



**Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad**



Nawierzchnie w tunelach drogowych

Maciej Mądro, Oddział w Krakowie



Rodzaje nawierzchni stosowane w tunelach na świecie

Na całym świecie w tunelach drogowych w obrębie jezdni przeznaczonych do samochodowego ruchu kołowego powszechnie stosuje się zarówno:

- **Nawierzchnie z mieszanek mineralno – bitumicznych**
w dalszej części nazwanymi ASFALTOWYMI
- **Nawierzchnie z betonu cementowego**
w dalszej części nazwanymi BETONOWYMI





USA – tunel pod rz. Hudson, naw. asfaltowa



Kolumbia – tunel w Medellin, naw. betonowa

Rodzaje nawierzchni stosowane w tunelach w Polsce

PODSTAWA PRAWNA:

**Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Wodnej z dnia 30 maja 2000 r.
w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty
inżynierskie i ich usytuowanie (Dz. U. 2000 nr 63, poz. 735)**

Generalna Dyrekcję Dróg Krajowych i Autostrad realizuje obecnie dziewięć tuneli o długości około **14 km**, a w ciągu najbliższej dekady przybędzie kilka tuneli o łącznej długości około **25 km**.

W eksploatacji :

Tunel na S1 w Lalikach

W realizacji :

1. Tunel w ciągu drogi ekspresowej S2 - Południowej Obwodnicy Warszawy
2. Tunel w ciągu drogi ekspresowej S7 Naprawa – Skomielna Biała
3. Tunel w ciągu drogi ekspresowej S3 Bolków - Kamienna Góra (TS26)
4. Tunel w ciągu drogi ekspresowej S3 Bolków - Kamienna Góra (TS32)
5. Tunel w ciągu DK93 w Świnoujściu
6. Tunel w ciągu drogi ekspresowej S52 Północnej Obwodnicy Krakowa (TS-04)
7. Tunel w ciągu drogi ekspresowej S52 Północnej Obwodnicy Krakowa (TS-14)
8. Tunel w ciągu drogi ekspresowej S19 Rzeszów Południe - Babica (T-1)
9. Tunel w ciągu drogi ekspresowej S1 - obejście Węgierskiej Górki (TD1, TD2)

W planowaniu :

1. Tunel w Zabierzowie w ciągu drogi krajowej nr 79
2. Tunele w ciągu drogi ekspresowej nr 7 Kiełpin - Warszawa (Trasa Armii Krajowej)
3. Tunele w ciągu drogi ekspresowej S19 Jawornik – Domaradz
4. Tunel w ciągu Zachodniej Obwodnicy Szczecina



Rodzaje nawierzchni stosowane w tunelach w Polsce



Naw. betonowa – tunel w m. Laliki na drodze S1



Naw. asfaltowa – tunel miejski pod Martwą Wisłą w Gdańsku

Rodzaje nawierzchni stosowane w tunelach w Polsce

Rozwiązanie przekroju poprzecznego tunelu jest uzależnione od metody realizacji robót

- Metoda podstropowa
- Drążenie tarczą TBM
- Metody górnicze

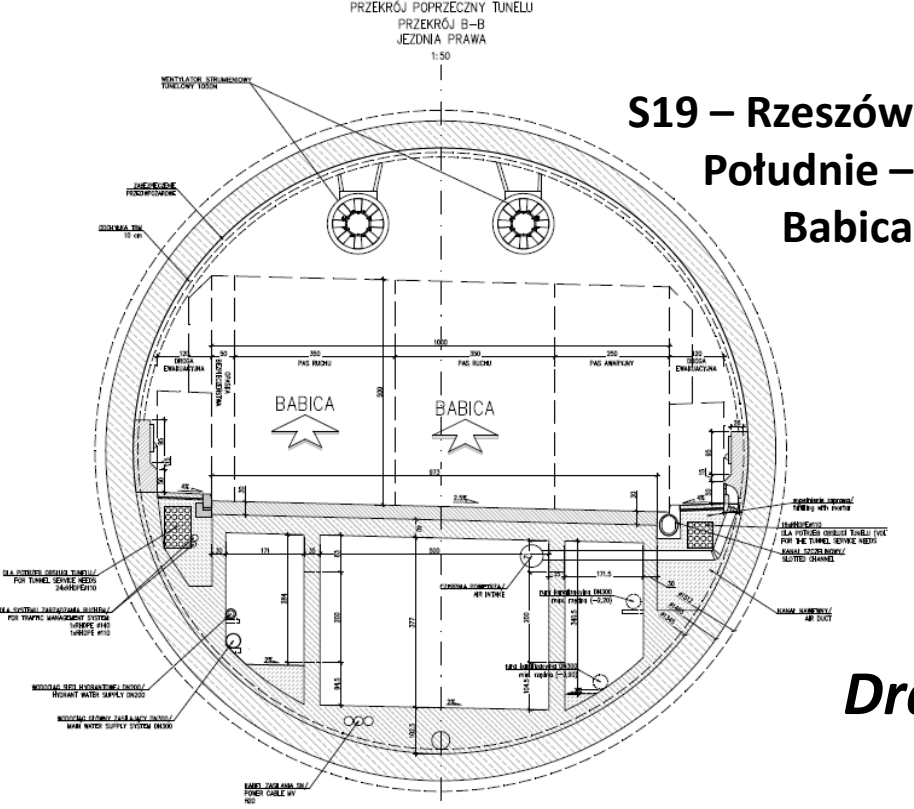
Usytuowanie nawierzchni w przekroju tunelu uzależnione jest zarówno od rodzaju przekroju narzuconego wspomnianymi wyżej metodami wykonawstwa robót jak i od sposobu wentylacji.

W realizowanych obecnie tunelach zaprojektowano systemy wentylacji

- Podłużnej,
- Półpoprzecznej,
- Poprzecznej.

W fazie projektowania

W fazie realizacji

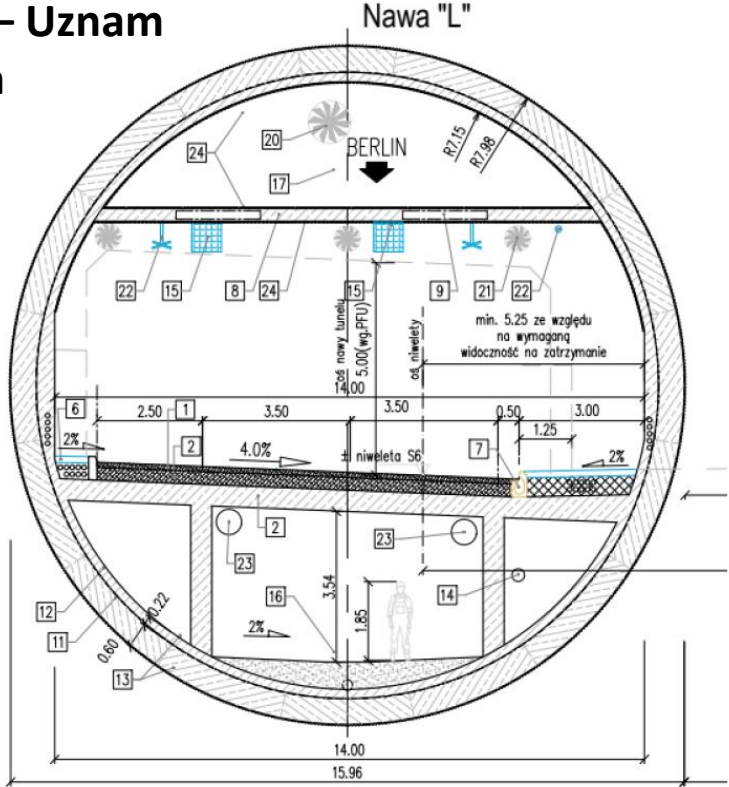


S19 – Rzeszów Południe – Babica

Nawierzchnia betonowa

Drążenie tarczą TBM

DK 93 – Uznam - Wolin



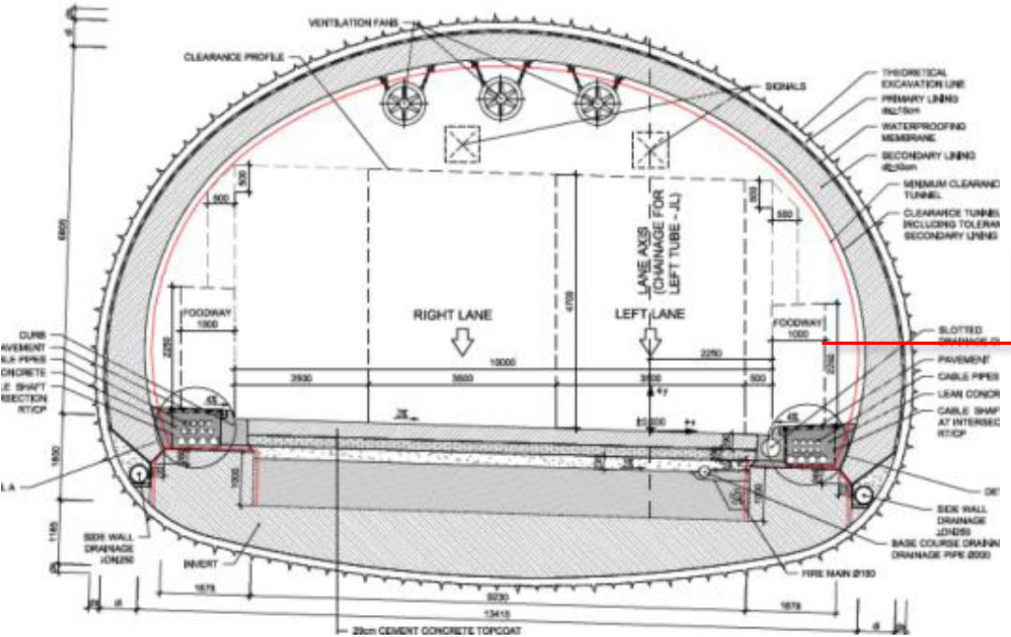
Nawierzchnia asfaltowa

Rodzaje nawierzchni – przykładowe realizacje

W fazie realizacji

S3 Bolków –
Kamienna Góra

S7 Naprawa –
Skomielna Biała

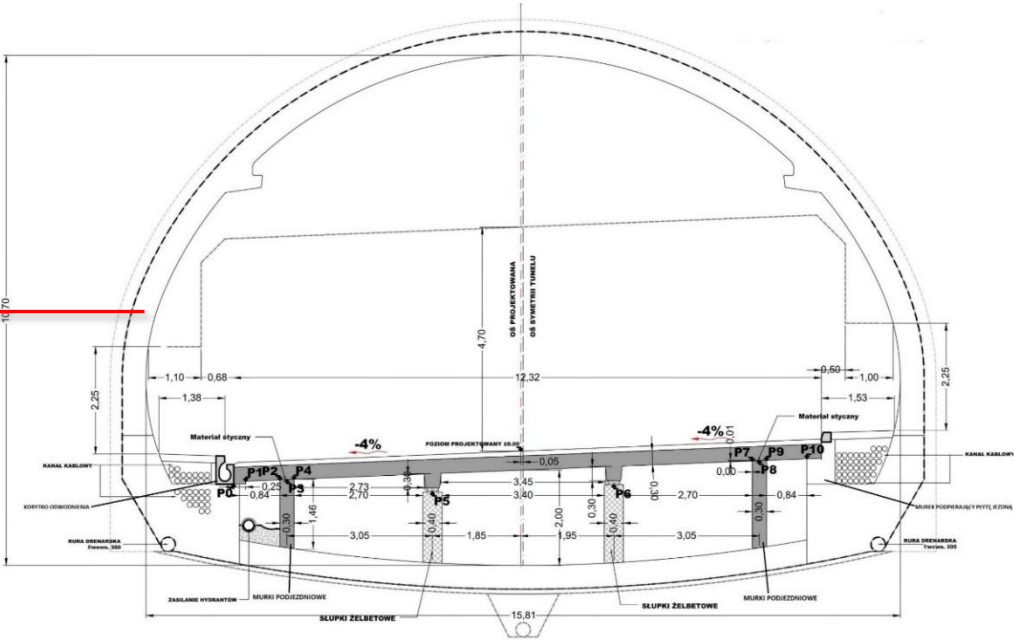


NATM

ADECO RS

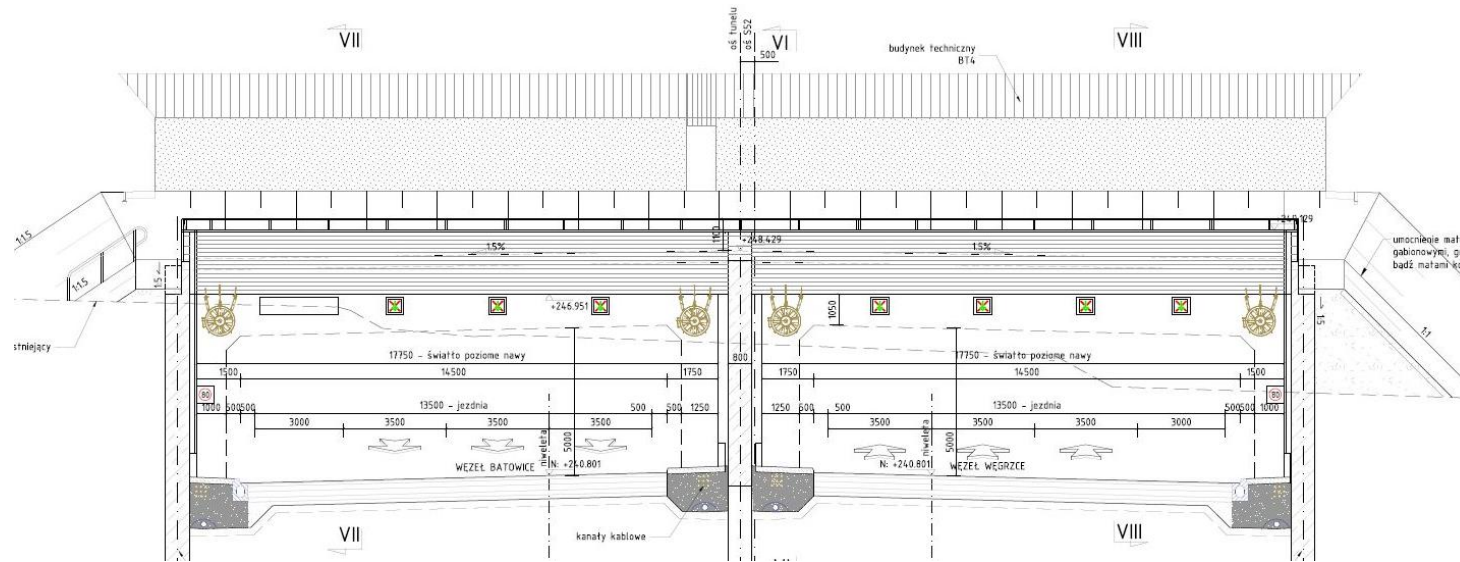
Drżenie
metodą górniczą

Nawierzchnia betonowa



Nawierzchnia betonowa

S 52 Północna Obwodnica Krakowa:



Nawierzchnia betonowa:

Metoda podstropowa

Warstwy górne konstrukcji nawierzchni	warstwa nawierzchniowa z betonu cementowego C35/45 dyblowana i kotwiona	warstwa górna z odkrytym kruszywem	G1
		warstwa dolna	5cm
	podbudowa zasadnicza z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C90/3		27cm
Warstwy dolne konstrukcji nawierzchni	podbudowa pomocnicza z mieszanki niezwiązanej z o CBR \geq 60%		17cm
Razem konstrukcja nawierzchni			79cm

Nawierzchnie betonowe z podbudową klasyczną vs Nawierzchnie betonowe na „obiektych inżynierskich” w tunelach

W tunelach drążonych tarczą TBM lub metodą górniczą, gdzie przyjęto wentylację półpoprzeczną, nawierzchnia jezdni jest ułożona na płycie podjezdniowej opartej pośrednio poprzez ścianki lub słupki. W ten sposób pod płytą powstają wolne przestrzenie, które są wykorzystywane jako kanały nawiewne czystego powietrza.

Płyta podjezdniowa ma w takim przypadku rolę i konstrukcję zbliżoną do płyty pomostu wiaduktów drogowych.

W podobnie drążonych tunelach, gdzie zaprojektowano wentylację podłużną konstrukcja nawierzchni jezdni może być oparta bezpośrednio, w sposób ciągły, co czyni ją podobną do klasycznych przekrojów konstrukcji drogowych.

Nawierzchnie betonowe z podbudową klasyczną vs Nawierzchnie betonowe na „obiektych inżynierskich” w tunelach

Nie zawsze można uniknąć wykonania płyty podjezdniowej np. kiedy konieczne jest wykształcenie kanałów nawiewnych przy powierzchni spągu.

Zaprojektowanie i wykonanie płyty podjezdniowej generuje dodatkowe koszty realizacji i eksploatacji tunelu:

- Wykonanie dylatacji mechanicznych i koszt ich utrzymania.
- Zapewnienie odpowiedniej współpracy nawierzchni i płyty podjezdniowej.
- W przypadku remontu nawierzchni konieczność wymiany izolacji płyty podjezdniowej.
- Konieczność dokonywania cyklicznych przeglądów i konserwacji podobnie jak w przypadku konstrukcji mostowych.

Nawierzchnia betonowa posadowiona na klasycznej podbudowie drogowej nie generuje powyższych problemów.

Nawierzchnie betonowe z podbudową klasyczną vs Nawierzchnie betonowe na „objektach inżynierskich” w tunelach - DYLATACJE

- Urządzenia dylatacyjne, które mają być stosowane określone są w projekcie wykonawczym.
- Muszą zapewnić okres użytkowania min. 20 lat.
- W zależności od projektu wykonawczego urządzenia dylatacyjne muszą gwarantować możliwość rozszerzania/kurczenia [w zakresie \pm kilku cm] dla każdego ustroju połączonego dylatacją.
- Każde urządzenie dylatacyjne musi być certyfikowane na podstawie badań zmęczeniowych, zarówno w odniesieniu do efektów termicznych, jak i obciążeń drogowych.
- Instalacja musi uwzględniać efekty dynamiczne (*wibracje, uderzenia, itp.*) i spełniać wymagania norm PN-EN 1993-1-8 i PN-EN 1090-2+A1:2012.

Kwestie widoczności w tunelu w kontekście rodzaju nawierzchni

Niezależnie od zaprojektowanego dla tunelu oświetlenia drogowego, często uzupełnianego przez oświetlenie prowadzące przy krawędziach jezdni oraz od oznakowania poziomego, GDDKiA w dbałości o bezpieczeństwo ruchu stawia również warunki jasności nawierzchni, czyli poziomu jej luminancji.

Wymagania dla nawierzchni asfaltowych są sprecyzowane w Warunkach Technicznych WT-2 2014 oraz WT-2 cz. 2

Przykładowo, w tab. 29 WT-2 2014 sformułowano wymaganie dla mieszanki SMA do warstwy ścieralnej w tunelu $Q_d \geq 90 \text{ mcd/m}^2 \cdot \text{lx}^{-1}$, gdzie badanie jest wykonywane zgodnie z procedurą opisaną w załączniku 4 do tego WT. Jest to wymaganie znacząco bardziej restrykcyjne niż wymaganie dla SMA na odcinkach poza tunelem, gdzie za jasną nawierzchnię uważa się nawierzchnię, dla której współczynnik luminancji $Q_d \geq 70 \text{ mcd/m}^2 \cdot \text{lx}^{-1}$

Kwestie widoczności w tunelu w kontekście rodzaju nawierzchni

Nawierzchnia o jasnym kolorze zapewnić będzie:

- lepszą widoczność w porach nocnych;
- obniżone ryzyko olśnienia przy wyjazdach z miejsc oświetlonych w miejsce oświetlone intensywnie (wjazdy i wyjazdy z tunelu);
- zmniejszenie negatywnych skutków odbić dyfuzyjnych (lustrzanych) powstałych w skutek odbić światła reflektorów pojazdów od mokrej nawierzchni;
- polepszenie rozpoznawalności obiektów na drodze poprzez wzrost kontrastowości;
- oszczędności wynikające z mniejszego zapotrzebowania na oświetlenie.

Bezpieczeństwo pożarowe w zależności od rodzaju nawierzchni

Nie istnieją na świecie publikacje, które jednoznacznie wskazywałyby, że zastosowanie którejś z technologii wykonania nawierzchni (betonu lub asfaltu) przekładałoby się na zmianę liczby wypadków i kolizji.

Wpływ na ryzyko wystąpienia zdarzeń drogowych według mają:

- natężenie ruchu w tunelu,
- ilość pojazdów ciężkich,
- przekrój poprzeczny nawierzchni tunelu,
- spadki podłużne nawierzchni w tunelu.

Niektóre kraje wskazują na jeden rodzaj nawierzchni: na nawierzchnię z betonu lub asfaltu.

Raporty techniczne oraz prace badawcze na temat tuneli opublikowane przez Światową Organizację Drogownictwa PIARC w 1999 r. oraz Europejskie Stowarzyszenie Nawierzchni Asfaltowych EAPA [27] w 2008 r. podają, że zarówno nawierzchnie z mieszanek mineralno-asfaltowych, jak i nawierzchnie z betonu cementowego mogą być stosowane w tunelach.

Bezpieczeństwo pożarowe w zależności od rodzaju nawierzchni

Projektując nawierzchnię w tunelu należy wziąć pod uwagę:

- klasę reakcji na ogień materiałów do wykonania nawierzchni (klasa reakcji musi zostać potwierdzona przez akredytowane laboratorium UE, i spełniać warunek klasy reakcji Bfl-s1),
- nawierzchnie należy dobrać odpowiednio do warunków panujących w tunelu trakcie eksploatacji,
- trwałość zmęczeniowa i żywotność nawierzchni – potwierdzone badaniami i obliczeniami
- możliwość przeprowadzenia skutecznej akcji ratowniczej i ewakuacyjnej w warunkach pożaru dla danej nawierzchni w tunelu,
- wydzielanie się gazów toksycznych podczas pożaru dla danej nawierzchni,
- jasność nawierzchni w tunelu.



Bezpieczeństwo pożarowe w zależności od rodzaju nawierzchni

W przypadku nawierzchni asfaltowych, na podstawie wyników badań wykonanych we Francji podano, że o ile w przypadku nawierzchni asfaltowych wydzielanie się związków toksycznych może wystąpić to jego ilość jest znikoma w porównaniu z gazami wydzielanymi przez palące się samochody i ich wpływ jest pomijalny przy ewakuacji pasażerów pojazdów.

W tych samych badaniach wykazano też, że nawierzchnie asfaltowe nie przyczyniają się do propagacji pożaru oraz są trudno zapalne i wymagają wysokiej temperatury by wystąpiło na nich zjawisko samozapłonu. Temperatura zapłonu w przypadku mieszanek mineralno-asfaltowych waha się w zależności od testów od około 430°C do 530°C.

W przypadku zaistnienia pożaru w tunelu kluczowe są pierwsze minuty od momentu pojawienia się ognia, w czasie których osoby znajdujące się w pobliżu źródła ognia mogą ewakuować się i pomóc ofiarom, zakleszczonym w rozbitych pojazdach, wydostać się i oddalić od miejsca zagrożenia.

Bezpieczeństwo pożarowe w zależności od rodzaju nawierzchni

Beton cementowy jest neutralny na działanie ognia.

W przypadku nawierzchni asfaltowej podczas trwania pożaru dochodzi do nadpalania błonki asfaltowej. Należy pamiętać, że w typowej mieszance mineralno-asfaltowej, **asfalt stanowi zwykle około 6-7%** masy całej mieszanki mineralno-asfaltowej, a pozostałą częścią jest kruszywo skalne, które jest materiałem niepalnym. Wierzchnia błonka asfaltu w nawierzchni asfaltowej ulega ścieraniu pod wpływem ruchu.

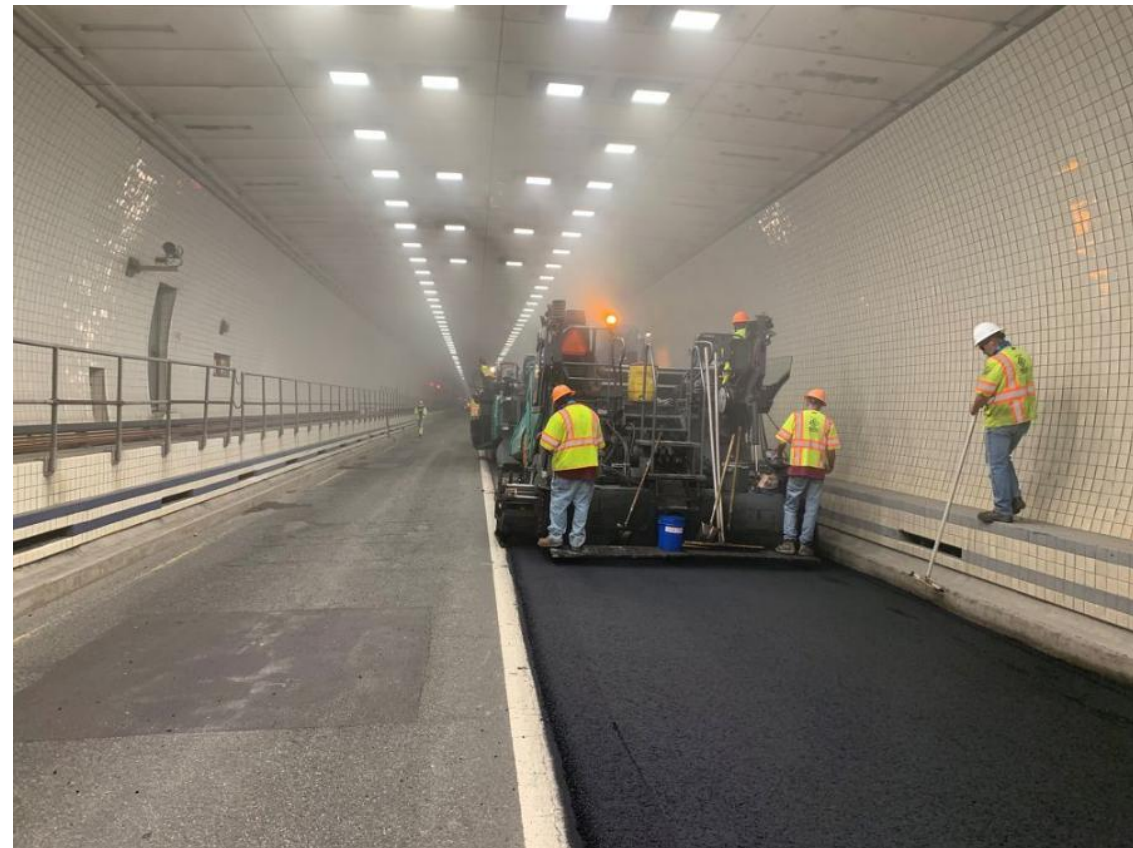
Podczas nadpalenia błonki asfaltowej może dojść do powstania toksycznych gazów (związków tlenku węgla), nie ma jednak dowodów na to, aby błonka asfaltowa ulegała zapłonowi. Zjawisko to jednak zachodzi dopiero w temperaturze 500°C, czyli w zaawansowanej fazie pożaru.

Jedną z głównych właściwości nawierzchni, która istotnie wpływa na czas inicjacji pożaru jest zawartość wolnych przestrzeni. Wraz ze wzrostem porowatości mieszanki, wzrasta zdolność do odprowadzenia wyciekłego paliwa z obszaru pożaru, opóźniając propagację pożaru i działając przeciwpożarowo.

Aspekt utrzymaniowy

Wszystkie nawierzchnie, niezależnie od materiału z jakiego są wykonane wymagają okresowej wymiany.

Wynika to z ograniczonej trwałości zastosowanych materiałów oraz założenia, iż projektowana nawierzchnia ma przenieść założone (prognozowane) obciążenie od ruchu pojazdów w ograniczonym okresie który wynika wprost z przepisów technicznych.



Aspekt utrzymaniowy

Nawierzchnie mogą również ulegać różnego rodzaju uszkodzeniom w czasie ich eksploatacji.

Przyczyną tych uszkodzeń mogą być w szczególności:

- Przedwczesne wyczerpanie trwałości materiałów i nośności podłoża w wyniku zwiększenia się zakładanego ruchu pojazdów ciężkich.
- Ruch pojazdów przeciążonych (przekroczony dopuszczalny nacisk na oś pojazdu).
- Awarie infrastruktury technicznej w pasie drogowym.
- Praca nawierzchni w newralgicznych obszarach jakimi są np. połączenia technologiczne z innymi konstrukcjami.
- Wady materiałowe konstrukcji nawierzchni.
- Niewłaściwe wykonawstwo robót.
- Zdarzenia i wypadki drogowe.
- Pożary pojazdów i ich ładunków.



Aspekt utrzymaniowy

Specyfika warunków panujących w tunelu, a szczególnie mała zmienność temperatury oraz osłona przed czynnikami klimatycznymi powoduje, że częstotliwość i rodzaj uszkodzeń jest inny niż dla odcinków zlokalizowanych na typowym odcinku drogi.

O ile w obu rodzajach nawierzchni niezbędne jest czasowe zamknięcie jednego lub kilku pasów ruchu w celu wykonania zabiegu utrzymaniowego, to duże różnice występują w okresie, po którym możliwe jest dopuszczenia pasa do eksploatacji bez ryzyka przedwczesnego uszkodzenia nawierzchni:

- W przypadku nawierzchni asfaltowych możliwe jest to już na następny dzień.
- W przypadku nawierzchni z betonu jest to związane z czasem wiązania betonu oraz niezbędnej pielęgnacji, od jednego do kilku dni po ułożeniu i zagęszczeniu nawierzchni.

Aspekt utrzymaniowy

Utrzymanie i naprawa szczelin dylatacyjnych w nawierzchniach z betonu

Standardowym i koniecznym zabiegiem utrzymaniowym szczelin w nawierzchniach z betonu jest okresowa wymiana wypełnienia (uszczelnienia). Polega ona na usunięciu starej masy zalewowej (lub innego uszczelnienia), oczyszczeniu szczeliny, ponownym zagruntowaniu oraz wypełnieniu kordem i masą zalewową (lub równoważnym uszczelnieniem).

Naprawa szczelin na pełną głębokość jest czynnością bardziej skomplikowaną i czasochłonną i wiąże się z wyłączeniem fragmentu jezdni z ruchu na okres co najmniej kilkunastu godzin.

Aspekt utrzymaniowy

Naprawa uszkodzonych płyt betonowych

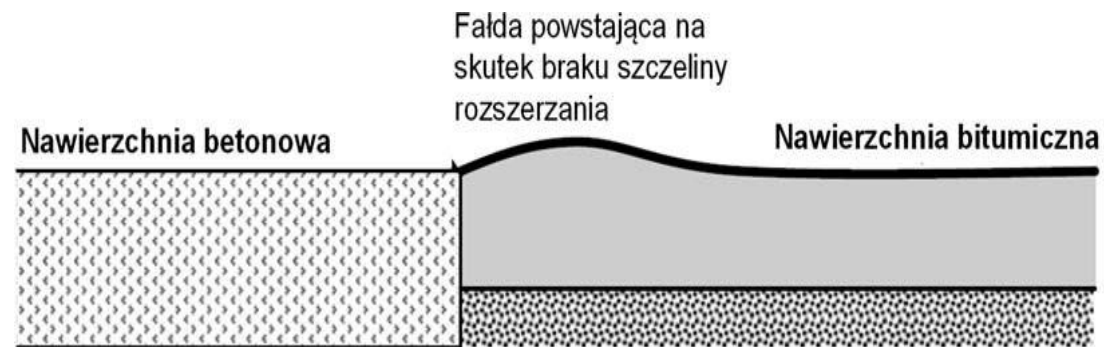
- konieczność czasowego wyłączenia znacznych fragmentów jezdni.
- w zależności od uszkodzeń płyty konieczne może być wyłączenie z ruchu jednego pasa oraz zawężenie pasów sąsiednich.
- czas na usunięcie płyty oraz jej odtworzenie wynosi do kilkunastu godzin i nie może zostać przerwany.
- czas potrzebny na osiągnięcie odpowiedniej wytrzymałości przypadku tradycyjnego betonu cementowego bez dodatków przyspieszających wiązanie okres ten wynosi min. 7 dni.
- możliwość zastosowania środków przyspieszających wiązanie, które umożliwiają oddanie wyłączonego fragmentu jezdni do ruchu już po 24 h.

Aspekt utrzymaniowy

Utrzymanie i naprawa nawierzchni asfaltowych

- Konieczność czasowego wyłączenia znacznych fragmentów jezdni.
- W zależności od uszkodzeń konieczne może być wyłączenie z ruchu jednego pasa oraz zawężenie pasów sąsiednich.
- Naprawa spękań powierzchniowych
- Naprawa nierówności poprzecznych i podłużnych
- Naprawa na połączeniach z innymi konstrukcjami

Zjawisko tworzenia się fałdy w nawierzchni z asfaltu na skutek rozszerzania się nawierzchniami z betonu i braku odpowiedniego jej zakończenia.



Aspekt utrzymaniowy z pożar

Znane są wyniki badań zachowania się materiałów stosowanych do wykonania nawierzchni drogowych w tunelach w warunkach pożaru.

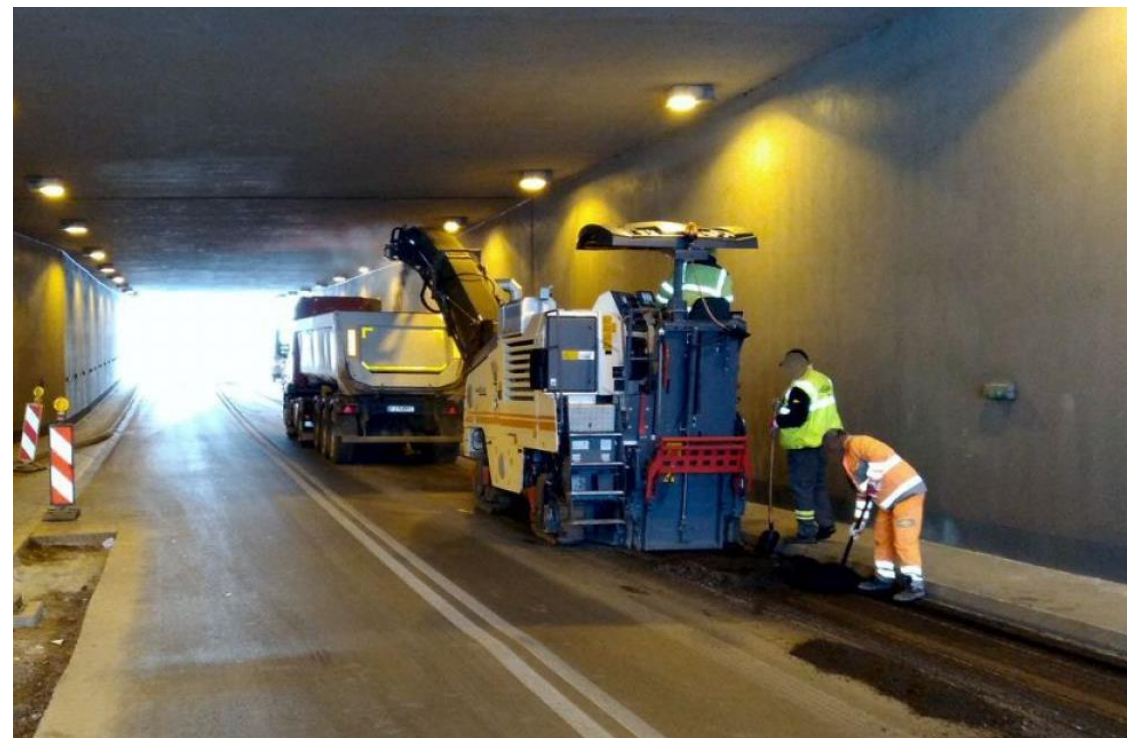
Badania takie prowadzono na próbkach betonowych i asfaltowych wyciętych z istniejących nawierzchni drogowych.

Przyjęto założenia prowadzonych badań:

- Czas trwania testu do 60 minut.
- Liniowy wzrost temperatury do 1200° C w ciągu 5 min, stała temperatura 1200° C przez kolejne 55 min.

Wyniku takich testów próbki wycięte z nawierzchni asfaltowej uległy całkowitej destrukcji. Natomiast zarówno próbki betonowe jak i asfaltowe uległy widocznej utracie masy.

Oba typy nawierzchni w warunkach pożaru będą ulegać utracie właściwości fizycznych, czego skutkiem będzie konieczność ich remontu, w większości przypadków polegającego na wymianie części konstrukcji nawierzchni.



Naprawy i utrzymanie nawierzchni:

- W okresie normalnej eksploatacji betonowa i asfaltowa nawierzchni będzie wykazywać podobne cechy funkcjonalne oraz zbliżony wpływ na użytkowników.
- Należy unikać rozwiązań konstrukcyjnych wymagających dylatacji płyty jezdnej z betonu, z uwagi na konieczność konserwacji dylatacji i wrażliwość krawędzi płyty na uszkodzenia przy dylatacjach.
- W tunelach, gdzie koniecznym jest zastosowanie płyty podjezdniowej, wymaga ona dodatkowych przeglądów i konserwacji, zwłaszcza w przypadku, gdy konstrukcja płyty wymagała dylatacji poprzecznych jak w pomostach obiektów mostowych.
- Najbardziej dotkliwe ze względu na odbiór i koszty społeczne będą długotrwałe wyłączenia całych komór tunelu dla ruchu i konieczność kierowania ruchu na trasy objazdowe.

Dziękuję za uwagę

e-mail: **kancelaria@gddkia.gov.pl**

www.gddkia.gov.pl

www.facebook.com

www.twitter.com/gddkia