

Recenzja
pracy doktorskiej mgr inż. Mateusza Surmy
pt. „Nośność na ścinanie strunobetonowych płyt kanałowych z
uwzględnieniem nadbetonu, opartych na podporach podatnych”

opracowana zgodnie z uchwałą Rady Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki
Krakowskiej z dnia 25 września 2017r.

1. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa przedstawiona do recenzji zawiera 173 strony tekstu, w tym 87 rysunków, 45 fotografii i 50 tablic oraz trzy obszerne załączniki A, B i C, zawierające kolejno przykład obliczeń na podstawie zaproponowanego modelu, wyniki pomiarów oraz rysunki stanowisk badawczych. Pracę podzielono na 8 rozdziałów, poprzedzonych spisem oznaczeń, a zakończonych wykazem 176 pozycji cytowanej literatury i norm oraz spisem rysunków, fotografii i tablic.

Temat rozprawy wynika z aktualnych potrzeb praktyki budowlanej, a ściślej prefabrykowanych konstrukcji betonowych stropów płytowych, w których powszechnie dąży się do zmniejszenia wysokości konstrukcyjnej dźwigarów podporowych. Jest to zatem w pełni aktualna tematyka we współczesnym budownictwie zarówno w odniesieniu do obiektów budownictwa mieszkaniowego, jak i przemysłowego.

We wprowadzającym rozdziale 1. omówił Autor genezę podjętego tematu na tle podstawowych publikacji dotyczących stropów z płyt kanałowych.

Rozdział 2. zawiera syntetyczne wskazanie celu, zakresu i tezy pracy. Celem, jaki sobie postawił Doktorant była analiza wpływu podatności dźwigarów podpierających strop z płyt kanałowych na redukcję nośności płyt na ścinanie, z uwzględnieniem współpracującego betonu uzupełniającego, potocznie zwanego nadbetonem. Podano tu zakres rozprawy, obejmujący przegląd literatury, omówienie opublikowanych modeli obliczeniowych, prezentację własnego modelu, badania doświadczalne i wykonane analizy numeryczne. Zasygnalizowano fakt istotnych luk w przepisach dotyczących płyt kanałowych – w istocie są to nie tylko braki, ale także niezgodności przepisów normowych. Wyartykułowano trzy tezy pracy – (1) potwierdzenie, że im większa podatność podpory, tym większe obniżenie nośności na ścinanie, (2) korzystny wpływ nadbetonu na nośność na ścinanie, (3) wskazanie granicy podatności podpór, powyżej której występuje znaczący spadek nośności na ścinanie.

Przegląd literatury przedstawiono w obszernym rozdziale 3. Najpierw omówiono ogólnie stropy z zastosowaniem strunobetonowych płyt kanałowych, zaprezentowano problem ścinania płyt kanałowych na podporach sztywnych, ze wskazaniem wielu badań w świecie i w kraju, omówiono mechanizmy zniszczenia płyt kanałowych na podporach sztywnych i historię podejść teoretycznych do tego problemu. Dalej przedstawiono szczegółowo problematykę stanu granicznego ścinania płyt kanałowych opartych na podporach podatnych. Znalazły się tu opisy rozwiązań konstrukcji stropów z podatnymi podporami prefabrykowanych płyt kanałowych oraz wskazania wynikające z analiz i badań zespołów autorskich w Finlandii, Szwecji i Niemczech. Szczególną uwagę zwrócił Autor na najszerzej rozpowszechnioną koncepcję stropu typu Slim Floor z jej wariantami i omówił modele obliczeniowe zaproponowane przez różne zespoły autorskie.

Materiał zebrany i skomentowany w rozdziale 3. stanowił w rozdziale 4. podstawę do analiz porównawczych modeli obliczeniowych opracowanych przez różnych autorów w odniesieniu do wpływu podatności podpór i zastosowania nadbetonu – na nośność stropowych płyt kanałowych na ścinanie. Na podstawie tych analiz przedstawił Doktorant wnioski na temat adekwatności tych modeli, a także zwrócił uwagę na podnoszone niedoskonałości i różnice zaleceń normowych.

Szerokie studium dotychczasowych modeli obliczeniowych i wskazań wielu autorów było podstawą do opracowania – przedstawionego w rozdziale 5 – autorskiego modelu obliczania nośności na ścinanie strunobetonowych płyt kanałowych opartych na podporach podatnych. Model ten oparł Doktorant na modelu pasmowym opracowanym przez Prof. Cholewickiego dla konstrukcji zespolonych, adaptując ją wspólnie z tym Autorem do potrzeb modelu płyt kanałowych. Wykorzystał także model opracowany przez badaczy fińskich. W modelu autorskim uwzględniono wpływ podatności żeberek w kierunku poprzecznym, co nie miało miejsca w innych opisanych modelach. Przedstawiono założenia i algorytm autorskiego modelu obliczeniowego. Analizy przeprowadzone za pomocą modelu autorskiego pozwoliły nie tylko określić nośność płyt na ścinanie, pojedynczych i zabudowanych w stropie, ale także na ustalenie wpływu warstwy nadbetonu zbrojonego i zastosowanie elastycznych podkładek z tworzywa na styku płyt z dźwigarem podporowym.

W rozdziale 6. przedstawiono własne badania doświadczalne, z podziałem na badania zasadnicze nośności płyt kanałowych na ścinanie – bez nadbetonu i z nadbetonem – oraz badania dodatkowe, dotyczące współpracy nadbetonu i właściwości materiałów w płytach. Program badań zasadniczych obejmował łącznie 15 płyt i był podzielony na 3 etapy – badania referencyjne 3 płyt na podporach niepodatnych, badania 6 płyt opartych w środkowej części podatnego dźwigara podporowego, w tym 3 płyt z nadbetonem, oraz badania 6 płyt w schemacie odpowiadającym skrajnej płycie w stropie na podporze podatnej, w tym 3 płyt z nadbetonem. Ponadto czynnikiem zmiennym w badaniach

zasadniczych był typ płyty – stosowano płyty HC200, HC320 i HC500, różniące się wysokością przekroju i kształtem otworów.

Elementy do badań uzyskano z bieżącej produkcji jednej z dużych wytwórni prefabrykatów. Niestety niektóre z tych elementów wykazywały wady technologiczne i odchyłki geometryczne.

W dążeniu do ograniczenia problemów technicznych przyjęto w badaniach płyt HC200 i HC320 długość elementów 4,10 m, a w badaniach płyt HC500 długość 5,50 m. Dla celów badań na ścinanie były to rozmiary wystarczające. W przypadku płyt badanych z nadbetonem, w dążeniu do odwzorowania rzeczywistej sytuacji płyt w stropie, wykonano poprzeczne wieńce podporowe i wieńce podłużne, jako monolityczne zbrojone uzupełnienia.

Był to więc szeroki program pod względem czynników zmiennych i nie przewidywano powtarzalności żadnej próby badawczej. Podano szczegółowy opis stanowisk badawczych oraz schematów obciążeń i pomiarów, a także opisano typy zniszczenia wszystkich elementów. Analiza wyników badań zasadniczych była podstawą sformułowania wniosków dotyczących wpływu podparcia płyt na ich nośność na ścinanie oraz wpływu warstwy nadbetonu na nośność na ścinanie.

Opisane badania dodatkowe były badaniami towarzyszącymi w zakresie właściwości styku zespolenia prefabrykatów z warstwą nadbetonu oraz właściwości materiałów – betonu w prefabrykatach i w nadbetonie oraz stali sprężającej w badanych elementach.

W rozdziale 7. przedstawił Autor zaawansowane analizy numeryczne w dwóch częściach. Pierwsza część dotyczyła modeli pojedynczych płyt kanałowych, w analogii do badanych doświadczalnie elementów. Poddano analizie 12 modeli płyt. Druga część dotyczyła modelu pola stropowego złożonego z płyt HC500, wykonanego zgodnie z systemem konstrukcyjnym Slim Floor, przy różnej podatności dźwigarów podporowych. Jej głównym celem było określenie dla celów praktyki – granicznej podatności, od której należy uwzględniać ten wpływ w ocenie nośności na ścinanie. Treść tego rozdziału została syntetycznie, jednak bardzo precyzyjnie zaprezentowana, z omówieniem przyjętych modeli materiałowych, warunków brzegowych i założeń w zastosowanej metodzie elementów skończonych. Wyniki obydwu części analizy numerycznej zakończono szczegółowymi wnioskami. Całość analiz przeprowadzono w zakresie zagadnień statycznych, krótkotrwałych, z wykorzystaniem komercyjnego programu Ansys Mechanical, pozwalającego na uwzględnienie nieliniowości geometrycznych i materiałowych.

Rozdział 8. zawiera wnioski końcowe i podzielono je na wnioski główne, odpowiadające wyszczególnionym na wstępie tezom pracy, oraz wnioski dodatkowe, zawierające uzupełnienia i wyjaśnienia dotyczące obserwacji i wyników.

Istotną część rozprawy stanowią załączniki. Załącznik A obejmuje przykład liczbowy płyty kanałowej będącej częścią pola stropu, złożonego z 10

plyt opartych na dźwigarze stalowym o określonej podatności. Obliczenia te zostały przeprowadzone z zastosowaniem zaproponowanej przez Autora procedury. Wzięto pod uwagę warianty rzeczywistych sytuacji, a więc przypadki bez nadbetonu, z nadbetonem i z częściowym wypełnieniem kanałów. Wyniki obliczeń według modelu autorskiego porównano z wynikami uzyskanymi z modelu zalecanego przez pre-normę *fib*-Model Code.

Załącznik B zawiera szczegółowe wyniki badań, w tym głównie wykresy odkształceń i ugięć w całych badanych elementach lub ich fragmentach.

W Załączniku C przedstawiono szczegółowe rysunki badanych elementów, stanowisk badawczych, systemów obciążeń i lokalizacji punktów pomiarowych.

2. Ogólna ocena pracy

Jak podkreśliłem na wstępie tematyka rozprawy jest aktualna i ważna. Główne przesłanki takiego stwierdzenia to po pierwsze duża popularność oraz techniczna i ekonomiczna efektywność stropów z zastosowaniem strunobetonowych płyt kanałowych, a po drugie dążenie do redukcji wysokości dźwigarów podpierających te płyty w stropach, co jest pożądane z uwagi na zmniejszenie wysokości konstrukcyjnej kondygnacji oraz dążenie do możliwie płaskiej płaszczyzny sufitowej. Te przesłanki sprawiły, że tematyka wpływu podatności podpór na nośność i zachowanie się płyt w stropach jest rozważana w ośrodkach naukowo-badawczych od prawie 30 lat. Także w naszym kraju, m.in. z inspiracji producentów płyt kanałowych i projektantów obiektów, prowadzone są w tym zakresie badania, ostatnio najszersze w ośrodku krakowskim i łódzkim.

Recenzowana rozprawa zawiera kompleksowe studia, analizy i badania związane z problemem wpływu podatności podpór płyt kanałowych na ich nośność na ścinanie, najszersze jakie dotąd przedstawiono. Złożyły się na to trzy obszary, logicznie podjęte i zaprezentowane w pracy:

1^o – gruntowne przeanalizowanie dotychczasowych opracowań badawczych i teoretycznych, opublikowanych w kraju i w świecie,

2^o – opracowanie własnego modelu obliczeniowego, w którym po raz pierwszy uwzględniono wpływ podatności żeberek w kierunku poprzecznym, co nie miało miejsca w innych opisanych modelach oraz przeprowadzenie zaawansowanych analiz numerycznych i przykładowych obliczeń,

3^o – wykonanie szerokich badań doświadczalnych pozwalających na weryfikację zaproponowanego modelu.

Taka konfiguracja tematyki pozwoliła w rezultacie na określenie w wybranym zakresie wpływu podatności podpór na nośność płyt kanałowych w stropach, a także na określenie wpływu nadbetonu na płytach. Nie rozpatrywano w zasadzie trzeciego czynnika, mającego zastosowanie w praktyce, czyli częściowego wypełnienia wybranych kanałów na pewnej długości przy

podporach. Kwestia ta została jedynie poruszona w przykładzie projektowania zawartym w załączniku A.

Choć pewne wątpliwości budzi duża liczba czynników zmiennych przyjęta w badaniach w stosunku do liczby badanych elementów, to jednak trzeba podkreślić bardzo dużą staranność w realizacji badań, opracowaniu ich wyników i wyartykułowaniu wniosków szczegółowych. Taka staranność podnosi wiarygodność nawet pojedynczych wyników badań.

Obok badań doświadczalnych, ilościowy wpływ podatności podpór i zastosowania nadbetonu na nośność płyt na ścinanie przeanalizowano stosując zaawansowane procedury numeryczne i potwierdzono przykładami obliczeń, a co najważniejsze – wskazano dla celów praktycznych racjonalną, przykładową granicę podatności podpór, powyżej której uzasadnione jest w projektowaniu przeprowadzenie obliczeń sprawdzających.

Wzięto pod uwagę trzy typy płyt kanałowych, o przekrojach stosowanych w kilku zakładach prefabrykacji w kraju, o wysokościach 200, 320 i 500 mm. To był właściwy wybór, uwzględniający popularność zastosowań takich właśnie płyt, choć w praktyce płyty HC500 są rzadziej stosowane niż płyty o mniejszej wysokości przekroju. Wykazano, że w przybliżeniu graniczna wartość doraźnego przyrostu ugięcia dźwigarów podporowych w stropie do ich rozpiętości wynosi rzędu $1/1350$, dla stropu z płytami HC500. Poniżej tej wartości przyrosty naprężeń ścinających w kierunku poprzecznym mieszczą się w zakresie do 10% wytrzymałości betonu na rozciąganie dla typowej klasy wytrzymałości betonu na ściskanie C50/60 stosowanej obecnie w płytach. Oczywiście, w płytach o innych parametrach przekroju, wartość ta może być inna, ale wskazano drogę jej ustalania.

Wyniki badań i analiz Doktoranta są na tyle dobrze udokumentowane, że dały mu możliwość oceny zaleceń dotychczasowych, w tym jedynych kompletnych w Europie przepisów niemieckich, podających graniczną wartość podatności $1/2000$. Wskazano, że jest to ograniczenie zbyt zachowawcze.

Trzeba w związku z tym podkreślić, że obok wartości poznawczych, a także potwierdzenia lub uściślenia szeregu wniosków wcześniejszych prac na temat stropów ze sprężonymi płytami kanałowymi, największym walorem pracy jest dostarczenie wytycznych projektowych i wskazań procedury obliczeniowej dla takich stropów na podporach podatnych zarówno bez nadbetonu, jak i z nadbetonem.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

(1) W przyjętym programie pracy ważna jest w równym stopniu część doświadczalna, jak i część analityczna bazująca na opracowanym modelu numerycznym. W znaczącym stopniu wyniki badań stanowiły weryfikację autorskiego modelu, a potwierdzona poprawność modelu pozwoliła na ekstrapolację rozważań na obszary, które z powodów technicznych nie mogły

być objęte badaniami. W tej sytuacji budzi pewne zastrzeżenia zbyt duża liczba czynników ujęta w rozbudowanym programie badań. Doprowadziło to do pojedynczych badań wybranego przypadku, co pozwala na ocenę jakościową, ale wymaga ostrożności w ocenie ilościowej. Dotyczy to zwłaszcza fazy badania do zniszczenia, gdy wiadomo, że nie ma dwóch identycznych postaci zniszczenia i wyników pomiarów, nawet w pozornie jednakowych elementach.

(2) Nie wyjaśniono w opisie części badawczej pracy dlaczego prowadzono badania na elementach, które wykazywały – cytuję „*wady technologiczne, znaczące odchyłki wymiarowe*” (patrz str. 107). Było to powodem pominięcia wyników badania 3 płyt HC200, czyli praktycznie płyty tego typu wypadły z programu badawczego. Czy nie przeprowadzono wstępnej kontroli elementów dostarczonych przez wytwórcę? Ponieważ dotyczyło to aż 20% elementów dostarczonych do badań, to można mieć obawy, czy był to świadomy, odpowiedzialny wytwórca lub czy nie dostarczył odpadowych elementów?

(3) Jednym z najważniejszych wyników pracy jest ustalenie wartości podatności dźwigarów podporowych, powyżej której należy prowadzić obliczenia sprawdzające nośności na ścinanie uwzględniające tę podatność. Z tekstu pracy można się zorientować, że wartość podatności uznana za praktyczną granicę, czyli stosunek ugięcia doraźnego do rozpiętości równy $1/1350$, którą określono na drodze obliczeniowej dla płyty HC500 (patrz str. 155, 161), jest dostatecznie uzasadniona tylko dla płyt o największej wysokości, w których znacznie większa jest poprzeczna podatność żeberek. Jeśli tak – to wniosek nie może być podawany ogólnie i powinien być opatrzony odpowiednim ograniczeniem w końcowym zdaniu rozdziału 7. oraz w końcowym wniosku A.4 w rozdziale 8, a w tezie wstępnej wartość ta tym bardziej nie powinna się znaleźć.

(4) Nie jest jasne, czy wskazanie praktyczne zawarte we wnioskach dodatkowych (str. 162), dotyczące wpływu kształtu kanałów na nośność na ścinanie, w płytach o mniejszej wysokości opartych na podporach podatnych, jest wynikiem badań Autora, czy stanowi ekstrapolację wyników, opartą na innych źródłach. Ma to bowiem znaczenie w projektowaniu przy wyborze typów płyt wytwarzanych przez konkretnych producentów.

(5) Uwagi formalne: W obszernej pracy widać starania Autora dotyczące jasności wywodów i wysokiej jakości bogatego materiału ilustracyjnego. Nie obyło się jednak bez pewnych usterek tekstu. Na początek warto zwrócić uwagę, że w pracy naukowej Autor nie jest upoważniony do zamieszczania elementów autorecenzji, mimo że jest zadowolony z przedstawianych rezultatów. Nie powinny się więc znaleźć sformułowania w rodzaju „*Analiza ...modelu autorskiego potwierdza, że jest on ciekawą koncepcją obliczeniową, stanowiącą istotny wkład w rozwój zagadnienia.*” Choć w tym przypadku można się z tym zgodzić, to jednak taką ocenę należy pozostawić czytelnikowi lub recenzentowi. Niewłaściwe jest także określenie (str.21) „*norma dedykowana płytom*

kanałowym” – dedykować coś można jedynie jakiejś osobie lub osobom; tu powinno być po prostu. „*norma dotycząca płyt kanałowych*”.

Także w tezie podawanej na początku nie powinien się znaleźć wynik szczegółowy analiz – dotyczy to granicznej wartości podatności podpór, powyżej której wymagane jest sprawdzenie obliczeniowe – wspomniano to już wcześniej.

Pojawia się w tekście trochę usterek stylistycznych lub literówek, a niektóre przekłamania, nie wykryte przez sprawdzenie komputerowe, zmieniają czasem sens – podam dwa przykłady:

na str. 19 znalazła się antyreklama stropów z płyt kanałowych, które jakoby prowadzą do „*zmniejszenia siatki słupów*”;

na str.132 znalazło się dwukrotnie określenie „*przeważenie przekroju*” gdy chodzi o „*przewężenie przekroju*” – to są pułapki polegania na automatycznym sprawdzaniu pisowni.

Choć w pracy widoczna jest staranność Autora w przedstawieniu wyników – tablic i wykresów, to jednak umknęły przy redakcji pewne usterki. Np. w Tablicy 50, zawierającej ważne wyniki analizy numerycznej, dotyczące przyrostu naprężeń stycznych w skrajnym żeberku płyty w zależności od ugięcia podpory podatnej, zakradł się błąd, wymagający od czytelnika własnego rozważenia – zamieszczono w ciągu podatności wartość $1/2500$, podczas gdy zapewne miało tu być $1/1250$. Podobnie błędny jest odsyłacz do Tablicy 40 we wniosku końcowym A1 – zupełnie czego innego dotyczy ta tablica. Zwracam na to uwagę, bo szczególnego sprawdzenia wymagają te ważne fragmenty, z których można korzystać w praktyce.

W obszernym i licznie cytowanym zestawieniu literatury przedmiotu najbardziej zwraca uwagę różna pisownia nazwiska wiele razy cytowanego, zasłużonego dla prefabrykacji światowej Kima Elliotta – raz jest pisany z jednym „t”, innym razem z dwoma – ta druga pisownia jest poprawna. Zamieszczenie w wykazie informacji, że pewna książka została wydana przez Politechnikę Gliwicką sugeruje, że Autor nie miał tej pozycji w ręce, bo nie ma takiej uczelni, ani tym samym jej wydawnictwa.

4. Podsumowanie recenzji

Podjęto w pracy problem w pełni aktualny, niełatwy i mający znaczenie zarówno poznawcze, jak i praktyczne. Praca ma charakter badawczo-teoretyczny, z wyraźnym ukierunkowaniem na stronę aplikacyjną.

Autor w sposób dogłębny przeanalizował i skomentował dotychczasowe dokonania analityczne i badawcze osiągnięte w różnych ośrodkach, głównie zagranicznych, w zakresie podjętej tematyki.

W badaniach i analizach Autor wykazał się znajomością warsztatu naukowego – zastosował nowoczesne procedury doświadczalne i opracował oryginalny model obliczeniowy, poddany testom w przeprowadzonych

analizach numerycznych i przykładach obliczeń. Weryfikując wyniki obliczeń wynikami doświadczeń uzasadnił metodykę obliczeniową, pozwalającą w przyszłości na ograniczenie pracochłonnych badań.

Tematyka pracy jest obszerna i przedstawiono bardzo dużą liczbę wyników, obserwacji i wniosków szczegółowych, Dostrzeżone usterki redakcji tekstu nie rzutują na ogólną ocenę wartości rozprawy, choć oczywiście powinny być poprawione przed dalszym rozpowszechnianiem dokonań Autora.

Wyrażam więc przekonanie, że rozprawa doktorska mgr inż. Mateusza Surmy zatytułowana "Nośność na ścinanie strunobetonowych płyt kanałowych z uwzględnieniem nadbetonu, opartych na podporach podatnych", zawiera znaczące elementy oryginalne, stanowiące rozwiązanie problemu naukowego, jednocześnie z wyraźnym ukierunkowaniem na aspekty praktyczne. Autor zrealizował postawione na wstępie cele i potwierdził tezy pracy.

Rozprawa pozwala stwierdzić opanowanie przez Doktoranta wiedzy teoretycznej i posiadanie umiejętności samodzielnego prowadzenia badań w dziedzinie zaawansowanych konstrukcji betonowych. Spełnia zatem 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) z późniejszymi zmianami ogłoszonymi w latach 2005 do 2014.

Wnoszę o dopuszczenie do publicznej obrony.

