

Wpływ podsypki na trwałość nawierzchni z kostki

Wioleta Czarnecka, Stefan Firlej

Politechnika Lubelska

Katedra Dróg i Mostów, e-mail: w.czubacka@pollub.pl, w.firlej@pollub.pl

Streszczenie: Nawierzchnie zatok autobusowych to ciągle nie rozwiązany do końca problem przede wszystkim elementów transportu miejskiego. Przejściowo uznawano za właściwe stosowanie podbudów z betonu asfaltowo - cementowego (BAC). Jednakże dłuższe użytkowanie próbnych zatok nie wykazało wyraźnych różnic w stosunku do innych typowych rozwiązań. W niniejszej pracy autorzy skupili swą uwagę na zatokach autobusowych w Lublinie, gdzie w zakresie prac utrzymaniowych wiele z nich zostało wyremontowanych, a inne będą remontowane.

Wysoka częstotliwość remontów obejmujących wymianę nawierzchni a nawet podbudowy rodzi pytanie o ich przyczynę, jakość prowadzonych robót, jakość stosowanych materiałów drogowych, stabilność warstwy ścieralnej w tym konieczność przekładania kostki z nawierzchni kostkowych.

W pracy zawarto krótką historię nawierzchni z kostek, oceny nawierzchni kostkowych w opublikowanych materiałach. Podjęto próbę powiązania trwałości nawierzchni ze stosowanymi w konstrukcji zatok autobusowych materiałami.

Słowa kluczowe: trwałość konstrukcji, układ wielowarstwowy, koleinowanie, kostka betonowa, zatoki autobusowe.

1. Zatoki autobusowe z kostki betonowej

Zaobserwowano jako typowe relatywnie szybkie deformowanie nawierzchni wielu zatok przystankowych komunikacji miejskiej w Lublinie. Przez deformowanie rozumie się integralne efekty w postaci deplanacji, na które szczegółowo składają się przemieszczenia w pionie i poziome kostek pojedynczych, grup sąsiadujących kostek określane jako koleinowanie w śladach kół pojazdów. Są to procesy nieodwracalne o stałej tendencji do dalszego powiększania deformacji. Należy ponownie podkreślić, że omówione uszkodzenia pojawiają się relatywnie szybko tj. po około 6 miesiącach użytkowania. W tej sytuacji przekładanie kostki betonowej lub kamiennej co kilka lat stało się regułą przeczącą założeniom normowym. Powszechnie stosowanym argumentem jest wskazywanie na duży ruch autobusowy, co w przekonaniu autorów jest tylko niefachowym wybiegiem.

Prawidłowo wykonana nawierzchnia z kostki betonowej lub kamiennej ma w sobie istotny walor estetyczny wyróżniający ten fragment ulicy w zestawieniu z jezdnią. Jest to automatyczny element segregacji różnych faz ruchu miejskiego. Wyróżnienie poprzez inną barwę i fakturę ma także trudny do wymierzenia ale intuicyjnie wyczuwalny walor wpływający na bezpieczeństwo uczestników ruchu, co zostało odnotowane w licznych publikacjach, patrz np. [4, 12].

Na zdjęciu nr 1a) i b) uchwycono początkowy, a miejscami zaawansowany, stan deformacji na jednym z przystanków autobusowych w Lublinie przy Alei Racławickiej. Na początku zatoki autobusowej jest widoczne początkowe stadium formowania się koleiny wzdłuż śladu kół. Garby poprzeczne przy peronie dla pasażerów obejmują powierzchnię zatoki i krawężnik. Deformacje nawierzchni kostkowej są powiązane z uszkodzeniami nawierzchni asfaltowej jezdni w miejscu zjazdu do zatoki. Wyróżniony prostym sposobem ułożenia kostki pas graniczny zatoki nie jest liniowy nie tylko w zakresie uszkodzeń nawierzchni jezdni ale na całej swojej długości, [15].



a)



b)

Fot. 1. Uszkodzenia konstrukcji zatoki autobusowej a) w miejscu wjazdu w zatokę b) deformacja peronu pasażerskiego.

Kolejny przykład degradacji zatoki autobusowej, tym razem wyłożonej kostką bazaltową obrazują zdjęcia 2 a) ÷ d). Dominującymi formami deformacji są przemieszczenia kostek bazaltowych oraz wypukłości nawierzchni. W obu przypadkach przyczyną są siły poziome działające w powierzchni kontaktowej koło samochodu - nawierzchnia. Znaczne osiadania nawierzchni kostkowej są szczególnie czytelne w bezpośrednim sąsiedztwie studzienki rewizyjnej mediów miejskich, [15].



Fot. 2a - d. Uszkodzenia konstrukcji zatoki autobusowej z kostki bazaltowej a) poprzeczne przemieszczenia kostek, b), d) osiadanie nawierzchni na styku zatoki z jezdnią c) osiadanie nawierzchni przy studzience rewizyjnej [15].

Podstawowym wymaganiem dla każdej konstrukcji jest jej poprawne zachowanie się w czasie eksploatacji. Katalogowo wymagana jest trwałość co najmniej 20-letnia, bez przekroczenia dozwolonych nierówności lokalnych (kolein lub garbów) albo wyraźnych przemieszczeń poziomych odczuwanych jako złe ułożenie sąsiednich elementów stwarzających wrażenie dyskomfortu struktury powierzchniowej.

Na zdjęciu nr 3a-c widać znaczne uszkodzenia konstrukcji zatoki autobusowej. Zarówno styk jezdni i zatoki jak i połączenie ich z peronem dla pasażerów nie wpływają na pozytywny odbiór jej użytkowników, [15].



Fot. 3. Uszkodzenia konstrukcji zatoki autobusowej z kostki betonowej a) osiadanie nawierzchni na styku zatoki oraz jezdni b) c) garby poprzeczne przez zatokę [15].

Zdjęcie nr 4 przedstawia odremontowane zatoki autobusowe z kostki betonowej. Nie ujawniły się jeszcze uszkodzenia nawierzchni ze względu na zbyt krótki czas eksploatacji. Niezaprzeczalny jest jednak fakt, że połączenie zatoki z jezdnią nie wprowadza ładu przestrzennego, nie posiada estetyki wręcz przeciwnie wprowadzają chaos, zaburzają harmonię i działa na niekorzyść mieszkańców zabudowy jednorodzinnej wzdłuż ulicy, patrz zdj. nr 4b, [15]



Fot. 4. Przebudowane zatoki autobusowe a) ul. Diamentowa b) ul. Romera [15].

Katalog [1] proponuje głównie dwa typy konstrukcji ze względu na podbudowę. Jednym jest podbudowa z betonu C20/25, natomiast drugim dwuwarstwowa podbudowa z chudego betonu i piasku stabilizowanego cementem. W proponowanych konstrukcjach przewidywana jest tylko podsypka cementowo-piaskowa.

W ostatnich latach zauważono, że stosowana podsypka cementowo – piaskowa jest zastępowana podsypką grysową (2-4 mm lub inną). Takie rozwiązanie ułatwia jedynie przebrukowanie zniszczonej nawierzchni. Zdecydowanie wygodniej jest wyrównać podsypkę grysową niż wymienić cienką warstwę podsypki cementowo – piaskowej. Czyżbyśmy z góry zakładali, że remont zatoki będzie nieuniknioną koniecznością w niedługim czasie po oddaniu do eksploatacji?

Pozostałe warstwy konstrukcyjne podbudowy oraz podłoża podczas naprawiania zatok nie wzbudzają zastrzeżeń co do wymaganej nośności.

2. Opis problemu wraz z krótkim przeglądem literatury

Wielu autorów opublikowanych artykułów wypowiadało się na temat zalet zarówno kostki kamiennej, klinkierowej czy betonowej, ogólnie mówiąc „nawierzchni z elementów drobnowymiarowych”. Elementy te stanowią bardzo ważny materiał budulcowy już od czasów Średniowiecza. Po drugiej Wojnie Światowej kostka betonowa stała się substytutem dla szeroko stosowanej kostki kamiennej. M. Ładzińska – Depko przedstawia w jednej ze swoich prac [9] zalety nawierzchni z elementów drobnowymiarowych; m.in. to, że elementy betonowe charakteryzują się wysoką wytrzymałością, małą ścieralnością, mrozoodpornością oraz odpornością na oleje mineralne, paliwo, kwasy i tłuszcze oraz to, że nawierzchnia z elementów betonowych dzięki wypełnieniu szczelin piaskiem bardzo dobrze odprowadza wodę. Autorka przytaczanego artykułu zauważyła także problem projektowania nawierzchni drogowych. Znany jest fakt, że nawierzchnie sztywne odkształcają się sprężysto, nawierzchnie podatne charakteryzują się odkształceniami trwałymi. Ale do jakich nawierzchni możemy zaliczyć nawierzchnie z drobnowymiarowych elementów? W innej pracy [11] wysuwa tezę, że nawierzchnie z drobnowymiarowych elementów betonowych można zaliczyć do nawierzchni pośrednich.

B. Stypułowski wspólnie z H. Kobą w swojej pracy [12] przedstawili historię nawierzchni kamiennej począwszy od czasów Starożytnych. Skupili się jednak na sposobach układania kostki w otoczeniu obiektów historycznych oraz zwrócili szczególną uwagę na konieczność bardzo dobrego odwodnienia tego typu nawierzchni. Przy rekonstrukcji nawierzchni kamiennych ulic i placów wyeliminowany jest całkowicie ruch pojazdów ciężkich, sposób projektowania oparty jest o Katalog Konstrukcji Podatnych i Półsztywnych ale tylko dla kategorii ruchu KR-1 oraz KR-2.

W roku 1989 B. Bemer poruszył problem nawierzchni zatok autobusowych z kostki [13]. W tamtym czasie z powodu braku kostki kamiennej oraz wyspecjalizowanych pracowników do układania tego typu nawierzchni zaproponował nawierzchnie na zatokach autobusowych z betonu cementowego. Powoływał się na znaczne zwiększenie trwałości takich nawierzchni, eliminację pracochłonnych robót ręcznych oraz materiału deficytowego, obniżenie kosztów utrzymania oraz zwiększenie bezpieczeństwa ruchu autobusów oraz pasażerów

przy zapewnieniu efektywniejszej estetyki ulic. Warunek jest jednak jeden – taką nawierzchnię należy koniecznie wykonać w sposób jak najbardziej poprawny.

Wszystko, co łączy powyższe prace, to niezaprzeczalny fakt, że nawierzchnie z drobnowymiarowych elementów drogowych stosowanych na placach, chodnikach i ulicach o małym natężeniu ruchem są piękne, estetyczne i posiadają moc przeniesienia nas w czasy historyczne, kiedy po ulicach jeździły dorożki, karety, panowie kłaniali się przed damami zdejmując kapelusz z głowy. Wieczorem wędrując deptakiem w Lublinie możemy zamknąć oczy i przenieść się w świat ukazany oczami jednego ze współczesnych aktorów w polskiej komedii. Niestety rzeczywistość stawia nas przed innym wyzwaniem. Zamykamy oczy bo nie chcemy widzieć zniszczonych nawierzchni, pełnych kolein, nierówności poprzecznych na zatokach autobusowych, ubytków w kostce i wielkich, szarych autobusów, które i tak są zawsze przepełnione.

3. Metodyka oceny, procedury badań oraz analiza numeryczna wyników badań

Metoda mechanistyczna projektowania nawierzchni oparta jest o analizę stanu naprężeń (δ) i odkształceń (ϵ) w konstrukcji oraz o trwałość zmęczeniową konstrukcji w zależności od prognozowanego ruchu (obciążenia drogi) [2]. Konstrukcję nawierzchni analizuje się jako układ warstw określając charakterystykę parametrów poszczególnych materiałów w konstrukcji; są to: grubość warstwy h , moduł sztywności E oraz współczynnik Poissona ν .

Ocenę nośności nawierzchni z kostki przeprowadzono dla typowej konstrukcji [1] podanej w zaleceniach [2] do projektowania oraz wykonawstwa. W niniejszej pracy analizy trwałości takiej konstrukcji dokonano dla ruchu KR-3 i KR-4 metodą mechanistyczną [1, 8, 9, 10], stosowaną dla nawierzchni drogowych w oparciu o własny program układów wielowarstwowych w układzie współrzędnych walcowych.

Poszczególne warstwy nawierzchni określone były poprzez:

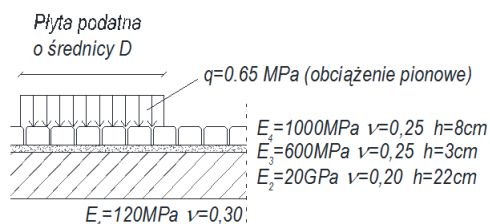
- E – moduł sprężystości,
- h – grubość warstwy,
- ν – współczynnik Poissona.

Przyjęto obciążenie [2] badanego modelu płytą podatną o średnicy D i nacisku pionowym $q=0,65$ MPa przy oddziaływaniu osi tylnej 100 kN. Moduł sprężystości [8] warstwy z kostki kamiennej lub betonowej przyjęto 1000 MPa. Warstwę tę traktowano jako materiał rozdrobniony, gdzie kryterium trwałości oparte jest o odkształcenia pionowe.

Dla KR-3 proponowane konstrukcje [1] to:

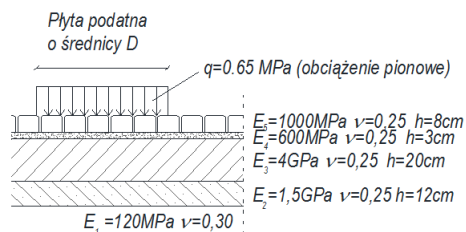
a)

- warstwa ścieralna z kostki
- podsypka cem-piask.
- beton C20/25
- podłoże



b)

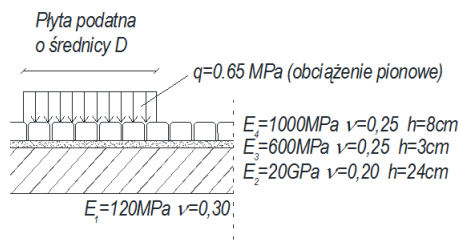
- warstwa ścieralna z kostki
- podsypka cem-piask.
- chudy beton $R_m=8$ MPa
- stab. piasku cem. $R_m=2,5$ MPa
- podłoże



Dla KR-4 proponowane konstrukcje [1] to:

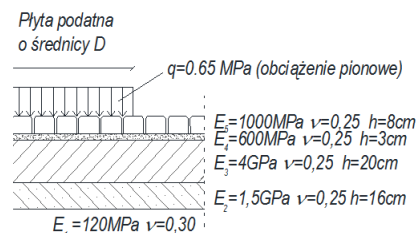
a)

- warstwa ścieralna z kostki
- podsypka cem-piask
- beton C20/25
- podłoże



b)

- warstwa ścieralna z kostki
- podsypka cem-piask.
- chudy beton $R_m=8$ MPa
- stab. piasku cem. $R_m=2,5$ MPa
- podłoże



Biorąc pod uwagę stan eksploatacji przyjęto moduły sprężystości jako wartości nie po wykonaniu lecz w połowie okresu użytkowania. W wyniku przeprowadzonych obliczeń wytrzymałości w warstwach określono ilość obciążeń według katalogu [2].

Dla KR-3 uzyskano:

a)

- kostka bet. lub kam. $\epsilon_z=561,6 \cdot 10^{-6}$ i obciążenie 504.6 tys. N_{100} kN/os⁹,
- podsypka cem-piask $\sigma_r=-229,8$ kPa i obc. nieistotne,
- beton C20/25 $\sigma_r=944,8$ kPa i obc. 1,442 mln,
- podłoże $\epsilon_z=160,1 \cdot 10^{-6}$ i obc. 140 mln;

b)

- kostka bet. lub kam. $\epsilon_z=529,2 \cdot 10^{-6}$ i obc. 658.7 tys. N_{100} kN/os⁹,

- podsyпка cem-piasek $\sigma_r = -228,6$ kPa i obc. nieistotne,
- chudy beton $R_m = 8$ MPa $\sigma_r = 281,4$ kPa i obc. 33,1 mln,
- stab. cem. $R_m = 2,5$ MPa $\sigma_r = 184,9$ kPa i obc. 660 osi,
- podłoże $\varepsilon_z = 287,3 \cdot 10^{-6}$ i obc. 10,18 mln.

Zmniejszona trwałość została zaznaczona drukiem pogrubionym, co oznacza wcześniejsze efekty destrukcji. Zniszczenia nastąpią w warstwie ścieralnej z kostki betonowej oraz w warstwie gruntu stabilizowanego cementem (660 osi zamiast minimum 510 tys.).

Dla KR-4 uzyskano:

a)

- kostka bet. lub kam. $\varepsilon_z = 565 \cdot 10^{-6}$ i obc. **491.6 tys.** $N_{100 \text{ kN/os}}$,
- podsyпка cem-piasek $\sigma_r = -227,6$ kPa i obc. nieistotne,
- beton C20/25 $\sigma_r = 832,6$ kPa i obc. 5,47 mln,
- podłoże $\varepsilon_z = 139,1 \cdot 10^{-6}$ i obc. 263 mln;

b)

- kostka bet. lub kam. $\varepsilon_z = 533,6 \cdot 10^{-6}$ i obc. **634.7 tys.** $N_{100 \text{ kN/os}}$,
- podsyпка cem-piasek $\sigma_r = -225,7$ kPa i obc. nieistotne,
- chudy beton $R_m = 8$ MPa $\sigma_r = 232,6$ kPa i obc. 181 mln,
- stab. cem. $R_m = 2,5$ MPa $\sigma_r = 161,13$ kPa i obc. 9,37 tys. osi
- podłoże $\varepsilon_z = 247,9 \cdot 10^{-6}$ i obc. 19,7 mln.

W tym przypadku ułożenie kostki zmieni więc swe położenie po ok. 4 latach minimalnego ruchu KR-4. Stabilizacja cementem także wykazuje bardzo małą trwałość t.j. ok. 9 miesięcy minimalnego ruchu KR-4.

Zgodnie z Katalogiem [2] dla dróg o KR-3 wskazane jest, aby trwałość konstrukcji była odpowiednia dla ruchu 0,51 do 2,5 mln $N_{100 \text{ kN/os}}$, zaś dla KR-4 od 2,5 do 7,3 mln $N_{100 \text{ kN/os}}$.

W dalszej części analizy poddano próbie porównanie wymaganych maksymalnych wyteżeń materiałów nawierzchni odpowiednio dla ruchu KR-3 i KR-4. Rozwiązując model nawierzchni można wykazać czy proponowany układ warstw z konkretnych materiałów będzie zapewniał trwałość analizowanej konstrukcji.

Wartości zakresu dopuszczalnego wyteżenia dla zapewnienia trwałości tych materiałów są następujące:

- dla KR-3

- kostka, podsyпка grysowa, podłoże $\varepsilon_z = (393.05 - 560.27) \cdot 10^{-6}$,
- podsyпка cem-piasek. $R_m = 1,5$ MPa $\sigma_r = (66.65 - 75.20)$ kPa,
- chudy beton $R_m = 8$ MPa $\sigma_r = (355.48 - 401.05)$ kPa,
- stab. cementem $R_m = 2,5$ MPa $\sigma_r = (111.09 - 125.33)$ kPa,
- beton C20/25 $\sigma_{rv} = (888.71 - 1002.63)$ kPa;

- dla KR-4

- kostka, podsyпка grysowa, podłoże $\varepsilon_z = (309.5 - 393.05) \cdot 10^{-6}$,
- podsyпка cem-piasek. $\sigma_r = (60.89 - 66.65)$ kPa,

- chudy beton $R_m=8$ MPa $\sigma_r = (324.77 - 355.48)$ kPa,
- stab. cementem $R_m=2,5$ MPa $\sigma_r = (101.49 - 111.09)$ kPa,
- beton C20/25 $\sigma_r = (811.92 - 888.71)$ kPa.

4. Proponowane zmiany konstrukcji

Biorąc pod uwagę efekty pracy tego typu nawierzchni zamiast podsypki cementowo-piaskowej przyjęto podsypkę z drobnego grysłu [1] o $E=400$ MPa.

Dla ruchu KR-3:

a) z podbudową betonową C20/25 otrzymano:

- kostka bet. lub kam. $\varepsilon_z = 583,7 * 10^{-6}$ i obc. **405.4 tys.** $N_{100 \text{ kN/os}}$,
- podsypka grysowa $\varepsilon_z = 1403,8 * 10^{-6}$ i obc. **8,28 tys.**,
- beton C20/25 $\sigma_r = 951,5$ kPa i obc. 1,04 mln,
- podłoże $\varepsilon_z = 161,2 * 10^{-6}$ i obc. 136 mln,

Z tego wynika ok. 4 miesięczne użytkowanie (zmiany w podsypce grysowej).

b) z chudym betonem ($R_m=8$ MPa) na stabilizacji cem. w podbudowie wg [1]:

- kostka bet. lub kam. $\varepsilon_z = 554,7 * 10^{-6}$ i obc. **533 tys.** $N_{100 \text{ kN/os}}$,
- podsypka grysowa $\varepsilon_z = 1347,9 * 10^{-6}$ i obc. **9,95 tys.**,
- chudy beton $R_m=8$ MPa $\sigma_r = 281,4$ kPa i obc. 33,1 mln,
- stab. cem. $R_m=2.5$ MPa $\sigma_r = 184,9$ kPa i obc. **660 osi**,
- podłoże $\varepsilon_z = 287,3 * 10^{-6}$ i obc. 10,18 mln.

Stabilizacja cementem wskazuje na trwałość ok. 2 tygodni (b. mało).

c) z chudym betonem ($R_m=8$ MPa) pod stabilizacją cementem w podbudowie (po zmianie kolejności warstw w stosunku do katalogu [1]):

- kostka bet. lub kam. $\varepsilon_z = 556,6 * 10^{-6}$ i obc. **525 tys.** $N_{100 \text{ kN/os}}$,
- podsypka grysowa $\varepsilon_z = 1332,1 * 10^{-6}$ i obc. **10,49 tys.**,
- stab. cem. $R_m=2.5$ MPa $\sigma_r = -204,3$ kPa i obc. nieistotnym,
- ch. beton $R_m=8$ MPa $\sigma_r = 386,2$ kPa i obc. 0,856 mln,
- podłoże $\varepsilon_z = 257,6 * 10^{-6}$ i obc. 16,6 mln.

Podsypka grysowa wskazuje na trwałość ok. 5 miesięcy.

Dla ruchu KR-4:

a) z podbudową betonową C20/25 otrzymano:

- kostka bet. lub kam. $\varepsilon_z = 586,8 * 10^{-6}$ i obc. **414 tys.** $N_{100 \text{ kN/os}}$,
- podsypka grysowa $\varepsilon_z = 1408,1 * 10^{-6}$ i obc. **8,18 tys.**
- beton C20/25 $\sigma_r = 838,0$ kPa i obc. 5,07 mln,
- podłoże $\varepsilon_z = 139,9 * 10^{-6}$ i obc. 256 mln,

Podsypka grysowa wskazuje na trwałość ok. 1 miesiąca.

b) z chudym betonem ($R_m=8$ MPa) na stabilizacji cem. w podbudowie wg [1]:

- kostka bet. lub kam. $\varepsilon_z = 558,8 \cdot 10^{-6}$ i obc. 516 tys. $N_{100 \text{ kN/os}}$,
- podsypka grysowa $\varepsilon_z = 1353,5 \cdot 10^{-6}$ i obc. 9,76 tys,
- chudy beton $R_m=8$ MPa $\sigma_r = 234,3$ kPa i obc. 171 mln,
- stab. cem. $R_m=2,5$ MPa $\sigma_r = 163,5$ kPa i obc. 7,19 tys ,
- podłoże $\varepsilon_z = 251,3 \cdot 10^{-6}$ i obc. 18,57 mln.

Podsypka grysowa oraz stabilizacja cementem wskazują na trwałość ok. 1 miesiąca.

c) z chudym betonem ($R_m=8$ MPa) pod stabilizacją cem. w podbudowie (po zmianie kolejności warstw):

- kostka bet. lub kam. $\varepsilon_z = 557,9 \cdot 10^{-6}$ i obc. 519 tys. $N_{100 \text{ kN/os}}$,
- podsypka grysowa $\varepsilon_z = 1330,6 \cdot 10^{-6}$ i obc. 10,54 tys,
- stab. cem. $R_m=2,5$ MPa $\sigma_r = -195,3$ kPa i obc. nieistotnym,
- chudy beton $R_m=8$ MPa $\sigma_r = 332,0$ kPa i obc. 5,67 mln,
- podłoże $\varepsilon_z = 221,1 \cdot 10^{-6}$ i obc. 32,99 mln.

Podsypka grysowa wskazuje na trwałość ok. 1 miesiąca.

5. Wnioski:

Z powyższych analiz wynika, że zarówno podsypka cementowo – piaskowa oraz grysowa nie zapewnia odpowiedniej trwałości nawierzchniom z kostki betonowej dla konstrukcji dróg o ruchu KR-3 oraz KR-4. Można zastosować ją jedynie dla nawierzchni obciążonych ruchem bardzo lekkim lub lekkim ze sporadycznym dopuszczeniem pojawienia się pojazdu ciężarowego (związanego z usługami komunalnymi).

Konstrukcja wykazuje większą trwałość przy zastosowaniu odwróconej kolejności tj. ułożeniu stabilizacji na chudym betonie. Lepiej wykorzystana jest wtedy praca chudego betonu na styku warstw związanych, co z kolei zapewnia większą trwałość stabilizacji cementem.

Autorzy sugerują, że bardzo istotne byłoby przeanalizowanie modelu konstrukcji zatok autobusowych o nawierzchni z kostki betonowej ale na podbudowie z betonu cementowego.

Innym przykładem może być rozwiązanie, w którym budowane są zatoki z bardzo cienkiej warstwy ścierniczej SMA (1cm) na podbudowie z betonu cementowego, co świetnie sprawdza się w Austrii.

Alternatywą może być całkowita rezygnacja z budowania zatok autobusowych, co zaproponowano na forum dyskusyjnym SITK [14] powołując się na przykłady zagraniczne pozytywnych walorów stosowania peronów półwyspowych zamiast standardowych zatok. Znacznie poprawia to dostępność zatoki dla pasażerów niepełnosprawnych, zwiększa bezpieczeństwo użytkowników komunikacji zbiorowej a także pozostałych użytkowników poprzez eliminację włączania się autobusów do ruchu, a także skraca czas przejazdu autobusów.

Literatura:

- [1] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publicznej ich usytuowanie.
- [2] Katalog Wzmocnień Remontów Nawierzchni Podatnych Półsztywnych, Warszawa 2001r.
- [3] S. Firlej – „*Mechanika nawierzchni drogowej*”, Wydawnictwo Petit s.c. Lublin, 2007.
- [4] D. Sybilski, J. Krzemiński, M. Maliszewski – „*Innowacyjna nawierzchnia z kostki kamiennej na Krakowskim Przedmieściu w Warszawie*”, Drogownictwo 3/2010,
- [5] M. Kossakowski – „*Nawierzchnia z betonowej kostki brukowej*”, Drogownictwo 4/2006,
- [6] M. Schab, A. Sołowczuk – „*Charakterystyka typowych uszkodzeń i deformacji nawierzchni na zatokach autobusowych., cz. 2, nawierzchnia z kostki kamiennej*”, Drogi Lądowe – Powietrzne – Wodne 2010 nr 10, s.68-77,
- [7] M. Schab, A. Sołowczuk – „*Charakterystyka typowych uszkodzeń i deformacji nawierzchni na zatokach autobusowych., cz. 4, nawierzchnia z kostki betonowej*”, Drogi Lądowe – Powietrzne – Wodne 2010 nr 12, s.36-45,
- [8] M. Ładzińska-Depko – „*Wyznaczanie stałych sprężystości w modelu obliczeniowym nowoczesnych nawierzchni brukowych*”, Drogownictwo 11/1989,
- [9] M. Ładzińska-Depko – „*Projektowanie nowoczesnych nawierzchni brukowych*”, Drogownictwo 12/1988, 1/1989,
- [10] M. Ładzińska-Depko – „*Numeryczna analiza wpływu podsypki i spoin na pracę nawierzchni brukowej*”, Drogownictwo 11-12/1990,
- [11] Ładzińska – Depko M.: „*Nośność graniczna chodników z płytek betonowych w aspekcie obciążeń wyjątkowych*, Praca doktorska, Poznań 1979”
- [12] Stypułowski B., Koba H.: „*Konstrukcja kamiennych nawierzchni historycznych ulic i placów*” Drogownictwo 7/99
- [13] Bremer B.: „*Nawierzchnie przystanków autobusowych z betonu cementowego*” Drogownictwo 12/1989.
- [14] Jackowski M.: „*Problemy i alternatywy zatok autobusowych na przykładach z Europy*” Forum dyskusyjne SITK, Warszawa 2013.
- [15] Archiwum zdjęć - Politechnika Lubelska.

Impact of the sand bed on stability of cobblestone pavement

Wioleta Czarnecka, Stefan Firlej

Politechnika Lubelska, Katedra Dróg i Mostów

Abstract: The observation of public transportation bus bays in Lublin (and probably in other cities) made of concrete or stone blocks pavement shows that on many streets it is not very durable. The assessment of its durability was made for traffic on the KR-3 and KR-4 using mechanistic method that is used for road surfacing on the basis of its own program of multilayer systems in cylindrical coordinates. The article presents the results of the studies of typical constructions at public transportation bus bay .

Keywords: construction durability, multilayer systems, retting, concrete stone, public transportation, bus bay.