

Prof. dr hab. inż. Anna Halicka

Pięty Jan 27/08/2023

WPLYNEŁO

26.08.2023
522 2023

DZIEKAN
Wydziału Inżynierii Lądowej
prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz

RECENZJA DYSERTACJI DOKTORSKIEJ

mgr inż. Damiana Łukasza Cichockiego

pt.

WPLYW WYBRANYCH MODYFIKACJI BETONU NA WSPÓŁCZYNNIK PEŁZANIA

przygotowanej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Piotra Woyciechowskiego i promotora
pomocniczego dr inż. Leona Narlocha

Podstawa opracowania: uchwała nr 769/2023 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 04.07.2023 r., pismo przewodniczącego Rady Dyscypliny ILGiT dr hab. inż. Konrada Lewczuka, prof. uczelni z dnia 13.07.2023 oraz umowa o dzieło między recenzentką i Politechniką Warszawską.

1. Problem naukowy, przedmiot, i charakter dysertacji

Pełzanie betonu, które jest przedmiotem recenzowanej pracy doktorskiej, jest nieodłącznym zjawiskiem towarzyszącym obciążonym konstrukcjom z betonu i ma istotny wpływ na ich pracę. Uwzględniane jest standardowo w obliczeniach nośności słupów, ugięć belek, wpływa na starty sprężania, ma także wpływ na pracę ram i powłok. I choć samo zjawisko zostało zidentyfikowane ponad sto temu, jego opis analityczny wciąż jest niedoskonały. Modele normowe EC2 i MC2010 oraz inne bardziej skomplikowane modele analityczne stanowią co prawda coraz dokładniejsze przybliżenia, ale opis pełzania betonu i sposób wyznaczania jego podstawowego parametru - współczynnika pełzania jest nadal obciążony niepewnością. Wyżej wspomniane klasyczne modele dotyczą betonu zwykłego, niemodyfikowanego dodatkami i domieszkami. W nowelizacji normy projektowania konstrukcji z betonu FprEN1992-1-1 przy prezentacji modelu pełzania (opartego na modelu MC2010) znajduje się nawet znamienna uwaga: *Model skurczu i pełzania opracowany jest na bazie badań z lat 1960-2000. Nowe typy cementów z dużą zawartością popiołów lotnych i granulowanego żużla wielkopieczowego nie są dostatecznie reprezentowane w tym modelu.* Taki zapis wprost oznacza, że problem pełzania betonów modyfikowanych jest otwarty. Dlatego podjęcie przez Doktoranta badań pełzania betonu modyfikowanego dodatkiem żużla wielkopieczowego i domieszką napowietrzającą uznaję za ambitną próbę uzupełnienia tej luki.

Praca Doktoranta odnosi się do pełzania betonu w młodym wieku w okresie do 365 dni. Stopień trudności identyfikacji współczynnika pełzania jest w tym przypadku zwiększony ze względu na fakt, że pełzanie zachodzi równocześnie ze skurczem, wpływając na wielkość odkształceń skurczowych.

dd

Zważywszy powyższe, podjęty temat rozprawy doktorskiej uznaję za ambitny, aktualny i ważny z punktu widzenia zarówno poznawczego, jak i z punktu widzenia praktyki budowlanej.

Praca ma charakter doświadczalny – jej istotą są badania laboratoryjne i analiza ich wyników.

2. Zawartość i układ dysertacji

Praca liczy 144 strony tekstu podstawowego, do którego dołączono na początku streszczenie w języku polskim i angielskim oraz spis treści, a na końcu bibliografię. Bibliografia zawiera 111 pozycji literaturowych, 5 źródeł internetowych oraz 19 norm, w tym 27 publikacji angielskojęzycznych i 84 polskojęzyczne.

W pracy wyróżnić można następujące części:

1. Wprowadzenie (rozdział 1) podające informacje ogólne na temat istoty reologii oraz sytuacji, dla których konieczne jest uwzględnianie pełzania betonu, a także zawierające informacje dość luźno związane z tematem – informacje o liczbie i przyczynach katastrof budowlanych oraz wielkości światowej produkcji cementu i stali;
2. Rozdział prezentujący cel i zakres pracy (rozdział 2), w którym oprócz celu pracy sformułowano także tezę oraz opisano zakres badań;
3. Studia literaturowe, których przedmiotem są:
 - modyfikacja mieszanek betonowych za pomocą dodatków i domieszek (rozdział 3),
 - odkształcenia betonu (rozdział 4), w tym zjawiska pełzania i skurczu betonu oraz modele je opisujące,
 - normowe metody obliczania współczynnika pełzania i metody jego laboratoryjnego określania (rozdział 5);
4. Część badawczą zawierającą:
 - opis programu i metodyki badań laboratoryjnych (rozdział 6),
 - prezentację składów badanych mieszanek betonowych (rozdział 7),
 - prezentację wyników badań laboratoryjnych (rozdział 8) i ich analizę (rozdział 9);
5. Podsumowanie i wnioski (rozdział 10).

Układ pracy jest tradycyjny – najpierw część studialna, następnie relacja z badań laboratoryjnych poprzedzona prezentacją programu badań i zakończona analizą ich wyników. Ogólnie układ i zawartość pracy uznaję za prawidłowe, ale jednak zauważyć muszę pewną dysproporcję. Część stanowiąca studia literaturowe, która powinna być wprowadzeniem do pracy właściwej, zawarta jest aż na 84 stronach, a część stanowiąca opis badań, zestawienie wyników, ich analizę oraz wnioski liczy jedynie 56 stron.

3. Merytoryczna ocena pracy

3.1 Ocena ogólna dysertacji

Recenzowana dysertacja doktorska ma, jak już pisałam wyżej, charakter doświadczalny. Jej realizacja wskazuje na kompetencję Doktoranta, w szczególności w zakresie badań laboratoryjnych i interpretacji ich wyników. Widoczna jest konsekwencja działań – od literaturowego rozpoznania tematu, poprzez zaprogramowanie i zrealizowanie badań do analizy ich wyników, a wreszcie skonfrontowania wyników z zaleceniami normowymi.

Stwierdzam, że praca jest oryginalna. Został w niej podjęty i rozwiązany (poprzez badania laboratoryjne i analizę ich wyników) dość trudny problem naukowy.

Szczegółowa ocena merytoryczna dysertacji zostanie przedstawiona poniżej poprzez oceny cząstkowe poszczególnych jej części. Zawarte tu uwagi, także dyskusyjne, mają na celu wskazanie zagadnień, na które należałoby zwrócić uwagę w dalszych badaniach i publikacjach.

3.2 Ocena celu i tezy pracy

Cel pracy, jakim była *weryfikacja, czy dostępne metody obliczania współczynnika pełzania są wystarczająco dokładne w przypadku betonów o dużej zawartości dodatków i domieszek* został moim zdaniem sformułowany prawidłowo, choć można było zawęzić go do zbadanego typu dodatku i domieszki.

Doktorant postawił następującą tezę: *Modyfikacje materiałowe betonu takie jak rodzaj i zawartość dodatku oraz napowietrzanie wpływają na wartości współczynnika pełzania*. Teza postawiona jest nieco nieprecyzyjnie, bowiem badano jedynie wpływ zawartości jednego a nie kilku dodatków – tak więc nie można mówić o rozpoznaniu wpływu rodzaju dodatku.

3.2 Ocena studiów literatury

Studia literaturowe obejmują zagadnienia, które można uznać za właściwe, wybrane źródła są niewątpliwie związane z tematem i ważne. W ramach studiów literaturowych analizowano następujące zagadnienia.

Najpierw opisano możliwości modyfikacji cech mieszanek betonowych i betonów za pomocą dodatków i domieszek. Zagadnienie skutków tej modyfikacji potraktowano jednak nieco ogólnikowo. Brak ten rekompensowany jest częściowo w rozdziale 7.1, gdzie uzasadniano dobór badanego typu domieszki i dodatku oraz wskazano ich wpływ na wytrzymałość i trwałość betonu.

Następnie, w obszernym rozdziale, opisano odkształcalność betonu. Dokładniej zajęto się pełzaniem, w tym opisano ogólnie zjawisko, zestawiono najważniejsze teorie pełzania, omówiono czynniki wpływające na pełzanie oraz jego skutki. Następnie opisano zjawisko skurczu wraz z jego rodzajami. W kolejnym rozdziale zaprezentowano metody obliczania współczynnika pełzania według różnych norm (PN-B-03264, PN-EN 1992-1-1, ModelCode 2010, ACI 209) oraz modele B3 i B4 Bażanta, a także metody badania współczynników pełzania. W podsumowaniu rozdziału dotyczącego współczynników pełzania przywołano, dokonane przez innych autorów, porównania wartości odkształceń pełzania i współczynników pełzania obliczonych według różnych metod. Cenna jest tablica 5.4 stworzona przez Doktoranta wskazująca na czynniki uwzględniane w różnych modelach, podobnie jak tablica 5.5 porównująca procedury badawcze.

Moim zdaniem na zakończenie studiów literaturowych brakuje ich podsumowania, w którym wyspecyfikowane byłyby problemy, wątpliwości i braki wiedzy, które zrodziły się w wyniku studiów literaturowych, i które postanowił Doktorant rozwiązać w swojej pracy – byłyby to swego rodzaju geneza pracy.

Pewien niedosyt budzi fakt, że większość publikacji przywoływanych jest dość stara - jedynie ok 1/3 pozycji ma 5 lat i mniej. Cytowanie takich prac wymaga ich krytycznej oceny, np.

- Czym jest *ostatnie stulecie* w stwierdzeniu przywołanym za pracą z roku 1995 (str. 26¹⁰) ?
- Cytując pracę z 1979 roku napisano w tablicy 4.1, że odkształcenia pełzania i skurczu są zależne od grubości elementu, podobnie na str. 54⁸. Tymczasem współczesne modele (także normowe) nie odnoszą się do grubości elementu, a do miarodajnego wymiaru przekroju.
- Stwierdzenie na str. 32⁵: *zakłada się, że teoria Arutiuniana najlepiej reprezentuje faktyczny przebieg pełzania* było aktualne w chwili pisania cytowanej tu pracy [89] w roku 1979 - przecież w następnych rozdziałach dysertacji przedstawiono modele normowe i modele Bażanta, powstałe kilkadziesiąt lat później.

Wśród studiów literaturowych brakuje też publikacji relacjonujących współczesne badania pełzania betonów z dodatkami i domieszkami z omówieniem ich konkluzji, do których

Doktorant mógłby odnieść swoje wyniki, np. *Utilization and efficiency of ground granulated blast furnace slag on concrete properties – A review, Constr. and Build. Mater. 115 (2016)*, *Early age tensile creep of high performance concrete containing mineral admixtures: Experiments and modeling, Constr. Build. Mater. 197 (2019)*; czy też *Shrinkage and creep of sustainable self-compacting concrete with recycled concrete aggregates, fly ash, slag, and silica fume, J. Mater. Civ. Eng., 34 (2022)*.

Uwagi szczegółowe do części literaturowej są następujące:

Nie rozrózniono jawnie pełzania przy ściskaniu i przy rozciąganiu, te dwa przypadki w opisach przeplatano, a w podpisach rysunków nie identyfikowano, którego z nich dany rysunek dotyczy, np. rys. 4.17 dotyczy pełzania przy rozciąganiu, a rys. 4.23 – rozciągania przy ściskaniu. W przypadku rys. 4.23 jest to istotne, bowiem skurcz zwiększa pełzanie jedynie przy ściskaniu i to ściskaniu jednoosiowym – przy rozciąganiu efekt jest przeciwny.

Str. 159-7 – Napisano o metodzie współczynnika „ k ”, ale nie podano czym jest ten współczynnik i jakie przyjmuje wartości. Także we fragmencie programu badań, w którym ustalano skład badanych betonów napisano jedynie jakie wartości „ k ” są optymalne ze względu na trwałość. Jednak w dalszym ciągu czytelnik musi się domyślać, czym jest „ k ”.

Str. 20 – Tablica 4.1 została sporządzona na podstawie rysunku z monografii z roku 1979 [89], jednak nieprecyzyjnie.

- Na oryginalnym rysunku odkształcenia pełzania podzielono na część związaną z opóźnionym odkształceniem sprężystym ε_v , odkształceniem plastycznym początkowym ε_a i odkształceniem plastycznym pozostałym (podstawowym $\varepsilon_{f,p}$ i przy wysychaniu $\varepsilon_{f,w}$), a w Tablicy 4.1 ograniczono się tylko do odkształceń plastycznych podstawowych – dlaczego? Na rys. 1-2 cytowanej monografii $\varepsilon_{f,p} < \varepsilon_{f,w}$.

- Z oryginału wynika, że wszystkie odkształcenia sprężyste (doraźne ε_e i pełzania ε_v) są odwracalne, mało zależne od temperatury, niezależne od grubości elementu i zależne od stopnia hydratacji. Taka charakterystyka podana jest też w drugiej kolumnie tablicy 4.1, ale komórki odpowiadające odkształceniom sprężystym są albo zielone (pełzanie) albo białe (nie-pełzanie) - dlaczego?

- Z oryginału wynika, że odkształcenia plastyczne podstawowe $\varepsilon_{f,p}$ są niezależne od grubości elementu. Dlaczego więc w tablicy 4.1 zapisano, że są one od grubości zależne?

Str. 21 – Podstawowy wykres obrazujący przebieg odkształceń elementu obciążonego został przywołany za pracą zamieszczoną w czasopiśmie *Izolacje*. Dlaczego nie jest on przywołany za źródłami podstawowymi takimi jak np. prace Neville'a, Rüsha i Jungwirtha, Knauffa, lub komentarz do EC2 (patrz też ogólna uwaga na temat przywołań literatury w p. 4)? Ponadto wykres ten jest nieprecyzyjny:

- kąt między odcinkiem poziomym a krzywoliniowym jest ostry – a tymczasem skurcz i pełzanie rozpoczynają się „łagodnie” – najpierw bardziej „pionowo”, później następuje „wypłaszczenie” (wykres prawidłowy pokazano na rys. 4.23),

- opisy na osi pionowej są niezgodne z symboliką normową, a opis rzędnej $\varepsilon_{cc,tot,t}$ sugeruje, że dotyczy on pełzania (indeks cc), tymczasem miejsce, gdzie się ten opis na osi znajduje wskazuje, że jest to suma odkształcenia sprężystego, skurczu i pełzania,

- podpis rysunku mówi, że pokazano odkształcenia pod wpływem obciążenia, a tymczasem na rysunku pojawia się skurcz, który nie jest skutkiem obciążenia.

Str. 23₃ – O jakich betonach lekkich jest tu mowa? O betonach na kruszywach lekkich, czy betonach napowietrzanych? Czy w obydwu przypadkach byłaby to taka sama tendencja?

Str. 30³⁻⁷ – Czym jest τ ? Czy rzeczywiście, tak jak napisano, „chwila obserwacji” (trzeba skonfrontować z rys. 4.10).

- Str. 39 – W podpisie rysunku 4.20 napisano, że na wykresie porównano wyniki badań laboratoryjnych z obliczeniami według EC2-1-1 i MC2010, a na rysunku są tylko linie obrazujące wyniki eksperymentalne.
- Str. 39₃₋₂ – Napisano, że *im większa jest wartość wilgotności względnej środowiska betonu tym pełzanie jest niższe*, podobne tendencje występują na rys. 4.21 i 4.22, a tymczasem rysunek 4.14 wskazuje, że im wilgotność większa tym pełzanie większe. Co jest prawdą?
- Str. 44₁₃ – W rozdziale poświęconym skutkom pełzania napisano, że pełzanie zależy od rodzaju kruszywa, tymczasem w rozdziale opisującym czynniki wpływające na pełzanie w ogóle o tym nie wspomniano. Myślę, że warto byłoby odnieść się do wpływu kruszywa.
- Str. 45₈ – Jak rozumieć stwierdzenie, że *ściskane pionowe pręty zbrojeniowe osiągają granicę plastyczności już przy występowaniu obciążeń zmiennych*?
- Str. 45₇ – Istotą cytowanej tu pracy [43], wbrew temu co napisano, nie była redystrybucja sił pomiędzy betonem a zbrojeniem. Badany był wpływ sprężenia obwodowego na możliwość wyboczenia wysokich przekrytych zbiorników betonowych.
- Str. 48-50 – Opisując skurcz autogeniczny napisano, że jego wartość zależy od klasy wytrzymałości betonu. Takie są zalecenia do projektowania w zakresie przyjmowania obliczeniowych wartości odkształceń skurczowych. Jednak przy opisie zjawiska nie powinno się mówić o klasie, a co najwyżej o wytrzymałości betonu. Ale tak naprawdę jest to zależność od wskaźnika w/c , którego „pochodną” jest wytrzymałość betonu. Ponadto w opisie skurczu wysychania pominięto w ogóle wpływ wytrzymałości betonu (a dokładnie, podobnie jak wyżej, wpływ wskaźnika w/c).
- Str. 56³ - Czy stwierdzenie *by przeciwdziałać odkształceniom skurczowym zapewnia się swobodę odkształceń* nie ma w sobie sprzeczności?
- Str. 69⁵ – Czy rzeczywiście σ nie jest naprężeniem tylko, jak napisano, obciążeniem i to mimośrodowym? Jaki byłby cel wprowadzania obciążenia mimośrodowego do ustalania współczynnika pełzania? Zresztą w tablicy 5.4, gdzie znajduje się zestawienie parametrów, od których zależą różne modele, nie ma mimośrodu.
- Str. 96² - Jak rozumiana jest różnica między modułem sprężystości a modułem Younga? Napisano: *jest modułem sprężystości (lub Younga)*.

3.3 Ocena własnych badań i analiz Doktoranta

3.3.1 Osiągnięcia oraz mocne strony pracy

Istotą prac własnych Doktoranta było badanie współczynnika pełzania betonów z dodatkiem żużla wielkopieczowego i domieszką napowietrzającą oraz analiza ich wyników.

Badania zrealizowane zostały według procedury normy PN-EN 12390-17. Wielkość i liczba badanych próbek została dostosowana do możliwości urządzenia, którym dysponował Doktorant. Bardzo starannie uzasadniony został też wybór składników badanych betonów (typ cementu, rodzaj kruszywa, typ dodatku i domieszki).

Wstępny etap badań pozwolił na ustalenie składów mieszanek betonowych, a szczególności wariantowych ilości żużla wielkopieczowego i domieszki napowietrzającej. W etapie drugim zbadane zostały parametry wytrzymałościowe stwardniałych betonów (wytrzymałość na ściskanie i moduł sprężystości). Wreszcie wykonane zostały badania właściwe - pomiar odkształceń próbek betonowych pozostających pod stałym obciążeniem oraz nie poddanych obciążeniu. Badania podstawowe realizowane były przez 365 dni w pomieszczeniu o stałej wilgotności, a stałość wilgotności zapewniał, co warto podkreślić, system pomysłu i realizacji Doktoranta. Na zakończenie Doktorant przeanalizował uzyskane wyniki stwierdzając, że współczynnik pełzania zależy od faktu wprowadzenia do składu mieszanki betonowej dodatku i domieszki oraz od ich ilości. Stwierdzenie to udowadniał stosując analizę istotności zmiennych (analizę Pareto) dostępną w programie *Statistica*.

Zauważył też, że we wzorach normy EC2-1-1 jedynym parametrem reagującym na obecność i ilość domieszki i dodatku jest wytrzymałość na ściskanie.

Niewątpliwie mocną stroną pracy jest realizacja długotrwałych badań laboratoryjnych. Były to badania trudne i pracochłonne. Wymagające było zwłaszcza przygotowanie stanowiska badawczego. W pracy widać staranność w przygotowaniu badanych elementów i realizacji badań, jak i w opracowaniu wyników. Ogólnie mogę stwierdzić, że Doktorant opanował warsztat badań laboratoryjnych.

Za mocną stroną pracy uznaję też krytycyzm Doktoranta:

- w stosunku procedur obliczania współczynnika pełzania na bazie wyników badań; Widać to w analizie definicji odkształceń początkowych przyjętych w procedurach PN-EN 12390-17 i ITB (str. 128). Doktorant zauważył, że odkształcenia początkowe określone według tych dwóch procedur są różne. Rzeczywiście, w normie odkształcenia początkowe są ilorzem przyłożonych naprężeń i stycznego modułu sprężystości – jest to nawiązanie do metody EC2-1-1 obliczania współczynnika na potrzeby projektowania. W procedurze ITB przewidziano natomiast pomiar odkształceń sprężystych wprost i jest to z pewnością wartość dokładniejsza niż szacowana w normie. Taką też wartość słusznie zdecydował się przyjąć Doktorant.
- w stosunku do wyników przeprowadzonej analizy statystycznej, która, wbrew oczekiwaniom Doktoranta i wbrew wyraźnej tendencji wykresów, wykazała nieistotność parametru, jakim jest stopień napowietrzenia. Szkoda jednak, że Doktorant nie pokusił się o wyjaśnienie tego faktu.

Cenną obserwacją Doktoranta jest to, że współczynnik pełzania bardziej zależy od ilości domieszki i dodatku niż od wytrzymałości betonu (str. 145₄-146², 151). Jest to potwierdzeniem faktu, że wytrzymałość w metodzie normowej jest niejako „zastępcza” w stosunku do składu betonu, aby umożliwić oszacowanie parametrów reologicznych na etapie projektowania konstrukcji (patrz uwaga do str. 48-50 w p. 3.2 recenzji) i wskazuje, że metoda EC2-1-1 jest ułomna jeśli chodzi o stosowanie dodatków i domieszek.

3.3.2 Szczegółowe uwagi krytyczne i dyskusyjne

Poniżej zestawiono uwagi krytyczne i dyskusyjne:

- Jeśli korzystano z aktualnej normy to należało konsekwentnie stosować symbolikę - odkształcenie doraźne to ε_{c0} , a nie jak na str. 106²⁰ - $\varepsilon_{cc}(t_0)$, bowiem ε_{cc} to odkształcenia pełzania (pierwszy indeks c – *concrete*, drugi indeks c – *creep*), a ono w chwili t_0 równe jest 0.
- Podobnie, symbolem dla odkształceń skurczowych winno być $\varepsilon_{cs}(t,t_0)$ (drugi indeks s – *shrinkage*) a nie jak napisano na str. 106₁₀ - $\varepsilon_{cc}(t,t_0)$. W efekcie symbol użyty w wyrażeniu (6.1) sprawia, że współczynnik pełzania liczony jest w zależności od odkształceń skurczowych.
- Str. 106₁₁ - Nie podano jak obliczano odkształcenia pełzania nazwane tu $\varepsilon_{cc}(t)$ (symbol normowy $\varepsilon_{cc}(t,t_0)$).
- Str. 106₅₋₁ – Napisano, że wartość modułu stycznego równa jest 1,05 E_{cs} , czyli równa jest modułowi betonu 28-dniowego. Następnie napisano *przy tym założeniu ... cały wzór można sprowadzić do wzoru $\varphi_t = \frac{\varepsilon_p(t)}{\varepsilon_d}$* . Nie napisano, że tak jest tylko w badaniach Doktoranta, gdzie $t_0=28$ dni i nie jest to „przejście” o ważności ogólnej.
- Str. 107²⁻⁶ – Uzasadniono racjonalnie, dlaczego do wyznaczenia współczynnika pełzania użyto metody EC2-1-1 i to uzasadnienie akceptuję. Szkoda jednak, że Doktorant nie spróbował określić współczynnika według MC2010, bowiem ta metoda jest podstawą nowelizacji normy EC2. Doktorant mógł jednak nie wiedzieć o kierunkach nowelizacji.

- Prosiłabym, aby w czasie obrony Doktorant wskazał, czy przy uzyskanej w badaniach bazie wyników można określić współczynnik pełzania metodą MC2010 i jeśli tak, to aby oszacował orientacyjnie jakie byłyby różnice wartości w stosunku do metody EC2-1-1.
- Str. 123₆₋₄ – Napisano, że w punkcie 6.2.3 podano, jak obliczano wartości odkształceń pokazanych na rys. 8.1-8.9. Jednak nie ma tam wzoru pokazującego, jak obliczono odkształcenia pełzania na podstawie odkształceń całkowitych.
 - Na wykresach 8.1 – 8.9 przebieg w czasie, zarówno pełzania jak i skurczu, opisano logarytmiczną linią trendu. Tymczasem w normie EC2-1-1, która była przyjęta przez Doktoranta jako miarodajna, funkcja opisująca rozwój tych zjawisk w czasie nie jest logarytmiczna (patrz wzór 6.8). Dlaczego zastosowano inną funkcję?
 - Na str. 138⁴⁻⁸ napisano, że przebieg zależności „zawartość żużla – wytrzymałość” nie jest prostoliniowy, a tymczasem na wykresie 9.1 połączono punkty uzyskane z wyników liniami prostymi. Należało pozostawić je bez łączenia, bo przy tak małej liczbie punktów trudno dopasować kształt krzywej (ale z pewnością nie będzie to wykres dwuliniowy).
 - W tablicach 7.6, 8.1, 8.2 i 8.3 należało podać liczbę próbek i rozrzut wyników wytrzymałości. Ten brak skutkuje m.in. wątpliwością dotyczącą wykresu przedstawionego na rys. 9.2. Dwa wykresy wskazują na przebieg liniowy zależności wytrzymałości średniej od stopnia napowietrzenia, a wykres dla $z/w=0,75\%$ - nie. I taki też wniosek został postawiony na str. 139⁴. Przy małej liczbie próbek wystarczy jeden zaburzony wynik, aby wartość średnia była niemiarodajna. Proszę o adekwatną informację w czasie obrony.
 - Co oznacza symbol (L) i (Q) na rysunku 9.3?
 - W normie EC2-1-1 zależność modułu sprężystości od wytrzymałości na ściskanie opisana jest funkcją $E_{cm} = 22 \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3}$, natomiast przyjęty przez Doktoranta wzór (9.1) opisujący tę zależność ma postać wielomianu 2 stopnia. Dlaczego wybrano taką zależność?
 - Napisano na str. 143₆: *zakłada się, że wartość końcową dla czasu 1 roku można traktować jako współczynnik pełzania $\varphi(\infty, t_0)$* . Moim zdaniem jest to założenie nieuprawnione, należało analizować po prostu $\varphi(t=365, t_0=28)$, a współczynnik końcowy jest efektem ekstrapolacji.
 - Analizując wykresy 9.8 i 9.9 można odnieść wrażenie, że współczynnik uzyskany dla 0% żużla i 4,4% napowietrzenia odbiega od widocznego trendu (jest zbyt duży). Wynik ten został również zauważony przez Doktoranta, jako obciążający wyniki analizy statystycznej (str. 146₃₋₂). Jak rozumiem wynik ten jest średnią uzyskaną z dwóch wyników pomiarów. Jakie był rozrzut tych wyników? Czy jeden z wyników nie był obciążony błędem?
 - Czy linia trendu na rys. 9.12a dotyczy wyników normowych? Jeśli tak, to nie ma potrzeby jej wyznaczania i to w postaci funkcji liniowej. Pokazane wartości zostały przecież obliczone w oparciu o konkretne wzory normowe (jest to wzór 6.6 na str. 108 dysertacji, gdzie zależność nie jest liniowa).
 - Dlaczego wszystkie linie trendu na rys. 9.12b-f zostały przyjęte formie zależności liniowej? Układ punktów niektórych wykresów nie wskazuje na linowość.

3.6 Ocena podsumowania i wniosków pracy

W ostatnim dość krótkim rozdziale zamieszczone jest podsumowanie i zestawione są wnioski końcowe.

Tu najcenniejszy jest, wskazywany już wcześniej w recenzji, wniosek o tym, że wytrzymałość betonu nie może być podstawowym parametrem określania współczynnika pełzania. Równie cenne jest udowodnienie wpływu zawartości żużla wielkopieczowego na współczynnik pełzania oraz mniej wyraźny wpływ stopnia napowietrzenia mieszanki.

Moim zdaniem w podsumowaniu i wnioskach brakuje odniesienia wyników badań własnych do wyników uzyskanych przez innych badaczy.

Na zakończenie Doktorant sformułował ogólnie dalsze kierunki badań, które powinny obejmować badania pełzania betonów o bardziej zróżnicowanym składzie.

4. Ocena strony redakcyjnej pracy

Praca jest czytelna - napisana jest poprawnym językiem. Uwagi do języka i strony redakcyjnej zestawione są poniżej. Nie mają one wpływu na merytoryczną ocenę pracy. Są to następujące uwagi:

- W podpisie cytowanego rysunku 4.3 należało przywołać tylko źródło podstawowe – Neville, a pominąć pracę doktorską, w której ten wykres był również cytowany.
- Podobnie, w podpisach rysunków 4.6-4.13 nie powinno być przywołania publikacji o mniejszej wadze (artykułów przeglądowych, studiów literaturowych w monografiach doktorskich i habilitacyjnych itp.) ale w przypadku wiedzy podstawowej o pełzaniu powinno się przywołać monografię np. [69, 89], bo wspomniane publikacje nie tworzyły tej wiedzy, ale cytowały klasyczne modele.
- Często używano „moment obciążenia” np. str. 30¹¹, 66₂, 69¹ – lepiej używać „chwila obciążenia”, a jeszcze precyzyjniej „wiek betonu w chwili obciążenia”, bo „moment obciążenia” kojarzy się z „obciążeniem momentowym”.
- Nie znalazłam rysunku 4.16 w pracy [89], która jest tu przywołana.
- Co to są „rdzenie wiernicze” (str. 37₆)
- Czym są „żelbetowe zbiorniki cylindryczne obciążone pokrywami” (str. 45₆)?
- Nie można pisać, że *belki i płyty połączeń dachowych zapadają się* w sytuacji, gdy mówimy o zwiększaniu ugięć belek i płyt wskutek pełzania (str. 46¹). Ponadto - czy inne niż dachowe belki i płyty nie doznają tego zjawiska?
- Rys.4.28 obrazujący rozwój w czasie różnych typów skurczu pokazano i przywołano w rozdziale 4.3.3 poświęconym skurczowi autogenicznemu, a powinien być w podrozdziale wstępnym 4.3.1 zatytułowanym *Opis zjawiska*. Wtedy łatwiej byłoby zachować kolejność informacji i czytelność rozdziału. Obecnie pierwszy skurcz – plastyczny opisany jest w ostatnim podrozdziale 4.3.6, w skurcz wysychania objawiający się później – w pierwszym.
- Czy rzeczywiście fakt, że *zjawisko skurczu chemicznego ustaje wraz ze związaniem całego cementu* był rozpoznany w pracy [21], która jest tu przywołana (str. 51⁹)? Jest to praca magisterska poświęcona ubijanej ziemi.
- Co to jest „pozioma wrażliwość konstrukcji” (str. 71⁴)?
- Temperatura powinna być utrzymywana w *granicach 20°C±2%*, a nie w *okolicach 20°C±2%* (str. 80₁).
- Narysować należy *wykres odkształcenia*, a nie *odkształcenie*, jak napisano na str. 92⁶.
- Str. 95³ – Czym jest *elastyczny moduł sprężystości* - po pierwsze *elastic* powinno być jako przetłumaczone jako *sprężysty*, po drugie – czy moduł sprężystości może nie być sprężysty?
- Rysunki 8.1-8.9 dobrze byłoby sporządzić tak, aby na wszystkich były jednakowe maksymalne rzędne osi pionowych. To ułatwiłoby porównanie wykresów. Ponadto we wszystkich podpisach należało napisać, że są to wartości średnie pomierzonych odkształceń.
- Wniosek na str. 139⁴ *ma miejsce wyłącznie dla mieszanek o stosunku mniejszym lub równym 25%*. Nie można pisać, że „wyłącznie” bowiem nie badano mieszanek o stosunku np. 30%, ani też 15%.
- W podpisie rysunku 9.1. należało napisać w jakim wieku badana była wytrzymałość, bowiem w towarzyszącym tekście opisano również wytrzymałość po 650 dniach.

- Nie można mówić o „lustrzanym podobieństwie wykresów” (str. 144³⁻⁴) zawartych na dwóch rysunkach 9.1 i 9.8, bowiem na rysunku 9.8 dwa z wykresów przecinają się, a na rys. 9.1 – nie.
- Uchybienia gramatyczne i nieliczne literówki:
 - Str. 71₄₋₃ jest: *odpowiadające dowolnie wybranego okresu czasu wynoszącego winno być: odpowiadające dowolnie wybranemu okresowi czasu wynoszącemu.*
 - Str. 80¹² – jest „technologie” winno być „technologię”;
 - Wielokrotnie używano „ilość próbek” zamiast „liczba próbek”.

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 realizacji eksperymentów i analizy ich wyników. Dysertacja świadczy o opanowaniu przez Doktoranta warsztatu badań naukowych.

Ostatecznie stwierdzam, że przedłożona praca mgr inż. Damiana Łukasza Cichockiego pt. *WPLYW WYBRANYCH MODYFIKACJI BETONU NA WSPÓŁCZYNNIK PEŁZANIA* spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki”. Wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Lublin dn. 15.09.2023

