

Przegląd badań nad rozwojem pożaru w popularnych samochodach osobowych

Review of research on fire development in popular passenger cars

BARTOSZ MIECHÓWKA, WOJCIECH WĘGRZYŃSKI, GRZEGORZ KRAJEWSKI

DOI 10.36119/15.2024.1.2

Artykuł prezentuje przegląd badań nad rozwojem pożarów w pojazdach w kontekście ewolucji rynku samochodów osobowych w Europie, z uwzględnieniem wzrostu popularności SUV-ów i pojazdów elektrycznych. W pracy analizowane są kluczowe parametry opisujące przebieg pożaru, takie jak Szybkość Wydzielania Ciepła (HRR), Całkowite Wydzielone Ciepło (THR), efektywne ciepło spalania oraz czas do maksymalnej wartości HRR, porównując je w różnych typach pojazdów (ICEV, BEV, PHEV). Badanie podkreśla wyzwania w interpretacji rozwoju pożaru ze względu na jego zmienność i nieprzewidywalność, spowodowane czynnikami losowymi, takimi jak pęknięcia zbiornika paliwa czy zapłony baterii. Zaprezentowano analizę statystyczną, pokazującą, że sposób podpalenia pojazdu może mieć znaczący wpływ na wyniki badania. Głównym wnioskiem pracy jest podkreślenie podobnego przebiegu pożaru samochodów ICE i EV w zakresie PHRR i THR. Ponadto, analiza wskazała, że średnia wartość $H_{c,eff}$ wynosi 24 MJ/kg. Wnioski z analizy wskazują na potrzebę dalszych badań, a obecne krzywe rozwoju pożaru mogą wymagać rewizji. Słowa kluczowe: rozwój pożaru, garaż, samochody elektryczne, samochody osobowe, badania pożarowe

The paper presents a review of research on the development of vehicle fires in the context of the evolution of the passenger car market in Europe, taking into account the increasing popularity of SUVs and electric vehicles. The study analyzes key parameters describing the fire development, such as the Heat Release Rate (HRR), Total Heat Released (THR), effective heat of combustion, and time to maximum HRR, comparing them across different types of vehicles (ICEV, BEV, PHEV). The research highlights the challenges in interpreting fire development due to its variability and unpredictability, caused by random factors such as fuel tank ruptures or battery ignitions. A statistical analysis is presented, showing that the method of vehicle ignition can have a significant impact on the study results. The main conclusion of the study is to emphasize the similar fire progression of ICE and EV cars in terms of PHRR and THR. Furthermore, the analysis indicated that the average $H_{c,eff}$ value is 24 MJ/kg. The conclusions from the analysis indicate the need for further research, and the current fire development curves may require revision.

Keywords: fire development, car parks, electric vehicle, passenger vehicle, fire test

Wprowadzenie

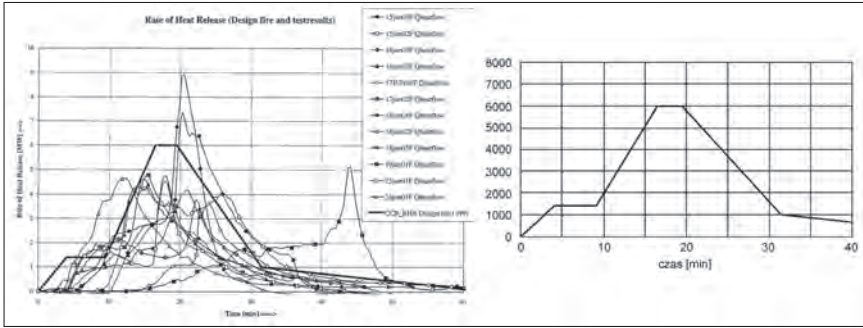
W ostatnich latach, struktura rynku samochodów osobowych w Europie, uległa zasadniczej zmianie. Według danych ACEA (fr. Association des Constructeurs Européens d'Automobiles) [1], w 2011 roku, dominującym typem samochodów sprzedawanych były auta małe segmentu A i B, a samochody typu SUV stanowiły jedynie 14% udziału. W roku 2020, udział samochodów typu SUV stanowił już 49% sprzedaży aut. Przemodelowanie rynku dotyczy również udziału samochodów elektrycznych [2]. W 2020 roku, udział samochodów elektrycznych zasilanych z baterii (BEV) w sprzedaży wyniósł 5,4%, a w 2022 roku wzrósł do 12,1%. W tym samym czasie, udział samochodów hybrydowych (HEV) oraz hybryd typu plug-in (PHEV) wzrósł z 17% do 32%, przeganiając tym samym samochody z silnikiem diesla. Sytuacja na rynku krajowym, według raportów PZPM [3], w ciągu ostatnich lat także uległa zmianie. W 2018 roku, odsetek samo-

chodów hybrydowych wyniósł 0,44%, a samochodów elektrycznych – 0,02%. W 2021 roku, udział samochodów hybrydowych wyniósł 1,64%, a samochody elektryczne – 0,97%. W tym okresie, obserwujemy również spadek popularności samochodów z auto segmentów A-D oraz gwałtowny wzrost zainteresowania samochodami typu SUV. Tym samym, tendencje zaobserwowane na rynku krajowym, powielają się z tymi obecnymi na rynku europejskim.

Wiedza na temat przebiegu pożarów samochodów zdobywana jest w badaniach pożarowych, wykonywanych w pełnej skali, a ich wyniki stanowią dane wejściowe do analiz rozwoju i skutków pożarów w obiektach, przeprowadzanych przez projektantów instalacji pożarowych. W celu usystematyzowania wiedzy, zebranej na przestrzeni lat w tym zakresie, autor dokonał analizy wyników badań dostępnych w literaturze, rozwijając wcześniejsze badania samochodów osobowych z 2013 r. [4]. Na potrzeby pracy przeanalizowano publikacje z lat

1990-2023, zawierające wyniki badań w pełnej skali.

Podstawowymi parametrami, możliwymi do wyznaczenia podczas badań pożarowych, są: szybkość wydzielania ciepła HRR (w kW, ang. HeatReleaseRate), nazywana także mocą pożaru; całkowite wydzielone ciepło THR (w GJ, ang. Total HeatReleased); efektywne ciepło spalania $H_{c,eff}$; oraz czas do osiągnięcia szczytowej wartości szybkości wydzielania ciepła, t_{PHRR} . Moc pożaru, nazywana czasem wzrostu pożaru, określa się na podstawie ubytku masy lub ilości zużytego przez pożar tlenu. Przedstawienie mocy pożaru (HRR) jako wartości zmiennej w funkcji czasu nazywamy „krzywą pożaru”. Dodatkowo, interesującym parametrem jest wartość szczytowa szybkości wydzielania ciepła, czyli PHRR (ang. PeakHeatReleaseRate), oraz czas, po jakim zostanie osiągnięta. THR reprezentuje całkowite wydzielone ciepło w trakcie trwania pożaru. W inżynierii bezpieczeństwa pożarowego parametr ten wykorzystywany jest do określenia gęstości

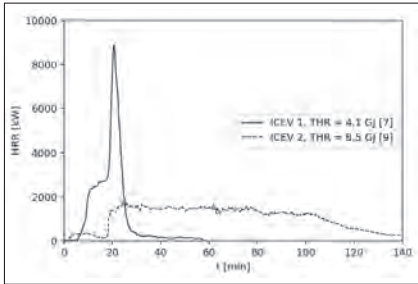


Rysunek 1. Od lewej, krzywa dla pojedynczego samochodu ze składowymi [7], odizolowana krzywa dla pojedynczego pojazdu [6]
Figure 1. From left, single-vehicle curve with components, isolated single-vehicle curve

obciążenia ogniowego poprzez podzielenie go przez pole powierzchni pożaru. Ciepło spalania (H_c) wyznacza się dla pojedynczych materiałów podczas spalania ich w czystym tlenie w bombie kalorymetrycznej. Jest to stosunek wydzielonej energii cieplnej do masy spalonego paliwa. Efektywny wariant parametru ($H_{c,eff}$) określany jest w warunkach niedoskonałego spalania w powietrzu dla mieszanki materiałów o niepełni znanym składzie, z których zbudowano próbkę (w tym przypadku samochod). W 2015 roku wytyczne ITB „Systemy wentylacji pożarowej garaży. Projektowanie, ocena, odbiór” [5] przywołały proponowane przez holenderską normę NEN-6098:2010 [6] krzywe rozwoju pożaru dla pojedynczego oraz dla trzech samochodów osobowych. Otrzymana krzywa dla pojedynczego pojazdu jest wynikiem uśrednienia wyników z różnych badania wykonanych w TNO [7]. Składały się one z 7 serii testów samochodów segmentu C w wynikach których uzyskano 12 pomiarów. Krzywą rozwoju pożaru według TNO zaprezentowano na rysunku 1. Krzywa ta jest dzisiaj podstawą projektową wielu garaży w Polsce.

Moc pożaru a ciepło wydzielone

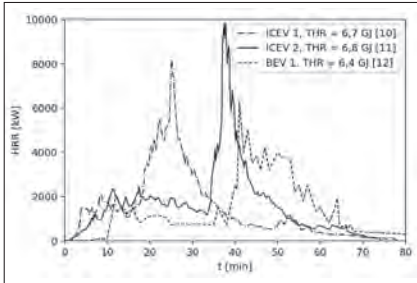
W praktyce projektowej szczególną uwagę zwraca się na maksymalną moc pożaru, która często warunkuje dobór systemów bezpieczeństwa pożarowego i rozwiązań techniczno-budowlanych. Nie jest to jednak jedyna zmienna definiująca skutki pożaru [8]. Duża wartość szczytowej szybkości wydzielania ciepła niekoniecznie świadczy o dużej ilości wydzielonego ciepła w całym pożarze. W zależności od maksymalnej mocy oraz czasu trwania pożaru, jego skutki dla obiektu i jego użytkowników będą różne. Na rysunku 2 zaprezentowano porównanie dwóch pożarów samochodów osobowych: jeden z nich charakteryzuje się szybkim wzrostem mocy pożaru do wartości 8,9 MW, ale relatywnie krótkim czasem trwania; z kolei drugi pożar posiada „płaski” przebieg o niższej mocy, ale długim czasie trwania. Wynikiem



Rysunek 2. Porównanie dwóch różnych przebiegów pożaru – krótkiego o dużej intensywności oraz długiego o niskiej intensywności na podstawie [7], [9]
Figure 2. Comparison of two different fire progressions – short with high intensity and long with low intensity based on [7], [9]

tego jest zjawisko, w którym pożar o prawie 5-krotnie większym PHRR osiągnął ponad 2-krotnie mniejszy THR.

Wyniki badań pożarów pojazdów są trudne w interpretacji z uwagi na sposób badania (konstrukcja i otoczenie kalorymetru) oraz zdarzenia (przebiecia baku, zapłon baterii, pęknięcie szyby itp.) występujące w różnych momentach badania. W wielu badaniach pożarowych obserwowany jest rozwój pożaru do osiągnięcia ustabilizowanej szybkości wydzielania ciepła około kilku megawatów (zazwyczaj poniżej 2 MW), a następnie, po jakimś czasie, następuje gwałtowny przyrost mocy pożaru do osiągnięcia wartości szczytowej. Na rys. 3 zaprezentowano zmienność mocy pożaru w trzech badaniach pożarowych, charakteryzujących się zbliżoną wartością THR (6.4 – 6.8 GJ), o podobnym przebiegu, ale zróżnicowanym czasie



Rysunek 3. Porównanie trzech pożarów samochodów o różnych przebiegach i podobnych THR na podstawie [10], [11], [12]
Figure 3. Comparison of three car fires with different progressions and similar THR based on [10], [11], [12]

do osiągnięcia szczytowej mocy pożaru. Z opisów badań wynika, iż pik pożaru nastąpił w momencie uszkodzenia szyb i pożaru wnętrza pojazdu (około 18. minuty w pożarze 1 i 40. minuty w pożarze 3), zbiornika z paliwem (w 35. minucie, pożar 2) lub baterii pojazdu (około 40. minuty, pożar 3). Zróżnicowanie to wskazuje na częściowo losowy przebieg pożaru pojazdu, cechujący się potencjalnie długim czasem inkubacji i rozwoju oraz gwałtownym przyrostem do mocy maksymalnej w wyniku objęcia pożarem części pojazdu zawierającej dużo potencjalnego paliwa (zbiornik z paliwem, wnętrze, bateria). Jednocześnie, to zróżnicowanie umożliwia statystyczne porównanie przebiegu zmienności w czasie pomiędzy różnymi badaniami czy wykorzystanie „wprost” wyniku pojedynczego badania w praktyce projektowej.

Moc pożaru a wielkość pożaru i napęd

Z uwagi na problemy wynikające z opisanej powyżej losowości i zmienności przebiegu pożaru, analizy statystyczne danych przedstawionych w literaturze przeprowadzono z podziałem na kategorie – dopuszczalnej masy całkowitej pojazdu [Małe (do 1400 kg), Średnie (od 1400 do 1650 kg), Duże (od 1650 do 1900 kg)] oraz typ napędu [ICEV (ang. Internal Combustion Engine Vehicle), BEV (ang. Battery Electric Vehicle), PHEV (ang. Plug-In Hybrid Vehicle)]. Wartości

Tabela 1. Analizy wyników badań spalania samochodów osobowych
Table 1. Analysis of the results of combustion studies of passenger cars

Parametr		Kategoria wagowa			Typ pojazdu		
		Małe	Średnie	Duże	ICEV	BEV	PHEV
PHRR [kW]	Średnia	4593	6745	7746	4942	6714	7975
	95 percentyl	8697	9171	11400	9412	9105	9700
	98 percentyl	9682	9581	12240	10251	9252	9880
THR [GJ]	Średnia	4,626	6,567	6,864	5,207	6,365	5,240
	95 percentyl	7,550	10,105	8,970	8,848	8,920	5,789
	98 percentyl	8,034	10,222	9,006	10,108	8,986	5,826
Średni t_{PHRR} [min]		23	17	13	24	13	8

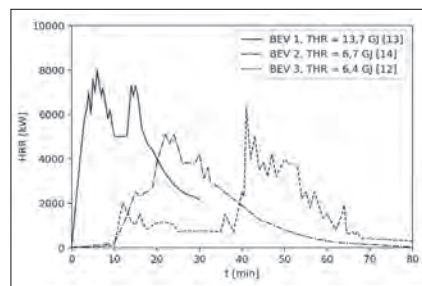
PHRR i THR dla poszczególnych kategorii zaprezentowano w Tab. 1.

Analiza wskazuje, że cięższe pojazdy cechują się wyższą szczytową mocą pożaru (PHRR). Spowodowane jest to prawdopodobnie zwiększaniem ilości materiału palnego względem lżejszych modeli. Zaobserwowany spadek wartości THR pomiędzy samochodami średnimi a dużymi spowodowany jest prawdopodobnie przebiegiem samego badania, tj. częstą koniecznością gaszenia samochodu przed pełnym wypaleniem z powodów bezpieczeństwa, co wynika zapewne z bardziej agresywnego przebiegu procesu spalania – odwzorowaniem tego jest wzrost parametru PHRR. Niestety, nie w każdym przypadku dostępne są dane o pozostałej masie pojazdu, co nie pozwala na potwierdzenie tej hipotezy.

Porównując wyniki uzyskane dla różnych typów samochodów, zaobserwowano, że maksymalne uzyskane wartości PHRR i THR są zbliżone do siebie dla wszystkich typów napędów. Analizując wyniki spalania samochodów hybrydowych, należy pamiętać, że wszystkie testowane samochody należały do segmentu SUV, co oznacza, że przebieg ich pożaru jest podobny do przebiegu pożaru samochodów spalinowych w tej samej klasie wagowej.

Analiza przebiegu badań z uwzględnieniem samochodów elektrycznych

Jak wspomniano wcześniej, osiągnięcie maksymalnej mocy pożaru pojazdu zazwyczaj pokrywa się z gwałtownym zdarzeniem, jak np. zapalenie zbiornika z paliwem czy zapalenie się baterii pojazdu. W przypadku pożarów pojazdów elektrycznych, opisanych w literaturze, zaobserwowano trzy różne przebiegi procesu spalania, zilustrowane na rys. 4. Pożar 1 rozpoczął się inicjalizacją poprzez duży palnik umiejscowiony pod spodem pojazdu (moc około 2 MW); w wyniku czego bateria pojazdu podjęła pożar w czasie około 6 minut, po



Rysunek 4.
Porównanie trzech przebiegów pożarów samochodów elektrycznych na podstawie [12], [13], [14]
Figure 4. Comparison of three progressions of electric car fires based on [12], [13], [14]

którym pożar osiągnął moc szczytową ($t_{peak} = 6$ min) [12]. W pożarze 2, źródło zapłonu także znajdowało się pod pojazdem, przy czym było znacznie mniejszej mocy (30 kW). Bateria podjęła pożar po czasie około 22 minut od rozpoczęcia badania, co także zbiega się w czasie z obserwacją piku mocy pożaru [13]. W pożarze 3, źródło zapłonu w postaci 80 g alkoholu, umieszczonego pod lewym tylnym błotnikiem pojazdu, znajdowało się z dala od baterii. W pożarze wpięty wziął udział przedział bagażnika (od około 10. minuty), następnie przedział pasażerski (od około 13. minuty), a sama bateria w około 40. minucie badania [14]. Zapłon baterii zbiegł się w czasie z wypadnięciem przedniej szyby i gwałtownym rozwojem pożaru w przedziale pasażerskim. Jak wskazuje przebieg powyżej opisanych pożarów, rozwój pożaru nie zależy zatem wyłącznie od cech konstrukcji pojazdu, ale także od sposobu prowadzenia badania (lokalizacja, wielkość źródła pożaru) oraz od zdarzeń następujących w trakcie rozwoju pożaru.

Uwzględnienie lokalizacji źródła pożaru

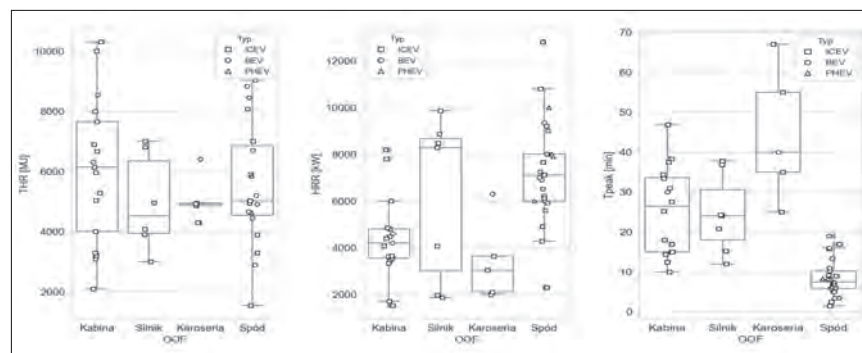
Aby w pełniejszy sposób zrozumieć zróżnicowanie w wynikach badań pożarowych pojazdów, wynikające z różnic w procesie badawczym, zgromadzone dane statystycz-

ne przeanalizowano w grupach według parametru lokalizacji źródła pożaru, OOF (ang. Origin of Fire). Dane porównano z uwzględnieniem typów pojazdów, jak również ich masy. Wyróżniono cztery lokalizacje źródła pożaru:

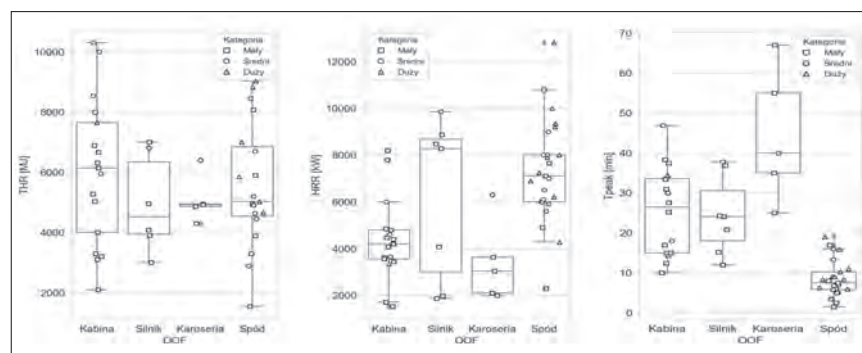
- Kabina pojazdu (wnętrze, miejsce przebywania użytkowników wliczając przestrzeń bagażnika);
- Komora silnika;
- Karoseria (pożar zapoczątkowany powierzchniowo np. poprzez oblanie samochodu cieczą palną lub od palnych jej elementów jak np. zderzak czy ramka tablicy rejestracyjnej);
- Od spodu pojazdu (palnik znajduje się pod pojazdem w pobliżu zbiornika z paliwem lub baterii).

Najwięcej badań wykonywanych jest poprzez podpalanie pojazdu od spodu. Zaobserwowano, że metoda ta przyspiesza rozwój pożaru, a co za tym idzie, podnosi niektóre parametry, takie jak moc pożaru oraz skraca czas do osiągnięcia wartości szczytowej. Nie wpływa jednak w znaczący sposób na THR, które zależy w zasadzie wyłącznie od ilości materiałów palnych w pojeździe. Wpływ doboru miejsca podłożenia ognia na parametry pożaru względem typu pojazdu prezentuje korelacja na rysunku 5

Analiza powyższych raportów z badań wskazuje, że wiele z badań samochodów elektrycznych oraz hybrydowych zostaje



Rysunek 5.
Korelacje pomiędzy parametrami mierzonymi a miejscem podłożenia ognia, typ napędu
Figure 5. Correlations between the measured parameters and origin of fire, vehicle type



Rysunek 6.
Korelacje pomiędzy parametrami mierzonymi a miejscem podłożenia ognia, kategoria wagowa
Figure 6. Correlations between the measured parameters and origin of fire, weight category

przeprowadzone przy użyciu metody, potencjalnie wpływającej na uzyskane wyniki. Głównymi powodami takiego rozwoju pożaru jest zazwyczaj duża moc początkowa palnika, sięgająca nawet kilku megawatów [9], oraz ułatwiony dostęp pożaru do paliwa pojazdów spalinowych oraz baterii pojazdów elektrycznych. Sytuacja jest podobna, gdy zobrazujemy relację pomiędzy OOF a parametrami pożaru z uwzględnieniem kategorii wagowej. Wpływ doboru miejsca podłożenia ognia na parametry pożaru względem kategorii wagowej zaprezentowano na rysunku 6.

Większość samochodów z kategorii wagowej średniej oraz dużej była badana przy użyciu metody podpalania od spodu pojazdu. Na wyszczególnienie zasługuje fakt, że badania małego samochodu spalinowego, metodą podpalania od spodu, osiągnęły większą moc niż jakiegokolwiek inne badanie z wykorzystaniem innego miejsca podłożenia ognia. Jedynym badaniem, którego moc przewyższała przywołany wcześniej przypadek, był pożar dużego samochodu spalinowego, również podpalonego metodą od spodu. Dodatkowo, wątpliwość reprezentatywności wyników prezentuje korelacja t_{PHRR} , która obrazuje nawet kilkukrotnie krótszy czas do osiągnięcia maksymalnej mocy pożaru przy użyciu metody podpalenia od spodu względem innych metod.

Uwzględniając powyższe zastrzeżenia, analizę parametrów badań względem typów pojazdów przeprowadzono podobnie, ale z wykluczeniem badań wykonanych metodą podpalenia od spodu pojazdu. Wyniki analizy prezentuje tabela 2.

Tabela 2. Analizy wyników badań z wykluczeniem metody podpalenia od spodu
Table 2. Analysis of study results excluding the method of ignition from below vehicle

Parametr		Typ pojazdu			Różnica względem tab. 1 [%]		
		ICEV	BEV	PHEV	ICEV	BEV	PHEV
PHRR [kW]	Średnia	4871	5033	-	-1,42	-25,03	-
	95 percentyl	8619	6130	-	-8,43	-32,67	-
	98 percentyl	9206	6232	-	-10,20	-32,64	-
THR [GJ]	Średnia	5,612	7,085	-	7,78	11,31	-
	95 percentyl	10,120	8,326	-	14,38	-6,66	-
	98 percentyl	10,300	8,454	-	1,90	-5,92	-
Średni tpeak		27	35	-	10,85	178,41	-

Po wykluczeniu z bazy badań, w których zapłon ma miejsce od spodu pojazdu, zaobserwowano istotną zmianę uzyskanych wyników dla pojazdów elektrycznych. Średnia moc pożaru zmalała o 25%, a maksymalne wartości o 32,6%. Ponadto obserwujemy wzrost średniego THR. W przypadku samochodów spalinowych zmiany nie są aż tak znaczące i wahają się w granicach spadku do 10% oraz wzrostu do 14%. Samochody hybrydowe zostały zbadane jedynie z wykorzystaniem metody podpalania od spodu.

Zestawiając moc pożaru uzyskaną podczas spalania pojazdów spalinowych oraz elektrycznych oraz porównując je do odfiltrowanych wyników, zauważono, że większy

wpływ na maksymalną moc pożaru ma sam jego przebieg niż rodzaj napędu czy masa pojazdu. Sytuacja prezentuje się odmiennie dla wartości THR. W tym przypadku głównym czynnikiem warunkującym jest sposób przeprowadzenia badania (lokalizacja zapłonu) oraz to, czy samochód został wygaszony przed całkowitym wypaleniem. Użyte w ramach analiz wartości PHRR oraz THR wskazują, że pożary samochodów spalinowych mogą mieć gorszy przebieg od pożarów samochodów elektrycznych. Przy wykluczeniu metody podłożenia ognia od spodu pojazdu można stwierdzić, że średni pożar zarówno ICEV, jak i BEV generuje zbliżoną moc pożaru. Dodatkowo, na podstawie danych zebranych na potrzeby przeglądu, udało się określić średnie efektywne ciepło spalania, które wyniosło około 24 MJ/kg. Pomimo zebranej dużej ilości danych, istnieje potrzeba przeprowadzenia większej liczby badań nad rozwojem pożarów w czasie – w szczególności pojazdów typu SUV. Jednocześnie samochody elektryczne mogą wymagać korekty istniejących krzywych z uwagi na możliwy szybki rozwój pożaru zainicjowanego w baterii.

Podsumowanie i kierunki zmian

Na podstawie wykonanej analizy stwierdzono następujące wnioski:

- Dotychczas przyjmowanie krzywe pożarów samochodów przedstawione w wytycznych ITB [5], ze względu na wzrost masy pojazdów oraz udziałów samochodów SUV w strukturze rynku, mogą wymagać rewizji. Zakładana w wytycznych

maksymalna moc pożaru wynosi 6 MW, a moc pożaru odpowiadająca 95-temu percentylowi pożarów samochodów spalinowych wynosi 8,6 MW.

- Na podstawie zebranej dużej ilości próbek określono efektywne ciepło spalania samochodów jako 24 MJ/kg, z odchyleniem standardowym 6,8 MJ/kg.
- Przebieg pożaru pojazdu EV jest zbliżony do pożarów pojazdów ICE. Zarówno w jednym jak i drugim przypadku może wystąpić gwałtowny rozwój pożaru w jego wczesnej fazie, czego nie uwzględniają dzisiejsze krzywe.
- Krzywe z badań w których źródło pożaru zostało umiejscowione pod pojazdem

są obarczone niepewnością wynikająca ze sposobu prowadzenia badania. Wpływa na to między innymi czas po którym pożar obejmuje zbiornik paliwa lub baterię samochodu, a przez to na szybsze osiągnięcie piku mocy pożaru.

- Na potrzeby projektowe (ocena gęstości obciążenia ogniowego) parkingów i garaży uzasadnione wydaje się być przyjęcie całkowitej energii wydzielonej jako 10 GJ na pojazd.

Finansowanie pracy

Praca finansowana ze środków Narodowego Centrum Nauki (NCN) w ramach projektu OPUS19 pt. „Skutki oddziaływania wiatru na pożary budynków w wieloparametrycznej ocenie ryzyka z wykorzystaniem metod numerycznych” prowadzonej przez dr hab. inż. Wojciech Węgrzyńskiego prof. ITB na podstawie umowy nr UMO-2020/37/B/ST8/03839 w Instytucie Techniki Budowlanej.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <https://www.acea.auto/figure/fuel-types-of-new-passenger-cars-in-eu/>; dostęp z 18.12.2023;
- [2] <https://www.acea.auto/figure/fuel-types-of-new-passenger-cars-in-eu/>; dostęp z 18.12.2023;
- [3] <https://www.pzpm.org.pl/pl/Rynek-motoryzacyjny/Roczniki-i-raporty>; dostęp z 19.12.2023
- [4] Węgrzyński W., Krajewski G. (2014). „Wykorzystanie narzędzi inżynierii bezpieczeństwa pożarowego w projektowaniu i odbiorze systemów wentylacji pożarowej garaży zamkniętych”, CNBP; DOI:10.12845/biip.36.4.2014.15
- [5] Węgrzyński W., Krajewski G. „Systemy wentylacji pożarowej garaży. Projektowanie, ocena, odbiór”, Instrukcja ITB 493/2015
- [6] NEN 6098:2010 Rookbeheersingssysteemenvormechanischgeventileerdeparkeergarages
- [7] Van Oerle, N., Lemaire, A. and van de Leur, P. (1999). „Effectiveness of Forced Ventilation in Closed Car Parks (in Dutch)”, TNO Report No. 1999-CVB-RR1442, TNO, Delft, the Netherlands.
- [8] Węgrzyński W. (2021) „Wentylacja pożarowa garaży zamkniętych w świetle pożarów pojazdów elektrycznych”. Instal 7/8, str. 27-32, DOI:10.36119/15.2021.7-8.4
- [9] Anonymous (2004). „CTICM Fire Tests on Cars”, CTICM, Metz, France.
- [10] Joyeux, D. (1997). „Natural Fires in Closed Car Parks: Car Fire Tests”, CTICM Report No. INC 96/294d DJ/NB, CTICM, Metz, France
- [11] Joyeux, D. i in. (2002). „Demonstration of Real Fire Tests in Car Parks and High Buildings”, Final Report, Contract No. 7215 PP 025, CTICM, Metz, France
- [12] Watanabe N. i in. (2012) „Comparison of fire behaviors of an electric-battery-powered vehicle and gasoline-powered vehicle in a real-scale fire test”, Second International Conference on Fires in Vehicles, September 27-28, Chicago, USA
- [13] Dean D. MacNeil (2015). „Electric Vehicle Fire Testing”, 8th EVS-GTR Meeting, Washington, USA June 1-5, 2015
- [14] Willstrand O. i in. (2020). „Toxic Gases from Fire in Electric Vehicles”, Research Institutes of Sweden, RISE Report 90/2020