

Opinia o rozprawie doktorskiej mgr inż. Alaa Al-Saedi pt.: Flexible Procedure for Ready Mix Concrete Production, Delivery, and Placement in Different Environmental Conditions by Monitoring and Learning.

1. Wprowadzenie

Przedmiotem opinii jest rozprawa doktorska mgr inż. Alaa Al-Saedi pt. "Flexible Procedure for Ready Mix Concrete Production, Delivery, and Placement in Different Environmental Conditions by Monitoring and Learning". Jej promotorem jest dr hab. inż. Jerzy Paślawski, prof. PP, uznany specjalista w zakresie inżynierii procesów budowlanych i technologii betonu. Opinia została opracowana zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej z dnia 5.03.2024 wyznaczającej mnie na recenzenta w przewodzie doktorskim p. mgr. inż. Alaa Al-Saedi, na podstawie umowy nr 0410/2024/64.

2. Ocena zasadności i istotności podjętej tematyki

Rozprawa doktorska mgr inż. Alaa Al-Saedi dotyczy problematyki inżynierii procesów budowlanych. Dotyczy ogólnie technologii i organizacji produkcji i wykonania betonu towarowego w zmiennych warunkach technologicznych i środowiskowych (w szczególności w warunkach charakteryzujących się znacznymi wahaniami temperatury). W takiej sytuacji uzyskanie betonu o założonych właściwościach (oczekiwanej jakości) wymaga elastycznego reagowania poprzez odpowiednie modyfikacje jego składu i/lub dobór odpowiednich procedur jego produkcji i wykonania. Pomimo dużej wiedzy teoretycznej i praktycznej w zakresie technologii betonu, wybór optymalnej procedury przy dużej zmienności warunków otoczenia wciąż pozostaje trudnym problemem decyzyjnym. Pożądane jest więc stosowanie systemu wspomagającego taką decyzję. System taki, oprócz uwzględnienia ogólnych wymagań i zaleceń wynikających z norm i instrukcji, powinien korzystać z bazy danych o efektach stosowania różnych rozwiązań materiałowych i technologicznych w różnych warunkach wykonania konstrukcji betonowej. W celu wypracowania optymalnych w danym momencie działań konieczne jest również wykorzystanie monitoringu warunków w wytwórni i na budowie. System powinien mieć również możliwość stałego uzupełniania bazy danych, a więc możliwość uczenia się. W pracy Doktorant zaproponował system doradczy bazujący na nauce z przykładów i umożliwiający opracowanie wariantów technologicznych przy produkcji, transporcie i wykonaniu betonu towarowego w różnych warunkach technologicznych i w zależności od specyficznych wymagań względem jego właściwości. Uważam, że Doktorant w swojej pracy podjął się tematyki aktualnej i ważnej, mającej duże znaczenie praktyczne.

3. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa składa się ze streszczenia po polsku i angielsku, wykazu oznaczeń i skrótowców, listy publikacji współautorstwa Doktoranta związanych z tematyką pracy, 9 rozdziałów, bibliografii oraz spisu rysunków i tabel. Rozprawa jest bardzo obszerna i liczy aż 256 stron tekstu podstawowego.

Rozdział 1 – Introduction (Wprowadzenie) - liczy 14 stron i składa się z 8 podrozdziałów. Doktorant najpierw przedstawił w nim przesłanki do podjęcia tematyki doktoratu wskazując na znaczenie zarządzania jakością w produkcji betonu towarowego RMC i określił problematykę doktoratu (podrozdział 1.1). Następnie wskazał najistotniejsze czynniki wpływające na właściwości mieszanki i stwardniałego RMC oraz ogólnie opisał charakter wpływu tych czynników (podrozdział 1.2).

Główne i szczegółowe cele pracy. Doktorant przedstawił w podrozdziale 1.3. Głównym celem jest opracowanie i wdrożenie systemu zarządzania jakością betonu towarowego RMC obejmującego produkcję, transport i wykonanie betonu, uwzględniającego zmienne warunki technologiczne i środowiskowe i pozwalającego na dostosowanie właściwości betonu do wymagań zamawiającego. Zaproponowany system ma bazować na dwóch filarach: (1) stałym monitoringu jakości materiałów, warunków atmosferycznych (temperatury, wilgotności powietrza i prędkości wiatru), czasu procesów produkcji, transportu i układania mieszanki betonowej oraz właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu i tworzeniu systematycznej bazy danych w tym zakresie oraz (2) wykorzystaniu do wspomaganiania decyzji sztucznej sieci neuronowej o zdolności do uczenia się w oparciu o stale uzupełnianą bazę danych jw. W pracy taki system opracowano dla konkretnego producenta betonu towarowego RMC mającego problemy z zapewnieniem jego wymaganej jakości, jednak zastosowane przy tym podejście ma charakter systemowy i elastyczny, dzięki czemu może być stosowane w dowolnych warunkach i przez dowolnego producenta. Osiągnięciu celu głównego ma służyć realizacja celów szczegółowych: (1) opracowanie systemu kontroli jakości w wytwórni betonu SCBP obejmującego właściwości materiałów (cement, kruszywo), warunki środowiskowe (temperatura i wilgotność), właściwości mieszanki betonowej (temperatura, wskaźnik w/c, ilość lodu dodanego do chłodzenia mieszanki, odparowanie wody z mieszanki, ciepło hydratacji), czas transportu i betonowania; (2) opracowanie systemu wyboru dostawcy składników betonu, uwzględniającego obok ogólnych wymagań jakości i kosztów materiałów oraz jakości dostawców specyficzne kryteria dotyczące właściwości materiałów; (3) udoskonalenie systemu produkcji betonu w celu uzyskania mieszanki betonowej i stwardniałego betonu o stabilnych właściwościach w różnych warunkach środowiska; (4) opracowanie systemu kształtowania właściwości mieszanki betonowej w wytwórni adekwatnie do warunków środowiska (temperatury) i wymagań określonych dla placu budowy; (5) opracowanie elastycznych procedur z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej (ANN) w oparciu o dane pozyskane w ramach badań własnych. Podobnie jak cel główny, cele szczegółowe odnoszą się do konkretnego przypadku, jednak mogą mieć zastosowanie ogólne.

Przyjęte cele pracy, tak główny jak i szczegółowe uważam za zasadne. Cele te sformułowano jednak przed przedstawieniem w pracy przeglądu literatury. Doktorant przedstawił bardzo zwięzły przegląd wybranej literatury w tematyce zarządzania jakością produkcji betonu towarowego RMC, procesów wykonania betonu i wykorzystania sztucznej sieci neuronowej dopiero w podrozdziale 1.6. Przegląd ten nie jest zakończony podsumowaniem, które wskazywałoby na konieczność dalszych badań oraz z którego wynikałyby cele doktoratu. Bez wątplenia opracowanie i stosowanie elastycznych procedur produkcji i wykonania betonu jest bardzo pożądane. Pomimo licznych badań i działań, które są w tym zakresie prowadzone na pewno temat ten nie jest zamknięty i wymaga dalszych badań, w tym w zakresie odpowiadającym celom badań sformułowanych przez Doktoranta. Mogę to jednak stwierdzić na bazie własnego doświadczenia. Brak wniosków ze przeglądu stanu wiedzy utrudnia obiektywną ocenę motywacji przyjęcia przez Doktoranta celu, zakresu i metodologii badań własnych i jak postrzega on istotność podjętych badań na tle dotychczasowego stanu wiedzy. Proszę o uzupełnienie tej kwestii w prezentacji pracy podczas obrony.

Zakres pracy Doktorant bardzo zwięźle określił w podrozdziale 1.4. W podrozdziale 1.5 Doktorant sprecyzował, również bardzo zwięźle, przewidywany wkład pracy do stanu wiedzy w zakresie zarządzania i kontroli jakości robotami budowlanymi oraz w zakresie technologii betonu. Uważam, że te podrozdziały można było pominąć, powielają one stwierdzenia z wcześniejszej części pracy, a informacje o zakresie pracy są bardziej szczegółowo podane w podrozdziale 1.8.

W podrozdziale 1.7 Doktorant opisał metodologię badań własnych, przedstawiając ją w sposób ogólny na schemacie na rys. 1.9 (do którego nie ma odniesienia w tekście i który znajduje się w pewnym oddaleniu od podrozdziału 1.7). Rozdział zamyka przedstawiona w podrozdziale 1.8 struktura pracy, podrozdział ten zawiera również szereg informacji dotyczących metodologii badań własnych, których nie przedstawiono w podrozdziale 1.7.

Rozdział 2 – Definitions and concepts (Definicje i określenia)- liczy 14 stron i składa się aż z 18 podrozdziałów. Przedstawione w nim zwięźle podstawowe i powszechnie znane inżynierom definicje i terminy, rozdział ten moim zdaniem można było bez szkody dla pracy pominąć.

Rozdział 3 – Process of production management (Proces zarządzania produkcją) -liczy 13 stron i składa się 9 podrozdziałów. Rozdział ten dotyczy opracowania systemu zarządzania jakością oraz kontroli i zapewniania jakości produkcji, transportu i wykonania betonu towarowego RMC dla przykładowej wytwórni betonu SCBP mającej problem z niską jakością produkowanego w niej betonu. Doktorant przedstawił w nim ogólne informacje o sytuacji producenta betonu, jego potencjale technicznym i kadrowym oraz omówił ogólne założenia systemu zarządzania jakością. Doktorant systematycznie podszedł do zagadnienia identyfikacji krytycznych źródeł problemów z jakością betonu RMC, usunięcie których da najlepsze i najszybsze rezultaty. Stosując diagram Ishikawy do identyfikacji przyczyn niskiej jakości betonu zidentyfikował 7 głównych grup przyczyn (zarządzanie, środowisko, ludzie, dostawcy, sprzęt, finanse, procedury produkcyjne) obejmujących 34 szczegółowe przyczyny. Na bazie monitoringu określił częstość występowania nieprawidłowości (defektów) przy produkcji i wykonaniu betonu towarowego RMC. Posiłkując się analizą FMEA wykazał, że najistotniejsze znaczenie dla jego jakości ma system zarządzania jakością, a dokładniej defekty w jego funkcjonowaniu. Stosując metodę 5 whys określił źródła problemów związanych z nieodpowiednią kontrolą jakości: nierzetelni lub nieznanymi dostawcy, niejasności w specyfikacjach i wymaganiach jakości, błędy w przygotowaniu próbek i opracowaniu wyników badań betonu, niewłaściwa technologia i organizacja dostaw betonu, brak planu szkoleń i rozwoju, złe zarządzanie (brak autorytetu kierownictwa i utrata wykwalifikowanego personelu) oraz brak kontroli kosztów. Następnie Doktorant zaproponował rozwiązanie dla wszystkich stwierdzonych problemów powodujących niską jakość betonu towarowego, opracował ogólny schemat funkcjonowania wytwórni SCBP po wdrożeniu systemów kontroli i zapewniania jakości betonu towarowego oraz schemat kontroli i zapewniania jakości w procesie jego produkcji.

Rozdział 4 - Management of improvements in the RMC production process (Zarządzanie usprawnieniami w procesie produkcji RMC) – liczy 10 stron i składa się 5 podrozdziałów. Doktorant przedstawił w nim kwestie usprawnienia zarządzania interesariuszami w procesie produkcji betonu towarowego RMC oraz wyboru opcji produkcyjnych dla wytwórni betonu SCBP. Doktorant szczegółowo przeanalizował proces zarządzania produkcją betonu w wytwórni, stwierdzając złe zarządzanie interesariuszami, co przyczynia się do problemów z uzyskaniem wymaganej jakości betonu towarowego RMC. Przedstawił więc własną koncepcję zarządzania interesariuszami: (1) zidentyfikował interesariuszy wpływających na jakość produkcji betonu towarowego, (2) zaplanował zarządzanie interesariuszami oraz (3) zarządzanie ich angażowaniem i (4) kontrolę ich zaangażowania. Duży nacisk Doktorant położył na właściwe określenie roli interesariuszy w procesie produkcji betonu towarowego RMC oraz usprawnienie współpracy i komunikacji pomiędzy nimi.

Wytwórnia w której Doktorant usprawniał system zarządzania jakością ma możliwość produkcji różnych rodzajów betonów. Stosując metodę AHP Doktorant wybrał beton towarowy RMC jako ten produkt, dla

którego produkcji wprowadzenie systemu zarządzania jakością ma potencjał do uzyskania najszybszych i najlepszych rezultatów (w świetle 6 kryteriów). Ponieważ jest to decyzja kluczowa dla dalszych działań Doktoranta, proszę w trakcie obrony o wyjaśnienie motywacji stosowania metody AHP. Nie jest ona uważana za metodę obiektywną, często podnosi się jej wrażliwość na preferencje decydenta.

Rozdział 5 - Reduce the raw materials quality variation and best supplier (Zmniejszenie zmienności jakości surowców i [wybór] najlepszego dostawcy) – liczy 40 stron i składa się z 6 podrozdziałów. Doktorant skoncentrował się w nim na: (1) badaniach jakości i zmienności właściwości składników betonu, (2) określeniu wymagań względem właściwości składników, (3) zidentyfikowaniu problemów z utrzymaniem ich jakości, (4) opracowaniu i wdrożeniu usprawnień do systemu zarządzania jakością zakresie kontroli jakości składników oraz (5) wyborem dostawcy gwarantującego stabilną, wymaganą jakość składników. Bardzo ważnym elementem pracy Doktoranta są szerokie badania i analizy dotyczące zmienności składników dostarczanych przez różnych dostawców i spełnienia przez nie wymagań określonych dla produkowanego betonu RMC. Dotyczą one właściwości: (1) wody zarobowej (są to dość rzadkie badania, zwykle jakości wody nie poświęca się dużo uwagi, w Iraku kwestia dostawcy i jakości wody może mieć jednak duże znaczenie), (2) cementu (w tym przypadku analiza zmienności składu chemicznego cementu nie wydaje się potrzebna, z pkt. widzenia producenta betonu istotne są klasa cementu i kinetyka przyrostu jego wytrzymałości, czas wiązania cementu i jego wodożądność; badania składu chemicznego cementu zwykle wykraczają poza zakres możliwości laboratorium zakładowego), (3) kruszywa grubego i piasku (uziarnienie kruszywa). Na tej podstawie, oraz uwzględniając dodatkowe kryteria jak: czas dostawy składników i koszt składników, Doktorant wskazał najlepszego dostawcę. Rozdział kończy analiza FMEA wpływu dostawców materiałów i jakości materiałów na jakość betonu towarowego RMC przed i po wprowadzeniu usprawnionego systemu kontroli jakości. Doktorant stosując metodę FMEA wskazał priorytetowe obszary zarządzania jakością konieczne do usprawnienia celu minimalizacji ryzyka wyprodukowania betonu RMC złej jakości. Następnie określił usprawnienia systemu jakości i wykazał korzyści z ich wdrożenia. Usprawnienia te są przedstawione w sposób nieco ukryty, szkoda, że Doktorant nie przedstawił i nie przedyskutował ich w sposób bardziej szczegółowy. Wydaje się również, że Doktorant więcej uwagi mógł poświęcić kwestii procedury badania jakości składników (powiązanie pomiędzy jakością składników a jakością betonu, jakie właściwości należy badać, jaki jest tryb postępowania przy stwierdzeniu odstępstw od wymagań). Nie każde z odstępstw musi skutkować odrzuceniem dostawy (często jest to nawet trudne do realizacji). Niedosyt pozostawia również brak uwzględnienia badania właściwości domieszek do betonu (w dalszych rozdziałach wskazuje się na ich możliwość stosowania do betonu).

Rozdział 6 – The stability of delivery time, production, and placement (Stabilność czasu dostawy, produkcji i układania [betonu towarowego RMC] – liczy 41 stron i składa się z 4 podrozdziałów. Doktorant koncentruje się w nim przede wszystkim na monitoringu czasu produkcji, transportu i układania mieszanki betonowej oraz wpływie tych procesów na właściwości mieszanki betonowej – konsystencję, ilość powietrza i porowatość (obliczeniowo, przed rozpoczęciem procesu hydratacji i po uzyskaniu stopnia hydratacji 0.7) oraz stwardniałego betonu – wytrzymałość betonu. Doktorant najpierw przedstawił i ogólnie przedyskutował wyniki monitoringu czasu procesów transportu i betonowania dla 3 przypadków w różnych warunkach pogodowych (porach roku). Należy zauważyć, że czas trwania procesów produkcji i wykonania betonu jest ogólnie stabilny, a monitoring nie wykazuje występowania istotnych zakłóceń czy defektów. Występujące niewielkie wahania czasów procesów nie są duże i nie powinny wpływać na jakość (właściwości) betonu. Brakuje informacji czy monitorowane przypadki dotyczą jednej budowy oraz czy wykorzystywano beton o identycznym składzie. W dalszej kolejności Doktorant przedstawił wyniki badań konsystencji, zawartości powietrza i gęstości mieszanki betonowej w wytwórni SCBP i na placu budowy oraz wytrzymałości na ścislenie betonu określonej na próbkach pobranych w wytwórni SCBP i na placu budowy. Badania te wskazują na duże wahania właściwości mieszanki betonowej, zwłaszcza na placu budowy i w okresie letnim. Wyniki tych badań są problematyczne i dyskusyjne. (1) Jaki był skład badanego betonu (betonów?). Monitoring właściwości betonu prowadzony był w kilku okresach, czy w każdym z nich stosowano beton o takim samym

składzie? Jeśli cement stanowił 15% objętości betonu (rys. 6.10), to czy było go ponad 450 kg (beton w rozdziale 7 ma 380 kg cementu na m³)? Dlaczego przy takiej ilości cementu uzyskano beton o małej wytrzymałości (25 MPa)? (2) Betonowania prowadzono w istotnie różnej temperaturze. Czy stosowano działania technologiczne w celu zapewnienia stałej temperatury mieszanki betonowej (czy ich nie stosowano, a efekty takich działań pokazano dopiero w rozdziale 7)? (3) Z badań przedstawionych przez Doktoranta wynika, że w wielu przypadkach opad stożka mierzony na placu budowy jest większy niż w wytwórni. Doktorant stwierdza, że wynika to z dodania domieszki (o stosowaniu której wcześniej nie wspomina, nie precyzuje również jej rodzaju, ani procedury, która określałaby kiedy należy dodać domieszkę i w jakiej ilości) lub dodania wody (nie podaje kiedy takie przypadki zarejestrował). Warto zwrócić przy tym uwagę, że w wytwórni produkowana jest mieszanka o stabilnych właściwościach, problem z konsystencją ujawnia się na placu budowy. Doktorant jednak nie diagnozuje źródła tego problemu i sposobów jego rozwiązania (czy są to warunki atmosferyczne?). (4) Zakres zmienności ilości powietrza w mieszance betonowej jest bardzo duży (od ok. 2 do ok. 8%). Doktorant nie informuje, czy mieszanka była napowietrzana, nie przedstawia też głębszej analizy przyczyn takich wahań ilości powietrza. Co ciekawe, takie duże wahania ilości powietrza w mieszance nie wydają się być związane z temperaturą oraz nie wpływają znacząco na wytrzymałość betonu (rys. 6.23). (5) Znaczenie praktyczne porowatości obliczanej wg zależności podanych przez Doktoranta jest dyskusyjne. Bardziej przydatne byłoby badanie rzeczywistej gęstości mieszanki betonowej i betonu. (6) Pomimo stwierdzonych przez Doktoranta przypadków dodawania wody na placu budowy, spadek wytrzymałości próbek pobranych na placu budowy w stosunku do próbek pobranych w betoniarni nigdy nie jest znaczący. Jak Doktorant to tłumaczy? Być może próbki pobierane były przed dodaniem domieszki i/lub wody do mieszanki (tak wynika z pracy, str. 132), być może przy ogólnie słabym betonie zwiększenie ilości wody w małym stopniu odbijało się na wytrzymałości betonu. Brakuje informacji o odchyleniu standardowym dla wytrzymałości na ściskanie. Brakuje informacji o sposobie przechowywania próbek w betoniarni i na placu budowy. Czy był on adekwatny do sposobu pielęgnacji betonu w konstrukcji?

Rozdział 6 jest zakończony dyskusją zależności wpływu czasu procesów betonowania oraz ilości powietrza i porowatości na wytrzymałość na ściskanie. Należy zaznaczyć, że zakres zmienności wytrzymałości wszystkich badanych betonów, niezależnie od czasu procesów oraz miejsca i momentu pobrania próbek jest niewielki (współczynnik zmienności wynosi ok. 3,5%). Niewielki zakres zmienności nie wskazuje na istotny wpływ badanych czynników na wytrzymałość na ściskanie. Wykresy na rys. 6.22 i 6.24 są wadliwe i w istocie nie przedstawiają zależności liniowej – na osi x przedstawiono wyniki w kolejności pobierania próbek, a nie zależnie od odpowiednio czasu dostawy i porowatości (wartości liczbowe są kodami próbek). Zdaniem Doktoranta czas dostawy mieszanki na budowę wpływa odwrotnie proporcjonalnie na wytrzymałość betonu. Zależność ta nie wynika jednak z rys. 6.22. Nawet jednak gdyby taki wpływ był, należałoby głębiej przeanalizować jego przyczyny.

Rozdział 7 - RMC mix improvements and parameters stabilization (Modyfikacje mieszanki RMC i stabilizacja jej parametrów) – liczy 52 strony i składa się z 3 podrozdziałów. Doktorant zajmuje się w nim kwestią produkcji mieszanki betonowej i betonu o stabilnych właściwości w zmiennych warunkach atmosferycznych, poprzez: monitoring temperatury i wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru, monitoring temperatury mieszanki betonowej i ilości odparowanej z niej wody oraz odpowiednie do wielkości tych parametrów dozowanie lodu w celu schłodzenia mieszanki. Doktorant przedstawił sposób monitoringu ww. parametrów atmosferycznych, temperatury betonu oraz sposób obliczania stopnia odparowania wody z mieszanki. Proszę tutaj o wyjaśnienie w jaki sposób odparowanie wody z mieszanki w trakcie transportu wpływa na zwiększenie jej porowatości (str. 145)? Następnie Doktorant przedstawił dane o temperaturze mieszanki betonowej i odparowaniu z niej wody dla różnych pór roku, bez wprowadzania działań w kierunku stabilizacji temperatury mieszanki (wykazując, że temperatura mieszanki może przekraczać 50°C, a odparowanie wody 3 -5%). W jakich jednostkach podano stopień odparowania wody (% w stosunku do czego) (str. 151 i 152)? Dalej Doktorant omówił sposób kontroli temperatury mieszanki poprzez dodanie do niej lodu wraz ze sposobem obliczenia jego ilości w zależności od temperatury składników mieszanki i założonej temperatury mieszanki. Doktorant

zweryfikował doświadczalnie skuteczność tej metody wykazując, że dzięki temu można utrzymać temperaturę mieszanki w okresie letnim (a dokładniej w przypadku występowania wysokiej temperatury) na poziomie $30 \pm 2^\circ\text{C}$ oraz zmniejszyć odparowanie wody z mieszanki o 0,5 - 2%. Wykazał również, że dzięki kontroli temperatury mieszanki można produkować i dostarczać na plac budowy mieszankę betonową o stabilnych właściwościach: konsystencji, ilości powietrza i porowatości oraz stwardniały beton o stabilnej wytrzymałości na ściskanie. Doktorant wskazał również, że zastosowanie działań w celu kontroli temperatury mieszanki skutkuje znaczącą poprawą wytrzymałości betonu w stosunku do betonu wykonanego bez takiej kontroli (rys. 7.28 – 7.31). Czy jednak w obu przypadkach stosowano beton o takim samym składzie (składy betonów w rozdziale 6 i 7 wydają się być odmienne)? Jeśli przed wprowadzeniem usprawnień do procesu technologicznego wytrzymałość betonu na poziomie 25 MPa była wystarczająca, to czy uzyskanie betonu o wytrzymałości na poziomie 35- 40 MPa nie powinno skutkować modyfikacją jego składu w celu zmniejszenia ilości cementu (a więc kosztu betonu)? Rozdział 7 jest zakończony dyskusją zależności ilości powietrza, porowatości i wytrzymałość na ściskanie betonu. Tematyka ta jest już dobrze rozpoznana, wyniki badań Doktoranta są zgodne ze stanem wiedzy. Przedstawienie w rozdz. 6 i 7 zdjęć mikrostruktury betonów w związku z ich słabą jakością i bardzo ogólnym opisu nie wnosi istotnej nowej wiedzy, ze względu na cel pracy można je było pominąć.

Rozdział 8 – Learning and generating flexible structure (Uczenie i tworzenie elastycznej procedury) – liczy 55 stron i składa się z 4 podrozdziałów. Doktorant najpierw przedstawił w nim ogólne, podstawowe informacje na temat sztucznych sieci neuronowych, ich konstrukcji i podstaw trenowania. Następnie określił zakres wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do wspomagania decyzji w systemie zapewniania jakości betonu RMC, koncentrując się na trzech obszarach: (1) jakości składników RMC, (2) czasie trwania procesów produkcji i wykonania RMC oraz (3) przewidywania wybranych właściwości mieszanki betonowej i betonu RMC w zmiennych warunkach pogodowych (osobno dla 3 różnych pór roku - wiosna, lato, zima). Sieci (1) i (2) wspomagają decyzje odpowiednio o akceptacji bądź odrzuceniu składników RMC oraz o uznaniu lub nie czasu dostawy RMC za właściwy ze względu na jakość betonu, natomiast sieci (3) służą do przewidywania właściwości RMC w zmiennych warunkach atmosferycznych (temperatura, wilgotność, wiatr) oraz technologicznych (odparowanie wody, temperatura mieszanki, właściwości mieszanki betonowej). Doktorant szczegółowo przedstawił metodologię konstruowania i uczenia ww. sztucznych sieci neuronowych oraz przeanalizował ich przydatność do prognozowania jakości i właściwości betonu RMC, wykazując ich przydatność i duże znaczenie dla systemu zapewniania jakości. Opracowanie sieci neuronowych na bazie badań własnych uważam za osiągnięcie Doktoranta. W mojej ocenie wartościowe są sztuczne sieci neuronowe (3) służące do przewidywania właściwości RMC. Są one kluczowe dla elastycznej produkcji betonu RMC o wymaganej jakości w zmiennych warunkach technologicznych. W przypadku sieci neuronowej (1) uważam, że można było ograniczyć znacząco liczbę zmiennych charakteryzujących skład cementu – z pkt. widzenia produkcji betonu najważniejsze są klasa cementu, jego wodozadržność i czas wiązania. W przypadku sieci neuronowej (2) uważam, że jej przydatność jest dyskusyjna. Fakt przekroczenia czasów procesów nie oznacza automatycznie, że mieszanka nie nadaje się do użycia, możliwe są również korekty jej konsystencji (jeśli to konieczne) na placu budowy poprzez stosowanie plastyfikatorów.

Rozdział 9 – Key finding and conclusions (Główne osiągnięcia i wnioski) – liczy 6 stron i zawiera podsumowanie całości rozprawy w postaci wniosków ogólnych i szczegółowych oraz kierunki dalszych badań. Przedstawione wnioski odnoszą się do celów pracy, wynikają z wykonanych badań i analiz i ogólnie dobrze oddają rezultaty pracy. Wnioski szczegółowe i rekomendacje Doktorant mógł jednak ograniczyć. Część wniosków szczegółowych stanowi bowiem potwierdzenie znanej wiedzy (np. wniosek 9) a część jest bardzo szczegółowymi i specyficznymi spostrzeżeniami dotyczącymi badanego przypadku (np. wnioski 10 - 16). Rekomendacje do dalszych badań są natomiast dość oczywiste, za wyjątkiem kierunku dalszych badań: Made in China 2025 for RMC process of production - proszę o przybliżenie na czym on polega.

Bibliografia - cytowana w rozprawie literatura obejmuje 163 pozycje, w większości opublikowanych w języku angielskim i po 2000 roku. Jest ona w zasadzie wystarczająca, mogłaby być jednak szersza w zakresie efektów monitoringu w procesach betonowania i efektów modyfikacji materiałowych betonu.

Praca generalnie jest zbyt obszerna, Doktorant wykazuje skłonność do szczegółowego omawiania zagadnień dobrze znanych. Doktorant z jednej strony używa zawitych sformułowań i długich zdań, a z drugiej nadużywa skrótów myślowych. Wszystko to sprawia, że praca jest bardzo trudna w odbiorze. Zawiera przy tym liczne błędy redakcyjne i językowe, co potęguje ten problem. Brakuje odniesień do niektórych rysunków i tablic, a schematy na rysunkach są czasem trudne do odczytania (szczególnie w rozdziale 8).

4. Ocena rozprawy i najważniejsze uwagi krytyczne

Pracę mgr. inż. Alaa Al-Saedi pod względem merytorycznym oceniam jako posiadającą poziom naukowy odpowiedni dla doktoratu. Doktorant prawidłowo zdefiniował problem badawczy i sformułował cele pracy oraz badań własnych, a przeprowadzone szerokie badania i analizy pozwalają na osiągnięcie założonych celów pracy. Badania wykonane przez Doktoranta uzupełniają wiedzę w zakresie zarządzania jakością produkcji betonu, zwłaszcza w warunkach wysokiej temperatury, a stanowiący jej efekt system zarządzania jakością ma szerszy potencjał aplikacyjny wykraczający poza zakres pracy. Praca wnosi również elementy nowej wiedzy w zakresie technologii procesów budowlanych. W tym kontekście jako ważne osiągnięcia rozprawy uważam:

- Opracowanie systemu zapewniania i kontroli jakości betonu towarowego RMC, obejmującego stały monitoring: jakości materiałów, warunków atmosferycznych i technologicznych, przebiegu procesów produkcji, transportu i układania mieszanki betonowej oraz wykorzystującego sztuczne sieci neuronowe do wspomaganie decyzji podczas planowania i wykonania procesu betonowania w podwyższonej temperaturze. Głównymi innowacyjnymi cechami tego systemu są: (1) elastyczne podejście do technologii procesu betonowania, pozwalające dzięki opracowanym w oparciu o SSN procedurom na uzyskanie wymaganej jakości betonu w zmiennych warunkach technologicznych oraz otwartość systemu dzięki możliwości jego modyfikacji poprzez rozszerzenie bazy danych o kolejne przykłady realizacji.
- Przyjęcie systematycznych, metodycznych i możliwie obiektywnych procedur postępowania przy identyfikacji źródeł problemów jakości produkcji betonu towarowego, ocenie które z nich mają znacznie krytyczne i usunięcie których da najlepsze i najszybsze rezultaty.
- Opracowanie na podstawie badań własnych szerokiej, systematycznej bazy danych z realizacji konstrukcji betonowych w różnych warunkach technologicznych, obejmującej m. in. wpływ temperatury powietrza, odparowania wody z mieszanki, stosowania działań w celu obniżenia temperatury mieszanki betonowej na właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu.
- Opracowanie na podstawie badań własnych procedur zapewniania stałych właściwości mieszanki betonowej i betonu w zmiennych warunkach technologicznych.
- Praktyczna weryfikacja skuteczności systemu zapewniania jakości poprzez jego implementację w celu poprawy jakości betonu towarowego w wytwórni betonu w Iraku.

Wykazane wcześniej w opinii zagadnienia problematyczne i dyskusyjne nie pomniejszają w sposób zasadniczy wymienionych osiągnięć pracy. Podczas obrony proszę Doktoranta o ustosunkowanie się, obok wcześniejszych uwag do następujących zagadnień:

- W pracy nie przewidziano istotnej modyfikacji składu mieszanki betonowej ze względu na warunki technologiczne, zwłaszcza w aspekcie doboru rodzaju cementu, jego ilości i stosunku w/c. Proszę o wyjaśnienie, dlaczego Doktorant nie poświęcił temu zagadnieniu uwagi.

- Jak Doktorant postrzega potencjał domieszek do betonu do modyfikacji właściwości mieszanki betonowej i betonu jako prosty sposób zapewniających elastyczność w zmiennych warunkach technologicznych i istotnie wspierający skuteczność systemu zapewnienia jakości betonu towarowego.

5. Wniosek końcowy

Doktorant mgr inż. Alaa Al-Saedi wystarczająco rozpoznał potrzebny mu obszar wiedzy, właściwie sformułował cele pracy oraz zrealizował je w zakładanym stopniu. Wykazał przy tym ogólną wiedzę w zakresie dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz umiejętność rozwiązania postawionego problemu naukowego.

Biorąc to pod uwagę, oraz wymienione w pkt. 4 najistotniejsze osiągnięcia rozprawy oraz krytyczne i dyskusyjne uwagi merytoryczne, stwierdzam, że spełnia ona wymagania stawiane pracom doktorskim przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2023 r., poz. 742 z późniejszymi zmianami) i stawiam wniosek o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

