

Doświadczenia niemieckie z nawierzchniami o obniżonym poziomie emisji hałasu

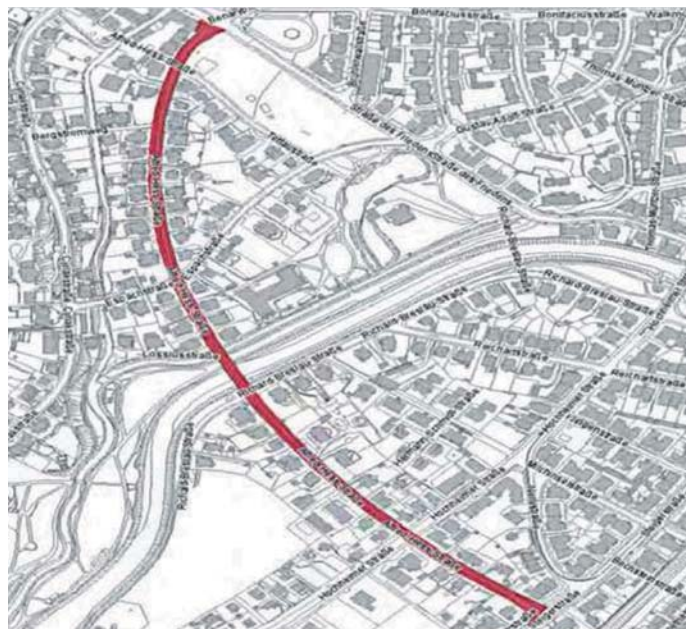
W dniu 30 czerwca 2005 r. weszły w życie w Niemczech wytyczne nr 2002/49/EU Unii Europejskiej dot. hałasu. Wytyczne stanowią kontynuację znanych w prawie unijnym przepisów w zakresie emisji hałasu (*Geräuschmmissionen*). Wraz z tymi przepisami powinny poprawić się oraz jednocześnie ujednoczyć wymagania dotyczące jakości planowania sposobów zmniejszenia hałasu. Z tzw. Pakietem II było to możliwe od 2009 r. wykonanie poprawy stanu ulic miejskich z wykorzystaniem dotacji celowej. Celem było doprowadzenie do poprawy lokalnej sytuacji w zakresie hałasu. Rozważano zarówno pasywne, jak i aktywne sposoby ochrony przed hałasem. Z uwagi na to w stolicy landu Erfurcie z powodzeniem zrealizowano w latach 2009–2011 liczne odcinki określone jako ciche nawierzchnie. Zaliczyć tu można tradycyjne rozwiązania wg wytycznych ZTV Asphalt-StB 07, takie jak mastyks asfaltowo-grysowy SMA 8S i SMA 8N., w wersji bez uszorstniania kruszywem i jako takie mogą być traktowane jak nawierzchnie ciche.

Zaletą tych uregulowanych rozwiązań jest sprawdzone zastosowanie i i małe ryzyko dla zleceniodawcy. Z drugiej strony występuje ograniczony potencjał w zakresie redukcji hałasu. Były zastosowane również rozwiązania specjalne, jak zoptymalizowane warstwy ściernalne z mieszanki o uziarnieniu do 5 mm o oznaczeniu LOA 5D oraz tzw. porowaty asfalt lany PMA 5.

Chodzi tu zatem o innowacyjne rozwiązania w dziedzinie nawierzchni asfaltowych. Tego rodzaju rozwiązania mogą się przyczynić do redukcji hałasu komunikacyjnego w miastach. Jednak należy powiedzieć o mniejszej trwałości tych nawierzchni i większym ryzyku w wykonaniu. Temat obejmujący ochronę przed hałasem w miastach ma coraz większe znaczenie. Ciche nawierzchnie mogą się do tego zdecydowanie przyczynić. W opracowaniu przedstawiono trzy wybrane przykłady zrealizowanych nawierzchni asfaltowych. Przedstawiono w związku z tym doświadczenia zrealizowane na terenie miasta Erfurt.

Nawierzchnie o obniżonym poziomie emisji hałasu – rozwiązanie według wytycznych ZTV Asphalt

Ulica Alfred-Hess-Strasse usytuowana jest na południowym zachodzie Erfurtu – stolicy landu i ma długość ok. 1000 m (rys. 1). Z obu stron ulicy występuje zabudowa mieszkalna z dużymi blokami mieszkalnymi. Po zjednoczeniu Niemiec w 1992 r. dotychczasowa zabudowa mieszkaniowa została rozbudowana a sama ulica Alfred-Hess-Strasse stanowi obecnie ważną arterię komunikacyjną miasta.



Rys. 1. Usytuowanie odcinka Albert-Hess-Straße

Konstrukcja nawierzchni omawianej ulicy jest następująca:

- klasa budowlana I
- 4 cm warstwa ściernalna z betonu asfaltowego 0/11S
- 8 cm warstwa wiążąca z betonu asfaltowego 0/16 S
- 18 cm warstwa podbudowy z betonu asfaltowego 0/32 CS

Nawierzchnia po 15 latach eksploatacji wykazywała szereg różnego rodzaju uszkodzeń, w dużej ilości występowały nieregularne spękania (rys. 2). Uszkodzenia w nawierzchni przyczyniały się do dalszej degradacji nawierzchni wskutek wnikanania wody, jak i oddziaływania ujemnej temperatury.



Rys. 2. Widok istniejącej nawierzchni w 2009 r.



Rys. 3. Rozkładanie zbrojenia



Rys. 4. Wbudowanie SMA 8S



Rys. 5. Widok wykonanej nawierzchni – maj 2011 r.

Wskutek występujących nierówności nawierzchni wzrósł również hałas mający źródło w oponach przejeżdżających pojazdów samochodowych, co mieszkańcy odczuwali w postaci zwiększonego hałasu komunikacyjnego. Władze miejskie Erfurtu, w tym Urząd Komunikacji, zdecydowały o wykonaniu remontu nawierzchni tej ulicy.

Wynikiem dokonanej oceny stanu nawierzchni było stwierdzenie, że warstwa ścieralna musi zostać wymieniona, natomiast możliwe będzie pozostawienie warstwy wiążącej i podbudowy. W miejscach, w których spękania przechodziły również do warstwy wiążącej wykonano wzmocnienie poprzez wbudowanie zbrojenia po sfrezowaniu starej warstwy górnej. Jako nową warstwę ścieralną zaprojektowano mieszankę mastykowo-grysową SMA 8S z użyciem asfaltu modyfikowanego polimerem 25/55-55 A o grubości 4 cm.

Drobną mieszankę mastykowo-grysową wybrano z uwagi na korzystne właściwości w zakresie emisji hałasu. Z tego powodu nie wykonano również posypania kruszywem wykonanej nawierzchni. Przy takiej koncepcji odnowy zostały spełnione warunki w zakresie emisji hałasu. To zadanie remontowe mogło zostać sfinansowane ze środków pakietu koniunkturalnego II.

Po wykonaniu frezowania zostały zrealizowane inne naprawy i wzmocnienia. W miejscach, w których spękania przechodzą aż do warstwy podbudowy, zastosowano siatkę z przeznaczeniem do wzmocniania warstw asfaltowych z włókna szklanego o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie (rys. 3). W taki sposób zapobiega się przechodzeniu istniejących spękań do nowo układanej warstwy. W obszarze połączenia poszerzona podbudowa została spryskana emulsją asfaltową i następnie wbudowana nowa warstwa. Głównym wykonawcą robót była firma Thomas Bau GmbH z Weimaru.

Wykonany remont objął wymianę ok. 5000 m² warstwy ścieralnej. Krawężnik, chodniki oraz urządzenia odwadniające tylko w miejscach, gdzie było to konieczne, zostały wybiórczo zreperowane.

Okres budowy wyniósł ok. 6 tygodni. Łączne koszty remontu włącznie z obsługą geodezyjną, ekspertyzą, planowaniem, nadzorem budowy i badaniami

kontrolnymi to koszt ok. 165.000 euro. Zakończenie robót nastąpiło 12 maja 2011 r.

Remont ten można przedstawić jako przykład oszczędnego i trwałego sposobu wykonania remontu ulicy obciążonej dużym ruchem pojazdów, wykorzystując możliwości promocyjne paktu bodźców gospodarczych. Zadanie to zrealizowano przy zastosowaniu zgodnej z aktualnymi wytycznymi dotyczącymi mieszanki mastykowo-grysowej SMA 8S – ZTV Asphalt-StB (rys. 4).

Również ze strony mieszkańców okolicznych domów, którzy musieli znosić niedogodności budowy usłyszano pochwały.

Wyraźnie odczuwalną redukcję emisji hałasu uzyskano poprzez wykonanie warstwy ścieralnej o stosunkowo drobnym uziarnieniu, tj. SMA 8S (rys. 5).

Nawierzchnie o obniżonej emisji hałasu rozwiązania specjalne

Stottenheimer Straße – wbudowanie asfaltowej warstwy ścieralnej LOA 5D

Ulica Stottenheimer (Straße) usytuowana jest w północnej części Erfurtu i spełnia funkcję jednej z głównych ulic wjazdowych (rys. 6). Przebiega bezpośrednio przed leżącym na wschodnim skraju dawno wybudowanego osiedla Sulzer. Na zachód poniżej Czerwonej Góry znajduje się teren mieszkalny zabudowany po zjednoczeniu Niemiec. W związku z budową autostrady A7 i powstaniem węzła Erfurt – Stottenheim znaczenie omawianej ulicy wzrosło. Istniejąca nawierzchnia asfaltowa była już mocno zużyta, jak również występowały miejsca po wykonanych przekopach oraz prowadzonych naprawach. Powierzchnia nawierzchni była



Rys. 6. Usytuowanie odcinka Stottenheimer Straße

niejednorodna i nierówna. Również nie było zapewnionego odpowiedniego odprowadzenia wody. Pobocza częściowo były powyżej konstrukcji nawierzchni (rys. 7). Postępująco zwiększały się uszkodzenia nawierzchni wskutek wnikającej wody i działania temperatury ujemnej. Hałas drogowy z powodu uszkodzeń nawierzchni był wysoki. Hałas toczenia był potęgowany przez występujące nierówności. Mieszkańcy byli bardzo zainteresowani poprawą stanu nawierzchni.



Rys. 7. Stotternheimer Straße w Erfurcie

Władze miasta Erfurt i Wydział Komunikacji zdecydowały wspólnie, że należy wykonać remont nawierzchni na odcinku w rejonie „Am Zoopark” i „Bergrat-Viigt-Straße”. Przy tym zamierzano wydatnie poprawić sytuację mieszkańców w zakresie hałasu komunikacyjnego.

W pierwszej kolejności wykonano ocenę stanu istniejącej nawierzchni. Stwierdzono, że konstrukcja tej ulicy spełnia wymagania RStO w zakresie nośności jak dla klasy I. Z tego wynikało, że istniejąca podbudowa niezwiązana i podbudowa asfaltowa mogą być wykorzystane.

Propozycja dotycząca sposobu remontu w efekcie wypracowanych ustaleń była następująca:

- należy sfrezować istniejące warstwy asfaltowe na głębokość 9,0 cm,
- wykonać naprawy lokalnych uszkodzeń,
- wykonać naprawy uszkodzonych urządzeń odprowadzenia wody,
- ułożyć nowe dwie warstwy asfaltowe, tzn. warstwę wiążącą i warstwę ścieralną o łącznej grubości 9,0 cm.

Odnosnie poprawy sytuacji w zakresie hałasu przewidziano ułożenie warstwy ścieralnej o symbolu LOA D optymalizowanej pod względem redukcji emisji hałasu – warstwa o uziarnieniu do 5 mm. Chodziło przy tym o warstwę ścieralną, która jest przydatna szczególnie do stosowania przy remontach na terenach miejskich i gmin. Z tego względu roboty te także jako poprawa właściwości w zakresie redukcji emisji hałasu mogły zostać sfinansowane ze środków pakietu ekonomicznego II. W tamtym okresie był to pierwszy przypadek zastosowania tego rozwiązania na terenie kraju związkowego Turynгии.

Skład mieszanki mineralno-asfaltowej został opracowany na Uniwersytecie w Bochum pod kierunkiem prof. dr. inż. Martina Radenberga z Katedry Budowy Dróg. Tego rodzaju mieszanka była stosowana od 2007 roku i wykonano oko-

ło 120 udanych wdrożeń na terenie Niemiec. Szczegółowe wskazówki dotyczące zastosowania łącznie z receptami itd. można znaleźć w internecie (loa 5d gogeln). W niniejszym opracowaniu przedstawia się tylko podstawowe informacje.

Co określa się poprzez nazwę LOA 5D?

- szczelną nawierzchnię asfaltową z relatywnie dużą zawartością wolnych przestrzeni,
- maksymalna średnica ziarna 5,6 mm,
- zawartość wolnych przestrzeni 5,0–6,0 %,
- grubość warstwy 2,0–2,5 cm,
- lepiszcze – asfalt modyfikowany,
- nie jest to jednak mieszanka AC 5D względnie SMA 5 wg TL Asphalt,
- potencjał w zakresie redukcji hałasu komunikacyjnego o 3–5 dB(A).

Szczególne cechy LOA 5D polegają na tym, że:

- ma drobne uziarnienie i uzyskuje się gładką powierzchnię,
- występuje duża zawartość wolnych przestrzeni – na próbkach Marshalla 5,0–6,0 %,

ale pomimo to jest:

- stabilna,
- szorstka,
- szczelna, tak że odpływ wody następuje poprzez powierzchnię górną (w przeciwieństwie do OPA lub ZWOPA – co oznacza asfalt porowaty jedno- lub dwuwarstwowy.

Powierzchnia górna wykonanej warstwy ścieralnej zapobiega powstawaniu hałasu i szumów wywołanych toceniem się kół pojazdów.

Kompromis związany z sumą podanych właściwości polega na tym, że wskutek wyższej zawartości wolnych przestrzeni procesy starzeniowe występują szybciej i tym samym można mówić o mniejszej żywotności tego rodzaju nawierzchni w porównaniu do bardziej szczelnych warstw asfaltowych.

Trwałość takiej nawierzchni jest jednak zdecydowanie wyższa, aniżeli w przypadku nienadającego się dla gmin asfaltu porowatego jedno- lub dwuwarstwowego (OPA oraz ZWOPA).

Koncepcja cienkiej warstwy ścieralnej związana jest z warstwą wiążącą o bardzo dużej stabilności AC 16 B-HSF a także AC 22 B-HSF, które to w odróżnieniu do konwencjonalnych mieszanek mineralno-asfaltowych z przeznaczeniem do wykonania tej warstwy mają bardziej stromą krzywą uziarnienia.

W przypadku robót remontowych ulicy Stotternheimer przewidziano następującą konstrukcję nawierzchni:

- 2,5 cm LOA 5 D z asfaltem 25/55-55 C,
- 6,5 cm AC 16 B-HSF z asfaltem 25/55-55 A.

Roboty rozpoczęły się w kwietniu 2010 od sfrezowania górnych warstw asfaltowych na głębokość 9,0 cm. Po wykonaniu różnego rodzaju prac naprawczych w zakresie odwodnienia, jak również istniejącej warstwy dolnej, w maju rozpoczęto układanie nowych warstw asfaltowych. Z uwagi na wymagane gwarancje stałego utrzymania ruchu co najmniej na połowie jezdni wykonywanie robót asfaltowych musiało następować w 6 sekcjach roboczych.



Rys. 8. Rozkładarka firmy Vögele 1303



Rys. 9. Walec tandemowy Hamm DV 70

Wbudowanie warstwy wiążącej można określić jako względnie nieskomplikowane. Wymagania dotyczące parametrów jakościowych zostały osiągnięte bez problemu. Inaczej wyglądało to z rozpoczętą w maju 2010 r. warstwą ścieralną LOA 5D. Pierwsze badanie typu dla mieszanki mineralno-asfaltowej opracowało ówczesne Centralne Laboratorium firmy Basalt AG Kamieniołomy Bawaria-Turyngia. Mieszanka była produkowana i dostarczana przez firmę AWE, wytwórnia w Waschleben GmbH.

Warstwa LOA 5D stawia przed wykonawcą duże wymagania jeżeli chodzi o jej wbudowywanie. Z jednej strony mieszanka ta wymaga szeregu odpowiednich warunków w trakcie wbudowywania, (równość podbudowy, odpowiednia temperatura, prędkość wiatru). Z drugiej strony niekorzystnie oddziałują elementy wbudowań, przyłącza i innego rodzaju urządzenia w nawierzchni. Niestety w warunkach miejskich jest trudno tego rodzaju utrudnienia wyeliminować. Zgodnie z podanymi „Wskazówkami dot. zastosowania” opracowanymi przez Uniwersytet w Bochum odpowiednie zagęszczanie ma następować tylko z użyciem standardowej belki rozkładarki, jak również jak dla cienkich warstw, a także statycznie zagęszczającym walcem tandemowym o masie poniżej 9 ton. Zagęszczanie wibracyjne z uwagi na możliwość miażdżenia ziaren LOA 5D nie jest zalecane.

Wiodącą firmą budowlaną była firma Heinrich Rohde – Tief und Strassenbau GmbH z Erfurtu. Firma Heinrich Rohde wykonywała już odcinek z zastosowaniem LOA 5D. Tym samym miała już pewne własne doświadczenia z wbu-

wywaniem tego rodzaju wymagających warstw ścieralnych. Zachodzi pytanie czy zdobyte doświadczenia mogły być w całości przeniesione na inną budowę.

W omawianym przypadku zastosowane były inne kruszywa używane do wytwarzania mieszanki mineralno-asfaltowej. Ponadto w przypadku, gdy pierwsze badanie typu odpowiada wymaganiom, musi to być produkt unikalny.

Aby ew. móc reagować w sprawie techniki zagęszczania, dla każdego odcinka przewidziano badania kontrolne Zleceniodawcy w odniesieniu do podstawowych parametrów tzn. zawartości wolnych przestrzeni i wskaźnika zagęszczenia.

Firma wykonująca roboty, tj. firma Rohde dysponowała rozkładarką Vögele 1303 ze standardową belką i walcem tandemowym o masie 8,5 t DV 70 VO z wibracją i oscylacją (rys. 8 i 9). Wibracja i oscylacja miały być na omawianej budowie wyłączone.

Uzyskany parametr dotyczący prawidłowego wbudowania mieszanki w przypadku wskaźnika zagęszczenia wyniósł jedynie 93,8%, co było niewystarczające.

W konsekwencji tego faktu została na walcu włączona oscylacja. Dzięki temu uzyskano wskaźnik zagęszczenia wynoszący 95,7%, co w dalszym ciągu uznano za niewystarczającą wartość.

Dopiero kombinacja standardowej belki rozkładarki i walca tandemowego Hamm DV 70 oraz użycie dodatkowo ciężkiego statycznego walca trzykołowego umożliwiło uzyskanie wskaźnika zagęszczenia 97,0% a także powyżej tej wartości.

Jeżeli chodzi o walec trzykołowy to jest to przerobiony walec Hamm HW 90B (rys. 10) o masie użytkowej 12 t. Tego rodzaju technika z prowadzonymi własnymi badaniami wykonawcy, tzn. firmy Rohde, z użyciem sondy Troxler doprowadziły ostatecznie do bardzo dobrych wyników w kwestii zagęszczenia warstwy (rys. 11).

Wyniki badań kontrolnych wykonywane przez Dr. Hutschenreuther z firmy Ingenieurgesellschaft für Bautechnische Prüfung mbH były pozytywne. Odnośnie wartości współczynnika miażdżenia ziaren, nie można było tego stwierdzić na podstawie uziarnienia. Prawdopodobnie za-



Rys. 10. Zagęszczanie walcem trzykołowym Hamm HV 90



Rys. 11. Sonda Troxlera



Rys. 12. Pomiar emisji hałasu nawierzchni Stotternheimer Strasse urządzeniem firmy BBM Müller

stosowana technika zagęszczania była prawidłowa, chociaż odbiegała od opracowanych uprzednio wskazówek dot. zastosowania.

Łącznie zrealizowana inwestycja może zostać nazwana udaną. Powstała nowa ulica przelotowa z nowoczesną nawierzchnią asfaltową o obniżonym poziomie emisji hałasu, przy wykorzystaniu istniejącej konstrukcji nawierzchni, co pozwoliło zminimalizować koszty inwestycji.

Wiele słów uznania otrzymano od mieszkańców przyległych domów, przede wszystkim z uwagi na wyraźne obniżenie poziomu hałasu.

Właściwości w zakresie emitowanego hałasu zostały pomierzone w sierpniu 2012 r. z wykorzystaniem urządzenia CPX. Pomiary wykonała firma Müller-BBM GmbH z Monachium (rys. 12).

Korzyści wynikające z tej metody polegają na szybkim pomiarze i przede wszystkim na tym, że są porównywalne, ponieważ wyniki podawane są w dB(A). W omawianym przypadku tj. warstwy LOA 5D dokonano porównania z nawierzchnią asfaltową przyległą do wykonanego odcinka.

Wykonana warstwa LOA 5D wykazała następujące parametry dotyczące redukcji hałasu:

- opony pojazdów samochodowych w odniesieniu do przyległej nawierzchni 3 dB(A),
- opony samochodów ciężarowych w odniesieniu do przyległej nawierzchni 2 dB(A).

Uwaga: obniżenie poziomu hałasu o 3 dB(A) postrzegane jest w przybliżeniu jako zmniejszenie ruchu pojazdów o połowę.

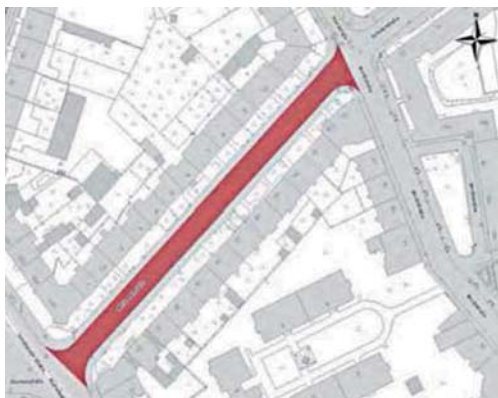
Omawiany remont nawierzchni objął powierzchnię około 10.000 m² warstwy ścieralnej i wiążącej. Takie elementy pomocnicze jak pobocza utwardzone, częściowo krawężniki i urządzenia odprowadzania wody były poddawane remontowi, o ile było to konieczne.

Roboty zrealizowano w okresie 7 tygodni. Łączne koszty, włącznie z pomiarami geodezyjnymi, opiniami, ekspertyzami, planowaniem, nadzorowaniem oraz badaniami kontrolnymi, wyniosły około 345 tys. euro brutto.

Zakończenie robót nastąpiło 25 czerwca 2010 r.

Moritzwallstraße – wbudowanie warstwy ścieralnej PMA 5

Ulica Moritzwallstrasse znajduje się w części na północ od centrum Erfurtu i stanowi ważną ulicę przelotową, będąc częścią tzw. ringu miejskiego (rys. 13). Moritzwallstrasse



Rys. 13.
Usytuowanie
odcinka
Moritzwallstraße

ma około 200 m długości, z obu stron ulicy powstały duże bloki mieszkalne. Nawierzchnię stanowił pakiet warstw asfaltowych o bardzo zróżnicowanym stanie technicznym. Nawierzchnia była często remontowana z uwagi na konieczność wykonania licznych przejść uzbrojenia technicznego, które z powodu powstałych uszkodzeń musiały zostać odnowione.

Sama nawierzchnia jak również fragmenty w obrębie szwów i połączeń była uszkodzona (rys. 14). Z podanych względów woda mogła przedostawać się w głąb konstrukcji i w powiązaniu z ujemną temperaturą następowały uszkodzenia. Wskutek nierówności nawierzchni zwiększał się hałas z toczących się kół pojazdów, co było odczuwane przez mieszkańców jako zwiększony poziom hałasu ulicznego. Władze miasta Erfurtu i Wydział Komunikacji planowały wykonanie remontu, jednocześnie jednak podnoszone było zagadnienie poprawy sytuacji w zakresie hałasu komunikacyjnego.

Badania w zakresie stanu istniejącego konstrukcji nawierzchni wykazały, że istniejąca nawierzchnia jest na części wykonana z kilku warstw asfaltowych ułożonych na bruku, natomiast na części występuje tylko pakiet warstw asfaltowych. Z uwagi na zróżnicowaną konstrukcję nie było możliwe pełne wykorzystanie istniejących warstw związanych.

Koncepcja nowej konstrukcji była następująca:

- rozbiórka bruku i istniejących warstw asfaltowych,
- profilowanie i dogęszczenie istniejącej podbudowy niezwiązanej,
- wykonanie nowej podbudowy asfaltowej, asfaltowej warstwy wiążącej i warstwy ścieralnej.

Konstrukcja została przyjęta zgodnie z podaną w wytycznych RStO dla klasy budowlanej III:

- 3,0 cm warstwa ścieralna z asfaltu lanego o porowatej powierzchni PMA 5,
- 5,0 cm warstwa wiążąca AC 16DS z użyciem asfaltu 25/55-55A,
- 14,0 cm podbudowa asfaltowa AC 12 TS z użyciem asfaltu B 50/70.

Ponieważ planowany remont powinien przynieść zdecydowaną poprawę sytuacji w dziedzinie hałasu komunikacyjnego, została zaprojektowana specjalna nawierzchnia z asfaltu lanego o porowatej powierzchni oznaczanej skrótowo PMA.

PMA 5 stanowi skrót od określenia porowatej asfalt lany o maksymalnej średnicy ziaren 5 mm. Chodzi tu o specjalny



Rys. 14.
Moritzwallstrasse
– widok uszkodzeń istniejącej
nawierzchni

asfalt lany o porowatej powierzchni zaproponowany przez mgr inż. Berndta Jannike. PMA stanowi nowe stosunkowo rozwiązanie w dziedzinie nawierzchni o obniżonej emisji hałasu. PMA stosowany jest w Niemczech od 2009 r.

Zastosowanie rozwiązania warstwy ścieralnej nawierzchni w Erfurcie z PMA 5 było pierwszym zastosowaniem w Turynii i stanowiło nowość w tym kraju związkowym.

Poprzez tego rodzaju koncepcję mogło nastąpić również z puli środków z wykorzystaniem pakietu koniunkturowego II.

Jak funkcjonuje PMA?

- PMA stanowi rodzaj warstwy o porowatej teksturze w górnej części, natomiast w dolnej jest szczelna jak asfalt lany,
- została już opracowana instrukcja robocza (*Arbeitspapier*) przez Grupę Roboczą Stowarzyszenia Badawczego Drogownictwa i Transportu AK 7.3.2 Asfalt Lany w ramach FGSV – Kierujący zespołem Pan Jannike,
- asfalt lany o porowatej teksturze – samozagęszczająca się mieszanka, wbudowywanie jak tradycyjny asfalt lany MA,
- zasada główna PMA drobnouziarniona mieszanka, zaprawa o dużej ilości lepiszcza, maksymalne ziarno 1,0 mm) opada w trakcie wbudowywania w głąb szkieletu,
- maksymalna równość w powiązaniu z płaskim ziarnami, nie występują szpice w kruszywie, które wychodzą na górę z warstwy ścieralnej i tym samym powodują drgania opon,

Rys. 15. Porowaty asfalt lany PMA – odwiert z wykonanej nawierzchni



Tabela 1. Recepta na wytwarzanie mieszanki porowatego asfaltu lanego PMA

Składniki mieszanki mineralno-asfaltowej Mieszanka mineralna	PMA 5
Przechodzi przez sito 8 mm, % (m/m)	100
5,6 mm	90 – 100
2 mm	25 – 40
1 mm	25 – 40
0,063 mm	16 – 20 mączka wapienna
Mieszanka mineralno-asfaltowa	
Minimalna zawartość lepiszcza, % (m/m)	B_{\min} 7,0
Maksymalna zawartość wolnych przestrzeni w próbkach, %	V_{\max} 8,0
Maksymalna penetracja statyczna stemplem, mm	I_{\max} 3,0
Przyrost penetracji, mm	I_{NC} 0,3

- zawartość wolnych przestrzeni w górnej warstwie (ok. 1 cm) wynosi 3–8 % (rys. 15 i tabela 1).

Wbudowanie mieszanki w jednym przejściu należy przestrzegać następujących zasad, ponieważ wynikają z tego następujące korzyści:

- minimalne zagęszczenie wstępne rozkładarki około 1/3 jednostki (ubijak) nie jest konieczne dalsze zagęszczenie, stosuje się jeden lekki walec statyczny, wyłącznie do tzw. zaprasowania,
- nie jest konieczne uszczelnienie warstwy wiążącej zalecany jest jednak sprysk dla lepszego powiązania warstw,
- temperatura mieszanki mineralno-asfaltowej na wytwórni ok. 190 do 200 °C, temperatura wbudowania około 180 do 190 °C,
- zastosowanie asfaltu o małej lepkości do mieszanek o obniżonej temperaturze wytwarzania,
- wbudowanie standardową rozkładarką, względnie użyciem belki do asfaltu lanego,
- transport mieszanki mineralno-asfaltowej normalnymi pojazdami ciężarowymi, względnie kottami do asfaltu lanego,
- nie są konieczne żadne zabiegi uszorstniające warstwę ścieralną,
- wysoka stabilność warstwy, możliwe szybkie przekazanie do ruchu pojazdów,
- wbudowanie możliwe także w niskiej temperaturze podłoża i powietrza.

Jako lepiszcze stosowane są gotowe lepiszcza o obniżonej lepkości – możliwe są tu różne warianty. W omawianym przypadku stosowano lepiszcze specjalne NT 35PG z BHV Bitumen.

Jeżeli chodzi o kruszywo grube o uziarnieniu 2/5 mm to obowiązywały następujące wymagania:

- SZ 18/LA 18 duża odporność na polerowanie.
- PSV (deklarowany) 54 – duża odporność na polerowanie.
- Kategoria SI 15 względnie FI 15 – ziarna kubiczne
- C 100/0 C 95/1, C 90/1 – duża powierzchnia ziaren przełamanych.

Pierwsze badanie typu zostało wykonane przez dr Hutchenreuter Ingenieurgesellschaft für beutechnische Prüfung mbH. Mieszanka mineralno-asfaltowa była dostarczana z wytwórni należącej do Deutsche Asphalt GmbH w Elxleben. Wiodącą firmą była Eurovia Verkehrsbau Union GmbH z Umpferstedt.

Powodzenie dotyczące pożądanej struktury powierzchniowej zależy od optymalnego składu mieszanki a także od metody wbudowywania. Bardzo istotne elementy stanowią: prawidłowe ustawienie rozkładarki i walców do wyrównania powierzchni górnej. W celu optymalizowania recepty i techniki wbudowywania zalecano wykonanie odcinka próbnego o długości około 100 mb.

Taki odcinek był przewidywany w specyfikacji technicznej. Na części odcinka przewidziano wykonanie warstwy wiążącej. W przypadku złych wyników należy odcinek wykonać ponownie.

W końcu września rozpoczęto roboty od rozbiórki na powiecie jezdni istniejących warstw asfaltowych i bruku. Musiały



Rys. 16. Porowaty asfalt lany PMA 5 – odcinek próbny



Rys. 17. Odcinek próbny – północny fragment wykonanej nawierzchni

zostać wykonane różnego rodzaju prace naprawcze krawężników, urządzeń odwadniających jak również remont chodników. Istniejąca warstwa mrozoochronna została wyprofilowana i dogęszczona. W dalszej kolejności wykonano warstwę podbudowy i warstwę wiążącą.

W dniu 19 października ok. godziny 18.00 został wykonany odcinek próbny z PMA 5. W trakcie wykonania tego odcinka firma Eurovia testowała różne ustawienia rozkładarki. W taki sposób doświadczenie można było wykorzystać przy układaniu warstwy ścieralnej. Zakres prób obejmował prędkość wbudowywania, wstępne zagęszczenie belką rozkładarki, (wydajność tampera ubijaka) i kąt ustawienia belki (rys. 16 i 17).

Do wygładzenia powierzchni zastosowano walec statyczny z poszerzonym bandażem. Tego rodzaju walec stanowi rozwiązanie firmy Eurovia, które dotychczas wykorzystywane było przy układaniu warstw asfaltowych metoda kompaktową. Wygląd wykonanej warstwy z asfaltu lanego PMA, a także wyniki, były wyczekiwane w napięciu. Następnego dnia odcinek został obejrzyjany przy świetle dziennym, pobrano również odwierty w ramach badań własnych wykonawcy.

Odcinek próbny miał generalnie dobry wygląd. Wystąpiły jednak także bardzo ślisko wyglądające miejsca, tzw. miejsca przeasfaltowane. W tych lokalizacjach zawierająca asfalt zaprawa nie opadła i grube

kruszywo nie miało żądanej tekstury o dużej zawartości wolnych przestrzeni. Tego rodzaju śliskie miejsca nie mogą występować na warstwie ścieralnej (górnej). Mogą one być niebezpieczne dla motocyklistów.

W tej kwestii kontaktowano się z inż. Jannike, jako twórcą tej technologii a także przedstawione zostały wyniki badań. Inż. Jannike był również włączony do prac związanych z opracowaniem pierwszego badania typu. Pan Jannike dał zalecenie zmiany w pierwszym

badaniu typu, z uwagi na występowanie przeasfaltowanych miejsc zalecił nieco więcej lepszysza i poprzez to więcej zaprawy asfaltowej.

Podobnie specjaliści z firmy wykonawczej Eurovia dyskutowali intensywnie w kwestiach dotyczących wyników badań. Analizowano ustawienia rozkładarki z uzyskanymi wynikami badań. W rezultacie rozmów ustalono prędkość układania 4 m/min i wydajność ubijaka 40% dla realizowanej warstwy. Również pierwsze badanie typu zostało skorygowane zgodnie z uwagami pana Jannike.



Rys. 18. Urządzenie do podgrzewania nawierzchni



Rys. 19. Wykonywanie odcinka (obserwacje specjalistów)



Rys. 20. Przejazd lekkim walcem statycznym



Rys. 21. Widok górnej powierzchni asfalt lanego PMA



Rys. 22. Odwierty pobrane z nawierzchni do badań kontrolnych – u góry widoczna cienka warstwa PMA 5



Rys. 23. Wykonany odcinek w ciągu ulicy Moritzwallstraße – stan w miesiącu wrześniu 2012 r.

Począwszy od drugiej połowy października kontynuowano prace.

Warstwa nawierzchni z PMA została wykonana w dwóch sekcjach (dla każdej połowy nawierzchni). Z uwagi na stosunkowo niską temperaturę, a także występujące w porze nocnej przymrozki, podłoże było ogrzewane powierzchniowymi nagrzewnicami. Dalsze wbudowywanie przebiegało już bez większych problemów (rys. 18 do 21).

Wynik końcowy można określić jako pełen sukces. Nawierzchnia wyglądała jak o uziarnieniu drobnoziarnistym, była jednorodna, równa i miała bardzo nieliczne miejsca przeasfaltowane.

Zmiana dokonana w ramach pierwszego badania typu była zatem prawidłowa. Więcej zaprawy asfaltowej spowodowało, że mieszanka była bardziej płynna i zaprawa mogła należycie opadać, a tym samym wierzchołki kruszywa tworzyły zalecaną porowatą powierzchnię. Również wyniki badań kontrolnych wykazały, że nie może być zastrzeżeń dotyczących samej mieszanki, jak i wbudowania.

Należy podkreślić, że na omawianej budowie była dobra i konstruktywna współpraca wszystkich uczestników robót. Każda ze stron czyniła starania w kierunku powodzenia tego interesującego obiektu (rys. 22 i 23).

Obniżenie poziomu hałasu od opon kół samochodów było wyraźnie odczuwalne. Właściwości akustyczne pomierzone zostały przez firmę Müller BBM GmbH. Pomiar metodą CPX wykonanej nawierzchni z PMA wykazały następujące obniżenie poziomu emitowanego hałasu:

- opony samochodów osobowych w porównaniu do przyległej istniejącej nawierzchni – 2 dB (A),
- opony samochodów ciężarowych w porównaniu do przyległej istniejącej nawierzchni – 2 dB (A).

Należy w tym miejscu zaznaczyć, że istniejąca nawierzchnia granicząca z ocenianym odcinkiem była w względnie dobrym stanie, tak, że redukcja poziomu emisji hałasu jest niewielka i wynosi 2 dB(A).

Czas trwania budowy odcinka wyniósł około 6 tygodni. Remont obejmował 2 100 m² powierzchni. Urządzenia poboczne jak półki i graniczące powierzchnie chodników zostały naprawione w razie potrzeby. Łączne koszty remontu włącznie z ekspertyzami, opiniami, planowaniem i nadzorem

wyniosły ok. 175 000 euro brutto.

Wnioski, podsumowanie

Wytyczne Unii Europejskiej (EU) dot. Alarmu dla otoczenia 2002/49/EG w 2005 r. zostały przeniesione do prawa krajowego (Niemiec) i do 2013 r. wdrożone. Należy się zatem spodziewać, że ochrona przed powstającym hałasem na

ulicach miast będzie jeszcze bardziej brana pod uwagę. Nawierzchnie asfaltowe o obniżonej emisji hałasu mogą stanowić w tym zakresie istotny wkład. Przy remontach nawierzchni ulic miejskich poprzez wybór odpowiedniej nawierzchni można względnie łatwo osiągnąć zmniejszenie poziomu emisji hałasu od toczących się opon pojazdów samochodowych.

Przykład odcinka Alfred-Hess-Strasse SMA 8S:

Obniżenie poziomu hałasu następuje względnie łatwo poprzez zastosowanie standardowych mieszanek mineralno-asfaltowych według ZTV Asphalt-StB, w przypadku rezygnacji z posypania kruszywa w celu uzyskania odpowiedniej szorstkości początkowej. Nawierzchnia ulicy Alfred-Hess-Strasse wykonana z nieposypanej kruszywem mieszanki mastyksowo-grysowej SMA 8S stanowi tego przykład. Tego rodzaju nawierzchnia może być stosowana jak cicha nawierzchnia – zgodnie z Wytycznymi w sprawie hałasu ulicznego (RLS-90); wydawnictwo FGSV nr 334. Niewykonywanie uszorstnienia może skutkować gorszą szorstkością w początkowym okresie użytkowania wykonanej nawierzchni. Można alternatywnie zbadać wpływ ograniczenia dopuszczalnej prędkości w pierwszym okresie po oddaniu do ruchu.

W przeciwnym razie typowa konstrukcja skutkuje nieskomplikowanymi normalnymi rozwiązaniami bez żadnego szczególnego ryzyka.

Przykład odcinka Stottenheimer Straße

Skuteczna redukcja hałasu możliwa jest z użyciem względnie porowatego LOA 5D. Jednak użytkownik powinien zakładać, że tego rodzaju nawierzchnie nie są tak samo trwałe, jak dotychczas stosowane bardziej szczelne betony asfaltowe, względnie SMA nie będące nawierzchniami cichymi. Wykonanie warstwy z LOA 5D, która jest przewidywana jako cienka warstwa $\leq 3,0$ cm grubości wymaga odpowiednich warunków (patrz ZTV Asphalt-StB, Tabela 6). Należy ponadto przestrzegać, że chodzi o rozwiązanie specjalne, w przypadku którego jest większe ryzyko.

Przykład odcinka Moritzwallstraße PMA 5

Porowaty asfalt lany PMA stanowi nowe rozwiązanie w dziedzinie nawierzchni o obniżonej emisji hałasu. Pomimo tego, założenie nie jest nieuzasadnione, PMA ma taką samą żywotność i także można uzyskać długi okres eksploatacji, ponieważ PMA zostało opracowane na bazie tradycyjnego asfaltu lanego. PMA jest porowaty tylko w górnej warstwie, natomiast w części dolnej szczelny jak asfalt lany. Naturalnie są to braki długotrwałych doświadczeń, obecne dane stanowią jedynie założenia.

PMA można określić jako rozwiązanie szczególne.

W przypadku Erfurtu nikt nie miał doświadczeń z tego rodzaju warstwą nawierzchni. Istniejące przepisy ZTV Asphalt-StB przy zleceniu umowy tylko częściowo przydatne. W przypadku wykonania tego rodzaju robót występuje wyższe ryzyko.

Opracowanie za zgodą na podstawie artykułu „Erfahrungen mit lärmarmen Asphaltbelägen” zamieszczonego w miesięczniku Strasse und Autobahn nr 12/2013

Autor artykułu: Gerhard Glanz

Opracował: Marek Danowski



STEFAN SARNA

stefansarna@wp.pl

Idea wykorzystania urządzenia *Eyetracker*¹ na rzecz poprawy poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego

(głos w dyskusji)

Wybrane prace badawcze i analityczne na rzecz ograniczenia zagrożenia wypadkami drogowymi

Z przeprowadzonych badań autorów² wynika zależność pomiędzy posiadanym doświadczeniem a efektywnością koncentracji uwagi podczas prowadzenia pojazdu. Styl jazdy niedoświadczonych kierowców może być wyznacznikiem poziomu rozproszenia uwagi, a w następstwie niego może wystąpić zagrożenie bezpieczeństwa ruchu powodowane przez takiego kierującego. Autorzy przytoczyli wyniki prac badawczych, z których wynika, że rozproszenie uwagi jest jednym z najczęstszych powodów wypadków drogowych, a rozproszony kierowca ma od dwóch do dziewięciu razy bardziej zwiększone ryzyko udziału w wypadku. Planując nowe eksperymenty autorzy mieli na celu zbadanie wpływu obciążenia poznawczego indukowanego przez wykonywanie przez kierującego zadań dodatkowych na jakość wykonywanych zadań podstawowych, tj. prowadzenia pojazdu.

Warto też wymienić rezultaty prac analityczno-studialnych prowadzonych przez organizację PIARC³ na rzecz poprawy BRD, koncentrujących się na uwzględnianiu czynnika ludz-

kiego w kształtowaniu geometrii i otoczenia dróg. Zaleca się wykorzystywanie wyników tych prac do ustalania przyczyn wypadków, których źródła mogą wiązać się z błędami popełnionymi przez kierujących.

Z. Dudkowiak⁴ przytacza wyniki prac innego badacza – D. Baldwin. Badacz ten przyczynę wypadku drogowego definiuje on jako „warunek istniejący przed wypadkiem, który można by było praktycznie wyeliminować”. G. Benett, cytowany w powyższych pracach przez ww. autora, definiuje przyczynę wypadku jako „poprzedzający warunek, który można by było praktycznie wyeliminować i bez którego do wypadku by nie doszło”. Spostrzeżenia te pomogły D. Baldwinowi opracować kryterium wyróżnienia przyczyn wypadków drogowych do celów inżynierii ruchu drogowego.

Autor artykułu⁵ zaproponował analityczną metodę oceny na podstawie statystycznie potwierzonego związku zróżnicowanej trudności występujących manewrów na skrzyżowaniu, z liczbą wypadków na analizowanych skrzyżowaniach dróg. Przyjęto, że jest to następstwo błędnego rozwiązywania sytuacji ruchowych przez kierujących. Złożoność sytuacji drogowej wyrażana była w tej pracy przez koncentrację potencjalnych miejsc kolizji potoków ruchu, tj. miejsc, gdzie

⁴ Zbigniew Dudkowiak: *Przyczyny wypadków drogowych na tle teorii przyczynowości* (kingston szary) <https://repozytorium.amu.edu.pl/bitstream/10593/19485/1/016%20ZBIGNIEW%20DUDKOWIAK>.

⁵ S. Sarna: *Metoda oceny skrzyżowań ulic/dróg pod względem zagrożenia bezpieczeństwa ruchu drogowego*. „Transport Miejski” nr 9–10/97, str. 49–51, SITK RP [na podstawie pracy BPRW pt.: *Metody oceny efektywności usprawnień [funkcjonalnej i ekonomicznej] w organizacji ruchu drogowego*. Temat CPBR 13.1.5.4.10 (badawczo-wdrożeniowy), Stefan Sarna – autor kierujący],

¹ Termin z języka angielskiego oznaczający śledzenie ruchu oka.

² M. Kruszewski, M. Nader: *Projekt badań wpływu obciążenia poznawczego zadaniami dodatkowymi na prowadzenie pojazdu przez kierowcę*. <https://docplayer.pl/113612732-Projekt-badan-wplywu-obciazenia-poznawczego-zadaniami-dodatkovymi-na-prowadzenie-pojazdu-przez-kierowce.html>

³ Road Safety Evaluation Based on Human Factors Method. Piarc 2018 r.

przecinają się, łączą się lub rozłączają się trasy pojazdów lub pojazdów i pieszych na skrzyżowaniu. Poszczególnym manewrom przypisany został określony poziom trudności ich wykonania, a jego wystąpienie założono jako powód zdarzeń drogowych na analizowanym skrzyżowaniu. Powiązanie złożoności sytuacji z wypadkami sprowadzono do uproszczonego twierdzenia, że im trasa przejazdu pojazdów była bardziej kolizyjna przy pewnym natężeniu ruchu pojazdów w jednostce czasu, tym większe wystąpiło zagrożenie wypadkami. Na tej podstawie wyprowadzono miarę zagrożenia bezpieczeństwa ruchu, nazwaną tu wskaźnikiem ryzyka wypadku. Wnioski mogłyby być wykorzystane podczas projektowania organizacji i rozkładu ruchu w sieci pod kątem zmniejszenia prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń drogowych, zwłaszcza wypadków.

Na podstawie tego pobieżnego przeglądu prac badawczych przyjęto założenie, również na podstawie doświadczenia własnego jako kierowcy, że jakość śledzenia drogi przez szybę przednią, szyby boczne oraz lusterko wsteczne przez kierującego, może zależeć od stanu fizycznego i psychicznego oraz przygotowania zawodowego kierowcy. Zatem niedostateczne lub błędne pobieranie informacji o sytuacji na drodze, o ruchu i jego organizacji i o otoczeniu, szczególnie w złożonych przypadkach ruchowych może prowadzić u słabiej przygotowanych kierujących do błędnych decyzji i w następstwie do zagrożenia bezpieczeństwa ruchu.

Jeśli założenie jest poprawne, to przejawem gotowości kierującego do bezpiecznej jazdy jest tempo pobierania i przetwarzania informacji z otoczenia za pośrednictwem wzroku. Występować zatem mogą przypadki niedostatecznego zasobu informacji do kontynuacji bezpiecznej jazdy. Skrajnym przykładem braku wykorzystania wzroku jest zaśnięcie za kierownicą, niekiedy bardzo krótkie, lecz mogące prowadzić do wypadku, zwłaszcza na jezdni dwukierunkowej. Są one szczególnie prawdopodobne w przypadku pracy kierowców samochodów ciężarowych, pokonujących wielogodzinne trasy. Obecnie producenci samochodów osobowych i ciężarowych coraz częściej wyposażają pojazdy w systemy kontroli pasa ruchu, jednakże nie są to systemy obowiązkowe i wciąż występują jako wyposażenie opcjonalne.

Eyetracker⁶

Prezentowane informacje o omawianym urządzeniu autor zaczerpnął na potrzeby tego artykułu przede wszystkim ze źródeł internetowych, nie mając z nim w praktyce do czynienia.

Eyetracker jest elektronicznym urządzeniem wykorzystującym technikę okulografii – stosowanej od ponad 100 lat w takich dziedzinach jak psychologia, medycyna, ergonomia, interakcja człowiek-komputer czy marketing, w celu śledzenia punktu skupienia wzroku, ruchów gałki ocznej oraz rozmiaru źrenicy osoby badanej⁷.

Omawiając działanie tego urządzenia wykorzystano dostępne powszechnie informacje:

Eyetracker wysyła światło bliskiej podczerwieni, które odbija się od oka, a następnie jest przechwytywane przez kamery znajdujące się w urządzeniu. Dane są przetwarzane za pomocą algorytmów, które wyłapują szczegóły ruchu i skupienia gałki ocznej osoby badanej oraz obliczają punkt skupienia wzroku na ekranie. W badaniach wykorzystuje się dwa rodzaje „eyetrackerów”:

- *stacjonarny* – zazwyczaj występuje w postaci oddzielnego urządzenia wizualnie przypominającego Kinect, które stawiane jest pod monitorem lub przed nim w odpowiedniej odległości od użytkownika. Osoba badana nie musi nosić dodatkowych urządzeń, ale jej pozycja podczas badania powinna pozostać względnie stała;
- *mobilny* – występuje w postaci okularów lub zestawu wirtualnej rzeczywistości. Mobilność zapewnia dużo większą swobodę ruchów, dzięki czemu zwiększa zakres zastosowań np. poprzez wykorzystanie w badaniach pilotów samolotów.

Aktualnie śledzenie wzroku z zastosowaniem „Eyetrackera” wykorzystywane jest:

- do badania użyteczności stron internetowych (ich atrakcyjności i czytelności),
- w marketingu (np. do projektowania zagospodarowania regałów z produktami/towarami – wyznacza linię wzroku pozwalającą atrakcyjnie zaprojektować ułożenie produktów i przyczynić się do wzrostu sprzedaży określonych produktów),
- w medycynie (w neurologii – do diagnozowania autyzmu u osób badanych),
- w grach komputerowych (w ich ocenie ruch oczu traktowany jest jako dodatkowe źródło informacji, umożliwiającą odpowiedź na pytanie czy celowe jest ukrywanie się czy też inne działania, które zwiększą poziom „zagłębienia się” gracza w świat wirtualny, wykreowany przez grę).

W tego typu systemach stosuje się światło bliskiej podczerwieni, ponieważ nie rozprasza wzroku oraz z uwagi na to, że jest niewidoczne dla ludzkiego oka. Światło to ulega jedynie odbiciu od jego powierzchni. Nie zachodzi również niebezpieczeństwo w przypadku dłuższego korzystania z urządzenia, ponieważ korzysta ono z zaledwie niewielkiej części maksymalnego natężenia, które jest dozwolone.

Z technologią *Eyetrackingu* wiążą się dwa pojęcia opisujące ruchy oczu, są to fiksacje i sakkady:

- fiksacje są wtedy, gdy pozycja gałki ocznej jest relatywnie stała, czyli następuje skupienie wzroku na danym obiekcie, podczas którego następuje proces poznawczy;
- sakkady natomiast, to szybkie ruchy gałki ocznej pomiędzy kolejnymi punktami fiksacji, które nie są analizowane przez mózg, a zatem jest to przemieszczanie wzroku z jednego punktu w drugi.

Przykładowy obraz ruchu oczu przedstawiono na rysunku 1⁸.

Ścieżka wzroku pokazuje w jaki sposób poruszał się wzrok osoby badanej po ekranie – które elementy przykuły uwagę osoby badanej, w jakiej kolejności i jak długo. Okręgi z numerami przedstawiają kolejne punkty fiksacji – w takiej kolejności, w jakiej się one odbywały. Wielkość okręgu re-

⁶ <https://avocadosoft.pl/czym-jest-eyetracking-i-jak-go-wykorzystac>

⁷ <https://pl.wikipedia.org/wiki/Okulografia>

⁸ Źródło: <https://avocadosoft.pl/czym-jest-eyetracking-i-jak-go-wykorzystac/>



Rys. 1. Układ tras śledzenia wzrokiem informacji pokazanych na ekranie⁹

prezentuje czas trwania fiksacji – im większy okrąg, tym dłużej wzrok był skupiony w danym punkcie. Sakkady są zaprezentowane w postaci linii pomiędzy kolejnymi punktami fiksacji.

W urządzeniu *Eyetracker*, wykorzystywanym do gry na ekranie komputera, zasada działania opiera się na obserwacji ruchów oczu za pomocą kamery internetowej oraz specjalnych diod elektroluminescencyjnych umieszczanych w rogach monitora. Kamera wykrywa położenie gałek ocznych (a właściwie źrenic), które oświetlane są niewidzialnym dla człowieka światłem podczerwonym.

Szerokie omówienie tego systemu i jego wykorzystania zawiera książka pt.: *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice 3rd ed. 2017 Edition* by Andrew T. Duchowski¹⁰.

Informacja wydawnicza opisuje książkę jako kompendium wiedzy dotyczące wideo-urządzeń do śledzenia wzroku. W książce przedstawiono szereg interesujących i wymagających zastosowań w zakresie oceny wpływu czynnika ludzkiego, optymalizacji systemów współpracy, zastosowań w rzeczywistości wirtualnej, marketingu i reklamie. Trzecie wydanie zostało gruntownie poprawione i rozszerzone i zawiera nowe rozdziały dotyczące dokładności, precyzji i korekcji kalibracji; zaawansowana analiza ruchu oczu; analiza obuocznego ruchu gałek ocznych; praktyczna analiza spojrzeń; zastosowania w projektach GIS.

Posługując się użytecznymi informacjami podstawowymi, w tym wprowadzeniem do ludzkiego układu wzrokowego i kluczowych zagadnień percepcji wzrokowej oraz ruchu oczu, autor dokonuje przeglądu urządzeń okulograficznych i szczegółowo przedstawia wymagania techniczne niezbędne do zainstalowania systemu i opracowania aplikacji programu. Szerokie omówienie wykorzystania tego typu urządzenia zawiera też inna książka pt.: *Eye tracking: A comprehensive guide to methods, paradigms, and measures*¹¹. W opisie do tej książki czytamy:

Wykonujemy 3–5 ruchów oczu na sekundę, a te ruchy mają kluczowe znaczenie do radzenia sobie z ogromną ilością informacji, które napotykamy w naszym codziennym życiu. W ostatnich latach, dzięki rozwojowi technologii śledzenia wzroku, wzrosło zainteresowanie monitorowaniem i mierzeniem tych ruchów w celu zrozumienia, w jaki sposób zajmujemy się i przetwarzamy otaczające nas informacje wizualne. Śledzenie wzroku jako narzędzie badawcze jest obecnie bardziej dostępne niż kiedykolwiek i zyskuje coraz większą popularność wśród naukowców z wielu różnych dyscyplin. Analitycy użyteczności, naukowcy zajmujący się sportem, psychologowie poznawczy, ba-

dadze czytania, psycholingwiści, neurofizjolodzy, inżynierowie elektrycy i inni wszyscy są zainteresowani śledzeniem wzroku z różnych powodów. Jednak pomimo postępu naukowego i innowacji technologicznych wynikających z rejestrowania ruchów gałek ocznych, rozwój śledzenia wzroku wiąże się również z różnymi wyzwaniem – w szczególności w zakresie projektowania eksperymentu śledzenia wzroku i analizowania danych w celu dopasowania do potrzeb. (...) Dla każdego, kto zajmuje się nauką i rozważa prowadzenie badań obejmujących śledzenie wzroku, ta książka może być inspirującym źródłem informacji.

Propozycja

Jeśli przyjąć, na podstawie wcześniej omówionych prac, że braki w pobieraniu informacji o sytuacji ruchu pojazdów i pieszych na drodze oraz o drodze jako budowlu przestrzennej prowadzą do błędów w podejmowanych decyzjach kierującego, a w rezultacie niejednokrotnie do zdarzeń drogowych (w tym wypadków), to zadaniem współczesnej inżynierii drogowej jest minimalizować te braki. Być może uda się skonstruować system ostrzegawczy kierującego (np. dźwiękiem), aby on skierował kierującemu błyskawicznie uwagę na groźące niebezpieczeństwo, unikając sytuacji krytycznej.

W tym celu autor sugeruje, może się myląc, żeby zbadać możliwość wykorzystania urządzenia *Eyetracking* do pełnienia funkcji identyfikatora poziomu w pobieraniu informacji, sprzężonego z sygnalizatorem np. dźwiękowym, ostrzegającego kierującego, który np. z powodu zmęczenia zamyka oczy na krótkie okresy. Być może autorzy eksperymentów wymienionych na wstępie, poszerzą zakres swoich prac, które, jak wynika z informacji, zmiernają w podobnym kierunku, jakim jest pilna potrzeba poprawy poziomu BRD na naszych drogach.

⁹ <https://avocadosoft.pl/czym-jest-eyetracking-i-jak-go-wykorzystac/>

¹⁰ <https://www.amazon.com/Eye-Tracking-Methodology-Theory-Practice/dp/3319578812>

¹¹ *Eye tracking: A comprehensive guide to methods, paradigms, and measures 2nd Edition* by Prof Kenneth Holmqvist, Dr Richard Andersson