

Dr hab. inż. Janusz Mierzwa

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Żebrowskiego pt.: „Wpływ mediów wykorzystywanych w eksploatacji statków powietrznych na parametry stwardniałego betonu nawierzchniowego i jego trwałość” opracowana na podstawie Uchwały Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej z dnia 10 kwietnia 2019 roku.

1. Charakterystyka pracy

Recenzowana dysertacja doktorska obejmuje 145 stron. Treść pracy podzielona została na 7 rozdziałów oraz spis literatury obejmujący 102 pozycje, w tym około 50% anglojęzycznych i wykaz norm bezpośrednio związanych z tematyką pracy.

Drugą częścią pracy jest obejmujący 217 stron załącznik, w którym autor zamieścił szczegółowe dane materiałów zastosowanych w swoich badaniach oraz szczegółowe wyniki badań właściwości fizykomechanicznych betonów, uzyskane w zrealizowanym programie badawczym. Załącznik zawiera również bardzo obszerną dokumentację strukturalnych badań betonów.

W pierwszych rozdziałach pracy po krótkim wprowadzeniu przedstawione zostały tezy pracy oraz cel jej podjęcia. Jest nim określenie skutków szkodliwego oddziaływania na trwałość betonu nawierzchni lotniskowych niektórych mediów stosowanych przy eksploatacji statków powietrznych i jednostek obsługi naziemnej. Ze względu na bezpieczeństwo ruchu statków powietrznych podjęty problem oprócz naukowego ma zatem istotne znaczenie praktyczne.

W przedstawionym studium stanu badań dotychczasowych, autor omówił szczegółowo specyfikę oddziaływań na nawierzchnie lotniskowe, których beton poddawany jest: gwałtownym quasi udarowym obciążeniom dynamicznym, obciążeniom termicznym o bardzo wysokiej amplitudzie zmian, obciążeniom klimatycznym czy też działaniu chemicznych środków zimowego utrzymania nawierzchni.

Zaakcentowanie tego ma istotne znaczenie dla uzasadnienia nie tylko celowości pracy i dalszego ukierunkowania programu badań, lecz również ze względu na

konieczność nieco odmiennego podejścia do interpretacji wyników badań prezentowanych w literaturze zagranicznej (zresztą dość skromnej) oraz literaturze badań krajowych.

W dalszej części pracy przedstawiony został program badań własnych, w ramach którego w pierwszym etapie dokonano:

- wyboru i szerokiego omówienia właściwości fizykochemicznych 5-ciu reprezentatywnych mediów płynnych, które w warunkach lotnisk mogą oddziaływać na beton płyty,
- charakterystyki składników, składu i właściwości betonów zastosowanych w badaniach,
- wytypowania metod badań właściwości betonów, które autor uznał jako główne cechy diagnostyczne, decydujące o trwałości betonów nawierzchni lotniskowych poddanych działaniu lotniczych mediów paliwowych i olejowych.

Zasadniczą część pracy stanowią wyniki badań poszczególnych cech takich jak: podciąganie kapilarne, nasiąkliwość, gęstość, wytrzymałość na ściskanie, rozciąganie i zginanie oraz odporność na łuszczenie i przyczepność serii betonów wykonanych na kruszywie bazaltowym i granitowym, porównawczych i poddawanych działaniu wytypowanych paliw i olejów lotniczych w przedziale czasu do około 6-ciu miesięcy (168 dni).

Te obszernie wyniki badań w poszczególnych seriach, dla zapewnienia jednoznaczności wnioskowania były sprawdzane testami istotności t-Studenta oraz testami LSD Fishera.

Trudną interpretację przyczyn szkodliwego oddziaływania płynnych substancji węglowodorowych na beton autor przeprowadził wykorzystując w bardzo szerokim zakresie badania mikrostruktury betonów za pomocą elektronowej mikroskopii skaningowej z detektorem EDS.

Wykonanych kilkadziesiąt obrazów poszczególnych stref mikrostruktury aż do powiększeń rzędu 10000 razy pozwoliło na jakościowe i w pewnym zakresie również i ilościowe podbudowanie przejętych przez autora wniosków. Syntetyczne wnioski końcowe zamykające pracę potwierdziły trafność przyjętych przez autora na wstępie głównych tez pracy, a w zamieszczonym końcowym rozdziale wskazane zostały kierunki badań dalszych.

2. Merytoryczna ocena pracy

Ogólnie biorąc tematyka oddziaływania na beton substancji węglowodorowych należy do problemów trudnych i szczególnie złożonych, których dotychczasowe próby rozwiązania dały z naukowego (a po części i technicznego) punktu widzenia niejednoznaczne a niekiedy wręcz rozbieżne wyniki. Wskazują na to choćby publikowane wyniki badań betonów zaolejonych wykazujące przy zbliżonym czasie oddziaływania w jednych przypadkach spadki wytrzymałości nawet do 40%, natomiast w innych ich brak, a nawet niewielkie korzystne przyrosty.

W odniesieniu do betonów nawierzchni lotniskowych poddanych działaniu ciekłych mediów węglowodorowych w publikacjach zagranicznych notowane są pojedyncze pozycje, natomiast w krajowych praktycznie ich brak.

Biorąc pod uwagę ewentualność olejowej destrukcji betonu nawierzchni lotnisk jej rezultaty mogą okazać się groźne dla bezpieczeństwa ruchu statków powietrznych, zatem również z tego względu podjęcie tego tematu przez doktoranta uznać należy jako w pełni uzasadnione.

Kierując się zaleceniami normy N0-17-A204 dla betonowych nawierzchni lotniczych doktorant wykonał betony z kruszywem bazaltowym i granitowym o wytrzymałościach na ściskanie 50÷60MPa ($W/C=0,4$) napowietrzonych na poziomie 4÷5% oraz zastosował jako reprezentatywne media ciekłe o lepkościach kinematycznych ok 2 do 13 mm²/s o minimalnej zawartości związków siarki i minimalnej liczbie kwasowej ($KOH/g < 0,2$).

W badaniach publikacji krajowych zastosowano oleje o lepkościach kinematycznych około 100 do około 400 mm²/s, natomiast badane betony obiektów przemysłowych miały wytrzymałość od ok 17,5 (K. Grabiec) do około 30MPa (T. Błaszczński) i podlegały oddziaływaniom olejów w zupełnie innych od lotniskowych warunkach projekcji.

Jako główne przyczyny zmian destrukcyjnych betonów zaolejonych T. Błaszczński przyjmuje następujące: lepkość, liczbę kwasową KOH/g , zawartość związków siarki oraz tzw. smarność ściśle związaną z polarnością. Natomiast zagadnienie porowatości struktury badanych betonów wiązane jest tutaj raczej z ich wytrzymałością na ściskanie.

Jeżeli zatem zasadniczym czynnikiem warunkującym powstanie zmian destrukcyjnych w betonie jest przede wszystkim określona formacja jego struktury

porowatości, a z drugiej wnikiwość substancji płynnej określana pośrednio jako lepkość, to różnice pomiędzy obydwoma parametrami w badaniach wyżej wymienionych, a właściwościami mediów płynnych i strukturą porowatości betonów zastosowanych w pracy doktorskiej są zasadnicze. Słusznie zatem doktorant w swej pracy skoncentrował się na interpretacji strukturalnej pomijając wątek destrukcji fizykochemicznej.

Założenie w programie pracy doktorskiej oceny trwałości betonu nawierzchni poddanego działaniu lotniczych mediów węglowodorowych i wykonanie badań betonów takich jak: nasiąkliwość, kapilarność, wytrzymałość na ściskanie, rozciąganie czy złuszczenie mrozowe, wytrzymałość na odrywanie w zasadzie zamyka kompletność cech odpowiedzialnych za bezpieczne długoczasowe użytkowanie, które syntetycznym mianem jest trwałość.

Przyjęty w badaniach czas obserwacji zmian zamykał się maksymalnie w okresie 168 dni, to jest prawie 6-ciu miesięcy. W przypadku stawiania prognozy ocen trwałości sięgającej wielu lat eksploatacji zachodzi obawa czy nie jest to czas zbyt krótki.

Przekonywującym argumentem przemawiającym za wystarczalnością okresu 6-cio miesięcznego jest zdecydowana większość wyników, których rezultaty końcowe mają charakter asymptotycznie zbieżny do wartości wyników ostatnich. Zachodzi jednak obawa że w przypadku kilku wyników badań mediów brak stwierdzonej stabilizacji nie pozwala na jednoznaczne określenie wartości granicznych przez co może prowadzić do późniejszej błędnej ilościowej oceny ich wpływu. W tych przypadkach wskazane było raczej odpowiednie wydłużenie czasu badania.

Eliminując w ocenie rezultatów możliwość popełnienia błędu, uzyskane serie wyników autor każdorazowo weryfikował przy pomocy statystycznych testów istotności hipotez t-Studenta i testem LSD Fishera. Dowodzi to wysokiej dbałości o trafność i wiarygodność wnioskowania oraz potwierdza dobre przygotowanie i rzetelność doktoranta.

Bardzo znaczącą część pracy stanowią wyniki badań strukturalnych wykonanych przy użyciu elektronowego mikroskopu skaningowego z mikrosondą EDF. Ilość obrazów struktury podana w pracy stanowi prawie 1/3 jej objętości, natomiast w załączniku obejmuje aż 340 obrazów o powiększeniach od kilkuset do ponad 10000-czo krotnych.

W wyniku analizy obserwowanych obrazów mikrostruktury wskazano w pracy na pewną odmienność morfologii produktów hydratacji w betonach poddanych działaniu substancji węglowodorowych.

W stosunku do betonu porównawczego głównie polega^{ona} na:

- pewnym zwiększeniu porowatości strefy kontaktowej zaczyn-kruszywo,
- większej ilości mikro spękań pod działaniem niektórych olejów, czy też na występowaniu lokalnie bardziej rozbudowanych formacji kryształów ettryngitu.

Te spostrzeżenia wskazujące raczej na fizyczne skutki wnikania substancji oleistych nie potwierdzają jednak bezpośredniej obecności cząstek substancji węglowodorowych w matrycy. Oczywiście mikroskopowe narzędzie badawcze stwarza przede wszystkim możliwość oceny jakościowej. Zastosowany jednak mikroskop skaningowy posiadał detektor EDF, który pozwalał określić na obrazach przybliżony udział procentowy pierwiastków budujących materiał w określonym punkcie mikrostruktury.

Autor przytacza te składy ilościowe, natomiast umknęło jego uwadze, że w seriach próbek, zwłaszcza betonów na kruszywie bazaltowym poddanych działaniu mediów węglowodorowych występują znaczne ilości pierwiastka węgla. Ilości te są jednoznacznie większe od występujących w przypadku próbek betonów na kruszywie granitowym.

W próbkach betonów porównawczych węgiel pojawia się w ilościach śladowych (do kilku procent). Być może w wyniku procesu preparowania próbki lub specyfiki warunków badania mógł on wystąpić. Natomiast w czystym zaczynie zastosowanego cementu nie powinno go być w ogóle.

Wyniki te mogą być ważnym ilościowym dowodem poziomu wniknięcia molekuł zastosowanych w badaniach substancji węglowodorowych. Wyniki badania detektorem EDF stwarzają możliwość punktowego wniknięcia w mikrostrukturę, np. strefy kontaktowej zaczyn-kruszywo. Daje to więc możliwość bardziej ścisłego wnioskowania o przyczynach destrukcyjnego lub tylko hamującego dynamikę rozwoju wytrzymałości skutku oddziaływania na beton. Zostało to mniej docenione w interpretacjach przez doktoranta.

Słabiej też został wyartykułowany nasuwający się, w analizie cenny i po stronie naukowej i dla zastosowań praktycznych, wniosek, że na tle dotychczasowych wyników badań betonów o niskich wytrzymałościach poddanych działaniom wysokolepkich płynów węglowodorowych, w przypadku betonów lotniskowych

charakteryzujących się wysoką wytrzymałością (50 ± 60 MPa, $w/c \leq 0,4$) dominującym, jeśli nie decydującym, parametrem po stronie medium olejowego jest lepkość kinematyczna, której niski poziom (np. rzędu kilku do kilkunastu mm^2/s) powoduje niskie efekty destrukcji (np. rzędu do 10%) i krótki okres stabilizacji oddziaływania (np. ok 6 miesięcy).

Oceniając ogólnie pracę doktorską mgr inż. Wojciecha Żebrowskiego na podkreślenie zasługuje wysoka umiejętność organizacji programu badań i jego realizacji, umiejętność bardzo starannego i rzetelnego dokumentowania wyników badań oraz cenna w badaniach umiejętność potwierdzenia wysokiej wiarygodności i obiektywności wnioskowania, np. przy pomocy statystycznych testów istotności hipotez.

Naukową wartość pracy znacząco podnosi sięgnięcie przez doktoranta w bardzo szerokim zakresie interpretacji po najbardziej nowoczesny aparat analityczny jakim jest elektronowa mikroskopia skaningowa. Natomiast dodatkową zaletą pracy, co bardzo istotne w warunkach technicznych jest również szeroki zakres możliwości aplikacji wyników badań wykonanych w pracy doktorskiej.

3. Uwagi krytyczne

W trakcie zapoznania się z treścią pracy nasunęły mi się następujące krytyczne uwagi:

- 3.1. W kilku miejscach pracy (rozdział 3.) wprowadzono niepotrzebnie szeroko rozbudowany opis metodyki realizowanych badań. Szczegółowe ich procedury znajdują się w załączonym po wykazie literatury spisie wykorzystywanych norm PN-EN. Wystarczyło się tylko na nie powołać.
- 3.2. Rozdział „5.1.4. Gęstość objętościowa” wobec wcześniejszego bardzo ważnego rozdziału „5.1.1. Nasiąkliwość” i osiągniętych tam wartości rzędu 0.5% oraz co istotne wyznaczonej dynamiki przebiegu procesu wnikania substancji olejowych, wydaje się zbędny jako wnoszący informacje uprzednio ustalone i przez to oczywiste.
- 3.3. Beton płyty lotniska w obecnych warunkach eksploatacji poddawany jest również krótkotrwałym lecz bardzo agresywnie działającym strumieniom gazów pochodzących od silników turbo-odrzutowych. Temperatura betonu przy powierzchni może wówczas osiągać zakres 150° do 200°C . Taki jej poziom

może bardzo znacząco wpłynąć na szczególnie temperaturowo wrażliwe właściwości olejów, które wniknęły w beton płyty. W pracy brak jeśli nie badawczego to przynajmniej krótkiego interpretacyjnego ustosunkowania się do tego problemu.

- 3.4. Jeżeli tak istotnym środowiskiem wnikania olejów jest porowatość betonów, wówczas bardzo pomocnym przy ocenie i analizie mogłyby okazać się rezultaty badań poryzymetrycznych, a zwłaszcza wyznaczane dzięki temu dominujące wymiary i rozkłady mikroporowatości struktury. Wyniki te mogłyby być istotnym elementem wspomagającym interpretację badań.
- 3.5. Wyniki badań, a zwłaszcza podane w pracy ilościowe przebiegi zmian, takich procesów jak np. nasiąkliwość, czy redukcja wytrzymałości stwarzają możliwość aproksymacji modeli analitycznych ze zmiennymi mającymi konkretną liczbową interpretację fizyczną. Szkoda, że doktorant nie pokusił się o takie działanie wykorzystując np. funkcję asymptotyczne typu Glenville'a. Określenie takich zależności, pomijające już mocny akcent podejścia naukowego daje duże korzyści techniczne jako narzędzie działań optymalizacyjnych.

4. Wnioski recenzji

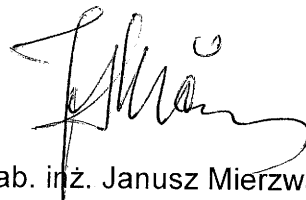
Podjęty przez doktoranta temat, jak zaznaczono na wstępie uznać należy za trudny. Przy jego rozwiązaniu autor wykazał dobre przygotowanie merytoryczne, właściwą znajomość literatury przedmiotu, dobrą umiejętność organizowania i realizowania szerokiego programu badań, znajomość statystyki matematycznej jako narzędzia rzetelnej interpretacji wyników badań oraz stosowania najnowocześniejszych metod analizy obrazowej i trafnej interpretacji wyników badań.

Trudny pod względem naukowym problem skutków oddziaływania płynnych substancji węglowodorowych, specyficznych dla warunków eksploatacji statków powietrznych na wysokiej jakości beton nawierzchni lotnisk charakteryzujący się wysoką wytrzymałością i szczelnością struktury oraz rozwiązane w recenzowanej pracy doktorskiej trudne problemy badawcze na tle innych dotychczasowych badań dotyczących betonów konstrukcji przemysłowych o niskiej i średniej wytrzymałości poddanych działaniu olejów całkowicie odmienną klasy uznać należy w rozumieniu niżej przywołanej ustawy jako w pełni oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Uwagi krytyczne podane w pkt. 3. należy rozpatrywać w szerszym kontekście, a szczególnie z uwzględnieniem wysokiej skali trudności podejmowanego problemu co przy ograniczonych z natury rzeczy ramach każdej pracy doktorskiej nie powinno umniejszać jej wartości.

Potwierdzona w pracy wiedza oraz wykazane umiejętności do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej spełniają warunki określone w Ustawie o stopniach i tytułach naukowych.

Reasumując powyższe stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji praca doktorska mgr inż. Wojciecha Żebrowskiego p.t. „Wpływ w eksploatacji statków powietrznych na parametry stwardniałego betonu nawierzchniowego i jego trwałość” spełnia warunki Ustawy z 14.03.2003 Dz. U. nr 1852 o stopniach naukowych i tytule naukowym w związku z czym wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej rozprawy.



Dr hab. inż. Janusz Mierzwa

Kraków 27.05.2019.