



KLAUDIA ZWOLIŃSKA

Akademia Górniczo-Hutnicza
w Krakowie
kzwolinska@agh.edu.pl
ORCID: 0000-0003-4581-3489



MAREK BOROWSKI

Akademia Górniczo-Hutnicza
w Krakowie
borowski@agh.edu.pl
ORCID: 0000-0003-4736-4824

Polskie tunele drogowe – projektowanie systemów wentylacji

Coraz więcej tuneli drogowych na całym świecie jest projektowanych i budowanych w celu zapewnienia możliwości przejazdu przez obszary górskie, przecięcia szlaków wodnych lub uniknięcia problemów środowiskowych, a w szczególności zaczyna to dotyczyć obszarów miejskich. Wentylacja to jeden z najważniejszych systemów zapewniających bezpieczeństwo tunelu. W normalnych warunkach eksploatacji, wentylacja ma za zadanie utrzymywać wymagany poziom zanieczyszczeń, spowodowany przez przejeżdżające pojazdy. Natomiast w stanie awaryjnym, jakim jest np. pożar, system wentylacji tunelowej jest kluczowym elementem bezpieczeństwa, mającym zapewnić kontrolę przepływu powietrza oraz usuwania dymu i gazów pożarowych. W pierwszej fazie po powstaniu pożaru, zadaniem systemu wentylacji jest zapewnienie bezpiecznej ewakuacji użytkowników tunelu, a następnie, w drugiej fazie, wsparcie służb ratowniczych, tj. straży pożarnej, w dotarciu na miejsce zdarzenia i neutralizacji powstałego zagrożenia pożarem. Aktualnie systemy wentylacji tuneli drogowych projektowane są na wypadek sytuacji awaryjnych, tj. wystąpienia pożaru w tunelu.

Najważniejszymi zadaniami podczas procesu projektowania wentylacji w tunelu drogowym są: dobór systemu wentylacji, obliczenie parametrów instalacji, a w szczególności wymaganej wydajności systemu ze względu na przyjętą moc pożaru w tunelu drogowym. Poza tym projekt obejmuje instalacje wentylacyjne wraz z doбором odpowiednich urządzeń. Instalacja wentylacji, jak i wyposażenie techniczne tunelu, powinny również spełniać szereg specyficznych cech, w tym między innymi zapewnić odporność termiczną/ogniową i właściwości akustyczne. Wśród głównych czynników bezpośrednio wpływających na podejmowane decyzje co do wyboru systemu wentylacji wymienić można długość tunelu, liczbę naw, lokalizację tunelu, tj. miejskie lub górskie, zapotrzebowanie na strumień powietrza w normalnych i awaryjnych sytuacjach drogowych, dopuszczalne zanieczyszczenie powietrza wewnątrz tunelu i powietrza usuwanego z obiektu, względy bezpieczeństwa przeciwpożarowego [1, 12].

Bezpieczeństwu i zarządzaniu ryzykiem w tunelu drogowym poświęca się coraz więcej uwagi ze względu na wymogi stawiane wraz z rosnącą liczbą budowanych tuneli drogowych. Doświadczenia z poważnych pożarów [1], wzrastające natężenie ruchu pojazdów na drogach oraz utrzymująca się duża liczba zdarzeń drogowych dodatkowo zwiększyły zainteresowanie kwestią bezpieczeństwa w tunelach drogowych. Uważa się, że we wszystkich tunelach drogowych konieczne jest zapewnienie minimalnego poziomu bezpieczeństwa. Ponadto użytkownik powinien oczekiwać, że korzystanie z tunelu drogowego nie spowoduje dodatkowych zagrożeń w porównaniu z korzystaniem z drogi otwartej. Tunele drogowe powinny zatem być co najmniej tak samo bezpieczne dla użytkowników jak droga otwarta [11]. Obecnie przy wyborze pomiędzy różnymi rozwiązaniami związanymi z wyposażeniem w systemy bezpieczeństwa, w fazie projektowania, oprócz kwestii bezpieczeństwa, bierze się pod uwagę koszty cyklu życia. Ponadto, zauważa się, że skutki ekonomiczne niewłaściwego doboru systemu oraz poszczególnych elementów wyposażenia i urządzeń mogą wpłynąć na nakłady w trakcie budowy, ale szczególnie w trakcie eksploatacji tunelu drogowego. Dlatego tak ważny jest etap projektowania i doboru systemu wentylacji przy jednoczesnym spełnieniu wymagań bezpieczeństwa. Zgodnie z raportem przedstawionym przez PIARC [11], przeważająca część kosztów utrzymania determinowana jest decyzjami podejmowanymi na etapie projektowania i budowy tunelu. Szacunkowy poziom wpływu fazy planowania, w tym instrukcji projektowych, na koszty eksploatacji i utrzymania w różnych fazach projektu tunelu wyniósł 60–80%, w zależności od przyjętego rozwiązania i sposobu działania systemu wentylacji w trakcie eksploatacji tunelu drogowego. Pokazuje to, jak niezwykle ważne jest uwzględnienie wymagań dotyczących eksploatacji i utrzymania tunelu podczas planowania i projektowania tunelu drogowego. Dokładniej, konieczne jest uwzględnienie wpływu rozwiązań wybranych na etapie projektowania na późniejsze warunki eksploatacji. Innymi słowy, oznacza to, że jeśli wybrane rozwiązanie nie będzie odpowiednio zaprojektowane, bardzo trudno będzie je zoptymalizować przez cały cykl życia tunelu.

W artykule przedstawiono przegląd możliwych rozwiązań w zakresie wentylacji w tunelach drogowych oraz metodykę projektowania. Skupiono się na warunkach projektowania systemów w polskich warunkach i zaprezentowano aktualną sytuację budownictwa tunelowego drogowego w Polsce, oraz istniejące regulacje i zalecenia, z których najczęściej korzystają projektanci.

„Drogownictwo” 7–8/2022

Systemy wentylacji w tunelach drogowych

Głównym celem systemu wentylacji w tunelu drogowym jest wymiana powietrza w obiekcie. W zależności od ilości, parametry systemu powinny pozwolić na wypełnienie podstawowych funkcji bezpieczeństwa w obiekcie. Najczęściej jeden system wentylacji działa w kilku trybach pracy, w tym w warunkach normalnej eksploatacji, w sytuacji pożaru oraz w trybie awaryjnym. Podczas ruchu pojazdów w tunelach drogowych wentylacja powinna dostarczyć wymagany strumień objętości powietrza, w celu rozrzedzenia szkodliwych zanieczyszczeń oraz zapewnienia odpowiedniej widoczności wewnątrz tunelu. Kalkulacje wymaganego strumienia wentylacyjnego określane są na podstawie dopuszczalnego stężenia zanieczyszczeń zarówno przy ruchu normalnym, jak i utrudnionym lub nawet zatrzymanym, w przypadku zatoru drogowego.

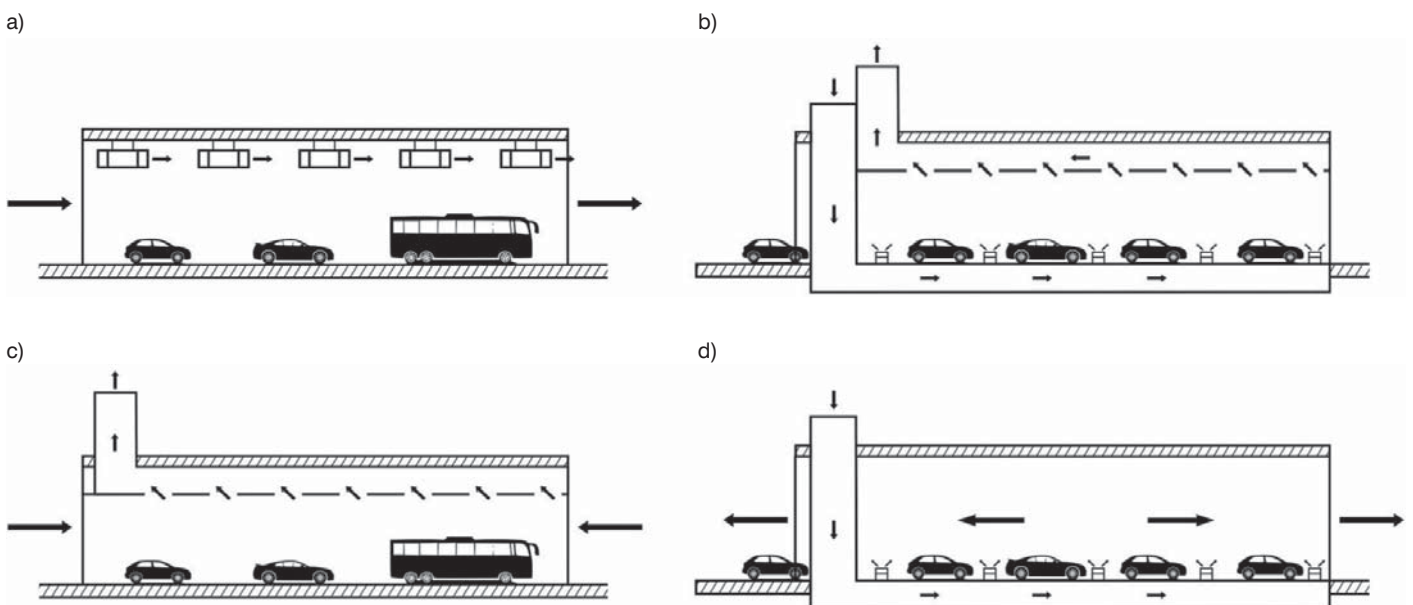
W chwili wystąpienia pożaru, w tunelu uruchamiana jest wentylacja w tzw. trybie pożarowym i ma ona za zadanie zapewnienie kontrolowanego przepływu dymu i gazów pożarowych w tunelu oraz odprowadzenie ich na zewnątrz. Stworzenie kontrolowanego przepływu dymów i gazów pożarowych umożliwi ewakuację użytkowników przy minimalnym zadymieniu dróg ewakuacyjnych i niedopuszczenie do zadymienia dróg dostępu do miejsca zdarzenia dla zespołów ratunkowych. Dla każdego z trybów pracy ustalane są odpowiednie strumienie powietrza i cykle pracy poszczególnych urządzeń.

Wentylacja w tunelach drogowych realizowana może być w sposób naturalny lub mechaniczny. Przepływ powietrza wzdłuż tunelu wentylowanego naturalnie zależy głównie od panujących warunków meteorologicznych i natężenia ruchu pojazdów. W warunkach normalnej eksploatacji jednym z kluczowych czynników jest efekt tłoka spowodowany przejeżdżającymi pojazdami. Natomiast w przypadku wystąpienia pożaru na rozprzestrzenianie się dymu i wymianę

powietrza wpływać będą głównie warunki atmosferyczne, w tym różnica ciśnienia pomiędzy portalami tunelu, napierający na portal wiatr oraz zjawisko konwekcji i promieniowania spowodowane rozwojem pożaru. W związku z powyższym, wentylacja naturalna może być wykorzystywana jedynie dla krótkich tuneli, a jej zastosowanie jest ograniczone ryzykiem niekontrolowanego rozprzestrzeniania się gazów pożarowych i dymów wewnątrz tunelu.

Drugą kategorią systemów wentylacyjnych są instalacje mechaniczne, w których ruch powietrza wymuszony jest pracą urządzeń wentylacyjnych, w tym wentylatorów strumieniowych lub wentylatorów nawiewnych i/lub wywiewnych zlokalizowanych w szybach lub przygotowanych wentylatoriach, w zależności od zastosowanego systemu wentylacji. W przypadku wentylacji mechanicznej można wyróżnić trzy różne typy systemów, w tym wentylację wzdłużną, poprzeczną oraz półpoprzeczną [15] (w innych źródłach typ ten nazywany wentylacją mieszaną – NCHPR 2011[8]). Uprozczone schematy przedstawiające sposób działania poszczególnych systemów przedstawiono na rysunku 1.

Pierwszy z wymienionych systemów, tj. wentylacja wzdłużna tunelu drogowego, opiera się na wymuszeniu wzdłużnego przepływu powietrza wewnątrz strefy komunikacyjnej wzdłuż osi tunelu. Najczęściej ruch ten wymuszony jest pomiędzy portalami za pomocą wentylatorów strumieniowych umieszczonych pod stropem tunelu. Możliwe jest także wymuszenie wzdłużnego przepływu za pomocą wentylatorów umieszczonych w szybach wentylacyjnych, a wówczas powietrze przepływa wzdłużnie pomiędzy portalem a szybem wentylacyjnym. Ten rodzaj systemu jest bardzo popularny z uwagi na ograniczenie kosztów inwestycyjnych i łatwość w montażu. Kluczowym parametrem określającym efektywność i poprawność działania systemu wzdłużnego jest siła ciągu wentylatorów, która pozwoli na zapewnienie odpowiedniej prędkości przepływającego powietrza. System ma za zadanie wytworzyć przepływ powietrza o prędkości za-



Rys. 1. Schemat działania wentylacji: a) wzdłużnej, b) poprzecznej, c) półpoprzecznej z kanałem wyciągowym przystropowym, c) półpoprzecznej z kanałem nawiewnym przyjezdniowym

pewniającej odprowadzenie dymu w jednym kierunku, utrzymanie obszaru przed pożarem w stanie wolnym od dymu i jednocześnie zapobiegającej cofaniu dymu do tej strefy. Prędkość ta nazywana jest prędkością krytyczną i uzależniona jest między innymi od mocy występującego pożaru, nachylenia tunelu i kształtu jego profilu poprzecznego. Wentylacja poprzeczna umożliwia natomiast równomierny rozdział powietrza na całej długości tunelu. Jest to możliwe dzięki rozprowadzonym kanałom nawiewnym i wywiewnym. Kanał nawiewny najczęściej lokalizowany jest pod jezdnią tunelu i za pomocą krat nawiewnych pozwala na doprowadzenie do przestrzeni komunikacyjnej powietrza świeżego. Kanał wywiewny najczęściej umiejscowiony pod stropem tunelu lub w jego górnej części. Pozwala on na usunięcie powietrza zanieczyszczonego lub też dymu i produktów spalania w trakcie wystąpienia pożaru. Klapy odciągowe/pożarowe rozmieszczone są równomiernie na całej długości tunelu i otwierane są sekcyjnie w zależności od miejsca wystąpienia przekroczenia dopuszczalnych stężeń lub też lokalizacji pożaru. W trakcie wystąpienia pożaru, odciąg dymu realizowany jest poprzez maksymalizację prędkości wywiewu w strefie objętej pożarem, co zapobiega rozwarstwieniu dymu. Rozwiązanie to jest stosowane w tunelach dwukierunkowych lub w tunelach jednokierunkowych o dużym natężeniu ruchu i znacznej długości. Wspomniana wentylacja półpoprzeczna stanowi kombinację dwóch wcześniej omówionych systemów. W zależności od projektu, w tunelu znajdować będzie się kanał nawiewny a powietrze odprowadzane będzie portalami lub też rozprowadzony będzie kanał wyciągowy, a powietrze kompensacyjne doprowadzane będzie do tunelu za pośrednictwem portali tunelu.

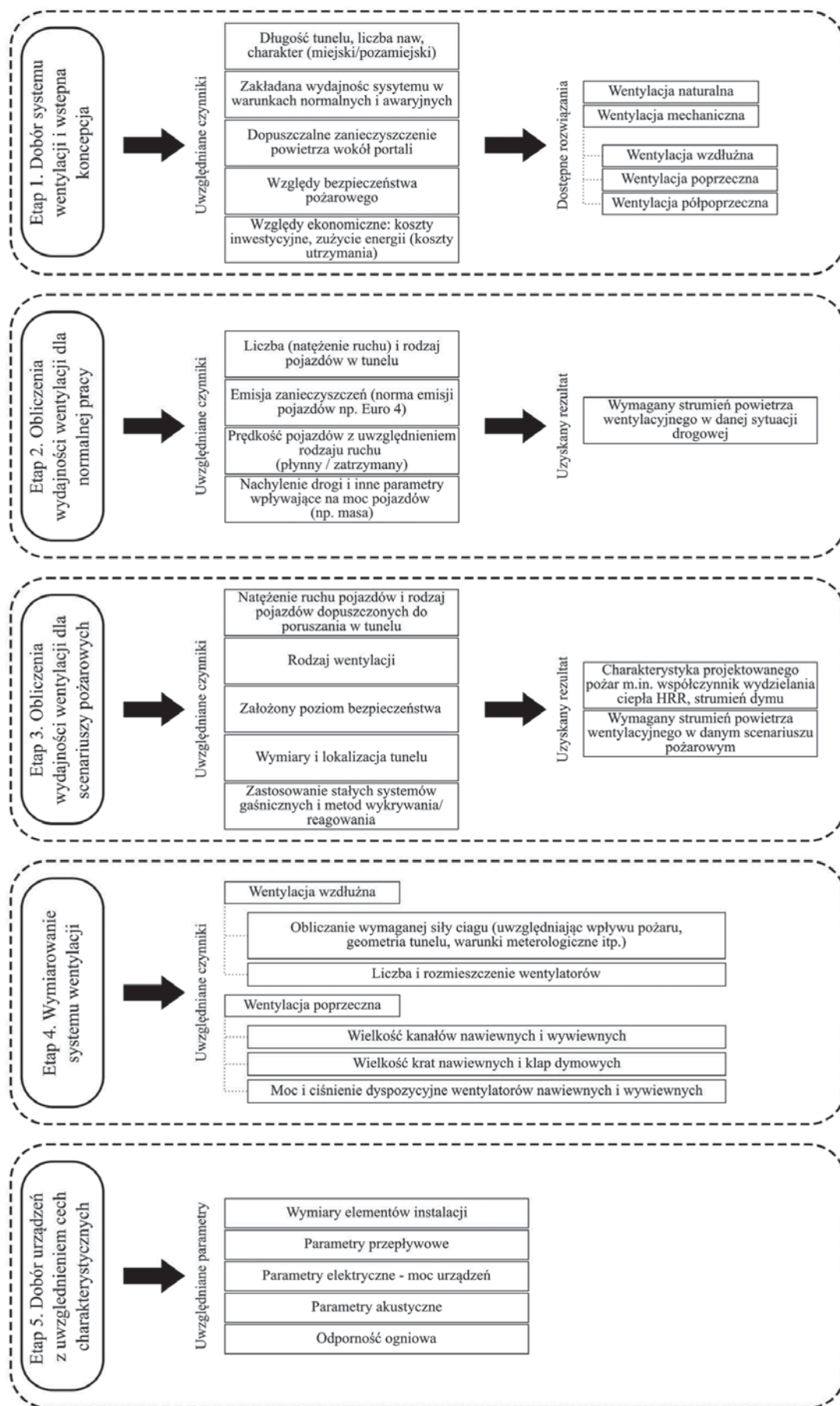
Projektowanie systemu wentylacji

Projektowanie tunelowego systemu wentylacji jest sprawą złożoną i wymaga od projektanta znajomości zjawisk zachodzących w przypadku pożaru oraz kryteriów, jakie muszą być spełnione. Na etapie projektowania należy wziąć pod uwagę wiele czynników wpływających na rozwój i zasięg pożaru. Zmienne do rozważenia to między innymi kształt i wymiary tunelu, jego lokalizacja, natężenie ruchu, rodzaj przejeżdżających pojazdów i przewożonych przez nie materiałów, system wykrywania pożaru, czy też system ochrony przeciwpożarowej. Jedną z najważniejszych decyzji na tym etapie jest wybór rodzaju systemu, który będzie zastosowany w tunelu. W tym celu rozważyć należy sposób działania instalacji zarówno w warunkach normalnej eksploatacji, jak i w sytuacji pożaru lub awarii. Rysunek 2 przedstawia uproszczony schemat postępowania w trakcie projektowania systemu wentylacji dla tunelu drogowego. Procedura składa się z pięciu kroków, rozpoczynając od wstępnej koncepcji, poprzez obliczenia strumienia powietrza wentylacyjnego, zarówno w warunkach normalnych, jak i w przypadku wystąpienia pożaru, a kończąc na wymiarowaniu instalacji i doborze poszczególnych komponentów systemu. Jak widać na każdym z przedstawionych etapów niezbędne jest uwzględnienie szeregu czynników, które mogą wpływać na efektywność i opłacalność zastosowanego rozwiązania.

W przypadku wentylacji wzdłużnej należy zwrócić szczególną uwagę na możliwość ewakuacji osób, które mogą znajdować się w tunelu, w tym bezpośrednio za źródłem pożaru. W tym celu należy uwzględnić drogi ewakuacyjne, czas potrzebny użytkownikom na opuszczenie strefy objętej dymem i odpowiednie opóźnienie uruchomienia wentylatorów. Jak wspomniano wyżej, kluczowe jest zapewnienie odpowiedniej prędkości powietrza zapobiegającej tworzeniu się wstecznej warstwy dymu. Projektując system wentylacji poprzecznej lub półpoprzecznej bardzo ważne jest maksymalizowanie strumienia powietrza usuwanego ze strefy pożaru, przy jednoczesnym zachowaniu stratyfikacji dymu i utrzymaniu niskiej prędkości wzdłużnej. W tunelach dwukierunkowych, w trakcie wystąpienia pożaru użytkownicy tunelu mogą znajdować się po obu stronach ogniska pożaru. Stąd też, wentylacja pełni kluczową rolę w zapewnieniu warunków bezpieczeństwa, a zadaniem systemu jest usuwanie dymu przez klapy dymowe prowadzące do kanału wyciągowego, przez szyby wentylacyjne lub też portale tunelu. Jednocześnie system musi zapewnić uzyskanie niezakłóconej stratyfikacji dymu i utrzymanie niskich prędkości wzdłużnych powietrza. Natomiast w przypadku tuneli z ruchem jednokierunkowym, sytuacja wydaje się znacznie łatwiejsza, gdyż z wysokim prawdopodobieństwem można stwierdzić, że wszyscy użytkownicy znajdują się za ogniskiem pożaru. Wówczas, jeśli zainstalowany zostanie system wentylacji wzdłużnej, powinien on zapobiegać tworzeniu się warstwy wstecznej poprzez wytwarzanie zwiększonej prędkości powietrza wzdłuż osi tunelu. We wczesnych fazach rozwoju pożaru ważne jest unikanie rozrywania warstwy dymu poprzez wyłączenie wentylatorów strumieniowych znajdujących się w pobliżu miejsca pożaru oraz uruchomienie wentylatorów znajdujących się za pożarem w kierunku portalu wylotowego, przez co nie powodują zaburzenia stratyfikacji i recyrkulacji dymu w bezpośrednim sąsiedztwie ogniska pożaru. Wybór wentylacji poprzecznej lub półpoprzecznej powoduje natomiast, że głównym celem systemu jest maksymalizacja strumienia powietrza usuwanego ze strefy w sąsiedztwie ogniska pożaru i minimalizacja strumienia powietrza kompensacyjnego doprowadzanego do tunelu z zewnątrz.

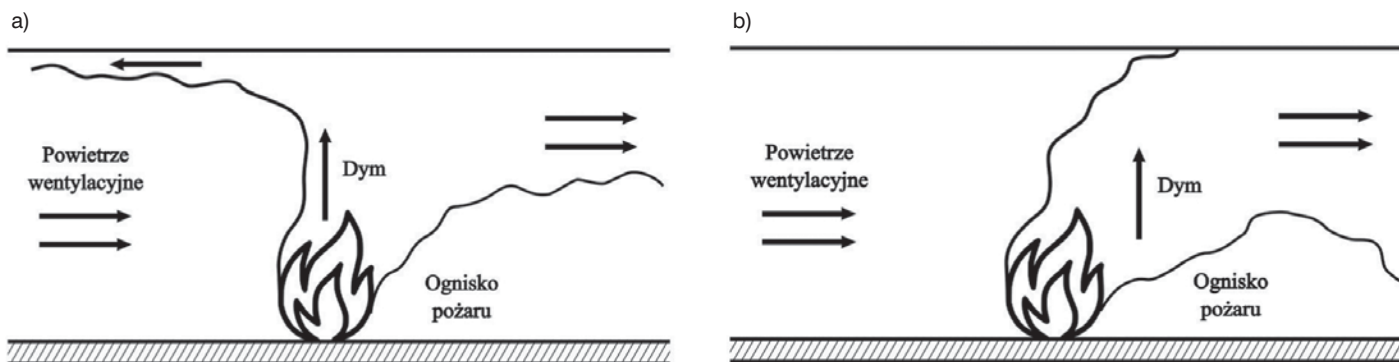
Rozpatrując sytuację od wystąpienia pożaru w odniesieniu do sposobu pracy systemu wentylacji w tunelu, można wyróżnić dwa etapy. Okres pierwszych 5–15 minut od rozpoczęcia pożaru podporządkowany jest czynnościom związanym z samoewakuacją użytkowników. Wówczas, zadaniem systemu jest umożliwienie ewakuacji poprzez ochronę dróg ewakuacji przed dymem i innymi produktami spalania. Dokładny czas trwania pierwszego etapu należy określić na etapie projektowania na podstawie informacji o rzeczywistym czasie dojazdu straży pożarnej na miejsce. Druga faza obejmuje działania wspomagające proces gaszenia pożaru, skutecznie odciągając dym z przestrzeni komunikacyjnej za pomocą szybów/klap pożarowych lub odprowadzając dym jednostronnie z miejsca pożaru.

Obok znajomości zagadnienia i występujących wewnątrz tunelu zjawisk, bardzo istotne jest uwzględnienie wymagań prawnych na etapie projektowania. Wśród dokumentów, które muszą być uwzględnione podczas opracowania koncepcji wentylacji znajduje się dyrektywa 2004/54/WE Parla-



Rys. 2. Schemat postępowania na etapie projektowania systemu wentylacji (opracowanie na podstawie [12])

mentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie minimalnych wymagań bezpieczeństwa dla tuneli w transeuropejskiej sieci drogowej [6], a także Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej [15]. Dyrektywa obowiązuje we wszystkich krajach Unii Europejskiej i opisuje minimalne wymagania, które powinny zostać spełnione w celu zapewnienia bezpieczeństwa użytkowników, zarówno poprzez zapobieganie sytuacjom krytycznym, zapewnienie odpowiedniej konstrukcji i instalacji tunelowych, jak również zapewnienie ochrony w przypadku zdarzeń niebezpiecznych. Polskie Rozporządzenie także zawiera kryteria, które muszą zostać spełnione w zależności od zastosowanego systemu wentylacji. Obok wspomnianych wyżej regulacji, istnieje także wiele przydatnych opracowań, które zawierają bardziej szczegółowe wymagania, w tym dobre praktyki w projektowaniu wentylacji tunelowej. Spośród najbardziej znanych i najczęściej stosowanych w Polsce wytycznych wymienić można niemieckie wytyczne RABT [14] przedstawione przez Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswesen, oraz dokumenty opracowane przez organizacje takie jak: World Road Association (PIARC), Centre D'études des Tunnels (CETU) oraz National Fire Protection



Rys. 3. Schematy przedstawiające zjawisko rozprzestrzeniania się dymów przy różnej prędkości wzdłużnej: a) zjawisko backlayeringu (niska prędkość wzdłużna powietrza) b) rozptył dymu przy wymaganej prędkości krytycznej (na podstawie [9])

Association (NFPA) [9]. Znaleźć można także opracowania i wytyczne proponowane przez organizacje w krajach o wieloletnim doświadczeniu w tym zakresie, gdzie znajduje się wiele tuneli drogowych o znacznej długości. Obecnie w Polsce nie ma szczegółowych wytycznych dotyczących projektowania systemu wentylacji w tunelach drogowych. Istniejące rozporządzenie wskazuje jedynie dopuszczalne stężenia zanieczyszczeń w tunelach, oraz rodzaje systemu wentylacji stosowane w danych zakresach długości tunelu.

Zgodnie z polskimi regulacjami [15], wentylacja tuneli drogowych powinna być ustalona na podstawie wartości progowych trzech podstawowych parametrów: stężeń tlenku węgla (CO) i ditlenku azotu (NO₂) w powietrzu w tunelu oraz widoczności. Wentylacja naturalna wybierana jest dla tuneli krótkich, których całkowita długość nie przekracza 700 m w przypadku tuneli jednokierunkowych lub też 500 m dla tuneli o ruchu dwukierunkowym. Jednocześnie należy pamiętać, że zastosowanie wentylacji naturalnej w tunelu o długości przekraczającej 250 m wymaga potwierdzenia skuteczności jej działania poprzez przeprowadzenie analizy ryzyka.

Możliwość zastosowania poszczególnych systemów wentylacji mechanicznej uwarunkowana jest długością tunelu drogowego i rodzajem ruchu wewnątrz, co reguluje Rozporządzenie [15]. Szczegółowe wartości przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zakres stosowania systemów wentylacji mechanicznej [15]

| System wentylacji | Długość tunelu | |
|-------------------|--|---|
| | prowadzącego jezdnię dwukierunkową | o oddzielnych konstrukcjach dla różnych kierunków ruchu |
| Wzdłużna | nie większa niż 1000 m | nie większa niż 3000 m |
| Półpoprzeczna | większa niż 250 m i mniejsza niż bądź równa 1500 m | większa niż 250 m i mniejsza niż bądź równa 3000 m |
| Poprzeczna | większa niż 1500 m | większa niż 3000 m |

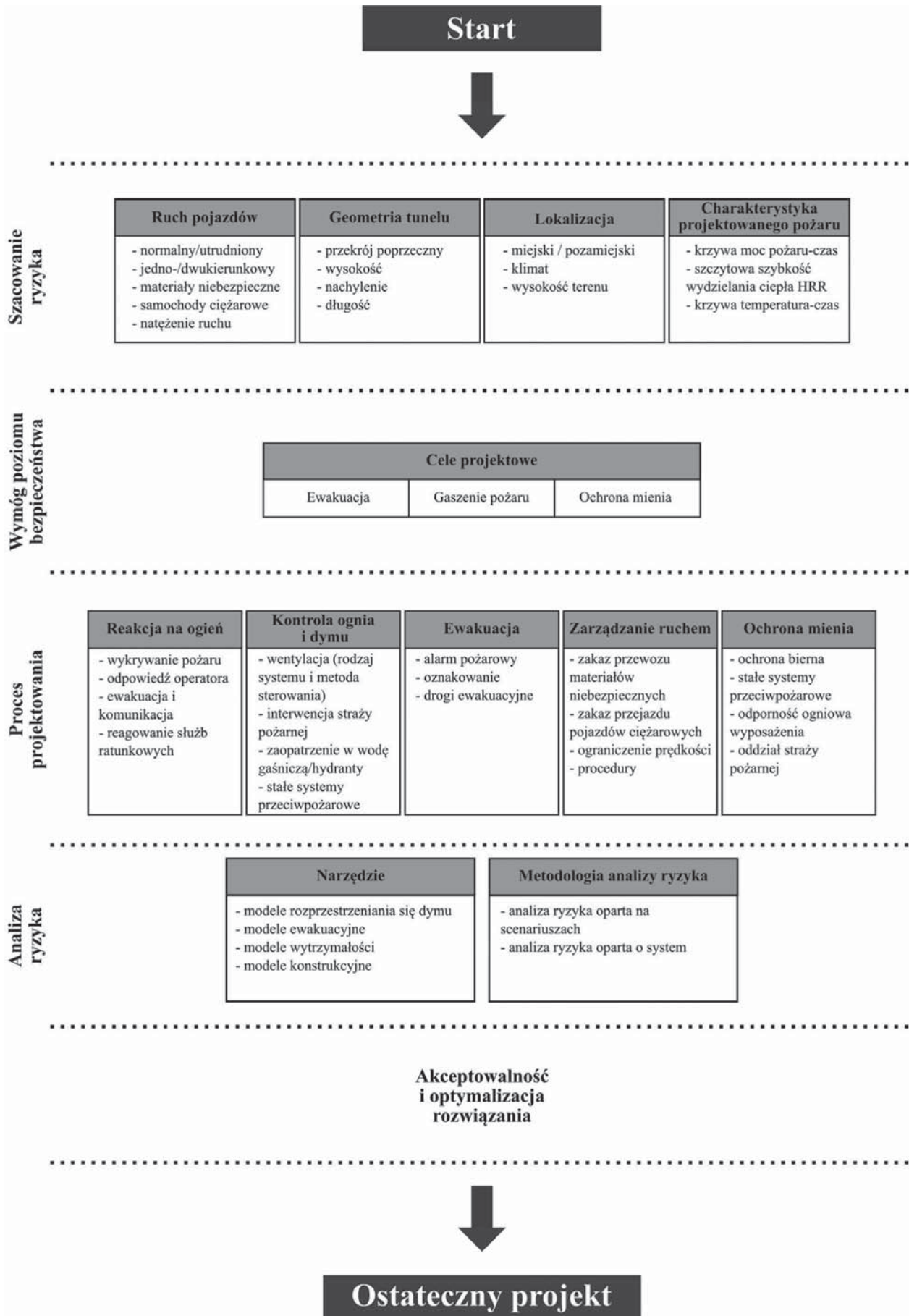
Zgodnie z przepisami, zastosowanie wentylacji wzdłużnej w tunelach dwukierunkowych lub też w tunelach o ruchu jednokierunkowym z dużym natężeniem ruchu możliwe jest jedynie w przypadku, gdy analiza ryzyka jednoznacznie dopuszcza takie rozwiązanie lub też gdy przewiduje się

podjęcie specjalnych środków bezpieczeństwa, w tym na przykład zarządzanie ruchem, krótsze odległości do wyjść awaryjnych lub punkty odprowadzające dym w odpowiednich odstępach. Wspomniana analiza ryzyka powinna obejmować w szczególności analizę numeryczną skuteczności działania przyjętego rozwiązania, uwzględniając nachylenie, rodzaj ruchu pojazdów, przewóz towarów niebezpiecznych, scenariusze pożarowe, strategie ewakuacji oraz warunki topograficzne i klimatyczne. Warunkiem poprawności działania wentylacji wzdłużnej jest możliwość wytworzenia prędkości przepływu powietrza uniemożliwiającej cofanie się dymu w kierunku przeciwnym do kierunku założonego, przy czym wartość tej prędkości w przypadku pożaru nie powinna być niższa niż 1,5 m/s [15]. Zapewnienie odpowiedniej wartości prędkości wzdłużnej jest jednym z kryteriów skuteczności działania systemu wentylacji wzdłużnej, stąd też w literaturze zagadnieniu poświęca się wiele uwagi. Dzięki utrzymaniu wartości prędkości wzdłużnej na odpowiednio wysokim poziomie, powietrze kierowane jest w stronę jednego z portali, jednocześnie unikając wspomnianego zjawiska cofania się dymu tzw. *backlayeringu*. Rysunek 3 pokazuje zjawisko rozprzestrzeniania się dymu, gdy prędkość jest niewystarczająca (rys. 3a) oraz w sytuacji prędkość jest większa lub równa wspomnianej prędkości krytycznej (rys. 3b).

Określenie konkretnej wartości prędkości krytycznej dla analizowanego przypadku, możliwe jest dzięki zastosowaniu znanych zależności analitycznych [9] lub na podstawie zestawień tabelarycznych. Poniżej przedstawiono wartości referencyjne zaproponowane w wytycznych RABT [14].

Tabela 2. Założenia projektowanej mocy pożaru i prędkości krytycznej według zaleceń RABT [14]

| Spadek wzdłużny | Kształt przekroju poprzecznego | Moc pożaru | | |
|-----------------|--------------------------------|------------|---------|---------|
| | | 30 MW | 50 MW | 100 MW |
| 0–1% | Prostokąt | 2,3 m/s | 2,6 m/s | 2,9 m/s |
| | Łuk | 2,5 m/s | 2,8 m/s | 3,1 m/s |
| 2–3% | Prostokąt | 2,5 m/s | 2,8 m/s | 3,1 m/s |
| | Łuk | 2,6 m/s | 2,9 m/s | 3,3 m/s |
| 3–6% | Prostokąt | 2,7 m/s | 3,0 m/s | 3,3 m/s |
| | Łuk | 2,8 m/s | 3,1 m/s | 3,6 m/s |



Rys. 4. Zarys postępowania w przypadku podejścia projektowego ukierunkowanego na cel (opracowanie na podstawie [10])

Z kolei wentylacja mechaniczna poprzeczna oraz półpoprzeczna w tunelu prowadzącym jezdnię dwukierunkową powinna być wyposażona w klapy przeciwpożarowe i/lub kraty nawiewne, które mogą być obsługiwane oddzielnie lub grupowo, oraz powinna umożliwiać monitorowanie wzdłużnej prędkości przepływu powietrza i sterowania nią poprzez odpowiednią regulację przepustnic i wentylatorów systemu wentylacji [15].

Podczas projektowania wentylacji, niezależnie od wybranego rodzaju systemu, podstawowym parametrem, który determinuje dobrane urządzenia i poszczególne elementy systemu, jest zakładana moc pożaru. Wielkość ta przyjmowana jest na podstawie informacji o przewidywanym ruchu pojazdów, w tym o rodzajach pojazdów dopuszczonych do poruszania się wewnątrz tunelu. Wartości zalecane w zależności od wybranych wytycznych znacznie się różnią i wynoszą od 30 do 200 MW. Zbyt wysoka wartość tego parametru może powodować zwiększenie nakładów inwestycyjnych. Niezbędne jest zatem kierowanie się racjonalnym podejściem i uwzględnienie prawdopodobieństwa wystąpienia pożaru o danej mocy w analizowanym przypadku lub możliwości rozprzestrzeniania się pożaru na większą liczbę pojazdów. Według zaleceń RABT [14], punktem wyjścia podczas projektowania wentylacji pożarowej jest wystąpienie pożaru samochodu ciężarowego. Projektowa moc pożaru zakładana jest zatem na poziomie co najmniej 30 MW. W przypadku zwiększonego natężenia ruchu pojazdów, zalecane jest przeprowadzenie analizy ryzyka i ewentualne zwiększenie mocy pożaru do 100 MW. Istnieją różne podejścia projektowe w kontekście bezpieczeństwa pożarowego i określenia założeń projektowanego pożaru. Jednym z nich jest projektowanie nakazowe (ang. *prescriptive design*) obejmujące zastosowanie pożaru projektowego określonego w przepisach lub normach, które mogą się różnić w zależności od rodzaju ruchu oraz długości i lokalizacji tunelu. Innym z podejść jest projektowanie nakierowane na cel (ang. *performance-based design*), w którym wyznacznikiem poprawności rozwiązania jest spełnienie kryteriów oceny ryzyka na akceptowalnym poziomie, ustalonym przez projektanta/inwestora/zarządzającego tunelem. Pomiędzy tymi dwoma podejściami istnieją opcje pośrednie, które pozwalają w pewnym stopniu na projektowanie oparte na wynikach na podstawie wytycznych nakazowych [10]. Na rysunku 4 przedstawiono zarys postępowania zgodnie z metodyką opartą na celu.

Wśród możliwych zagrożeń, pożary pojazdów budzą największe obawy, ponieważ ich konsekwencje, jeśli nie zostaną podjęte odpowiednie środki łagodzące, mogą być znacznie większe pod ziemią niż na otwartej przestrzeni. Zarówno w drogowych tunelach, jak i w innych obiektach inżynierskich, w tym w tunelach kolejowych i na podziemnych parkingach, system wentylacji jest kluczowy z uwagi na bezpieczeństwo użytkowników. Przepływ powietrza, prędkość przepływu i dopływ tlenu, jest jednym z głównych czynników wpływających na dystrybucję dymu i zanieczyszczeń w przypadku pożaru lub innej niebezpiecznej sytuacji. Stąd też konieczne jest zapewnienie niezawodnego systemu, który w szybki sposób będzie w stanie zareagować na występujące warunki odprowadzając zużyte powietrze

z obszarów zajmowanych przez użytkowników. Jednocześnie pozwoli to na przeprowadzenie bezpiecznej ewakuacji użytkowników tunelu oraz zapewnienie warunków do walki z pożarem służbom ratowniczym. W związku z tym planowanie i decyzje projektowe dotyczące sytuacji zagrożenia pożarowego są niezwykle istotne. Zrozumienie, jak zachowuje się dym podczas pożaru tunelu, jest niezbędne w każdym aspekcie projektu i eksploatacji tunelu. Wiedza ta wpłynie na rodzaj i wielkość instalowanego systemu wentylacji, jego działanie w sytuacjach awaryjnych oraz procedury reagowania, które zostaną opracowane, aby umożliwić operatorom i służbom ratowniczym bezpieczne zarządzanie incydentem. W przypadku braku czynników zewnętrznych, dym będzie zdominowany przez swoje właściwości wyporu i uniesie się do stropu tunelu lub sufitu, a następnie będzie rozprzestrzeniał się wzdłuż tunelu z dala od ogniska ognia w warstwie uwarstwionej. Na prędkość propagacji w pewnym stopniu będzie miała wpływ wielkość pożaru. Jest mało prawdopodobne, aby takie wyidealizowane zachowanie miało miejsce w rzeczywistym tunelu, ponieważ ruch uliczny, wentylacja i/lub efekty meteorologiczne tworzą różne wzdłużne profile prędkości powietrza [13].

Dobór systemu wentylacji i poszczególnych urządzeń, jak również ich lokalizacja, najczęściej określane są na podstawie istniejących norm, przepisów prawnych i wytycznych branżowych. Nie należy jednak zapominać, że każdy obiekt jest indywidualnym przypadkiem, a głównym celem projektanta jest zapewnienie bezpiecznych i komfortowych warunków użytkowników [2, 3, 5]. Stąd też coraz częściej na etapie projektowania, jak i weryfikacji przygotowanego projektu, wykorzystywane są metody symulacyjne. Na podstawie modelu geometrycznego tunelu oraz uwzględniając zakładane warunki pracy instalacji, możliwe jest określenie rozpyływu powietrza oraz rozprzestrzeniania się dymu w tunelu, a także sprawdzenie czy zaproponowane rozwiązanie pozwoli na bezpieczne użytkowanie tunelu. Oprogramowanie do modelowania wentylacji używane przez kompetentnego, doświadczanego inżyniera wentylacji jest niezwykle przydatne w opracowywaniu projektów wentylacji, umożliwiając ocenę szerokiego zakresu potencjalnych opcji. Obecnie dostępne są coraz wydajniejsze komputery i oprogramowanie do komputerowej symulacji dynamiki płynów, pozwalające na prognozowanie przepływu powietrza i dymu oraz określenie charakterystyki wymiany ciepła w tunelu. W literaturze można znaleźć przykłady różnych podejść do numerycznego modelowania przepływu powietrza w tunelach drogowych. Modelowanie wentylacji tunelowej, pożaru, ruchu i ewakuacji może być trudnym i wymagającym obliczeniowo zadaniem [7]. Biorąc jednak pod uwagę losowy charakter takich zdarzeń i szereg czynników, które na nie wpływają, uzasadnione jest uproszczenie modeli. Na przykład modele wentylacji i pożaru są niekiedy wdrażane przy użyciu modeli strefowych lub po prostu przez oszacowanie dotkniętego obszaru, oparte na rzeczywistych danych lub na symulacjach. Uproszczenie jest bardzo ważne, ponieważ lista analizowanych scenariuszy jest zwykle długa, a każde potencjalne zdarzenie może prowadzić do odmiennych skutków. Zasadniczo wyróżniane są dwa rodzaje narzędzi numerycznych, modele jednowymiarowe (1D) oraz modele trójwymiarowe

rowe (3D), często określane jako CFD (ang. *Computational Fluid Dynamics*) [4]. Najwcześniejsze próby symulacyjne polegały na modelach 1D opartych na metodach Hardy-Cross. Mimo względnej prostoty, takie podejście jest nadal uważane za wygodną opcję. Modele 1D pomimo mniejszej dokładności w stosunku do modeli 3D mogą okazać się wygodnym i szybkim narzędziem obliczeniowym, zdolnym do odtworzenia różnych scenariuszy wentylacji potencjalnie występujących w tunelu. Obliczenia CFD zwykle wykorzystywane są, gdy niezbędna jest szczegółowa analiza przepływowa, a jednocześnie dysponuje się zasobami obliczeniowymi umożliwiającymi przeprowadzenie takiej analizy. Metoda ta pozwala na dostarczenie dokładnych informacji o rozkładzie temperatur, ciśnień, prędkości powietrza, a także rozprzestrzenianiu się dymu i strumieniach ciepłych. W modelowaniu 3D przestrzeń jest dyskretyzowana, czyli dzielona na elementarne objętości lub komórki, tworząc trójwymiarową siatkę. Zmienne fizyczne są obliczane w każdej z tych komórek. W ten sposób możliwe jest odzwierciedlenie pełnej kubatury analizowanego obiektu. Podział na mniejsze elementy nadal nie pozwala na idealne przedstawienie rzeczywistości, a szczegółowy opis zachodzących zjawisk fizycznych i chemicznych często wymaga bardzo długiego czasu obliczeniowego. Stąd też i tu wymagane są założenia obliczeniowe pozwalające na optymalizację czasu potrzebnego na przeprowadzenie symulacji. Dlatego modele trójwymiarowe, podobnie jak ich odpowiedniki jednowymiarowe, mają własne ograniczenia, a ich zrozumienie wymaga specjalistycznej wiedzy. Niemniej jednak, modele trójwymiarowe pozwalają na symulację dowolnego rodzaju przepływu płynu, a w przypadku tuneli najczęściej wykorzystywane są do modelowania sytuacji pożaru. Praktyka w tym zakresie jest rozwijana od wielu lat. Narzędzia symulacyjne są także coraz częściej stosowane w bardziej złożonych sytuacjach, takich jak badanie zachowania tunelu w funkcji wiatru zewnętrznego czy też dyspersji zanieczyszczeń w sąsiedztwie tunelu drogowego itp. [4].

Sytuacja tunelowa w Polsce

Obecnie w Polsce, zarówno budownictwo drogowe, jak i tunelowe rozwijają się bardzo dynamicznie. Z roku na rok, na terenie całego kraju wdrażane są kolejne inwestycje infrastrukturalne, a szereg jest także na etapie projektowym lub koncepcyjnym. Dotychczas projektanci niechętnie sięgali do obiektów tunelowych, które uważane były za problematyczne i kosztowne. W ostatnich latach opinia ta ulega zmianie, a kolejne inwestycje tunelowe powstają na terenie całego kraju. Do tej pory tunele komunikacyjne nie były powszechną częścią krajobrazu w Polsce, a istniejące obiekty obsługiwały niemal wyłącznie transport kolejowy. W związku z zagęszczeniem sieci dróg, systematycznie wzrasta także liczba tuneli drogowych. Większość z istniejących obiektów ma charakter miejski, a żaden z nich nie przekracza długości 2,5 km.

W ostatnim czasie pojawiły się nowe inwestycje tuneli drogowych, w tym także kilka o długości powyżej 2 km. Najdłuższym z obecnie eksploatowanych tuneli jest obiekt zlokalizowany na trasie drogi S2 Południowej Obwodnicy

Warszawy pod dzielnicą Ursynów. Jego długość całkowita wynosi 2335 m, a w każdej nawie znajdują się po trzy pasy ruchu i pas awaryjny o łącznej szerokości jezdni około 14,5 m. W tunelu wykorzystano najnowocześniejsze narzędzia systemu bezpieczeństwa, systemy kontroli warunków meteorologicznych i stanu nawierzchni jezdni, a sytuacja w tunelu monitorowana jest w sposób ciągły przez Centrum Zarządzania Tunelem. Do niedawna najdłuższym i jednocześnie pierwszym podwodnym tunelem drogowym był tunel w Gdańsku o długości 1377,5 m, który przebiega pod dnem Martwej Wisły. Obiekt łączy zachodnią część Gdańska z Wyspą Portową. Natomiast najdłuższym pozamiejskim tunelem drogowym jest tunel Emilia w ciągu drogi ekspresowej S1 w Lalikach (woj. śląskie). Długość tunelu wynosi 678 m i pozwala na pokonanie góry masywu Beskidu Żywieckiego. Długość pozostałych tuneli nie przekracza 1000 m. Innymi aktualnie użytkowanymi tunelami są: tunel Wisłostrady, tunel pod Rondem gen. Jerzego Ziętka w Katowicach oraz 10 tuneli o długości mniejszej niż 500 m, z których najdłuższy to Tunel Drogowej Trasy Średnicowej w Gliwicach.

W aktualnie użytkowanych tunelach, najczęstszym sposobem przewietrzania jest system wentylacji wzdłużnej z wentylatorami strumieniowymi. Wyjątek stanowią tunel w Warszawie z wentylacją poprzeczną oraz tunel pod Martwą Wisłą, wyposażony w system wentylacji półpoprzecznej, z kanałami nawiewnymi pod jezdnią. W związku ze znaczną długością tunelu oraz zwiększonym natężeniem ruchu pojazdów, w przypadku tunelu zlokalizowanego na Południowej Obwodnicy Warszawy zaprojektowano system pełnej wentylacji poprzecznej. W przypadku tego obiektu, newralgicznym aspektem była także lokalizacja w dużej aglomeracji miejskiej, w niewielkiej odległości od zabudowań mieszkalnych. Odprowadzenie zanieczyszczeń emitowanych przez pojazdy nie może zatem odbywać się bezpośrednio przez portale bez ówczesnego obniżenia ich stężenia. Proponowane rozwiązanie, pozwala na usunięcie do atmosfery powietrza wyciągowego po jego uprzednim oczyszczeniu i rozrzedzeniu zanieczyszczeń na obszarze najmniej uciążliwym dla mieszkańców. Natomiast w drugim z wymienionych obiektów, tj. w tunelu pod Martwą Wisłą, świeże powietrze stopniowo doprowadzane jest za pomocą otworów nawiewnych, rozmieszczonych na całej długości tunelu, po prawej stronie jezdni. W warunkach normalnego ruchu samochodów, przepływ powietrza wymusza tłokowy ruch poruszających się pojazdów, który jest wystarczający, i wentylatory strumieniowe nie są uruchamiane. W tunelu powietrze przepływa zgodnie z kierunkiem jazdy pojazdów, przez co uzyskuje się wzdłużny przepływ powietrza. Różnica w stosunku do systemu wentylacji klasycznej wzdłużnej polega na tym, że powietrze jest doprowadzane na całej długości tunelu, a nie wpływa przez portal wlotowy. Większość z istniejących i projektowanych tuneli to obiekty dwunawowe, co umożliwia uzyskanie jednokierunkowego ruchu pojazdów w każdej z naw. Taka konstrukcja tunelu pozwala na zastosowanie systemów wentylacji wzdłużnej lub półpoprzecznej. Jedynie dwa z dotychczas projektowanych obiektów: Emilia (użytkowany) oraz pod Świną (projektowany) są tunelami z jedną nawą, w której ruch odbywa się w dwóch kierunkach.

Na etapie budowy lub w trakcie projektowania są kolejne inwestycje. W bieżącym roku otwarty będzie następny obiekt na trasie S7 Zakopianka Naprawa–Skomielna Biała (woj. małopolskie). Jego całkowita długość wynosi 2058 m. W tym przypadku zdecydowano się na zastosowanie systemów wentylacji, w których powietrze jest doprowadzane kanałami pod jezdnią, a odprowadzane nawą tunelu w kierunku jazdy pojazdów (wentylacja półpoprzeczna). W ubiegłym roku zakończono również drażenie tunelu pod Świną (woj. zachodniopomorskie). Tunel osiąga długość 1485 m i łączy wyspy Wolin i Uznam. Ponieważ tunel jest dwukierunkowy, system wentylacji także został przewidziany jako półpoprzeczny, gdzie świeże powietrze doprowadzane jest przez portal a odprowadzenie zużytego powietrza odbywa się kanałem podstropowym. W przypadku pożaru w zagrożonej strefie otwierane są trzy lub cztery klapy dymowe w płaszczyźnie kanału podstropowego, do którego są odprowadzane dymy i gazy pożarowe. W budowie znajdują się także dwa dwunawowe tunele w ciągu drogi ekspresowej S3 Bolków–Kamienna Góra (woj. dolnośląskie), z czego jeden osiągać będzie długość ok 2300 m, a drugi ok. 320 m. Budowa rozpoczęła się w 2020 roku. Pierwszy z wymienionych obiektów, pomimo swojej znacznej długości, wyposażony zostanie w wentylację wzdłużną z rozmieszczonymi grupami wentylatorów strumieniowych. Słuszność wybranego systemu potwierdzona została dzięki przeprowadzonej analizie numerycznej oddymiania. Podobnie na trasie S1 – Obwodnicy Węgierskiej Górki (woj. śląskie), powstają dwa tunele dwunawowe. Jeden z nich wydrążony będzie w masywie Barania Góra (długość naw: 834 / 807 m), drugi natomiast pod Białożyńskim Groniem (długość naw: 1000 / 990 m). Kolejna inwestycja rozpoczęła się w ciągu drogi ekspresowej S19 Rzeszów Południe–Babica (woj. podkarpackie). Jest to część szlaku Via Carpatia, a długość wydrążonego tunelu wynosić będzie 2,2 km. Tunel będzie wyposażony w wentylację półpoprzeczna.

Jak przedstawiono powyżej, szacuje się, że obecnie w budowie jest osiem tuneli o łącznej długości ponad 11 km, a w ciągu najbliższej dekady przybędzie kilkanaście kolejnych obiektów o łącznej długości około 25 km. Najdłuższym z zaplanowanych tuneli drogowych jest obiekt mający przebiegać pod Odrą w ciągu Zachodniej Obwodnicy Szczecina, o całkowitej długości 5 km. Kolejne inwestycje tunelowe planowane są pomiędzy Jawornikiem i Domaradzem (woj. podkarpackie; dwa tunele o długości 2910 i 990 m), na Bemowie w ciągu drogi ekspresowej (woj. mazowieckie, dwa tunele o długości 1000 i 1122 m) oraz na obwodnicy Zabierzowa w ciągu drogi DK79 (woj. małopolskie, o długości ok. 317 m).

Podsumowanie

System wentylacji tunelu jest kluczowym elementem bezpieczeństwa, który ma zapewnić kontrolę przepływu powietrza oraz usuwanie dymów i gazów pożarowych. Ma to na celu umożliwienie bezpiecznej ewakuacji użytkowników tunelu oraz zapewnienie warunków do zwalczania pożaru przez służby ratownicze. Warunki bezpieczeństwa w tunelu drogowym muszą być zachowane na etapie projektowania

i w czasie jego eksploatacji, uwzględniając wcześniejsze doświadczenia, aktualną wiedzę i rozwój wyposażenia technicznego. Odpowiednio zaprojektowany system powinien zapewniać bezpieczne użytkowanie zarówno w trakcie normalnej eksploatacji, jak również w sytuacjach awaryjnych, zwiększonego natężenia ruchu, a szczególnie w sytuacji wystąpienia pożaru. Wentylacja tunelu drogowego w warunkach ruchu pojazdów powinna dostarczyć wymagany strumień objętości powietrza, w celu rozrzedzenia szkodliwych składników spalin oraz zapewnienia odpowiedniej widoczności. W sytuacji wystąpienia pożaru, zadaniem systemu wentylacji jest uzyskanie kontrolowanego przepływu dymu i gazów pożarowych oraz odprowadzenie ich poza tunel. Wśród dostępnych systemów wentylacji mechanicznej wyróżnić można wentylację wzdłużną, poprzeczną oraz półpoprzeczną. Pierwsze z wymienionych rozwiązań w wariantach z zastosowaniem wentylatorów strumieniowych jest najczęściej stosowane w przypadku tuneli krótkich i o ograniczonym ruchu pojazdów, gdzie wybór innego rodzaju wentylacji nie jest uzasadniony ekonomicznie. System wentylacji poprzecznej stosowany jest w przypadku tuneli o zwiększonej długości, gdzie zapewnienie warunków bezpieczeństwa nie jest możliwe z wykorzystaniem innego rodzaju systemu lub też, gdzie warunki prawne nie dopuszczają innego rozwiązania. Z uwagi na wysokie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, rozwiązanie to jest najrzadziej wybierane, jeśli oczywiście inne rozwiązania pozwolą na zapewnienie odpowiednich warunków wewnątrz tunelu. Jak przedstawiono w rozdziale powyżej, dotychczas w Polsce powstawały głównie tunele krótkie, których całkowita długość nie przekraczała 1500 m. Dopiero pod koniec ubiegłego roku, do użytkowania oddany został najdłuższy obecnie tunel w Polsce, znajdujący się na Południowej Obwodnicy Warszawy. Zarazem jest to jedyny tunel, w którym zastosowano pełną wentylację poprzeczną. Niemniej jednak, jak pokazała analiza, w najbliższym czasie na terenie naszego kraju powstaną kolejne inwestycje tunelowe. Większość z nich stanowić będą obiekty dwunawowe, pozwalające na uzyskanie jednokierunkowego ruchu pojazdów. Najczęściej wybieranymi systemami są wentylacja wzdłużna, w przypadku tuneli krótkich, oraz wentylacja półpoprzeczna, gdzie powyżej wymienione rozwiązanie nie jest wystarczające.

Bibliografia

- [1] Beard, Alan; Carvel, Richard. Handbook of Tunnel Fire Safety, 2nd Edition. Londyn: ICE Publishing, 2012. ISBN 978-0-7277-4153-0.
- [2] Borowski, Marek; Zwolińska, Klaudia. Dobór systemu wentylacji w tunelu drogowym w warunkach pożaru, Cz. 1. Mosty. 2020, nr 2, s. 68–71.
- [3] Borowski, Marek; Zwolińska, Klaudia. Dobór systemu wentylacji w tunelu drogowym w warunkach pożaru, Cz. 2. Mosty. 2020, nr 3, s. 62–66.
- [4] CETU, Centre d'Études des Tunnels, Air flow modelling for tunnels Volume 1: tools and choice criteria, 2012. Plik dostępny online: https://www.cetu.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Guide_Mod_Aer_F1_EN_2012-10-23_BD.pdf (Data dostępu: 02.06.22).
- [5] Cheng, Jianwei; Liu, Fangyuan; Shi, Yu; Shi, Congling; Qi, Chang; Borowski, Marek; Zhang, Yongjun. Model tests of fire smoke control effects in highway tunnels. GRAĐEVINAR. 2020, nr 72 (9), s. 781–792.

- [6] Dyrektywa 2004/54/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie minimalnych wymagań bezpieczeństwa dla tuneli w transeuropejskiej sieci drogowej.
- [7] Król, Małgorzata; Król, Aleksander. Modelowanie systemów wentylacji tuneli drogowych. Rynek Instalacyjny. 2018, nr 12, s. 54–57.
- [8] NCHPR, National Cooperative Highway Research Program. Report no 425, Design Fires in Road Tunnels, 2011.
- [9] NFPA 502. Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways, NFPA, Quincy, 2014.
- [10] PIARC, World Road Association. Technical Committee on Road Tunnel Operation. Design fire characteristics for road tunnels, PIARC, 2017.
- [11] PIARC, World Road Association. Technical Committee on Road Tunnel Operation. Good practice for the operation and maintenance of road tunnels, PIARC, 2005.
- [12] PIARC, World Road Association. Road Tunnel Manual. Plik dostępny online: <https://tunnelsmanual.piarc.org/en/strategy-and-general-design-ventilation-concepts/design-and-dimensioning> (Data dostępu: 01.06.22).
- [13] PIARC, World Road Association. Technical Committee on Road Tunnel Operation. Systems and equipment for fire and smoke control in road tunnels, 2007.
- [14] RABT, Wytyczne dotyczące wyposażenia i eksploatacji tuneli drogowych, Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln, 2006.
- [15] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 63, poz. 735, z późn. zm.).

KONFERENCJE I SEMINARIA

| Tytuł | Organizator | Data i miejsce | Strona www |
|--|---|---|---|
| WRZESIEŃ 2022 | | | |
| 7th European Geosynthetics Conference (7 Europejska Konferencja Geosyntetyczna) EUROGEO 7 | Polskie Stowarzyszenie Geosyntetyczne, Warszawa | Warszawa 4–7 września 2022 r. | https://eurogeo7.org/ |
| II Konferencja Drogowo-Kruszywowa „Materiały, Surowce, Technologie – Wykorzystanie przy projektowaniu i budowie nawierzchni drogowych” | Elamed Sp. z o.o. Sp. k., Katowice | Kraków, 7–9 września 2022 r. | www.konferencjadrogowo-kruszywowa.elamed.pl |
| 67. Krynicka Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZITB | Politechnika Krakowska Wydział Inżynierii Lądowej | Kraków, 11–15 września 2022 r. | https://krynica2022.pk.edu.pl |
| 13th Central European Congress on Concrete Engineering, Next Generation of Concrete Engineering for Post-Pandemic Europe | fib CEB-FIP Poland | Zakopane, 13–14 września 2022 r. | ccc2022zakopane.pl |
| VIII Warmińsko-Mazurskie Forum Drogowe „Drogi i transport drogowy 2022” | Stowarzyszenie Polski Kongres Drogowy, Warszawa Zarząd Dróg Wojewódzkich w Olsztynie | Lidzbark Warmiński, 18–20 września 2022 r. | https://kongresdrogowy.pl/viii-warmińsko-mazurskie-forum-drogowe/ |
| PIARC 2nd International Conference on Road Tunnel Operations and Safety | PIARC – World Road Association | Granada, Hiszpania 25–28 września 2022 r. | https://www.piarc-tunnels-spain2022.org/ |
| IX Międzynarodowa Konferencja Technologie Bezwykopowe NO-DIG POLAND 2022 | Politechnika Świętokrzyska | Kraków 27–29 września 2022 r. | https://nodigpoland.pl |
| PAŹDZIERNIK 2022 | | | |
| VI Konferencja Drogowo-Mostowa Warunki gruntowe a projektowanie oraz budowa dróg i mostów | Elamed Sp. z o.o. Sp. k., Katowice | Katowice 5–7 października 2022 r. | https://konferencjadrogowo-mostowa.elamed.pl |
| XXI Konferencja Naukowo-Techniczna KONTRA'2022 Trwałość budowli i ochrona przed korozją | Komitet Trwałości Budowli PZITB Politechnika Warszawska Wydział Inżynierii Lądowej | Cedzyna k. Kielc, 13–14 października 2022 r. | www.kontra.il.pw.edu.pl |
| XVII Konferencja Naukowo-Techniczna Warsztat Pracy Rzecznawcy Budowlanego | Politechnika Świętokrzyska Wydział Budownictwa i Architektury | Cedzyna k. Kielc, 19–21 października 2022 r. | rzeczoznawstwo2022.tu.kielce.pl |
| Międzynarodowa konferencja drogowa – III Forum Beton w Drogownictwie – | PKD, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Stowarzyszenie Przemysłu Wapienniczego, Polski Związek Producentów Kruszyw | Warszawa, 19–21 października 2022 r. | https://kongresdrogowy.pl/iii-forum-beton-w-drogownictwie/ |
| LISTOPAD 2022 | | | |
| Konferencja Naukowo-Techniczna LXIII Techniczne Dni Drogowe | Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Zarząd Krajowy Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad | Łódź, 21–23 listopada 2022 r. | |
| IX Krakowskie Dni Nawierzchni 2022 | Media-Pro Polskie Media Profesjonalne Ewelina Nawara, Będzin | Kraków, 23–25 listopada 2022 r. | https://media-prof.pl/IX-KRAKOWSKIE-DNI-NAWIERZCHNI-2022_.html#O-konferencji_KDN22 |
| 2023 | | | |
| XIX Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Inżynierii Geotechnicznej | Polski Komitet Geotechniki Politechnika Śląska Katedra Geotechniki i Dróg | Gliwice, 4–7 lipca 2023 r. | |
| XXVII World Road Congress | PIARC – World Road Association | Praga, Czechy, 2–6 października 2023 r. | https://www.wrc2023prague.org/ |