



DARIUSZ GODLEWSKI

Politechnika Warszawska
d.godlewski@pw.edu.pl



ANDRZEJ JANOWSKI

Polska Inżynieria sp. z o.o.
a.janowski@polskainzynieria.pl

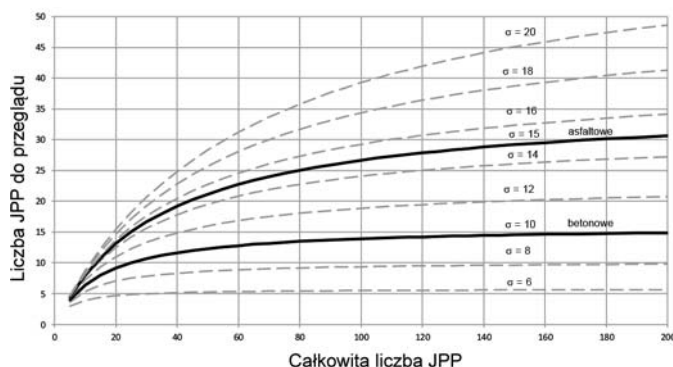
Wizualna ocena stanu technicznego nawierzchni przeznaczonych do naziemnego ruchu samolotów w zastosowaniu do systemów zarządzania nawierzchniami

Stosowana na wielu lotniskach na świecie metoda oceny wizualnej nawierzchni o nazwie PCI (*Pavement Condition Index*) powstała w USA w latach 80-tych XX wieku i jest w dalszym ciągu zalecana przez amerykańską Federalną Agencję Lotnictwa [1].

W metodzie tej, mimo takiej samej metodyki postępowania, wyróżniane są dwie odmiany: procedury nawierzchni betonowych i asfaltowych. Uszkodzenia identyfikowane w meto-

dotdziej obejmują wszystkie rodzaje wad nawierzchni, jakie występują w praktyce, od powszechnie znanych i spotykanych po takie egzotyczne jak np. uszkodzenia nawierzchni asfaltowych gazami spalinowymi (mogą ew. pojawić się na lotniskach wojskowych). Uwzględnia się także takie, które obecnie mierzone są innymi, niewizualnymi, metodami jak skoleinowanie czy wypolerowanie kruszywa.

dotdziej. Na podstawie doświadczeń, przyjmuje się, że w przypadku nawierzchni asfaltowych odchylenie standardowe równe jest 15, a w przypadku betonowych 10, co przy poziomie ufności 0.95 pozwala dobierać liczbę JPP wg krzywych zamieszczonych na rysunku nr 1.



Rys. 1. Wyznaczanie liczby JPP na obszarze badawczym

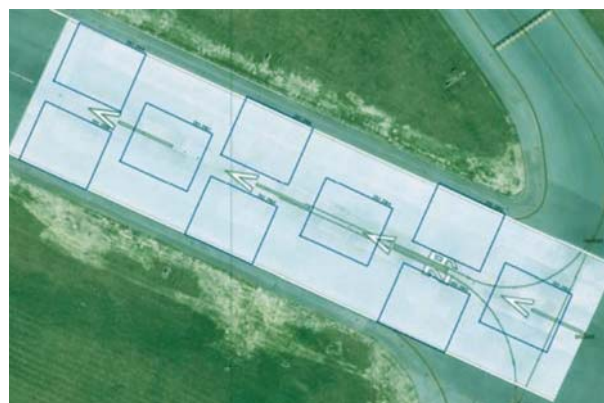
Opis metody oceny stanu nawierzchni PCI

Podstawową cechą charakteryzującą metodę jest jej podejście statystyczne. Z tzw. Obszaru Badawczego (OB) wybiera się próbkę fragmentów – tzw. Jednostkowe Powierzchnie Próbne (JPP), na których wykonywana jest inwentaryzacja uszkodzeń i dokonywana punktacja, której wyniki rozszerzane są na cały badany obszar. Obiekt lotniskowy, np. droga startowa czy stanowisko postojowe nie musi być tożsamy z OB. Obszar badawczy powinien charakteryzować się tą samą historią budowy i utrzymania nawierzchni, podobieństwem charakterystyk naziemnego ruchu samolotów, jak też zbliżonym stopniem zużycia nawierzchni, przy czym zużycie jest jedną z ważniejszych przesłanek do wydzielenia OB. Każdy obszar badawczy dzielony jest na JPP o jednakowej wielkości, przy czym przyjmuje się następujące orientacyjne wielkości JPP:

- w przypadku nawierzchni bitumicznych – JPP = 450 m² (15 × 30 m),
- w przypadku nawierzchni betonowych – JPP = powierzchnie 20 sąsiadujących ze sobą płyt.

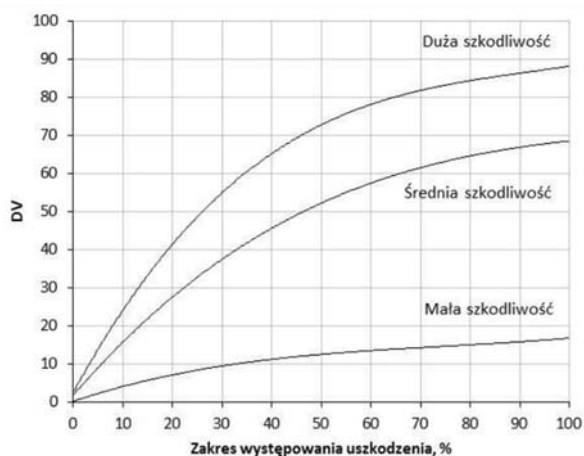
Liczba jednostkowych powierzchni próbnych jest ustalana w zależności od zmienności ocen poszczególnych JPP (odchylenie standardowe σ) oraz wymaganego poziomu ufności dla prognozowanej średniej wartości punktacji obszaru

Przykład rozmieszczenia jednostkowych powierzchni próbnych na obszarze badawczym, będącym częścią drogi startowej przedstawiono na rysunku nr 2.



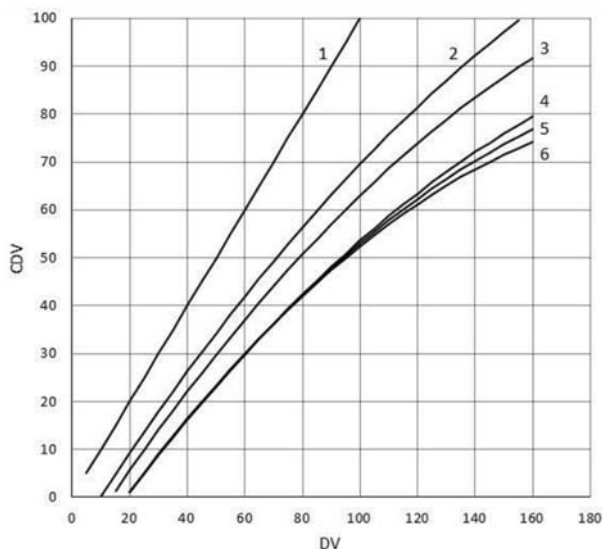
Rys. 2. Przykładowe rozmieszczenie JPP na nawierzchni betonowej

Uszkodzenia zinventaryzowane na JPP są punktowane według nomogramów właściwych każdemu rodzajowi uszkodzenia. Przykład takiego nomogramu zamieszczono na rysunku nr 3.



Rys. 3. Krzywe do przypisania punktów karnych (DV) w przypadku zluszczeń i pęknięć siatkowych

Na badanym obszarze nawierzchni JPP może występować kilka różnych rodzajów uszkodzeń. Niezależne punktowanie uszkodzeń prowadzi do przeszacowania stopnia zdegradowania nawierzchni. W celu uniknięcia tego zjawiska wykonuje się swego rodzaju „pochłanianie uszkodzeń”, znane także z innych systemów oceny [2]. W zależności od liczby rodzajów uszkodzeń, których zakres przekracza 5% powierzchni, liczba zsumowanych punktów DV jest korygowana (redukowana), według krzywych zaprezentowanych na rysunku nr 4, do wartości CDV. Automatycznie zagwarantowane jest, że wartość wskaźnika PCI, liczona jako $100 - CDV$, nie stanie się ujemna. Ostateczna ocena wskaźnikowa wybranego obszaru lotniska jest średnią ocen poszczególnych jednostkowych powierzchni próbnych.



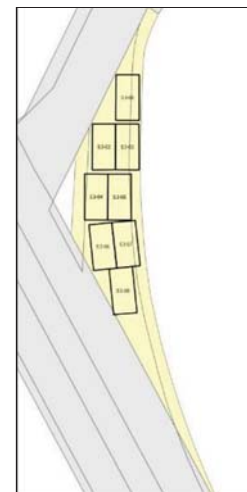
Rys. 4. Korekta liczby punktów „karnych” w zależności od liczby przekroczeń pięcioprocentowego zakresu uszkodzeń

Główna cecha metody PCI – statystyczna reprezentacja nawierzchni, wynika ze znacznej czasochłonności inwentaryzacji uszkodzeń w terenie, która powinna odbywać się w wa-

runkach oświetlenia dziennego, przyczyniając się dodatkowo do zakłóceń pracy lotniska. Oceniając reprezentatywną próbkę JPP minimalizuje się wspomnianą dokuczliwość badania.

Przedstawiony system oceny stanu nawierzchni posiada w praktyce szereg niedogodności, ujawniających się szczególnie, gdy łączyć go z nowoczesnymi sposobami prowadzenia inwentaryzacji uszkodzeń i zarządzania utrzymaniem nawierzchni [3]. Skrótowno można przedstawić je następująco:

1. Rozmieszczenie JPP na silnie nieregularnych obszarach (rys. 5), bywa trudne a nawet niemożliwe.
2. Automatyzacja inwentaryzacji (zdjęcia/skaning) utrudnia lokalizowanie się, nawet jeśli wykorzystywana jest technika GPS. Łatwiej jest zewidencjonować uszkodzenia na całej powierzchni niż na wybranych JPP.
3. Uwzględnianie lokalnych napraw wymaga sprawdzenia czy niektóre z naprawianych miejsc znajdowały się na JPP. Jeśli tak, procedurę oceniania trzeba przeprowadzić od początku, tzn. wykorzystać przechowywane dane ze wszystkich JPP, na nowo obliczyć PCI dla JPP i wyznaczyć średnią.
4. W systemach zarządzania wprowadzenie zmian w zakresach uszkodzeń znacząco komplikuje i rozbudowuje strukturę tego fragmentu systemu, jeśli ocena miałaby być aktualizowana wewnątrz systemu zarządzania.

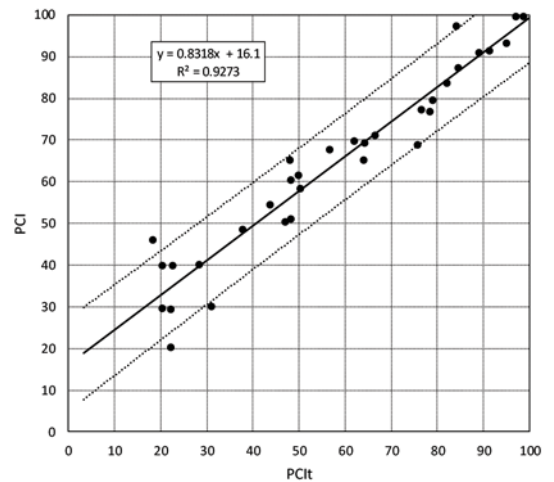
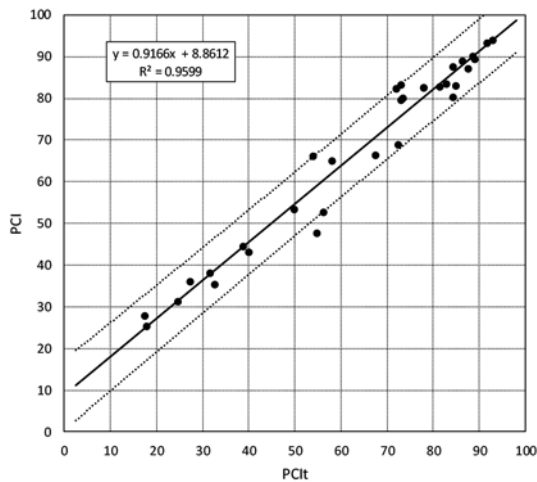


Rys. 5. Rozmieszczenie jednostkowych powierzchni próbnych na rzeczywistym układzie dróg kołowania

Propozycja modyfikacji metody oceny PCI

W niniejszej publikacji zaproponowano rozwiązanie pozwalające uniknąć wymienionych trudności. Przy obecnie stosowanych środkach technicznych byłoby prościej zewidencjonować uszkodzenia na całej powierzchni obiektu i jednorazowo liczyć PCI. Aktualizacja ocen po każdej zmianie zakresu (w wyniku np. lokalnych napraw bądź pojawiania się uszkodzeń) sprowadza się do prostych rachunków. Oczywiście korzyścią jest także kompletna znajomość stanu technicznego nawierzchni, a nie tylko jego statystycznego przybliżenia. W realizacji tej prostej recepty jest jedna przeszkoda. Jak widać z przykładu podanego na rysunkach 3-4, funkcje punktuujące uszkodzenia są silnie nieliniowe. Oznacza to, że średnia ocen (PCI) uszkodzeń na każdym z JPP nie będzie, z wyjątkiem szczególnych przypadków, równa ocenie (PCI) łącznie zinwentaryzowanych

Rys. 6. Związek między klasycznie wyznaczonymi wartościami PCI i uzyskanymi w metodologii zmodyfikowanej PCIt z 95% przedziałem ufności (po lewej – nawierzchnie betonowe, po prawej – nawierzchnie asfaltowe)



uszkodzeń na wszystkich JPP. Skrótowo można wyrazić to następująco: średnia punktacja nie jest równa punktacji uśrednionych zakresów uszkodzeń. Ponieważ głównym wkładem do niezgodności oceny jest procedura korekcji punktów „karnych”, przedstawiona na rysunku nr 4, można oczekiwać, że na nawierzchniach o znacznych uszkodzeniach a dodatkowo o niejednorodnym rozkładzie uszkodzeń, niezgodność będzie wyraźnie większa (gorsza ocena przy uśrednianiu uszkodzeń), niż na nawierzchniach w dobrym stanie.

Nierówność wartości PCI i PCIt nie oznacza jednak, że między tymi wielkościami nie ma statystycznego związku. Aby zbadać tę zależność wykorzystano rzeczywiste dane z ewidencji uszkodzeń na dużym lotnisku (ocena na ok. 267 000 m² nawierzchni asfaltowych i ok. 6 740 płytach betonowych). Ponieważ nie znaleziono obszarów o znacznej degradacji, losowo zostały wygenerowane dane prowadzące do ocen PCI poniżej 40. Ocenę PCI liczono w sposób klasyczny, natomiast wyznaczając PCIt w pierwszej kolejności obliczono zakres występowania uszkodzeń w odniesieniu do powierzchni wszystkich JPP łącznie. W drugim etapie według standardowych zależności (np. rys. 3) w jednym kroku wyznaczono wartość wskaźnika. Porównanie wyników w przypadku nawierzchni betonowych i asfaltowych przedstawiono na rysunku nr 6.

Przytoczone wyniki wskazują, że pomiędzy obliczonymi dwoma sposobami wskaźnikami występuje liniowa zależność. Współczynnik determinacji R² przyjmuje wysokie wartości uznawane w statystyce za wskazujące na prawie pełną korelację.

Procedura postępowania w zmodyfikowanym systemie PCI

1. Inwentaryzowane są uszkodzenia na całej powierzchni badanych obiektów, przy czym obiekty są wyróżniane tak jak w procedurze oryginalnej.

2. Poszczególne uszkodzenia są punktowane według oryginalnych zasad, lecz na całej powierzchni obiektu.
3. Obliczony stan PCI_t przekształcany jest według poniższej formuły:

$$PCI_{obliczone} = a \cdot PCI_t + b$$

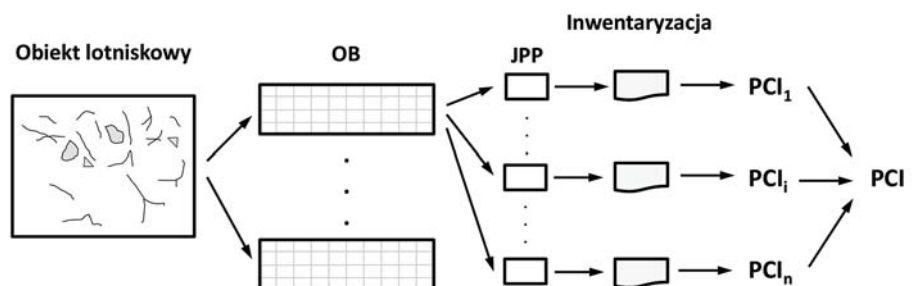
w której:

PCI_t jest wskaźnikiem liczonym według procedury zmodyfikowanej

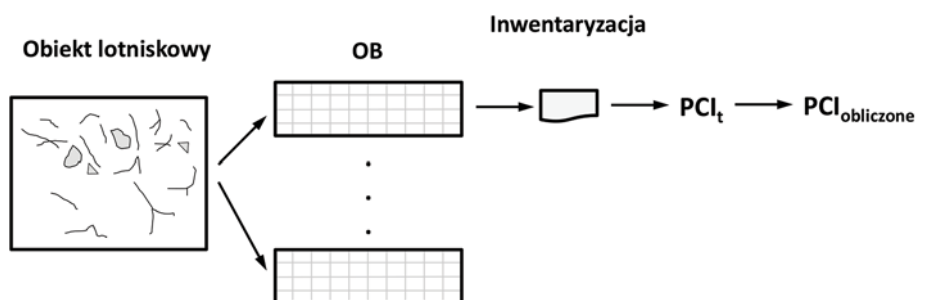
$$a = \begin{cases} 0,916 & \text{w przypadku nawierzchni betonowych} \\ 0,832 & \text{w przypadku nawierzchni asfaltowych} \end{cases}$$

$$b = \begin{cases} 8,4 & \text{w przypadku nawierzchni betonowych} \\ 16,8 & \text{w przypadku nawierzchni asfaltowych} \end{cases}$$

4. Wartość PCI_{obliczone} klasyfikowana jest według oryginalnej skali.



Rys. 7. Schemat postępowania w klasycznej metodzie PCI

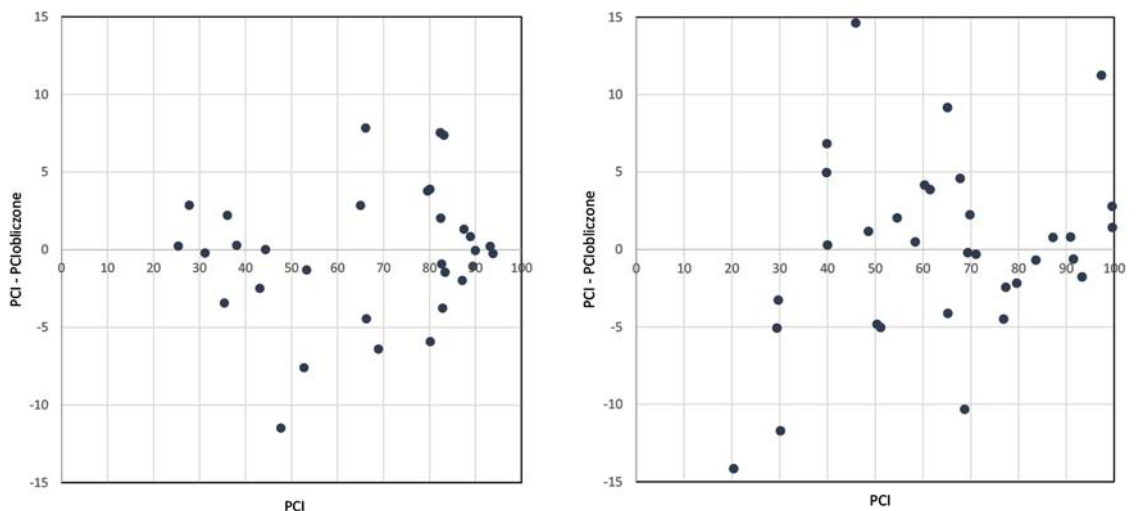


Rys. 8. Schemat postępowania w zmodyfikowanej metodzie PCI

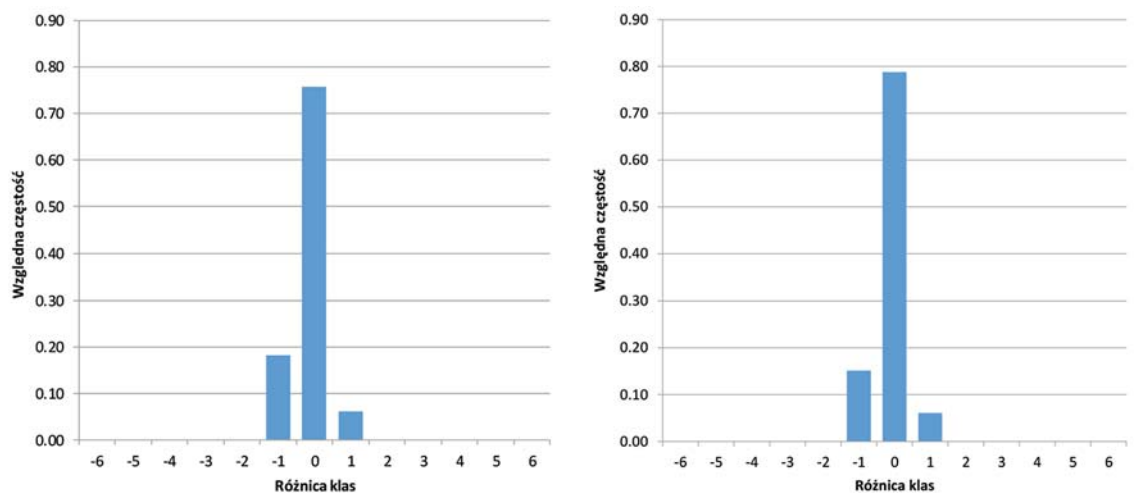
Tabela 1. Klasyfikacja stanu uszkodzeń nawierzchni wg wartości PCI

Doskonały	Bardzo dobry	Dobry	Dostateczny	Zły	Bardzo zły	Nie nadający się do użytku
PCI > 85	85 ≥ PCI > 70	70 ≥ PCI > 55	55 ≥ PCI > 40	40 ≥ PCI > 25	25 ≥ PCI > 10	10 ≥ PCI

Rys. 9. Różnice punktacji w dwóch metodach oceny (od lewej – nawierzchnie betonowe, od prawej – nawierzchnie asfaltowe)



Rys. 10. Różnice klasyfikacji w dwóch metodach oceny (od lewej – nawierzchnie betonowe, od prawej – nawierzchnie asfaltowe)



Powyższą procedurę, w celu podkreślenia różnicy względem procedury oryginalnej, zilustrowano na diagramach zamieszczonych na rysunku nr 7 (metoda klasyczna) i nr 8 (metoda zmodyfikowana).

Nawierzchnie lotnisk oceniane są na podstawie wartości wskaźnika PCI, stosowaną przy tym klasyfikację zamieszczono w tabeli 1.

Zasadne staje się pytanie, w jakim stopniu zmiana sposobu wykonywania punktacji wpłynie na ocenę nawierzchni. W tym celu porównano wyznaczone w klasycznej metodzie wskaźniki PCI z wartościami obliczonymi według procedury zmodyfikowanej (PCI_l), a następnie skorygowane według zaproponowanej wyżej formuły (PCI_{obliczone}). Różnice tych dwóch wartości, przedstawione na rysunku nr 9, nie przekraczają ±15 punktów, tj. przedziału obejmowanego przez jedną klasę.

Po wykonaniu klasyfikacji należy stwierdzić (rys. 10), że wyniki w około 20% mogą się różnić o jedną klasę, przy czym obserwuje się tendencję do zawyżania oceny.

Wnioski

Podsumowując przeprowadzone analizy można stwierdzić, że zaproponowana zmodyfikowana metoda PCI może być stosowana bez istotnego wpływu na ocenę stanu nawierzchni, szczególnie w przypadku nawierzchni betonowych oraz takich, których stan jest oceniany jako co najmniej dobry.

Przy utrzymaniu ciągłości oceny i klasyfikowania stanu nawierzchni uzyskuje się dodatkowe korzyści w stosunku do metody klasycznej: kompletność oceny oraz łatwość wykorzystania w systemach zarządzania nawierzchniami.

Bibliografia

- [1] Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements, US Department of Transportation Federal Aviation Administration, Washington, D.C., 1982.
- [2] System Oceny Stanu Nawierzchni (SOSN), wytyczne stosowania, Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych Biuro Studiów Sieci Drogowej, Warszawa, 2002.
- [3] Polska Inżynieria, „System diagnostyki nawierzchni. Aktualizacja”, P.P. „Porty Lotnicze”, Warszawa, 2014.