

# Recenzje sporządzone wymagalnie

Dr hab. inż. Zbigniew Perkowski, prof. uczelni  
Politechnika Opolska  
Wydział Budownictwa i Architektury  
Katedra Fizyki Materiałów  
Katowicka 48, 45-061 Opole

Opole, 08.11.2024 r.

## RECENZJA

### rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Tomasza Rybarczyka pt. „*Nośność i odkształcalność ściskanych murów z betonu komórkowego skrzepowanych konstrukcją żelbetową*”

#### 1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawę formalną recenzji stanowi pismo z dnia 08.10.2024 r. (sygn. RDILGT.512.8.2022), skierowane do mnie przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej, dra hab. inż. Piotra Folegę, prof. Pol. Śl., z informacją o powołaniu mnie, zgodnie z Uchwałą Rady z dnia 26.09.2024 r., na recenzenta rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Tomasza Rybarczyka pt.: „*Nośność i odkształcalność ściskanych murów z betonu komórkowego skrzepowanych konstrukcją żelbetową*”. Do pisma załączono kopię pracy doktorskiej i stosowne dokumenty. Promotorem rozprawy jest Pan prof. dr hab. inż. Łukasz Drobiec.

Z uwagi na datę wszczęcia przewodu niniejsza opinia została sporządzona, biorąc pod uwagę zapisy zawarte w art. 179 Ustawy z dnia 03.07.2018 r. „*Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*” z późniejszymi zmianami i art. 13 Ustawy z dnia 14.03.2003 r. „*o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki*” z późniejszymi zmianami.

#### 2. Układ i zawartość rozprawy

Rozprawa doktorska liczy 227 stron i składa się kolejno z następujących 18 części: *Spis treści; Oznaczenia; Wprowadzenie; 6 rozdziałów przedstawiających meritum rozprawy, tj. jej cele, badania własne i analizę wyników; 2 rozdziały podsumowujące rozprawę, tj. Wnioski końcowe i Kierunki dalszych działań; streszczenie w języku polskim, streszczenie w języku angielskim; bibliografia; Wykaz rysunków i Wykaz tabel. W pracy zamieszczono ponumerowanych: 161 rysunków, 29 tabel, 65 wzorów i 124 przypisy bibliograficzne (w tym do Literatury 95 pozycje; Norm, instrukcji i wytycznych 26 pozycje oraz Stron internetowych 3 pozycje).*

We *Wprowadzeniu* (rozdział 3, str. 11-12) przedstawiono zwięźle przedmiot, cel i zakres pracy. Skupia się ona na określeniu wpływu skrzepowania na nośność i deformacje murów z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK) o gęstości 600 kg/m<sup>3</sup> w jednym cyklu obciążenia statycznego.

Rozdział 4 (str. 12-58) stanowi obszerny opis podstawowych wiadomości związanych z tematyką rozprawy. Jest on dobrze umiejscowiony, gdyż informacje w nim zawarte są niezbędne do spójnego i płynnego przedstawienia własnych badań i analiz, które znajdują się w dalszej części dysertacji. W pierwszej kolejności zdefiniowano mury skrzepowane i podkreślono szczególną przydatność tego typu ścian nośnych na terenach sejsmicznych, ze szkodami górnictwymi, niekorzystnych z geotechnicznego punktu widzenia czy w sytuacji występowania innych wyjątkowych obciążeń – szczególnie poziomych. Autor podkreśla, że takie konstrukcje wznosi się coraz częściej także w sytuacjach, jeśli wymienione uwarunkowania nie występują – np. w celu zwiększenia nośności

POLITECHNIKA ŚLĄSKA  
Rada Dyscypliny Inżynieria Lądowa,  
Geodezja i Transport  
wpłynęło dnia 8.11.2024  
nr 207 zat.

1

Wpłynęło dnia 8.11.2024 r.

wielokondygnacyjnych konstrukcji murowych przy zachowaniu mniejszej smukłości ścian nośnych czy zwiększenia rozstawu ścian nośnych. Choć związane są z tym ograniczenia w swobodnym kształtowaniu architektonicznym budynków z uwagi na narzucenie zwartej bryły murowanego budynku, to z drugiej strony należy patrzeć na to także w kontekście mniejszego zużycia energii do ogrzewania. Co istotne, Doktorant wykazuje lukę badawczą na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury. Mianowicie publikowane badania murów skrępowanych, jeśli prowadzone są w skali naturalnej, to dotyczą przede wszystkim obciążeń cyklicznych symulujących sejsmiczne. Badania ściskanych monotonicznie skrępowanych elementów murowych z ABK przeprowadzono w zasadzie incydentalnie na małych modelach w Kanadzie (np. Ezz et al. (2015)), Rumunii (Iernutan i Babota (2017)) i Włoszech (np. da Porto et al. (2011)). W drugiej części rozdziału przedstawiono zasady współczesnego inżynierskiego sposobu projektowania murów skrępowanych metodą Strut & Tie oraz zalecenia konstrukcyjne i wzory na nośność z wybranych publikacji, instrukcji, wytycznych i norm. Niestety Eurokod 6 (EC6) w obecnej formie czy instrukcje ITB choć określają warunki konstrukcyjne w przypadku murów skrępowanych, to nie precyzują wzorów na ich nośność, które uwzględniałyby ograniczenie ich odkształcalności przez zbrojenie lub elementy żelbetowe betonowane w murze, w specjalnie utworzonych do tego celu otworach. Kandydat słusznie podkreśla, że hamuje to bardziej zaawansowane stosowanie tego typu konstrukcji w praktyce, szczególnie w przypadku murów z ABK, które mają mniejszą nośność w porównaniu do ścian z bloczków silikatowych czy elementów ceramicznych.

W rozdziale 5 (str. 58-59) Doktorant precyzuje 6 celów naukowych rozprawy, które logicznie wynikają z przedstawionych wcześniej wiadomości i wykazanych luk badawczych. W ramach recenzji bardziej szczegółowo omówiono je w p 3.2.

W rozdziale 6 (str. 59-85) opisano wstępne badania właściwości użytych materiałów, które w dalszej kolejności wykorzystano do analizy wyników eksperymentów na modelach murów. Badania wykonano zgodnie z odpowiednimi normami. M.in. określono:

- znormalizowaną wytrzymałość na ściskanie bloczków z ABK;
- naprężenia prowadzące do zniszczenia ABK w aparacie trójosiowego ściskania przy różnych stosunkach naprężeń pionowych i poziomych;
- ściskające naprężenia rysujące, wytrzymałość charakterystyczną na ściskanie, moduł sprężystości i współczynnik Poissona muru z ABK;
- wytrzymałość na ściskanie betonu komórkowego oraz granicę plastyczności, wytrzymałość i ciągliwość stali zbrojeniowej z nadproży systemowych;
- wytrzymałość na ściskanie i zginanie oraz klasę zaprawy murarskiej;
- granicę plastyczności, wytrzymałość i ciągliwość stali zbrojeniowej oraz wytrzymałość średnią na ściskanie i klasę betonu zwykłego i lekkiego, które użyto do wykonania elementów krępujących.

Rozdział 7 (str. 85-168) opisuje w mojej opinii zdecydowanie najbardziej pracowitą część badań Doktoranta. Jest to również najbardziej wartościowa część rozprawy z uwagi na fakt, iż zawiera nowe wyniki profesjonalnych i szeroko zakrojonych w swym programie pomiarów eksperymentalnych nośności i odkształcalności skrępowanych murów z ABK w skali naturalnej. Wyniki te z powodzeniem mogą być podstawą do weryfikacji istniejących jak i nowo proponowanych modeli murów skrępowanych, co Kandydat twórczo wykorzystał w następnych rozdziałach rozprawy. Do badań wstępnych i zasadniczych wykonano aż 13 serii po 2 modele murów:

- nieskrępowanych z wypełnionymi (MNS-Z1) i niewypełnionymi spoinami czołowymi (MNS-Z2) – wieńce z betonu zwykłego;
- nieskrępowanych, z otworem, z niewypełnionymi (MNSO-Z1) i wypełnionymi spoinami czołowymi (MNSO-Z2) – wieńce z betonu zwykłego oraz systemowe nadproża z betonu komórkowego;
- skrępowanych po obwodzie z niewypełnionymi (MS-Z1) i wypełnionymi spoinami czołowymi (MS-Z2) – rdzenie i rygle z betonu zwykłego;
- skrępowanych po obwodzie, z otworem, z niewypełnionymi (MSO-Z1) i wypełnionymi spoinami czołowymi (MSO-Z2) – rdzenie i rygle z betonu zwykłego oraz systemowe nadproża z betonu komórkowego;

- skrępowanych podwójnie po obwodzie i przy otworze z niewypełnionymi (M2SO-Z1) i wypełnionymi spoinami czołowymi (M2SO-Z2) – rdzenie i rygle z betonu zwykłego oraz systemowe nadproża z betonu komórkowego;
- skrępowanych po obwodzie z niewypełnionymi spoinami czołowymi (MSL-Z1) – rdzenie i rygle z betonu lekkiego;
- skrępowanych po obwodzie, z otworem, z niewypełnionymi spoinami czołowymi (MSLO-Z1) – rdzenie i rygle z betonu lekkiego oraz systemowe nadproża z betonu komórkowego;
- skrępowanych podwójnie po obwodzie i przy otworze z niewypełnionymi spoinami czołowymi (M2SLO-Z1) – rdzenie i rygle z betonu lekkiego oraz systemowe nadproża z betonu komórkowego.

Dodatkowo wykonano badania 3 serii po 2 modele murów:

- nieskrępowanych, z otworem, z niewypełnionymi spoinami czołowymi (MNSO-LC-Z1) – wieńce i nadproża z betonu zwykłego;
- skrępowanych po obwodzie, z otworem, z niewypełnionymi spoinami czołowymi (MSO-SC-Z1) – rdzenie, rygle i nadproża z betonu zwykłego;
- skrępowanych podwójnie po obwodzie i przy otworze z niewypełnionymi spoinami czołowymi (M2SO-SC-Z1) – rdzenie, rygle i nadproża z betonu zwykłego.

Finalnie wymurowano także 2 modele do oszacowania nośności systemowych nadproży z betonu komórkowego z wieńcem z betonu lekkiego. Wszystkie wieńce, nadproża, rdzenie i rygle były zbrojone, a rdzenie wykonano ze strzępami. Obciążenie przykładano statycznie i monotonicznie na górnej powierzchni modeli aż do zniszczenia za pomocą 8 siłowników – 2 trawersowanych o zakresie do 1000 kN i 6 o zakresie do 25 kN, starając się, by zadały one obciążenie zbliżone w miarę możliwości do równomiernego, lecz co ważne, poza obrysem rdzeni. W badaniach wstępnych na wybranych nieobciążonych modelach z serii MS-Z1 i MSL-Z1 podczas dojrzewania betonu wykonano pomiary skurczu i temperatury górnego rygla, temperatury otoczenia oraz zmian odkształceń po szerokości i wysokości muru. Przeprowadzono je w celu sprawdzenia zakresu skrępowania muru od skurczu wilgotnościowego betonu konstrukcji żelbetowej. W badaniach zasadniczych i dodatkowych w przypadku wszystkich modeli określano ich obciążenie rysujące, nośności, odkształcenia na tzw. ramkach, przemieszczenia i odkształcenia powierzchni systemem DIC oraz inwentaryzowano zarysowania i mechanizmy zniszczenia.

Rozdział 8 (str. 168-185) poświęcony jest porównawczej analizie obciążeń rysujących, niszczących i odkształcalności murów. Najważniejsze wnioski z niej płynące opisano bardziej szczegółowo w p. 3.3 niniejszej recenzji.

Rozdział 9 (str. 185-202) zawiera interesujące porównania wyników eksperymentalnych i modelowych. Nośności z badań laboratoryjnych w pierwszej kolejności porównano z obliczeniami wg EC6 i projektem EC6 z 2019 r. Wykazano dość dobrą zgodność z wynikami z serii MS, natomiast w przypadku serii MSL i z otworami wykazano przeszacowanie – niekiedy nawet ok. 5-krotne. Dalej za pomocą programu ATENA dokonano porównania nośności i odkształceń uzyskanych z zaawansowanych modeli MES w płaskim stanie naprężenia. Generalnie wykazano dobrą albo zadowalającą zgodność odkształceń z wyłączeniem fazy niszczenia. Nośność przewidziano dokładnie w modelu numerycznym MS, natomiast przeszacowano ją o ok. 30% w przypadku modeli numerycznych MNS, MNSO, MSO i M2SO. Kolejna część rozdziału dotyczy implementacji metody Strut & Tie do określania nośności murów skrępowanych. Co istotne, w modelach prętowych ukierunkowanie ściskanych zastrzałów muru zostało przeprowadzone na podstawie inwentaryzacji rys modeli doświadczalnych i obrazu trajektorii naprężeń głównych z modeli MES. Uzyskane wyniki metodą Strut & Tie potwierdzają ich dużą przydatność w praktyce projektowej zważywszy na stosunkowo nietrudne prowadzenie tego typu obliczeń – oczywiście jeśli znane są odpowiednie dane materiałowe muru i elementów krępujących.

Rozdział 10 (str. 202-204) stanowi zwieńczenie rozprawy w formie najważniejszych wniosków, a rozdział 11 (str. 205) zamyka zasadniczą część opracowania, wskazując ciekawe propozycje dalszych badań.

W podsumowaniu niniejszego punktu stwierdzam, że układ rozprawy jest prawidłowy (kolejność rozdziałów i omawianych zagadnień, kompozycja, umiejscowienie rysunków i tablic). Należy podkreślić, że strona graficzna pracy została przygotowana bardzo starannie, wspierając wydatnie przekaz zawartych w niej treści merytorycznych. Cytowana literatura jest obszerna i w zupełności

oddająca stan obecnej wiedzy w obszarze rozprawy. Zawartość dysertacji pozwala stwierdzić recenzentowi, że Kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną, wymaganą na poziomie pracy doktorskiej w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. Ponadto sposób ustalenia i przeprowadzenia bardzo szerokiego i żmudnego programu badań eksperymentalnych oraz analizy uzyskanych wyników z wykorzystaniem modeli obliczeniowych świadczy bez żadnych zastrzeżeń o zdobyciu przez Doktoranta umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Gdziekolwiek można znaleźć drobne usterki edycyjne (np. patrz punkt 4), lecz nie rzutują one na wysoką wartość naukową rozprawy doktorskiej.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy**

#### **3.1. Ocena doboru tematyki**

Wykorzystanie ABK jako materiału do wznoszenia przegród zewnętrznych budynków niesie ze sobą oczywiste korzyści z uwagi na jego wysoką izolacyjność cieplną w porównaniu do silikatów i ceramiki tradycyjnej i nieznacznie większą w porównaniu do ceramiki poryzowanej. Ponadto ciężar objętościowy muru z ABK jest znacznie mniejszy od ciężaru murów z silikatów i ceramiki tradycyjnej, a także, ale w mniejszym stopniu, od ciężaru muru z ceramiki poryzowanej. Nie bez znaczenia jest również większa łatwość obróbki bloczków z ABK i porównanie jednostkowych kosztów wzniesienia ścian nośnych. Jednak szersze zastosowanie murów z ABK w budynkach o większych obciążeniach czy w przypadku wystąpienia oddziaływań wyjątkowych, w tym poziomych, napotyka bariery. Przede wszystkim są one związane ze stosunkowo niską wytrzymałością ABK. Rozwiązaniem problemu w tym zakresie jest powszechnie znane wprowadzanie do muru zmonolityzowanych rdzeni i rygli żelbetowych, jednak pojawia się tu kolejna bariera związana z brakiem unormowanych inżynierskich metod projektowania, które będą poprawnie uwzględniać korzystny efekt skrępowania – szczególnie w sytuacji, kiedy mieszanka betonowa układana jest w otworach i drążeniach, które uformowano we wcześniej wzniesionych partiach muru. Dostarczenie w tym zakresie zweryfikowanej naukowo metodologii projektowania murów z ABK może przyczynić się do racjonalnie oszczędniejszego zużycia materiałów i związanych z tym korzyści ekonomicznych jak i środowiskowych. Opiniowana rozprawa doktorska w pełni wychodzi tej problematyce naprzeciw, dlatego pozytywnie oceniam dobór jej tematyki jako aktualnej i potrzebnej w inżynierii lądowej.

#### **3.2. Ocena celów badawczych i sposobu ich osiągnięcia**

Wychodząc naprzeciw stwierdzonym lukom w literaturze techniczno-naukowej nt. badań skrępowania murów z ABK, Autor sprecyzował w rozdziale piątym sześć następujących celów rozprawy:

- 1) Wykonanie pionierskich badań laboratoryjnych skrępowanych ścian z ABK w skali naturalnej ściskanych w jednym cyklu aż do zniszczenia.
- 2) Wykazanie wpływu skrępowania na wartość naprężeń ściskających w murze z ABK.
- 3) Eksperymentalne określenie wpływu skrępowania na nośność i odkształcalność ścian z ABK.
- 4) Analiza modeli doświadczalnych z wykorzystaniem MES prowadząca do wyznaczenia trajektorii głównych naprężeń ściskających w murze.
- 5) Porównanie z wynikami badań laboratoryjnych nośności ściskanych murów skrępowanych, obliczonych zgodnie z obecną EC6 i projektem EC6 z roku 2019.
- 6) Zaproponowanie modeli służących określeniu nośności skrępowanych ścian z ABK z wykorzystaniem metody Strut & Tie.

Należy podkreślić, że tak sformułowane cele od razu musiały zakładać przeprowadzenie żmudnych i szeroko zakrojonych prac laboratoryjnych na licznej i zróżnicowanej grupie modeli murów jak i badań materiałów użytych do wykonania tych modeli. Wymagało to zastosowania różnych technik laboratoryjnych z zakresu mechaniki materiałów i konstrukcji oraz prowadzenia pomiarów w skali naturalnej, których opanowanie nie jest łatwe. W efekcie Kandydat konsekwentnie realizował

postawione cele, wyciągając poprawne i interesujące wnioski z uzyskanych wyników eksperymentalnych. Doprowadziło to ostatecznie do zaproponowania modeli obliczeniowych typu Strut & Tie, które poprawnie opisały nośność badanych ścian i które można stosować w projektowaniu. Przytoczone spostrzeżenia świadczą jednocześnie o osiągnięciu przez Doktoranta umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Wyznaczone cele naukowe należy określić jako logicznie ze sobą powiązane, uzupełniające się i mające wymiar zarówno praktyczny (patrz punkt 3.1) jak i poznawczy (patrz punkt 3.3). Na tej podstawie bardzo pozytywnie oceniam ten aspekt rozprawy.

### 3.3. Ocena osiągnięć naukowych

Zdaniem recenzenta przedstawione w dysertacji badania eksperymentalne, ich modelowanie numeryczne MES oraz metodą Strut & Tie, jak i analiza wyników pozwoliły Autorowi osiągnąć oryginalne rozwiązania problemów naukowych. Spełniają one w zupełności wymogi ustawowe. Najważniejsze z nich to:

- 1) W ramach badań laboratoryjnych potwierdzono jednoznacznie, że:
  - skurcz betonu zwykłego w elementach żelbetowych powiązanych z murem z ABK wywołuje niepomijalny efekt skrępowania;
  - występuje korzystny efekt skrępowania obwodowego w przypadku modeli MS-Z1 i MS-Z2 z uwagi na znaczne zwiększenie nośności o ok. 35-45% w porównaniu do MNS-Z1 i MNS-Z2 – ponadto w przypadku wypełnienia spoin czołowych skrępowanie spowodowało ok. 15% wzrost rysoodporności, a bez wypełnienia spoin czołowych nie zmieniło rysoodporności (w wyniku odpowiednio mniejszej i większej swobody odkształceń poprzecznych bloczków);
  - nie ma istotnych zmian rysoodporności i nośności w efekcie skrępowania obwodowego w modelach MSO-Z1 i MSO-Z2 w porównaniu do MNSO-Z1 i MNSO-Z2 z uwagi na zbyt małą sztywność i nośność nadproży systemowym z ABK,
  - utwierdzenie nadproży systemowych i przejęcie części obciążeń przez rdzenie ograniczające otwory w modelach M2SO-Z1 i M2SO-Z2 pozwoliło na zwiększenie rysoodporności i nośności o ok. 30% w porównaniu do MNSO-Z1 i MNSO-Z2,
  - zastosowanie bardziej sztywnych i nośnych nadproży żelbetowych nad otworami w modelach MSO-SC-Z1 i M2SO-SC-Z1 pozwoliło na zwiększenie rysoodporności i nośności ścian odpowiednio o ok. 30% i 20% oraz 35% i 50% w porównaniu do serii MSO-Z1 i M2SO-Z1.
- 2) Zinventaryzowano zarysowania i mechanizmy zniszczenia badanych laboratoryjnie ścian, co pozwala na tworzenie poprawnych (zweryfikowanych doświadczalnie) odwzorowań tych ścian za pomocą modeli obliczeniowych typu Strut & Tie.
- 3) Zweryfikowano możliwości przewidywania nośności i zarysowań badanych rodzajów ścian za pomocą MES w płaskim stanie naprężenia z uwzględnieniem zagadnień kontaktowych oraz warunków plastyczności i kruchego zniszczenia materiałów. Uzyskano dobrą zgodność modelu numerycznego MES i eksperymentu w zakresie kształtowania się rys i tym samym w zakresie przewidywania przebiegu trajektorii naprężeń głównych. Jest to istotne, gdyż znajomość trajektorii naprężeń ściskających jest niezbędna do prawidłowego tworzenia uproszczonych modeli obliczeniowych typu Strut & Tie.
- 4) Wykazano, że wzory zawarte w EC6 – w wersji obowiązującej i projekcie z roku 2019, służące do przewidywania obliczeniowej nośności ścian murowych, w przypadku przebadanych skrępowanych murów z ABK dają poprawne rezultaty jedynie dla ścian pełnych z rdzeniami i ryglami z betonu zwykłego. Wobec tego w przypadku ścian z otworami, czy zastosowania betonu lekkiego, niezbędne jest także sprawdzenie lokalnych efektów oddziaływań.
- 5) Zaproponowano model prętowy typu Strut & Tie służący do określania nośności skrępowanych ścian z ABK, który pozytywnie zweryfikowano na własnych wynikach eksperymentalnych. W przypadku modeli MS, MSO, M2SO, MSLO i M2SLO obliczono nośności w zakresie ok. 80-95% w stosunku do wartości rzeczywistych, a w przypadku MSL przeszacowano nieznacznie obciążenie niszczące o ok. 8%.

#### 4. Uwagi

- 1) Na rys. 4.4.1 powinien znaleźć się widok aksonometryczny elementów murowych z badań zawartych w poz. [36,76], gdyż dopiero zagłębienie do tych publikacji daje czytelnikowi pogląd, z jakimi dokładnie elementami mamy do czynienia.
- 2) W badaniach przedstawionych w pracach [36,44,76] trudno jest mówić o skrzepowaniu badanych elementów murowych w efekcie skurczu betonu. Wprowadzone wypełnienia betonem w środku elementów stanowią raczej wzmocnienie przekroju, a skurcz betonu może w przypadku omawianych filarków spowodować przede wszystkim wstępne pionowe dociśnięcie „otoczki” z ABK, nie krępując jednak znacząco jego odkształceń poziomych. Tym bardziej potwierdza to ograniczony zakres opublikowanych dotychczas badań, które są bezpośrednio związane z tematyką rozprawy.
- 3) We wzorze (38) omyłkowo użyto dwa razy symbolu  $M_{sd}$ .
- 4) Czy w kontekście badań wytrzymałościowych temperatura suszenia wynosząca 105°C nie jest zbyt wysoka z uwagi na możliwe wprowadzenie zmian strukturalnych w próbkach ABK (str. 62)?
- 5) Na str. 68 napisano, że w aparacie trójosiowego ściskania ustalone w serii pierwszej  $\sigma_{rad}$  zadawano na poziomie 2, 4 albo 6 MPa, a ustalone w serii drugiej  $\sigma_{ver}$  na poziomie 0, 2 albo 4 MPa. Dane zamieszczone w *Tablicy 6.3.1* różnią się w tym względzie. Ponadto w *Tablicy 6.3.1* użyto symbolu  $\sigma_{hor}$  zamiast  $\sigma_{rad}$ .
- 6) Badania ABK ze ściskania i aparatu trójosiowego ściskania warto byłoby zilustrować powierzchnią zniszczenia typu  $F=0$  w przestrzeni naprężeń głównych.
- 7) W ramach badań zmierzono skurcz wilgotnościowy betonu zwykłego. W elementach żelbetowych ich skurcz swobodny będzie mniejszy od swobodnego skurczu samego betonu z uwagi na wewnętrzne opory stawiane przez podłużne wkładki zbrojeniowe. Wobec tego efekt skurczu na skrzepowanie muru z ABK przy coraz większym stopniu zbrojenia rygli będzie coraz bardziej ograniczany. Czy próbowano dokonać oszacowania tego efektu?
- 8) Efekt skrzepowania muru przez powiązaną z nim konstrukcję żelbetową może być także częściowo wywołany podczas narastania obciążenia przez inną odkształcalność obu elementów w kierunku poziomym. Czy próbowano dokonać oszacowania udziału tego efektu w porównaniu do skrzepowania, jakie niesie ze sobą tylko skurcz betonu?
- 9) Porównując kierunki zarysowania ścian z otworami na rys. 7.3.40 i rys. 7.3.41, warto zauważyć, że skrzepowanie obwodowe obniża w murze przy zewnętrznych krawędziach pionowych poziom naprężeń ścinających w kierunku spoin wspornych i czołowych, a efekt ten jest wzmocniony, jeśli wypełniać zaprawą także spoiny czołowe.
- 10) Czy w przypadku modeli MES badano zbieżność wyników z uwagi na dyskretyzację?
- 11) Jak modelowano niewypełnione spoiny czołowe w modelu MES?
- 12) Jak w p. 9.3 dobierano w modelach Strut & Tie szerokość przekroju zastrzałów ze ściskanego muru i czy uwzględniano w nich wytrzymałość na ściskanie z uwzględnieniem skrzepowania odkształceń poprzecznych?
- 13) Pozycja [13] *Literatury* nie jest cytowana w obrębie rozdziałów.
- 14) W rozprawie można znaleźć nieliczne drobne usterki edycyjne i stylistyczne tekstu – np. w przedostatnim zdaniu na str. 19 powinno być „*Wadą konstrukcji skrzepowanych ...*”, na str. 31 użyto słów „*licy*” i „*lice*” zamiast „*tablicy*” i „*tablice*”, na str. 51 użyto stwierdzenia „*Eurokodu żelbetowego*”, numer (63) przypisano dwóm różnym równaniom. Usterki te nie rzutują na wartość merytoryczną opracowania.

#### 5. Wnioski końcowe

W swojej rozprawie doktorskiej mgr inż. Tomasz Rybarczyk przedstawił interesujące rezultaty badań nad efektami skrzepowania konstrukcją żelbetową murów z ABK. Pozwoliły one Doktorantowi na jednoznaczne eksperymentalne potwierdzenie, że efekt taki występuje przy zastosowaniu betonu zwykłego w elementach krępujących i prowadzi w przypadku murów pełnych do znacznego wzrostu nośności, a w mniejszym stopniu do wzrostu rysoodporności. Z kolei w przypadku murów z otworami efekt ten będzie występował, jeśli zastosuje się skrzepowanie nie tylko obwodowe, ale także przy

otworach, choć będzie to już związane w mniejszym stopniu z procesem skurczu betonu, a w większym z wprowadzeniem w środku ściany bardziej nośnych i sztywnych elementów. W dalszej kolejności Doktorant na podstawie badań eksperymentalnych i numerycznych zaproponował i pozytywnie zweryfikował sposób implementacji metody Strut & Tie służącej określeniu nośności badanych rodzajów murów.

Warte podkreślenia jest to, że wyniki rozprawy mają charakter kompleksowy. Obejmują one zarówno badania laboratoryjne (materiałowe, nośności i odkształcalności 34 różnych modeli ścian w sakli naturalnej) jak i numeryczne. Dokonano także szeroko kontekstowego porównania rezultatów eksperymentalnych pomiędzy sobą jak i z obliczeniami MES, wg metody Strut & Tie oraz EC6. Takie ujęcie problemu wymagało od Kandydata zdobycia umiejętności prowadzenia wielu żmudnych eksperymentów, które wykonuje się współcześnie w laboratoriach mechaniki materiałów i konstrukcji budowlanych, a także współczesnych obliczeń inżynierskich w modelowaniu konstrukcji.

Przedstawione badania wymagają dalszego rozwoju, na co Doktorant sam zwraca uwagę na końcu rozprawy. Otwiera to przed nim drogę do twórczej pracy naukowej w przyszłości.

Na podstawie analizy przedłożonej do opinii dysertacji mogę stwierdzić, że jej cele naukowe, które nakreślono na podstawie krytycznego przeglądu literatury, zostały osiągnięte. Tym samym Autor przedstawił oryginalne rozwiązania problemów naukowych, a ponadto wykazał się ogólną wiedzą w ramach dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport oraz umiejętnością samodzielnego planowania i prowadzenia badań naukowych.

Uwagi wymienione w punkcie 4 mają charakter edycyjny, porządkowy lub służą wywołaniu dyskusji naukowej.

**W podsumowaniu stwierdzam, że rozprawa doktorska autorstwa Pana mgra inż. Tomasza Rybarczyka spełnia wymagania, o których mowa w Ustawie „o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14.03.2003 r. z późniejszymi zmianami i stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.**

Recenzję podpisał  
Zbigniew Perkowski

