - Sungwook Kang , Minjae Kwon, Joung Yoon Choi, Sengkwan Choi

10. The Five Grand Challenges” Available at:  
<https://breakthroughenergy.org/our-approach/grand-challenges/>

11. Why electric vehicles. Common questions about electric cars (EVs) and why you should consider an EV for your next car or truck.” Available at: <https://www.oceancrestmotors.com/why-electric-vehiclesevs>

12. Buser, M., Mahliss, J. (2016): Lithium Batterien. Brandgefahren und Sicherheitsrisiken. Effektive Schadenverhütung und wirksame Brandbekämpfung.

[https://www.riskexperts.at/fileadmin/downloads/Publicationen/Lithiumbatterien\\_\\_Sicherheitsratgeber\\_\\_BUSER\\_\\_Mahliss\\_\\_2016.pdf](https://www.riskexperts.at/fileadmin/downloads/Publicationen/Lithiumbatterien__Sicherheitsratgeber__BUSER__Mahliss__2016.pdf)

13. National Fire Protection Association (NFPA), “Electric Vehicle Fire Prevention, Mitigation, and Response”

14. International Association for Natural Gas Vehicles (IANGV), “Methane Vehicle Safety

15. IPCC (2018). “Global warming of 1.5°C”, Available at: <https://www.ipcc.ch/sr15/>

16. [https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BB%D0%BE%D0%B1%D0%B0%D0%BB%D0%BD%D0%BE\\_%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D1%8F%D0%BD%D0%B5](https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BB%D0%BE%D0%B1%D0%B0%D0%BB%D0%BD%D0%BE_%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D1%8F%D0%BD%D0%B5)

17. <https://www.bloombergtv.bg/a/4-analizi/114326-globalnite-prodazhbi-elektromobili-shte-se-zabavyat-prez-2023-g>

18. Electric vehicles: “the 3 main factors holding back sales”. Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2022/10/ev-sales-charginginfrastructure-transportsectorsustainable/#:~:text=Around%204.3%20million%20new%20battery,the%20year%20to%2010.6%20million.>

**АВТОР:**

д-р инж. Теодоси Генчев Цанков, Командир на екип в Седма РС ПБЗН – София, изследовател в ТУ-София по проекти на Европейската програма H2020.

Тел. 0879 850 739 E-mail: [teodosits@tu-sofiq.bg](mailto:teodosits@tu-sofiq.bg)