



## Wzmacnianie nawierzchni lotniskowych warstwami z mieszanek mineralno-asfaltowych

JAN MARSZAŁEK, KAROLINA GULAŃCZYK

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji,  
Katedra Inżynierii i Komunikacji, 00-908 Warszawa, ul. gen. S. Kaliskiego 2,  
jan.marszalek@wat.edu.pl, karolina.gulanczyk@wat.edu.pl

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono oryginalne rozwiązania oraz metodykę postępowania przy wyznaczaniu grubości nakładek z mieszanek mineralno-asfaltowych dla remontów oraz modernizacji istniejących nawierzchni lotniskowych.

Wykorzystując metodę Westergaarda, opracowano schemat postępowania oraz nomogramy do wyznaczenia naprężenia krawędziowego oraz dopuszczalnej siły obciążającej. Opracowane nomogramy są nowymi rozwiązaniami, które dotychczas w podobnej formie nie były przedstawiane. Po wyprowadzeniu wymienionych zależności zaprezentowano sposób praktycznego wykorzystania powstałych nomogramów w zależności od parametrów istniejącej podatnej nawierzchni lotniskowej.

Opracowanie wykresów na podstawie obliczeń za pomocą wyprowadzonych równań zdecydowanie przyspieszy procedurę doboru grubości nakładki z mieszanek mineralno-asfaltowych na istniejące nawierzchnie lotniskowe wymagające remontu lub modernizacji.

**Słowa kluczowe:** nawierzchnie lotniskowe sztywne, nawierzchnie lotniskowe podatne, wzmacnianie nawierzchni

DOI: 10.5604/12345865.1223266

### 1. Wprowadzenie

#### 1.1. Określenie problemu

W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowań problemami eksploatacji i utrzymania lotnisk. Wynika to z faktu, że budowa nowych lotnisk należy do rzadkości, natomiast główną uwagę zwraca się na ich remonty i modernizację. Prace

remontowe związane są ze wzmocnieniem istniejącej nawierzchni zużytej przez wieloletnią eksploatację. Natomiast modernizacja łączy się ze wzmocnianiem nawierzchni przewidzianych dla nowych samolotów wprowadzanych do eksploatacji.

Remont lub modernizacja polegać będzie na ułożeniu nakładki wzmacniającej z mieszanek mineralno-asfaltowych.

W artykule zaprezentowana zostanie metoda obliczania grubości nakładki z mieszanek mineralno-asfaltowych dla wzmocnienia nawierzchni o konstrukcji sztywnej lub podatnej. Podstawą do określenia grubości nakładki będzie ustalony procent zużycia remontowanej nawierzchni.

## 1.2. Ocena zużycia nawierzchni

Jedną z metod oceny użytkowo-eksploatacyjnej nawierzchni lotniskowej przedstawiono w pracy [1], gdzie zaproponowano zastosowanie metody probabilistycznej. W metodzie tej badana jest pewna liczba elementów, których cechy statystyczne są uogólniane na całą populację. W związku z tym na wiarygodność oceny ma wpływ skład i charakter próby, a głównie stopień, w jakim odzwierciedla ona zbiorowość generalną, z której została pobrana. Zaproponowano w tej metodzie losowanie próby metodą warstwową. Losowaną próbką są płyty betonowe w nawierzchni sztywnej lub powierzchnia oczka siatki podziału na elementy badawcze dla nawierzchni podatnych.

Wskaźnik zużycia nawierzchni jest najważniejszym parametrem w ocenie stanu technicznego nawierzchni. Ma on największy wpływ na warunki bezpieczeństwa lotów oraz na zachowanie czystości nawierzchni, która jest bardzo istotna dla współczesnych samolotów odrzutowych i turboodrzutowych. Wskaźnik ten obliczamy dla wyselekcjonowanych uszkodzeń, oddzielnie dla nawierzchni sztywnych i nawierzchni podatnych.

### 1.2.1. Wskaźnik zużycia dla nawierzchni sztywnej [1]

Wskaźnik ten obliczany jest z poniższego wzoru:

$$z_B = \frac{1,80U_1}{A} + \frac{1,22U_2}{A} + \frac{U_3}{A} + \frac{U_4}{A} + \frac{U_5}{A}, \quad (1.1)$$

- gdzie:  $z_B$  — wskaźnik zużycia nawierzchni sztywnej;  
 $U_1$  — powierzchnia pęknięć i zapadnięć naroży [m<sup>2</sup>];  
 $U_2$  — powierzchnia spękań i wykruszeń krawędzi [m<sup>2</sup>];  
 $U_3$  — powierzchnia złuszczeń [m<sup>2</sup>];  
 $U_4$  — powierzchnia spękań wielokrotnych [m<sup>2</sup>];  
 $U_5$  — powierzchnia ubytków margłowych [m<sup>2</sup>];  
 $A$  — powierzchnia badanej płyty nawierzchni [m<sup>2</sup>].

### 1.2.2. Wskaźnik zużycia dla nawierzchni podatnej [1]

Wskaźnik obliczamy z poniższego wzoru:

$$z_A = \frac{B_1}{A_1} + \frac{B_2}{A_1} + \frac{B_3}{A_1} + \frac{B_4}{A_1} + \frac{B_5}{A_1}, \quad (1.2)$$

gdzie:  $z_A$  — wskaźnik zużycia nawierzchni podatnej;  
 $B_1$  — powierzchnia skupisk pęcherzy [ $m^2$ ];  
 $B_2$  — powierzchnia wykruszeń i odspojeń dywanika [ $m^2$ ];  
 $B_3$  — powierzchnia zrakowaceń [ $m^2$ ];  
 $B_4$  — powierzchnia wysadzeń i przełomów [ $m^2$ ];  
 $B_5$  — powierzchnia pęknięć podłużnych i poprzecznych [ $m^2$ ];  
 $A_1$  — powierzchnia oczka siatki podziału nawierzchni na elementy badawcze [ $m^2$ ].

### 1.2.3. Klasyfikacja stanu zużycia nawierzchni

Ocenę zużycia nawierzchni zawartej w tabeli 1.1 pozyskano z pracy [1].

TABELA 1.1

Klasyfikacja stanu zużycia nawierzchni lotniskowych

Stan użytkowy nawierzchni	Klasa nawierzchni i wymogi remontowe	Wskaźnik zużycia $z$ [%]
Bardzo dobry	Kl. I	Do 10%
Dobry	Kl. II	$15 \geq z > 10$
Średni	Kl. III Konieczna powłoka ochronna	$20 \geq z > 15$
Mierny	Kl. IV Konieczna naprawa lub remont średni	$25 \geq z > 20$
Zły	Kl. V Konieczny remont generalny	$30 \geq z > 25$

Określone w tabeli 1.1 procentowe wskaźniki zużycia zostaną wykorzystane do obliczania grubości nakładek remontowanych nawierzchni.

Dla przypadku nawierzchni sztywnej o procent zużycia będą zmniejszone naprężenia dopuszczalne.

Natomiast dla nawierzchni podatnych o procent zużycia będzie zwiększany moduł deformacji zastępczej całego układu warstw nawierzchni.

## 2. Analiza grubości nakładki podatnej na nawierzchni sztywnej

### 2.1. Wzmacnianie nawierzchni sztywnej z betonu cementowego

Wzmocnienie istniejącej nawierzchni sztywnej za pomocą nakładki z mieszanki mineralno-bitumicznej oblicza się, stosując metodę Westergaarda. W pierwszej kolejności należy wyliczyć procentowy wskaźnik zużycia nawierzchni wg pkt. 1.2.

Pod uwagę brane są naprężenia krawędziowe, do wyliczenia których stosujemy wzór (2.1), ponieważ korzystając z [2], wiadomo, że w tym miejscu występują największe naprężenia w nawierzchni od obciążenia golenią samolotu:

$$\sigma_k = \frac{(1+v) \cdot P_r}{(3+v) \cdot h^2} \left( 2,2 \log \left[ \frac{Eh^3}{100k \cdot \left(\frac{a+b}{2}\right)^4} \right] + \frac{3}{\pi} \left[ \left(1,84 - \frac{4}{3}v\right) + (1+v) \frac{a-b}{a+b} + 2(1-v) \frac{ab}{(a+b)^2} + 1,18(1+2v) \frac{b}{L} \right] \right), \quad (2.1)$$

gdzie:  $v$  — współczynnik Poissona materiału nawierzchni;

$P_r$  — obciążenie równoważne przypadające na jedną goleń samolotu;

$P_r = \frac{P_0}{r}$ , gdzie:

$P_0$  — obciążenie obliczeniowe dla jednej goleni samolotu;

$P_0 = \frac{P}{\Psi}$ ,  $P_g$  — obciążenie przypadające na jedną goleń główną;

$\Psi$  — współczynnik intensywności ruchu obciążenia;

$r$  — współczynnik równoważny;

$h$  — grubość płyty betonowej;

$E$  — moduł sprężystości materiału nawierzchni;

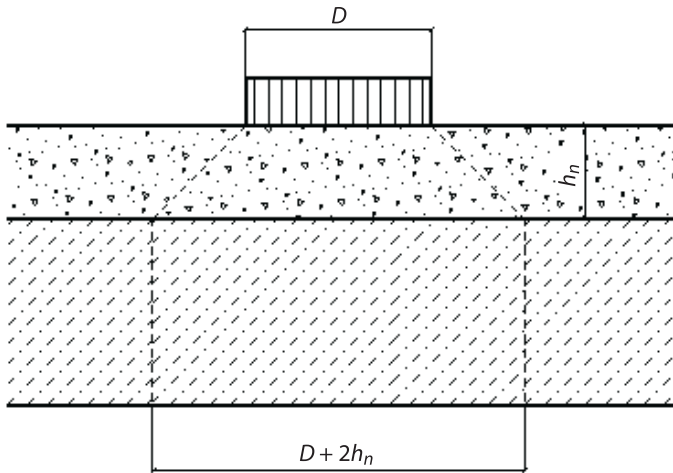
$k$  — współczynnik podatności podłoża;

$a, b$  — półosie elipsy styku goleni z nawierzchnią;

$L$  — promień względnej sztywności płyty.

Aby wyznaczyć grubość nakładki z mieszanki mineralno-asfaltowej, niezbędnej do wzmocnienia danej zniszczonej nawierzchni sztywnej, zastosowano rozkład obciążenia w tej nakładce od koła samolotu pod kątem  $45^\circ$  (rys. 2.1).

Nośność wzmocnionej nawierzchni należy sprawdzić z warunku spełnienia naprężeń dopuszczalnych płyty obciążonej kołem o zwiększonej powierzchni styku.



Rys. 2.1. Schemat rozkładu obciążenia w nakładce z mieszanki mineralno-asfaltowej

W równaniu (2.2) zwiększa się wymiary półosi elipsy o grubość nakładki z mieszanki mineralno-asfaltowej:

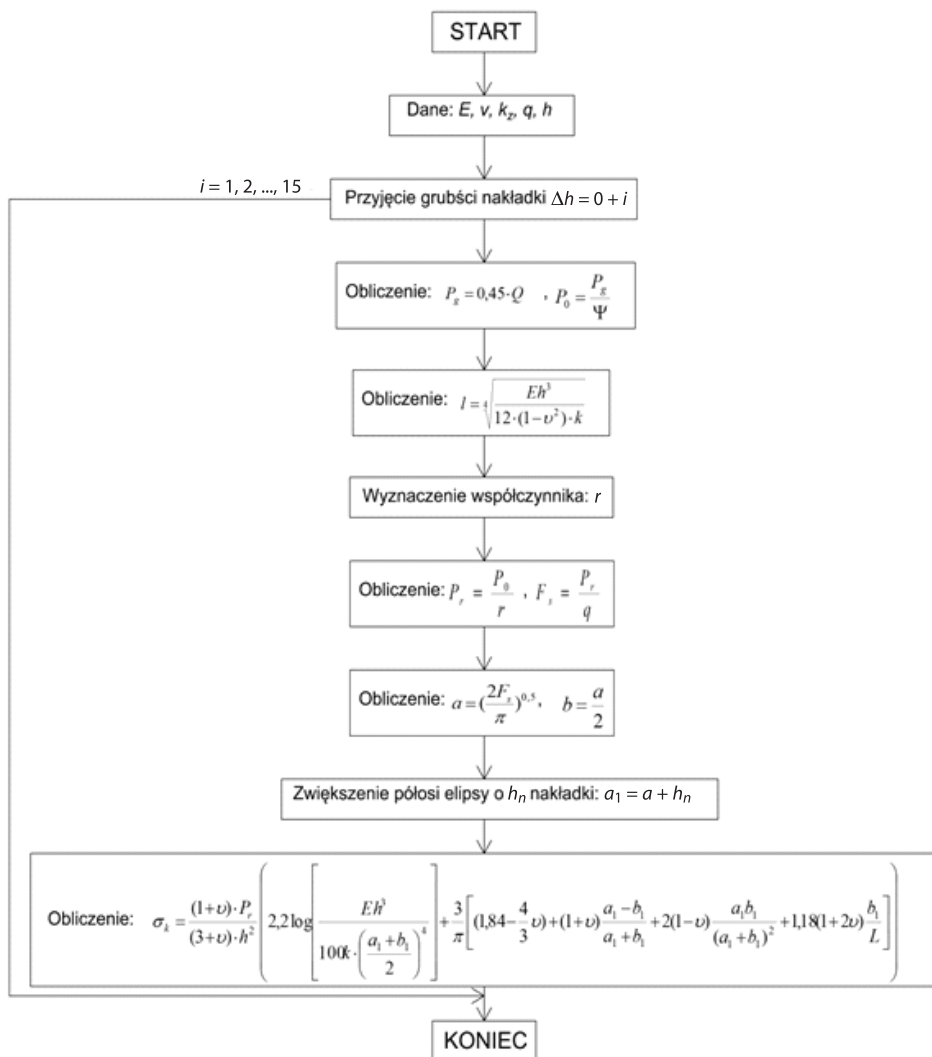
$$a_1 = a + h_n, \quad b_1 = 0,5a_1,$$

gdzie:  $h_n$  — grubość nakładki z mieszanki mineralno-asfaltowej;  
 $D$  — średnica śladu koła.

$$\sigma_k = \frac{(1+\nu) \cdot P_r}{(3+\nu) \cdot h^2} \left( 2,2 \log \left[ \frac{Eh^3}{100k \cdot \left( \frac{a_1 + b_1}{2} \right)^4} \right] + \frac{3}{\pi} \left[ \left( 1,84 - \frac{4}{3}\nu \right) + (1+\nu) \frac{a_1 - b_1}{a_1 + b_1} + 2(1-\nu) \frac{a_1 b_1}{(a_1 + b_1)^2} + 1,18(1+2\nu) \frac{b_1}{L} \right] \right) \quad (2.2)$$

Po uwzględnieniu grubości nakładki w równaniu (2.2) ponownie sprawdza się spełnienie naprężeń dopuszczalnych.

Schemat blokowy postępowania przy obliczaniu grubości nakładki z uwzględnieniem wcześniejszych analiz przedstawiono poniżej na rysunku 2.2.



Rys. 2.2. Schemat blokowy doboru grubości nakładki dla remontu nawierzchni

## 2.2. Modernizacja nakładką z mieszanki mineralno-asfaltowej nawierzchni sztywnej z betonu cementowego

Z uwagi na fakt, że do eksploatacji wprowadzane są nowe, cięższe samoloty niż te, dla których projektowana była pierwotnie nawierzchnia, niezbędne okazuje się przeprowadzenie modernizacji istniejących nawierzchni.

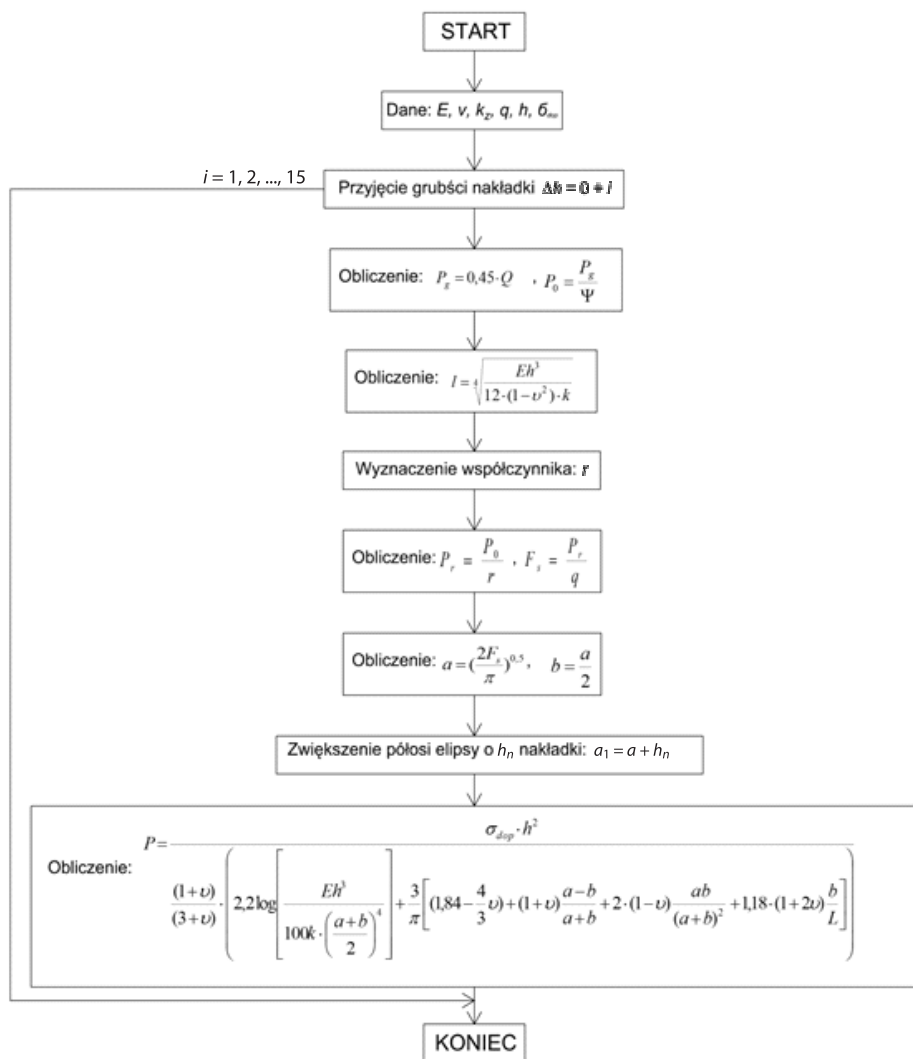
Projektując modernizację istniejącej nawierzchni sztywnej, pod uwagę należy brać procentowe zwiększenie siły, którą musi przenieść zmodernizowana nawierzchnia.

Przekształcając równanie (2.1), otrzymano wzór na obliczenie obciążenia:

$$P = \frac{\sigma_{dop} \cdot h^2}{\frac{(1+v)}{(3+v)} \cdot \left( 2,2 \log \left[ \frac{Eh^3}{100k \cdot \left(\frac{a+b}{2}\right)^4} \right] + \frac{3}{\pi} \left[ \left(1,84 - \frac{4}{3}v\right) + (1+v) \frac{a-b}{a+b} + 2 \cdot (1-v) \frac{ab}{(a+b)^2} + 1,18 \cdot (1+2v) \frac{b}{L} \right] \right)}. \quad (2.3)$$

Na podstawie [1, 2] sporządzono schemat blokowy (rys. 2.3) postępowania przy obliczaniu grubości nakładki przy procentowym zwiększeniu obciążenia  $P$ .

Dobór konstrukcji warstwy nakładki z mieszanki mineralno-asfaltowej został omówiony w [6] i nie jest przedmiotem niniejszego artykułu.



Rys. 2.3. Schemat blokowy doboru grubości nakładki dla modernizacji nawierzchni

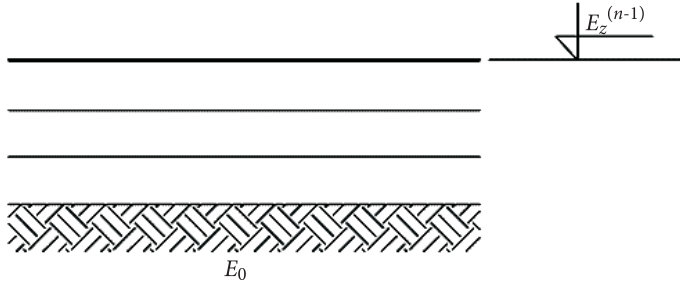
### 3. Analiza grubości nakładki z mieszanki mineralno-asfaltowej na nawierzchni podatnej

Wzmocnienie istniejącej nawierzchni podatnej (beton asfaltowy) wykonane za pomocą nakładki z mieszanki mineralno-asfaltowej realizuje się przez zastosowanie tzw. dywaników bitumicznych. Grubość wzmocnienia obliczamy jak nową wielowarstwową nawierzchnię podatną metodą Dornii [2].

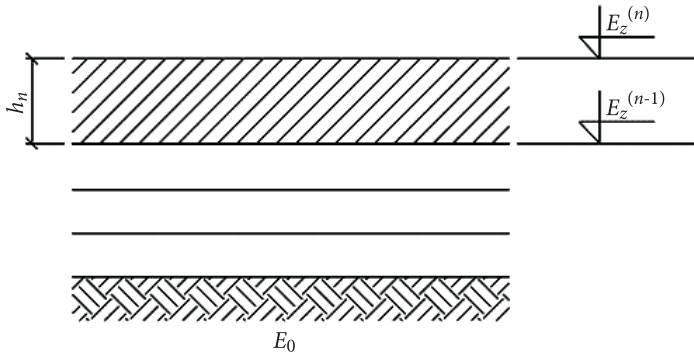


### 3.1. Remont nawierzchni podatnej

Do analizy nawierzchni podatnych przyjmujemy model obliczeniowy warstwy przedstawiony schematycznie na rysunkach 3.1 i 3.2.



Rys. 3.1. Schemat modelowy układu warstw nawierzchni wielowarstwowej przed wykonaniem remontu



Rys. 3.2. Schemat modelowy układu warstw nawierzchni wielowarstwowej po wykonaniu remontu

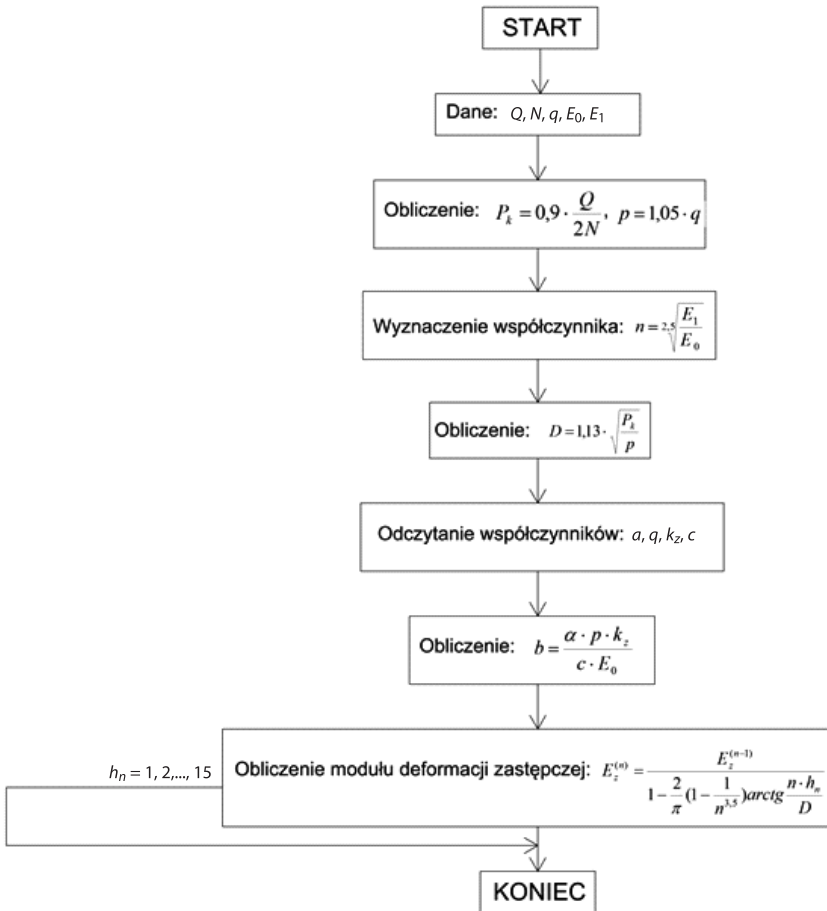
Aby wyznaczyć grubość niezbędnej nakładki dla remontowanej podatnej nawierzchni lotniskowej, w pierwszej kolejności należy określić moduł deformacji wszystkich warstw określony zależnością:

$$E_z^{(n)} = \frac{E_z^{(n-1)}}{1 - \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{1}{n^{3,5}}\right) \operatorname{arctg} \frac{nh_n}{D}}, \quad (3.1)$$

gdzie:  $E_z^{(n)} = E_{pr}$  — zastępczy moduł deformacji nawierzchni po remoncie;  
 $E_z^{(n-1)} = E_0$  — zastępczy moduł deformacji nawierzchni przed remontem;  
 $E_n$  — moduł deformacji materiału warstwy;  
 $p, D$  — parametry znane dla danego typu samolotu.

Dla prawidłowego doboru grubości nakładki niezbędna jest znajomość wskaźnika zużycia nawierzchni. Po jego wyliczeniu należy wartość modułu deformacji  $E_z^{(n)}$  zwiększyć o [%] zużycia nawierzchni.

Schemat blokowy postępowania przy obliczaniu grubości nakładki z uwzględnieniem wcześniejszych analiz przedstawiono poniżej na rysunku 3.3.

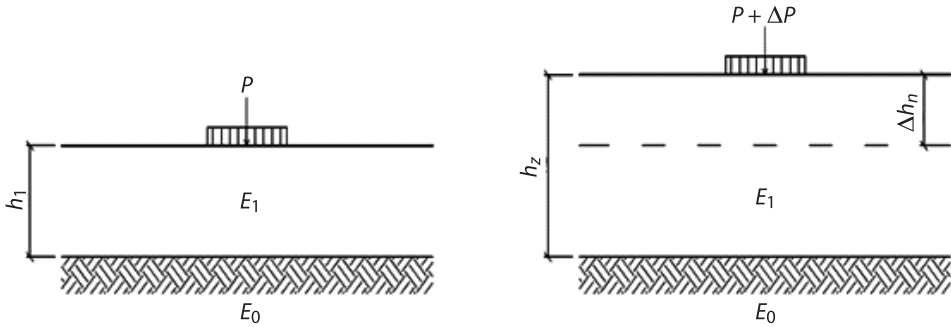


Rys. 3.3. Schemat blokowy doboru grubości nakładki z mieszanki mineralno-asfaltowej dla remontu nawierzchni podatnej

### 3.2. Modernizacja nawierzchni podatnej

Polega na wzmacnianiu istniejącej nawierzchni w przypadku zwiększenia obciążeń wynikających ze zmiany typu samolotu.

Schematyczny model nawierzchni przedstawiono na rysunku 3.4.



Rys. 3.4. Schemat modelowy układu warstw nawierzchni wielowarstwowej przed i po wykonaniu modernizacji

Do obliczania grubości zastępczej nawierzchni podatnej wykorzystano wzór z pracy [2] w postaci:

$$h_z = \frac{D}{n} \operatorname{tg} \left( \frac{\frac{\pi}{2}}{a - \frac{1}{b - \frac{1}{n^{3,5}} + 1}} \right), \quad (3.2)$$

gdzie:  $h_z$  — grubość zastępcza nawierzchni jednowarstwowej;  
 $D$  — średnica śladu koła obciążającego;  
 $a$  — współczynnik zależny od modułu odkształcenia materiału nawierzchni;  
 $b$  — współczynnik uwzględniający wielkość odkształceń zależny od średnicy  $D$  śladu koła styku z nawierzchnią oraz od współczynnika bezpieczeństwa i liczby kół w goleni;

$$n = 2,5 \sqrt{\frac{E_1}{E_0}} = \text{const} \quad \text{— dla analizowanej nawierzchni.}$$

Dla przyjętych danych nawierzchni i samolotu w pierwszej kolejności wyznaczona zostanie grubość wymagana do przeniesienia założonego obciążenia. Następnie zwiększamy siłę  $P$  obciążenia (zmienia się średnica  $D$  i współczynnik  $b$ ).

Średnicę śladu koła styku oblicza się ze wzoru:

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{P_k}{P}},$$

gdzie:  $P_k$  — ciężar samolotu przypadający na goleń główną

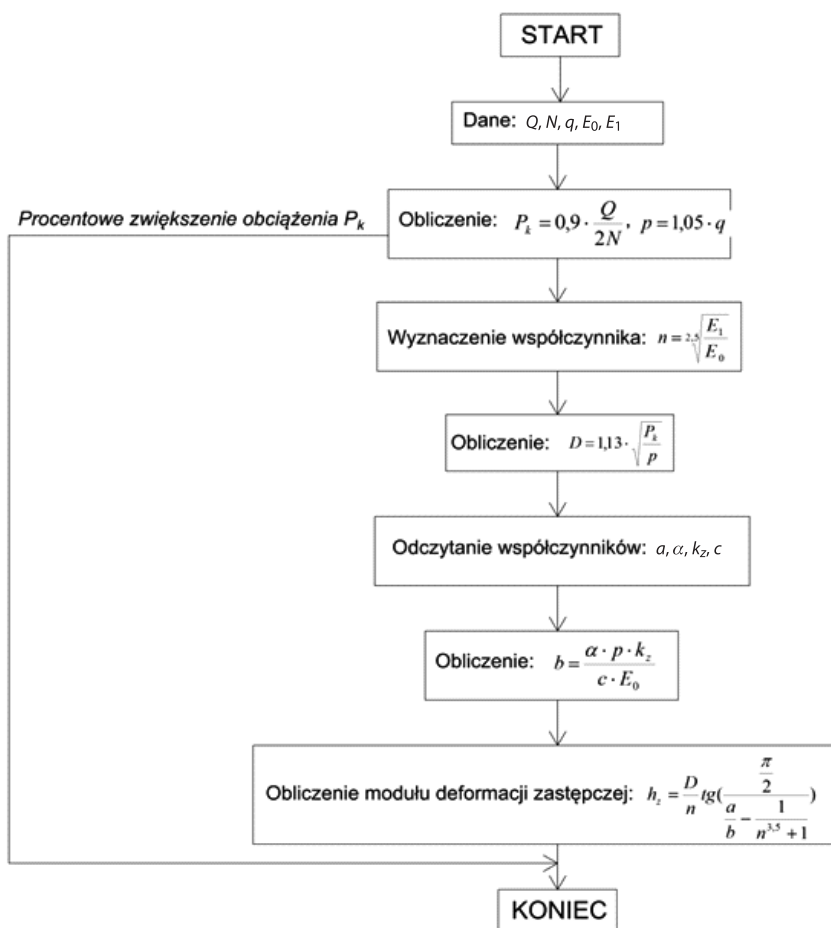
$$P_k = 0,9 \cdot \frac{Q}{2N},$$

gdzie:  $Q$  — ciężar startowy samolotu;  
 $N$  — liczba kół w goleni;  
 $p$  — eksploatacyjny nacisk jednostkowy koła na nawierzchnię

$$p = 1,05 \cdot q,$$

gdzie:  $q$  — ciśnienie w oponach.

Schemat blokowy postępowania przy obliczaniu grubości nakładki z uwzględnieniem wcześniejszych analiz przedstawiono poniżej na rysunku 3.5.



Rys. 3.5. Schemat blokowy doboru grubości nakładki z mieszanki mineralno-asfaltowej dla modernizacji nawierzchni podatnej

## 4. Przykłady wyznaczania nomogramów do obliczania nakładek

Korzystając z przedstawionej w pkt. 2 i 3 metodyki obliczania grubości nakładek wzmacniających nawierzchnię, wyznaczono przykładowe nomogramy dla konkretnych danych nawierzchni i samolotu.

### 4.1. Remont i modernizacja nawierzchni sztywnej

Znając naprężenia dopuszczalne na rozciąganie przy zginaniu dla danej klasy betonu oraz wyznaczonego dla warstw istniejącej nawierzchni współczynnika  $k_z$ , można wyznaczyć grubość niezbędnej nakładki. Dane o konstrukcji nawierzchni i parametrach betonu cementowego podano w skrypcie [2] oraz pracach [3, 6, 7].

Grubość nakładki wzmacniającej z mieszanki mineralno-asfaltowej wyznaczonej ze względu na naprężenia krawędziowe — dla  $\sigma_{\text{dop}} = 3,00 \text{ MPa}$ ,  $k_z = 200 \text{ MN/m}^3$  — z nomogramu na rysunku 8 wyznaczamy, znając wskaźnik zużycia nawierzchni  $Z$  lub procent zwiększenia obciążenia  $P$ . Założono następujące wartości dla płyty betonowej i samolotu:

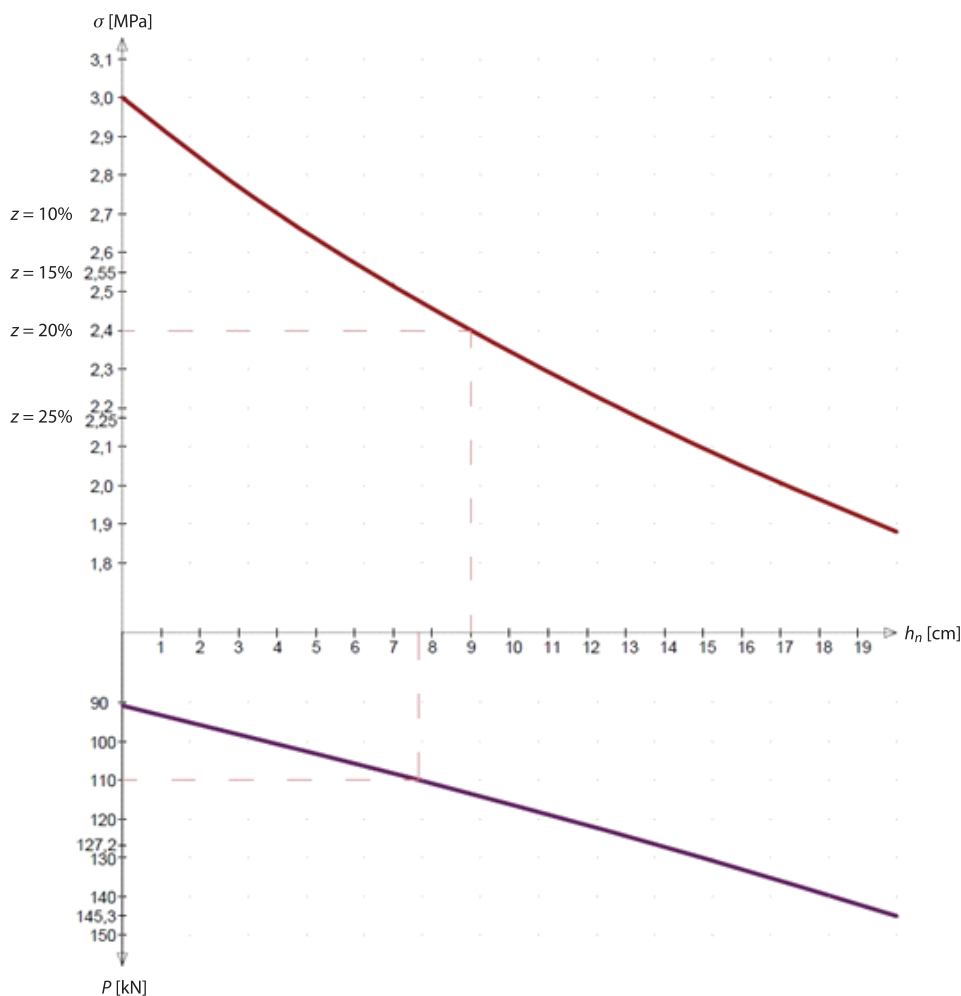
- współczynnik podatności podłoża  $k = 200 \text{ MN/m}^3$ ,
- współczynnik sprężystości betonu  $E_b = 34\,000 \text{ MPa}$ ,
- współczynnik Poissona dla betonu  $\nu = 0,16$ ,
- grubość płyty betonowej  $h = 25 \text{ cm}$ ,
- liczba operacji na dobę: 10,
- ciężar samolotu  $Q = 660 \text{ kN}$ ,
- ciśnienie w oponie  $q = 1,0 \text{ MPa}$ ,
- goleń główna czteroślupowa o rozstawie:  $s = 137 \text{ cm}$ ,  $s_r = 116 \text{ cm}$ .

Na podstawie zależności (2.2) i (2.3) wykonano obliczenia za pomocą programu Excel oraz utworzono wykres (rys. 4.1) naprężeń krawędziowych i dopuszczalnej siły obciążającej dla powyższych danych w zależności od grubości nakładki.

Korzystając z powyższego wykresu, znając procentowy wskaźnik zużycia nawierzchni, można odczytać grubość niezbędnej nakładki z mieszanki mineralno-asfaltowej.

Dla przykładu:

- przy 20% wskaźniku zużycia nawierzchni należy wykonać nakładkę o grubości 9 cm, aby spełnić warunek naprężeń dopuszczalnych;
- przy 20% zwiększeniu obciążenia należy wykonać nakładkę o grubości minimum 7,7 cm, aby spełnić warunek naprężeń dopuszczalnych.



Rys. 4.1. Wykres zależności naprężeń krawędziowych oraz dopuszczalnej siły obciążającej w zależności od zmiany grubości nakładki

#### 4.2. Remont i modernizacja nawierzchni podatnej

Znając procentowe zużycie istniejącej nawierzchni podatnej w przypadku remontu istniejącej nawierzchni lub procentowe zwiększenie obciążenia w przypadku modernizacji istniejącej, można wyznaczyć grubość niezbędnej nakładki.

Poniżej przedstawiono przykład obliczeniowy wyznaczania grubości nakładki z mieszanki mineralno-asfaltowej dla samolotu myśliwskiego MIG.

Dane nawierzchni i samolotu:

- samolot myśliwski MIG:
  - ciężar startowy  $Q = 133,3$  kN,
  - liczba kół w goleni  $N = 1$ ,
  - ciśnienie w oponach  $q = 1,3$  MPa,
- podłoże: piaski drobne i gliniaste:
  - $E_0 = 20\ 000$  kN/m<sup>2</sup> = 20 MPa,
  - moduł zastępczy jednowarstwowej nawierzchni  $E_1 = 200\ 000$  kN/m<sup>2</sup> = 200 MPa.

Na podstawie zależności (3.1) i (3.2) wykonano obliczenia za pomocą programu Excel oraz utworzono wykres (rys. 4.2) zależności zastępczego modułu deformacji nawierzchni po remoncie i dopuszczalnej siły obciążającej w zależności od zmiany grubości nakładki.

Korzystając z powyższego wykresu (rys. 4.2), znając procentowy wskaźnik zużycia nawierzchni, można odczytać grubość zastępczą niezbędnej nakładki z mieszanki mineralno-asfaltowej.

Dla przykładu:

- przy 30% wskaźniku zużycia nawierzchni należy wykonać nakładkę o grubości 4 cm, aby spełnić warunek wymaganej podatności zastępczej całości nawierzchni;
- przy 40% zwiększeniu obciążenia należy wykonać nakładkę o grubości minimum 5,5 cm, aby spełnić warunek wymaganej podatności zastępczej całości nawierzchni.

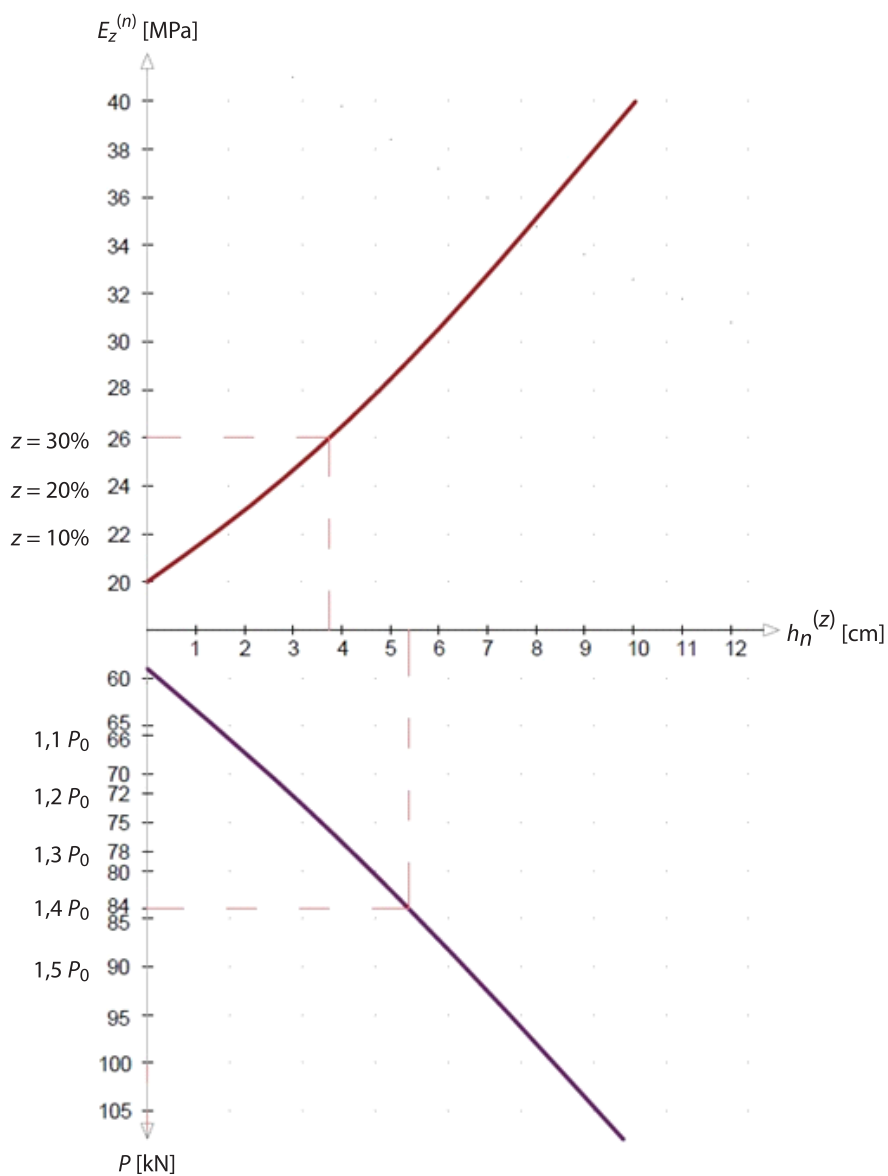
Dla wyznaczenia właściwej grubości nakładki z mieszanki mineralno-asfaltowej niezbędna jest znajomość modułu deformacji  $E_2$  materiału, z którego będzie ona wykonana.

Schematycznie oznaczono to na poniższym rysunku.

Wyliczamy ją z zależności:

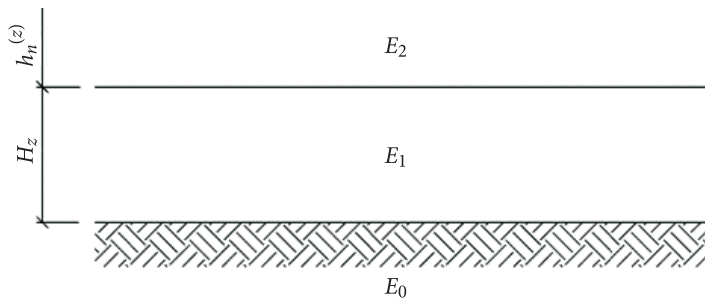
$$h_n = \frac{h_n^{(z)}}{\sqrt[2.5]{\frac{E_2}{E_1}}}, \quad (4.1)$$

- gdzie:  $h_n^{(z)}$  — grubość zastępcza nawierzchni jednowarstwowej;  
 $E_2$  — zastępczy moduł deformacji materiału, z którego wykonana będzie nakładka z mieszanki mineralno-asfaltowej;  
 $E_1$  — moduł zastępczy jednowarstwowej nawierzchni.



Rys. 4.2. Wykres zależności zastępczego modułu deformacji nawierzchni po remoncie oraz dopuszczalnej siły obciążającej w zależności od zmiany grubości nakładki





Rys. 4.3. Schemat modelowy układu warstw nawierzchni wielowarstwowej po wykonaniu nakładki z materiału o module deformacji  $E_z$

## 5. Podsumowanie i wnioski

W niniejszym artykule przedstawiono:

- metodykę obliczania grubości warstw nakładek z mieszanek mineralno-asfaltowych, które mają za zadanie wzmocnić istniejące nawierzchnie sztywne i podatne w toku remontu lub modernizacji;
- opracowano schematy blokowe, które pozwalają na szybkie obliczenie grubości nakładki z wykorzystaniem programu Excel;
- przyjęte rozwiązania uwzględniają procentowe zużycie nawierzchni przy obliczaniu nakładki i są propozycją autorów, którzy w przyszłości zamierzają to sprawdzić doświadczalnie;
- opisane podprogramy będą podstawą do opracowania kompleksowego programu obliczania nakładek z mieszanek mineralno-asfaltowych do wzmacniania i remontu nawierzchni.

W następnym artykule autorzy zamierzają zająć się obliczaniem nakładek z betonu cementowego do wzmacniania nawierzchni sztywnych i podatnych.

Praca statutowa PBS 934/2016.

Artykuł wpłynął do redakcji 20.04.2016 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 31.05.2016 r.

### LITERATURA

- [1] MARSZAŁEK J., *Metoda analizy wyników badań parametrów użytkowo-eksploatacyjnych nawierzchni lotniskowych*, praca doktorska, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 1979.
- [2] MARSZAŁEK J., *Budowa lotnisk, Część II. Obliczanie nawierzchni*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 1984.
- [3] SZYDŁO A., *Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego. Teoria, wymiarowanie, realizacja*, Polski Cement, Kraków, 2004.
- [4] SZYDŁO A., MACKIEWICZ P., WARDĘGA R., *Aktualizacja katalogu typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych, Etap I, Raport serii SPR 21/2011*, Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, listopad 2011.

- [5] SZYDŁO A., MACKIEWICZ P., WARDEGA R., KRAWCZYK B., *Aktualizacja katalogu typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych*, Etap II, Raport serii SPR 24/2012, Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, listopad 2012.
- [6] PIŁAT J., RADZISZEWSKI P., *Nawierzchnie asfaltowe*, wyd. 2, WKŁ, Warszawa, 2007.
- [7] PN-75/S-96015. *Drogowe i lotniskowe nawierzchnie z betonu cementowego*.

J. MARSZAŁEK, K. GULAŃCZYK

### **The airport pavements reinforced with Mineral-Asphalt Mixtures' (MAM) layers**

**Abstract.** The article presents original solutions, methodology, and procedure for determining the thickness of bituminous overlays for renovation and modernization of the existing airfield pavements. Using the Westergaard method, the algorithm and nomograms were developed in order to determine the edge stress and the loading force. The nomograms are a state of the art solutions that have never been presented in a similar form. After derivation of aforementioned dependencies, the practical way to use the nomograms, depending on the existing bituminous airport pavement, was demonstrated. The plots were developed on the basis of calculations using the derived equations. They will definitely facilitate the procedure of selecting the thickness of the flexible overlay to the airport pavements which require repair or modernization.

**Keywords:** airport rigid pavements, airport vulnerable pavements, strengthening the pavement

**DOI:** 10.5604/12345865.1223266