

Recenzje sporządzone wymagalnie

Dr hab. inż. Zbigniew Perkowski, prof. uczelni
Politechnika Opolska
Wydział Budownictwa i Architektury
Katedra Fizyki Materiałów
Katowicka 48, 45-061 Opole
[REDAKTOWANE]
e-mail: z.perkowski@po.edu.pl

Opole, 08.11.2024 r.

Przewodniczący Rady Dyscypliny
Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport
Politechniki Śląskiej

dr hab. inż. Piotr Folegą, prof. PŚ

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 pozycji; Norm, instrukcji i wytycznych 26 pozycji oraz Stron internetowych 3 pozycje).*

We *Wprowadzeniu* (rozdział 3, str. 11-12) przedstawiono zwięzłe 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/m³ 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 górnictwami, 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 204 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. Kolejną 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 σ_{rad} zadawano na poziomie 2, 4 albo 6 MPa, a ustalone w serii drugiej σ_{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 σ_{hor} zamiast σ_{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 konstrukcją 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 środek 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.

Podpis jest prawidłowy

Dokument podpisany przez ZBIGNIEW
PERKOWSKI

Data: 2024.11.08 01:46:49 CET

Zbigniew Perkowski

