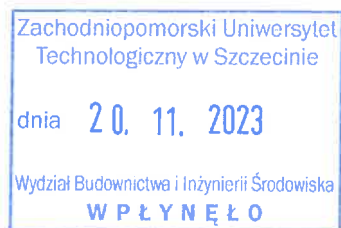


dr hab. inż. **Jacek Dowski** – prof. PK
Politechnika Koszalińska
Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji
Katedra Budownictwa i Materiałów Budowlanych
ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin

Koszalin 14.11.2023 r.



Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Mateusza Techmana
pt. „Wpływ rodzaju zbrojenia rozproszonego
na właściwości kompozytów cementowych do druku 3D”

1. Podstawy opracowania recenzji

1.1 Podstawa formalna

Recenzja została sporządzona na podstawie umowy o dzieło, zawartej pomiędzy Zachodniopomorskim Uniwersytetem Technologicznym w Szczecinie, al. Piastów 17, reprezentowanym przez Prorektora ds. nauki, prof. dr. hab. inż. Jacka Przepiórskiego, a recenzentem, dr. hab. inż. Jackiem Dowskim, prof. PK.

Niniejsza umowa została sporządzona w związku z wyznaczeniem, przez Radę Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie (uchwała nr 4 z dnia 6 września 2023 r.), dr. hab. inż. Jacka Dowskiego, prof. PK, jako recenzenta rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mateusza Techmana, pt. „Wpływ rodzaju zbrojenia rozproszonego na właściwości kompozytów cementowych do druku 3D”, w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie budownictwo (obecna nazwa: inżynieria lądowa, geodezja i transport).

1.2 Podstawa prawna

Recenzja, zgodnie z pismem, z dnia 25.09.2023 r., Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa Geodezja i Transport (WBiŚ – PRD/A/2/2023), została opracowana na podstawie ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. *Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. poz. 1668) i ustawy z dnia 14.03.2003 r. *o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz. U. nr 65, poz. 595, z późn. zm.) oraz Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. *w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora* (Dz. U. poz. 261).

2. Ocena układu rozprawy doktorskiej

Recenzowana praca napisana została poprawnym językiem technicznym, posiada przejrzysty oraz logiczny układ treści i od strony formalnej nie budzi zastrzeżeń. Została przedstawiona na 191 stronach wydruku komputerowego w formacie A4 i składa się z czternastu głównych rozdziałów, tj.: wprowadzenia, celu i tezy rozprawy, technologii druku 3D materiałami cementowymi, właściwości kompozytów do druku 3D, zbrojenia rozproszonego w technologii betonu oraz zbrojenia betonu w technologii druku 3D, zakresu badań, materiałów i metodyki badań, badań wstępnych i zasadniczych, analizy wyników badań, podsumowania i wniosków i programu dalszych badań oraz kilku dodatkowych, nienumerowanych części (streszczenie w języku polskim i angielskim, spis rysunków i tabel oraz wykaz cytowanej bibliografii). Pod względem formalnym recenzowana praca nie budzi zastrzeżeń - posiada logiczny i spójny układ treści. Ponadto zauważono w niej błędy introligatorskie, stylistyczne i interpunkcyjne, których opis zamieszczono w rozdziale 7.

3. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w rozprawie doktorskiej

W recenzowanej pracy wykorzystano 196 pozycji bibliograficznych. Wszystkie pozycje literaturowe zostały poprawnie przywołane w niniejszej rozprawie. Są to przede wszystkim artykuły naukowe i pokonferencyjne, książki i normy. Spośród zaprezentowanych w rozprawie pozycji literaturowych, artykuły naukowe stanowią zdecydowaną większość. Są to artykuły w języku angielskim (151 pozycji) i polskim (4 pozycje), opublikowane w latach od 1997 do 2022 r. – głównie artykuły z ostatnich pięciu lat. Drugim rodzajem piśmiennictwa, co do ilości cytowanych pozycji, są książki w łącznej ilości 25, wydane w latach 1994-2021, z czego dwie pozycje są polskojęzyczne. Artykuły pokonferencyjne stanowią nieliczną grupę pozycji literaturowych – łącznie 7 (w tym dwie po polsku). W bibliografii zamieszczono również normy (5 pozycji), dwie strony internetowe oraz jeden patent i raport.

Należy zauważyć, że przedstawiony w rozprawie spis literaturowy jest dość obszerny i aktualny. Większość pozycji literaturowych jest z okresu ostatnich kilku lat, co świadczy o tym, że podjęta przez Doktoranta tematyka jest aktualna i wpisuje się w bieżący nurt ogólnoswiatowy.

4. Ocena celu i tezy rozprawy oraz zakresu zrealizowanych badań

Zasadniczym celem recenzowanej pracy było *opracowanie odpowiednich receptur mieszanek cementowych z dodatkiem włókien, spełniających kryteria przydatności w technologii druku 3D*. Cel ten został sformułowany poprawnie oraz został osiągnięty. Autor w pierwszej kolejności omówił kryteria, jakie powinna spełniać mieszanka cementowa w technologii druku 3D, a następnie, uwzględniając dodatek w postaci zbrojenia rozproszonego, zaproponował modyfikację wybranych receptur. Dodatkowo autor rozprawy podjął się próby określenia *wplywu rodzaju, długości oraz ilości zbrojenia rozproszonego na właściwości reologiczne i wytrzymałościowe mieszanek cementowych o różnej ilości spoiwa*. W tym celu przebadał on 98 miesz

nek, a następnie wyselekcjonował trzy, które najbardziej spełniały zarówno kryteria przydatności w technologii druku 3D jak i charakteryzowały się odpowiednimi właściwościami. W moim odczuciu te dwie kwestie łączą się ze sobą, ponieważ przydatność mieszanki w technologii druku 3D to nie tylko jej właściwości podczas produkcji i układania, ale również właściwości reologiczne i mechaniczne. Dlatego też należy uznać, że ten cel rozprawy został również osiągnięty.

Dodatkowo, w punkcie 2.1, autor stwierdził, że **określony został wpływ ułożenia zbrojenia, a także sposobu przygotowania próbek na wyniki badań wytrzymałościowych**. W przypadku badań i analiz obejmujących wpływ ułożenia zbrojenia rozproszonego zakres przeprowadzonych badań nie był zbyt obszerny. Aby wyciągnąć jednoznaczne wnioski należałoby przeprowadzić większą ilość badań. Natomiast ocena sposobu przygotowania próbek na wyniki badań wytrzymałościowych została zrealizowana w pełni i bez zarzutów.

Przedstawiona w rozprawie teza: **„Rodzaj zastosowanego zbrojenia rozproszonego oraz sposób jego ułożenia wpływa na właściwości reologiczne i mechaniczne mieszanek cementowych w technologii druku 3D. Właściwy dobór zbrojenia rozproszonego pozwala na otrzymanie mieszanek cementowych o parametrach zalecanych w druku 3D”** jest sformułowana poprawnie i została w pracy udowodniona.

Zaprezentowane w recenzowanej pracy badania podzielono na dwa etapy - badania wstępne i zasadnicze. Badania wstępne przeprowadzono na mieszance bazowej (M1 – receptura opracowana przez pracowników ZUT) modyfikowanej czterema rodzajami włókien (bazaltowymi, szklanymi, węglowymi i polimerowymi). Łącznie przeanalizowano 50 mieszanek z różną ilością dozowanych włókien (0,33%, 0,67%, 1,00%, 1,33%, 1,67% i 2,00%) w stosunku do masy spoiwa. W badaniach wstępnych określono średnicę rozptywu, wytrzymałość na ścinanie, a także przyrost naprężeń i odkształceń w teście ściskania dla świeżej mieszanki. Wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie przy zginaniu stwardniałych kompozytów określono odpowiednio na 6 i 3 próbkach o wymiarach 40 mm x 40 mm x 160 mm, po 1, 3 i 7 dniach dojrzewania. Badania zasadnicze można by podzielić na trzy etapy. W pierwszym etapie przeanalizowano wpływ czterech metod przygotowania próbek (normowa, normowa po przepompowaniu, wydrukowanie, drukowanie swobodne) poprzez ocenę wytrzymałości na zginanie i wytrzymałości na ściskanie. Badania te przeprowadzono odpowiednio na 5 i 10 próbkach, dla każdej metody, po 1, 3, 7 i 28 dniach dojrzewania. Następnie dokonano modyfikacji receptury M1, poprzez zmniejszenie ilości spoiwa. Powstała w ten sposób nową recepturę bazową M2 modyfikowano tymi samymi włóknami (rodzaje i ilości) co w badaniach wstępnych. W tym przypadku przebadano 48 mieszanek, w zakresie identycznym jak w badaniach wstępnych, z których, po weryfikacji, wybrano trzy do wydruku 3D, czyli drugiego etapu badań zasadniczych. Kompozyty te zmodyfikowano poprzez dodanie superplastyfikatora, w celu uzyskania średnicy rozptywu na poziomie 160 mm. W dalszej kolejności (etap trzeci) wykonano badania kompozytów z uwagi na wytrzymałość na zginanie i ściskanie z uwzględnieniem kierunku badania w stosunku do kierunku drukowania (od góry i od boku). Zakres zaplanowanych badań został zrealizowany w całości i należy go ocenić pozytywnie, choć w kilku obszarach występują pewne wątpliwości, podane w pkt. 7 recenzji.

5. Ocena zastosowanych technik i metod badawczych

Recenzowana praca jest przykładem zastosowania w badaniach zarówno tradycyjnych jak i nowoczesnych metod i technik pomiarowych. Tradycyjne techniki i metody pomiaru obejmowały: badanie właściwości reologicznych zaczynu cementowego, przy użyciu reometru Rheotest RN4.1, badanie rozptyłu mieszanek, określone przy użyciu stolika rozptyłu zgodnie z PN-EN 1015-3:2000, badanie wytrzymałości na ścinanie mieszanki, przeprowadzone przy użyciu ścinarki ręcznej zgodnej z PN-B-04481:1988 (jak dla próbek z gruntu), badanie wytrzymałości na zginanie na próbkach o wymiarach 40 mm x 40 mm x 160 mm, zgodnie z PN-EN 1015-11:2020 oraz badanie wytrzymałości na ściskanie, wykonane na połówkach beleczek po badaniu rozciągania przy zginaniu zgodnie z PN-EN 1015-11:2020. Nowoczesne metody i techniki pomiarowe posłużyły do wyznaczenia parametru „*buildability*”, rozumianego jako maksymalne naprężenie występujące przy odkształceniu równym 20% wysokości próbki. Został on określony na podstawie zależności naprężenie-odkształcenie dla mieszanek w stanie plastycznym. Do tego celu użyto stanowiska skonstruowanego przez pracowników Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska ZUT w Szczecinie. Pracownicy ZUT skonstruowali również stanowisko do druku 3D, które jest nowoczesnym robotem kartezyjskim, wykorzystanym w pracy do przygotowywania próbek. Kolejnym badaniem, w którym zastosowano nowoczesne techniki i metody pomiarowe, było określenie struktury próbek, które wykonano przy pomocy fotografii cyfrowej, mikroskopu optycznego oraz tomografii komputerowej. Oprócz zastosowanego nowoczesnego sprzętu do analizy obrazu struktury próbek, użyto również programu stworzonego na bazie algorytmu, opracowanego przez pracownika ZUT.

Zastosowane w pracy nowoczesne i tradycyjne techniki pomiaru świadczą o dobrym opanowaniu przez Doktoranta nabytej wiedzy i umiejętności jej stosowaniu w praktyce.

6. Ocena dotycząca omówienia wyników badań

Zaprezentowane w pracy wyniki badań podzielono z uwagi na etapy badawcze (tj. badania wstępne i zasadnicze). Ich analizę przeprowadzono po etapie pierwszym (po badaniach wstępnych) oraz po badaniach zasadniczych (czyli po całości przeprowadzonych badań). Analizę wyników z badań wstępnych rozpoczęto już w momencie ich prezentowania (punkt 10.3). Oceniano wpływ średnicy rozptyłu na wytrzymałość na ścinanie dla mieszanek z dodatkiem różnych włókien i z różną ich zawartością. We wszystkich przypadkach zauważono, że wyniki rozptyłu są odwrotnie proporcjonalne do wyników wytrzymałości na ścinanie. Określano także przyrost naprężeń i odkształceń w teście ściskania dla świeżej mieszanki, który posłużył do określenia parametru „*E*” opisanego jako „moduł sprężystości kompozytu w stanie plastycznym lub *buildability*”. W tym przypadku zaobserwowano liniowy wzrost tego parametru wraz ze zwiększeniem długości włókien jedynie dla kompozytów (z włóknami węglowymi) z ich dodatkiem wynoszącym 0,33% i 0,67%. W pozostałych przypadkach trend ten nie był liniowy i nie zawsze wpływ był pozytywny. Ostatecznie największą wartość „*buildability*” uzyskano dla mieszanek z dodatkiem 1,0% zbrojenia rozproszonego. Ustalono, że długość włókna ma również wpływ na ww. parametr. Jego wzrost możliwy był tylko przy włóknach węglowych o długości < 12 mm oraz przy włóknach bazaltowych o długości ≥ 12 mm. Udowodniono, że dodatek

włókien obniża lub nie zmienia wytrzymałości na ściskanie analizowanych kompozytów. Natomiast wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu, dla stwardniałych kompozytów, niezależnie od ich rodzaju i długości włókien, zwiększa się po 1 i 3 dniach badania, natomiast po 7 dniach ten wpływ jest niewielki. Zaprezentowana w rozprawie analiza badań wstępnych została przeprowadzona prawidłowo choć nie uniknięto pewnych błędów przedstawionych w punkcie 7.

Analizę wyników badań zasadniczych rozpoczęto od porównania wartości wytrzymałości na zginanie i ściskanie w zależności od metody przygotowania próbek. Stwierdzono, że przepompowanie mieszanki powoduje wzrost jej wytrzymałości o około 10%. Natomiast nie zauważono istotnych różnic wytrzymałości na ściskanie i zginanie dla próbek wydrukowanych i przygotowanych zgodnie z normą dla zapraw. Kolejnym etapem analizy wyników badań była ocena wpływu włókien (bazaltowych, szklanych, węglowych i polimerowych) na właściwości reologiczne mieszanek. Dla większości mieszanek zauważono zależność wpływu ilości włókien na spadek średnicy rozpląwy i wzrost wytrzymałości na ścinanie (dla części z nich zmiany te były liniowe). Na podstawie zależności naprężenie-odkształcenie przy ścisaniu określono naprężenia przy odkształceniu próbki wynoszącym 0,2. Dla większości mieszanek zaobserwowano wzrost wartości naprężeń wraz z ilością dozowanych włókien. Wyznaczono również parametr „*buildability*”, który zwiększył się dla 38 z pośród 48 mieszanek. Kompozyty wyselekcjonowane do druku miały podobną lub większą zdolność do przenoszenia obciążeń niż mieszanka bazowa M2. W dalszej kolejności analizowano wpływ powierzchni właściwej oraz objętości włókien na średnicę rozpląwy analizowanych kompozytów. W tym celu określono współczynnik regresji liniowej oraz odpowiednie przedziały ufności. Ocenę wpływu rodzaju i ilości włókien na wytrzymałości na zginanie przeprowadzono poprzez określenie korelacji liniowej i odpowiadające jej współczynniki. Przeprowadzono również analizę kąta nachylenia włókien w przekroju podłużnym, dla próbek formowanych i drukowanych. W tym przypadku współczynnik ułożenia włókien był wyższy dla próbek drukowanych, co oznacza, że włókna układają się zgodnie z kierunkiem drukowania. Badano również, czy sposób ułożenia włókien wpłynął na wyniki wytrzymałości na zginanie dla próbek formowanych i drukowanych. Wykazano w tym przypadku brak istotnego wpływu sposobu produkcji próbek na analizowaną wytrzymałość. Przeprowadzono także analizę statystyczną próbek wytworzonych różnymi metodami w celu określenia między nimi korelacji. Wynika z niej, że brak jest statystycznych różnic w wytrzymałości na zginanie dla próbek, dla których mieszanka nie była przepompowywana i dla których była ona wydrukowana. Wykazano również brak anizotropii z uwagi na wytrzymałość na zginanie badanych kompozytów. Przedstawione wyniki badań w zakresie wpływu druku na mikrostrukturę ograniczono jedynie do prezentacji zdjęć i informacji o procentowym udziale porów w kompozytach. Omówienie wyników w tym zakresie mogłoby dotyczyć choć w części opisu mikrostruktury matrycy M2.

Ostatecznie przeprowadzone analizy wyników badań są wykonane starannie i nie budzą większych wątpliwości. Natomiast część z nich wymaga wyjaśnienia i uzupełnienia (patrz. pkt. 7).

7. Słabe strony rozprawy, jej główne wady oraz zagadnienia dyskusyjne

Pomimo, że recenzowana praca przygotowana jest dość starannie Autor nie uniknął, błędów zarówno redakcyjnych jak i merytorycznych. Proszę o ustosunkowanie się do poniższych uwag merytorycznych:

- Proszę wyjaśnić i uzasadnić kolejność prezentacji badań zasadniczych (metod wykonania próbek, badań na mieszance bazowej M2 i badań cech wytrzymałościowych wydrukowanych kompozytów w dwóch kierunkach).

- Proszę porównać zapis (str. 28 wers 10 od góry): „W tradycyjnym budownictwie stosuje się zazwyczaj włókna do długości około 75 mm” z zapisami normy dotyczącej zastosowania włókien w betonie (str. 32 wers 17 od góry).

- Proszę wyjaśnić zapis (str. 28 wers 1 od dołu i dalej): „Powstanie mikrozarysowań powoduje uplastycznienie się betonu przy wyższym odkształceniu, a końcowo, po osiągnięciu około 90% wytrzymałości na ściskanie, następuje zniszczenie elementu”.

- Proszę wyjaśnić stwierdzenie (str. 32 wers 3 od dołu): „CMOD (ang. Crack Mouth Opening Displacement), zwane również jako ugięcie środkowego przekroju”. Proszę odnieść się do zapisów w normie dotyczącej badań fibrobetonu. W jaki sposób określane jest ugięcie elementu belkowego i czy można je wprost odnieść do wartości CMOD?

- Brak w tabeli nr 9 (str. 73) kompozytu M1B50C, który konsekwentnie pojawia się na kolejnych wykresach i w tabelach. Czy rzeczywiście był on poddany analizie, bo łączna ilość przebadanych mieszanek to 50 a nie 51 (patrz. str. 71).

- Proszę odnieść się do sformułowania (str. 75, wers 12 od dołu): „Przebieg przyrostu naprężeń wydaje się jednak dla tego kompozytu nieprawidłowy”. Jaka jest tego przyczyna? Czy nie należało powtórzyć części badań?

- Proszę wyjaśnić niejasności dotyczące zapisu (str. 88 wers 4 od góry): „W przypadku włókien węglowych 3 mm i ilości 1,67% masy spoiwa, wzrost ten był ponad dwukrotny w stosunku do mieszanki bazowej M1”, ponieważ w tabeli 11 (str. 87) nie ma mieszanki z dodatkiem włókien w ilości 1,67%.

- Proszę wyjaśnić stwierdzenie (str. 92 wers 3 od góry): „W przypadku włókien 54 mm dodanie ich już w ilości ponad 0,67% masy spoiwa pozwoliło osiągnąć założoną w badaniu dolną granicę rozplywu.” Nie dodawano włókien w ilości ponad 0,67% masy spoiwa (tabela 12, str. 90).

- W tabeli nr 21 (str. 126) zamieszczono dwa kompozyty M2P24D i M2P24E, których właściwości nie analizowano w dalszej części rozprawy. Z jakich względów pomieto je w rozważaniach na kolejnych rysunkach?

- Z jakich względów badania metod wykonania próbek (normowa, normowa po przepompowaniu, wdrukowanie, drukowanie swobodne) przeprowadzono na mieszance bazowej M1? Przecież okazało się, że dla tej mieszanki stosowanie włókien jest właściwie bezcelowe.

- Przyjęty wzór (nr 4, str. 134) do określenia wyboru kompozytu zbrojonego włóknem jest dość dyskusyjny. Na jakiej podstawie przyjęto wagi poszczególnych parametrów?

- Z jakich względów część z badań wytrzymałościowych przeprowadzono po 28 dniach dojrzewania próbek? Czy nie należałoby przeprowadzić wszystkich badań wytrzymałościowych po 28 dniach? Wówczas może część wyników i jednocześnie wniosków byłaby bardziej jednoznaczna (rys. 126 str. 138).

- Z jakich względów prezentowane są wyniki i przeprowadzona jest analiza wytrzymałościowa dla mieszanek na bazie kompozytu M1 (str. 151-152, rys. 133)? Przecież ustalono wcześniej, że mieszanka ta miała za dużą ilość spoiwa w przypadku dodatku włókien. Konsekwentnie można by zadać pytanie, dlaczego analiza ta dotyczyła tylko wytrzymałości na zginanie, a nie pozostałych cech podanych w punkcie 12.

Uwagi redakcyjne i introligatorskie:

- Numeracja stron parzystych nie jest po zewnętrznej stronie kartki (połączone jest to z marginesem i miejscem na oprawę rozprawy). Można odnieść wrażenie jakby praca miała być drukowana jednostronnie.

- Nie jest jasne poniższe stwierdzenie (str. 3, wers 18 od dołu): „Jedną z metod poprawiania właściwości mieszanki betonowej jak gotowego elementu jest zastosowanie zbrojenia rozproszanego”.

- Gorsza jakość niektórych rysunków lub opisy na rysunkach w dwóch językach: str. 11 rys. 1; str. 15 rys. 6.

- Str. 12 wers 3 od góry: jest „jednak” powinno być „jedna”, str. 40 wers 4 od góry: jest „dalsza” powinno być „dalszą”, str. 63 wers 5 od dołu: jest „Rysunek 3” powinno być „Rysunek 36”, str. 67 wers 7 od góry: jest „badanie” powinno być „badane”, str. 88 wers 8 od dołu: jest „1,0%” powinno być „1,33%”, str. 95 wers 10 od góry: jest „50” powinno być „54”, str. 134 wers 6 od dołu: jest „zasadniczym” powinno być „zasadniczych”, str. 136 tabela 25: jest „M2G6A” powinno być „M2G6C”, str. 145 wers 6 od dołu: jest „gruby” powinno być „grupy”, str. 156 wers 16 od góry: jest „wertykalnym osi” powinno być „wertykalnej osi”.

- Stosowanie kropek zamiast przecinków: str. 21 wers 14 i 15 od dołu oraz brak kropek: str. 46 wers 2 od dołu lub brak przecinków: str. 162 wers 7 od dołu (po słowie różnic) a także pisanie z małej litery po kropce: str. 189 wers 11 od dołu. Brak numeru strony „100”.

- Niejasne sformułowania w przytoczonym fragmencie oznaczono kursywą (str. 30 wers 8 od góry): „Im lepsze jest zakotwienie w matrycy włókna i jego wytrzymałość na rozciąganie, tym lepiej przenoszą *one* naprężenie rozciągające występujące w betonie. Powoduje to *na* zwiększenie dopuszczalnego projektowanego *odkształcenia* granicznego z 3,5‰ do 6‰.”

- Niefortunne sformułowanie (str. 31 wers 1 od góry): „stosowanie mieszanek włókien” lepsze byłoby „stosowanie kombinacji włókien”, (str. 49 wers 2 od dołu): „Metodę przygotowano ze względu na różnice w przygotowywaniu próbek...”, (str. 108 wers 1 od góry): „Założeniem projektowania mieszanki bazowej M2 było...” lepiej byłoby „Założeniem przy projektowaniu mieszanki bazowej M2 było...”.

- Niejasne sformułowanie: str. 46 wers 4 od dołu: „Włókna stalowe w znacznie większym stopniu wpłynęły na poprawę wyników wytrzymałości na ściskanie włókna węglowe i szklane”.

str. 86 wers 1 od góry: „Po 7 dniach dojrzewania, kompozyty zbrojone do 1,33% *włókien szklanych 6 mm miały wyższą wytrzymałość niż kompozyt bazowy*”, str. 104 wers 9 od góry: „*Próbki normowe przygotowania próbek była zgodna z PN-EN 1015-11:2020*”.

- Niewłaściwe usytuowanie tabel, do których odniesienia i opisy znajdują się w kolejnych punktach: tabela 15 (str. 100), oraz rysunków do których opisy znajdują się w dalszej części pracy (rys. 96 str. 113), oraz brak odniesienia w tekście do rysunku nr 76.

- Rysunek 145 i 146 opis „B próbka przed drukowaniem” jest trochę niefortunny, ponieważ nie wiemy skąd się ta próbka wzięła, skoro jej nie wydrukowano. Należałoby przyjąć konsekwentnie opisy podane na stronie 104.

- Analiza wyników badań jest w kilku miejscach dość „chaotyczna”. O ile opisy i wnioski po zaprezentowanych wynikach są jasne i przejrzyste, to nie można tego powiedzieć o punkcie 12. W punkcie tym, w kilku miejscach, są odniesienia do metod drukowania próbek. W mojej ocenie powinien powstać osobny punkt dotyczący wyselekcjonowanych mieszanek do druku 3D i w tym punkcie powinna znaleźć się cała analiza tych mieszanek.

- Strona 141, wers 22 od dołu, proszę wyjaśnić jednostkę: „Pa.s”.

- Strona 90 i 126, tabela 12 i 21: błędne oznaczenie długości włókien i jednocześnie mieszanek: jest 50 powinno być 54.

- W bibliografii w niektórych pozycjach brakuje nazwy czasopisma lub informacji o konferencji: pozycje 91, 96 i 169 (str. 184 i 189).

8. Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej

Wiedzę teoretyczną Doktoranta, zaprezentowaną w jego rozprawie, można określić na podstawie przedstawionego przeglądu literaturowego. Obejmuje on informacje o technologii druku 3D, urządzeniach i technikach drukowania oraz właściwościach kompozytów cementowych do druku 3D. Doktorant przeprowadził również rozpoznanie w zakresie rodzaju włókien, ich właściwości oraz możliwości ich zastosowania w mieszankach cementowych, a także sposobów oceniania ich wpływu na wybrane właściwości mieszanek cementowych. Wyciągnięte na podstawie przeprowadzonego przeglądu literaturowego wnioski skłoniły doktoranta m.in. do przeprowadzenia badań mieszanek z włóknami dłuższymi niż 12 mm, czy też przeprowadzenia badań uwzględniających sposób przygotowania próbek w technologii druku 3D. Również studia literaturowe w zakresie wyników badań wpływu włókien na właściwości reologiczne mieszanek, wytrzymałość czy mikrostrukturę kompozytów, pozwoliły na sformułowanie wniosków.

Z powyższego wynika, że *recenzowana rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną mgr. inż. Mateusza Techmana* w dyscyplinie budownictwo (obecnie: inżynieria lądowa geodezja i transport).

9. Ocena umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Autor pracy wspomniał w punkcie 6.1, że przyczynkiem do zainteresowania się niniejszym tematem było uczestnictwo w międzynarodowej konferencji w Zurychu w 2018 roku. Jest to niewątpliwie początek samodzielnej pracy naukowej. Pomysł sam w sobie i jego rozwijanie przyczynił się do powstania niniejszej rozprawy. Zawiera ona kilka elementów, które pozwalają stwierdzić, że jej Autor posiadał umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przykładem może być przeprowadzony bardzo szeroki i interesujący program badań, wykonane analizy oraz wyciągnięte wnioski. Również zastosowany sprzęt, tradycyjny i nowoczesny, może świadczyć o ww. umiejętności. Jednak prawdopodobnie najbardziej istotnym elementem jest opracowanie metody przygotowania próbek do badań w technologii druku 3D. Wykazano, że zaproponowana metoda jest szczególnie przydatna w przypadku wytwarzania większej ilości próbek.

Na uwagę zasługuje fakt, że w opiniowanej pracy (w bibliografii) znalazły się cztery pozycje, których doktorant jest współautorem. Dodatkowo jest on współautorem kilkunastu publikacji w czasopismach branżowych i referatów konferencyjnych. Indeks H w bazach Web of Science i Scopus wynosi odpowiednio 6 i 5, zaś liczbę cytowań (na dzień 03.11.2023 r.) w ww. bazach podano w poniższej tabeli:

Baza publikacji	Liczba cytowań
Web of Science / (bez autocytowań)	88 / (81)
Scopus / (bez autocytowań)	125 / (108)

Przedstawione powyżej liczby świadczą o znaczącej aktywności naukowej doktoranta, co w połączeniu z opracowaną rozprawą pozwala stwierdzić, że Doktorant *wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej*.

10. Ocena oryginalności rozwiązania problemu naukowego

Zastosowanie włókien w mieszankach cementowych nie jest nowością, natomiast wyzwaniem jest niewątpliwie zastosowanie włókien w mieszankach do druku 3D. Autor podjął się próby udowodnienia, że możliwe jest zaprojektowanie mieszanek z dodatkiem zbrojenia rozproszonego, które spełniałyby wymagania w zakresie zastosowań do druku 3D. To zadanie zostało w pełni zrealizowane. Szczególnie istotne jest tu zastosowanie dłuższych włókien, o długości powyżej 12 mm (rozwiązanie nie jest popularne z uwagi na ich długość). Wśród trzech wyselekcjonowanych mieszanek do druku 3D, znajduje się kompozyt z włóknami bazaltowymi o długości 50 mm. Należy tu podkreślić, że właśnie włókna bazaltowe w największym stopniu poprawiły parametr „*buildability*”.

W mojej ocenie recenzowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

11. Konkluzja

Złożona przez Doktoranta praca doktorska potwierdza jego wpływ na rozwój naukowy w dyscyplinie budownictwo (obecna nazwa: Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport). Przedstawione w niej rozważania naukowe są istotne dla tej dyscypliny.

Stwierdzam, że zgodnie punktem 1.2 niniejszego opracowania oraz Poradnikiem Rady Doskonałości Naukowej w zakresie recenzji w postępowaniach o awans naukowy (2022 r.), spełnione są warunki formalne do nadania Panu mgr. inż. Mateuszowi Techmanowi stopnia doktora w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie budownictwo (obecna nazwa: Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport). Dlatego też wnioskuję o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, reading "Jacek Dąbrowski". The signature is written in a cursive style with a small circle at the end of the last letter.