Recenzja spełnia wymogi formalne

Prof. dr hab. inż. Anna Halicka

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Jakuba Zająca

pt.

THE BEHAVIOUR OF COMPOSITE CONCRETE ELEMENTS WITH UNREINFORCED MULTIPLANAR INTERFACE

przygotowanej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Łukasza Drobca

Podstawa opracowania: uchwała nr 100/2024 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 24.10.2024 r. oraz umowa o dzieło między recenzentką i Politechniką Śląską.

1. Problem naukowy, przedmiot i charakter rozprawy

Konstrukcje zespolone są celowym połączeniem dwóch lub więcej elementów składowych w jeden element konstrukcyjny. W budownictwie ogólnym największą rolę wśród takich konstrukcji mają niewątpliwie betonowe konstrukcje zespolone składające się z prefabrykatu lub prefabrykatów i uzupełniającego betonu monolitycznego (w recenzji będę używać uproszczonego pojęcia „nadbeton"). Zastosowanie prefabrykatów zapewnia dobrą jakość produktów (szczególnie wykończenie powierzchni), przy równoczesnym przyspieszeniu technologii realizacji obiektu dzięki przeniesieniu części procesów do fabryk. Rolą betonu uzupełniającego jest scalenie elementów składowych i uciąglenie konstrukcji (tzw. umonolitycznienie), zapewniające optymalną pracę statyczną konstrukcji. Zastosowanie prefabrykatów jako elementów powtarzalnych wpisuje się w założenia *Nowego Europejskiego Bauhasu* – europejskiego projektu mającego na celu m.in. kształtowanie budynków przyjaznych środowisku.

Konstrukcyjnym celem zespolenia prefabrykatów i betonu monolitycznego jest osiągnięcie parametrów pracy statycznej lepszych niż parametry elementów składowych pracujących niezależnie. Dystrybucję sił wewnętrznych na elementy składowe zapewnia tzw. styk (złącze). Ogólne zasady obliczania nośności styku, oparte na wynikach badań, podane są w normach obliczania konstrukcji betonowych (Eurokod, ModelCode, ACI). Jednak praca statyczna styku, szczególnie w odniesieniu do konkretnych elementów konstrukcyjnych, zwłaszcza gdy styk nie jest płaszczyzną poziomą i pracuje w złożonym stanie naprężenia, jest nadal nie w pełni rozpoznana. W efekcie, projektowanie bardziej skomplikowanych elementów zespolonych obarczone jest nadal pewną niepewnością co do nośności i parametrów użytkowych.

Dlatego temat rozprawy doktorskiej uznaję za aktualny i ważny z punktu widzenia zarówno poznawczego, jak i z punktu widzenia praktyki budowlanej.

Jednak tytuł rozprawy jest w mojej opinii jest nieco zbyt ogólny. W tytule należało dodać, że analizowane jest zachowanie elementów zespolonych z wielopłaszczyznowym niezbrojonym stykiem *pod obciążeniem doraźnym*, bowiem badania i analizy Doktoranta nie obejmowały efektów długotrwałych.

Praca ma charakter analityczno-doświadczalny – jej istotą są zarówno analizy numeryczne jak i badania laboratoryjne elementów, których geometria odpowiada prefabrykatom produkowanym przez jedną z polskich firm, stanowiącym elementy stropu zespolonego. Wyniki badań i analiz mogą być zastosowane wprost w tym konkretnym praktycznym przypadku, ale wnioski są ogólniejsze i mogą być adaptowane do innych sytuacji projektowych.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Rada Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport
wpłynęło dnia 13.01.2025
zał. —

Wpłynęło dnia 9.01.2025 r.

2. Zawartość i układ dysertacji

Rozprawa napisana jest w języku angielskim. Liczy 272 strony tekstu podstawowego, do którego dołączono na początku spis treści i spis najważniejszych symboli, a na końcu bibliografię oraz streszczenie w języku polskim.

Bibliografia zawiera 166 pozycji literaturowych i 17 norm. Cytowane prace są w większości angielskojęzyczne, choć jest tu także 25 prac polskojęzycznych i jedna niemieckojęzyczna. Bibliografia zawiera 1 autorską i 10 współautorskich publikacji Doktoranta.

W rozprawie najogólniej wyróżnić można następujące części:

1. Część wstępną – rozdział 1 stanowiący wprowadzenie i zestawiający informacje ogólne na temat stosowania prefabrykatów stropowych w budownictwie ogólnym oraz rozdział 2 ukazujący problem naukowy oraz podający motywację podjęcia pracy i jej zakres;
2. Studia literaturowe (rozdział 3) stanowiące bazę wiedzy na temat pracy styku między betonami wykonanymi w różnym wieku, normowych metod obliczania jego nośności, a także zestawiające wyniki badań styku i elementów zespolonych oraz sposoby ich numerycznego modelowania;
3. Rozdział 4, w którym sprecyzowano cel pracy oraz jej tezy;
4. Część badawczą, w której po zaprezentowaniu programu badań (rozdział 5) opisano ich wyniki (rozdział 6);
5. Część obliczeniową (rozdział 7), w ramach której zbudowano model numeryczny badanych elementów;
6. Część analityczną, gdzie dokonano analizy uzyskanych wyników badań, szczególnie w aspekcie zaleceń normowych (rozdział 8) oraz zaproponowano korektę niektórych z nich (rozdział 9);
7. Podsumowanie (rozdział 10), w którym sformułowano wnioski końcowe i zaprezentowano kierunki dalszych badań.

3. Merytoryczna ocena pracy

3.1 Ocena ogólna rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska o charakterze doświadczalno-analitycznym jest bardzo obszerna. Ma, jak już pisałam wyżej, potencjał aplikacyjny.

Stwierdzam, że jest ona pracą oryginalną. Jej realizacja wskazuje na kompetencję Doktoranta, w szczególności w zakresie pracy w laboratorium i analiz numerycznych. Widoczna jest konsekwencja działań, przemyślenie ich kierunku i twórcza realizacja. Pozwoliło to na osiągnięcie celu rozprawy i rozwiązanie problemu naukowego. Widoczne jest też otwarte myślenie o podjętym problemie, tworzenie wielu konstruktywnych pomysłów dotyczących jego rozwiązania i obiektywizm wobec uzyskanych wyników.

Szczegółowa ocena merytoryczna rozprawy zostanie przedstawiona poniżej poprzez oceny poszczególnych jej części. Ocena ta, ze względu na dużą objętość pracy i wiele poruszanych przez Doktoranta wątków, jest dość obszerna. Sformułowane uwagi, wiele z nich o charakterze dyskusyjnym, mają na celu wskazanie zagadnień, na które należałoby zwrócić uwagę w dalszych badaniach i publikacjach.

3.2 Ocena tytułu, wprowadzenia, motywacji, celu i tez pracy

We wprowadzeniu zawarte są wstępne informacje literaturowe na temat systemów stropowych, które są betonowymi konstrukcjami zespolonymi. Ogólnie wyspecyfikowane zostały wątpliwości dotyczące dotychczasowych procedur obliczania takich styków i sformułowany został ogólnie problem badawczy. Jest nim *zachowanie się zespolonych elementów betonowych ze stykiem niezbrojonym*. W mojej opinii jest to stwierdzenie zbyt

ogólne. Po pierwsze, jeśli na str. 14 napisano, że z analizy wyłączone są płyty, należałoby dodać *belkowych zespolonych elementów betonowych.* Po drugie, na co zwracałam uwagę oceniając tytuł rozprawy, należało dodać *pod obciążeniem doraźnym.*

Po przeprowadzeniu studiów literaturowych Doktorant sformułował cele szczegółowe dysertacji - wyjaśnienie wątpliwości i braków wyspecyfikowanych w wyniku krytycznej oceny danych literaturowych. Są nimi:

- analizy zachowania się wielopłaszczyznowego styku niezbrojonego w betonowych konstrukcjach zespolonych oraz tychże konstrukcji pod działaniem zginania,
- opracowanie modelu numerycznego zginanych betonowych konstrukcji zespolonych z wielopłaszczyznowych stykiem zespolonym,
- sformułowanie rekomendacji dla projektowania analizowanych konstrukcji i stworzenie podstaw dla badań pełnoskalowych.

W mojej opinii same *analizy* nie powinny być celem badań. Celem jest uzyskanie określonych danych na podstawie badań i właśnie analiz.

Doktorant sformułował cztery tezy (poniżej podano w tłumaczeniu na język polski):

1. Współpraca pomiędzy płaszczyznami w styku w elemencie zespolonym zależy od położenia na wysokości przekroju.
2. Praca wielopłaszczyznowego niezbrojonego styku przed zniszczeniem poślizgowym jest nieliniowa.
3. Wzrastająca nośność na ścinanie styków pionowych jest wynikiem efektu skrępowania.
4. Wydłużenie belki zespolonej poza oś podpory pozwala na quasi-monolityczne zachowanie się belki pomimo poślizgu zachodzącego w płaszczyźnie zespolenia do osi belki.

Tezy te odpowiadają zakresowi pojętych badań i w treści pracy widać odniesienie się do nich w analizach wyników badań i we wnioskach końcowych. Mam jedynie pewne uwagi dotyczące precyzji sformułowań.

W tezie pierwszej użyto pojęcia: *cooperation between the interface planes in the composite element.* Ale mówić się powinno raczej o *współpracy łącznych elementów w styku* (nie *współpracy płaszczyzn styku*). Styk w betonowych elementach zespolonych nie jest bowiem prostym kontaktem dwóch powierzchni, ale mechanizm adhezji powoduje, że powinno się go traktować jak *szew adhezyjny*, czy *strefę przejściową* o niewielkiej, ale jednak, grubości. To zresztą zauważone zostało na str. 15[9-12].

Teza trzecia nie precyzuje czego dotyczy skrępowanie i w jaki sposób jest realizowane (to wynika później z tekstu pracy, ale przy pierwszym czytaniu jest nieoczywiste). Po drugie słowo *increasing* sugeruje, że nośność w czasie badań lub po skrępowaniu wzrastała. Tymczasem nośność styków nieskrępowanych jest po prostu niższa niż nośność styków skrępowanych.

3.3 Ocena studiów literatury

Studia literaturowe obejmują zagadnienia, które uznaję za właściwe. Wybrane źródła są niewątpliwie związane z tematem i ważne. W ramach studiów literaturowych analizowane były następujące zagadnienia:

- mechanizmy połączenia elementów betonowych w styku, w tym mechanizm przekazywania ścinania,
- charakterystyki i parametry styku dwóch betonów,
- normowe metody obliczania elementów zespolonych (wbrew tytułowi rozdziału zajęto się tu jedynie metodami obliczania samego styku),
- relacje z badań parametrów styku dwóch betonów,
- relacje z badań elementów zespolonych, w szczególności tych ze stykami niepłaskimi,
- sposoby i przykłady modelowania numerycznego betonowych elementów zespolonych.

Mocną stroną studiów literaturowych jest krytyczna ocena przytaczanych danych, porównania liczbowe (np. tablica 3.6, rys. 3.27), a przede wszystkim sformułowanie wniosków wynikających z tych studiów oraz wyspecyfikowanie wątpliwości i braków w dotychczasowej wiedzy na temat pracy styku w betonowych konstrukcjach zespolonych, szczególnie styku wielopłaszczyznowego.

Studia literaturowe generalnie przeprowadzone są starannie, jednak w niektórych przypadkach relacje są nieco nieprecyzyjne, np.:

Str. 31-39 W podpisach rysunków 3.18, 3.19, 3.20, 3.22, 3.23 oraz tablic 3.2, 3.3 brakuje informacji, jak uzyskano przedstawione wyniki. Nie ma bowiem uniwersalnej przyczepności, ale powinna być ona określana stanem naprężeń np. *wytrzymałość styku na ścinanie, wytrzymałość styku na rozciąganie przy rozłupywaniu* itd. W tekście co prawda znajdują się te informacje, ale jednak dla czytelnika jasne podpisy rysunków i tablic są niezbędne.

Str. 44 – Wzór (3.12) dotyczy jedynie sytuacji styków niezbrojonych lub gdy zbrojenie ma pełne zakotwienie. Należałoby podać, że w normie znajduje się drugi wzór dedykowany sytuacji, gdy zbrojenie zszywające nie jest w pełni zakotwione (wtedy uwzględnia się wspomniane na str. 25 i w tablicy 3.1 *dowel action*, a ograniczenie górne wytrzymałości styku jest inne).

Str. 45 – W tablicy 3.4 podano odnośnik wskazujący na to, że zestawione w ostatniej kolumnie współczynniki odnoszą się do pierwiastka kwadratowego wytrzymałości na ściskanie. Należałoby dodać, że chodzi o charakterystyczną wytrzymałość betonu na ściskanie, a pierwiastek jest dzielony jest przez współczynnik materiałowy. Jest to istotne, bowiem współczynniki przytoczone w pozostałych kolumnach odnoszą się do obliczeniowej wytrzymałości betonu na rozciąganie i ich porównanie jest możliwe jedynie przy pełnej informacji przy jakich wielkościach "stoją" we wzorze.

Str. 48-49 – Metoda ModelCode 2010 została opisana dość ogólnikowo. Nieuprawnione jest stwierdzenie, że wyrażania tej normy pozwalające na obliczenie wytrzymałości styku betonów są podobne do wyrażeń PN-EN 1992-1:2024, bowiem podział na styki sztywne i niesztywne od razu wskazuje na inne podejście. W normie PN-EN składnik adhezji odnosi się do pierwiastka z charakterystycznej wytrzymałości betonu dzielonego przez współczynnik materiałowy (patrz tablica 3.4), w MC2010 natomiast dla styku sztywnego do wytrzymałości obliczeniowej na rozciąganie, a dla styku niesztywnego – do pierwiastka trzeciego stopnia z wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie. Tego nie odnotowano w tablicy 3.7. Czy ten fakt uwzględniony jest na rys. 3.27?

Str. 49_{9-8} – Napisano, że norma ACI nie bierze pod uwagę adhezji w styku, tymczasem w tablicy 3.8 podpisanej *Parametry powierzchni styku według normy ACI 318-19* jest wiersz, w którym wartości *c* są podane.

Str. 51 – Z czego wynika widoczny na rysunku 3.27 fakt, że wytrzymałość styku na ścinanie w obliczeniach według AASHTO jest taka sama w przypadku styku gładkiego i szorstkiego? Nie znalazłam odnośnych informacji w rozdziale 3.4.3.

Uwaga ogólna – W badaniach wszystkich etapów badane były belki z różnie kształtowanym stykiem: z przyczepnością pełną, przyczepnością chemiczną zlikwidowaną za pomocą środka antyadhezyjnego oraz przyczepnością zlikwidowaną za pomocą folii lub maty. Jednak w studiach literaturowych (również w analizach wyników) nie ma odniesienia do wcześniejszych badań tak zaprogramowanych w ośrodku lubelskim (co prawda dla płaskiego styku zbrojonego), np. w badaniach [66] zaobserwowano, podobnie jak w niniejszej rozprawie, że przemieszczenia na czole belek ze zlikwidowaną przyczepnością chemiczną pojawiły się od początku procesu obciążania (w tablicy 6.6 siła przy której pojawił się poślizg na czole belki zapisano „zero"), a w badaniach belek teowych z folią

(praca [83] i następne niecytowane) pojawiały się rysy w styku łączące rysy ukośne, co obserwował też Doktorant.

3.4 Ocena badań laboratoryjnych

Program badań laboratoryjnych obejmował:

- Badania wstępne beleczek zespolonych ze stykiem płaskim i różnie kształtowaną przyczepnością (styk naturalny, połowa szerokości styku pokryta folią polietylenową, połowa styku powleczona warstwą PVC, styk pokryty środkiem antyadhezyjnym), dotyczyły beleczek o przekroju 120 x 120 mm + 40 mm nadbetonu, ze stykiem płaskim, o długości 2100 mm, sprężonych trzema splotami (odpowiadały one prefabrykowanym nadprożom o handlowej nazwie SBN 120/120, produkowanym przez jedną z polskich firm); beleczki badano w schemacie czteropunktowym, przy rozpiętości między podporami 1600 mm.
- Badania bezpośredniego ścinania na próbkach o geometrii wielopłaszczyznowego styku takiej jak w belkach w badaniach głównych, przy różnie kształtowanym styku (styk naturalny – próbki C, styk powleczony środkiem antyadhezyjnym – próbki AB i styk pokryty matą z włókien aramidowych – próbki CB).
- Badania podstawowe beleczek zespolonych o przekroju 200 x 165 mm o długości 2200 mm składających się z teowego żebra modelującego prefabrykat sprężony czterema splotami (odpowiadającego elementom stropowym produkowanym przez jedną z polskich firm, o handlowej nazwie S-Panel 120) i dopełnionego nadbetonem zbrojonym prętami podłużnymi i strzemionami, o różnorodnie przygotowanej powierzchni styku (powierzchnię pozostawiono nienaruszoną, pokryto środkiem antyadhezyjnym albo matą częściowo lub całkowicie pokrywającą tę powierzchnię – łącznie 10 wariantów). Wariantowanie stopnia pokrycia styku matą umożliwiało badanie wpływu poszczególnych fragmentów styku na ogólne zachowanie się belek. Badania realizowano przez trójpunktowe (niesymetryczne) i czteropunktowe zginanie, rozpiętość między podporami 1200 mm.
- Towarzyszące badania materiałowe betonów, badania wytrzymałości styku w próbkach zespolonych na rozciąganie przy rozłupywaniu i pull-off oraz badania szorstkości powierzchni styku.

Program badań przygotowany i przedstawiony został kompleksowo i z dbałością o szczegóły. Zostało starannie dobrane i opisane opomiarowanie, odpowiednie do zaplanowanego celu badań (w badaniach ścinania bezpośredniego standardowe oprzyrządowanie stanowiska badawczego trzeba było uzupełnić o indywidualnie zaprojektowane stalowe elementy pośrednie przekazujące obciążenia z siłownika na prefabrykat). W badaniach belek, wstępnych i podstawowych, przemieszczenia łączonych elementów betonu mierzone były wzdłuż styku za pomocą czujników LVDT, podczas gdy w badaniach bezpośredniego ścinania - za pomocą czujników laserowych. We wszystkich badaniach do pomiarów przemieszczeń punktów i ugięć użyta także została metoda cyfrowej korelacji obrazu (system Aramis), co pozwoliło na wzajemne uzupełnienie uzyskanych danych. Opis metod wraz z odniesieniem do ich dokładności oraz przedstawiony w dalszych częściach pracy opis wyników, świadczy o opanowaniu i zrozumieniu przez Doktoranta współczesnych technik pomiarowych.

Przeprowadzenie badań wstępnych, relacje z tych badań i zestawienie ich wyników charakteryzują się dbałością o osiągnięcie celu, jakim było wstępne rozpoznanie problemu wpływu styku na zachowanie się belek zespolonych oraz potwierdzenie zasadności wyboru technik pomiarowych, które później zastosowane zostały w badaniach podstawowych. Pomimo wyspecyfikowanych poniżej pytań i uwag uważam, że cel ten został osiągnięty, a zastosowanie

dwóch komplementarnych metod pomiaru przemieszczeń był bardzo trafny. Szczegółowe pytania i uwagi do badań wstępnych i materiałowych są następujące:

1. Dlaczego wytrzymałości nadbetonu w badaniach wstępnych i podstawowych różniły się o 20 MPa? Czy założone wytrzymałości nadbetonu mają odniesienie do betonów stosowanych w praktyce?
2. W rozdziale 6.1.2 relacjonowane są badania wytrzymałości na rozciąganie. Brakuje informacji, czy zniszczenie próbek zespolonych nastąpiło w styku (zniszczenie adhezyjne), czy też w obrębie nadbetonu (zniszczenie kohezyjne). Uzyskana niska wartość wytrzymałości i fotografia 6.1 sugerują, że było to zniszczenie adhezyjne – być może przyczyną niskich wartości jest inny reżim przygotowania styku i układania nadbetonu niż w przypadku belek.
   W relacjach wyników badania *pull-off* również nie został podany typ zniszczenia. Można domyślać się, że było ono kohezyjne bowiem Doktorant porównuje uzyskaną wartość z wytrzymałością nadbetonu na rozciąganie.
   Jednak wysoki wskaźnik zmienności wyników badań rozłupywanych próbek nadbetonu równy 25% rodzi pewne wątpliwości, co do adekwatności tych wyników. Czy nie było tu wśród pojedynczych wyników jakiegoś wyraźnie odbiegającego od pozostałych, który należało odrzucić?
3. W analizach wyników badań wstępnych zabrakło mi zestawienia, co najmniej końcowych, obrazów zarysowań wszystkich belek, pokazanych w klasyczny (rysunkowy) sposób. Jest jedynie opis na str. 120, trzy wybiórcze fotografie fragmentów belek oraz obrazy uzyskane przy pomocy DIC przy różnym poziomie obciążenia tylko dla jednej belki B2.1-F. Myślę, że takie zestawienie pozwoliłoby łatwiej porównywać poszczególne serie belek, wnioskować o zachodzących zjawiskach i uczyniłoby opis „przyjaźniejszy" dla czytelnika.
4. Na str. 121_6 napisano, że siłę rysującą określono z analizy sztywności na podstawie rys. 6.6. Jak wybrano punkty wykresów odpowiadające zarysowaniu? Czy były to wielkości skorelowane z obserwowanymi rysami?
5. Myślę, że dla sformułowania wniosków dla projektowania interesujący byłby rozkład odkształceń wzdłuż styku przy różnych poziomach obciążenia. Oczekiwałam takiego wykresu ze względu na rozmieszczenie czujników wzdłuż styku.

Pomysł badań bezpośredniego ścinania, a w szczególności opomiarowania próbki, przeprowadzenie badań oraz ich opis oceniam bardzo pozytywnie. W opisie zwraca uwagę szczegółowa i kompetentna analiza uzyskanych wykresów „siła-przemieszczenie". Wyprowadzone wnioski są niewątpliwie ważne dla dalszych prac Doktoranta. Cel tych badań został, moim zdaniem, osiągnięty, choć mam kilka pytań i uwag:

1. W serii Z3.2_CB została zlikwidowana przyczepność mechaniczna i chemiczna betonów za pomocą maty o grubości 0,3 mm. Jest to grubość porównywalna z wartością poślizgu w chwili przejścia etapu I do II. Czy nie stanowiła ona dodatkowej warstwy, w której zachodziła dystrybucja naprężeń? Na ile mata dała się dokładnie dopasować do kształtu styku?
   Jak wyglądały te próbki po badaniu? Co po czym się ślizgało – czy mata przemieściła się razem z prefabrykatem, czy też pozostała „przyklejona" do betonu uzupełniającego, a może została odkształcona lub rozerwana? Czy tak samo wyglądało to we wszystkich trzech próbkach?
2. Długość próbki to 200 mm, co przy przekroju o wymiarach 165 x 200 mm oznacza, że nie ma tu jednorodnego rozkładu naprężeń w przekroju. Ponadto trzeba uwzględnić fakt, że przyczepność „buduje się" na pewnym odcinku (to zostało później zauważone przez Doktoranta, gdy analizami numerycznymi poszukiwał długości transmisji przyczepności). Dlatego ustalanie „uniwersalnej" przyczepności w styku dwóch betonów i jego sztywności na podstawie badań tej próbki obarczone jest niedokładnością.

3. W tablicach 6.7, 6.8 i 6.9 zestawiono parametry dotyczące wzajemnego przemieszczenia w styku, wyprowadzając wartości średnie w każdej serii.
   W mojej opinii, próbka Z2.2_AB_1 nie powinna być uwzględniana do średniej. Sztywność jej styku jest ponad dwukrotnie większa na wszystkich etapach obciążenia. Także siła maksymalna jest tu o ponad 50% większa, a na rys. 6.17d widać charakter pracy styku bardziej zbliżony do serii C. To także widoczne jest w analizach MES (rys. 7.10). Być może w tej próbce efektywność środka antyadhezyjnego była mniejsza (np. nierównomierne pokrycie, pokrycie cieńszą warstwą). To zresztą zauważył Doktorant we wniosku str. 139_{10-6}, ale nie odrzucił wyników tej próbki jako próbki reprezentatywnej dla serii.
   Podobnie w serii CB wyraźnie od pozostałych odbiega zachowanie próbki Z3.2_CB2 (to też widoczne jest w wynikach MES na rys. 7.11).
   Natomiast odbiegająca od pozostałych sztywność próbki Z1.2_C1 wynikać może z niesymetrii odczytów i przyjęcia do obliczenia sztywności ich wartości średniej.
   Jak liczona była sztywność – jako sieczna (od przyjętego poziomu 20 kN do danej siły) czy styczna w danym punkcie wykresu „siła-przemieszczenie"?
4. We wnioskach na str. 139^7 widnieje, że sztywność „resztkowa" była 50-200 razy mniejsza niż w fazie I. Tych danych nie znalazłam ani w tablicach 6.7-6.9, ani w tekście na str.135.

Program i realizację badań podstawowych oraz analizę ich wyników oceniam wysoko, zwłaszcza, że przebadano dwa schematy statyczne, co pozwoliło lepiej rozpoznać zachowanie styku wielopłaszczyznowego o różnym poziomie zachowania przyczepności miedzy betonami i na sformułowanie bardziej uniwersalnych wniosków. Doceniam staranność w ocenie uzyskanych wyników np. dokładną analizę sytuacji belek, w których nastąpiły przemieszczenia podpór. Muszę też podkreślić, że klasyfikacja i analiza mechanizmów zniszczenia badanych belek jest niewątpliwe osiągnieciem Doktoranta. Nie było to łatwe, bowiem na bocznych powierzchniach belki widoczny jest tylko dolny fragment powierzchni bocznej prefabrykatu i trudno ocenić, na ile w pełnym zakresie badań zarysowane styku jest reprezentatywne dla całego przekroju prefabrykatu. Klasyfikacja, do której Doktorant odnosi się w całej dalszej analizie, także numerycznej, jest moim zdaniem trochę za mało wyeksponowana w tekście – jej elementy znajdują się w dwóch różnych miejscach (str. 145 i 149), a w podpisie przywołanego w tym kontekście rys.6.35 nie ma informacji, że pokazane są tu typy zniszczenia. Klasyfikacja powinna być także widoczna we wnioskach. Poniżej zestawiam pytania i uwagi, mające na celu doprecyzowanie analiz i wniosków:

1. Czy w stropach rzeczywistych jest takie zbrojenie jak w badaniach? Na ile silne zbrojenie strzemionami wpływa na mechanizm zniszczenia w stosunku do sytuacji rzeczywistych?
2. Na jakiej podstawie oceniona została dokładność ustalenia siły, przy której następuje przejście od fazy I do fazy II jako 5% (str. 143^9) ?
3. Wyniki próbki Z2.2_AB, wskazały, że efektywność środka antyadhezyjnego może być niska. Dlatego interpretacji wyników badań pojedynczej belki Z2.1_AB należy dokonywać z ostrożnością, patrz np. wniosek str. 143_{3-2}.
4. Brak jest jasnego podpisu rysunku 6.29: w którym miejscu na długości belki występują wykresy przedstawione na rys. 6.29c,f,i oraz które odkształcenia są na nich przedstawione – poziome, czy pionowe?
   Jak interpretuje Doktorant nagły spadek, niemal do zera, odkształceń w dolnej części przekroju belki Z1.1_C oraz nagły wzrost odkształceń w dolnej części przekroju belki Z3.2_CB?
   Podobnie rysunki 6.34 c,f,i,l i interpretacja spadku odkształceń w belce Z5.1_S i Z10.1_TS; także rysunki 6.39 c i f i interpretacja spadku odkształcen w belkach Z7.1_T i Z8.1_B.
5. Dwie uwagi takie jak w badaniach wstępnych:

a. brakuje pełnych obrazów zarysowań wszystkich belek pokazanych w klasyczny (rysunkowy) sposób,
b. nie pokazano rozkładu odkształceń wzdłuż styku przy różnych poziomach obciążenia.

6. Na str. 156 zapisany jest wniosek, że sztywność początkowa belek badanych w schemacie trójpunktowym była o prawie 30% niższa niż belek badanych w schemacie czteropunktowym. To dość oczywiście wynika z innego schematu statycznego. Jeśli skorzystamy ze wzorów na obliczenie ugięcia belek pod obciążeniem skupionym to współczynnik proporcjonalności między siłą a ugięciem belek jest o 33% wyższy w schemacie czteropunktowym. W mojej opinii w analizie mechanizmu zniszczenia istotne jest, gdzie rysa jest inicjowana i powinno to mieć odzwierciedlenie w opisach. I tak np. str. 160_4 napisane jest, że niszcząca rysa ukośna przecina nadbeton i prefabrykat, co sugeruje, że najpierw pojawiła się w nadbetonie – czy tak było rzeczywiście? Podobnie str. 164_1, 165^{1-2}, str. 168_8. I dalej str. 160_2 – co było pierwsze: poślizg w styku, czy rysy?

3.5 Ocena analiz numerycznych

Analizy numeryczne obejmują dwie grupy elementów o geometrii takiej jak elementy poddane badaniom laboratoryjnym: próbki bezpośredniego ścinania i belki zginane w schemacie czteropunktowym. Bardzo starannie postawione zostały cele tych obliczeń w podziale na trzy etapy (modelowanie próbek *direct shear*, belek badanych w schemacie czteropunktowym oraz dodatkowe analizy tych belek mające na celu doprecyzowanie czynników wpływających na ich zachowanie się). Równie starannie przyjęto modele materiałowe, a ich parametry dobierane zostały na podstawie badań materiałowych i kalibracji do wyników badań próbek bezpośredniego ścinania. Analizowana i dobrana została także wielkość siatki i typ jej elementów. Podobnie jak w przypadku badań laboratoryjnych sformułowałam pytania i uwagi.

Podstawowe uwagi ogólne do analiz numerycznych są następujące:

1. W modelach numerycznych przyjęte zostały wytrzymałości na rozciąganie betonów równe wytrzymałościom próbek rozłupywanych. Nie znalazłam informacji o „przejściu" na rozciąganie osiowe - właśnie ono jest używane we wzorach normowych. To jest istotne również w aspekcie wzoru (7.7) – wartość kohezji w tablicy 7.5 obliczono na podstawie wytrzymałości kostkowej na ściskanie i wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu. Moim zdaniem należało tu przeliczyć $f_{c,cube}$ na walec i $f_{ctm,ts}$ na f_{ctm}.
2. Należy zwrócić uwagę, że nazywanie wielkości *c* zarówno w programie jak i przez Doktoranta *kohezją* (m.in. str. 185^2, tablice 7.5 i 7.7) jest nieprecyzyjne, bo *c* jest *de facto* oporem styku przeciw jego zniszczeniu i to oporem przeciw ścinaniu – patrz rys. 7.4, wzór (3.12) i $k_T f_{ctd}$ we wzorze (3.6).
   Opór przeciw ścinaniu w styku nie powinien być utożsamiany z wielkością obliczoną ze wzoru (7.7), co uczyniono w pierwszym wierszu tablicy 7.5. Wzór (7.7) opisuje bowiem kohezję materiału (betonu), a nie opór styku. Interpretacja roli kohezji materiału w aspekcie pracy styku winna być taka, że jeśli wytrzymałość materiału (na ścinanie – wzór (7.7) lub na rozciąganie osiowe) jest większa od adhezji (oporu styku przeciw ścinaniu lub rozciąganiu) to nastąpi oderwanie elementów w samym styku (zniszczenie adhezyjne), a jeśli mniejsza – zniszczenie kohezyjne w materiale poza stykiem. Te dwa sposoby zniszczenia rozróżnia też norma dotycząca badania *pull-off* PN-EN 12636. Zatem *kohezję c* w modelu numerycznych należałoby interpretować jako wartość mniejszą z dwóch: kohezji przeciw ścinaniu stykających się materiałów i adhezji w styku dotyczącej ścinania.
   Stwierdzenie ze str. 185^{4-6}, że uzyskanie w badaniach laboratoryjnych próbek *direct shear* efektu początkowej adhezji (mechanicznej) wskazuje na istnienie wytrzymałości na rozciąganie styku, która może być badana metodą *pull-off* jest też nieco nieprecyzyjne,

bowiem mówimy o dwóch różnych stanach naprężeń w styku. W metodzie *pull-off* występują normalne naprężenia rozciąganie, a w próbkach *dirfect shear* – głównie styczne.

3. W drugim i trzecim wierszu tablicy 7.5 jako *kohezję* (nazewnictwo programu) próbek Z2_AB i Z2_CB przyjęto wartość bazującą na wytrzymałości $f_{ctm,ts}$ dwóch betonów. Myślę, że warto było wykonać badania *pull-off* próbek AB i CD (w przypadku próbki CD byłaby to *de facto* wytrzymałość styku „mata-beton" - patrz uwaga 2 do badań laboratoryjnych).

W przypadku analiz numerycznych próbek bezpośredniego ścinania zbudowano modele próbek z pełną przyczepnością w styku – Z2_C, przyczepnością adhezyjną zlikwidowaną za pomocą środka antyadhezyjnego – Z2_AB oraz z umieszczoną w styku matą – Z2_CB. Uzyskano zgodność modeli numerycznych z eksperymentem w zakresie sił maksymalnych i odpowiadających im wartości poślizgu (sztywności styku) we wszystkich typach próbek. Nie udało się natomiast uzyskać zgodności sił rezydualnych, które w obliczeniach były kilkukrotnie, a w próbkach z pełną przyczepnością – kilkunastokrotnie mniejsze. Nie udało się też odwzorować wartości bocznego odkształcenia nadbetonu. Doceniam próby znalezienia przyczyny „nietypowego" zniszczenia dwóch próbek typu C (II typ zniszczenia), których podstawowy model numeryczny nie obejmował. Myślę, że dobrym kierunkiem było upatrywanie przyczyny zarysowań oraz odchylenia bocznego nadbetonu w niezamierzonym mimośrodzie przykładanym w eksperymencie obciążenia, choć w efekcie takiego wpływu Doktorant nie potwierdził. Moje pytania i uwagi do analiz numerycznych próbek bezpośredniego ścinania są następujące:

1. Czy próbowano zastosować inne niż 0,7 i 0,2 współczynniki tarcia i inne relacje wartości c i μ? Od nich zależy bezpośrednio zachowanie się próbek po zerwaniu adhezji. Uzyskanie znacznie mniejszych niż w eksperymencie sił rezydualnych sugeruje większą wartość współczynników.
2. Rys.7.10a potwierdza, że, próbka Z2_AB1 powinna być odrzucona z analiz (patrz uwaga 6 do badań laboratoryjnych). Jak interpretuje Doktorant uzyskany w MES brak gładkości krzywych blisko piku oraz krzywych opadających wykresów numerycznych serii Z2_AB, podczas gdy nie ma ich w serii Z2_C (rys. 7.9) ani Z2_CB (rys. 7.11)?
3. Które naprężenia i deformacje pokazano na rys. 7.12? W podpisie rys. 7.12c podano, że pokazuje on naprężenia normalne w styku – wzdłuż której osi? Opis na tym rysunku brzmi *Sigma ZZ*, natomiast w tekście str. $193_{13\text{-}12}$ napisano, że jest to ściskanie i rozciąganie wzdłuż osi Y. I dalej – na rysunku 7.12d narysowano oś z pionowo, podczas gdy w podpisie widnieje informacja, że deformacje wzdłuż osi z są poziome.

Modele numeryczne belek badanych w schemacie czteropunktowym są dopracowane, a co bardzo istotne – uwzględnione zostało sprężenie elementów. Zamodelowane zostały belki z pełną przyczepnością w styku – Z1_C, przyczepnością adhezyjną zlikwidowaną za pomocą środka antyadhezyjnego – Z1_AB oraz z umieszczoną w styku matą – Z1_CB. W tym ostatnim przypadku mata znajdowała się na całej powierzchni styku, pokrywała tylko powierzchnie boczne lub tylko powierzchnię dolną i górną, a więc przeanalizowano modele numeryczne 5 z 10 zbadanych belek.

Uzyskana została znaczna zgodność analiz numerycznych belek Z1_C, Z1_AB i Z1_CB. z wynikami eksperymentu, zwłaszcza w zakresie mechanizmu zniszczenia, sił rysujących ze względu na zginanie, sił rysujących styk i nośności belek. Nieco mniejszą zgodnością charakteryzowała się sztywność początkowa belki Z1_C (tę rozbieżność, po wnikliwej analizie wyników cyfrowej korelacji obrazu badanych belek, Doktorant prawidłowo wytłumaczył „układaniem się" belek na stanowisku badawczym na początkowym etapie przykładania obciążenia), siła powodująca rysę ukośną w belce Z1_AB, a także siła powodująca poślizg w styku w przekroju podporowym i na końcu belek Z1_CB i Z1_AB. W tym ostatnim przypadku

w belce badanej, w przeciwieństwie do modelu, poślizgu na końcu belki nie było i tu zauważony został przez Doktoranta fakt przyjęcia zbyt niskiego współczynnika tarcia.

Zgodność z eksperymentem modeli belek ze stykiem częściowo pokrytym matami jest nieco mniejsza, szczególnie modelu belki Z6.1_TB, co wynikło z problemów eksperymentu („układanie się" belki na stanowisku badawczym), natomiast model belki Z5.1_S wykazał zgodność w zakresie typu zniszczenia i siły rysującej belkę, nieco mniejszą w zakresie pozostałych analizowanych sił.

Tym nie mniej niewątpliwym bardzo ważnym osiągnięciem Doktoranta na tym etapie jest wskazanie na niejednakowy udział poszczególnych powierzchni w przenoszeniu sił w styku wielopłaszczyznowym (niski udział powierzchni pionowych) oraz wpływ obciążenia skupionego (sił obciążających belki) na wartość sił w styku. Ważne jest, że modele numeryczne odniesione zostały do klasyfikacji typów zniszczeń, opracowanej na podstawie eksperymentu. Kolejnym ważnym osiągnięciem Doktoranta jest ustalenie, że można zidentyfikować odcinek, na którym przyczepność w styku działa efektywnie w strefie obciążenia skupionego, nazwana „długością transmisji" (tu pytanie – czy w praktyce możliwe jest stosowanie oparcia stropów na podporach o zidentyfikowanych w pracy długościach?).

Ta wnikliwa analiza zachowania się modeli numerycznych jest niewątpliwie mocną stroną tej części pracy tym bardziej, że była podstawą dalszych pogłębionych analiz. Miały one na celu wyjaśnienie roli odcinka styku poza siłą skupiną (dwa kolejne modele ze zredukowanym współczynnikiem tarcia oraz usuniętymi fragmentami nadbetonu poza siłą skupioną Z1_CFEM_Short) oraz mechanizmu bocznych odkształceń nadbetonu (wprowadzenie bocznych podpór na całej długości i wysokości styku w dwóch kolejnych modelach).

Do analiz numerycznych belek sformułowałam następujące pytania i uwagi:

1. Str. 204_4 – podano, że wstępne wygięcie modelu belki zespolonej z „zerową" warstwą nadbetonu pod wpływem siły sprężającej było znacznie mniejsze niż wygięcie belki rzeczywistej. Nie podano informacji, czy po uwzględnieniu ciężaru własnego nadbetonu otrzymano wartości zbliżone.
2. Na rys. 7.23-7.25 pokazano mapy naprężeń i obraz zarysowania modeli belek. Szkoda, że nie porównano ich z pełnymi obrazami badanych belek (patrz uwaga do badań podstawowych w p.3.4 recenzji).
3. Na rys. 7.25 pokazano, wyraźnie opisując w podpisie rysunku, naprężenia styczne w prefabrykacie (rys. 7.25a) oraz w nadbetonie (rys. 7.25b). W przypadku kolejnych rysunków nie podano, którego elementu dotyczą. Podobieństwo map na rys. 7.25c,d,e do rys. 7.25b sugeruje, że dotyczą one nadbetonu. Jednak nadbeton nie sięga dolnej powierzchni belki, podczas gdy mapy naprężeń na rys. 7.25b,c,d jej sięgają. Rozumiem, że rysunki a, b i następne pokazują mapy w jakichś przekrojach podłużnych – jak przebiegają te przekroje?
4. Siła rysująca styk zależy nie tylko od naprężeń stycznych, ale i normalnych do styku. Dlatego w aspekcie dalszych analiz zdecydowanie brakuje map naprężeń prostopadłych do styku – naprężeń pionowych w przypadku płaszczyzn poziomych i naprężeń poziomych poprzecznych w przypadku płaszczyzn pionowych (to mogłoby też wskazać na przyczynę poprzecznego odkształcenia nadbetonu – takie naprężenia pokazywano na rys.7.12c, d w modelach próbek *direct shear*).

Kolejnym krokiem analiz numerycznych było stworzenie <u>modeli belek</u>, w których zastosowany został <u>uproszczony model konstytutywny betonu</u> wykorzystany do badań parametrycznych w poszukiwaniu wpływu różnych czynników. W pierwszej grupie (3 belki) był to wpływ modelu materiałowego, wielkości oczka siatki oraz istnienia odcinka pozapodporowego na modele belek z serii C z pełną przyczepnością. W drugiej grupie (7 belek również z serii C) poszukiwano wpływu parametrów materiałowych, rozważając:

- dwa warianty współczynnika tarcia 0,001 i 1,0 (wartość wyjściowa - 0,7),

- trzy warianty sztywności K_{NN}: $1 \cdot 10^4$N/mm^3, $1 \cdot 10^5$N/mm^3, $2 \cdot 10^5$N/mm^3 (wyjściowa 21170 N/mm^3),
- dwa warianty sztywności K_{NN} – 22,5 N/mm^2 i 90 N/mm^2 (wyjściowa – 45 N/mm^2).

Tu powstaje pytanie, dlaczego nie wariantowany był parametr kohezji i wzajemne relacje „współczynnik tarcia – kohezja".

Trzecia grupa odpowiadała wcześniej analizowanym modelom S (adhezja na pionowych płaszczyznach styku), TB (adhezja na górnej i dolnych powierzchniach styku), AB (styk z zlikwidowaną adhezją chemiczną) i CB (styk z całkowicie zlikwidowaną przyczepnością).

Czwarta grupa zawierała tylko jedna belkę, w której uproszczony model betonu zastosowano jedynie do prefabrykatu (powstały w efekcie rysunek 7.52, na którym widać tylko rysy powyżej styku jest w moim odczuciu dość dziwny).

Jak rozumiem, zastosowanie uproszczonego modelu betonu miało na celu wykonanie analiz parametrycznych przy mniejszej pracochłonności obliczeniowej modelu. Jednak, aby ich wyniki mogły być uznane za wiarygodne muszą być zbliżone do wyników obliczeń modeli podstawowych i eksperymentu. W części tej nie ma jednak porównań do wcześniejszych analiz numerycznych i wyników eksperymentu, a jedynie wzajemne porównania w czterech grupach. To co niepokoi to fakt, że siły rysujące i niszczące są tu inne niż w modelach podstawowych i eksperymencie. I tak siła niszcząca belkę Z1.1_C w eksperymencie wynosiła 163,6 kN (tablica 7.14), w modelu podstawowym Z1_CFEM – 156,9 kN (tablica 7.14), natomiast w przypadku modelu ZS.1_C wartości tej jawnie nie podano, ale na rys. 7.44 krzywa po zarysowaniu styku jest wzrastająca i sięga aż niemal 600 kN. W eksperymencie i modelu podstawowym nie zaobserwowano poślizgu w styku na podporze (tablica 7.14), a w modelu ZS.1_C wystąpił poślizg na całej długości styku przy sile 436,4 kN (str. 228_2). Obserwacje poczynione w tej części pracy są właściwie powtórzeniem obserwacji z modeli podstawowych, ale nie sformułowano wniosków. Co więcej, w rozdziale 7.7 zatytułowanym *Konkluzja z modelowania MES* jedynie jeden z wniosków odnosi się do modeli uproszczonych, przy czym taka sama konkluzja mogła zostać sformułowana na podstawie modeli podstawowych. Powyższe przesłanki, moim zdaniem, poddają w wątpliwość zasadność zamieszczania w pracy rozdziału 7.6.

3.5 Ocena części analitycznej

Pierwszym elementem analizy było ustalenie naprężeń przyczepności τ_R w stykach belek na podstawie siły rysującej styk. Doktorant w tym celu skorzystał z zależności „siła poprzeczna – naprężenia ścinające w styku" pochodzącego z teorii konstrukcji warstwowych, a następnie dokonał korekty uzyskanych wartości ze względu na:

- wpływ odcinka pozapodporowego; tu jako współczynnik korekcyjny został przyjęty stosunek naprężeń w styku w modelu, w którym belka sięgała 500 mm poza podporę do naprężeń w modelu bez odcinka pozapodporowego,
- efektywną szerokość styku, czyli szerokość części styku, na którym przyczepność nie została zlikwidowana.

Metoda została najpierw przetestowana na uproszczonych modelach belek, gdzie uzyskano wartość τ_R powyżej 5 MPa w przypadku, gdy zagwarantowana była przyczepność całego styku lub jego poziomych części (co odpowiada wartości kohezji przyjętej w modelu) oraz 3,60 MPa w przypadku aktywnej jedynie pionowej części styku (tu uznano, że niska wartość świadczy o nieefektywności odcinków pochylonych i efektywną szerokość należy zmniejszyć).

Obliczeniom poddane zostały następnie wszystkie belki badane w laboratorium - 10 typów belek obciążanych w schemacie cztero- i trójpunktowym (nie zastosowano opisanej wyżej korekty szerokości efektywnej styku w belkach z aktywnym stykiem pionowym). Uzyskane w ten sposób naprężenia przyczepności τ_R w belkach z przyczepnością w całym styku lub jego części wyniosły ok. 2,5 MPa w większości belek, natomiast w belkach ze zlikwidowaną

przyczepnością adhezyjną – ok. 1,15 MPa, poniżej 1,0 MPa w belkach z matą i ok. 2,0 MPa w belkach z przyczepnością częściowo zlikwidowaną.

Sam pomysł uproszczonego obliczenia naprężeń przyczepności τ_R uznaję za trafny, zwłaszcza, że w efekcie w przypadku uproszczonego modelu belki z pełną przyczepnością w styku uzyskano naprężenia przyczepności bliskie założonej kohezji. Mam jednak pewne pytania i wątpliwości:

1. Do ustalenia współczynnika redukcyjnego według wzoru (8.3) wykorzystane zostały wartości naprężeń uzyskane na modelach uproszczonych. Wobec wątpliwości dotyczących tych modeli, wyrażonych w p. 3.4 recenzji, pojawia się pytanie, czy nie można było wykorzystać modeli Z1_C i Z1_CFEM_Short?
   Ponadto - nie ma informacji przy jakiej wartości obciążenia i w którym miejscu określano naprężenia we wzorze (8.3) - jest to wartość średnia, maksymalna czy jakaś inna? W części poświęconej modelom uproszczonym nie ma rysunku z rozkładem naprężeń w styku.
2. Podobne pytanie dotyczy tablicy 8.1 – dlaczego nie odniesiono się w niej do modeli podstawowych tylko do uproszczonych? Analizując tę tablicę Doktorant stwierdził na str. $243^{13\text{-}14}$ niezgodność modeli z badaniami, ale to jest już widoczne w wartościach sił rysujących styk – np. w modelu ZS_11_S – 92,9 kN, a w belce Z5.1_S – 45,8 kN. Już zgrubne porównanie pozwala oczekiwać, że naprężenia przyczepności w modelu będą około dwukrotnie większe (i tak jest - obliczono 3,6 MPa w modelu i 1,78 MPa w zbadanej belce). Myślę, że Doktorant prawidłowo ocenił na str. $243_{17\text{-}15}$, że w rzeczywistości rysy w styku powiązane są z innymi rysami, którego to efektu nie pokazują modele uproszczone. Dlaczego zatem prowadził analizy modeli uproszczonych mając, jak się wydaje, wszystkie dane z modeli podstawowych?
3. Dlaczego na rys. 8.1a nachylone odcinki styku są uznane za nieefektywne, a na rys. 8.1b za efektywne?
4. Fakt, że z obliczeń uzyskane zostały niezerowe wartości przyczepności w belkach serii Z3.X_CB świadczy o tym, że styki z matą nie były w pełni nieefektywne - myślę, że mata stanowiła odrębną warstwę (patrz uwaga 2 do badań *direct shear*), a zatem przyczepności uzyskane w belkach typu P, S, TB, SB i TS obarczone są pewną niepewnością.
5. Stwierdzenie ze str. $243_{12\text{-}9}$, że nie ma istotnej różnicy w przyczepności τ_R w belkach z różnie położonym na wysokości stykiem jest nieco niekonsekwentne. Przecież poszukiwana wartość τ_R to parametr materiałowy (po to wprowadzano zależności geometryczne wzorem (8.1) i współczynniki korekcyjne). Myślę, że nieco inną wartość może mieć przyczepność τ_R na pionowym odcinku styku ze względu na technologię betonowania. A to że zniszczenie różnych odcinków styków zachodzi przy różnych siłach to efekt rozkładu naprężeń na wysokości. Moim zdaniem ww. cel został osiągnięty, na co wskazuje niski współczynnik zmienności wyników obliczeń.
6. Przy poszukiwaniu współczynnika redukcyjnego belek z przyczepnością na pionowych płaszczyznach styku Z5.X_S, zarysowanie w styku przypisane zostało jedynie naprężeniom stycznym, a mogą tam pojawić się także naprężenia normalne do styku. To zostało napisane w dalszym komentarzu – jednak w całej pracy nie pokazano map tych naprężeń (patrz uwaga 4 do analiz numerycznych belek).
   Współczynniki redukcyjne zostały obliczone dla belek badanych w dwóch różnych schematach statycznych. Myślę, że ze względu na fakt zbadania jedynie po jednej belce wnioski uogólniające należy wyprowadzać z ostrożnością. Szczególnie arbitralne zmniejszanie szerokości efektywnej styku dopasowującej wynik obliczeń do wyników nie jest najszczęśliwszym pomysłem (str. $245_{6\text{-}1}$).

Drugim ważnym krokiem analiz było <u>porównanie sił rysujących styk w badaniach belek</u> Z1_C, Z5_S i Z6_TB <u>z wartościami obliczonymi zgodnie z trzema normami</u> – dwiema wersjami normy EC2-2 oraz normą PN-EN 15037. Obliczone wartości sił rysujących styk

okazały się kilkukrotnie mniejsze niż rzeczywiste i obliczone numerycznie (i bardzo różne w zależności od normy), obliczone wartości siły powodującej rysy ukośne – około dwukrotnie mniejsze, moment rysujący – podobnie, moment odpowiadający nośności belek nieco większy. Jest to zbieżne z wynikami badań belek ze stykami poziomymi – znaczne zaniżenie przyczepności „normowych" w stosunku do wartości zbadanych stwierdzono m.in. w [66].

Pytania i uwagi:

1. Czym jest *wytrzymałość na rozciąganie betonu zbrojonego* (str. $246_{16\text{-}15}$)?
2. Komentarza wymaga stwierdzenie (str. 246_3): *a prestressing force lower than initially assumed.* Na str. 99_9 znajduje się informacja o naprężeniach sprężających zgodnych z dokumentacją techniczną, równych 1340 MPa oraz o wygięciu wstępnym belek przed ułożeniem nadbetonu równym 2 mm. Dalej na str. 204_4 jest informacja, że model belki zespolonej wygiął się ku górze o 0,55 mm, co jest mniejsze niż wygięcia belek badanych (o ile?). Jak ten fakt wpłynął na adekwatność wyników MES?
3. Jak pisałam wyżej, rozbieżności między naprężeniami przyczepności styków obliczonymi według norm a zbadanymi, były już relacjonowane w literaturze wcześniej, ale różnice prezentowane w tablicy 8.3 są nieco większe. Czy na uzyskane wyniki nie miał też wpływu skurcz nadbetonu, który „zacisnął" się na prefabrykacie? Myślę, że kształt prefabrykatu sprzyja takiemu mechanizmowi.
4. Zwrócić trzeba uwagę, że wzory (8.5) i (8.6) zostały tak skalibrowane, aby uzyskać obliczeniowe wartości przyczepności i we wzorze wytrzymałość obliczeniowa na rozciąganie to $f_{ctk.0,05}/\gamma_c$, a nie f_{ctm}/γ_c, a we wzorze (8.6) $\sqrt{f_{ck}}$, a nie $\sqrt{f_{cm}}$. Rozumiem, że w obliczeniach pominięto γ_c, ale w tej sytuacji porównania z modelem, do którego wprowadzono f_{ctm} (a nawet $f_{ctm,ts}$) są nieco niedokładne. To dotyczy to obliczeń w tablicy 8.3 i 8.4.
5. W tablicy 8.3 policzono wartości siły powodującej zarysowanie ukośne jako sumę sił powodujących zarysowanie prefabrykatu (czy uwzględniono sprężenie?) i nadbetonu. W mojej opinii takie proste sumowanie nie odzwierciedla zachowania belki zespolonej, w której w przekrojach poziomych w środkowej części wysokości belki występuje zarówno prefabrykat jak i nadbeton. Czy rysy ukośne widoczne na powierzchni nadbetonu na rys. 7.23 i 7.24 na pewno przecinają prefabrykat (myślę, że można byłoby to odczytać z modelu)? Czy nie ma tu zastosowania zasada rozdziału obciążenia na elementy składowe zależnie od ich sztywności?
6. Której wytrzymałości – betonu prefabrykatu czy nadbetonu użyto do obliczenia momentu rysującego? Rysa pojawia się w prefabrykacie, więc powinno się użyć wytrzymałości prefabrykatu.
7. Jak określono wartość z w tablicy 8.4?

Trzecim etapem analiz jest określenie miarodajnej sztywności styku na podstawie wyników próbek *direct shear* i ocena, czy sztywność ta ma wpływ na dystrybucję naprężeń w belce między prefabrykatem i nadbetonem. Niewątpliwym osiągnięciem Doktoranta w tej części pracy jest wykazanie zmiany sztywności styku w miarę wzrostu obciążenia jeszcze przed zerwaniem przyczepności, co oznacza, że degradacja styku zachodzi stopniowo. Dowiódł On też, że znaczna nawet zmiana sztywności podłużnej styku nie wpływa znacząco na ugięcia belki (tablica 8.5).

Sporządzony został wykres „siła - sztywność $k_{\tau,\varepsilon}$ styku" próbki z pełną przyczepnością i przyczepnością chemiczną zlikwidowaną środkiem antyadhezyjnym (nie podano jednak jawnie jak dokonane zostało przejście z k_T na $k_{\tau,\varepsilon}$). Uwzględniona została rzeczywista szerokość styku i alternatywnie – szerokość zredukowana do szerokości równej szerokości próbki, co było w zamyśle „zamianą" na styk płaski. W mojej ocenie w tym ostatnim przypadku uzyskuje się fikcyjną sztywność, która nie powinna służyć porównaniom. W badaniach *direct shear* siła była

przyłożona równolegle do styku i rozkładała się na całej jego powierzchni, a sztywność $k_{\tau,\varepsilon}$ określona w ten sposób w badaniach jest przecież „parametrem materiałowym" - tu podstawowy wpływ na wyniki ma raczej długość próbki (patrz uwaga 3 do badań *direct shear* w p. 3.4).

Istota natomiast różnicy między stykiem płaskim a wielopłaszczyznowym w belkach polega na tym, że styk płaski znajduje się na określonej wysokości przekroju, gdzie panują określone naprężenia, a tymczasem na pionowych powierzchniach styku wielopłaszczyznowego panują naprężenia zróżnicowane.

Wreszcie czwarty element analiz to opracowanie, na podstawie wcześniejszych kroków analizy, propozycji wprowadzenia korekt do normowych sposobów obliczania przyczepności w styku niezbrojonym. Za zasadną uznaję potrzebę wprowadzenie do norm uzupełnień, pozwalających na projektowanie styków wielopłaszczyznowych. Propozycje Doktoranta są następujące:

- Propozycja rozróżnienia przyczepności w styku wielopłaszczyznowym dociskanym i nie dociskanym siłą zewnętrzną, polegająca na tym, że w tych obydwu przypadkach inaczej obliczałoby się szerokość styku. Przyznam, że propozycja ta nie jest to dla mnie przekonywująca zwłaszcza, że zarówno propozycja dla styku niedociskanego, jak i dociskanego (rys. 9.1) są inne niż przyjęta w analizie belek typu Z1_C (rys. 8.1). Dlaczego docisk ma powodować, że płaszczyzny pionowe stają się nieaktywne?
- Propozycja wprowadzenia do norm dotyczących zespolonych stropów prefabrykowanych rozdziałów zatytułowanych *Styk z siłą osiową*. Tu, moim zdaniem, niejasne jest o jaką siłę osiową chodzi. Proponowane jest dodanie do normy rysunku 8.1 (str. 261_{11}), który jednak nie odnosi się do siły osiowej w styku tylko do „ciśnienia" normalnego do styku. W normie PN-EN 1992-1: 2024 znajduje się nieco mylący opis: σ_n - *docisk wywierany na powierzchnię styku powodowany przez zewnętrzną siłę osiową działającą w poprzek styku* i to prawdopodobnie on był inspiracją Doktoranta.
  Ponadto proponowanego rysunku 8.3 (str. 261_8) w rozprawie nie ma.
- Propozycja korekty ustalania efektywnej szerokości styku w zespolonych stropach prefabrykowanych, polegająca na zastąpieniu dotychczasowego kryterium „odległościowego" kryterium „kątowym" (rys. 8.2). Rozumiem, że linia prowadzona jest z punktu narożnego między ukośną a pionową płaszczyzną styku. Pewną wątpliwość budzi fakt, że we wnioskach Doktorant odnosi się do całych powierzchni pionowych, a jako nieefektywne w tej propozycji uznaje jedynie ich część. A jak byłoby w przypadku belki pokazanej na rys. 3.25?
  Dalej zostało zaproponowane zastosowanie tego kryterium przy różnych konfiguracjach prefabrykowanych stropów płytowych (rys. 9.3) ale z zaznaczeniem, że propozycja wymaga dopracowania na podstawie szczegółowych badań.

3.6. Ocena podsumowania i wniosków pracy

W ostatnim rozdziale zamieszczone są wnioski końcowe pracy. Są to wnioski odniesione do pięciu zadań wykonanych w czasie realizacji pracy: zachowania się próbek *direct shear*, zachowania się belek zginanych, modelowania numerycznego (dwa wnioski) oraz propozycji zmian w normach. Wnioski są dobrze zredagowane, odpowiadają wynikom badań i analiz, a przede wszystkim są ważne z poznawczego i praktycznego punktu widzenia. Uwagi, które sprecyzowałam w poszczególnych podpunktach recenzji nie podważają prawdziwości i istotności ogólnych wniosków końcowych.

Cenna jest tablica 10.1, w której Doktorant odniósł się do tez postawionych na początku pracy, dwie z nich uznając za zweryfikowane jako prawdziwe, a dwie jako częściowo

prawdziwe. Świadczy to o obiektywizmie Doktoranta i krytycyzmie naukowym w stosunku do uzyskanych wyników.

Na zakończenie Doktorant sformułował kierunki dalszych badań, które obejmują analizy numeryczne i badania laboratoryjne rozszerzające spojrzenie na zagadnienie stropów z prefabrykowanymi żebrami, w tym postulowane przeze mnie w uwagach do części analitycznej p.3.5 recenzji poszukiwanie wpływu skurczu oraz poszukiwanie możliwości zbadania odspojeń w niewidocznej części styku. W kwestii tego drugiego problemu Doktorant już podjął pierwsze próby wykonania fotografii z kontrastem UV i niebieskim filtrem.

4. Ocena strony redakcyjnej pracy

Układ pracy jest prawidłowy i czytelny. Ogólnie praca jest napisana jest poprawnym, dobrym językiem angielskim. To co utrudnia percepcję i interpretację przedstawianych treści to wiele „skrótów myślowych", brak niektórych map naprężeń przydatnych w analizach, używanie konkretnych wartości nie zdefiniowanych lub nie zaprezentowanych wcześniej w sposób jawny (np. wartości *effective width ratio* w tablicy 5.2, wartości naprężeń we wzorach (8.1, 8.4).

Uwagi redakcyjne, choć jest ich dość dużo, nie mają wpływu na merytoryczną ocenę pracy. Najważniejsze z nich zestawiłam poniżej:

1. Występują nieścisłości w nazewnictwie i opisach, np.
   - Rozdział 3.2.1 jest zatytułowany *Coulomb-Mohr theory and modifications*, podczas gdy w tekście rozdziału występuje *Mohr-Coulomb theory*, na str. 19_{11} jest *Coulomb-Mohr*, a na str. 80^2 i 177 *Mohr-Coulomb*.
   - Rys. 3.25: *width of interface composite* nie jest najszczęśliwszym tłumaczeniem polskiej *szerokości zespolenia*, winno być raczej *width of interface* lub *width of joint*, należałoby też dodać *width* b_j, bo nigdzie w tekście ani w podpisie nie ma wyjaśnionej wielkości b_j, która jest na rysunku.
     Podobnie str. 94^5: jest *composite surface* winno być *joint surface, interface* albo tak jak na str. 93_4 – *beam top surface*.
   - Str. 66^{5-6}: podano, że kohezja wynosiła 0,56, a tarcie przewyższało 1,0. Chyba chodzi o *współczynnik kohezji* i *współczynnik tarcia*.
   - Str.69_5: Napisano, że badana była prefabrykowana płyta o grubości 230 mm, która zawierała 100 mm betonowego nadkładu, tymczasem z rys. 3.42 wynika, że nadkład jest powyżej belki, a więc to zespolona belka o wysokości 230 mm zawierała 100 mm betonowego nadkładu.
   - Str. 71_2: jest *ultimate strength* winno być *ultimate load*.
   - Jak rozumiem, rysunki 6.5-6.7 oraz podobne w następnych rozdziałach przedstawiają zależność siły lub sztywności i ugięcia belki? W podpisach jest *displacement* (*przemieszczenie*), co przy badaniu przemieszczeń także w styku (poślizg jest przemieszczeniem) budzi wątpliwości czytelnika. Moim zdaniem wykresy te powinny być podpisane *deflection*.
   - Str. 140_{18}: czym jest *drawing force*?
   - Str. 157_1: Napisano *analyse the range of stiffnesses higher than the cracking force* – sztywność nie powinna być porównywana z siłą tylko z inną sztywnością.
   - Str. 179_2: Co to jest *Section X.X?*
   - W tablicy 7.2 jest *tension strength* zamiast *tensile strength* i użyto nieprawidłowego symbolu $f_{cm,ts}$.
   - W rozdziale 7 używane jest słowo *correlation*, choć w niektórych miejscach tam, gdzie dobierano parametr na podstawie badań winno być raczej *calibration*.

- Str. 212_{5-4}: Napisano, że efekt docisku przez siły obciążające wynika ze współczynnika tarcia. On wynika z tarcia, a nie współczynnika tarcia.
- Str.226_{5-4}: napisano, że model o większym oczku siatki w części pozapodporowej nazwany *Model 2* pokazano na rys. 7.43b, tymczasem rysunek ten przedstawia *Model 2*, w którym wymiary oczka nie zostały zmienione.
- str. 227^{11-14} : napisano o wartości zmniejszonej do 10^4 oraz zwiększonej do $1 \cdot 10^5$ nie podając jednostki (a przecież jest to kohezja); poza tym nie powinno się pisać 10^4 i 10^5 tylko $1 \cdot 10^4$ i $1 \cdot 10^5$.
- Rys. 9.1: Odnośnik „1" oznacza *zewnętrzne obciążenie dociskające styk*, a nie, jak napisano *zewnętrzną siłę osiową*.

2. Występują niepełne lub nieprecyzyjne podpisy i opisy rysunków i tablic, co utrudnia (w kilku przypadkach - bardzo) ich percepcję i interpretację np.:
   - Rys. 3.14: W podpisie powinno się dodać: *a) przed rozprowadzeniem piasku, b) po rozprowadzeniu piasku*, bo nie wiadomo czego to rozprowadzenie dotyczy.
   - Tablica 3.1 zatytułowana jest *Kroki milowe rozwoju teorii shear-friction*, a tymczasem wzór w ostatnim wierszu zawiera nie tylko elementy *shear-friction*, ale także składnik *dowel action*.
   - Tablica 3.6: Z podpisu *Stress for concrete C25/30 according to surface types* nie wynika, o jakie naprężenia chodzi. Winno być *Shear resistance of interface for concrete C25/30 according to surface types*. Podobnie w podpisie rysunku 3.27.
   - Tablica 3.7: W podpisie nie wyspecyfikowano, o jakie parametry powierzchni chodzi (są przecież dwa, a porównywany jest jeden).
   - Czym jest HPM na rys. 3.50a?
   - Rys.3.56: W podpisie jest FEM, a w legendzie rysunku FEA.
   - Tablica 5.1 i 5.2: Podpis *Podział elementów ze względu na rodzaj zespolenia* jest taki sam w tych dwóch tablicach – powinno być odniesienie do etapu badań.
   - W tablicach 5.1 i 5.2 zestawiono parametry elementów badawczych bez zdefiniowania i wyjaśnienia – czym jest *effective width ratio*? co oznaczają znaki „x", „X", „$x_{3/5}$"„*" i „-„?
   - Na rysunku 6.12 pokazano rozkład odkształceń na wysokości dwóch belek uzyskane z wirtualnych tensometrów (tak powinien brzmieć podpis rysunku). Należało podać także, w którym miejscu na długości belki ten rozkład zbadano.
   - W wersji angielskiej podpisu rysunku 6.8 jest belka B2.1-F, podczas gdy w wersji polskiej – B1.2-C.
   - Co oznaczają w1, w2, w3, w4 w legendzie rysunku 6.11?
   - W tytułach rys. 6.12, 6.17, 6.18, 6.20 prezentujących zależności uzyskane w badaniach występują *readings* (*odczyty*) – to jest zbyt enigmatyczne, powinno być wskazane jakie to zależności z informacją, że uzyskane były na podstawie odczytów z czujników pomiarowych.
   - Rys. 6.15: Tytuł w języku polskim (*odczyty wirtualnych tensometrów*) nie odpowiada tytułowi w języku angielskim (*labels of mesuring points*) i samemu rysunkowi.
   - Rys. 6.16: W podpisie winno być napisane, że krzywe uzyskano dla średniego poślizgu mierzonego w dwóch punktach.
   - Rys. 6.18: Podpis w języku polskim jest niezgrabny: *zestawienie odczytów dla czujników w rozmieszczeniu typu S i Z* winno być: *zależności „siła-przemieszczenie" uzyskane na podstawie odczytów z czujników S (poślizg w styku) i Z (przemieszczenie prostopadłe do styku)*.
   - Rys. 6.19: Z podpisu nie wynika, co pokazano na rys. a), a co na b) oraz co na c), a co na d).

- Którą próbkę pokazano na rys. 6.23a,b,f?
- Rys. 6.29: co oznacza PI, PII, PIII, PIV w legendzie?
- Co pokazano na rys. 6.34 j,k,l?
- Czym jest *trial stress* na wykresie 7.4a?
- Tablica 7.6 podpisana jest *Zestawienie typów zniszczeń i sił rysujących elementów typu C,* a powinno być *Porównanie parametrów przebiegu bezpośredniego ścinania i typów zniszczenia próbek typu C uzyskanych w badaniach i po wstępnej kalibracji modelu MES.*
- Tablica 7.7 podpisana jest *Parametry styków w modelu,* winno być *Parametry styków w modelu prztjęte w wyniku kalibracji z wynikami badań.*
- Tablice 7.6 i 7.9 mają takie same podpisy, a zawierają inne wartości liczbowe.
- Rys. 7.12 i 7.13: Na obydwu rysunkach pokazano rozkłady naprężeń w styku, przy czym są to naprężenia przy różnym poziomie obciążenia. Ten fakt nie jest uwzględniony w podpisach (nie podano wielkości obciążenia). Również nie podano wartości obciążenia w podpisie rysunku 7.14 (brak też opisu w tekście).
- Rys. 7.23: Informacja w podpisie *mapy naprężeń na kierunku podłużnym* nie podaje, o które naprężenia chodzi. Podobnie rys. 7.30, 7.31.
- Rys. 7.45: Według podpisu rysunek pokazuje model ZS_1_C, a wiec zgodnie z opisem str. $226_{8\text{-}6}$ model z oryginalną siatką, tymczasem na rysunku widać siatkę rozrzedzoną w strefie pozapodporowej.
- Rys. 7.46: W podpisie nie podano, o które naprężenia chodzi, ponadto napisano, że zaprezentowany jest obraz zarysowań, którego na rysunkach nie widać.

3. Występują nieścisłości przywołań, np.
   - Praca napisana jest w języku angielskim, a więc kierowana jest nie tylko do polskiego czytelnika. W związku z tym lepiej byłoby odnosić się do norm EN a nie PN-EN.
   - Przywołując publikacje wieloautorskie w wielu przypadkach przywoływano jedynie na pierwszego autora, np. str. 64: jest *Ajdukiewicz* [4], winno być *Ajdukiewicz et al.* [4], jest *Mones* [109], winno być *Mones and Brena* [109]; na str. 72: jest *Afefy* [2] winno być *Afefy et al.* [2].
   - Rys. 3.3, 3.7, 3.28 i tablice 3.7 nie są przywołane w tekście.
   - Str. 190_4 i 190_3: przywołany jest rys. 7.11, a powinien być przywołany rys. 7.10.
   - Str. 193_6: Nieprawidłowo przywołano rys. 7.11c, a na str. $195_{7\text{-}5}$ – również rys. 7.11.
4. W kilku przypadkach przy podawaniu wielkości parametrów, liczba i jednostka znajdują się w innych wierszach , np. str. 46_3, 76_9, 129^7, 130_{12}, 139^{15}, 171^6, 195^3, 197_9, 197_4, 206_3, 241^2, 252^9, 253^6.
5. Opisy na niektórych rysunkach są zbyt małe i nieczytelne, np. rys. 3.13, 3.22, 3.23, 3.25, 3.50a, 3.53, a na rysunkach zawierających kilka wykresów, wykresy są rysowane w zbliżonych kolorach, co utrudnia analizę porównawczą np. rys. 6.5, 6.18, 6.20, 6.25.
6. Pomimo tego, że praca napisana jest w języku angielskim nie przetłumaczono opisów osi na wykresach pochodzących z prac polskojęzycznych, co czyni te rysunki nieczytelnymi dla anglojęzycznego czytelnika, np. rys. 3.17, 3.18, 3.63.
7. Występują literówki np. str. 32^7 *Halick*, str. 45^6 – jest *Parametrów* winno być *Parametry,* str. 45_9 *proviso*, str.48^{14} *wedlyg*, str. 69_8 – jest *shaped* winno być *shape,* str, 70^{12} jest *ic* winno być *is,* str. 77_{14} jest *stropy* winno być *stropu,* , str.81^2 *badan,* str. 84^6 *belka nacięciem,* str. 140_6 jest *ZZ8.1_B* winno być *Z8.1_B,* we wzorach (7.2-7.6) f_t pisane jest mała literą, a na rys. 7.4 – wielką; podpis rys. 10.1 jest *zarysowany,* winno być *zarysowanych.*
8. Występują niewielkie uchybienia stylistyczne i językowe, np.
   - W zapisie pierwszej tezy (str. 916) zamiast *dependent* powinno być a *is dependent* albo *depends.*

- W opisach niektórych wzorów pojawia się *in which* nie korespondujące z tekstem, np. wzór (3.1), (3.3).
- Występują niejasne zdania np. str. 63_{5-4}, 69^{1-3}, 96_{3-2}.
- str. 79^{7-8}: jest *entire structural of the element* winno być *entire structural element* lub *entire structure of the element*
- Str. 93^{8-19} : w poszczególnych podpunktach wyliczania są albo pełne zdania (p. 3.1 i 3.2), albo równoważniki zdań bez podania co w tym zadaniu jest prezentowane (*To determine...., Determination...* - prawdopodobnie chodzi o wyspecyfikowanie w kolejnych punktach 3.3., 3.4 i 3.5 celu badań).
- str. 127^{10}: Jest *displacement values of interface* moim zdaniem powinno być *displacement values in interface* – to nie styk się przemieszcza ale przemieszczają się w styku względem siebie łączone elementy.
- Zdanie 189_{9-7} nie ma orzeczenia.
- Nie spotkałam użycia słowa *anastomosis* w kontekście połączenia konstrukcyjnego, jak jest na str. 242^{2}.

9. W języku polskim nadużywane jest „dla" np. podpis rysunku 6.25 *Charakterystyka siła-przemieszczenie dla belek serii,* winno być *Charakterystyka siła-przemieszczenie belek serii,* także rys. 6.32, 6.33 i inne.

5. Wniosek końcowy

Recenzowana dysertacja doktorska jest niewątpliwie dziełem oryginalnym i samodzielnym. Doktorant podjął ważne zagadnienie, które konsekwentnie rozwiązywał. Wykazał się wiedzą teoretyczną z zakresu podjętej tematyki, umiejętnością modelowania numerycznego i realizacji eksperymentów oraz twórczej analizy wyników obliczeń i badań. Dysertacja świadczy o bardzo dobrym opanowaniu przez Doktoranta warsztatu badań naukowych.

Ostatecznie stwierdzam, że przedłożona rozprawa mgr inż. Jakuba Zająca pt. THE BEHAVIOUR OF COMPOSITE CONCRETE ELEMENTS WITH UNREINFORCED MULTIPLANAR INTERFACE spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" (j.t. Dz.U. z 2023 r. poz. 742, z późn. zmianami). Wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Anna Halicka

Lublin dn. 31.12.2024

* wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz. U. z 2026 r. poz. 1764)

Marzena Gaura