Prof. dr inż. Andrzej Ajdukiewicz
Politechnika Śląska

14 października 2009r.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA Gliwice

Recenzja
pracy doktorskiej mgr inż. Małgorzaty Pająk
pt. "Rozbudowa, kalibracja i weryfikacja sprężysto-plastycznego modelu materiałów geologicznych"
opracowana zgodnie z uchwałą Rady Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej z dnia 30 września 2009r.

1. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa przedstawiona do recenzji zawiera 118 stron gęstego tekstu wraz z rysunkami i obszernymi tablicami. Pracę podzielono na 9 rozdziałów, poprzedzonych wykazem oznaczeń, a na zakończenie podano wykaz cytowanej literatury i norm, obejmujący 154 pozycje.

Celem, jaki sobie postawiła doktorantka by stworzenie modelu materiałowego, który lepiej niż dotychczasowe opisuje zachowanie się betonu pod obciążeniem długotrwałym o dużej intensywności lub obciążeniem bardzo wolno zmiennym.

Rozdział 1. to krótkie wprowadzenie, uzasadniające zasadność tematu. Podobnie Rozdział 2. zawiera krótki opis cel i zakresu pracy, ze wskazaniem, że rozprawa nawiązuje do niedawnych innych prac wykonanych w macierzystej Katedrze doktorantki.

Ważny i wartościowy jest Rozdział 3., a zwłaszcza ta jego część która omawia stan wiedzy i dotychczasowe badania na temat wpływu szybkości przykładania obciążenia na odpowiedź betonu. Tutaj zestawiono – zebrane z wielu źródeł – wyniki i ich uogólnienia, sięgając poza rozważane obciążenia długotrwałe i wolno przyrastające, czyli ujmując także znacznie szerzej przebadane obciążenia dynamiczne. Sięgnięto tu zarówno do źródeł starszych (Abrams, Rüsch, Neville, McGregor, Naaman), jak i całkiem nowych (Bažant, Tai i zespoły chińskie), a także do różnych prób wyjaśnień fizycznych przyczyn zmienności zachowania się betonu w czasie i pod obciążeniami nakładanymi z różnymi prędkościami.

Rozdział 4. zawiera zwięzły opis modelu sprężysto-plastycznego, zaproponowanego przez Willama-Warnke w latach 1970-tych i skutecznie rozwiniętego jako program MAFEM przez Prof. Majewskiego. Następnie w Rozdziale 5. przedstawiono model lepkosprężysto-lepkosplstyczny, który został ostatnio zaprezentowany przez Dr hab. Barbarę Klemczak dla potrzeb opisu

zachowania się betonu dojrzewającego w konstrukcjach masywnych, a którego kalibracji dla celów opisu zachowania się betonu stwardniałego pod obciążeniem długotrwałym lub wolno narastającym podjęła się doktorantka.

W celu określenia właściwości lepko-plastycznych betonu i uzyskania niezbędnych parametrów do kalibracji modelu przeprowadzono badania opisane w Rozdziale 6. Do badań przyjęto trzy mieszanki zwykłego betony o znacząco zróżnicowanym stosunku wodno-cementowym i o wytrzymałości na ściskanie w przedziale 30 do 45 MPa. Istotą badań było stosowanie bardzo zróżnicowanych pięciu szybkości przyrostu naprężeń w próbkach – począwszy od 100x mniejszej od normowej szybkości statycznej, aż do 10x większej od statycznej. Równolegle do tych badań przeprowadzonych w Laboratorium na Politechnice Śląskiej wykonano badania pełzania przy wysokich poziomach naprężeń ściskających w Laboratorium Politechniki Łódzkiej, a przy wysokich poziomach naprężeń rozciągających w Laboratorium Politechniki Śląskiej.

W Rozdziale 7. przedstawiono zastosowanie wyników doświadczeń własnych i pozyskanych z literatury przy kalibracji modelu numerycznego.

Tak wykalibrowany model wprowadzono do programy MAFEM i dokonano weryfikacji, przedstawionej w Rozdziale. 8. Weryfikacji dokonano za pomocą własnych i obcych wyników w zakresie prób jednoosiowego ściskania i rozciągania oraz pełzania. Wyniki weryfikacji uznano za dobre, ale wskazano konieczność większej liczby badań.

Rozdział 9. zawiera krótkie podsumowanie, które stanowi syntezę podsumowań cząstkowych podanych w każdym rozdziale. Wskazano tu także kierunki celowych dalszych badań, w tym zachowania się w rozważanych sytuacjach betonu zbrojonego oraz betonu poddanego trójosiowemu działaniu obciążenia.

Obszerny wykaz literatury cytowanej w pracy i zestawionej na końcu zawiera pozycje z różnych okresów i z wielu stron świata, ze znaczną przewagą publikacji anglojęzycznych.

2. Ogólna ocena wartości pracy

Temat pracy jest ciekawy, niełatwy i ma znaczenie zarówno poznawcze, jak i praktyczne. Przede wszystkim stanowi jednak pewne rozwinięcie w dobrym kierunku prac prowadzonych od szeregu lat w zespole Prof. Majewskiego nad zaawansowanym modelem materiałowym betonu.

Problem zachowania się betonu pod obciążeniem długotrwałym, podobnie jak problem dużego wpływu szybkości obciążenia na wytrzymałość i odkształcalność betonu jest badany niemal od tak dawna, jak problem pełzania, choć znacznie mniej intensywnie. Kwestie te nie doczekały się jednoznacznego określenia przyczyn fizycznych, a jedynie pewne objawowe uogólnienia i przypuszczenia wskazują ostrożnie na możliwe przyczyny tych zjawisk. Różnorodność czynników mających wpływ na zachowanie betonu w tych

sytuacjach bardzo komplikuje oceny ilościowe, a dynamiczny rozwój technologii betonu i gwałtowne powiększanie się rodziny materiałowej określanej mianem „beton" – dodatkowo komplikuje zarówno badania, jak i interpretację ich wyników.

Autorka zestawiła imponujący zbiór wyników i zaprezentowała je w syntetycznej formie, podkreślając jednak, że różnorodność próbek i warunków badań sprawiła iż materiał ten nie jest całkowicie porównywalny, a zatem zbiór tych danych jest nie w pełni jednorodny. W tej sytuacji podsumowanie przeglądu stanu wiedzy jest wartościową syntezą, ale jednocześnie wskazuje, że pomimo dużej liczby badań i analiz problem jest na tyle złożony, że wnioski mogą być bardziej natury jakościowej, niż ilościowej.

Badania własne, które były istotne dla osiągnięcia celu pracy, a przeprowadzono je w zakresie:
(1) pomiarów zmian zależności σ - ε przy różnej szybkości przyrostu pierwszego obciążenia betonu,
(2) pomiarów pełzania przy wysokich poziomach naprężeń ściskających,
(3) pomiarów pełzania przy wysokich poziomach naprężeń rozciągających,
były według mojego rozeznania unikalne w skali kraju, a w znacznym stopniu chyba także w świecie. Niezależnie więc od celu, jakiemu bezpośrednio służyły, badania te sprawiły, że więcej wiemy o właściwościach betonu przy wysokich poziomach obciążeń, z różną szybkością przykładanych.

Zebranie wielu wyników z rozważanego obszaru, poznanie złożonego modelu lepko-sprężysto lepko-plastycznego, przedstawionego niedawno w pracy habilitacyjnej Barbary Klemczak i własne badania ukierunkowane na określenie parametrów do jego kalibracji stanowią zasadnicze wartości pracy – pomimo pewnych ograniczeń wskazanych dalej.

Autorka wykazała zdolność jasnej oceny trudnych i różnorodnych informacji z wielu badań, nie starając się – pomimo obfitości materiału – dokonywać nadmiernych uogólnień. Opanowanie warsztatu kalibrowania modelu z wykorzystaniem wyników obcych i starannych własnych badań laboratoryjnych pozwoliło na wiarygodną weryfikację zmodyfikowanego programu. Umożliwiło to postawienie ostrożnego wniosku, że uzyskano model do przewidywania na drodze numerycznej zachowania się betonu pod działaniem obciążeń długotrwałych oraz obciążeń o różnej szybkości przykładania obciążenia.

3. Uwagi krytyczne

Uwaga wstępna dotyczy tytułu i podanego na wstępie celu. W tytule użyto terminu „materiały geologiczne", a w sformułowaniu celu wskazano – cytuję: „stworzenie modelu .....do realistycznej analizy konstrukcji budowlanych". Jedno i drugie jest zbyt daleko idącym uogólnieniem. O ile beton – w sposób wzbudzający kontrowersje – zaliczany jest do materiałów

geologicznych, to jednak nie każdy materiał geologiczny jest betonem. Wszystkie rozważania i badania omawiane w pracy dotyczą rozszerzenia modelu materiałowego betonu, a zatem nie można tego jeszcze ekstrapolować ani na inne materiały geologiczne, np. grunt, kamień lub ceramikę, ani tym bardziej na narzędzie do analizy konstrukcji budowlanych. Z oczywistych wszak względów nie ma to odniesienia do konstrukcji metalowych czy drewnianych, ale bezpośrednio także do konstrukcji żelbetowych, gdzie znaczący wpływ zbrojenia stanowi istotną komplikację.

Uznaję więc, że to nadmierne rozpędzenie na wstępie pracy jest wynikiem twórczego entuzjazmu doktorantki, bowiem w istocie rozprawa dotyczy modyfikacji modelu materiałowego betonu, w warunkach działania dużych obciążeń długotrwałych lub przykładanych z różną szybkością. I moim zdaniem to całkiem wystarcza, a szkoda jedynie, że nie dokonano korekty tytułu pracy.

Cel pracy w odniesieniu do modelu został w tytule z kolei zawężony, bo w rozprawie rozważania zmierzają do kalibracji modelu betonu jako materiału lepko-sprężysto lepko-plastycznego, a nie jedynie sprężysto-plastycznego, jak to podano w tytule.

Poza wspomnianymi nieścisłościami tytułu i pierwszego sformułowania celu, wskazuję dalej jedynie uwagi krytyczne dotyczące pewnych ograniczeń, których można było stosunkowo łatwo uniknąć.

Dotyczy to choćby wyrywkowych prób wykraczających poza stan jednoosiowy w badaniach. Jak słusznie zaznaczono w pracy, beton w konstrukcji poddany jest niemal zawsze obciążeniu odbiegającemu od jednoosiowego. Dotyczy to zwłaszcza obszarów silnie wytężonych, a one decydują o zachowaniu całych elementów. Dlatego weryfikacja dla stanu jednoosiowego jest tylko pierwszym krokiem do potwierdzenia przydatności modelu w szerszym zakresie. Wynik weryfikacji jest pozytywny, ale jej zakres jest ograniczony i trudno wyrokować jak to może być dalej. Szkoda, że podążając śladami swej przewodniczki, Dr hab. Barbary Klemczak nie pokusiła się autorka o badania próbek choćby dla jednej wybranej mieszanki betonu w aparacie trójosiowego ściskania.

Materiał doświadczalny dotyczy betonów zwykłych o różnych wprawdzie mieszankach, ale o zbliżonych średnich wytrzymałościach. Obecnie, zwłaszcza dla konstrukcji poddanych dużym obciążeniom długotrwałym, takich jak np. słupy wysokich budynków czy elementy silnie sprężone, stosuje się betony o znacznie wyższych wytrzymałościach. Szkoda, że przynajmniej jednej mieszanki BWW nie wzięto po uwagę. Inna sprawa, że przy takich betonach brakuje w naszym kraju sprzętu do badań standardowych, co najbardziej odczuwa się przy badaniach pełzania przy ściskaniu. Można jednak – decydując się na pewne zakłócenia wynikające z efektu skali – przejść na próbki o mniejszych wymiarach.

Niezbyt fortunne są zbyt lakoniczne fragmenty, wtrącane w pracy bez szerszego wyjaśnienia lub wytłumaczenia, albo nawet sprzecznie. Przytoczę dwa takie fragmenty, które były dla mnie szczególnie nieprzekonywujące.

Pierwszy przykład - w opisie przeprowadzonej kalibracji podano bez uzasadnienia złożoną postać funkcji modyfikującej wytrzymałość betonu – wzór (85). Nie podano na czym się oparto przy doborze tej funkcji lub jakiej użyto procedury do jej wyprowadzenia, a z funkcji tej wynikają dalsze kalibrowane współczynniki.

W innym miejscu (str. 82) przy próbie wyjaśnienia braku niszczenia się próbek poddanych długotrwałemu rozciąganiu, skwitowano to, że „zniszczenie nie występowało ze względu na pojawienie się efektu Picketta". To jest niezbyt poprawne zdanie. Najgorsze, że pozostaje w sprzeczności z wcześniej (na str.13) przywołanym efektem Picketta, który zapisano jeszcze krócej przy niezgodności pomiarów cząstkowych i łącznych pełzania – cytuję - „jest to spowodowane występowaniem efektu Picketta, czyli pełzania przy wysychaniu". Najgorsze, że nie można stwierdzić gdzie w oryginale jest opisany ten magiczny efekt Picketta, którym tyle można wytłumaczyć. Zamieszczone powołanie dotyczy pozycji niemieckiej [46] z 1995 roku, która chyba nic z badaniami Picketta nie ma wspólnego, a przywołany rysunek 4 pochodzi z monografii Neville'a, gdzie nie ma powołania na Picketta. Wymaga to rozwikłania.

Inną wątpliwość budzą wykresy wynikowe symulacji komputerowej na rysunkach 79 do 83. Występują tu dziwne fragmenty niegładkich krzywych, które nie zostały skomentowane. To rzadki przypadek, gdy krzywe z badań są gładkie, a z obliczeń numerycznych nie. Czy przyczyną były niedoskonałości programu, czy też sumowały się jakieś lokalne nieciągłości skutkujące widocznymi zaburzeniami przebiegu zależności naprężenie-odkształcenie.

Podaję te uwagi krytyczne przede wszystkim jako formalne, ale nie wiem czy pozbawione uzasadnienia wywody nie kryją usterek merytorycznych. Mam nadzieję, że autorka obroni swoje stwierdzenia wyjaśniając ich podstawy.

3. Uwagi redakcyjne

Praca jest napisana zwięźle, bardzo czytelnie podzielona na rozdziały i punkty, a zatem jest bardzo przyjazna dla czytelnika, jeśli pominąć wspomniane zbyt lakoniczne fragmenty.

Wśród usterek redakcyjnych wskazuję kilka następujących:

- Na rysunkach 71 i 72 pokazano zbiory punktów odpowiadające pojedynczym pomiarom zależności czasu do zniszczenia od względnego naprężenia lub odkształcenia – dwukrotnie w tekście nazwano zbiory punktów wykresami. Mam wątpliwości czy dokonano oszacowania krzywych na podstawie zbioru tych punktów, a jedynie nie naniesiono ich na rysunkach? Dodatkowo podpis pod rys. 72 jest niewłaściwy;

- Wyjściowy model, stanowiący podstawę modyfikacji opracowanej przez Prof. Majewskiego i następców, to model Willama-Warnke, a nie Williama-Warnke, jak to kilkakrotnie zapisano (str.53); model ten okazał się tak produktywny dla całej grupy biorącej go za podstawę swoich dysertacji, że wypada tych autorów uszanować i poprawnie zapisywać;
- Cytując znany i ważny w rozważaniach wykres z pracy Rüscha [98] opublikowanej po angielsku w 1960r. w *Journal of ACI*, krzywe graniczne nazwano „kopertą" zamiast „obwiednią" – w oryginale angielskim jest „envelope", co rzeczywiście znaczy także „koperta", ale w polskim słownictwie mówimy w przypadku konturu ograniczającego jakiś obszar wykresów o „obwiedni" (str. 15),
- o ile starannie zacytowano pozycje literatury, o tyle zbytnio ograniczono informacje o cytowanych normach – brakuje tu niektórych dat, np. przy normie DIN 1048, a zwłaszcza przy Eurokodzie 2, gdzie jak widomo dokonywano wielokrotnie znaczących zmian; w przypadku paru źródeł sięgnięto do starszych wydań pozycji, choć dostępne są nowsze, lub są tłumaczenia polskie.

4. Podsumowanie recenzji

Podjęto trudny temat i merytoryczne wartości zawarte w rozprawie są niewątpliwe, co scharakteryzowano w ogólnej ocenie rozprawy. Podniesione zastrzeżenia mają albo charakter formalny, albo dotyczą celowości rozszerzenia badań, aby można było wnioskować w sposób bardziej ogólny, albo wreszcie wynikają ze zbyt skróconej w kilku fragmentach formy przedstawienia.

Również usterki redakcyjne są nieliczne, a raczej wymaga podkreślenia przeważająca jasność wywodów, zdolność syntezy i dbałość o dobry poziom edytorski pracy, tak w zakresie tekstu, jak ilustracji.

Wyrażam przekonanie, że praca doktorska mgr inż. Małgorzaty Pająk zatytułowana "Rozbudowa, kalibracja i weryfikacja sprężysto-plastycznego modelu materiałów geologicznych", stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i bez wątpienia wskazuje na opanowanie przez doktorantkę warsztatu naukowego, a zatem spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w Art.13, pkt. 1, Ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. Ustaw Nr 65, poz. 595).

Wnoszę o dopuszczenie do publicznej obrony.