



Zachodniopomorski
Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

EKSPERTYZA DOTYCZĄCA PRZYCZYN POWSTANIA USZKODZEŃ WRAZ Z PROGRAMEM NAPRAWCZYM

DOTYCZY: **Aleja Jana Pawła II w Szczecinie**

Zleceniodawca:

Zarząd Dróg i Transportu Miejskiego,
ul. Klonowica 5
71-241 Szczecin

Zespół realizacyjny

dr inż. Stanisław Majer

ZAP/0190/PWOD/09

Uprawnienia do projektowania i
kierowania robotami budowlanymi
w specjalności drogowej bez
ograniczeń

dr inż. Bartosz Budziński

ZAP/0062/PBD/23

Uprawnienia do projektowania
w specjalności inżynierskiej
drogowej bez ograniczeń

Wrzesień/Październik 2025 r.

Wersja 3



www.wbiis.zut.edu.pl

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
al. Piastów 50a, 70-311 Szczecin, tel.: 91 434 42 21
e-mail: wbiis@zut.edu.pl

SPIS TREŚCI:

1. PODSTAWA OPRACOWANIA	4
2. MATERIAŁY UŻYTE W OPRACOWANIU.....	4
3. CEL I ZAKRES OPRACOWANIA.....	5
3.1. CEL OPRACOWANIA	5
3.2. ZAKRES OPRACOWANIA	5
4. OBSZAR OBJĘTY OPRACOWANIEM	6
4.1. UMIEJSCOWIENIE ODCINKA	6
4.2. PROJEKT PRZEBUDOWY ULICY JANA PAWŁA II	8
4.3. STAN NAWIERZCHNI	9
5. WYNIKI BADAŃ TERENOWYCH I LABORATORYJNYCH.....	11
5.1. ZAŁOŻENIA PRZEPROWADZONYCH BADAŃ.....	11
5.2. BADANIA NOŚNOŚCI KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI	11
5.2.1. Belka Benkelmana	11
5.2.2. Lekka płyta dynamiczna.....	12
5.3. BADANIA LABORATORYJNE KOSTKI KAMIENNEJ	12
5.3.1. Wytrzymałość na ściskanie.....	12
5.3.2. Nasiąkliwość.....	12
5.3.3. Odporność na ścieranie.....	12
5.4. WNIOSKI Z BADAŃ.....	12
6. PRZYCZYNY POWSTANIA USZKODZEŃ	14
6.1.1. Wiadomości ogólne	14
6.1.2. Podsypka	14
6.1.3. Warunki atmosferyczne w trakcie pras brukarskich	16
6.1.4. Brak dylatacji skurczowych	18

6.1.5. Ruch po wykonanej nawierzchni	18
6.1.6. Wypełnienie spoin	19
6.2. PRZYCZYNY POWSTANIA USZKODZEŃ	22
7. DZIAŁANIA PREWENCYJNE	23
8. PROGRAM NAPRAWCZY.....	24
8.1. ZALECENIA OGÓLNE DOTYCZĄCE OBSZARU PROWADZENIA PRAC	24
8.2. ZALECENIA MATERIAŁOWE	25
8.2.1. Uwagi ogólne	25
8.2.2. Podsypka	25
8.2.3. Fuga	25
8.3. PROPOZYCJA TECHNOLOGII NAPRAWY	26
9. ZALECANIA I WNIOSKI KOŃCOWE	27

1. PODSTAWA OPRACOWANIA

Podstawą opracowania jest umowa (numer ZDiTM 73/2025) zawarta pomiędzy Gminą Miasto Szczecin, a Zachodniopomorskim Uniwersytetem Technologicznym w Szczecinie na wykonanie ekspertyzy dotyczącej przyczyn powstania uszkodzeń nawierzchni jezdni z kostki kamiennej wykonanej w ramach zadania pn. „Przebudowa al. Jana Pawła II na odcinku od ul. Felczaka do pl. Grunwaldzkiego w Szczecinie” z opracowaniem programu naprawczego.

Przedmiot umowy obejmował:

- a) Określenie przyczyny powstania problemu,
- b) weryfikację w terenie miejsc nasilenia uszkodzeń, ze wskazaniem zakresów z pierwszeństwem naprawy,
- c) wskazanie ewentualnych działań prewencyjnych istniejących nawierzchni jezdni,
- d) przygotowanie programu naprawczego z opisem technologii napraw z ewentualnym harmonogramem prac naprawczych.

2. MATERIAŁY UŻYTE W OPRACOWANIU

1. Majer, S.; Budziński, B. *Raport Zbiorczy z Wykonanych Badań: Aleja Jana Pawła II w Szczecinie*; Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie: Szczecin, 2025;
2. Geoportal.Gov.Pl.
3. Eberhardsteiner, L.; Roth, S.; Blab, R. Design of Pavement Structures Consisting of Paving Slabs with Hydraulically Bound Joints and Bedding. *Road Mater. Pavement Des.* **2025**, 26, 462–476, doi:10.1080/14680629.2024.2356797.
4. Fiorentini, N.; Huang, J.; Cuciniello, G.; Leandri, P.; Losa, M. Comparing the Performance of Historical and Regular Stone Pavement Structures in Urban Trafficked Areas through the Finite Element Method (FEM). *Infrastructures* **2023**, 8, 115, doi:10.3390/infrastructures8070115.
5. Autelitano, F.; Garilli, E.; Giuliani, F. Criteria for the Selection and Design of Joints for Street Pavements in Natural Stone. *Constr. Build. Mater.* **2020**, 259, 119722, doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.119722.

6. Garilli, E.; Giuliani, F. Stone Pavement Materials and Construction Methods in Europe and North America between the 19th and 20th Century. *Int. J. Archit. Herit.* **2019**, *13*, 742–768, doi:10.1080/15583058.2018.1470269.
7. Coni, M.; Portas, S.; Maltinti, F.; Pinna, F. Sealing of Paving Stone Joints. *Int. J. Pavement Res. Technol.*, doi:10.6135/ijprt.201807/PP_11(8).0004.
8. Dudenhöfer, B.; Nolte, K. *Leitfaden Für Die Planung, Den Bau Und Die Prüfung von Pflasterdecken Und Plattenbelägen in Gebundener Bauweise*; Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz: Berlin, 2020;
9. Karta Informacyjna Produktu, Zaprawa Do Układania Kamienia i Kostki Brukowej Sika FastFix®-134 CZ , Sika 2023.

3. CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

3.1. Cel opracowania

Celem niniejszego opracowania jest identyfikacja przyczyn powstania uszkodzeń nawierzchni z kostki kamiennej w ciągu al. Jana Pawła II w Szczecinie, na odcinku od ul. Felczaka do pl. Grunwaldzkiego, wraz z przygotowaniem programu naprawczego. Celem niniejszego opracowania nie jest wskazanie winnych powstania uszkodzeń.

3.2. Zakres opracowania

Zakres niniejszego opracowania obejmuje:

- analizę dokumentacji źródłowej oraz wyników badań polowych i laboratoryjnych zawartych w raporcie zbiorczym,
- identyfikację obszarów nawierzchni objętych uszkodzeniami,
- określenie przyczyn powstałych uszkodzeń,
- opracowanie propozycji technologii naprawy z uwzględnieniem stanu konstrukcji i przewidywanego obciążenia ruchem,
- określenie zaleceń eksploatacyjnych i profilaktycznych w celu ograniczenia ryzyka ponownego wystąpienia uszkodzeń.

4. OBSZAR OBJĘTY OPRACOWANIEM

4.1. Umiejscowienie odcinka

Aleja Papieża Jana Pawła II – reprezentacyjna ulica położona na obszarze osiedli Centrum i Śródmieście-Północ w dzielnicy Śródmieście Szczecina (do roku 2007 ulica miała nazwę Alei Jedności Narodowej). Aleja ma długość około 1,18 km i przebiega z południowego wschodu na północny zachód, łącząc plac Żołnierza Polskiego z ulicą Wacława Felczaka. Wzdłuż alei znajdują się liczne kamienice wpisane do rejestru zabytków oraz ujęte w gminnej ewidencji zabytków. Cała trasa stanowi część Złotego Szlaku – turystycznego ciągu pieszego prowadzącego od Zamku Książąt Pomorskich do Doliny Siedmiu Młynów. Od co najmniej przełomu wieku XIX i XX ulica ta miała reprezentacyjny charakter (Kaiser-Wilhelm-Straße – fot 1).



Fot. 1. Aleja Jana Pawła II w roku 1912 (Kaiser-Wilhelm-Straße)
[fotopolska.eu]

Fragment objęty niniejszym opracowaniem jest krótszy i zawiera się pomiędzy Placem Grunwaldzkim a ulicą Felczaka. Podstawową charakterystykę odcinka przedstawiono poniżej:

- Długość odcinka: ok. 550 metrów
- Szerokość jezdni: zmienna ok. 6,0 -7,0 m (2 pasy ruchu w każdą stronę)

- Rodzaj nawierzchni: kostka kamienna na podsypce żwirowej
- Kategoria ruchu: KR3
- Rok przebudowy: 2020 - 2022
- Lokalizacja:

Początek (ul. Felczaka): 53°25'58.7"N 14°32'53.6"E

Koniec (pl. Grunwaldzki): 53°25'59.8"N 14°32'51.2"E



Rys. 1. Lokalizacja przedmiotowego odcinka drogi [2]

Przed rokiem 2020 nawierzchnia jezdni drogowej częściowo wykonana była z kostki kamiennej a częściowo z mieszanek mineralno-asfaltowych (fot. 1a, 1b). Stan nawierzchni był zły, mieszkańcy skarżyli się przede wszystkim na wysoki poziom hałasu pochodzący od nawierzchni z kostki kamiennej. Szczególnie uciążliwy był stan nawierzchni chodników, które wykonane były z różnych materiałów, zarówno wielkogabarytowych płyt granitowych, płyt betonowych a także mieszanek mineralno-asfaltowych (pas rozdziału). Stan nawierzchni był bardzo zły, szczególnie płyty granitowe, które były połamane, wyszczerbione z licznymi ubytkami nie nadawały się do ponownego wbudowania. Tym samym całość wymagała kompleksowej przebudowy, obejmującej zarówno

wymianę konstrukcji nawierzchni, jak i poprawę bezpieczeństwa oraz estetyki ciągów pieszych.



Fot. 2. Aleja Jana Pawła II przed budową [Dokumentacja projektowa]

4.2. Projekt przebudowy ulicy Jana Pawła II

Dokumentacja projektowa inwestycji pn. „Przebudowa al. Jana Pawła II na odcinku od ul. Felczaka do pl. Grunwaldzkiego w Szczecinie” została sporządzona przez Pracownia Projektowa Maciej Sochanowski ul. Św. Ducha 5b/10, 70-205 Szczecin. Dokumentacja została sporządzona w maju 2018 roku.

Ogłoszenie o przetargu na roboty budowlane zostało ogłoszone na portalu SMARTPZP w dniu 4 lutego 2020 r. Postępowanie prowadzone było przez Gminę Miasto Szczecin - Zarząd Dróg i Transportu Miejskiego w Szczecinie, ul. Klonowica 5, 71-241 Szczecin. Przedmiotem zamówienia było wykonanie zadania pn. „Przebudowa al. Jana Pawła II na odcinku od ul. Felczaka do pl. Grunwaldzkiego w Szczecinie - Kod CPV 45000000-7 Roboty budowlane.

W dniu 8 maja 2020 r. ostatecznie poinformowano o wyborze oferty. Do wykonania robót budowlanych została wybrane konsorcjum firm:

Lider konsorcjum: Roverpol Sp. z o.o., ul. Gintrowskiego 30/221, 02-697 Warszawa

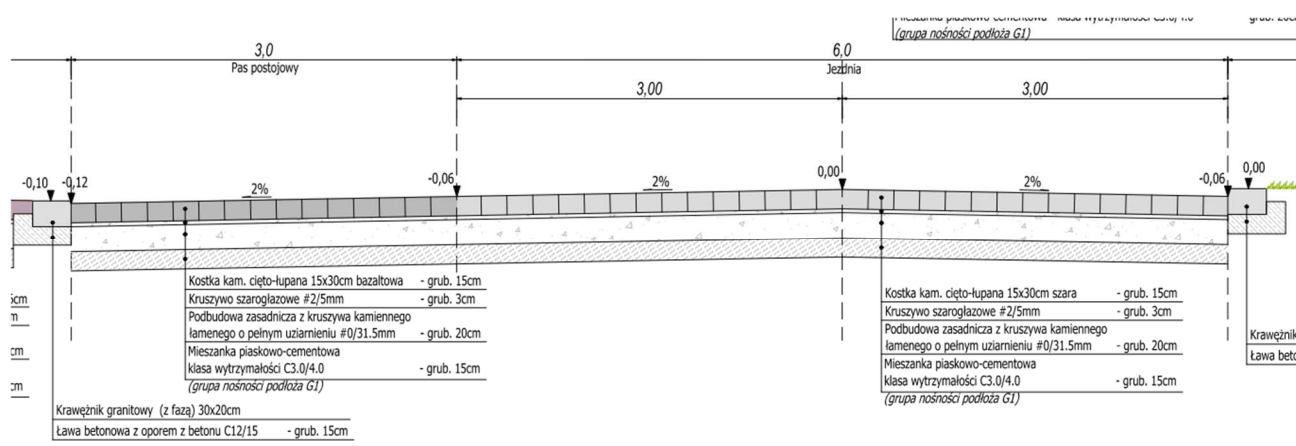
Partner konsorcjum: Rover Infraestructuras S.A. ul. Botanico Cavanilles 28, 46010 Walencja, Hiszpania

Dokumentacja projektowana w swoim zakresie obejmowała kompleksową przebudowę nawierzchni drogowej. Generalnie, projekt obejmował wykonanie nowych nawierzchni z kostki kamiennej. Kostka kamienna miała zostać ułożona na podsypce z kruszywa szarogłazowego, frakcji 2/5 mm o grubości 3 cm.

Zaprojektowano następujący układ warstw:

- Kostka kamienna cięto-łupana 15x30 gr. 15 cm
- Kruszywo szarogłazowe 2/5 mm gr. 3 cm
- Podbudowa zasadnicza z kruszywa łamanego 0/31,5 mm gr. 20 cm
- Mieszanka piaskowo-cementowa C3,0/4,0 gr. 15 cm
- Podłoże zaklasyfikowane do grupy nośności G1

Fragment dokumentacji projektowej, tj. przekrój normalny przedstawiono na rysunku poniżej (rys. 2.).



Rys. 2. Przekrój normalny nawierzchni z kostki kamiennej [dokumentacja projektowa D3.2_rev2]

4.3. Stan nawierzchni

Nawierzchnia na analizowanym odcinku została wykonana z kostki kamiennej cięto-łupanej ułożonej na podsypce żwirowej 2/5. Przebudowa nawierzchni odbywała się w latach 2020-2022 r. Podczas eksploatacji, po wykonaniu prac budowlanych na nawierzchni pojawiły się uszkodzenia. Które dotyczyły głównie uszkodzonych kostek kamiennych i fugi wypełniających. Część została naprawiona w ramach napraw cząstkowych i gwarancji Generalnego Wykonawcy.

W ramach wizji lokalnej w obrębie analizowanego odcinka stwierdzono występowanie licznych uszkodzeń nawierzchni (fot. 3 i 4) w postaci m.in.:

- poluzowanych kostek kamiennych,
- braku wypełnienia spoin,
- lokalnych wykruszeń i nierówności.

Stan techniczny nawierzchni został oceniony na podstawie wizji lokalnej, pomiarów nośności (przy użyciu belki Benkelmana oraz lekkiej płyty dynamicznej) oraz badań laboratoryjnych pobranych próbek kostki kamiennej. Punkty badawcze zostały wyznaczone na zlecenie Zarządu Dróg i Transportu Miejskiego w Szczecinie, a same badania przeprowadzono w dniu 27 lutego 2025 r.



Fot. 3. Uszkodzenia spoiny i kostki wraz z powstałymi nierównościami



Fot. 4. Uszkodzenia fugi i kostki wraz z powstałymi nierównościami

5. WYNIKI BADAŃ TERENOWYCH I LABORATORYJNYCH

5.1. Założenia przeprowadzonych badań

W ramach wcześniejszych prac [1] przeprowadzono kompleksowe badania techniczne nawierzchni al. Jana Pawła II w Szczecinie, obejmujące zarówno badania terenowe (nośność konstrukcji), jak i laboratoryjne (parametry fizyko-mechaniczne kostki kamiennej). Badania miały na celu określenie stanu technicznego istniejącej nawierzchni oraz identyfikację potencjalnych przyczyn jej uszkodzeń.

5.2. Badania nośności konstrukcji nawierzchni

5.2.1. Belka Benkelmana

Badania nośności nawierzchni przeprowadzono z użyciem belki Benkelmana zgodnie z normą BN-70/8931-06. Uzyskane wartości ugięć oraz ich analiza statystyczna wykazały, że nośność nawierzchni w każdym z analizowanych pasów ruchu odpowiada co najmniej kategorii KR3. Ugięcia obliczeniowe dla wszystkich pasów mieściły się poniżej wartości granicznej dla tej kategorii (0,8 mm).

Stwierdzono jednak, że jezdnie w kierunku od Placu Grunwaldzkiego do Urzędu Miasta charakteryzuje się wyższymi wartościami ugięć (do 0,75 mm), co może świadczyć o lokalnym pogorszeniu nośności w miejscach uszkodzeń.

5.2.2. Lekka płyta dynamiczna

Badania podłoża po usunięciu kostki i podsypki wykonano przy użyciu lekkiej płyty dynamicznej zgodnie z TP BF-StB Teil B 8.3. Pomiar modułu odkształcenia wykazał zadowalające wartości (E_{VD} od 57,4 do 80,7 MPa), co potwierdza, że podbudowa nawierzchni posiada odpowiednia nośność i nie jest związana ze stwierdzonymi uszkodzeniami.

5.3. Badania laboratoryjne kostki kamiennej

5.3.1. Wytrzymałość na ściskanie

Wszystkie próbki spełniły wymaganie minimalnej wytrzymałości 160 MPa. Kostki grafitowe wykazały wyraźnie wyższą wytrzymałość (średnio 203,5 MPa) niż kostki szare (174,2 MPa).

5.3.2. Nasiąkliwość

W pięciu z sześciu punktów nasiąkliwość kostki była poniżej wartości granicznej 0,5%.

Tylko w jednym przypadku (punkt 5) odnotowano przekroczenie dopuszczalnej nasiąkliwości (średnio 0,67%), co nie wpływa na trwałość nawierzchni.

5.3.3. Odporność na ścieranie

Wszystkie próbki spełniły wymagania normowe (wartość graniczna: 2,0 mm). Średnia odporność wahała się w zakresie 0,94–1,08 mm, co świadczy o dobrej jakości zastosowanego materiału.

5.4. Wnioski z badań

Raport z badań kończył się następującymi wnioskami:

- Nośność nawierzchni jako nośność podbudowy jest odpowiednia dla tego typu ulic, uzyskano nośność na poziomie kategorii ruchu KR3 mimo

przewodzenia badań w miejscu uszkodzeń nawierzchni (luźna kostka, brak fugi itp.);

- Grubość podsypki żwirowej wynosi od 3 do 6 cm (średnio 3,7 cm);
- Należy mieć szczególnie na uwadze, że badany wyrób budowlany (kostki kamienne) są materiałem pobranym z użytkowanej nawierzchni po kilku latach od wbudowania, tym samym parametry użytkowe mogą być gorsze niż w przypadku nowego materiału;
- Oprócz jednego parametru dla jednego punktu poboru, tj. nasiąkliwości dla punktu 5, wszystkie wymagania zostały zachowane na poziomie istotności 0,05;
- Oprócz jednego parametru dla jednego punktu poboru, tj. nasiąkliwości dla punktu 5, wszystkie wymagania zostały zachowane również dla pojedynczych obserwacji, czyli dla tzw. „prostej reguły akceptacji”, która jest często stosowana w laboratoriach budowlanych;
- Niespełnienie wymagań jednego parametru dla jednego punktu poboru, tj. nasiąkliwości dla punktu 5, biorąc pod uwagę pozostałe wyniki badań nie świadczy o złej jakości badanego materiału.

6. PRZYCZYNY POWSTANIA USZKODZEŃ

6.1.1. Wiadomości ogólne

W punktach od 6.1.2 do 6.1.6 wytypowano czynniki, które mogły przyczynić się do powstania uszkodzeń, które są przedmiotem niniejszej ekspertyzy. Analizę czynników przeprowadzono między innymi o przegląd literatury w danym zakresie [3–7]. Na potrzeby niniejszej ekspertyzy, dokonano również przeglądu materiałów prasowych, aby ustalić szacunkowe terminy prowadzenia poszczególnych prac.

Przekazane przez Zleceniodawcę Specyfikacje techniczne (SST), w zakresie nawierzchni z kostki kamiennej są o niskiej jakości merytorycznej. Zapisy są wewnętrznie sprzeczne. Przykładowo w specyfikacji D-05.03.01 Nawierzchnia z kostki kamiennej w punkcie 5.4 podsypkę opisano jako „*podsyпка z kruszywa szarogłazowego #2/5 o grubości 3 cm*”. Natomiast w dalszej części specyfikacji widnieją zapisy:

Pkt. 5.5.4. „*Kostkę na zaprawie cementowo-piaskowej można układać...*”

Pkt. 5.5.5. „*Sposób ubijania kostki powinien być dostosowany do rodzaju podsypki oraz materiału do wypełnienia spoin. Kostkę na podsypce piaskowo-cementowej przy wypełnieniu spoin szybkowiążącym trasowym szlamem elastycznym, należy ubijać dwukrotnie.*”

Pkt. 6.2. „*Badania pozostałych materiałów stosowanych do wykonania nawierzchni z kostek kamiennych, powinny obejmować wszystkie właściwości, które zostały określone w normach podanych dla odpowiednich materiałów wg pkt od 2.3 do 2.7*”. Punktu 2.7. w specyfikacji w ogóle nie ma.

6.1.2. Podsypka

Stosowanie podsypki żwirowej (uziarnienie powyżej 2 mm) jest dopuszczone między innymi przez niemieckie wytyczne (a nawet zalecane) w przypadku nawierzchni z kostki betonowej. Jednak warunkiem zastosowania takiej podsypki jest zapewnienie pełnego klinowania elementów prefabrykowanych (tzw. kostka samoklinująca). W przedmiotowej sytuacji, pomiędzy poszczególnymi elementami nawierzchni (kostką kamienną) nie dochodzi do klinowania a wykonana fuga ze względu na swoje wady nie

zapewniała współpracy pomiędzy poszczególnymi elementami. W przypadku powstania uszkodzeń w obszarze fugi w przypadku zastosowania podsypki żwirowej dochodzi do przesuwania się kostek. Podsypka nie zapewnia odpowiedniego tarcia (lub/i adhezji) pomiędzy warstwą podsypki a kostką betonową. Zmniejszenie tarcia wynikało również z ciętej powierzchni kostki kamiennej od strony podsypki (obecnie produkowane kostki kamienne mają 2 powierzchnie cięte górną i dolną a powierzchnie boczne są łupane lub cięte). Co prowadzi do przesuwania się poszczególnych kostek pomiędzy sobą. W momencie zetknięcia się krawędzi kostek dochodzi do pęknięcia kamienia oraz odpadania ostrych krawędzi.

W przypadku zastosowania podsypki piaskowo-cementowej (lub innej podsypki związanej, systemowej) o odpowiedniej wytrzymałości, kostkę należy wbijać w podsypkę w taki sposób, że podsypka wypełnia częściowo spoinę od dołu. W tym przypadku nawet w sytuacji, w której dochodzi do uszkodzenia fugi (od góry), podsypka piaskowo-cementowa będzie w dalszym ciągu utrzymywała kostkę na swoim miejscu co da czas na reakcję i ponowne wypełnienie uszkodzonych spoin (wymianę fugi).

Zalecenia dotyczące wykonania podsypki związanej można znaleźć między innymi w wytycznych niemieckich, przykładowo wydanych dla Berlina [8]:

- Należy przestrzegać odpowiednich **temperatur obróbki** (powietrza, podłoża i materiału):
 - przy temperaturze powietrza od +5 °C do +25 °C obróbka jest zwykle bez ograniczeń,
 - przy wyższych/niskich temperaturach należy stosować środki ochronne (zacienianie, ogrzewanie, izolacja matami),
 - nigdy nie wolno układać zaprawy podsypkowej na podłożu zamarzniętym (< 0 °C),
 - przy niskich temperaturach czas wiązania się wydłuża,
 - po rozpoczęciu wiązania nie wolno już przesuwać elementów brukowych/płyt.
- Zaprawa podsypkowa musi być **zawsze świeżo przygotowana** i zużyta:
 - w temperaturach umiarkowanych – w ciągu **1 godziny**,

- w temperaturach wysokich – w ciągu **0,5 godziny**,
- krótsze czasy podane przez producenta muszą być bezwzględnie dotrzymane.
- Do czasu związania zaprawy nawierzchnia nie może być obciążana ruchem pieszym ani kołowym i należy ją chronić przed wysychaniem oraz zabrudzeniem.

6.1.3. Warunki atmosferyczne w trakcie prac brukarskich

W przypadku prac brukarskich warunki pogodowe mają szczególne znaczenie w przypadku pielęgnacji materiałów związanych (np. fugi, podsypki itp.). W przypadku niekorzystnej temperatury, tj. zbyt niskiej niezalecanej przez producenta danego rozwiązania, nie będzie dochodziło zarówno do osiągnięcia odpowiedniej, deklarowanej wytrzymałości a z drugiej strony przyrost wytrzymałości będzie zbyt wolny.

Tab. 1. Wytrzymałość na ściskanie w zależności od temperatury [9]

Temp	+10°C	+20°C	+40°C
Czas			
24 godziny	10 MPa	35 MPa	35 MPa
28 dni	65 MPa	60 MPa	60 MPa

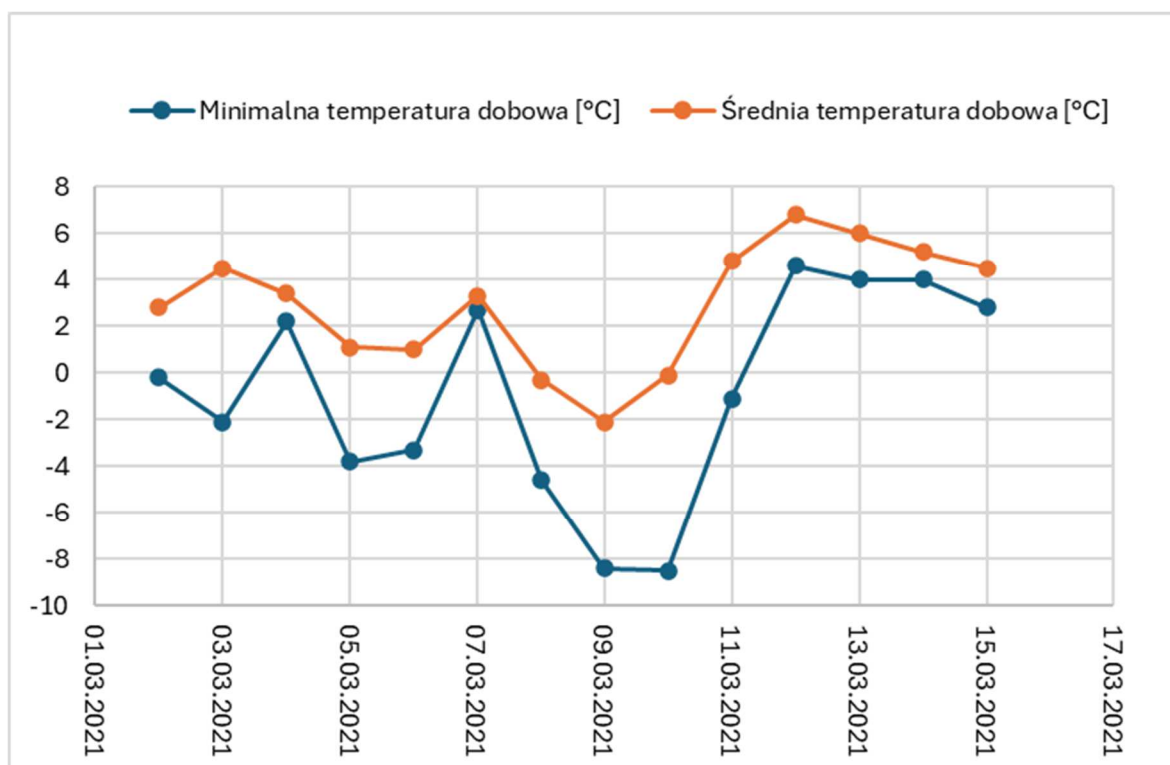
Na portalu „Forum Wieżowców” użytkownik o nazwie: „_Kaczy” przesłał zdjęcia (06.03.2021 r.), na których widać prowadzone prace brukarskie (fot. 5 i 6.). W tym okresie warunki pogodowe były niesprzyjające (Rys. 3), nie przesądza to o poprawności wykonanych prac, ponieważ wypełnianie spoin mogło odbywać się w późniejszym, korzystniejszym terminie. Jednak wskazuje na ryzyko, które mogło wystąpić podczas prac. Na zdjęciach tych widać również duże ubytki w kostkach kamiennych już ułożonych na podsypce żwirowej. Tak duże przestrzenie nie mogą zapewnić odpowiedniego zjawiska klinowania kostek. Kostki takie powinny być odrzucone. Załączone zdjęcie nie jest dowodem na to, że kostki o złej jakości zostały wbudowane. Między innymi ten odcinek został wytypowany przez autorów do przełożenia w ramach niniejszej ekspertyzy.



Fot. 5. Prace brukarskie w lutym/marcu 2021 r. [www.skyscrapercity.com]



Fot. 6. Ubytki w kostce kamiennej w pracach brukarskich prowadzonych w lutym/marcu 2021 r. [www.skyscrapercity.com]



Rys. 3. Archiwalne dane meteo dla stacji Szczecin
[<https://danepubliczne.imgw.pl/>]

6.1.4. Brak dylatacji skurczowych

W przypadku zastosowania fugi, która wiąże poszczególne elementy nawierzchni należy przewidzieć wykonanie dylatacji skurczowych. Brak takich dylatacji wraz z wahaniami temperatury powoduje powstanie dodatkowych naprężeń skurczowych, które mogą skutkować uszkodzeniem fugi. Szczeliny dylatacyjne należy przewidzieć w równomiernych odstępach. W przypadku warstwy podbudowy wykonanej z kruszywa oraz podsypki związanej, dylatacja powinna zostać wykonana do warstwy podbudowy.

6.1.5. Ruch po wykonanej nawierzchni

Wprowadzenie ruchu (nawet technologicznego) za wcześnie, tj. wtedy, kiedy wytrzymałość mechaniczna fugi nie osiągnęła wystarczającego poziomu, prowadzi będzie do zniszczenia fugi na wczesnym etapie wiązania. Tym samym wykonana fuga nie osiągnie odpowiedniej wytrzymałości lub w skrajnym przypadku zostanie uszkodzona, zarówno w zakresie samej fugi jak

i przyczepności do kamienia naturalnego. Dopuszczenie do ruchu powinno być bezpośrednio powiązane z warunkami atmosferycznymi. Co wynika już z wcześniej wspomnianej zależności przyrostu wytrzymałości. Do czasu związania zaprawy nawierzchnia nie może być obciążana ruchem pieszym ani kołowym i należy ją chronić przed wysychaniem oraz zabrudzeniem.

Na podstawie wykonano przeglądu doniesień prasowych ustalono, że na przełomie grudnia 2021/stycznia 2022 (zdjęcia z 4 stycznia) wykonywano prace brukarskie na odcinku od ulicy Felczaka do Niedziałkowskiego. Prace prowadzono pod osłoną namiotów (źródło: <https://www.skyscrapercity.com/>). Na profilu „Szczecin się zmienia” (źródło: www.facebook.com) 12 stycznia zawarto relację filmową z otwarcia tego odcinka. Ponownie nie przesądza to o fakcie nieprowadzenia prac zgodnie z odpowiednią jakością (za krótki czas w niesprzyjających warunkach). Jednak wskazuje na ryzyko wystąpienia tego czynnika na przedmiotowej inwestycji.

6.1.6. Wypełnienie spoin

Wysokość wypełnienia spoiny jest kluczowa ze względu na zdolność do przenoszenia odpowiednich naprężeń pochodzących od ruchu. Przestrzeń pomiędzy poszczególnymi kostkami powinna być wypełniona na całą głębokość elementu. Od dołu około 1/3 wysokości powinna być wypełniona podsypką (po wbiciu kostki) natomiast od góry 2/3 wysokości powinno być wypełnione specjalną zaprawą. W przypadku kostek łupanych i niewielkiego ruchu, możliwe jest wypełnienie spoin kostek piaskiem. Jednak w przypadku obciążenia od ruchu pojazdów ciężarowych i autobusów oraz stosowania kostek cięto-łupanych rozwiązanie takie jest niedopuszczalne. Standardowym rozwiązaniem jest stosowanie jako wypełnienia spoin zaprawą (fugą) na bazie cementu lub żywic. W przypadku niepełnego wypełnienia spoiny fugą a tym samym względu na zmniejszenie powierzchni fugi przy stałej sile pochodzącej od ruchu będzie dochodziło do wzrostu naprężeń. Naprężenia mogą przekroczyć wytrzymałość na ścislenie i uszkodzić mechanicznie fugę. Taki efekt, może szczególnie wystąpić w przypadku wprowadzenia zbyt szybko ruchu, dodatkowo przy

niesprzyjających warunkach atmosferycznych. W takiej sytuacji naprężenia od ruchu rosną, przy jednoczesnej niskiej wytrzymałości na ściskanie fugi.

W analizowanym przypadku fuga nie została wykonana na całą wysokość spoiny (kostki). Wypełnienie wynosiło około 5 cm czyli do 1/3 wysokości kostki (fot. 7).



Fot. 7. Przykładowa grubość spoiny

Zalecenia dotyczące wypełnienia spoin oprócz poradników producentów materiałów można znaleźć między innymi w wytycznych niemieckich, przykładowo wydanych dla Berlina [8]:

- Fugowanie wolno rozpocząć dopiero po **48–72 godzinach od ułożenia**. Przy niskich temperaturach czas ten może się wydłużyć.
- Obróbka fugi do spoin wymaga odpowiednio wysokich temperatur (powietrza, podłoża i materiału).
 - Zakres temperatur pracy: **+5 °C do +25 °C** (bez ograniczeń).
 - Temperatury należy monitorować i dopasować do nich pielęgnację.

- Przy wyższych lub niższych temperaturach należy stosować środki ochronne (zacienienie, izolacja matami, ogrzewanie, namioty ochronne).
- Temperatura świeżej fugi (zaprawy) **nie może przekraczać 25 °C**.
- Przy wysokich temperaturach i nagrzanym podłożu nie wolno stosować zapraw hydraulicznie wiążących → po ostudzeniu mogą wystąpić rysy skurczowe.
- Nigdy nie wolno fugować na zmarzniętym podłożu ($< 0\text{ °C}$).
- Przed fugowaniem należy sprawdzić, czy kostki/płyty są stabilnie osadzone. Luźne elementy trzeba wyjąć i ponownie wbudować z użyciem środka szepnego.
- Spoiny muszą być wolne od pyłu i luźnych cząstek. Przy czyszczeniu sprężonym powietrzem musi ono być wolne od oleju.
- Przed naniesieniem fugi (płynnej) należy powierzchnię **zwilżyć**.
- Spoiny należy wypełnić fugą całkowicie do co najmniej **4 mm poniżej górnej powierzchni elementu**; w przypadku elementów z fazą lub zaokrągleniem – tylko do dolnej krawędzi fazy/zaokrąglenia.
- Po fugowaniu należy starannie wyczyścić powierzchnię. Przy powierzchniach równych zaleca się użycie maszyny czyszczącej ze ściereczką gąbkową. Ta zalecenie powinno znaleźć się w specyfikacji technicznej.
- Powierzchnie po fugowaniu należy chronić przed wejściem pieszych i wjazdem pojazdów aż do uzyskania odpowiedniej wytrzymałości (można przeprowadzić kontrolę twardnienia zaprawy).
- Środki antyadhezyjne (preparaty oddzielające, nakładane na powierzchnię kamienia przed fugowaniem) są niedozwolone, gdyż pogarszają przyczepność.

Powyższe zalecenia należy dostosowywać zgodnie z wymaganiami producenta danego rozwiązania technicznego.

6.2. Przyczyny powstania uszkodzeń

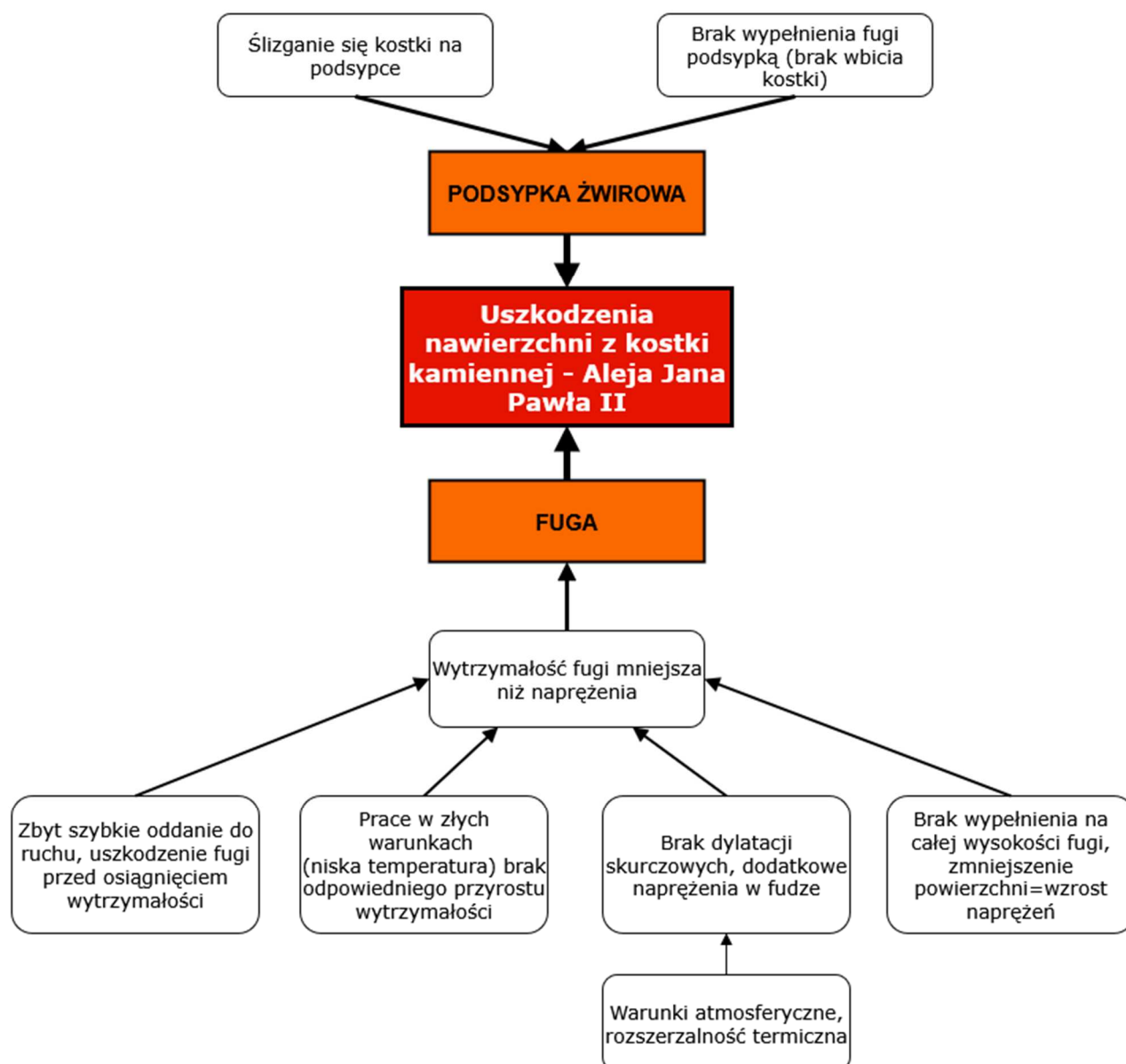
Analizując dokumentację wykonawczą, wyniki badań terenowych i laboratoryjnych a także literaturę przedmiotu, należy stwierdzić, że **nie istnieje jedna przyczyna powstania stwierdzonych uszkodzeń.**

Jednak najbardziej prawdopodobną przyczyną awarii było powstanie uszkodzeń w rejonie spoiny, które wystąpiły w wyniku kumulacji kilku niekorzystnych czynników, takich jak:

- niepełne wypełnienie spoiny fugą – przy zastosowanej podsypce żwirowej, powinna być ona wypełniona na całą wysokość spoiny, natomiast w przypadku podsypki cementowo-piaskowej co najmniej na 2/3 jej wysokości,
- prowadzenie prac związanych z fugowaniem w niekorzystnych warunkach pogodowych,
- zbyt szybkie oddanie nawierzchni do ruchu,
- zastosowanie podsypki żwirowej przy kostkach ciętych na dolnej powierzchni.

Należy podkreślić, że gdyby wystąpił tylko jeden z powyższych czynników, najprawdopodobniej nie doszłoby do powstania uszkodzeń. Jednak jednocześnie ich oddziaływanie doprowadziło do przedwczesnej degradacji nawierzchni.

Schemat powstania uszkodzeń przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Schemat powstania uszkodzeń (najbardziej prawdopodobny)

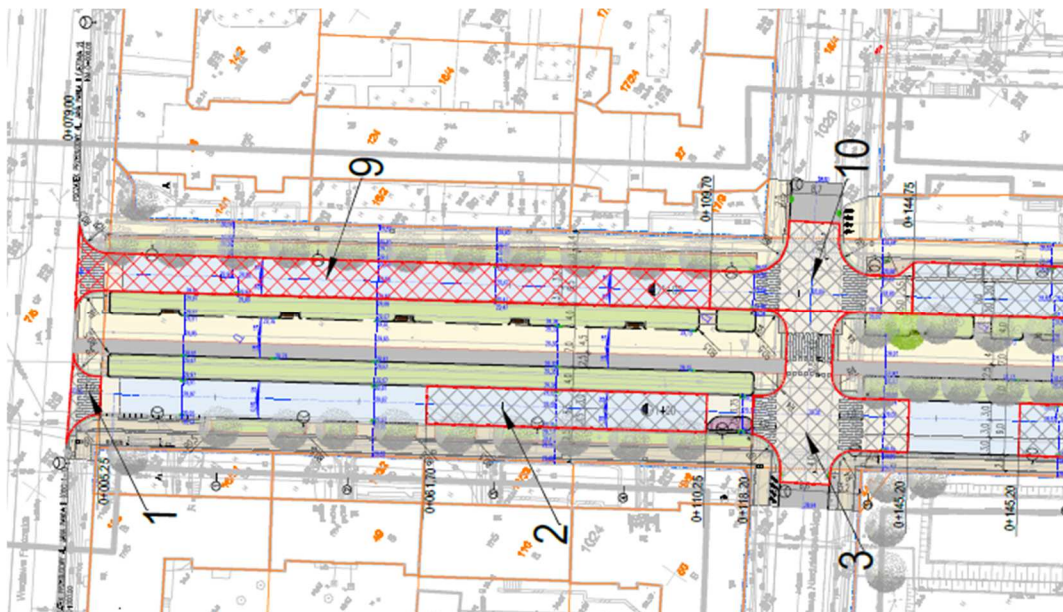
7. DZIAŁANIA PREWENCYJNE

W Przypadku istniejącej nawierzchni nie zidentyfikowano żadnych możliwych działań prewencyjnych. Stan nawierzchni z dużym prawdopodobieństwem będzie się pogarszał w dalszym ciągu. Jedyne sposoby naprawy to wykonanie programu naprawczego opisanego w punkcie 8 niniejszego opracowania.

8. PROGRAM NAPRAWCZY

8.1. Zalecenia ogólne dotyczące obszaru prowadzenia prac

Obszar, na którym mają zostać prowadzone prace musi zostać wytypowany na podstawie aktualnych uszkodzeń nawierzchni. Proponuje się rozpocząć prace od jezdni nr 2 oznaczenie z dokumentacji projektowej Jana Pawła pomiędzy ulicami Niedziałkowskiego i Felczaka (jezdni wschodnia – rys. 5).



Rys. 5. Odcinek numer 9 przeznaczony do wykonania remontu nawierzchni

Poszczególne odcinki przewidziane do naprawy na okres sporządzania ekspertyzy (wrzesień 2025 r.) zestawiono w tabeli 2. Lokalizację poszczególnych odcinków przedstawiono w części rysunkowej ekspertyzy. Po wykonaniu odcinka pierwszego należy podjąć decyzję o kolejnych robotach na podstawie aktualnego stanu nawierzchni, potrzeb i dostępnych środków finansowych.

Prace zawsze należy prowadzić na całej szerokości jezdni (od krawężnika do krawężnika) przy całkowicie zamkniętej jezdni. Wytypowane odcinki powinny być możliwie jak najdłuższe. Zaleca się, aby typować całe odcinki pomiędzy skrzyżowaniami. Na początku i końcu odcinka powinna zostać wykonana dylatacja skurczowa (konieczność wykonania innych dylatacji ustalić na podstawie konkretnego materiału wykorzystanego do spoinowania). Wytypowane odcinki muszą uwzględniać wprowadzenie odpowiedniej organizacji

ruchu. Nie dopuszcza się prowadzenia ruchu bez odpowiedniego okresu pielęgnacji nawierzchni.

Tab. 2. Zestawienie powierzchni przeznaczonych do remontu

Jezdnia	Nr odcinka	Powierzchnia [m ²]
Nr 1	1	44,7
	2	315,6
	3	426,5
	4	383,4
	5	75,4
	6	63,9
	7	675,4
	8	99,5
Nr 2	9	721,1
	10	325,3
	11	462,6
	12	314,5
	13	752,0
	14	355,9
	15	156,6
	16	326,6
	Łącznie	5499

8.2. Zalecenia materiałowe

8.2.1. Uwagi ogólne

Poniżej zestawiono wymagania dotyczące materiałów, które należy zastosować przy remoncie nawierzchni Alei Jana Pawła II w Szczecinie. W umowie na roboty budowlane powinien zostać zawarty zapis dotyczący rękojmi, że jest również udzielana na dobór materiałów.

8.2.2. Podsypka

Należy stosować podsypkę piaskowo-cementową 1 do 4 o minimalnej wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach 14 MPa.

8.2.3. Fuga

Przy wykonaniu naprawy nawierzchni ulicy Jana Pawła II należy wykorzystać fugę na bazie żywicy. Minimalne parametry fugi zestawiono w tabeli poniżej.

Tab. 3. Parametry fugi żywicznej

L.p.	Parametr	Wymaganie	Jedn.	Metoda badawcza
1	Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach	≥ 50	MPa	PN-EN 1015-11
2	Wytrzymałość na zginanie po 7 dniach	≥ 8	MPa	
3	Wytrzymałość na odrywanie od podłoża metodą „pull-off” po 28 dniach	≥ 2	MPa	PN-EN 1542
4	Skurcz po okresie twardnienia	$\leq 0,80$	mm/m	PN-B-04500
5	Mrozoodporność - ubytek masy - spadek wytrzymałości na ściskanie - spadek wytrzymałości na zginanie	≤ 5 ≤ 20 ≤ 20	%	PB/TM-1/12

8.3. Propozycja technologii naprawy

Istniejącą warstwę z kostki kamiennej oraz podsypki żwirowej należy rozebrać. Przy pierwszym odcinku należy przewidzieć 100% nowej kostki kamiennej. Usuniętą kostkę o ile będzie to możliwe należy oczyścić z istniejącej fugi i jeżeli jej stan będzie na to pozwalał należy ją wykorzystać przy kolejnych odcinkach. W przypadku kolejnych odcinków, na których będzie wykorzystywana kostka pochodząca z rozbiórek, należy tak prowadzić prace brukarskie aby mieszać kostki nowe i stare w celu uzyskania wizualnie poprawnej powierzchni (brak „placków” jednego koloru).

Proces układania kostki oraz fugowania może prowadzić wyłącznie przeszkolony personel pod nadzorem. Szkolenie powinno być przeprowadzone przez dostawcę konkretnego materiału wypełniającego. W trakcie prowadzenia prac należy notować temperaturę powietrza oraz podłoża a także rejestrować minimalną i maksymalną temperaturę dobową. Zapisy należy prowadzić w celu potwierdzenia prowadzenia prac zgodnie ze specyfikacją produktu. Rejestrowanie temperatur może również posłużyć do odpowiednio wczesnego zaniechania prac, jeżeli temperatura miałaby przekraczać

minimalne/maksymalne wartości. Każdorazowo przed przystąpieniem do prac należy upewnić się, że temperatury samej kostki jest odpowiednia.

Kostki kamienne należy wbijać w podsypkę piaskowo-cementową o minimalnej wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach 14 MPa (grubość podsypki 4 cm). Podsypka może zostać zastąpiona rozwiązaniem systemowym pod warunkiem spełnienia wymagania ruchu pojazdów ciężkich.

Kostki powinny być układane ze spoiną o szerokości 15 mm (minimum 10 mm). Po wbiciu kostki, spoina powinna być wypełniona podsypką na około 1/3 wysokości kostki. Proces fugowania można rozpocząć po 72 godzinach od ukończenia układania kostki. Czas ten w niesprzyjających warunkach może ulec wydłużeniu. Przygotowanie podłoża, przygotowanie fugi (mieszanie itp.) układanie jej należy prowadzić ściśle z wymaganiami producenta fugi.

Ruch można wprowadzić najwcześniej po 7 dniach od wykonania fugowania (przy 20°C). czas ten może zostać skrócony jednak tylko i wyłącznie przy akceptacji dostawy fugi.

Przed przystąpieniem do prac, wykonawca powinien dostarczyć procedury pielęgnacji nawierzchni (PZJ) uwzględniające niesprzyjające warunki atmosferyczne tj. niskie i wysokie temperatury oraz opad atmosferyczny.

Powyższe zalecenia należy zweryfikować z zaleceniami producenta fugi i w razie potrzeby skorygować do tych zaleceń.

9. ZALECANIA I WNIOSKI KOŃCOWE

Na podstawie przeprowadzonych analiz sformułowane następujące wnioski dla przyszłych inwestycji prowadzonych przez Zleceniodawcę:

1. Prace związane z układaniem kostki kamiennej a także jej fugowaniem należy prowadzić w sprzyjających warunkach pogodowych zgodnych z wymaganiami dostawcy konkretnych materiałów
2. Personel wykonujący roboty brukarskie musi zostać odpowiednio przeszkolony przez dostawcę konkretnych materiałów, a personel inżynierski ściśle musi kontrolować jakość prac a także dotrzymanie odpowiednich warunków pogodowych

3. Wykonana nawierzchnia nie może być obciążana do momentu osiągnięcia odpowiedniej wytrzymałości zaprawy w spoinie czas należy dobrać na podstawie dostawcy konkretnego rozwiązania i dostosowywać do odpowiednich warunków pogodowych
4. W przypadku korzystnych warunków pogodowych (dzień) przy jednoczesnym ryzyku wystąpienia np. ujemnych temperatur nocnych, prace brukarskie należy zaniechać
5. Podsypkę pod kostkę kamienną powinna stanowić podsypka związana (np. podsypka piaskowo-cementowa lub podsypka systemowa konkretnego dostawcy), a sama kostka powinna być wbijana w podsypkę w taki sposób, aby podsypka wypełniła około 1/3 wysokości spoiny,
6. Fugi powinny wypełniać całą dostępną głębokość spoiny (patrz punkt wyżej)
7. Do czasu związania zaprawy nawierzchnia nie może być obciążana ruchem pieszym ani kołowym i należy ją chronić przed wysychaniem oraz zabrudzeniem.
8. Niniejsze opracowanie nie ma charakteru projektu, jest szeregiem wymagań i zaleceń, które powinny być podstawą do sporządzenia dokumentacji projektowej remontu, uwzględniającej między innymi: czas wykonywania remontu, organizację ruchu w trakcie remontu, czas potrzebny na wykonanie remontu, aktualny stan degradacji nawierzchni.

Uwaga: Po wykonaniu remontu oraz po ewaluacji wykonanych prac (np. po 2 latach) należy rozważyć, przygotowanie specyfikacji/podręcznika dobrych praktyk projektowania, wykonania i utrzymania nawierzchni z kostki kamiennej dla całego miasta.

KONIEC