

Recenzja spełniająca wymagania formalne

Łódź, dn. 14 listopada 2025 r.

dr hab. inż. Michał Goldyn
Politechnika Łódzka
Katedra Budownictwa Betonowego

Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Julii Blazy pt. „*Synthetic FRC ground slabs subjected to a central concentrated force*”

1. Podstawa formalna recenzji

Podstawę opracowania niniejszej recenzji stanowią uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej z dn. 25 września 2025 r. oraz pismo Pana prof. dr. hab. inż. Piotra Fołegi, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej, z dn. 3 października 2025 r.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem niniejszej recenzji jest rozprawa doktorska Pani mgr inż. Julii Blazy, zatytułowana „*Synthetic FRC ground slabs subjected to a central concentrated force*”. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Łukasz Drobiec.

3. Informacja o układzie i treści pracy

Praca doktorska, zawarta w jednym tomie, liczy łącznie 405 stron. Układ pracy jest bardzo przejrzysty, logiczny i konsekwentny. Rozprawa została podzielona na 10 rozdziałów, zawiera również dwa załączniki (A i B). Większość rozdziałów i podrozdziałów zakończona jest podsumowaniem, w którym Autorka wymienia najważniejsze wnioski płynące z przedstawionych wcześniej rozważań.

Struktura pracy jest następująca: spis treści, wykaz ważniejszych stosowanych oznaczeń, zasadnicza treść pracy podzielona na 10 rozdziałów, z których jeden stanowi piśmiennictwo, a także dwa załączniki i trzy streszczenia – jedno w języku angielskim i dwa w języku polskim (z czego jedno poszerzone, liczące 26 stron). W pracy zamieszczono łącznie 181 rysunków, 83 tablice i 133 równania. Piśmiennictwo obejmuje 250 pozycji, w skład których wchodzi monografie i artykuły naukowe, a także normy przedmiotowe i wytyczne techniczne. Pozycje literaturowe zostały dobrane adekwatnie do tematyki poruszanej w rozprawie.

Rozdział 1 (Introduction), obejmujący 2 strony, zawiera **ogólną charakterystykę oraz potencjalne obszary zastosowania betonu z dodatkiem włókien syntetycznych**, określanych w dalszej części pracy skrótem SyFs.

Rozdział 2 (Motivation and theses), obejmujący 6 stron, zawiera **uzasadnienie podjęcia tematyki badań**. Autorka pracy jasno wskazuje, że **celem rozważań jest m.in. opracowanie reguł projektowania i analizy płyt na gruncie wykonywanych z betonu z dodatkiem włókien syntetycznych**. Cele (siedem) i tezy (pięć) rozprawy zostały jasno przedstawione w Tablicach 2.1 i 2.2. Wśród najważniejszych **celów pracy** Autorka wskazała:

- przegląd i krytyczną ocenę stanu wiedzy,
- przygotowanie i realizację badań eksperymentalnych ukierunkowanych na ocenę właściwości fibrobetonu, jak również zachowania pod obciążeniem skupionym płyt na gruncie,

- ocenę obowiązujących procedur projektowych dotyczących płyt z fibrobetonów,
- sformułowanie własnych, praktycznych zaleceń projektowych.

Wśród **tez**, które starała się zweryfikować w trakcie przygotowywania rozprawy, wymieniła:

- odpowiedź konstrukcyjną betonowych płyt na gruncie zbrojonych włóknami syntetycznymi, obciążonych centralną siłą skupioną, można wiarygodnie przewidzieć na podstawie wyników uzyskanych z badań próbek belkowych poddanych rozciąganiu przy zginaniu,
- odpowiedź konstrukcyjna płyt na gruncie różni się znacząco od zachowania płyt niepodpartych, szczególnie pod względem nośności i modelu zniszczenia,
- dodatek włókien syntetycznych korzystnie wpływa na pracę płyt po zarysowaniu oraz prowadzi do bardziej plastycznego modelu zniszczenia,
- zwiększenie ilości włókien syntetycznych zwiększa nośność z uwagi na przebicie oraz wydłuża krytyczny obwód kontrolny,
- rodzaj włókien syntetycznych wpływa zarówno na nośność na przebicie, jak i na długość krytycznego obwodu kontrolnego.

Rozdział 3 (Evaluation of the state of knowledge), liczący 132 strony, zawiera obszernie przedstawienie stanu wiedzy z podziałem na: modele teoretyczne, normy projektowe, badania eksperymentalne w zakresie właściwości świeżej mieszanki betonowej i stwardniałego fibrobetonu, badania centrycznie obciążonych płyt na gruncie oraz zalecenia praktyczne w zakresie projektowania i wykonawstwa. Zgromadzone informacje posłużyły do **zidentyfikowania obszarów dotychczas niedostatecznie rozpoznanych i wymagających dalszych badań i analiz**. Autorka rozprawy wskazuje m.in. na:

- ograniczoną liczbę badań elementów zbrojonych konstrukcyjnie włóknami syntetycznymi,
- fakt, że większość obowiązujących procedur projektowych nie uwzględnia korzyści z zastosowania włókien syntetycznych,
- brak analiz wpływu włókien syntetycznych na mechanizm formowania się rys ukośnych i nośność na przebicie.

W rozdziale tym zawarto również syntetyczne omówienie i porównanie metod projektowania płyt na gruncie zgodnie z procedurami: Technical Report 34, Concrete Hardstanding Design Guidance, Heavy Duty Pavements oraz ACI 360R-10, z uwzględnieniem obszaru zastosowań, głównych założeń i metod obliczeń.

Rozdział 4 (Research program), przedstawiony na 34 stronach, obejmuje **program badań własnych**, których celem była **ocena właściwości betonu oraz zachowania płyt pod obciążeniem**. Przewidziano zastosowanie 6 mieszanek betonowych o zbliżonym składzie, różniących się ilością (0÷0,33%) i rodzajem użytych włókien syntetycznych (kopolimerowe i polimerowe, o smukłości 120 i 80).

W ramach **badania materiału** dokonano oceny: urabialności, modułu sprężystości podłużnej, wytrzymałości betonu na ściskanie, rozciąganie przy rozłupywaniu i zginaniu oraz energii pęknięcia. Badania prowadzono na próbkach kostkowych o boku 150 mm (6 próbek z każdej serii) oraz beleczkach o przekroju 150 × 150 × 550 mm (3 próbki z każdej serii). Dodatkowo, wytrzymałość i moduł sprężystości betonu w konstrukcji oznaczono na próbkach wykonanych z rdzeni Ø94 mm pobranych ze zbadanych płyt.

Badania elementów w skali naturalnej obejmowały łącznie 18 płyt (3 modele w ramach każdej z serii) o wymiarach 1,2 × 1,2 m i grubości 0,2 m. Wybór wymiarów poprzedziła analiza związana z położeniem miejsca zerowania momentów zginających, co jest typową praktyką w badaniach przebicia. W przypadku płyt na podłożu sprężystym istotny jest przy tym moduł odkształcalności podłoża, na co zwróciła uwagę Autorka.

Rozdział 5 (Results), przedstawiony na 105 stronach, obejmuje **opis badań eksperymentalnych** dotyczących właściwości betonu oraz zachowania płyt pod obciążeniem. Dla każdej serii badawczej omówiono rozwój deformacji, morfologię rys, kontakt z podłożem oraz charakterystykę stożków przebicia. Autorka wyodrębniła trzy mechanizmy zniszczenia, warunkowane relacją pomiędzy siłą przy pojawieniu się pierwszej i kolejnej rysy a nośnością na przebicie.

Rozdział 6 (Analytical analysis), przedstawiony na 43 stronach, obejmuje **analizę wyników badań w świetle wybranych modeli i procedur obliczeniowych** dotyczących projektowania płyt na gruncie. Autorka przedstawiła kompletne i bardzo staranne obliczenia, które wykazały, że wpływ dodatku włókien jest w obowiązujących procedurach najpewniej mocno niedoszacowany – zgodnie z Tablicą 6.8 przekłada się on na przyrost naprężeń granicznych jedynie o kilka procent.

Rozdział ten zawiera wartościową dyskusję przyczyn rozbieżności pomiędzy wynikami eksperymentów a przewidywaniami procedur obliczeniowych. Za główny powód Autorka wskazała bardzo konserwatywne oszacowanie wytrzymałości na rozciąganie betonu zbrojonego włóknami syntetycznymi.

Interesująca jest również ocena udziału poszczególnych mechanizmów nośności płyt na gruncie: betonu, włókien oraz bezpośredniego przekazywania obciążenia na podłoże. Analiza w świetle procedury *Meyerhof-Losberga* i Eurokodu 2 wykazała, że udział włókien syntetycznych oszacowano na ok. 13% lub 8%, w zależności od położenia przyjętego przekroju krytycznego (a lub $2d$).

Autorka rozważa również wpływ warunków podparcia na siły wewnętrzne, korzystając z modeli analitycznych oraz obliczeń MES w programie ABC Płyta. Analiza ta jest kluczowa dla wnioskowania o rozwoju zarysowania i sposobie zniszczenia, a porównanie sił rysujących i niszczących z wartościami teoretycznymi daje wyobrażenie o rzeczywistych warunkach podparcia.

Rozdział 7 (Discussion), przedstawiony na 8 stronach, **obejmuje krytyczną analizę wyników badań i obliczeń**. Autorka wskazuje zależność pomiędzy siłami rysującymi i niszczącymi a wytrzymałościami resztkowymi $f_{R,i}$ z badań belek z fibrobetonu w schemacie trójpunktowego zginania. Zauważa, że wytrzymałość $f_{R,3}$ jest parametrem pozwalającym szacować nośność płyt na gruncie związaną z mechanizmem przebicia.

Rozdział 8 (Final conclusions and recommendations), przedstawiony na 7 stronach, obejmuje **wnioski końcowe i zalecenia praktyczne**. Autorka podsumowuje wpływ dodatku i zawartości makrowłókien syntetycznych, zachowanie pod obciążeniem i sposoby zniszczenia płyt z betonu zbrojonego włóknami syntetycznymi, a także wyniki rozważań analitycznych.

Rozdział 9 (Further research areas), przedstawiony na 3 stronach, zawiera **kierunki dalszych prac**, w tym: analizę numeryczną MES, badania z wykorzystaniem mikro- i makrowłókien syntetycznych oraz ocenę wpływu różnych sposobów obciążenia i warunków podparcia na nośność i zachowanie płyt.

Za bardzo wartościowe recenzent uważa dwa załączniki, które zawierają wyniki badań eksperymentalnych zgromadzonych w trakcie kwerendy stanu wiedzy. Załącznik A obejmuje badania wpływu zawartości włókien na cechy wytrzymałościowe stwardniałego betonu i właściwości świeżej mieszanki, natomiast Załącznik B – wyniki badań modeli płyt na gruncie poddanych obciążeniu skupionemu.

wplywu dodatku włókien syntetycznych na właściwości fizyczne i mechaniczne stwardniałego betonu w badaniach próbek o małych rozmiarach, takich jak kostki, walce czy beleczki. Tego rodzaju badania, istotne z punktu widzenia cech materiału, **nie pozwalają jednak wnioskować o wpływie tego rodzaju zbrojenia na zachowanie elementów konstrukcyjnych w skali naturalnej.** Ze względu na skalę nie pozwalają w pełni odzwierciedlić mechanizmów zachodzących w elementach o naturalnych rozmiarach. Nie pozwalają również uwzględnić m.in. rzeczywistego obciążenia czy sposobu podparcia. Z tego względu **podjęcie badań eksperymentalnych płyt w skali naturalnej należy uznać za ważny krok poznawczy.**

Na podkreślenie zasługuje **bardzo staranne i skrupulatne przygotowanie programu badań eksperymentalnych.** Zebranie dotychczasowych doświadczeń pozwoliło Doktorantce wskazać najważniejsze parametry zmienne, do których zaliczyć można rodzaj włókien, a także ich dozowanie. Badaniu głównych elementów towarzyszyła starannie przeprowadzona kampania eksperymentalna, której celem było określenie najważniejszych cech mechaniczno-wytrzymałościowych zastosowanych betonów, takich jak wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na rozciąganie w próbie rozłupywania, granica proporcjonalności i wytrzymałość resztkowa w próbie zginania trójpunktowego czy moduł sprężystości podłużnej. Za ważne i bardzo zasadne w ocenie recenzenta uznać należy pobranie próbek betonu (rdzeni) ze zbadanych płyt. Taki sposób postępowania pozwolił na wiarygodną ocenę wytrzymałości betonu w konstrukcji, z uwzględnieniem warunków wbudowania materiału, różniących się od występujących przy wykonywaniu próbek.

Przegląd literatury omówiony w rozdziale 3.4.2 dokumentuje rozważania dotyczące **metodologii badań i projektu stanowiska badawczego.** Wykorzystanie wcześniejszych doświadczeń pozwoliło wskazać zawnazu możliwe trudności, a także racjonalnie dobrać wielkość elementów badawczych. **Taki sposób postępowania należy w ocenie recenzenta wskazać jako wzorcowy, bowiem krytyczna ocena wcześniejszych badań pozwoliła uniknąć m.in. powielania błędów metodologicznych.**

W przypadku badań płyt na gruncie jednym z kluczowych parametrów jest **odzwierciedlenie rzeczywistych parametrów podłoża,** powiązanych przede wszystkim z jego odkształcalnością pod obciążeniem. W relacjonowanych eksperymentach dużą wagę przyłożono do **zachowania powtarzalności warunków podparcia.** W każdej próbie zagęszczenie podłoża było starannie kontrolowane, co pozwoliło uniknąć niezamierzonego wpływu zróżnicowanych warunków podparcia na nośność eksperymentalną modeli.

Co bardzo ważne, badania udowodniły korzystny wpływ podparcia fundamentu na podłożu gruntowym, przejawiający się przyrostem sił niszczących. Modyfikacja sposobu podparcia prowadziła przy tym do zmiany mechanizmu zniszczenia ze zginania na przebicie. Dowodzi to wyraźnie, iż badania realizowane na płytach opartych na czterech krawędziach nie mogą odzwierciedlać zachowania płyt na gruncie. **Jakkolwiek badania dotyczyły płyt wykonanych z betonu zbrojonego włóknami syntetycznymi, spostrzeżenia o charakterze jakościowym mają charakter uniwersalny i mogą być bardzo użyteczne także w odniesieniu do płyt zbrojonych włóknami stalowymi.**

Za najważniejsze, oryginalne osiągnięcia Autorki pracy uważam:

- zgromadzenie, krytyczną analizę i syntezę dotychczasowego stanu wiedzy w zakresie właściwości betonu zbrojonego włóknami syntetycznymi, a także precyzyjne wskazanie obszarów wymagających dalszych prac eksperymentalnych,
- zaprojektowanie stanowiska badawczego pozwalającego na badanie płyt w skali naturalnej z uwzględnieniem rzeczywistych warunków podparcia na podłożu gruntowym,

- przygotowanie programu badań i realizację oryginalnych badań eksperymentalnych ukierunkowanych na ocenę nośności, zachowania pod obciążeniem i mechanizmu zniszczenia płyt na gruncie wykonanych z betonów z dodatkiem włókien syntetycznych,
- krytyczną ocenę dostępnych w literaturze procedur projektowania płyt na gruncie wykonanych z betonów zawierających zbrojenie rozproszone.

Założone przez Doktorantkę cele badań zostały osiągnięte, a większość z postawionych tez w całości udowodniona. Autorka rozprawy wykazała, że potrafi projektować i realizować złożone badania eksperymentalne, dokonywać krytycznej oceny uzyskanych wyników, a także analizować dotychczasowy stan wiedzy i trafnie diagnozować obszary dotychczas nierozpoznane. Doktorantka nie pominęła wyników badań, które odbiegały od ugruntowanej teorii, starając się dociec przyczyn zaobserwowanych rozbieżności. Zdawała sobie przy tym sprawę z ograniczeń wynikających m.in. z dostępnej infrastruktury badawczej, zaznaczając, iż pewnych uzyskanych wyników nie można nadmiernie uogólniać. Naturalną cechą badań eksperymentalnych jest niemożność przewidzenia i wykluczenia wszystkich efektów niezamierzonych. **Umiejętność krytycznej i obiektywnej oceny otrzymanych wyników, a także formułowanie wniosków w zakresie koniecznych zmian w realizacji kolejnych badań świadczy o niewątpliwej dojrzałości naukowej Autorki rozprawy.**

W ocenie recenzenta kolejny etap prac analitycznych Autorki powinna stanowić nieliniowa analiza MES. Bogaty materiał eksperymentalny, obejmujący dobrze udokumentowane badania, pozwoliłby na wiarygodną kalibrację modelu obliczeniowego. Niewątpliwą zaletą modelu numerycznego byłaby możliwość „spojrzenia” wewnątrz płyty, jak również ocena zachowania elementów o większym rozmiarze, odpowiadających większym obszarom płyt na gruncie.

5. Uwagi szczegółowe o charakterze dyskusyjnym

Uwagi zestawiono w kolejności czytania treści pracy.

W rozdziale 3.2.2 przedstawione zostały mechanizmy rozwoju zarysowania w fibrobetonie. Zdaniem recenzenta zasadny byłby w tym miejscu także komentarz dotyczący rozwoju zarysowania w betonie zbrojonym włóknami syntetycznymi. W szczególności warto byłoby wyjaśnić, jak kształtuje się zdolność mostkowania rys oraz czy zniszczenie wynika ze stopniowego zrywania włókien, czy też utraty ich zakotwienia w betonie. Recenzent prosiłby o odpowiedź, czy Autorce pracy udało się dotrzeć do wyników badań eksperymentalnych dotyczących wskazanego zagadnienia.

W rozdziale 3.2.4 pojawia się wątpliwe stwierdzenie „*the shear resistance of an unreinforced element is governed primarily by the capacity of the compression struts*”. Czy należy przez to rozumieć, że o nośności elementów niezbrojonych decyduje krzyżulec ściskany? W ocenie recenzenta wymaga to wyjaśnienia.

Na rysunku 3.14, pochodzącym z publikacji [15], pojawia się zastanawiająca zależność naprężenie-odkształcenie, która sugeruje, iż w przypadku betonów o wysokiej wytrzymałości uzyskuje się maksymalne naprężenie przy większym odkształceniu niż w przypadku betonu zwykłego. Z reguły wyższe odkształcenia notuje się w betonach niższych klas, co znajduje odzwierciedlenie w postanowieniach normowych, na przykład Eurokodu 2 (patrz Tablica 3.1). Wskazane byłoby krótkie odniesienie się do tej rozbieżności.

W rozdziale 3.3.2.3 zamieszczone zostały formuły empiryczne służące szacowaniu właściwości wytrzymałościowych fibrobetonów [równania (3.36–3.39)]. Recenzent prosiłby Autorkę pracy o komentarz, czy w Jej ocenie ich stosowanie w odniesieniu do betonu zbrojonego włóknami syntetycznymi jest zasadne. Formuły te nie uwzględniają w żaden sposób zawartości ani kształtu (smukłości) włókien, co poddaje w wątpliwość ich przydatność. Ich przytoczenie powinno być opatrzone komentarzem – celowe byłoby w tym miejscu porównanie wytrzymałości teoretycznych wynikających z wytycznych RILEM TC 162-TDF z wartościami wynikającymi z formuł zaproponowanych przez Autorkę [równania (3.41–3.44)], opracowanych na podstawie wcześniejszych badań eksperymentalnych. Zamiast Tablicy 3.1 pouczające byłoby wskazanie – na przykład w formie wykresu lub tablicy – wpływu zmiany zawartości włókien i ich smukłości na wytrzymałość stwardniałego betonu.

W podsumowaniu badań płyt na gruncie (rozdział 3.4.2.9) bardzo wartościowe i obrazowe byłoby zamieszczenie szkiców demonstrujących typowy rozwój zarysowania w centralnie obciążonych płytach na gruncie. Pewne informacje na ten temat znaleźć można w rozdziale 7 pracy, jednak z punktu widzenia późniejszego wnioskowania o warunkach podparcia w badaniach własnych zasadne byłoby umieszczenie spostrzeżeń dotyczących obserwowanego zarysowania w rozdziale poświęconym stanowi wiedzy (rozdział 3).

Wady podłóg przemysłowych opisane w rozdziale 3.5 znajdują się poza głównym nurtem pracy i w ocenie recenzenta z powodzeniem mogłyby zostać pominięte – bez szkody dla całej rozprawy. Punkt ten byłby bardziej zasadny, gdyby wyraźnie udokumentowano, jakich ze wskazanych uszkodzeń można uniknąć w przypadku zastosowania mikrobrojenia rozproszonego.

Recenzent jest zdania, że klasyfikacja płyt płaskich na cienkie (smukłe) i grube (krępe) powinna być powiązana z ich smukłością, a zatem relacją rozpiętości w osiach podpór do wysokości użytecznej (lub grubości). Relacja pomiędzy wymiarem słupa a grubością płyty, o której mowa w rozdziale 4.4.2.2, jest tylko jednym z parametrów wpływających na nośność na przebicie i determinuje głównie rozkład naprężeń stycznych w sąsiedztwie podpory (w przypadku podpór o znacznym rozmiarze dochodzi do koncentracji naprężeń w obrębie naroży słupa). Nie zmienia to faktu, że w ocenie recenzenta płytę trafnie sklasyfikowano jako smukłą.

Zrozumiałym jest, iż uwzględnienie w warunkach laboratoryjnych efektu membranowego może być trudne w realizacji. W przypadku przedstawionych badań wymagałoby to na przykład wykonania i zbadania jednakowo obciążonych płyt, różniących się wymiarami w planie, jak uczyniono m.in. w badaniach *Guidottiego* i in. Odnosząc się jednak do zachowania rzeczywistych płyt na gruncie, celowa byłaby – zdaniem recenzenta – szersza dyskusja możliwego wpływu skrępowania strefy podporowej przez otaczającą płytę. W przyszłych publikacjach recenzent sugerowałby pogłębioną analizę tego zagadnienia, szczególnie w kontekście istotnych różnic w oszacowaniu nośności eksperymentalnych zgodnie z modelem *Shentu* i in., na co zwraca uwagę Autorka pracy. W literaturze przedmiotu dostępne są wyniki badań i analiz dotyczących zachowania ciągłych płaskich płyt żelbetowych i wpływu efektu membranowego na nośność na przebicie. W przypadku płyt zbrojonych włóknami syntetycznymi efekt ten może być oczywiście mniejszy, choć dopiero badania eksperymentalne lub analizy numeryczne MES z uwzględnieniem ciągłego podparcia na podłożu pozwoliłyby bardziej precyzyjnie rozeznaczyć ten temat. Na problem niepełnego odzwierciedlenia pracy rzeczywistych płyt na gruncie zwraca również uwagę Autorka pracy w rozdziale 4.4.2.3.

Na stronie 183 Autorka pracy zauważa, iż w prowadzonych analizach przyjmuje siły rysujące F_{cr1} i F_{cr2} oraz siłę przebijającą jako medianę z wyników zarejestrowanych w odniesieniu do płyt danej serii badawczej. W tym miejscu recenzent ma pewną wątpliwość, bowiem każda seria liczyła trzy elementy. Jak w takim przypadku definiowana była mediana, która jest wartością środkową, dzielącą uporządkowany zbiór danych na dwie równe części? Ponadto, dlaczego w przypadku określania kąta nachylenia tworzącej stożka przebicia posługiwano się wartością średnią (czy określenie „average” zostało użyte w znaczeniu „mean”)?

Recenzent zgadza się z Autorką pracy, iż ze względu na zróżnicowanie cech wytrzymałościowych betonu (pomimo zachowania pozornie jednakowego składu mieszanki, nie licząc oczywiście włókien syntetycznych) trudno jest we wszystkich przypadkach jednoznacznie ocenić wpływ dodatku zbrojenia rozproszonego, bowiem uzyskane różnice mogły być następstwem zróżnicowanego wskaźnika wodno-cementowego, wynikającego z odmiennej wilgotności kruszywa. Tłumaczyłoby to bardzo optymistyczne wyniki, wskazujące, iż dodatek włókien syntetycznych w ilości 2 lub 3 kg/m³ może prowadzić do przyrostu wytrzymałości na ściskanie sięgającego nawet ponad 50%.

Należy przy tym stanowczo podkreślić, iż na powyższe różnice Doktorantka nie miała najmniejszego wpływu, bowiem ze względu na objętość materiału przeznaczanego do wbudowania stosowano beton towarowy dostarczany z wytwórni. Recenzent bardzo docenia fakt, iż Autorka pracy krytycznie podeszła do uzyskanych wyników i starała się w racjonalny sposób wyjaśnić możliwe przyczyny rozbieżności, nie dokonując przy tym nadinterpretacji uzyskanych rezultatów.

Zdaniem recenzenta z pewną dozą ostrożności należy również podchodzić do oceny wpływu dodatku włókien na wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu betonu pobranego z elementów. W rozdziale 5.1.4 wskazuje się na przyrost wytrzymałości sięgający nawet 40%. Porównując jednak relację pomiędzy wytrzymałością na rozłupywanie i wytrzymałością na ściskanie betonu pobranego z konstrukcji ($f_{ct,ls}/f_{c,core,ls}$), nie zauważa się tak wyraźnego wpływu dodatku włókien syntetycznych. Iloraz ten jest równy 0,076 w przypadku betonu zwykłego, podczas gdy w przypadku betonów z dodatkiem włókien kształtuje się na poziomie 0,073–0,079. Decydujący wpływ mogła mieć w tym przypadku wytrzymałość matrycy cementowej. Ponownie, największy problem stanowiła ograniczona porównywalność betonów pochodzących z kolejnych zarobów.

Czym można tłumaczyć zachowanie pod obciążeniem płyty 2.3 (rys. 5.24) w końcowej fazie badania? Zwiększenie siły o ponad 150 kN skutkowało jedynie niewielką zmianą przemieszczenia w środku płyty. Co stanowiło przesłankę do zakończenia badania? Na wykresie nie widać gwałtownego spadku rejestrowanej siły. Ponadto płyta 4.1 charakteryzowała się znacznie większą, w stosunku do pozostałych modeli serii, siłą rysującą F_{cr1} (rys. 5.38). Czym można tłumaczyć taką różnicę w zachowaniu względem pozostałych modeli?

Czy na początku badania pomiędzy elementem a podporami liniowymi występował niewielki luz? W przypadku niektórych badań, przy poziomie obciążenia odpowiadającego sile rysującej F_{cr1} , zaobserwować można przesunięcie całego profilu ugięcia (także w punktach w bezpośrednim sąsiedztwie podpór) poniżej osi odciętych.

Z czego wynikało założone podejście dotyczące ustalania zastępczego nachylenia tworzącej stożka przebicia na podstawie obwodu zastępczego u_{eq} ? Dlaczego uśrednionego położenia wylotu rysy ukośnej nie ustalono na podstawie długości obwodu podstawy stożka przebicia u_{base} : $a = (u - 4x)/2\pi$, które to następnie pozwoliłoby na wyznaczenie kąta pochylenia $\theta = \arctg(h/a)$?

Ze względu na wskazane wcześniej różnice w wytrzymałości na ściskanie betonu – szczególnie pomiędzy seriami 1 i 2 a serią 3 – w analizie bardziej adekwatne byłoby stosowanie nośności standaryzowanych, na przykład $F_p/f_c^{0.5}$. Zabieg ten, choć niepozbawiony wad, pozwala w pewien sposób zniwelować różnice wynikające z czynników niezamierzonych, niebędących w zamierzeniu parametrami zmiennymi badania. Stosowanie nośności standaryzowanych jest częstą praktyką w analizie porównawczej wyników badań elementów z betonów zróżnicowanej wytrzymałości, czy też różniących się wysokością użyteczną i zbrojeniem głównym. Bezpośrednie porównywanie sił rysujących czy niszczących może prowadzić do mylnych spostrzeżeń i przeszacowania różnic pomiędzy elementami z betonu zwykłego i betonu z dodatkiem zbrojenia rozproszonego.

Analiza warunków podparcia płyt, przedstawiona w rozdziale 6.7, daje pewne wyobrażenie warunków występujących w trakcie badania, a także pozwala uzmysłowić, jaki mógł być wpływ ich zróżnicowania na uzyskane siły rysujące i niszczące. Zdaniem recenzenta, w przypadku realizacji kolejnych serii badań, należałoby rozważyć modyfikację stanowiska badawczego. Wprowadzenie podkładek elastomerowych pozwoliłoby płycie „ułożyć się” w stanowisku i w pewien sposób zniwelować różnice w oparciu na podporach liniowych, a także wymusić podparcie na czterech krawędziach. Zabieg ten mógłby pozwolić na wyeliminowanie bądź ograniczenie wpływu niezamierzonego zróżnicowania warunków podparcia, które może prowadzić do przekłamania sił rysujących i niszczących.

Mechanizmy zniszczenia wskazane w rozdziale 5.3, związane z formowaniem się kolejnych rys, odpowiadają założeniom badawczym. Warto jednak byłoby rozważyć, jakie przełożenie na ocenę zachowania i nośności płyt rzeczywistych może mieć relacja pomiędzy siłami rysującymi F_{cr1} , F_{cr2} i siłą przebijającą F_p , stwierdzonymi w badaniach wydzielonych fragmentów płyt. Zdaniem recenzenta wymaga to wyjaśnienia i szerszego komentarza.

6. Uwagi o charakterze redakcyjnym i edycyjnym

Formuła opisująca maksymalne naprężenia styczne $v_{Rd,max}$, przedstawiona w pracy równaniem (3.53), została w 2011 roku zmieniona (poprawka do normy PN-EN 1992-1-1:2008/AC:2011) i powinna brzmieć: $v_{Rd,max} = 0,4v_{fd}$. Dodatkowo, graniczne naprężenia styczne w przypadku fundamentów opisuje się symbolem v_{Rd} , celem rozróżnienia ich od naprężeń granicznych $v_{Rd,c}$ związanych z podstawowym obwodem kontrolnym u_1 i odnoszących się do płyt smukłych.

Prezentując zmianę szerokości rys ukośnych (rys. 5.54), bardziej obrazowe byłoby przedstawienie wykresu w funkcji działającego obciążenia, a nie wyłącznie w funkcji czasu.

Punkty wykresów pokazanych na rysunkach 6.10 i 6.11 nie powinny być łączone liniami, bowiem wskazują na konkretne nośności. Linie sugerują natomiast występowanie pewnego trendu, którego w tym przypadku się nie stwierdza. Nachylenie linii zależy od sposobu sortowania wyników odnoszących się do poszczególnych modeli serii.

W ocenie recenzenta praca napisana jest bardzo dobrym językiem. Autorka stosuje poprawną terminologię specjalistyczną, dbając o zrozumiałość wypowiedzi. Recenzent dopatrył się jedynie nielicznych usterek językowych, które wskazuje w celu zwrócenia na nie uwagi przy tworzeniu przyszłych publikacji:

- s. 33 – „*limiting shear strength* v_{Rd} ” – mowa o naprężeniach granicznych powiązanych z nośnością, zatem winno być „*shear resistance*”,
- s. 33 – „*net soil capacity*” – powinno być „*resultant of the subgrade reaction*” lub „*net soil pressure*”,

- s. 55 – „*equations (3.36)–(3.39), thanks to which the flexural tensile strength may be estimated*” – lepiej: „*equations (3.36)–(3.39), which allow for estimation of the flexural tensile strength*”,
- s. 71 – „*degree of primary reinforcement*” – powinno być „*longitudinal reinforcement ratio*”,
- s. 127 – „*collapse load capacity*” – należałoby rozważyć użycie sformułowania „*destructive force*” lub „*ultimate load*”,
- s. 138 – „*the slab was sectioned into eight segments post-testing*” – najpewniej Autorka miała na myśli: „*the slab was sectioned into eight segments after completion of the test*”,
- s. 167 – „*restrain its lateral movement*” – powinno być „*restrain its lateral deformation*”
- s. 191 – „*correction factors*” – powinno być „*shape factors*”,
- s. 215 – „*crack morphology*” – termin poprawny w odniesieniu do rozwoju zarysowania, jednak w kontekście obrazu zarysowania lepiej byłoby użyć sformułowania „*crack pattern*”,
- s. 222 – „*slab 1.2 recorded an F_{cr2} value*” – bardziej poprawne byłoby sformułowanie „*in the case of slab 1.2 an F_{cr2} value was recorded*”,
- s. 229 – „*the cones exhibited brittleness*” – określenie „*kruchosć*” lepiej odnosi się do materiału; w tym kontekście można byłoby napisać „*concrete of the punching cones was cracked and therefore difficult to transport*”,
- s. 329 i 333 – „*horizontal thrust*” – w przedstawionym kontekście trafniejsze byłoby sformułowanie „*lateral confinement*”.

7. Wniosek końcowy

Wskazane wcześniej uwagi i pytania o charakterze dyskusyjnym w żaden sposób nie umniejszą bardzo wysokiej oceny pracy i mają na celu zainicjowanie ogólnej dyskusji.

Podsumowując recenzję rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Julia Blazy pt. „*Synthetic FRC ground slabs subjected to a central concentrated force*”, stwierdzam, iż stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i twórcze rozszerzenie dotychczasowego stanu wiedzy w zakresie badań płyt na gruncie wykonanych z betonu zbrojonego włóknami syntetycznymi. Recenzowana praca spełnia wszystkie wymagania, o których mowa w art. 187 ustawy z dn. 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późniejszymi zmianami). Autorka rozprawy wykazała się wysoką dojrzałością naukową. Udowodniła, iż potrafi samodzielnie prowadzić pracę naukową, podchodząc merytorycznie i krytycznie do uzyskanych wyników badań i analiz. Wnoszę o dopuszczenie dysertacji do publicznej obrony.

Biorąc pod uwagę bardzo wysoką staranność pracy, praktyczny aspekt podjętej tematyki, staranne zaplanowanie i zrealizowanie programu autorskich badań eksperymentalnych, zaprojektowanie autorskiego stanowiska badawczego do badań płyt posadowionych na podłożu a także sformułowanie wniosków o charakterze aplikacyjnym, składam wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Julii Blazy.

Recenzję podpisał
Michał Gołdyn

