

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
Politechniki Wrocławskiej

**Badania i analiza przyczyn uszkodzeń dla
nawierzchni placu przed budynkiem Narodowego
Forum Muzyki we Wrocławiu, na potrzeby
„opracowania programu naprawczego dla
nawierzchni placu przy NFM”**

Raport serii u nr 65/2020

**Piotr Mackiewicz
Bartłomiej Krawczyk
Eryk Mączka
Dariusz Dobrucki**

Słowa kluczowe:
nawierzchnia sztywna,
odkształcenia termiczne,
uszkodzenia.

Wrocław, październik 2020 r.

Politechnika Wroclawska
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
Katedra Dróg i Lotnisk
tel./fax. (71) 320-45-57
e-mail: Piotr.mackiewicz@pwr.edu.pl

Temat badawczy: Badania i analiza przyczyn uszkodzeń dla nawierzchni placu przed budynkiem Narodowego Forum Muzyki we Wrocławiu, na potrzeby „opracowania programu naprawczego dla nawierzchni placu przy NFM”

Zlecenie z dnia 20.07.2020 r., umowa ZP/WU/83570/04/2020

Wrocławskie Inwestycje Sp. z o.o. ul. Ofiar Oświęcimskich 36

Zespół badawczy:

Podpisy

Dr hab. inż. Piotr Mackiewicz

Dr inż. Bartłomiej Krawczyk

Mgr inż. Eryk Mączka

Mgr inż. Dariusz Dobrucki

Raport wpłynął do Redakcji Wydawnictw Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej w październiku 2020 r.

Lista odbiorców:

Zleceniodawca	3 egz.
Autorzy	2 egz.
Archiwum W-2	1 egz.

Spis treści

1. Podstawa opracowania	4
2. Cel i zakres opracowania	4
3. Charakterystyka obiektu.....	4
4. Inwentaryzacja nawierzchni obszaru placu, z uwzględnieniem uszkodzeń powierzchniowych elementów nawierzchni oraz uszkodzeń elementów odwodnienia	5
5. Ocena stanu, stopnia i zakresu uszkodzeń nawierzchni i elementów odwodnienia (koryt odwodnieniowych)	10
6. Analiza problemu uszkodzeń nawierzchni	13
7. Analizy numeryczne.....	16
8. Badania wytrzymałościowe dostarczonych przez Zamawiającego materiałów nawierzchniowych	19
9. Opis technologii naprawy oraz technologii zabezpieczenia elementów nawierzchni i odwodnienia liniowego (koryt odwodnieniowych) przed ponowną degradacją elementów nawierzchni	20
10. Sumaryczne zestawienie parametrów geometrycznych uszkodzeń	24
11. Wnioski	24
12. Literatura	26

1. Podstawa opracowania

Opracowanie wykonano na podstawie dokumentacji projektowej i powykonawczej, dostarczonej przez Wrocławskie Inwestycje Sp. z o.o. oraz na podstawie wizji lokalnej i wykonanych badań laboratoryjnych elementów nawierzchni.

2. Cel i zakres opracowania

Celem ekspertyzy technicznej jest analiza przyczyn powstania uszkodzeń warstwy ścieralnej (z prefabrykowanych elementów betonowych) oraz elementów odwodnienia liniowego na nawierzchni placu przed budynkiem Narodowego Forum Muzyki przy pl. Wolności 1 we Wrocławiu. Ekspertyzę wykonano na potrzeby „Opracowania programu naprawczego dla nawierzchni placu przy NFM”, w ramach zadania inwestycyjnego „83570 utrzymanie standardu obiektu NFM – usunięcie wad i usterek ujawnionych w trakcie zgłaszania wad”.

Ocenie poddano stan spękań i równości nawierzchni, uszkodzeń dylatacji i spoin oraz elementów odwodnienia liniowego. Obserwacje terenowe zweryfikowano w modelu obliczeniowym. Przeprowadzono analizy numeryczne wskazujące na przyczyny uszkodzeń. Wskazano technologie naprawcze zabezpieczające plac przed dalszą degradacją

3. Charakterystyka obiektu

Przedmiotowa nawierzchnia zajmuje plac o powierzchni ponad 10 000 m² na płycie garażu podziemnego przy Narodowym Forum Muzyki we Wrocławiu. Jest to konstrukcja sztywna i szczelna, dylatowana o następującym układzie warstw:

- warstwa ścieralna z płyt i kostek betonowych / granitowych, gr. 8 cm,
- podsypka piaskowo-cementowa, gr. 3-5 cm,
- warstwa ochrona hydroizolacji z betonu C12/15 o zmiennej grubości 5 – 31 cm
- hydroizolacja,
- warstwy betonowe płyty garażu.

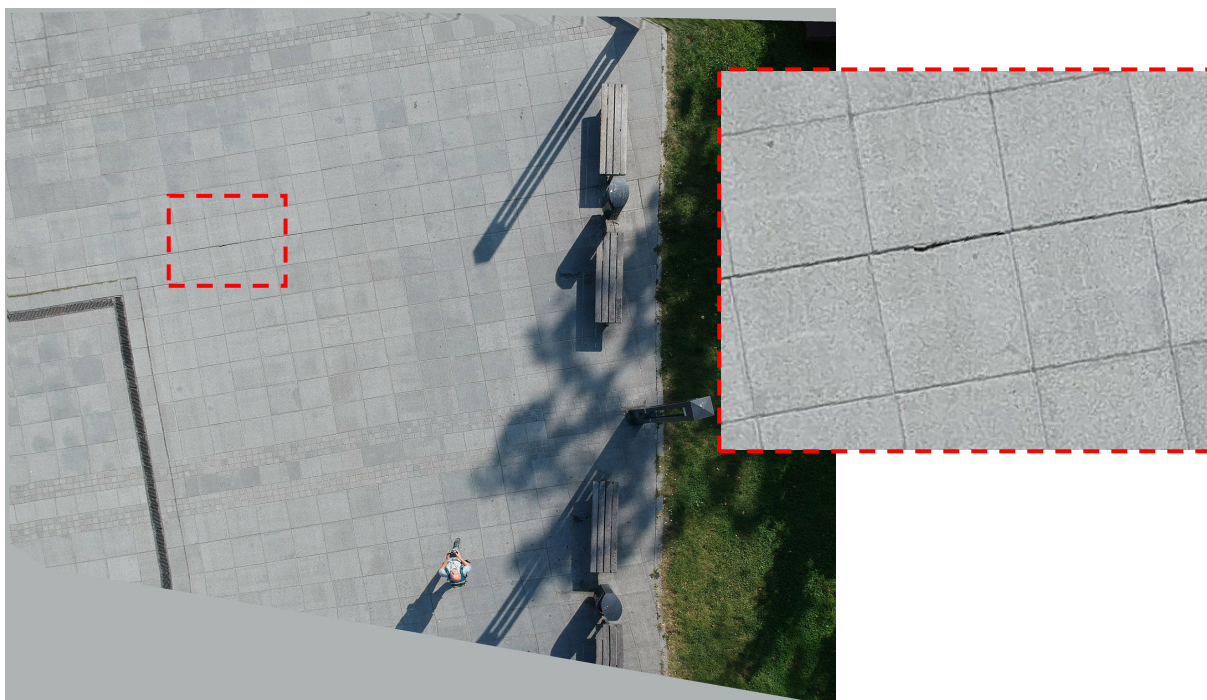
Wypełnienie spoin stanowi zaprawa cementowa na głębokość min. 4 cm, szerokość większości spoin wynosi od 2 do 8 mm. Widok ogólny nawierzchni przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Plac przed NFM

4. Inwentaryzacja nawierzchni obszaru placu, z uwzględnieniem uszkodzeń powierzchniowych elementów nawierzchni oraz uszkodzeń elementów odwodnienia

W celu szczegółowej identyfikacji uszkodzeń placu przeprowadzono wstępnie serię zdjęć z wykorzystaniem drona, z kamerą o dużej rozdzielczości (rys.2). Pozwoliło to opracować plan sytuacyjny z uszkodzeniami, który zamieszczono w załączniku nr 2 oraz przeanalizować globalny charakter mechaniki uszkodzeń całego placu.



Rys. 2. Przykładowe zdjęcia z drona

Powstałą dokumentację fotograficzną uzupełniono i zweryfikowaną podczas wizji lokalnej (8.10.2020). Przeprowadzona inwentaryzacja wskazała na występowanie:

- pęknięć elementów nawierzchni (rys. 3)
- przesunięcie elementów nawierzchni (rys. 4)
- ubytków spoin i zanieczyszczenie dylatacji (rys. 5)
- uszkodzeń ram okiennych (rys. 6)
- uszkodzeń elementów odwodnienia liniowego (rys. 7)
- wybruszeń elementów nawierzchni (rys. 8)
- wykruszeń elementów nawierzchni (rys. 9)
- wyparcia masy uszczelniającej (rys. 10)
- trwałych zanieczyszczeń elementów nawierzchni (rys. 11)
- zapadnięć/przesunięć krawężników lub elementów nawierzchni (rys. 12)



Rys. 3. Przykładowe pęknięcia płyt (w środku i na krawędzi)



Rys. 4. Przykładowe przesunięcie elementów nawierzchni



Rys. 5. Przykładowe ubytki spoin



Rys. 6. Przykładowe deformacje ram okiennych



Rys. 7. Przykładowe uszkodzenia elementów odwodnieniowych



Rys. 8. Przykładowe wybrzuszenie elementów nawierzchni



Rys. 9. Przykładowe wykruszenia elementów nawierzchni



Rys. 10. Przykładowe wyparcia masy uszczelniającej



Rys. 11. Przykładowe trwałe zanieczyszczenia elementów nawierzchni



Rys. 12. Przykładowe zapadnięcia/przesunięcia krawężników

Kompletne zestawie dokumentacji fotograficznej zestawiono w załączniku 1.

5. Ocena stanu, stopnia i zakresu uszkodzeń nawierzchni i elementów odwodnienia (koryt odwodnieniowych)

Zidentyfikowane uszkodzenia są przede wszystkim następstwem oddziaływań termicznych, a także częściowo oddziaływania pojazdów. Autorom nie zostały dostarczone dokładne dane dot. intensywności obciążenia placu (natężenia ruchu i rodzaju pojazdów). Należy mieć na uwadze, że pojazdy ciężarowe lub wózki transportowe wywołują na nawierzchnie znaczne oddziaływania styczne, dochodzące nawet do 0.3 MPa.

Zidentyfikowano trzy wyraźne wybrzuszenia/wyciężenia mas (1-3 cm), które określono na podstawie globalnej identyfikacji uszkodzeń (rys. 13).

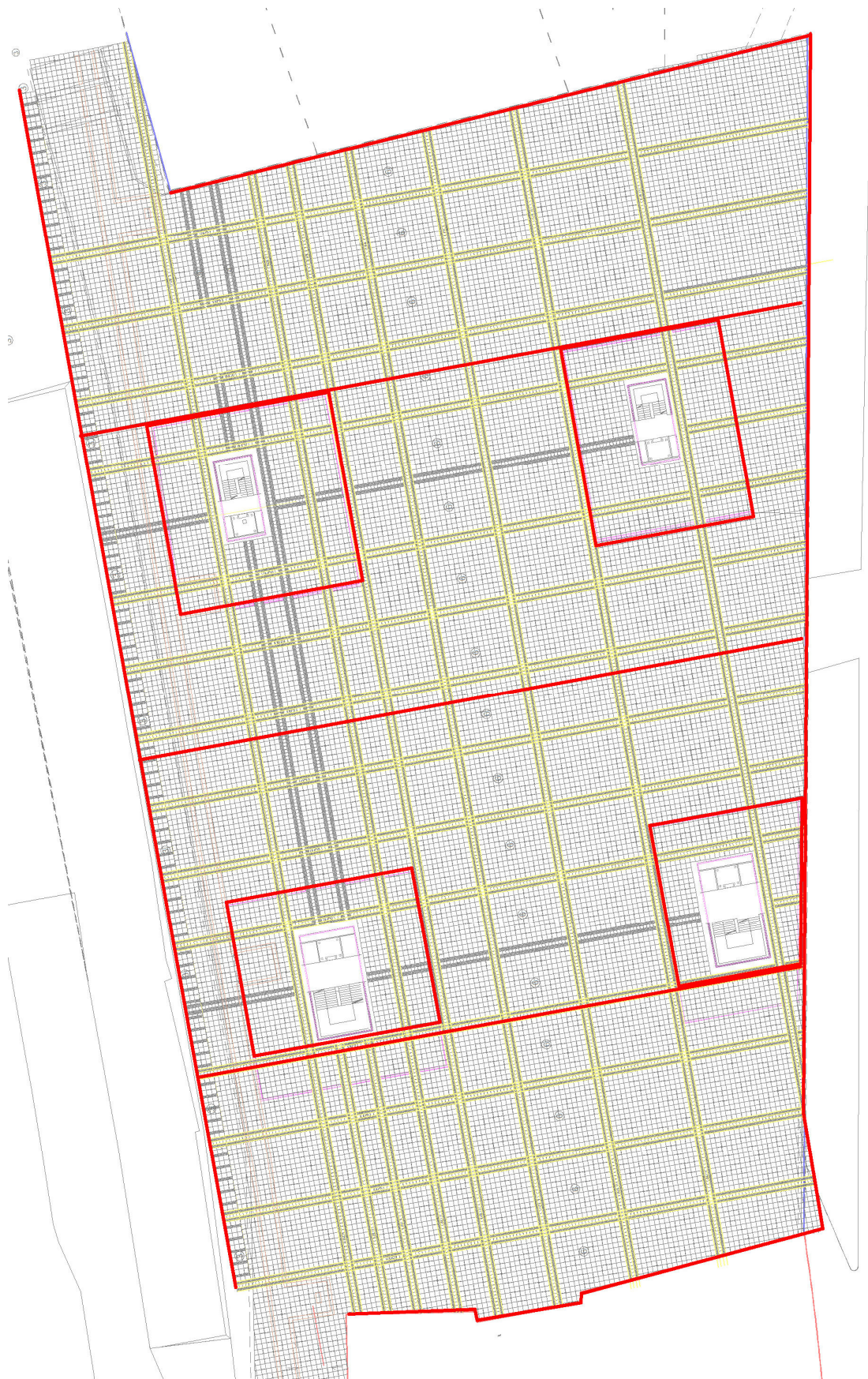
Należy zauważyć, że cały obszar placu aktualnie podzielił się na cztery płyty (o szerokościach około 40 m), z jednej strony ograniczone oddziaływaniem na budynek (bezpośrednio na ramy okienne), a z drugiej na krawężnik (który został przemieszczony w głąb zieleni). Następstwem znacznych przemieszczeń dochodzących do kilku centymetrów jest wyciskanie masy ze szczelin, lub jej wykruszanie (rys. 14). Uszkodzenia szczelin mogą powodować dalszą degradację niższych warstw w wyniku penetracji wody w głąb nawierzchni. Na placu występują także szerokie (około 2 cm) szczeliny dylatacyjne, w których zalega ziemia i rozwija się roślinność. Takie szczeliny również stanowią niebezpieczeństwo penetracji wody w głąb nawierzchni.

Na skutek przemieszczenia poziomego płyt nastąpiły również uszkodzenia elementów odwodnienia liniowego. Dla nich wyróżniono odrębne obszary podatne na oddziaływanie dużych sił poziomych. Stwierdzono uszkodzenia koryt oraz ściśnięcia krat rusztów, uniemożliwiające ich właściwą eksploatację (wyjęcie i ponowne ułożenie) (rys. 15). Dotyczy to większości elementów odwodnieniowych. Dodatkowo, w wyniku oddziaływań nawierzchni ruszty posiadają zwichrowane płaszczyzny, utrudniające sprawne odprowadzenie wody (rys. 16).

Należy zaznaczyć, że aktualnie plac wydaje się być w akceptowalnym stanie technicznym, nie zagrażającym użytkownikom (pieszym, pojazdom), jednak w przypadku zaniechania bieżącego utrzymania i pozostawienia nienaprawionych uszkodzeń nawierzchni i elementów odwodnieniowych, może dojść do jego przyspieszonej degradacji. Na placu stwierdzono znaczną ilość wymienionych płyt, różniących się odcieniem, co wskazuje na przeprowadzone prace remontowe.

Zgodnie z klasyfikacją DSN [1] szkodliwość zidentyfikowanych uszkodzeń jest uznawana za dużą. Podobnie klasyfikowane są takie uszkodzenia w procedurach amerykańskich [2]. Uszkodzenia tego typu stanowią zagrożenie dla trwałości niższych warstw konstrukcji nawierzchni oraz hydroizolacji, ze względu na oddziaływanie wody, mrozu oraz środków utrzymania nawierzchni.

Niektóre pęknięcia elementów nawierzchni są szersze niż 3 mm i stanowią niebezpieczeństwo wykruszenia z nawierzchni, co może stanowić zagrożenie dla ruchu pieszych. Stwierdzone przesunięcia nawierzchni (płyt) stanowią nieestetyczny element wizualny, podobnie jak plamy i inne zmiany kolorystyczne. Istotniejsze są kilkucentymetrowe deformacje krawężników, mogące mieć wpływ na zanieczyszczenie placu i wypływy wody. Trudno ocenić uszkodzenia ram okiennych, bez odrębnych badań branżowych. Identyfikacja uszkodzeń wskazała na przemieszczenia elementów uszczelniających wokół szyb (rys. 17), nie należy zatem wykluczyć oddziaływań na szyby i potencjalnego ich pęknięcia.



Rys. 13. Obszar placu wydzielony na obszary w wyniku oddziaływań termicznych



Rys. 14. Spękanie i wykruszenie zaprawy cementowej



Rys. 15. Uszkodzenie rusztu uniemożliwiające położenie kraty



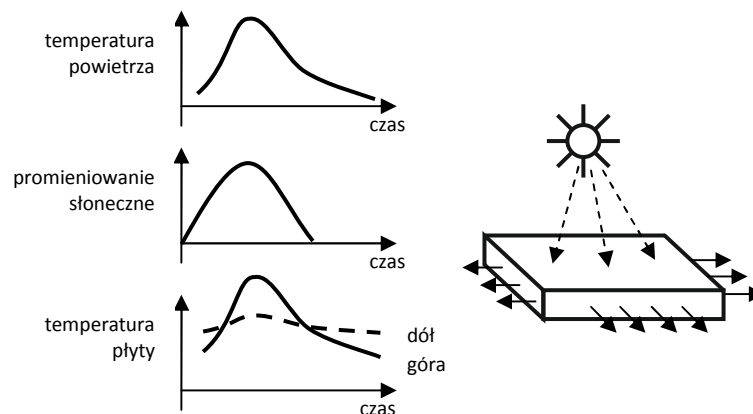
Rys. 16. Zwichrowane płaszczyzny uniemożliwiające sprawne odwodnienie



Rys. 17. Zapadnięcie uszczelnień w ramach okiennych

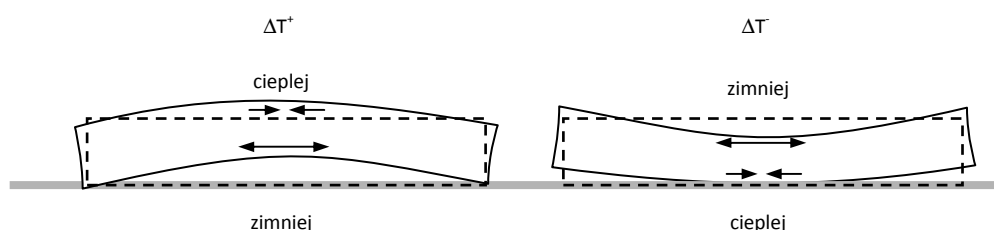
6. Analiza problemu uszkodzeń nawierzchni

W celu zapewnienia odpowiedniej trwałości nawierzchni sztywnej, wykonanej z materiałów z wykorzystaniem spoiw hydraulicznych, wymaga się m.in. odporności na skurcz i rozszerzanie w związku ze zmianami temperatury. Wahania dobowe temperatury powodują w swobodnej płycie betonowej zmianę jej objętości. Wraz z emisją promieniowania słonecznego zwiększa się temperatura powietrza, promieniowanie słoneczne oraz temperatura powierzchni płyty i jej dolnej części (rys. 18). Gdy działa ona równomiernie na całej grubości płyty, to wywołuje odkształcenie osiowe. W płycie swobodnej i nieważkiej rozpatrywane rozkłady temperatur nie wywołują stanów naprężeń.



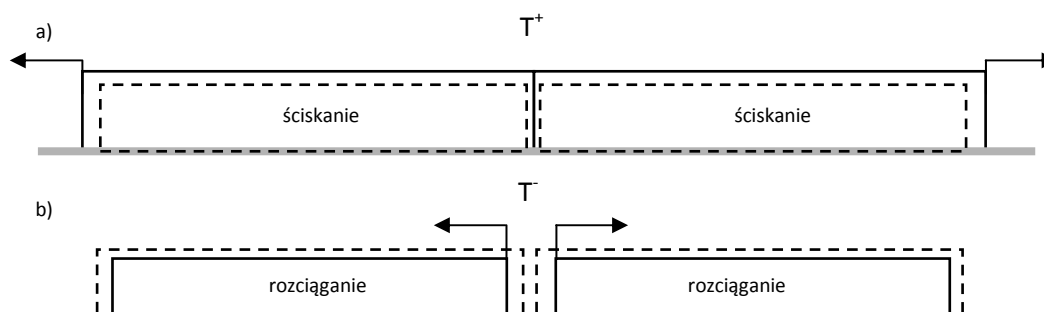
Rys. 18. Oddziaływanie termiczne na płytę betonową

W warunkach rzeczywistych (płyt posiadających odpowiednie warunki zamocowania i podparcia oraz przy występowaniu tarcia płyty z podłożem, ciężaru własnego) występują ograniczone możliwości znacznego odkształcenia poziomego. W takiej sytuacji płyta odkształca się wyginając dolną i górną powierzchnię. Pojawiają się naprężenia w płycie wywołane temperaturą oraz ciężarem własnym. Jeżeli górna powierzchnia płyty ma wyższą temperaturę od dolnej (ΔT^+), to płyta ma tendencję do wyginania się ku górze, ale wskutek ciężaru własnego oraz skrępowania największe naprężenia rozciągające powstają na dolnej powierzchni płyty. Jeżeli natomiast dolna powierzchnia płyty ma wyższą temperaturę od górnej (ΔT^-), to płyta ma tendencję do odkształcania się ku dołowi i wtedy największe naprężenia wskutek ciężaru własnego pojawiają się na górnej powierzchni rys. 19.



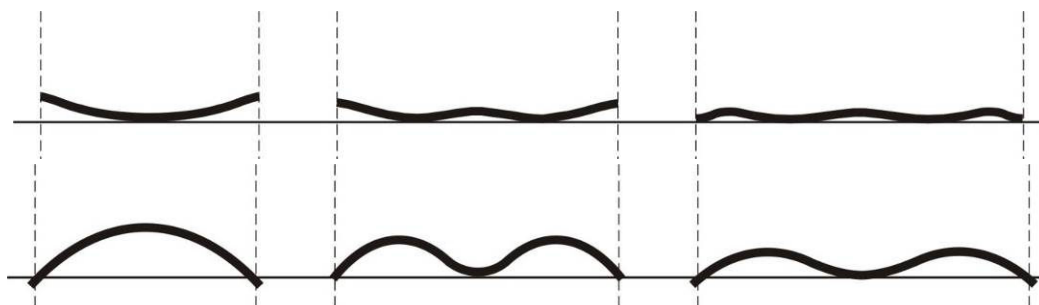
Rys. 19. Wyginanie płyty betonowej w zależności od warunków termicznych

W przypadku równomiernego ogrzewania płyty (mała różnica temperatury pomiędzy górną i dolną powierzchnią płyty) będą powstawać w całej płycie równomiernie rozłożone naprężenia. Ekspansywne ruchy prowadzą do naprężeń ściskających, podczas skurczu ruchy prowadzą do naprężeń rozciągających. Na rys. 20 pokazano przykład deformacji płyt w wyniku działania równomiernego gradientu ujemnego i dodatniego, który był główną przyczyną powstałych uszkodzeń na placu.



Rys. 20. Deformacja płyty betonowej w przypadku równomiernego ogrzewania (a) oraz skurczu (b) pod wpływem temperatury

Wartości naprężeń od temperatury zależą od warunków szczepności płyty z podłożem oraz podparcia [4]. Przesztywnienie warstw dolnych powoduje zwiększanie się wartości naprężeń w płycie pod wpływem temperatury, zaś stosowanie warstwy poślizgowej umożliwia swobodne przemieszczenie się płyt i zmniejszenie naprężeń, jednak w tej sytuacji muszą być stosowane w odpowiednie odległości szczelin dylatacyjnych. W związku ze znaczną odkształcalnością płyt pod wpływem temperatury nie bez znaczenia jest zatem wymiar płyty w planie w zależności od jej grubości [5] i równocześnie rozstaw szczelin, co znacząco wpływa na współpracę płyt [6] i wewnętrzne wartości naprężeń [7].



Rys. 21. Zachowanie się płyt dla różnych długości i oddziaływań termicznych

Charakteryzuje to tzw. długość krytyczna płyty. W przypadku przekroczenia długości krytycznej płyty długie i cienkie, ze względu na swoją wiotkość, będą w części środkowej (dla ΔT^+) opadać na podłoże lub w częściach skrajnych (dla ΔT^-). Taka sytuacja wywołuje dodatkowo zwiększone naprężenia i pękanie poprzeczne płyt (rys. 21).

Na terenie Polski panuje klimat umiarkowany o charakterze przejściowym pomiędzy klimatem morskim a lądowym. Wynikiem tego jest ścieranie się mas wilgotnego powietrza znad Atlantyku z suchym powietrzem z głębi kontynentu euroazjatyckiego. W efekcie klimat w Polsce odznacza się dość znacznymi wahaniami dobowymi temperatury i ciśnienia. Roczna rozpiętość temperatury powietrza wynosi od -30°C do $+40^{\circ}\text{C}$. Stawia to trudne zadanie doboru warstw konstrukcji, które w zależności od pory roku i regionu mogą mieć temperaturę od -30°C do nawet $+60^{\circ}\text{C}$. Dodatkowo ze względu na znacznie rozbudowaną cyrkulację atmosferyczną w Polsce obserwuje się znaczne zróżnicowania klimatyczne na terenie całego kraju w zależności od różnych okresów w roku. Na oddziaływanie czynników cyrkulacyjnych i radiacyjnych nakłada się także wiele czynników lokalnych. Reprezentatywne warunki termiczne panujące w danym miejscu można określić przede wszystkim na podstawie wartości średnich i ekstremalnych temperatur powietrza, a w przypadku potrzeby projektowania nawierzchni betonowych z wykorzystaniem amplitudy temperatury (dobowe, roczne). Na podstawie danych meteorologicznych z ostatniego trzydziestolecia stwierdzono, że na przeważającym obszarze Polski wahania dobowe wynoszą od 7°C do 9°C . Dobowe wahania temperatury rosną z kierunku północnego zachodu na południowy wschód i osiągają największe wartości (ponad 9°C) na południu kraju. Przedstawione wartości uwzględniają uśrednione amplitudy z wielolecia. Warto jednak zwrócić uwagę na możliwe okresowe odstępstwa od zaprezentowanych średnich wartości w ciągu doby jakie powszechnie przyjmuje się przy projektowaniu nawierzchni. Niekorzystne zaburzenia termiczne są spowodowane różnymi cyrkulacjami atmosferycznymi występującymi w Polsce. Cyrkulacje są zmienne i mimo iż utrzymują się kilka dni, znacząco wpływają na zwiększenie wartości średnich dobowych wahań temperatur. Nawet krótkie okresy (kilkudniowe), w których zmieniać się będzie temperatura powietrza będą miały wpływ na zachowanie się nawierzchni betonowej. Najbardziej niekorzystna jest cyrkulacja antycyklonalna D₂C. Powoduje ona zwiększenie wartości wahań dobowych temperatury prawie dwukrotnie. Należy także zaznaczyć, że w zależności od warunków lokalnych (odsłonięcie terenu, lokalizacja w obszarze zurbanizowany, ograniczona wilgotność) oraz charakterystyki nawierzchni

(ciemny kolor, kruszywo o większej radiacji i absorpcji ciepła), bezpośrednie zmiany temperatury w nawierzchni betonowej mogą być jeszcze większe przyczyniając się do powstawania spękań bez udziału obciążenia pojazdów.

W celu minimalizacji uszkodzeń nawierzchni należy zapewnić optymalne właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe materiału w szerokim zakresie temperaturowym. Poza doбором odpowiedniej sztywności, należy zwrócić uwagę na współpracę (warunki szczepności i poślizgu) warstw konstrukcji oraz na wymagane dylatacje.

Ze względu na powtarzalną i zmienną temperaturę w ciągu doby, spękania termiczne mają charakter zmęczeniowy. Powstanie pęknięcia jest związane z generowanymi naprężeniami rozciągającymi i odkształceniami wywołanymi zginaniem. W zależności od warunków szczepności, grubości płyty oraz jej wymiarów w planie w różnym stopniu ulegają zjawiskom zmęczenia i zginania.

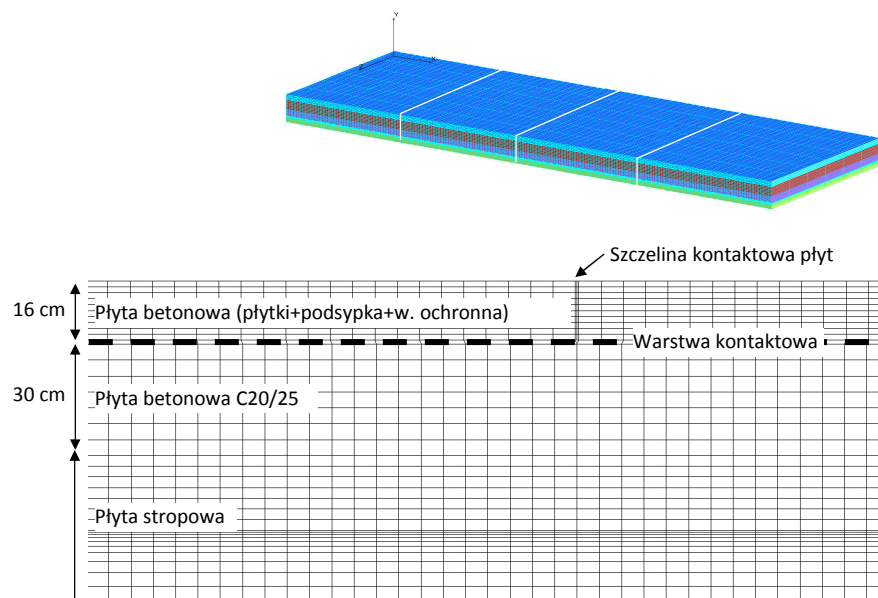
W świetle powyższych rozważań przeanalizowano w przedmiotowej konstrukcji nawierzchni oddziaływania temperaturowe z uwzględnieniem warunków podparcia i geometrii nawierzchni.

Zasadniczą przyczyną praktycznie wszystkich zidentyfikowanych uszkodzeń są duże odkształcenia termiczne, przy nieprawidłowo rozplanowanych szczelinach dylatacyjnych. Plac stał się sztywnym monolitem (dużą płytą), ograniczonym z jednej strony budynkiem, a z innych stron krawężnikiem, uniemożliwiającym przesuwanie się płyt. Dodatkowo zastosowana została zbyt sztywna masa wypełniania szczelin. Niewłaściwy dobór wypełnienia i niewłaściwy dobór szerokości szczelin powoduje niewystarczającą kompensację przemieszczeń w obrębie szczelin dylatacyjnych i w efekcie ich kumulację (pchanie kolejnych rzędów płyt..), czego następstwem były zdeformowane ramy okienne, przesunięte krawężniki i uszkodzone obudowy odwodnienia liniowego.

Na podstawie wcześniejszych badań autorów w 2016 r. stwierdzono, że na plac oddziaływały znaczne temperatury w okresie letnim, dochodzące do 60 °C na ciemnych elementach i przekraczająca 53 °C na elementach jaśniejszych. Kluczowym czynnikiem, w wyniku którego ograniczona została możliwość przemieszczania się płyt, było ułożenie nawierzchni w niskich temperaturach (przy dużym skurczu). Zachowanie szczelin dylatacyjnych zgodnych z projektem nie gwarantowało w tej sytuacji bezpiecznego przemieszczenia się płyt w docelowych, wyższych temperaturach eksploatacyjnych. Warunki termiczne układania nawierzchni mają istotny wpływ na jej późniejszą pracę.

7. Analizy numeryczne

W celu weryfikacji zachowania się nawierzchni pod wpływem oddziaływań termicznych opracowano model numeryczny konstrukcji (rys. 22). Do obliczeń wykorzystano metodę elementów skończonych. Model zbudowano zakładając układ placu betonowego składającego się z dużych płyt o szerokości 40 m, grubości 16 cm (wraz ze sztywnym wypełnieniem szczelin dystansowych (spoin) zaprawą cementowo-piaskową, podsypką cementowo-piaskową 1:4). Uwzględniono także dolną warstwę ochronną z betonu cementowego C12/15 jako jeden sztywny monolit o grubości 30 cm. Należy zaznaczyć, że warstwa ochronna betonu spadkowego ma zgodnie z założeniami projektu zmienną grubość, wynoszącą od 5 do 31 cm. Niemożliwe jest określenie w sposób nieniszczący aktualnych warunków współpracy (grubości i szczepności) warstwy spadkowej betonu. Obserwacje uszkodzeń, w porównaniu do roku 2016, wskazują na pracę płyty jako jednego dużego monolitu, zatem w obliczeniach przyjęto warunki niekorzystne pod względem działania sił poziomych, zakładając dużą sztywność i szczepność między wszystkimi wymienionymi elementami (rys. 23).



Rys. 22. Model obliczeniowy konstrukcji nawierzchni



Rys. 23. Uszkodzenie nawierzchni na skutek przesuwu poziomego płyt. Widoczne ścięcie w obrębie elementu wibroprasowanego. Fragmenty szczipione z podsypką piaskowo-cementową.

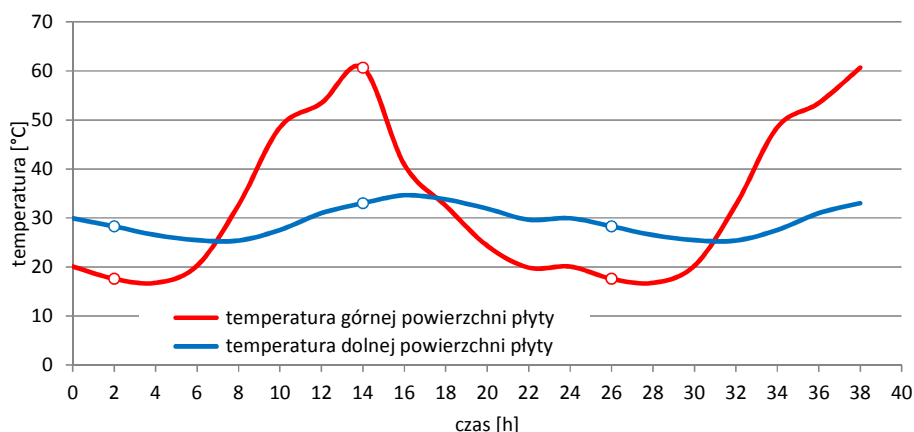
W modelu uwzględniono dwie fazy pracy placu. Pierwsza faza, w której dochodzi do deformacji placu w wyniku ograniczenia zewnętrznego (budynek, krawężniki), oraz druga faza rozprężania związana z przemieszczeniem zdeformowanych elementów. Należy zaznaczyć, że stan deformacji i uszkodzeń placu jest następstwem cyklicznych odwoływań związanych ze zmianą dobową temperatury, który można uznać za oddziaływanie zmęczeniowe od temperatury.

Parametry materiałowe opisano materiałami sprężystymi: moduł Younga 35 000 MPa, współczynnik Poissona 0.2, gęstość 2400 kg/m³. Dla płyty betonowej przyjęto następujące parametry termiczne: przewodność cieplna 2.5 W/m °C, ciepło właściwe 700 J/kg °C, współczynnik rozszerzalności cieplnej 0.00001 m/(m °C).

W modelu uwzględniono oddziaływanie kontaktowe pomiędzy płytami, podłożem oraz uwzględniono wpływ ciężaru własnego. W tym celu zastosowano elementy kontaktowe GAP. Są one często wykorzystywane w zaawansowanych dwuwymiarowych i trójwymiarowych problemach

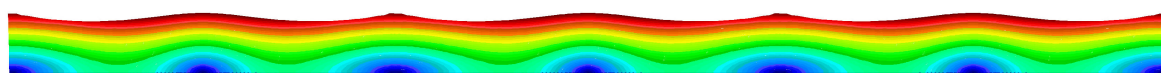
kontaktowych w nawierzchniach drogowych. Rozpatrzono zmienne oddziaływanie dobowe, uwzględniając skrajne oddziaływanie termiczne w godzinach południowych (różnica temperatury pomiędzy powierzchniami płyty $\Delta T^+ = +27^\circ\text{C}$, temp. maksymalna 60°C).

Warunki obciążenia temperaturą przyjęto na podstawie pomiarów temperatury powietrza zawartych w raporcie (zlecenie odrębne) roku 2016 dotyczącego niniejszego placu oraz na podstawie zmian dobowych temperatury we Wrocławiu. Wstępne obliczenia numeryczne oddziaływania temperatury na płytę betonową z uwzględnieniem przepływu ciepła w czasie pozwoliły zamodelować zmiany temperatury w przekroju płyty betonowej w ciągu doby (rys. 24).

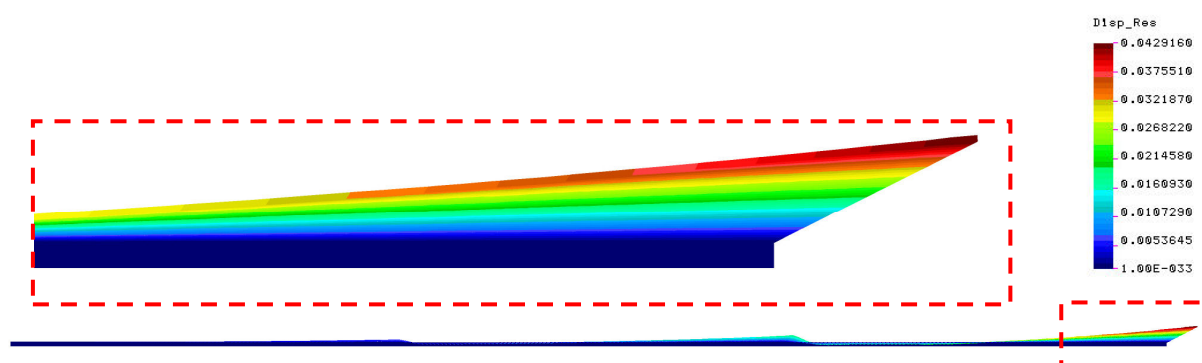


Rys. 24. Obciążenie temperaturą duża różnica temp. pomiędzy powierzchniami płyty $\Delta T^+ = +27^\circ\text{C}$, temp. maksymalna 60°C

Na rys. 25 pokazano fazę, w której dochodzi do deformacji placu w wyniku ograniczenia zewnętrznego (budynek, krawężniki). Górna powierzchnia placu ulega znacznym deformacjom pionowym dochodzącym do kilku centymetrów. W wybranych miejscach dochodzi do deformacji i wytworzenia stref kontaktowych płyt.



Rys. 25 Faza deformacji placu w wyniku ograniczenia zewnętrznego (godziny południowe)



Rys. 26. Faza przemieszczania placu w kierunku poziomym (godziny południowe)

W drugiej fazie dochodzi do przemieszczenia elementów nawierzchni placu w kierunku poziomym (do krawężników) w zakresie kilku centymetrów co zostało zidentyfikowane w trakcie oceny uszkodzeń. W godzinach wieczornych przemieszczenia zmniejszyły się o połowę. Na podstawie obliczeń w krytycznych warunkach pracy płyty dla różnicy temperatur $\Delta T^+ = +27^\circ\text{C}$ uzyskano maksymalną siłę oddziaływającą poziomą 3.5 MN, zaś naprężenia rozciągające około 9.5 MPa. O ile naprężenia ściskające przeniosą materiały nawierzchni, o tyle działanie siły podłużnej może doprowadzić do uszkodzenia

sąsiadujących elementów co zidentyfikowano na placu (ramy okienne, krawężniki, elementy odwodnienia).

Przyczyną znacznych oddziaływań są zbyt duże długości płyt (sztywnego monolitu). Należy zaznaczyć, że płyty dla okresu występowania dodatniej różnicy temperatur pomiędzy powierzchniami (ΔT^+), pod wpływem ciężaru opadają na podłoże w środkowej części. Następstwem tego jest przekroczenie długości krytycznej i zwiększenie wartości naprężeń rozciągających, co z kolei powoduje pękanie spoin.

8. Badania wytrzymałościowe dostarczonych przez Zamawiającego materiałów nawierzchniowych

W dniu 22.09.2020 dostarczono do Laboratorium Badawczego Obiektów Infrastruktury Transportowej Politechniki Wrocławskiej dwie betonowe płyty o wymiarach 8 x 60 x 60 cm. Badania płyt przeprowadzono zgodnie z normą: PN-EN 13748-2:2006 Płytki lastrykowe. Część 2: Płytki lastrykowe do zastosowań zewnętrznych [8]. Płyty przecięto na pół uzyskując cztery próbki o wymiarach 8 x 30 x 60 cm. Następnie poddano je badaniu wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu. Wyniki badania przedstawiono w tabeli 1. Wymagania normy PN-EN 13748-02 przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1. Wyniki badania wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu.

Nr próbki	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu [MPa]		
	T i	T średnie	T minimalne
1	7,8	7,2	6,0
2	6,5		
3	8,4		
4	6,0		

Tabela 2. Klasy wytrzymałości na zginanie dla zastosowań zewnętrznych wg PN-EN 13748-2

Klasa	Oznaczenie	Wytrzymałość na zginanie [MPa]	
		średnie	minimalne
1	ST	3,5	2,8
2	TT	4,0	3,2
3	UT	5,0	4,0

Następnie z przełamanych płyt wycięto osiem próbek, dla których sprawdzono zdolność absorpcji wody. Wyniki badania przedstawiono w tabeli 3. Wymagania normy PN-EN 13748-02 przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 3. Wyniki badania bezwzględnej absorpcji wody.

Nr próbki	Zdolność absorpcji [%]	
	Wma i	Wma średnie
1-1	5,7	5,9
1-2	6,2	
1-3	5,9	
1-4	5,9	
2-1	5,9	
2-2	6,4	
2-3	5,7	
2-4	5,8	

Tabela 4. Klasy odporności na warunki atmosferyczne wg PN-EN 13748-2

Klasa	Oznaczenie	Absorpcja wody [%] (m/m)	Ubytek masy po zamrażaniu [kg/m ²]
1	A	właściwość nieokreślona	właściwość nieokreślona
2	B	średnia < 6	właściwość nieokreślona
3	C	właściwość nieokreślona	średnia < 1,0 przy czym żaden pojedynczy wynik nie jest > 1,5

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że dostarczone płyty betonowe:

- pod względem wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu **spełniają** wymagania dla klasy **UT**
- pod względem odporności na warunki atmosferyczne **spełniają** wymagania dla klasy **B**

Na rys. 27 pokazano płyty po badaniach wytrzymałościowych.



Rys. 27. Płyty po badaniach wytrzymałościowych

W świetle powyższych badań należy stwierdzić, że wbudowane płyty spełniają zakładane wymagania projektowe. Zidentyfikowane uszkodzenia na placu są przede wszystkim przyczyną oddziaływań termicznych, związanych z problematyką opisaną we wcześniejszej części raportu, a także częściowo incydentalnych (ponadnormatywnych) oddziaływań pojazdów i czynności związanych z nieprzewidzianą eksploatacją placu przy imprezach masowych.

9. Opis technologii naprawy oraz technologii zabezpieczenia elementów nawierzchni i odwodnienia liniowego (koryt odwodnieniowych) przed ponowną degradacją elementów nawierzchni

W zakresie zidentyfikowanych uszkodzeń, przy aktualnym charakterze „pracy” placu, należy przeprowadzić następujące działania proaktywne, zapobiegające przed dalszą przyspieszoną degradacją nawierzchni:

W zakresie elementów odwodnienia:

1. Rozebrać istniejącą nawierzchnię z prefabrykatów betonowych na długości uszkodzonego odwodnienia liniowego i szerokości pozwalającej na wykonanie nowej obudowy koryt. Zaleca się wymianę wszystkich elementów odwodnienia na placu.

2. Wymienić uszkodzone elementy odwodnienia liniowego, zgodnie z założeniami projektowymi, w klasie D400. Koryta odwodnieniowe powinny być obudowane tak, aby były zabezpieczone przed oddziaływaniem sił poziomych wywołanych przez wpływy termiczne oraz oddziaływaniem pojazdów lub urządzeń transportowych. W niniejszym opracowaniu analizy przedstawiono dla oddziaływań termicznych dla różnicy temperatur $\Delta T = +27^{\circ}\text{C}$. W przypadku większych zmian należy zastosować bardziej radykalne wzmocnienia. Podobnie ze względu na brak szczegółowych danych nie uwzględniano oddziaływania sił stycznych od pojazdów o charakterze zmęczeniowym.

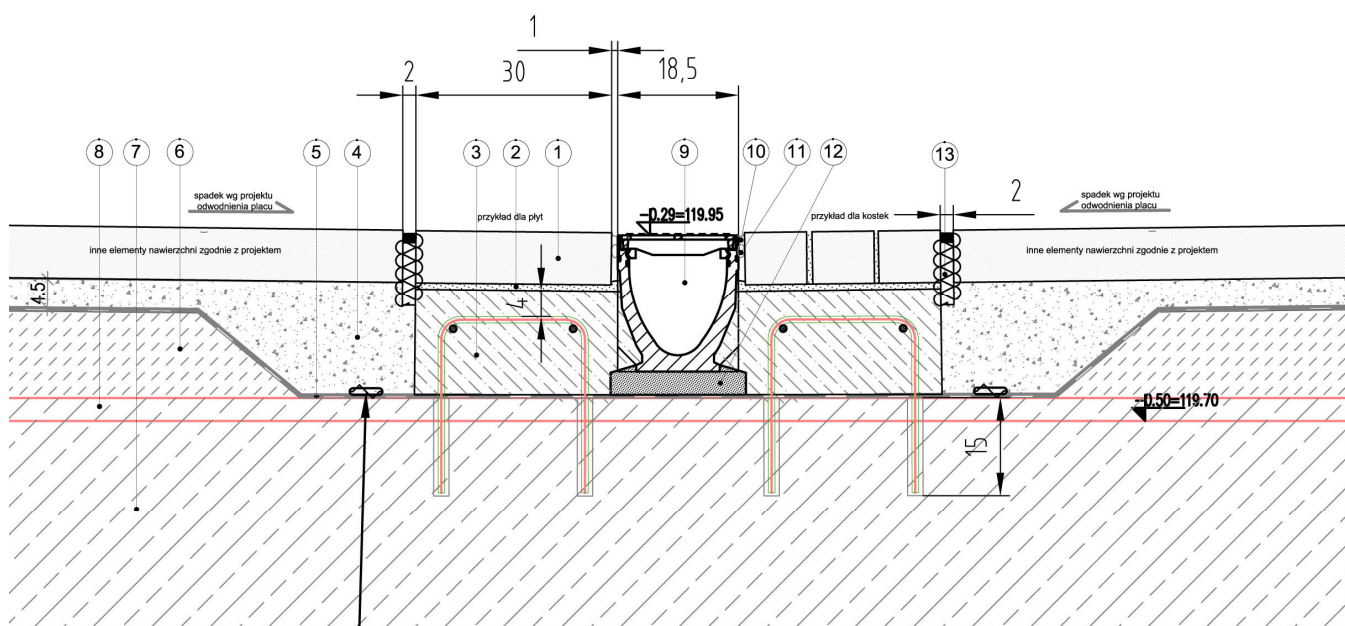
Prefabrykowane elementy nawierzchni występujące na placu: prefabrykowane płyty oraz kostki powinny być trwale połączone z ławą betonową okalającą koryta odwodnieniowe zapewniając odporność na ścinanie i oddziaływanie sił poziomych. W tym celu można zastosować zaprawę klejową (elastyczna) min. 30MPa. Dla elementów drobnowymiarowych można zastosować zaprawę cementową.

Zarówno powierzchniowe prefabrykowane elementy nawierzchni jak i ławy (szerokość min. 30 cm), przylegające do kanałów powinny być trwale związane z istniejącą płytą stropową w celu zapobiegania przesuwaniu się całego monolitu okalającego elementy odwodnieniowe. Może to być zrealizowane za pomocą kotwienia prętów $\phi 12$ ze stali żebrowanej o rozstawie co 30 cm. Głębokość kotwienia 15 cm. Wykonanie oporów zaleca się zrealizować jako wylewane na mokro (dylatowane co 1 m). Kotwienie należy wykonać tak, aby zapewnić szczelności hydroizolacji nad garażem. W tym celu można zastosować podobne rozwiązania stosowane w mostownictwie, przy wykonywaniu kap chodnikowych. Zalecane jest również obniżenie kanału względem płyt 4 - 5 mm. Przykład zabezpieczenia kanału oraz powiązanie z istniejącą instalacją wodną dla typu ACO V150S zaprezentowano na rys. 28.

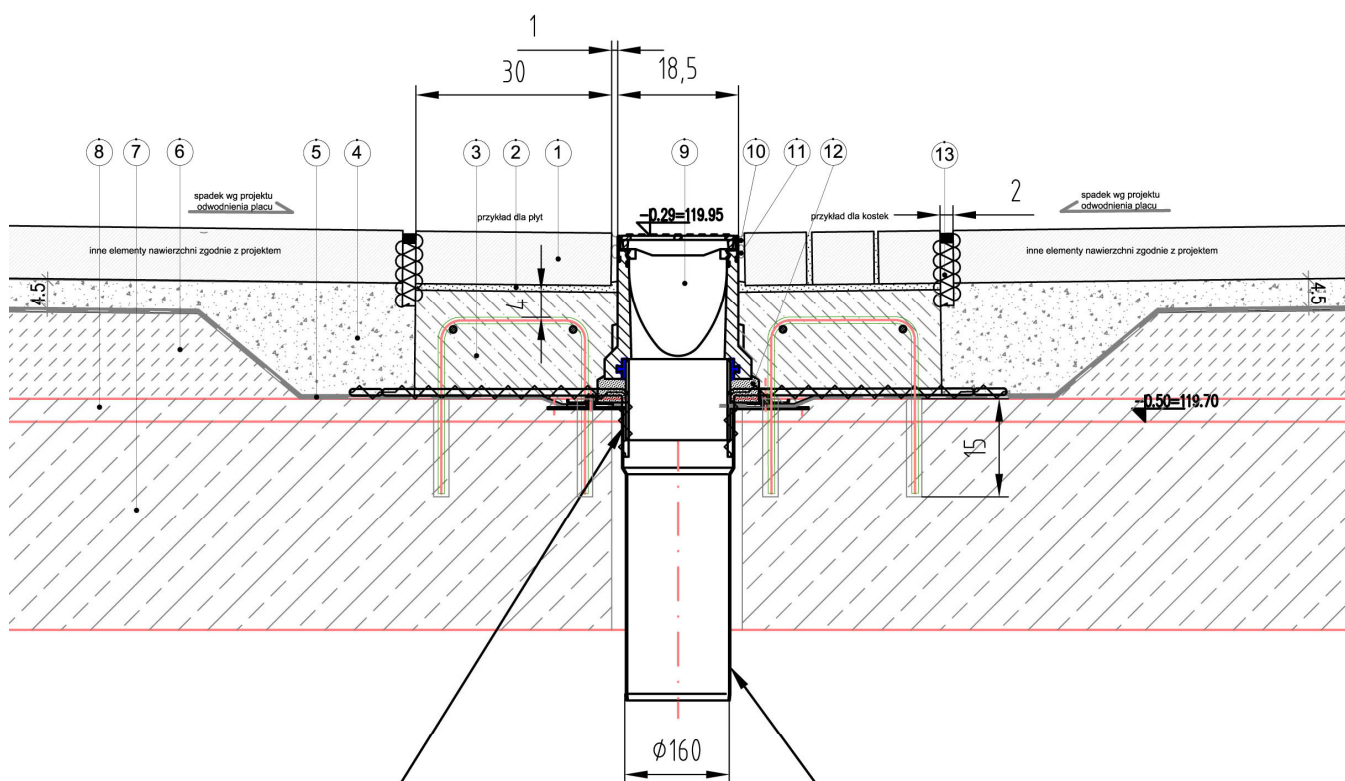
Autorzy zwracają uwagę, że przed zabudową koryt powinno się uzyskać potwierdzenie gwarancji producenta, w związku z nietypowym (nie katalogowym) sposobem zabudowy. Rozwiązania konstrukcyjne na placu nie pozwalają, jak to jest powszechnie stosowane przy dużych klasach obciążenia, zastosować obudowy w kształcie litery „U”, zapewniającej bezpieczną pracę nawierzchni przy elementach odwodnienia liniowego.

Autorzy wzorowali swoje rozwiązanie na rozwiązaniach indywidualnie konsultowanych z firmą ACO. Inni wiodący producenci elementów odwodnienia liniowego również wskazywali na potrzebę zapewnienia pełnej współpracy pomiędzy obudową koryta, a betonem spadkowym.

Kanał ACO V150S typ 0.0



Dren poziomy np. Drenkar



Dren poziomy np. Drenkar
Koniec drenu wprowadzić do przejścia szczelnego

Przejście szczelne ACO Ø160
z poszerzoną częścią górną dla wprowadzenia drenów

LEGENDA

- ① Nawierzchnia placu - płyty betonowe 8cm
- ② Zaprawa klejowa (elastyczna) min. 30MPa
- ③ Ława fundamentowa C25/30 kotwiona prętami Ø12 ze st. żebr. co 30 cm, podłużnie pręty Ø8
- ④ Podsypka cementowo-piaskowa
- ⑤ Warstwa hydroizolacyjna
- ⑥ Beton spadkowy B20/25 na mostku zczepnym 9-27cm
- ⑦ Płyta stropowa- istniejąca
- ⑧ Tolerancja płyty stropowej
- ⑨ Odwodnienie liniowe ACO Multiline V150S, typ 0.0, h=210/220mm
- ⑩ Fuga elastyczna w kolorze sąsiadującej nawierzchni
- ⑪ sznur dylatacyjny PU, część dolną wypełnić piaskiem
- ⑫ Zaprawa typu PCC
- ⑬ Dylatacja termiczna nawierzchni - szerokość wg Projektu. Wypełnienie: masa trwale elastyczna w kolorze nawierzchni, styropian EPS50

Rys. 28. Przykład zabezpieczenia kanału oraz powiązanie z istniejącą instalacją wodną dla typu ACO V150S

3. W obszarze koryt odwodnieniowych należy odtworzyć warstwy podbudowy i nawierzchni z nowych prefabrykowanych elementów betonowych (nie zakłada się odzysku materiału z uwagi na konieczność oczyszczenia z podsypki p-c i masy zalewowej spoin). Należy wykonać dylatacje stosując fugę elastyczną w obrębie odtwarzanych nawierzchni zachowując szerokości spoin 2 cm.

W zakresie elementów nawierzchni:

1. Popękane, wykruszone i trwale zanieczyszczone elementy nawierzchni należy wymienić na nowe, odtwarzając warstwy podbudowy oraz spoiny zgodnie z założeniami projektowymi

2. W miejscach, w których występują ubytki spoin i zanieczyszczenia dylatacji, niewłaściwe wypełnienie, wyparcia masy uszczelniającej, należy oczyścić szczeliny ze starego materiału i wymienić na nowy. Aby zachować spójność z pozostałą częścią placu, należy zastosować materiały i technologię zaakceptowaną na etapie projektu. Podczas inwentaryzacji wskazano wybrane, znaczne uszkodzenia, jednak w przypadku dalszego postępu degradacji innych spoin należy także przeprowadzić ich naprawę. Uszkodzenia szczelin większych niż 5 mm mogą powodować dalszą degradację niższych warstw w wyniku penetracji wody w głąb nawierzchni. W przypadku miejsc, w których miało miejsce wyciśnięcie masy, a szczelina nie posiada wymaganej szerokości projektowej, należy poszerzyć szczelinę.

3. W obszarach, w których zidentyfikowano „wybrzuszenie” elementów nawierzchni; zapadnięcia/przesunięcia krawężników, należy odtworzyć nawierzchnie zgodnie z projektem (podobnie jak inne opisane uszkodzenia: warstwy podbudowy, szczeliny, wypełnienia). Zaleca się powykonawczo przeprowadzić szczegółowe pomiary równości, aby zachować wymagane pochylenia nawierzchni zapewniające sprawne odwodnienie.

4. W związku z niedostosowaniem układ szczelin dylatacyjnych do zidentyfikowanych oddziaływań termicznych należy zastosować dodatkowe nowe szczeliny dylatacyjne o szerokości 2 cm, w rozstawie podstawowym od 4 do 5.5 m w dostosowaniu do aktualnego ułożenia geometrycznego prefabrykowanych elementów betonowych i w dostosowaniu do elementów odwodnienia. Głębokości szczelin wykonać na min na 1/3 grubości warstw konstrukcyjnych dochodzących do stropu garażu. W celu zachowania odpowiednich parametrów szczepności oraz szczelności, do wypełnienia szczelin należy zastosować masę zalewową na gorąco, spełniającą wymagania normowe [9] lub podobne, wg deklaracji właściwości użytkowych dostarczonych przez producenta. Zgodnie z zaleceniami, po oczyszczeniu szczeliny, należy zastosować gruntowanie oraz kord w szczelinie, zapobiegający spływaniu masy. Wolą przestrzeń pod kordem można wypełnić piaskiem kwarcowym. Przykładowy schemat przebiegu projektowanych dylatacji zaprezentowano na w załączniku 3. Dopuszcza się inny podział, dostosowany do uwarunkowań estetycznych, jednak z zachowaniem podstawowych wymiarów płyt (od 4 do 5.5 m), powierzchni ($< 22 \text{ m}^2$), proporcji boków (~ 1.3) oraz kątów wytworzonych przez przecinające się szczeliny ($90^\circ \pm 20^\circ$). Należy zwrócić uwagę, że szczeliny dylatacyjne należy także wykonać przy budynku przy ramach okiennych oraz przy krawężniku i innych elementach obcych.

5. W przypadku przesunięcia elementów nawierzchni względem siebie, można przeprowadzić ich wymianę na nowe elementy, zachowując ułożenie zgodne z projektem, jednak to uszkodzenie stanowi wyłącznie o walorach estetycznych, a nie technicznych (podobnie jak plamy i inne zmiany kolorystyczne na elementach nawierzchni) i jego naprawę nie uznaje się za konieczną.

6. W przypadku uszkodzeń ram okiennych należy przeprowadzić odrębną analizę branżową i opracować sposób ich wymiany.

Uwaga: w przypadku stwierdzenia uszkodzeń, wypaczeń konstrukcji stropu/betonu spadkowego oraz hydroizolacji należy je doprowadzić do stanu zgodnego z założeniami projektowymi. Dotyczy to także innych elementów nawierzchni i konstrukcji, które będą uszkodzone i nie będą zgodne z parametrami założonymi w projekcie.

10. Sumaryczne zestawienie parametrów geometrycznych uszkodzeń

Na podstawie przeprowadzonej identyfikacji, poniżej zestawiono zakres parametrów geometrycznych uszkodzeń, dla opracowanych rozwiązań i technologii naprawczych:

- pęknięcia elementów nawierzchni – 17.89 m²
- przesunięcia elementów nawierzchni – 9.2 m²
- ubytki spoin i zanieczyszczenie dylatacji – 913.9 m
- uszkodzenia ram okiennych – 45.85 m
- uszkodzenia elementów odwodnieniowych – 299.38 m
- wyrzuszenia elementów nawierzchni – 126.38 m²
- wykruszenia elementów nawierzchni – 0.36 m²
- wyparcia masy uszczelniającej – 352.33 m
- trwałe zanieczyszczenia elementów nawierzchni – 1.1 m²
- zapadnięcia/przesunięcia krawężników lub elementów nawierzchni – 311.43 m
- nowe projektowane dylatacje - 4875.63 m

11. Wnioski

Celem opracowania była analiza przyczyn uszkodzeń na obszarze placu NFM we Wrocławiu, ze wskazaniem technologii zabezpieczających plac przed dalszą degradacją. Przeprowadzona wizja lokalna, identyfikacja uszkodzeń oraz analizy numeryczne nawierzchni z wykorzystaniem obliczeń

temperaturowych wskazują, że uszkodzenia nawierzchni, szczelin dylatacyjnych i spoin, mają zasadniczo charakter termiczny.

Uszkodzenia wypełnień szczelin, „wybrzuszenia” nawierzchni, uszkodzenia elementów odwodnieniowych, uszkodzenia ram okiennych i inne uszkodzenia powierzchniowe nastąpiły w wyniku znacznych przemieszczeń termicznych, z powodu niewłaściwie zdylatowanego placu. W analizach przyjęto warunki pracy płyty dla różnicy temperatur $\Delta T = +27^{\circ}\text{C}$ oraz przy maksymalnej temperaturze płyty 60°C . Nie wyklucza się, że miały miejsce jeszcze większe zmiany temperatury, których nie zarejestrowano, a które mogły spowodować obserwowane miejscowo większe przemieszczenia i deformację wypełnień. W niektórych obszarach placu NFM przyczynić się mogły do tego warunki niskiej temperatury, w których układano nawierzchnię. Taka sytuacja również spowodowała większą różnicę temperatur ΔT od okresu budowy do okresu eksploatacji w okresie letnim.

Uszkodzenia wypełnień szczelin (spoin) pomiędzy płytami związane są z przekroczeniem dopuszczalnych przemieszczeń oraz wytrzymałości zmęczeniowej, ze względu na powstałe naprężenia, w wyniku znacznych cyklicznych zmian dobowych temperatury. Zauważyć należy, że zastosowana zaprawa cementowo-trasowa do spoinowania jest zdecydowanie najsłabszym elementem sztywnego monolitu, w porównaniu z betonowymi elementami wibroprasowanymi, które spaja, co tłumaczy występowanie pęknięć spoin.

Uszkodzenia elementów liniowych odwodnienia oraz deformacji pionowej płyt są następstwem ograniczenia wymaganych przestrzeni na przemieszczanie się płyt dużego placu, nie posiadającego odpowiednich dylatacji. Należy zwrócić uwagę, że wyznaczone w modelu obliczeniowym przemieszczenia jedno-kierunkowe nie muszą i w rzeczywistości zwykle nie są idealnie symetryczne. W wielu miejscach placu mogła z dużym prawdopodobieństwem wystąpić kumulacja przemieszczeń (przesuwu) w innym kierunku, na skutek nierównomiernego tarcia płyty o podłoże. Doszło z tego powodu do uszkodzenia odwodnienia liniowego, mimo wykonania w jego pobliżu dylatacji.

Szczególnie jeśli chodzi o uszkodzenie elementów odwodnienia, z uwagi na duże prawdopodobieństwo wystąpienia takiego zjawiska w przyszłości, zaleca się wykonanie takiego rozwiązania, które zaleca producent tych elementów. W opracowaniu przedstawiono propozycję opartą na produktach ACO. Zaleca się zatem, aby obudowa korytka odwodnienia liniowego, pracującego w kl. D400, miała zapewnione stabilne podparcie boczne ścianek korytka, a także była odizolowana od bocznych sił wywołanych zarówno ruchem pojazdów jak i zmianą temperatury nawierzchni. Stabilność obu części budowy bocznej względem korytka można zapewnić tylko przez trwałe połączenie ich z ławą fundamentową korytka (korytko płytkie) lub przez zakotwienie ich w konstrukcji płyty (korytko głębokie). Oba te przypadki wymagają wykonania obudowy z betonu zbrojonego.

Istotne jest także, aby płytki nawierzchniowe były dobrze zespolone z obudową betonową kanału i aby chwilowe duże zmiany ich temperatury nie spowodowały ich odspojenia. Należy zwrócić uwagę na planowany okres eksploatacji placu, który nie został zdefiniowany przez zamawiającego. Dlatego też, jeśli zastosowane kleje nie zapewnią wieloletniego okresu eksploatacji (lub innego, wymaganego przez zlecającego) przy zachowaniu stabilnego zakotwienia płytek, zaleca się zakotwienie płytek przy pomocy stalowych kołków, wklejonych w płytkę i w obudowę kanału.

Za przyczynę opisanych uszkodzeń termicznych uznać należy przesztynienie wykonanej konstrukcji oraz nie zachowany stosunek grubości oddylatowanych płyt do ich wymiarów w planie. W wyniku zbyt dużego rozstawu szczelin dylatacyjnych, a praktycznie ich braku przekroczona jest długość krytyczna płyty oraz ograniczona jest przestrzeń na jej przemieszczanie. W konsekwencji występują znaczne przemieszczenia poziome, zwłaszcza w przypadku incydentalnych dobowych zmian temperatury. Zalecany rozstaw dylatacji wynosi od 4 do 5.5 m. Należy zwrócić uwagę, że nawierzchnia uległa już stałym przemieszczeniom, jednak mnie można wykluczyć kolejnych incydentalnych

oddziaływań termicznych oraz oddziaływania pojazdów ciężarowych lub transportowych (których ze względu na brak danych nie uwzględniano).

Wszelkie roboty należy wykonać w odpowiednich warunkach atmosferycznych (10°-25°), zapewniających małą rozszerzalność lub skurcz termiczny płyt. Wszelkie inne czynności i wymagania materiałowe związane z naprawą nawierzchni nie zawarte w opracowaniu powinny być zgodne z założeniami projektowym opracowanymi dla przedmiotowego placu, lub powinny być ujęte w nowym projekcie zamiennym.

Zaprezentowana technologia naprawy jest pewnym kompromisem pomiędzy względami ekonomicznymi, a dopuszczalnymi drobnymi pozostawionymi uszkodzeniami mający charakter wyłącznie estetyczny. Należy także pamiętać o bieżącej kontroli zachowania się nawierzchni, w tym właściwego utrzymania szczelin oraz ich wypełnień, które mogą wymagać wymiany/uzupełnienia co około 5 lat w zależności od oddziaływań atmosferycznych.

W zakresie opracowanych rozwiązań i technologii naprawczych autorzy przedstawiają niniejsze opracowanie do zaopiniowania przez ZDiUM we Wrocławiu.

12. Literatura

- [1] Diagnostyka stanu nawierzchni i jej elementów. Wytyczne stosowania, GDDKiA, Warszawa kwiecień 2015
- [2] BENSON K., CASTEDO H., GOULIAS D.G., Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Studies, SHRP, 1990.
- [3] Katalog typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych, GDDKiA, Warszawa 2014
- [4] Mackiewicz Piotr, Szydło Antoni: 2015, „Oddziaływanie drogowej płyty betonowej na podbudowę i podłoże w warunkach zmiennej temperatury dobowej”. Przegląd Komunikacyjny, R. 70, nr 3, s. 19 – 24
- [5] Mackiewicz Piotr, Szydło Antoni: 2013, „Wpływ temperatury na nośność betonowych nawierzchni lotniskowych”. Przegląd Komunikacyjny. R. 68, nr 7, s. 44 – 48
- [6] Mackiewicz Piotr: 2014, „Thermal stress analysis of jointed plane in concrete pavements”. Applied Thermal Engineering, vol. 73, nr 1, s. 1169-1176
- [7] Mackiewicz Piotr: 2015, „Analysis of stresses in concrete pavement under a dowel according to its diameter and load transfer efficiency”. Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 42, nr 11, s. 845-853
- [8] PN-EN 13748-2:2006 Płytki lastrykowe. Część 2: Płytki lastrykowe do zastosowań zewnętrznych.
- [9] PN-EN 14188-1. Wypełniacze szczelin i zalewy drogowe -- Część 1: Wymagania wobec zalew drogowych na gorąco

Załącznik nr 1

Dokumentacja fotograficzna uszkodzeń:

**Na potrzeby „Opracowania programu naprawczego dla nawierzchni placu przy NFM”,
w ramach zadania inwestycyjnego „83570 Utrzymanie standardu obiektu NFM
– usunięcie wad i usterek ujawnionych w trakcie zgłaszania wad**



1



2



3



4



5



6



7



8



9



10



11



12



13



14



15



16



17



18



19



20



21



22



23



24



25



26



27



28



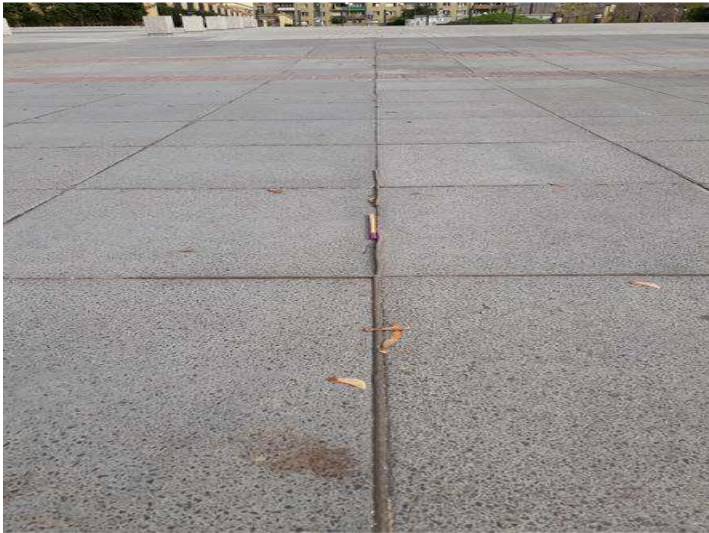
29



30



31



32



33



34



35



36



37



38



39



40



41



42



43



44



45



46



47



48



49



50



50a



50b



51



52



53



54



55



56



57



58



59



60



61



62



63



64



65



66



67



68



69



70



71



72



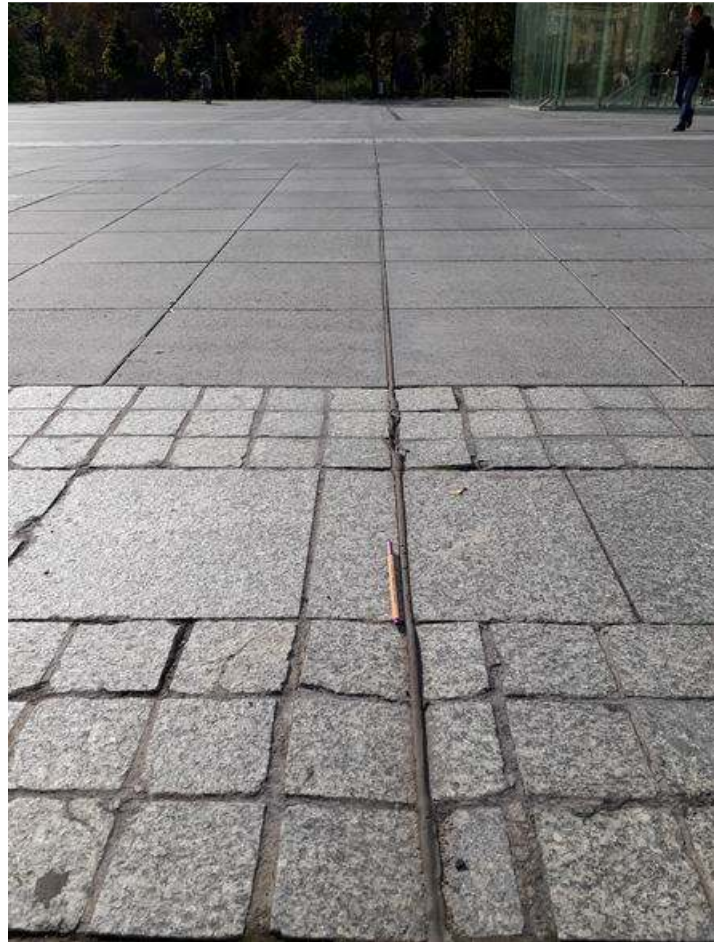
73



74



75



76



77



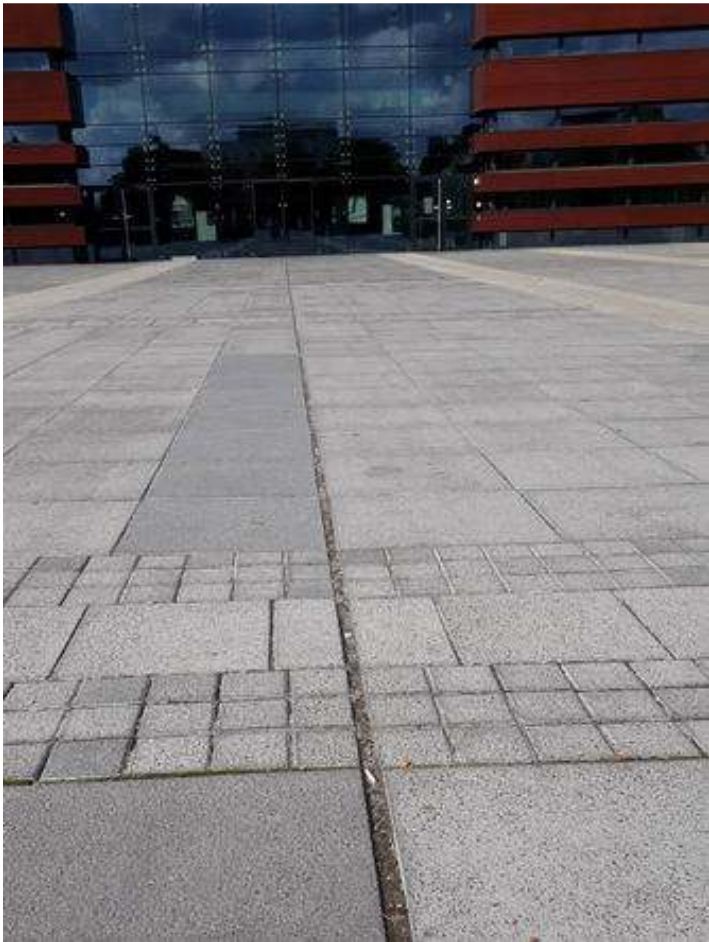
78



79



80



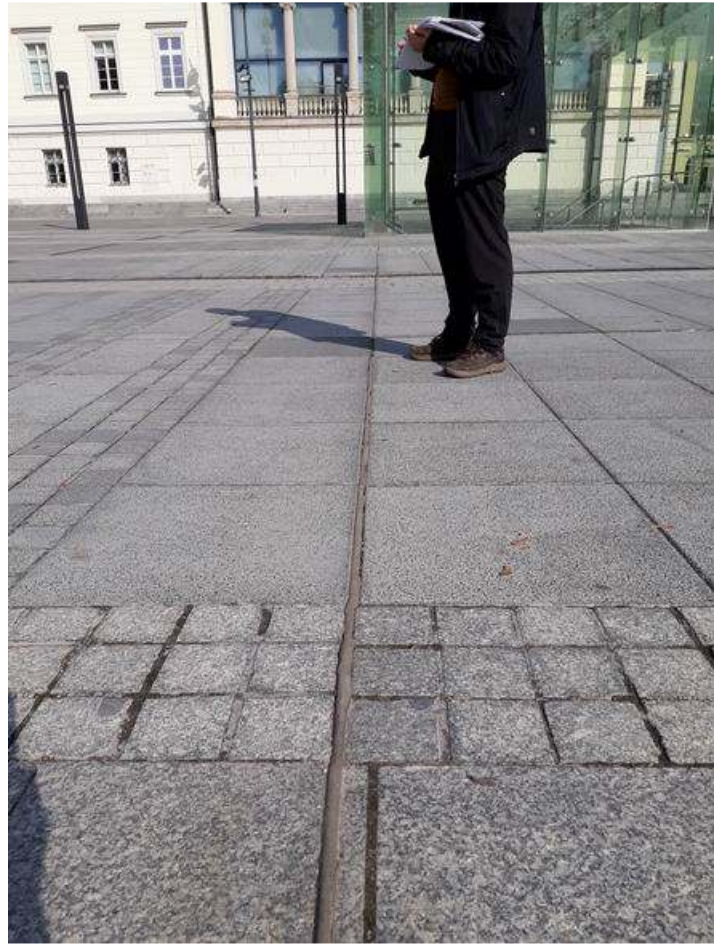
81



82



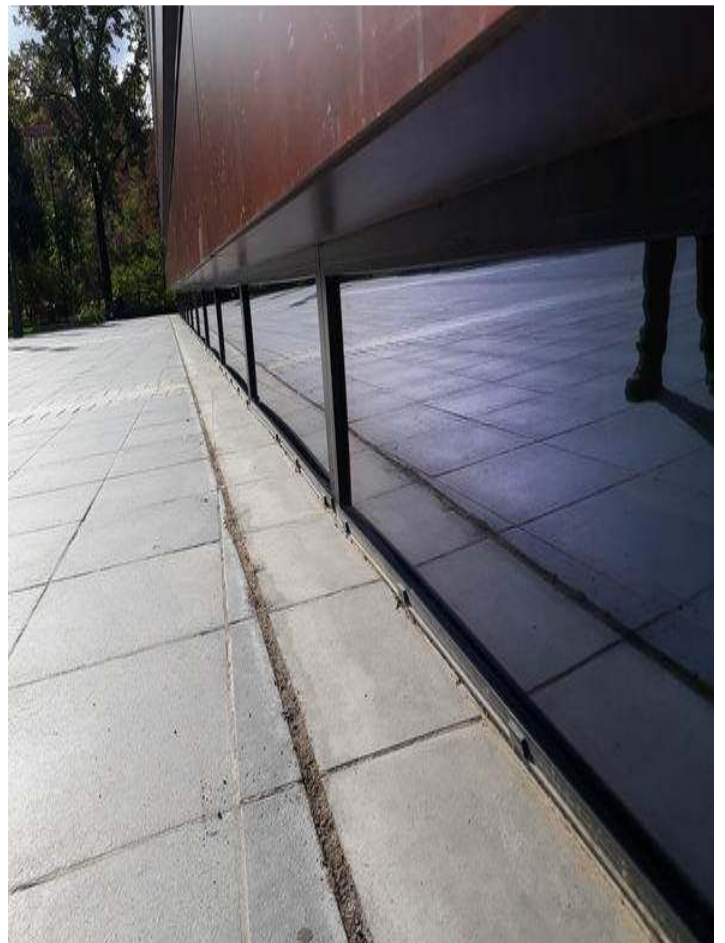
83



84



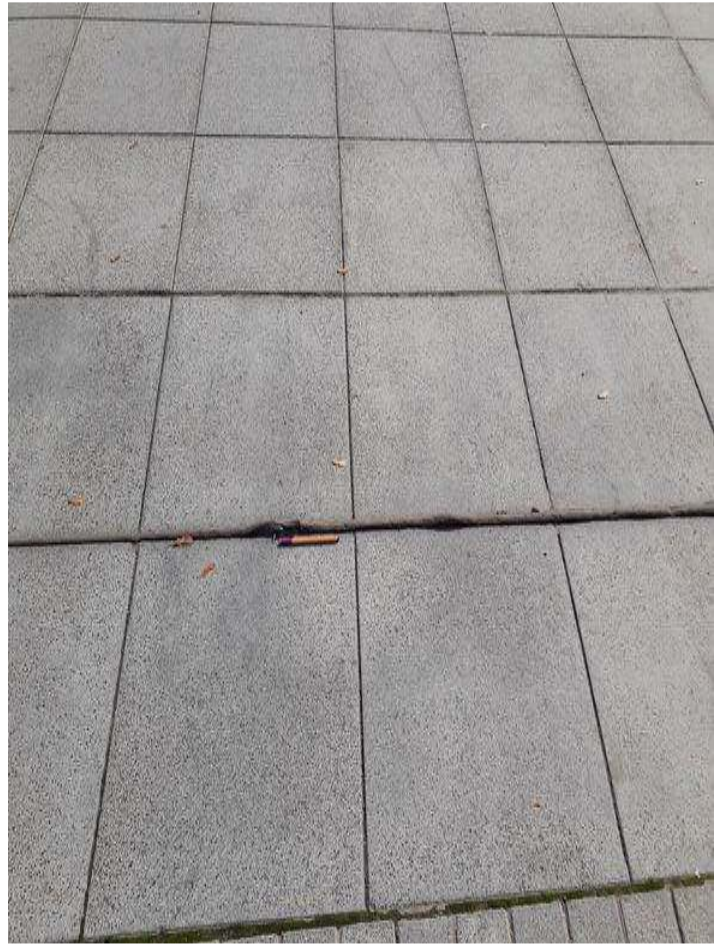
85



86



87



88



89



90



91



92



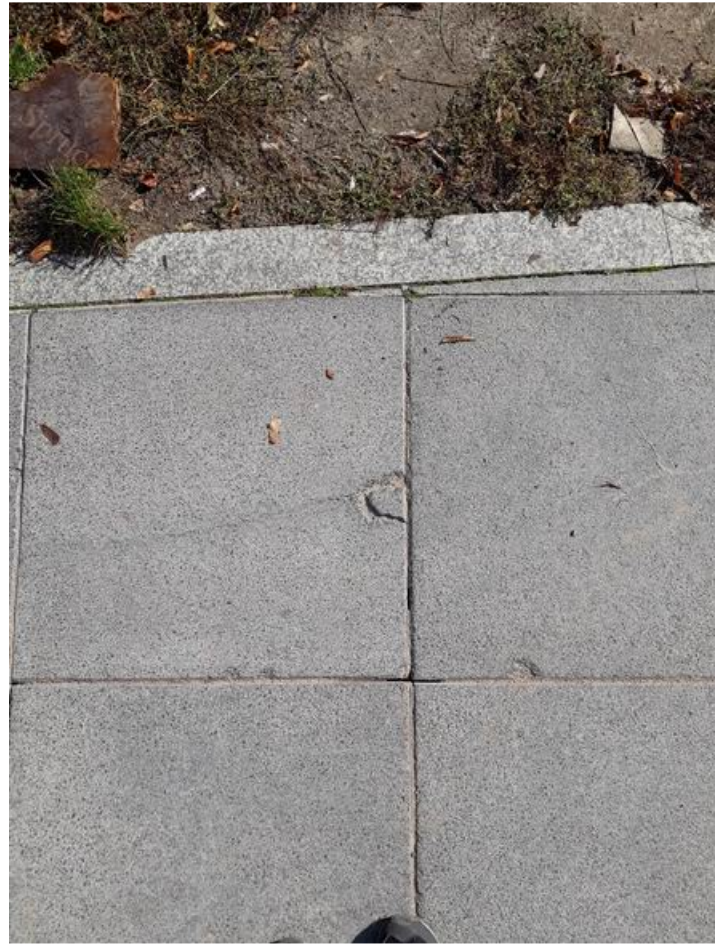
93



94



95



96



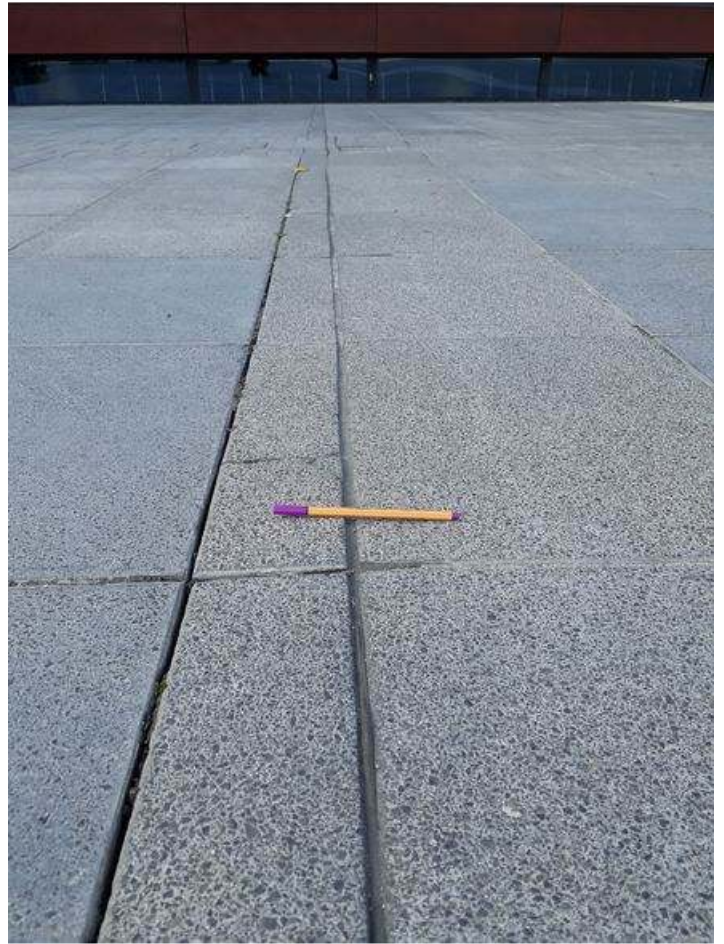
97



98



99



100



101



102



103



104



105



106



107



108



109



110



111



112



113



114



115



116



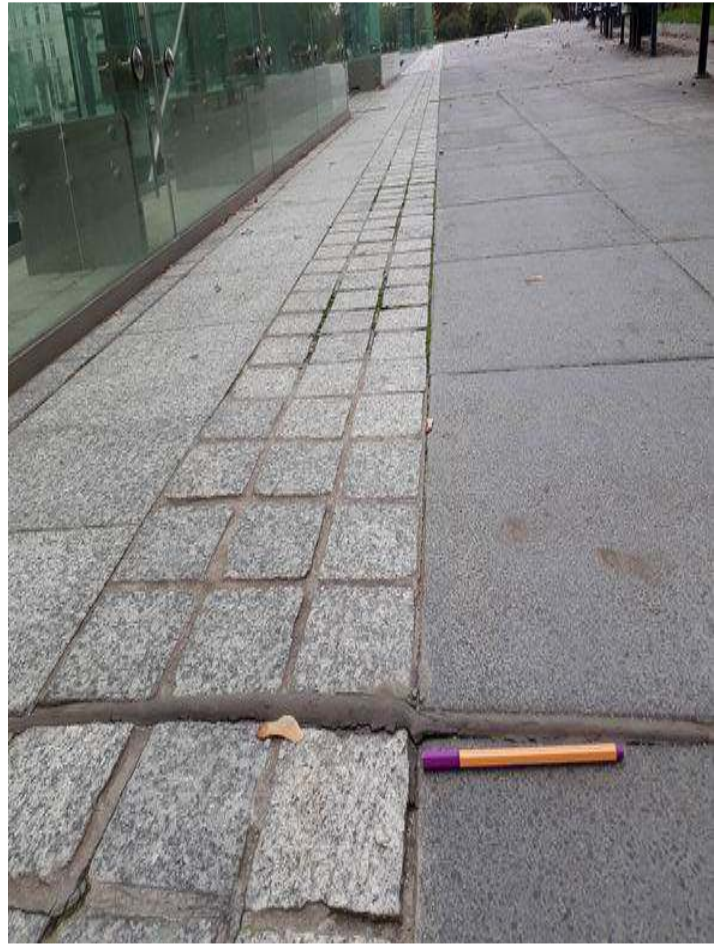
117



118



119



120



121



122



123



124



125



126



127



128



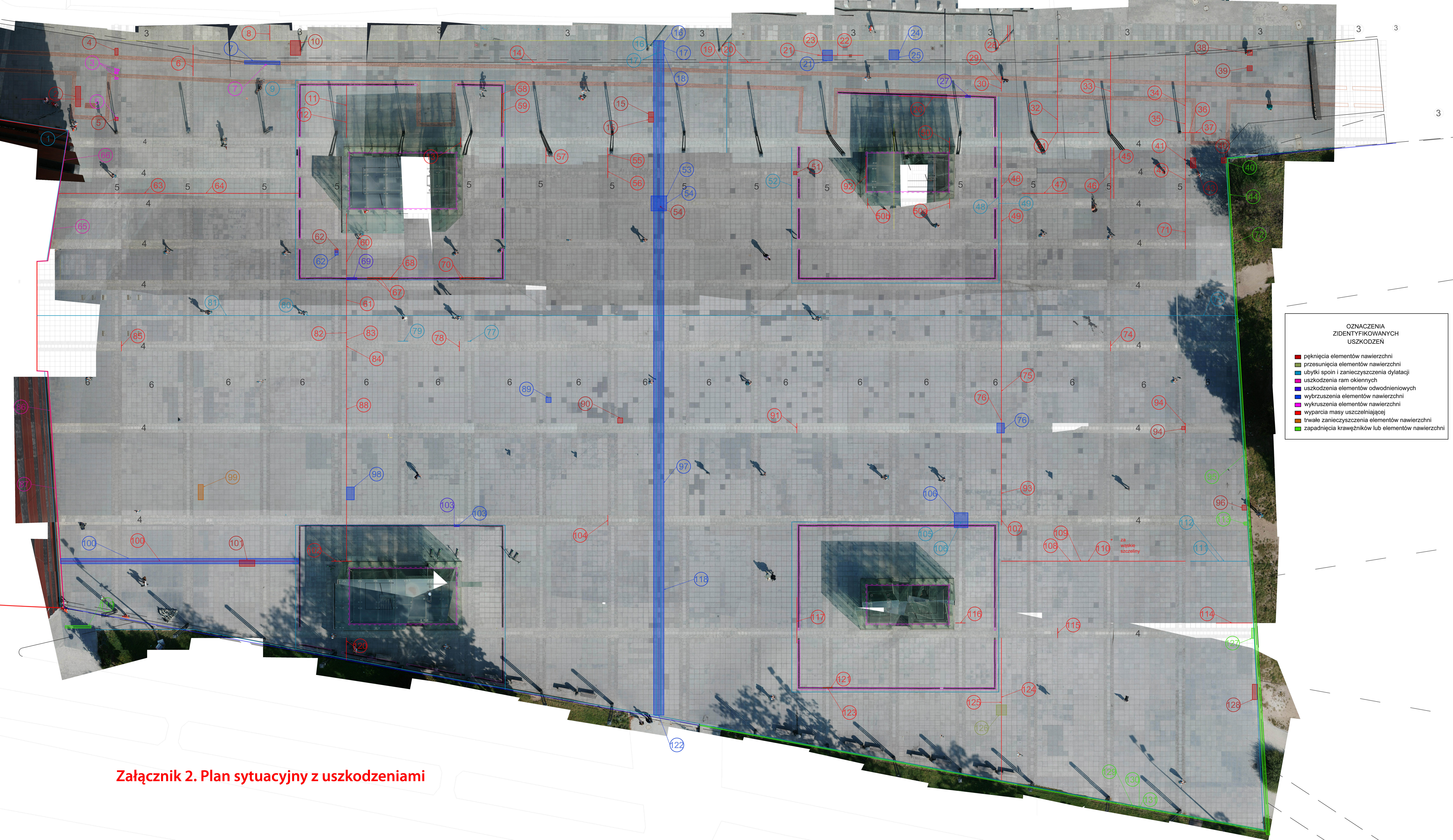
129



130



131



- OZNACZENIA
ZIDENTYFIKOWANYCH
USZKODZEŃ
- pęknięcia elementów nawierzchni
 - przesunięcia elementów nawierzchni
 - ubytki spoin i zanieczyszczenia dylatacji
 - uszkodzenia ram okiennych
 - uszkodzenia elementów odwodnieniowych
 - wybruszenia elementów nawierzchni
 - wyparcia masy uszczelniającej
 - trwałe zanieczyszczenia elementów nawierzchni
 - zapadnięcia krawężników lub elementów nawierzchni

Załącznik 2. Plan sytuacyjny z uszkodzeniami

Załącznik 3. Projektowany układ nowych dylatacji

- projektowane dylatacje

