

Wentylacja pożarowa garaży zamkniętych w świetle pożarów pojazdów elektrycznych

Smoke control of car parks with electric vehicles

WOJCIECH WĘGRZYŃSKI

DOI 10.36119/15.2021.7-8.4

W artykule przedstawiono porównanie zagadnień związanych z pożarami pojazdów spalinowych i elektrycznych, w kontekście działania systemów wentylacji pożarowej garaży. Jako kluczową różnicę zidentyfikowano wczesny etap rozwoju pożaru, w trakcie którego płonący pojazd EV może szybciej osiągnąć dużą moc pożaru, względem pojazdów konwencjonalnych. Przedstawiono wyniki wieloparametrycznych analiz CFD wskazujących na zapewnienie właściwej wysokości garażu, a przez to odpowiedniej pojemności zbiornika dymu, jako czynnik o największym wpływie na bezpieczeństwo użytkowników garażu.

Słowa kluczowe: garaż, pożar, wentylacja pożarowa, pojazdy elektryczne (EV)

The paper contains a comparison of the challenges related to the fires of internal combustion engine vehicles (ICEV) and electric vehicles (EV) in car parks, focused on the issues with effective smoke control. The primary differences were identified in the early growth of fire phase, in which the EV fire can grow faster compared to the ICEV. Results of a multiparametric CFD study are shown, illustrating the role of car park height as the most influential variable related to the safety of the car park occupants.

Keywords: car park, fire, smoke control, electric vehicles (EV)

Wprowadzenie

W świetle pędzących zmian w sposobach transportu, które szeroko można nazwać rewolucją elektromobilności, należy przyjąć, że każdy powstający dzisiaj garaż czy inny obiekt infrastruktury transportu powinien być przygotowany na pożar pojazdu elektrycznego. Społeczeństwo, politycy, producenci – wszyscy wydają się podzielać pogląd, że zwiększenie liczby pojazdów elektrycznych jest pożądane. Stawiane są ambiitne cele na najbliższe dekady, w tym zaprzestanie produkcji i rejestracji pojazdów spalinowych i zastąpienie ich pojazdami elektrycznymi. Podąża za tym legislacja, już dzisiaj uwzględniająca konieczność zaopatrzenia nowo powstających budynków w instalacje służące ładowaniu pojazdów elektrycznych. Infrastruktura obiektów użyteczności publicznej doposażana jest w miejsca szybkiego ładowania, co ma na celu przyciągnąć klientów, którzy czas ładowania ich pojazdu spędzą w obiekcie na zakupach czy konsumpcji. Z kolei postęp w technologiach magazynowania energii elektrycznej zapewnia coraz większy zasięg pojazdów elektrycznych, zbliżając go do zasięgu pojazdów spalinowych.

Powyższe sprawia, że znajdujemy się w przededniu rewolucji w prywatnym transporcie drogowym. Jednocześnie, w niepewności stoimy przed wyzwaniem – skoro pojazdy elektryczne już dzisiaj stają się codziennością w garażach czy innych obiektach infrastruktury transportu, to czy powinniśmy rozważyć je w kategorii zwiększonego ryzyka pożarowego? Medialny obraz przebiegu pożaru pojazdu elektrycznego można określić jako co najmniej alarmistyczny. Z relacji medialnych wiemy, że pożary mogą przebiegać w sposób gwałtowny, cechuje je wyrzut gazów w formie strumienia płomieni „jet fire”, są niezwykle toksyczne i jednocześnie trudne do ugaszenia. Patrząc na całokształt zagrożeń z perspektywy naukowej, należy jednak wziąć pod uwagę, że doniesienia medialne są zazwyczaj ograniczone do najbardziej ekstremalnych zdarzeń, być może nie reprezentatywnych dla całokształtu zagrożeń w zakresie przebiegu pożaru pojazdu elektrycznego.

W niniejszej publikacji postaram się przybliżyć różnice i podobieństwa pomiędzy pożarami pojazdów elektrycznych (EV) i z silnikami spalinowymi (ICEV). Nacisk położony zostanie na

problematyce wczesnego etapu rozwoju pożaru, nad którym badania prowadzono w ITB przez ostatnie dwa lata. Przedstawione zostaną wyniki naszych badań, wraz ze wstępnymi zaleceniami praktycznymi dot. projektowania nowych garaży przeznaczonych do parkowania pojazdów elektrycznych.

Požary pojazdów

Analizując społeczny odbiór medialnego obrazu pożarów pojazdów elektrycznych, oraz na podstawie rozmów z projektantami, rzeczoznawcami czy strażakami, mogę postawić dwie tezy:

- (1) Społeczeństwo wydaje się przeceniać zagrożenia związane z pożarami pojazdów EV;
- (2) Społeczeństwo wydaje się nie doceniać zagrożeń związanych z pożarami pojazdów ICEV.

W związku z powyższym, przed omówieniem problematyki pożarów pojazdów elektrycznych najpierw należy omówić kilka ogólnych zagadnień związanych z pożarami samochodów osobowych (bez względu na źródło energii). Przebieg pożaru najłatwiej przedstawić w formie tzw. krzywej rozwoju pożaru, czyli w formie

wykresu mocy generowanej przez pożar w funkcji czasu. Ponieważ skutki pożaru są skorelowane z jego mocą, już sam opis zmiany mocy pożaru pozwala wysnuć wnioski, co do skutków tego pożaru w przestrzeni garażu. Nasza wiedza w tym zakresie powstaje w badaniach pożarowych w pełnej skali, prowadzonych w tzw. kalorymetrach. Wychodząc z pomiaru ubytku tlenu w strumieniu gazów pożarowych, możliwe jest określenie masy tlenu jaka brała udział w reakcji spalania, a dzięki temu określić całkowitą energię wyzwoloną w reakcji spalania. Przegląd badań w tym zakresie przedstawiłem w [1]. Analiza poszczególnych badań wskazuje, że pożar pojazdu nie ma jednego, uniwersalnego przebiegu. Zupełnie różny będzie pożar w komorze silnika od pożaru w przedziale pasażerskim. Inny będzie wynik pożaru pojazdu z otwartymi lub zamkniętymi oknami. W końcu, zupełnie inny przebieg będzie miał pożar powstały w wyniku np. przegrzania hamulców od pożaru na skutek podpalenia cieczy palnej pod zbiornikiem paliwa. To zróżnicowanie sprawia niebywałą trudność w doborze „uniwersalnego” pożaru opisującego szerokie spektrum zagrożeń z jakimi możemy się spotkać. Z drugiej strony, w praktyce projektowej, musimy posłużyć się jakimś pożarem kompromisowym, który pozwoli z właściwym marginesem bezpieczeństwa odzwierciedlić przebieg najbardziej niebezpiecznego rozwoju pożaru. W wytycznych ITB 493/2015 [2] zaproponowaliśmy wyko-

rzystanie pożaru projektowego z normy NEN 6098 [3], który z kolei powstał w odniesieniu do wyników badań pożarowych TNO [4], rys. 1.

W naszej ocenie krzywa TNO jest wygodna w codziennym stosowaniu, z uwagi na rozdzielenie na okres względnie małego pożaru (do 9 minuty) oraz późniejszy rozwój pożaru do pełnej mocy. Pozwala to na wygodną ocenę warunków w czasie ewakuacji oraz w czasie w pełni rozwiniętego pożaru pojazdu w chwili rozpoczęcia działań gaśniczych. Krzywa TNO jest wynikiem jednego eksperymentu, i nie można powiedzieć, że pożar pojazdu z całą pewnością rozwinie się w ten sposób. W szczególnych warunkach rozwój pożaru pojazdu spalinowego może być większy i bardziej gwałtowny, przy czym nastąpi to w wyniku zdarzeń mało prawdopodobnych (podpalenie tapicerki przy otwartych oknach, celowe rozszczelnienie pełnego zbiornika z paliwem itp.), co pokazano m.in. w niedawnych badaniach RISE [5]. Jednocześnie pożar pojazdu wg TNO jest zbliżony do wyników innych badań pożarowych, zarówno w pierwszej części pożaru ustabilizowanego na niskiej mocy, jak i w pikie. W naszej ocenie, krzywa ta wciąż jest dobrym opisem pożaru na potrzeby projektowania systemów wentylacji pożarowej. Można zatem uznać ją za **krzywą referencyjną** i stanowi ona dla nas punkt odniesienia do analiz skutków pożarów pojazdów elektrycznych.

Różnice w pożarach pojazdów elektrycznych i spalinowych

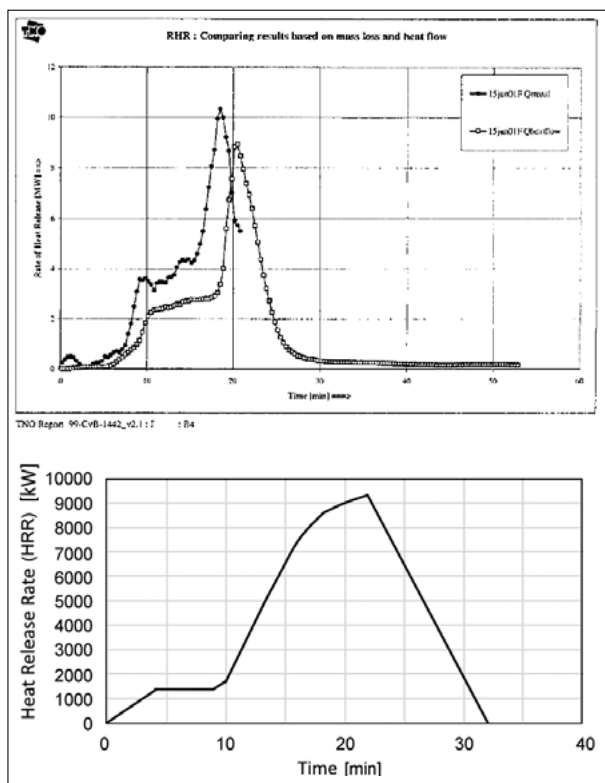
Aby ocenić rzeczywiste różnice w przebiegu pożaru pojazdu elektrycznego i spalinowego, dla uproszczenia możemy rozważania te rozdzielić na trzy niezależne problemy badawcze:

- (1) Czy prawdopodobieństwo pożaru EV jest większe?
- (2) Czy pożar EV rozwija się szybciej?
- (3) Czy pożar EV jest większy?

Najłatwiej odpowiedzieć jest na trzecie z pytań. W świetle przeglądu literatury [6] można stwierdzić, że całkowita energia wydzielona w pożarze pojazdu elektrycznego, jak i wartość szczytowa generowanej mocy pożaru są zbliżone do wartości notowanych w pożarach pojazdów spalinowych. Oznacza to, że obiekt projektowany na typowy pożar o mocy 8 MW (jak dla pojazdu spalinowego) w chwili osiągnięcia przez pożar pojazdu EV jego maksymalnej mocy, powinien być w stanie poradzić sobie z tym zagrożeniem w sposób zbliżony. Oczywiście, skład spalin może być inny (ze szczególnym podkreśleniem zwiększonej zawartości fluorowodoru), sam przebieg pożaru może obejmować nietypowe zjawiska (pożar 'jet-fire') oraz mogą pojawić się trudności ze skutecznym ugaszeniem płonącej baterii. Mimo wszystko, z uwagi na wentylację pożarową będzie to zagrożenie zbliżone do pożaru pojazdu spalinowego.

W odniesieniu do prawdopodobieństwa wystąpienia pożaru pojazdu elektrycznego, niestety nie posiadam w chwili obecnej wiarygodnych danych pozwalających na jednoznaczne stwierdzenie częstotliwości tych zdarzeń. Na niepewność w tym zakresie wpływa również galopująca technologia budowy ogniw elektrycznych, co sprawia, że badania w tym zakresie sprzed 5-10 lat trudno uznać za aktualne. Jednocześnie, ponieważ w projektowaniu systemów bezpieczeństwa pożarowego pożar uznajemy za zdarzenie pewne (projektujemy systemy przygotowane na powstanie pożaru), w odniesieniu do projektowania systemów wentylacji samo prawdopodobieństwo jego wystąpienia ma nieco mniejsze znaczenie.

Pozostaje odpowiedź na ostatnie pytanie – „czy pożar EV rozwija się szybciej”? Dotychczasowe badania, także te omówione w [6], wskazują na możliwość szybkiego rozwoju pożaru w wyniku kaskadowej awarii ogniw baterii. Wówczas w krótkim okresie dochodzi do uwolnienia dużej ilości palnych gazów, które wyrzucane są z baterii poprzez zawory upustowe lub nieuszczelnności jej obudowy, a po zapłonie



Rys. 1. Powyżej – wyniki badań pożarowych TNO [4], poniżej – krzywa rozwoju pożaru w ITB 493/2015 [2]

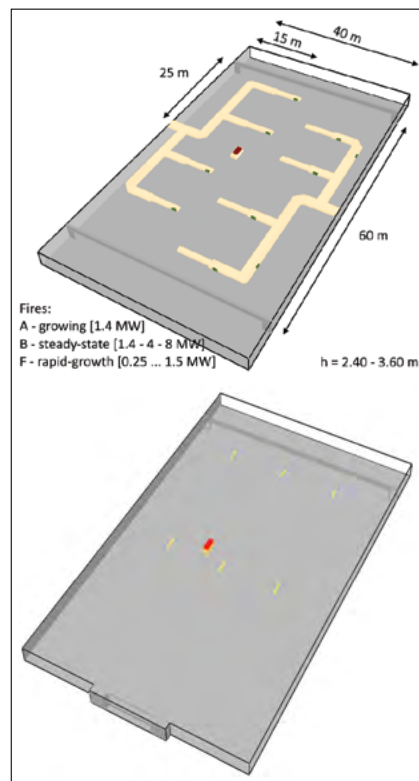
są w stanie w krótkim czasie wygenerować dużą ilość ciepła. Nie dysponujemy jednoznacznym opisem mocy pożaru tego zjawiska, gdyż charakter uwalnianego strumienia (kształt, ciśnienie, zasięg) są związane zarówno z budową samej baterii, jak i sposobem jej montażu i obudowania w pojeździe. Pewną anegdotyczną wiedzę przynoszą nagrania wideo pożarów pojazdów elektrycznych. Na potrzeby naszych badań, moc takiego pożaru oszacowaliśmy w przedziale od 250 kW do 1500 kW. Należy tu podkreślić, że mówimy tylko o pożarze gazów wyrzucanych z baterii. Konsekwencją tego zdarzenia może być przeniesienie pożaru do przestrzeni pasażerskiej, po czym pożar może osiągnąć o wiele większą moc.

Wyniki badań w zakresie pożarów o szybkim przebiegu

W celu oceny różnic w przebiegu pożaru referencyjnego (krzywa TNO), pożaru typu „fast” [7] oraz pożarów szybko rozwijających się (imitujących szybki rozwój pożaru pojazdu EV) zaprojektowano krzywe rozwoju pożaru przedstawione na rys. 2. Moc pożarów szybko rozwijających się rosta do wartości zadanej (od 250kW do 1500kW w zależności od scenariusza) w około 30 s. Jako odniesienie do analizy wyników można stwierdzić, że zaprojektowany przez nas pożar osiągnął moc 750 kW w czasie pierwszych czterech minut analizy wydziela

zblizoną ilość dymu i ciepła co referencyjny pożar krzywej fast (obydwa rozwijane do mocy ok. 1,40 MW). W każdym z naszych pożarów współczynnik generacji sadzy (tzw. soot yield) wynosił 0,1 g/g [8] a efektywne ciepło spalania 25 MJ/kg. Obydwa parametry wymagają uszczegółowienia w przyszłości, uwzględniającego fizykochemię spalania gazów wydzielanych w przebiegu awarii ogni. W obecnej chwili wartości tych nie różnicowano, uznając to za uzasadnione uproszczenie rozważań. Podobnie, nie modelowano konwekcji wymuszonej przepływem „jet-fire”, co będzie kolejnym krokiem badań prowadzonych w tym obszarze w ITB.

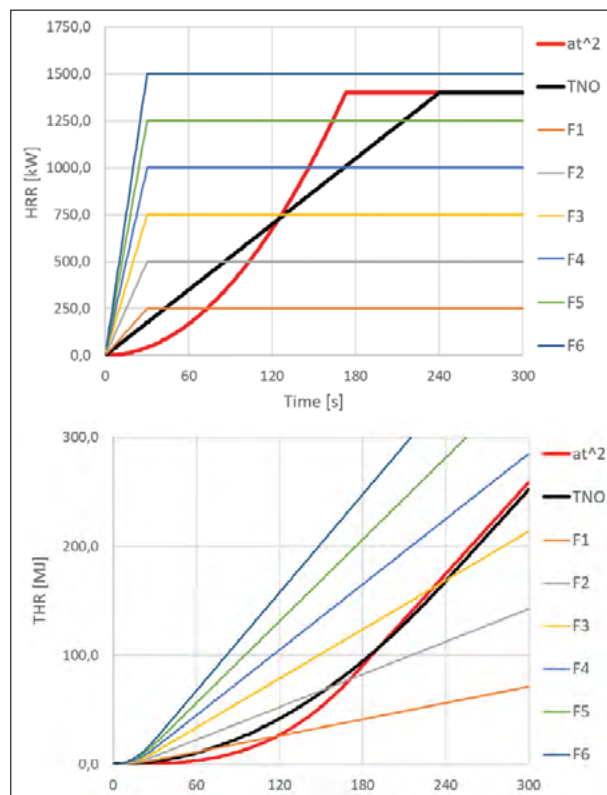
Badania prowadzono w prostokątnym garażu o wymiarach 40 m x 60 m i wysokości 2,40 m, 2,70 m, 3,00 m, 3,30 m lub 3,60 m. W garażach wykonano modele systemów wentylacji kanałowej i strumieniowej. W przypadku wentylacji kanałowej analizowano systemy o sumarycznej wydajności wyciągu 17 m³/s, 34 m³/s i 50 m³/s. W przypadku wentylacji strumieniowej analizowano system z samymi jet-fanami (siła ciągu 50N) i ścianą otwartą, oraz systemy z dodatkowym wyciągiem mechanicznym o wydajności 44 m³/s, 66 m³/s lub 88 m³/s. Do celów porównawczych przeprowadzono także symulacje bez systemów wentylacji. Odnosząc się do wyników analiz zawartych w [10], w niniejszych symulacjach nie uwzględniano obecności pojazdów w garażu. In-



Rys. 3. Przykładowe modele garaży z wentylacją przewodową (powyżej) oraz strumieniową (poniżej)

nych parametrów nie różnicowano. Użytkowano łącznie 480 kombinacji parametrów wejściowych, które badano z wykorzystaniem metody CFD oraz oprogramowania FDS.

Z przeprowadzonych analiz wynika, iż wysokość garażu jest zmienną o największym znaczeniu dla bezpieczeństwa użytkowników garażu podziemnego z pojazdami EV. Bezpieczeństwo to określane jest zazwyczaj w trakcie analizy Wymaganego i Dostępnego Czasu Bezpiecznej Ewakuacji (WCBE i DCBE), w trakcie której oceniane są warunki środowiska na wybranej płaszczynie oceny. Wysokość oceny wybierana jest arbitralnie, przy czym zazwyczaj mieści się w zakresie od 1,60 do 2,00 m (w naszej praktyce zawodowej jest to najczęściej – 1,80 m). Ponieważ dym utrzymuje się pod stropem garażu w tzw. poduszce gorącego dymu (warstwie dymu) o grubości zbliżonej do 1 m, w przypadku garaży o zbyt niskiej wysokości utrzymanie dymu powyżej płaszczyzny oceny jest niemożliwe. Jednocześnie, podniesienie wysokości garażu skutkuje podniesieniem warstwy dymu, co bezpośrednio poprawia warunki ewakuacji. Choć powyższe wydaje się być oczywiste, zależność pomiędzy wysokością garażu a bezpieczeństwem nie jest uwzględniona w normach projektowych systemów wentylacji pożarowej. Z racji przyjętych uproszczeń w modelach osiowo-symetrycznej kolumny



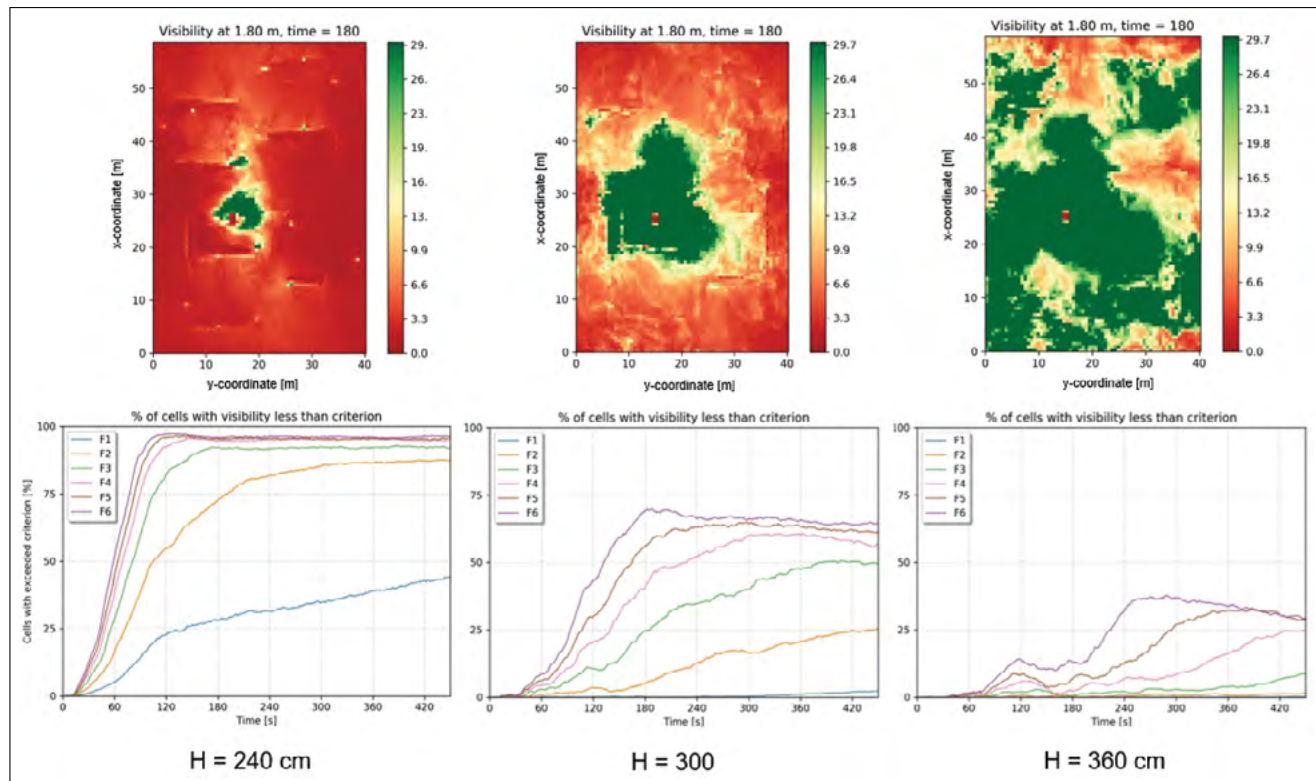
Rys. 2. Powyżej – krzywe rozwoju pożaru przyjęte w analizach CFD [kW], poniżej – całkowita energia wydzielona w pożarze w funkcji czasu [MJ] [9]

dymu [11] wraz ze wzrostem wysokości garażu wzrasta wymagana wydajność systemu oddymiania. System oddymiania o jednej wydajności powinien zatem dawać coraz gorsze rezultaty w coraz to wyższych garażach, podczas gdy w naszych badaniach wykazano, iż jest odwrotnie.

W przypadku prowadzonych przez nas analiz dla najniższych garaży (2,40 m), bez względu na zastosowany system wentylacji, nie uzyskiwano satysfakcjonujących warunków środowiska (temperatura, widzialność). Na rys. 4 przedstawiono porównanie zmiany % powierzchni garażu w jakiej odnotowano przekroczenie

nieakceptowalne. Porównanie wyników symulacji bez i z wentylacją (kanałowa o wydajności 34 m³/s, garaż o wysokości 2,70 m) przedstawiono na rys. 5. Jak wynika z tej analizy, przy pożarze szybko rozwijającym się o mocy 750 kW, wyniki są zbliżone do wyników symulacji z pożarem referencyjnym. W przypadku pożarów szybko rozwijających się o większej mocy, wyniki analiz dla tych pożarów są zdecydowanie gorsze od referencyjnych. Ponieważ nie znamy mocy pożaru samej baterii, trudno w tej chwili przewidzieć skutki takiego pożaru w garażu. Jednocześnie, opierając przewidywania wyłącznie

ce wyniki analiz uzyskiwaliśmy w garażach o wysokości 3,00 m i wyższych, rys. 6. Oznacza to, że garaże wysokie cechuje większe bezpieczeństwo w odniesieniu do pożarów szybko rozwijających się, bez względu na rodzaj wykorzystanego systemu wentylacji. Co więcej, w analizach dla garaży niskich obserwowaliśmy znikome różnice pomiędzy symulacjami z systemami wentylacji o różnych parametrach. Różnice te były istotne dopiero w wysokich garażach. Oznacza to, że może nie być możliwe zrekomensowanie niewystarczającej wysokości garażu większym systemem wentylacji (pomijając tu oczywiście



Rys. 4. Widzialność w dymie (0 – 30 m) oraz część komórek, w których zaobserwowano przekroczenie wartości granicznej (10 m) wyrażone w procentach, w funkcji czasu, dla garaży o różnej wysokości oraz pożarów o różnych mocach. Garaż o wysokości 2,70 m wentylowany naturalnie

krytycznych warunków środowiska z uwagi na ewakuację, w funkcji czasu. Pożary oznaczono indeksami od F1 do F6, co oznacza pożary szybko rozwijające się o mocach od 250 kW do 1500 kW (oznaczenia kolejne, skok co 250 kW). W garażu niskim, już po 60 sekundach obserwowane są przekroczenia w ponad połowie jego powierzchni, dla trzech badanych pożarów. W przypadku garażu wysokiego, pomimo braku systemu wentylacji mechanicznej, warunki środowiska utrzymują się na poziomie akceptowalnym w większości garażu przez 2-4 minuty.

Wprowadzenie systemu wentylacji w garażach o wysokości 2,40 m, nie wpływa na wyniki oceny, które są wciąż

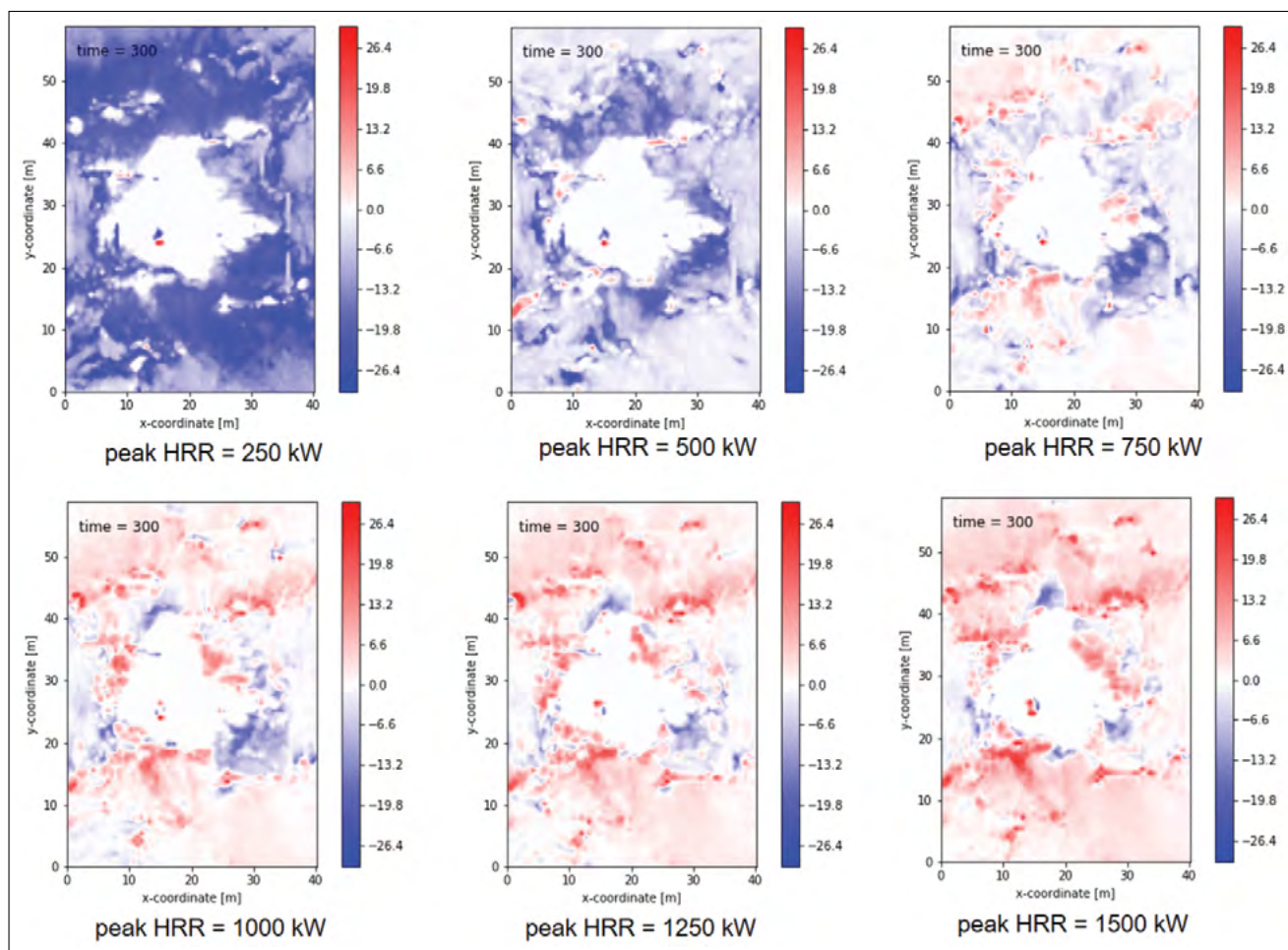
na nagraniach wideo pożarów pojazdów EV, można spodziewać się, że moc ta będzie większa niż 1 MW, co oznacza, że przebieg pożaru pojazdu elektrycznego w początkowej fazie będzie gorszy niż przebieg pożaru pojazdu spalinowego. Także w garażach wentylowanych.

Wnioski praktyczne

Obserwując gorsze wyniki analiz dla pożarów szybko rozwijających się, próbowaliśmy jednocześnie odpowiedzieć, czy istnieją rozwiązania techniczne pozwalające poprawić ten niekorzystny obraz. Z przeprowadzonych przez nas analiz wynika jednoznacznie, że satysfakcjonują-

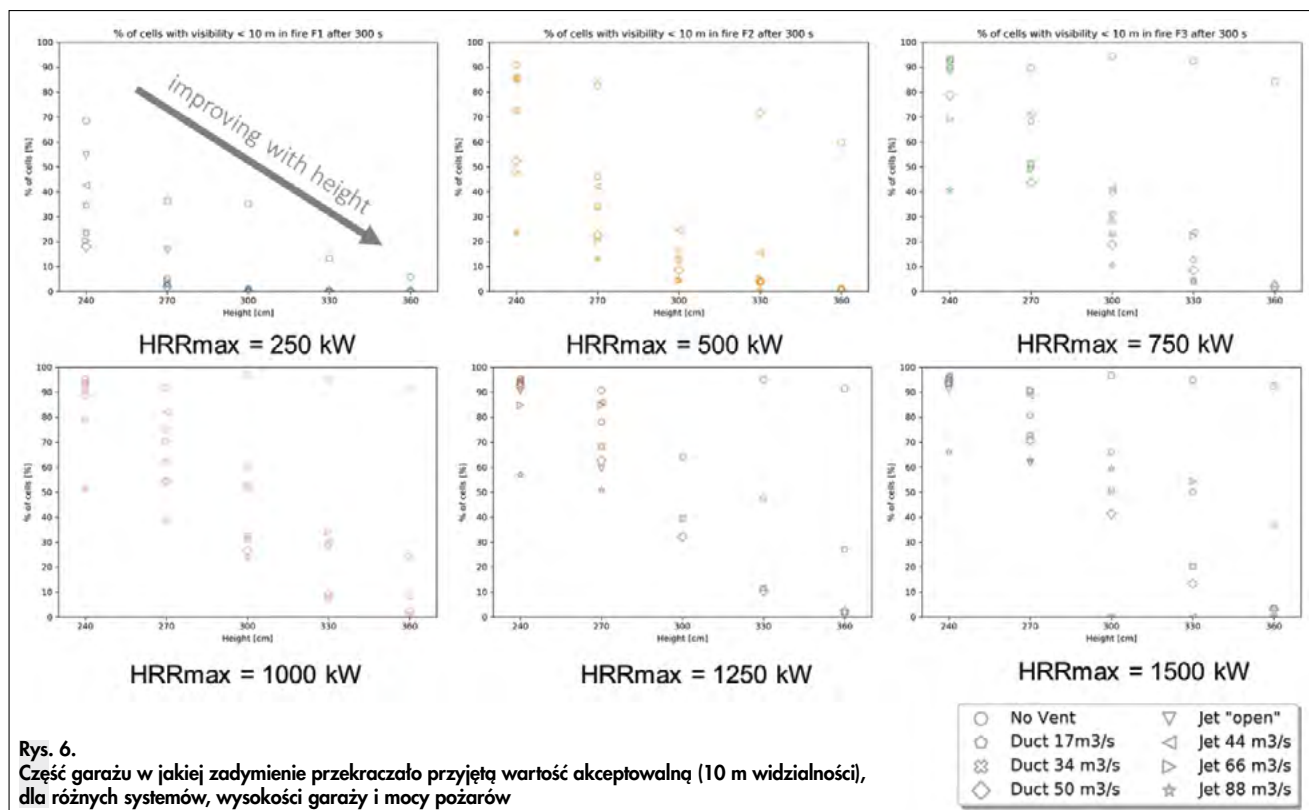
problemy techniczne z instalacją większego systemu w mniejszym garażu). Powyższe wydaje się być logiczne – wyższy garaż oznacza większy zbiornik dymu, a to oznacza, że możliwe jest zmagazynowanie w nim większej ilości dymu zanim opadnie do wysokości głów osób ewakuujących się. W świetle przeprowadzonych badań za zasadne wydaje się utrzymanie zalecenia podanego już w ITB 493/2015 [2], gdzie rekomendowana wysokość garażu dla których wytyczne są właściwe, wynosi 2,90 m.

Podsumowując, jeżeli problem szybkiego rozwoju pożaru w jego wczesnej fazie zostanie rozwiązany poprzez zapewnienie wystarczającej wysokości



Rys. 5.

Różnice w zmierzonej widzialności w dymie pomiędzy symulacjami z pożarem referencyjnym (TNO) a pożarem szybko rozwijającym się o różnych mocach. Kolor niebieski wskazuje, że widzialność była niższa w symulacji referencyjnej, kolor czerwony, że w symulacji EV. Intensywność koloru odzwierciedla wartość różnicy. Pomiar w 300 s analizy. Symulacja w garażu o wysokości 2,70 m z systemem wentylacji przewodowej o wydajności 34 m³/s



Rys. 6.

Część garażu w jakiej zadymienie przekraczało przyjętą wartość akceptowalną (10 m widzialności), dla różnych systemów, wysokości garaży i mocy pożarów

garażu i typowych rozwiązań mechanicznej wentylacji pożarowej, wydaje się, że przebieg i skutki pożaru pojazdu EV w garażu nie będą odbiegać od pożaru pojazdu spalinowego. Jednocześnie, w garażach bardzo niskich lub o małej kubaturze, skutki pożarów szybko rozwijających się mogą być poważniejsze niż pożary pojazdów konwencjonalnych. W budynkach tych dostępny czas ewakuacji może być krótszy niż suma opóźnień w systemie detekcji pożaru i wentylacji pożarowej, co oznacza, że systemy budynku mogą nie zareagować wystarczająco wcześnie, aby zmienić przebieg i skutki pożaru. W budynkach tych kluczowe znaczenie będzie miało utrzymanie drożności i doskonałe oznakowanie dróg ewakuacji, jak również możliwe maksymalne skrócenie wszelkich opóźnień w działaniu systemów bezpieczeństwa. Rozsądnym wydaje się także stosowanie samoczynnych urządzeń gaśniczych. Choć nie będą one miały bezpośredniego wpływu na pożar baterii, przyczynią się do ograniczenia rozprzestrzeniania się ognia, zmniejszą temperaturę gazów pożarowych oraz być może przyczynią się do wyptukania niektórych toksycznych produktów spalania.

W przypadku braku możliwości aktywnego zmniejszenia ryzyka pożaru pojazdu EV rozwiązaniami techniczno-budowlanymi (wysokość garażu, system wentylacji, urządzenia gaśnicze) pomocną strategią może być zarządzanie tym ryzykiem. Może się ono odbyć poprzez lokalizację miejsc postojowych dla pojazdów EV w pobliżu punktów wyciągu dymu, czy w innych miejscach korzystnych z uwagi na oddymianie i ewakuację (np. z dala od punktów

nawiewnych, z dala od wyjść ewakuacyjnych, w pobliżu punktów wyciągu dymu). Dotyczy to szczególnie miejsc postojowych z punktami ładowania pojazdów.

Wyzwania związane z rewolucją elektromobilności nie ograniczają się wyłącznie do potencjalnego szybkiego rozwoju pożaru i skutków z nim związanych. Proces ładowania pojazdów elektrycznych oraz wprowadzanie do garażu powiązanej z nim infrastruktury (ładowarki, kable) także stanowi ciekawe wyzwanie z uwagi na wentylację pożarową obiektów. Interesujące są także mechanizmy propagacji pożarów pojazdów EV, chociaż wielkie pożary garaży w ostatnich latach (m.in.: Liverpool 2017, Stavanger 2020, Warszawa 2020) wskazują, że problem ten dotyczy wszystkich rodzajów pojazdów bez względu na rodzaj paliwa.

Mam świadomość niedostatku wiedzy w zakresie bezpieczeństwa pożarowego infrastruktury w odniesieniu do pożarów pojazdów EV. Wynika on z niewystarczającej liczby badań w pełnej skali. W świecie niedawno ogłoszonych i rozstrzygniętych konkursów na prace badawcze (NFPA) czy budowy nowych laboratoriów w tym obszarze (m.in.: RISE, Szwecja; King's College, UK) na przyszłość w tym obszarze patrzę z optymizmem. Jednocześnie, prace badawcze niezliczonych ośrodków naukowych skierowane są na poprawę stabilności termicznej i bezpieczeństwa pożarowego baterii. Celem jest opracowanie technologii, w których awaria pojedynczego ogniwa nie przenosi się na ogniwa sąsiadujące. Technologie te pozwolą na wyeliminowanie problemu kaskadowej awarii ogniów w baterii, a przez to na wyeliminowanie opisywanego w niniejszej publikacji proble-

mu pożaru szybko rozwijającego się. Jeżeli technologie te okażą się skuteczne i będą powszechnie stosowane, pożary pojazdów EV mocno spowszednieją i nie będą się znacząco różnić od wyzwań powiązanych z pożarami pojazdów spalinowych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Krajewski G., Węgrzyński W. (2014) The use of Fire safety Engineering in the design and commissioning of car Park Fire ventilation systems. *Bezpieczeństwo i Tech Pożarnicza* 36: <https://doi.org/10.12845/bitp.36.4.2014.X>
- [2] Węgrzyński W., Krajewski G. (2015) Systemy wentylacji pożarowej garaży. *Projektowanie, ocena, odbiór*, 493/2015. Instytut Techniki Budowlanej
- [3] NEN 6098:2010 (2010) *Ontw. nl Rookbeheersingssystemen voor mechanisch geventileerde parkeergarages*
- [4] van Oerle N., Lemaire A., van de Leur P. (1999) Effectiveness of Forced Ventilation in Closed Car Parks. In: TNO Report No. 1999-CVB-RR1442
- [5] Willstrand O., Bisschop R., Blomqvist P., Temple A., Anderson J. (2020) Toxic Gases from Fire in Electric Vehicles. *RISE Report 2020:90*
- [6] Sun P., Bisschop R., Niu H., Huang X. (2020) *A Review of Battery Fires in Electric Vehicles*. Springer US
- [7] NFPA (2015) *NFPA 204 Standard for Smoke and Heat Venting 2015 Edition*
- [8] Węgrzyński W., Vigne G. (2017) Experimental and numerical evaluation of the influence of the soot yield on the visibility in smoke in CFD analysis. *Fire Saf J* 91:389–398: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.03.053>
- [9] Węgrzyński W. (2021) What If Fires in Car Parks Developed Quicker Than We Think? *FPEextra* 1–6
- [10] Suchy P., Węgrzyński W. (2018) The Influence of the Arrangement of Passenger Cars in Indoor Car Parks on CFD Calculations. *BEZPIECZEŃSTWO I Tech. Pożarnicza* 52:118–139: <https://doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.8>
- [11] Vigne G., Gutierrez-Montes C., Cantizano A., Węgrzyński W., Rein G. (2019) Review and Validation of the Current Smoke Plume Entrainment Models for Large-Volume Buildings. *Fire Technol.* 55:789–816: <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0801-4>