

Piotr NITA¹ ORCID 0000-0002-4779-9185

Małgorzata LINEK² ORCID 0000-0003-1583-4377

¹ Air Force Institute of Technology (Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych)

² Kielce University of Technology (Politechnika Świętokrzyska)

ODDZIAŁYWANIE MEDIÓW STOSOWANYCH W EKSPLOATACJI STATKÓW POWIETRZNYCH NA TRWAŁOŚĆ LOTNISKOWYCH NAWIERZCHNI BETONOWYCH

The impact of operating fluids used to service aircraft on the durability of airfield concrete pavements

Streszczenie: W publikacji podjęto próbę określenia wpływu mediów stosowanych w eksploatacji statków powietrznych na parametry stwardniałego lotniskowego betonu nawierzchniowego. W badaniach prowadzonych w okresie dłuższym, niż przewidują to obowiązujące normy, określono wpływ oddziaływania tych mediów na trwałość betonu klasy C 30/37 skomponowanego z użyciem kruszywa bazaltowego i granitowego. W badaniach stwierdzono, że omawiane media eksploatacyjne w zróżnicowanym stopniu wpływają destrukcyjnie na lotniskowy beton nawierzchniowy. Stosowane obecnie środki zabezpieczające nawierzchnię przed ich destrukcyjnym oddziaływaniem spełniają swoją funkcję tylko w ograniczonym zakresie.

Słowa kluczowe: betonowa nawierzchnia lotniskowa, media eksploatacyjne, paliwo lotnicze, olej napędowy, olej smarowy, olej hydrauliczny, smar lotniczy

Abstract: The manuscript intends to demonstrate the impact of aircraft operating fluids on the parameters of airfield hardened concrete. In the studies conducted over the longer term than provided for in the applicable standards, the impact of these operating fluids on the durability of C 30/37 concrete composed with the use of basalt and granite aggregate was determined. The tests showed that the discussed operating fluids have a destructive effect on airfield runway concrete to a varying degree. The currently applied agents that protect runway pavement against its deterioration fulfil their function only in a limited scope.

Keywords: concrete airfield pavement, operating fluids, aircraft fuel, diesel oil, lubricating oil, hydraulic oil, aviation grease

1. Wprowadzenie

Ocena cech użytkowych nawierzchni betonowych na lotniskach sprowadza się do uzyskania zadowalających parametrów wytrzymałościowych i wysokiej odporności na niskie temperatury, których zapewnienie było możliwe dzięki stosowaniu środków odladzających. Obecne procedury eksploatacyjne nie uwzględniają w swojej ocenie skutków oddziaływań innych mediów technicznych, pochodzących z normalnej eksploatacji statków powietrznych i związanej z nią losowej obecności tych mediów na betonowej nawierzchni lotniska. Do mediów, których obecność na nawierzchni spowodowana jest zdarzeniami losowymi, należą: wycieki paliwa podczas napełniania zbiorników samolotów, wycieki płynów eksploatacyjnych z instalacji hydraulicznych, olejowych i powietrznych. Źródłami tych zanieczyszczeń mogą być również pojazdy i sprzęt technicznej obsługi statków powietrznych na płytach postojowych i innych elementach funkcjonalnych lotniska. Intensywność ruchu lotniczego, większe ciężary statków powietrznych i jednak znacząca liczba dostrzeżonych powierzchniowych zanieczyszczeń tymi mediami nakazuje prowadzenie oceny wpływu tych mediów na trwałość betonowych nawierzchni. Oddziaływania te obiektywnie istnieją i uzupełniają oddziaływania podstawowe takie jak: statyczne, dynamiczne, termiczne naturalne i wymuszone.

2. Oddziaływanie wybranych mediów eksploatacyjnych na właściwości mieszanki betonowej

Pod koniec lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku uważano, że oleje naturalne i przemysłowe uszczelniają beton i są pożytecznym materiałem impregnującym. W pracach [1, 2] opisano próby wykorzystania zużytego oleju silnikowego jako substytutu domieszki napowietrzającej i redukującej ilość wody w mieszance betonowej. Zastosowana substancja zachowywała się podobnie jak klasyczne plastyfikatory, poprawiając płynność mieszanki i zawartość powietrza w mieszance. Jednak zawartość tego oleju negatywnie wpłynęła na wytrzymałość betonu na rozciąganie i po 28 dniach jego pielęgnacji spowodowała obniżenie tej wytrzymałości od 6 do 21%. Interesujące spostrzeżenie wypływające z tych badań dotyczyło zachowania wytrzymałości betonu na ściskanie na poziomie odpowiednim dla betonu kontrolnego. W publikacjach [3, 4] autorzy stwierdzili, że obniżenie parametrów wytrzymałościowych betonu jest konsekwencją utrudnionej hydratacji cementu, jak również rozwojem fazy C-S-H, będącego końcowym produktem hydratacji krzemianów. Ponieważ kryształy powstające w procesie hydratacji są niedoskonałe i bardzo małe, stosunek molowy wody do krzemionki w hydratách nie musi być liczbą całkowitą. Faza C-S-H ($\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$) określana jest często jako żel tobermorytowy, który zawiera również niewielkie ilości Al, Fe, Mg oraz inne jony.

Ewentualna obecność oleju w kruszywie powoduje jego zwilżenie, ograniczając tym samym ilość zaabsorbowanej wody. Ziarna kruszywa otoczone cienkim filmem olejowym ograniczają intensywność reakcji ze spoiwem cementowym, zapobiegając lub całkowicie eliminując uwodnienie cząstek cementu. Olejowa powłoka stanowi fizyczną barierę w tworzeniu sieci wiązań z zaczynem cementowym, co skutkuje osłabieniem sił kohezji w stwardniałym betonie. Dodatkowo zwiększony udział niepochłoniętej wody przez wolne kapilary kruszywa zwiększa porowatość matrycy cementowej. W konsekwencji porowata struktura kamienia cementowego obniża jego parametry wytrzymałościowe.

Eksperymentalne badania przeprowadzone we wczesnym stadium dojrzewania betonu wykazały, że wykorzystanie roztworu wody i ropy naftowej do kondycjonowania betonu znacznie obniża wytrzymałość betonu na ściskanie. Stopień zmniejszenia się wytrzymałości betonu związany jest z ilością ropy w tym roztworze.

3. Oddziaływanie wybranych mediów eksploatacyjnych na właściwości stwardniałego betonu

W krajowych pracach badawczych [5] stwierdzono, że wytrzymałość na ściskanie kształtek betonowych poddanych działaniu oleju kreozytowego w okresie dwóch miesięcy spadła o ok. 35%, a wytrzymałość na zginanie o 15% w porównaniu z kształtkami, które pielęgnowano w wodzie. Autor opracowania [6] przedstawił wyniki zachowania się zaimpregnowanego olejem lnianym betonu podczas przeprowadzonego eksperymentu. Uzyskane wyniki wykazały obniżenie wytrzymałości na ściskanie betonu po siedmiu dniach od impregnacji o ponad 25%. Po 120 dniach nastąpił natomiast wzrost wytrzymałości o 6,5%. Obniżenie wytrzymałości w pierwszym okresie było wynikiem agresywnego chemicznego działania kwasów na strukturę hydratyzowanego cementu. Olej lniany wykorzystany w eksperymencie jest kompozycją kwasów organicznych (oleinowego i linooleinowego). Wzrost wytrzymałości w dłuższym okresie należy tłumaczyć zjawiskiem krzepnięcia oraz polimeryzacją oleju lnianego w wolnych objętościach betonu. Poziom porównawczy stanowiły próbki betonu dojrzewające w normalnych warunkach. W innych badaniach [7] autor stwierdza, że im większa nasiąkliwość betonu olejem, tym większa jest redukcja jego wytrzymałości. Destrukcyjna nawierzchni betonowej intensyfikowała się w strefach oddziaływania gorących gazów spalinowych na nawierzchnię i w obszarach wycieków eksploatacyjnych płynów, takich jak: turbinowy olej silnikowy spełniający wymagania MIL-L-23699 i MIL-L-83282. W pracach związanych z oddziaływaniem na nawierzchnię betonową oleju silnikowego i hydraulicznego stwierdzono występowanie estrów, które powstają w wyniku syntezy alkoholi i kwasów tłuszczowych. Ten zapoczątkowany proces przemiany chemicznej oddziaływania płynów eksploatacyjnych na nawierzchnię betonową jest inicjatorem dalszego procesu przemian, w wyniku których otrzymuje się m.in.: sól wapniową i kwas fosforowy. W rezultacie zachodzących reakcji matryca cementowa przekształcona zostaje w niejednorodną strukturę gąbczastą wraz

z negatywnymi jej skutkami w odniesieniu do eksploatowanych nawierzchni. Prace doświadczalne prowadzone w tym zakresie w Polsce przez B. Ksit [8], pozwalają stwierdzić, że głównym obszarem koncentracji oleju w strukturze betonu jest strefa kontaktowa zaczyn–kruszywo, a wielkość obszaru zanieczyszczonego olejem zależy od stosunku ilości kruszywa do cementu oraz od uziarnienia kruszywa. Betony o klasach wyższych niż C25/30 na skutek zanieczyszczenia olejem do 1,5%, zwiększają swoją masę, powodując nieznaczne obniżenie wytrzymałości. Przy zwiększonej nasiąkliwości od 3,5 do 4,0% obniżenie wytrzymałości wynosi nawet 40%. Należy zauważyć, że olej, który jest obojętny w procesie tworzenia się sieci krystalicznych, w procesie hydratacji cementu ogranicza spodziewany przyrost wytrzymałości w czasie. Olej, wnikając w strukturę betonu, osłabia wewnętrzne wiązania, zwiększa poślizg na granicy kruszywo–zaczyn. Obserwacje związane z wielkością modułów odkształcenia pozwalają na stwierdzenie, że większa wartość tego modułu cechuje beton, którego pory są maksymalnie wypełnione olejem. Zwiększanie siły obciążającej powoduje wypychanie cieczy z przestrzeni międzycząsteczkowych i zmniejszenie objętości porów, a tym samym zmniejszenie objętości próbki. Badając problem obecności oleju w strukturze betonu nawierzchniowego, jednoznacznie stwierdzono [9], że obecność oleju lotniczego i innych mediów eksploatacyjnych w strukturze betonu znacznie wpływa na zmianę jego parametrów mechanicznych. Dotyczy to głównie jego wytrzymałości na ściskanie, rozciąganie i zginanie. Dla różnych mediów eksploatacyjnych wyniki parametrów fizycznych i mechanicznych są zróżnicowane.

4. Charakterystyka mediów eksploatacyjnych wykorzystanych w pracy badawczej

Wśród wielu mediów stosowanych w eksploatacji statków powietrznych, które potencjalnie mogą oddziaływać negatywnie na betonową nawierzchnię lotniskową, w publikacji omówiono działanie: paliwa lotniczego Jeta A-1, oleju napędowego, smaru lotniczego rodzaju G-395, oleju smarowego Nycolube 7870 i oleju hydraulicznego Aero Shell Fluid 41. Środki te można scharakteryzować następująco [9]:

- **Paliwo lotnicze Jeta A-1** wykorzystywane jest w eksploatacji statków powietrznych jako medium energetyczne do ich napędu. Ten rodzaj paliwa jest produktem rafinacji ropy naftowej i stanowi mieszaninę węglowodorów, uszlachetnionych szeregiem dodatków zapewniających wymagane właściwości. W swojej strukturze zawiera od 8 do 16 atomów węgla. W skład paliwa Jeta A-1 wchodzi następujące grupy związków: naftaleny, olefiny, parafiny, w tym izoparafiny, oraz związki aromatyczne. Każda partia paliwa zawiera szereg dodatków, których celem jest utrzymanie wydajności oraz wymaganych właściwości eksploatacyjnych.
- **Olej napędowy** jest klarowną jasnożółtą cieczą, składa się z mieszaniny ciekłych węglowodorów oraz dodatków uszlachetniających. Olej ten jest kompozycją produktów

destylacji z produktami procesów katalitycznych, w których dokonywane jest: usunięcie siarki, azotu i połączeń nienasyconych oraz aktywizacja węglowodorów aromatycznych. Najważniejszymi komponentami oleju napędowego są: frakcje nafty z destylacji atmosferycznej, lekki, średni oraz ciężki olej napędowy z destylacji atmosferycznej, lekki olej napędowy z destylacji próżniowej i hydrokrakingu i olej napędowy z krakingu katalitycznego. Olej napędowy wykorzystywany jest najczęściej jako paliwo do sprzętu naziemnego.

- **Smar lotniczy rodzaju G-395** jest produktem wytworzonym na bazie oleju polialfaolefinowego i wzbogacony o pakiet odpowiednich dodatków funkcjonalnych w celu uzyskania odpowiednich właściwości. Smar ten jest zagęszczony odpowiedniego rodzaju substancją, przeznaczony jest do wykorzystania w pracy wysokoobrotowych i wysokoobciążonych łożysk tocznych i ślizgowych.
- **Olej hydrauliczny Aero Shell Fluid 41** zbudowany jest z węglowodorów o liczbie atomów węgla od 15 do 50, ma postać białego oleju mineralnego, pozostałą część stanowią substancje dodane podczas produkcji w postaci: wiskozatorów polimerowych, inhibitorów utleniania, dodatków smarnościowych i odpowiedniego (czerwonego) barwnika. Przeznaczeniem oleju jest tłumienie drgań w zespołach amortyzacyjnych, ale również pomoc w przenoszeniu energii w instalacjach hydraulicznych.
- **Olej smarowy Nycolube 7870** jest mineralnym olejem smarowym o lepkości 10 cSt, który w temperaturze 40°C hamuje proces utleniania i korozji. Miarą lepkości oleju jest 1 cSt = mm²/s. Olej ten stosowany profilaktycznie do ochrony sprzętu elektronicznego, np. pilota automatycznego.

Podstawowe dane charakteryzujące wykorzystane w pracy badawczej media przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1

Podstawowe cechy fizyczne mediów eksploatacyjnych wykorzystanych w eksperymencie

Rodzaj mediów	Lepkość kinematyczna w 20°C [mm/s ²]	Gęstość w 15°C [kg/m ³]	Liczba kwasowa [mgKOH/g]
Paliwo lotnicze Jeta A-1	1,50–2,00	775,0–840,0	≤ 0,015
Olej napędowy	2,00–4,50	820,0–845,0	≤ 0,08
Smar lotniczy G-395	-	790,0–9100	
Olej hydrauliczny Aero Shell Fluid 41	13,0	870,0	≤ 0,20
Olej smarowy Nycolube 7870	9,0	870,0	≤ 0,04

5. Własności fizyczne i mechaniczne betonu wykorzystanego w badaniach

W eksperymencie wykorzystano dwa rodzaje mieszanek betonowych: z kruszywem granitowym i kruszywem bazaltowym. Ilość poszczególnych składników ustalono metodą analityczno-doświadczalną zgodnie z następującymi założeniami dla klasy betonu C30/37 (tab. 2). Projekt mieszanki betonowej opracowano dla wbudowania jej metodą ślizgową. Pielęgnacja próbek odbywała się w warunkach określonych normą [10]. Szczegółowe dane dotyczące składów obu rodzajów betonu przedstawiono w tab. 2.

Tabela 2

Projektowane składy mieszanek betonowych w analizowanym zagadnieniu

Rodzaj mieszanki betonowej	Mieszanka z kruszywem granitowym	Mieszanka z kruszywem bazaltowym
	Ilości w kg/m ²	Ilości w kg/m ²
Cement CEM I 42,5 MSR/NA	340,0	370,0
Kruszywo 0/2	540,3	598,4
Kruszywo 2/8	860,3	864,3
Kruszywo 8/16	600,3	753,5
Woda	136,0	148,0
Plastyfikator	3,7	2,6
Środek napowietrzający	1,7	1,7
Wskaźnik w/c	0,4	0,4

Należy zaznaczyć, że badania wytrzymałościowe prowadzono w wydłużonym cyklu dojrzewania i twardnienia betonu dla obu jego rodzajów, którego składy przedstawiono w tab. 2, tj. po 28, 56, 84, 112, 140 i 168 dniach. Dane wytrzymałościowe charakteryzujące betony, na które oddziaływały wybrane media eksploatacyjne w odniesieniu do wyników uzyskanych dla „próbek świadków” twardniejących w warunkach normalnych. Uzyskane wyniki odniesione do betonu po normowym okresie pielęgnacji, dla przyjętych założeń obu rodzajów klas betonów C30/37 były następujące:

dla betonu z kruszywem bazaltowym:

$$f_{ci} \geq (f_{ck} - 4) \text{ MPa} \rightarrow 41,2 \geq (37 - 4) \text{ MPa}, \rightarrow 41,2 \geq 33,0 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} \geq (f_{ck} + 4) \text{ MPa} \rightarrow 45,2 \geq (37 + 4) \text{ MPa}, \rightarrow 45,2 \geq 41,0 \text{ MPa}$$

dla betonu z kruszywem granitowym:

$$f_{ci} \geq (f_{ck} - 4) \text{ MPa} \rightarrow 44,6 \geq (37 - 4) \text{ MPa}, \rightarrow 44,6 \geq 33,0 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} \geq (f_{ck} + 4) \text{ MPa} \rightarrow 48,1 \geq (37 + 4) \text{ MPa}, \rightarrow 48,1 \geq 41,0 \text{ MPa}$$

Założone w eksperymencie klasy wytrzymałości spełniają wymagania dla betonu klasy C30/37.

6. Wyniki oddziaływania mediów eksploatacyjnych na wytrzymałość betonów na ściskanie wykonanych z kruszywem bazaltowym i granitowym

Wyniki przedstawione w tab. 3–8 uzyskano w badaniach laboratoryjnych. Badania przeprowadzono dla następujących mediów eksploatacyjnych: 1) paliwo lotnicze Jeta A-1, 2) olej napędowy, 3) smar lotniczy G-395, 4) olej hydrauliczny Aero Shell Fluid 41, 5) olej smarowy Nycolub 7870. W niniejszej publikacji przedstawione zostaną tylko wyniki badań betonu na ściskanie, dla różnych okresów oddziaływania tych mediów.

6.1. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie wyjściowych (referencyjnych) składów betonów

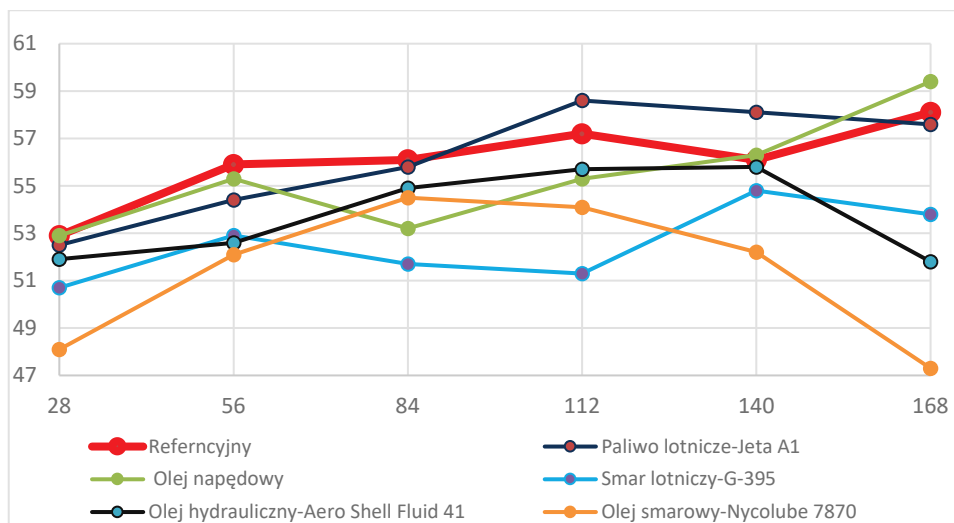
Uzyskane wyniki badań wytrzymałościowych dla obu rodzajów betonów kl. C30/37 przechowywanych w warunkach normalnych (powietrzno suchych) zestawiono w tab. 3. Wyniki opracowano dla sześćelementowej serii próbek o wym. 15x15x15 cm.

Tabela 3

Wyniki badań wytrzymałościowych dla obu rodzajów betonów kl. C30/37

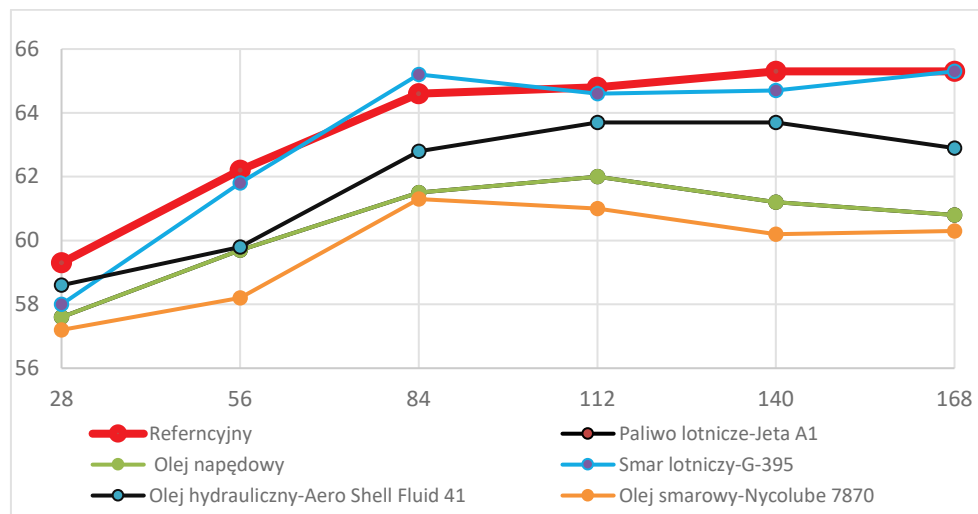
Beton cementowy kl. C30/37 z kruszywem							
Bazaltowym				Granitowym			
Okres dojrzewania betonu [dni]	Wielkość powierzchni próbki [cm ²]	Średnia siła niszcząca [kN]	Średnie naprężenie [MPa]	Odchylenie standardowe	Średnia siła niszcząca [kN]	Średnie naprężenie [MPa]	Odchylenie standardowe
28	22590	1196,1	52,9	2,6	1332,5	59,3	2,1
56	22392	1263,0	55,9	1,3	1397,0	62,2	1,1
84	22473	1266,3	56,1	1,8	1453,3	64,6	1,3
112	22568	1294,7	57,2	2,5	1454,3	64,8	1,5
140	225538	1268,2	56,1	1,5	1470,2	65,3	1,2
168	22389	1372,9	58,1	2,9	1470,9	65,3	1,4

Graficzną ilustrację uzyskanych wyników badań wytrzymałościowych przedstawiono na rys. 1a i 1b. Uzyskane wyniki odniesiono do betonu referencyjnego. Na rys. 1a zaprezentowano wykres wytrzymałości betonu wykonanego z kruszywem bazaltowym.



Rys. 1a. Wyniki badań wytrzymałości betonu kl. C30/37 z kruszywem bazaltowym dla sześciu terminów badań, tj. 28, 56, 84, 112, 140 i 168 dni

Odporownie wyniki dla betonu wykonanego z kruszywem granitowym, w identycznych terminach badań, w przedstawiono na rys. 1b.



Rys. 1b. Wyniki badań wytrzymałości betonu kl. C30/37 z kruszywem granitowym

Liczbowe wielkości uzyskanych wyników badań wytrzymałościowych dla pozostałych mediów eksploatacyjnych zestawiono w tab. 4–8.

Tabela 4

Wyniki wytrzymałości na ściskanie betonu poddanego działaniu paliwa lotniczego Jeta A-1

Rodzaj betonu kl. C30/37 z kruszywem							
Bazaltowym				Granitowym			
Okres dojrzewania betonu [dni]	Wielkość powierzchni próbki [cm ²]	Średnia siła niszcząca [kN]	Średnie naprężenie [MPa]	Odchylenie standardowe	Średnia siła niszcząca [kN]	Średnie naprężenie [MPa]	Odchylenie standardowe
28	22605	1180,4	52,5	2,5	1294,0	57,6	1,6
56	22644	1183,9	54,4	2,5	1340,1	59,7	1,1
84	22660	1264,9	55,8	1,1	1376,7	61,5	1,2
112	22569	1321,8	58,6	2,8	1389,1	62,0	1,2
140	22651	1314,2	58,1	1,1	1374,7	61,2	1,9
168	226342	1304,0	57,6	1,8	1371,3	60,8	1,2

Tabela 5

Wyniki wytrzymałości na ściskanie betonu poddanego działaniu oleju napędowego

Rodzaj betonu kl. C30/37 z kruszywem							
Bazaltowym				Granitowym			
Okres dojrzewania betonu [dni]	Wielkość powierzchni próbki [cm ²]	Średnia siła niszcząca [kN]	Średnie naprężenie [MPa]	Odchylenie standardowe	Średnia siła niszcząca [kN]	Średnie naprężenie [MPa]	Odchylenie standardowe
28	22605	1180,0	52,9	2,1	1294,0	57,6	1,6
56	22644	1183,0	55,3	1,4	1340,1	59,7	1,1
84	22660	1264,9	53,2	2,7	1376,7	61,5	1,2
112	22569	1321,8	55,3	1,8	1389,1	62,0	1,2
140	22651	1314,2	56,3	2,7	1374,7	61,2	1,9
168	22634	1304,0	59,4	1,6	1371,3	60,8	1,2

Tabela 6

Wyniki wytrzymałości na ściskanie betonu poddanego działaniu smaru lotniczego G-395

Rodzaj betonu kl. C30/37 z kruszywem							
Bazaltowym					Granitowym		
Okres dojrzewania betonu [dni]	Wielkość powierzchni próbki [cm ²]	Średnia siła niszcząca [kN]	Średnie naprężenie [MPa]	Odchylenie standardowe	Średnia siła niszcząca [kN]	Średnie naprężenie [MPa]	Odchylenie standardowe
28	22578	1180,4	50,7	1,4	1298,1	58,0	1,5
56	22450	1188,7	52,9	1,7	1388,1	61,8	1,5
84	22530	1168,0	51,7	1,3	1464,8	65,2	1,4
112	22577	1159,2	51,3	1,7	1449,2	64,6	1,5
140	22570	1237,6	54,8	1,5	1453,2	64,7	1,3
168	22607	1216,1	53,8	1,4	1467,3	65,3	1,6

Tabela 7

Wyniki wytrzymałości na ściskanie betonu poddanego działaniu oleju hydraulicznego Aero Shell Fluid 41

Rodzaj betonu kl. C30/37 z kruszywem							
Bazaltowym					Granitowym		
Okres dojrzewania betonu [dni]	Wielkość powierzchni próbki [cm ²]	Średnia siła niszcząca [kN]	Średnie naprężenie [MPa]	Odchylenie standardowe	Średnia siła niszcząca [kN]	Średnie naprężenie [MPa]	Odchylenie standardowe
28	22590	1173,5	51,9	2,6	1317,8	58,6	1,2
56	22504	1184,4	52,6	1,3	1342,1	59,8	1,8
84	22473	1232,6	54,9	1,8	1410,4	62,8	1,6
112	22568	1257,2	55,7	2,5	1433,7	63,7	1,7
140	22553	1258,9	55,8	1,5	1431,2	63,7	1,9
168	22389	1159,0	51,8	2,9	1415,1	62,9	1,8

Tabela 8

Wyniki wytrzymałości na ściskanie betonu poddanego działaniu oleju smarowego Nycolube 7870

Rodzaj betonu kl. C30/37 z kruszywem							
Bazaltowym					Granitowym		
Okres dojrzewania betonu [dni]	Wielkość powierzchni próbki [cm ²]	Średnia siła niszcząca [kN]	Średnie naprężenie [MPa]	Odchylenie standardowe	Średnia siła niszcząca [kN]	Średnie naprężenie [MPa]	Odchylenie standardowe
28	22464	1080,4	48,1	2,8	1288,1	57,2	0,8
56	22695	1183,3	52,1	2,1	1324,7	58,2	1,5
84	22585	1230,6	54,5	2,2	1377,1	61,3	1,5
112	22581	1220,6	54,1	2,3	1367,3	61,0	2,1
140	22553	1191,3	52,2	3,8	1350,9	60,2	1,4
168	22539	1068,0	47,3	2,0	1360,2	60,3	1,8

7. Omówienie wyników badań

W publikacji przedstawiono wyniki badań odniesionych do wytrzymałości betonu na ściskanie. Inne zanotowane w procesie badawczym wyniki zostaną opublikowane w kolejnej publikacji. Otrzymane średnie wyniki wytrzymałościowe na ściskanie dla betonów wykonanych z kruszywem bazaltowym i granitowym porównano z betonem referencyjnym. Do opracowania wyników badań wykorzystano analizę statystyczną t-Studenta.

a) **Próbki betonu poddane działaniu paliwa lotniczego Jeta A-1**

- **wykonane z betonu cementowego z kruszywem bazaltowym** – charakteryzowały się zróżnicowaną wytrzymałością na ściskanie w stosunku do betonu referencyjnego (kontrolnego). Po okresie 28 dni oddziaływania tego medium nastąpił nieznaczny wzrost wytrzymałości betonu na ściskanie (o 0,2%). W kolejnych etapach badań stwierdzono obniżenie wytrzymałości, które wynosiło odpowiednio: 1,6% (po 56 dniach), 0,5% (po 84 i 112 dniach), 1,5% (po 140 dniach) i 3,0% (po 168 dniach), i uzyskano je dla każdego z okresów badawczych przewidzianych w programie;
- **wykonane z betonu cementowego z kruszywem granitowym** – podobnie jak dla betonu wykonanego z kruszywem bazaltowym po 28 dniach dla tego betonu stwierdzono nieznaczny wzrost wytrzymałości na ściskanie, na poziomie 0,3%.

W pozostałych terminach badań stwierdzono obniżenie się tej wytrzymałości odpowiednio o: 0,8% (po 56 dniach), 0,5% (po 84 dniach), 0,8% (po 112 dniach), 2,2% (po 140 dniach) i 3,4% (po 168 dniach).

b) Próbki betonu poddane działaniu oleju napędowego

- **wykonane z betonu cementowego z kruszywem bazaltowym** – analiza statystyczna wykazała brak istotnych różnic pomiędzy wynikami dla każdego terminu badawczego, gdyż $p \geq 0,05$ m. W terminie 28 dni wytrzymałość tego betonu była równa wytrzymałości próbek betonu kontrolnego. Pozostałe wyniki wykazały obniżenie wytrzymałości o 5,6% (po 84 dniach) i o 3,3% (po 112 dniach) oraz zwiększenie wytrzymałości w stosunku do betonu kontrolnego odpowiednio o: 0,4% (po 140 dniach) i 1,2% (po 168 dniach).
- **wykonane z betonu cementowego z kruszywem granitowym** – otrzymane średnie wyniki wytrzymałości na ściskanie dla tych próbek wykazały obniżenie wytrzymałości odpowiednio o: 1,4% (po 28 dniach), 1,0% (po 56 dniach), 1,9% (po 84 dniach), 2,4% (po 112 dniach), 2,8% (po 140 dniach) i 30% (po 168 dniach).

c) Próbki betonu poddane działaniu smaru lotniczego G-395

- **wykonane z betonu cementowego z kruszywem bazaltowym** – analiza statystyczna przeprowadzona dla betonu kontrolnego i betonu poddanego działaniom smaru G-395 wykazała, że obniżenie wytrzymałości w stosunku do betonu kontrolnego wynosi odpowiednio: 2,1% (po 28 dniach), 1,7% (po 56 dniach), 4,9% (po 84 dniach), 8,0% (po 112 dniach), 2,8% (po 140 dniach) i 3,0% (po 168 dniach).
- **wykonane z betonu cementowego z kruszywem granitowym** – uzyskane średnie wytrzymałości betonu poddanego działaniu tego medium wykazały, że redukcja wytrzymałości w stosunku do betonu kontrolnego wynosi odpowiednio o: 0,3% (po 28 i 140 dniach), 0,8% (po 56 dniach). Po 84 dniach nastąpił wzrost wytrzymałości o 1,7%, po 112 dniach o 9,3%. Po 168 dniach zmian wytrzymałości betonu nie zarejestrowano.

d) Próbki betonu poddane działaniu oleju Aero Shell Fluid 41

- **wykonane z betonu cementowego z kruszywem bazaltowym** – charakteryzowały się obniżeniem wytrzymałości na ściskanie w stosunku do betonu referencyjnego (kontrolnego) w każdym z terminów badań. Analiza statystyczna z wykorzystaniem testu t-Studenta, przy prawdopodobieństwie $p \leq 0,05$, wykazała, że występujące różnice wynoszą odpowiednio: 2,4% po 28 dniach, 3,8% po 56 dniach, 2,7% po 84 dniach, 4,9% po 112 dniach, 7,0% po 140 dniach i 12,3% po 168 dniach.
- **wykonane z betonu cementowego z kruszywem granitowym** – zachowując przytoczone wyżej zasady statystyczne, stwierdzono, że obniżenie wytrzymałości betonu na ściskanie w stosunku do betonu referencyjnego miało miejsce w każdym z okresów badawczych przewidzianych programem badań, i tak: po 28 dniach

ubytek wytrzymałości wynosił 1,2%, po 56 dniach 3,8%, po 84 dniach 2,8%, po 112 dniach 1,7%, po 140 dniach 2,4% i 3,7% po 168 dniach.

e) **Próbki betonu poddane działaniu oleju smarowego Nycolub 7870**

- **wykonane z betonu cementowego z kruszywem bazaltowym** – beton kontrolny charakteryzował się wyższą wytrzymałością na ściskanie w stosunku do betonu poddanego działaniu mediów eksploatacyjnych dla każdego okresu badawczego. Analiza statystyczna wykazała istotne różnice pomiędzy wynikami we wszystkich okresach badawczych dla $p \leq 0,05$. Różnice te wynosiły odpowiednio: 7,5% po 28 dniach, 4,9% po 56 dniach, 3,7% po 84 dniach, 8,8% po 112 dniach, 11,2% po 140 dniach i 21,7% po 168 dniach.
- **wykonane z betonu cementowego z kruszywem granitowym** – beton kontrolny charakteryzował się wyższą wytrzymałością na ściskanie w stosunku do betonu poddanego działaniu mediów eksploatacyjnych dla każdego okresu badawczego. Analiza statystyczna wykazała istotne różnice pomiędzy wynikami we wszystkich okresach badawczych, dla $p \leq 0,05$. Różnice wynosiły odpowiednio: 2,4% po 28 dniach, 4,6% po 56 dniach, 4,5% po 84 dniach, 4,8% po 112 dniach i 7,2% po 168 dniach.

Graficzną wizualizację otrzymanych wyników dla dwóch rodzajów betonu (bazaltowego i granitowego) stanowią wykresy przedstawione na rys. 1a i 1b.

8. Podsumowanie i wnioski

W publikacji przedstawiono wybrane media eksploatacyjne oddziałujące na lotniskowy beton nawierzchniowy, tj.: paliwo lotnicze Jeta A-1, olej napędowy, smar lotniczy G-395, olej Aero Shell Fluid 41 oraz olej smarowy Nycolube 7870. Dla podanych klas i rodzajów betonu nawierzchniowego będącego pod wpływem działania tych środków określono wytrzymałość na ściskanie. Mając na uwadze potrzebę zwiększenia możliwości wnioskowania o tych oddziaływaniach, w programie badawczym wprowadzono nowe, dodatkowe terminy badań, których nie przewiduje obecnie obowiązująca norma [11]. Dodatkowe terminy badań pozwoliły na rozszerzenie informacji o charakterze oddziaływania tych środków i ocenę ich skutków w aspekcie trwałości betonu i bezpieczeństwa ruchu po tych nawierzchniach. Dodatkowe terminy badania betonu na działanie tych środków to po: 56, 84, 112, 140 i 168 dniach oddziaływania. Uzyskane informacje mogą stanowić podstawę do przygotowania w tym zakresie stosownych zaleceń eksploatacyjnych. Uogólniając spostrzeżenia z badań, należy stwierdzić, że wykorzystane w procesie badawczym media eksploatacyjne wskazują na negatywny ich wpływ na wytrzymałość betonu wykonanego zarówno z kruszywem bazaltowym, jak i granitowym. Należy jednak zaznaczyć, że beton wykonany z kruszywem bazaltowym wykazuje wyższe obniżenie wytrzymałości na ściskanie w porównaniu z betonem wykonanym z kruszywem granitowym. Obniżenie tej wytrzymałości dotyczy każdego okresu kontrolnego.

W niniejszej publikacji przedstawiono tylko wybrane aspekty zrealizowanego programu badawczego. Inne badania dotyczące tej problematyki betonów nawierzchniowych będą przedmiotem kolejnej publikacji.

9. Literatura

1. Attom M., Hawileh R., Naser M.: Investigation on concrete compressive strength mixed with sand contaminated by crude oil products. *Construction and Building Materials*, No. 47, 99-103, 2013.
2. Bastian S.: Odporność betonu na oleje impregnacyjne. *Cement – Wapno – Gips*, nr 7-8, 204-211, 1960.
3. Blankenhorn P.R., Baileys R.T., Gowen D., Kline D., Cady P.D.: The effects of linseed oil on the compressive strength of concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 8, No. 4, 513-516, 1978.
4. Hironaka M.C., Malvar L.J.: Jet Exhaust Damaged Concrete. *Concrete International*, Vol. 20, No.10, 32-35, 1998.
5. Ksit B.: Wpływ zmiany masy i wytrzymałości zaolejonych betonów drogowych. *Materiały budowlane* nr 12, 62-63, 2004.
6. NO-17-A204:2015. Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań. Ministerstwo Obrony Narodowej, 2015.
7. Osuji S.O., Nwankwo E.: Effect of crude oil contamination on the compressive strength of concrete. *Nigerian Journal of Technology*, Vol 34, No .2. 269 – 265, 2015.
8. PN-EN 12390-2:2011. Badanie betonu. Wykonanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych.
9. Sharabadi H., Vafaei D.: Effect of kerosene impacted sand on compressive strength in different exposure conditions. *Journal Materials and Environmental Science*, No 65, vol 9, 2665-2672, 2015.
10. Watson A.J., Oyeka C.C.: Oil permeability of hardened cement pastes and concrete. *Magazine of Concrete Research*, Vol 33, No.115, 85-95, 1981.
11. Żebrowski W.: Wpływ mediów wykorzystywanych w eksploatacji statków powietrznych na parametry stwardniałego betonu nawierzchniowego i jego trwałość. Rozprawa doktorska, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2019.