Warszawa, 26.05.2014

Dr Ewa Turska
Polsko-Japońska Wyższa Szkoła Technik Komputerowych (PJWSTK)
Warszawa, ul. Koszykowa 86

AUTOREFERAT

1. Imię i nazwisko

Ewa Małgorzata Turska

2. Dyplomy i stopnie naukowe

Wykształcenie

1971-1975: XIV Liceum Ogólnokształcące im. S. Staszica w Warszawie (eksperymentalna klasa matematyczna).

1975-1980: Studia magisterskie na wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego, w zakresie matematyki specjalności zastosowań matematyki w mechanice.

1980-1982: Studia doktoranckie w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk (IPPT PAN), Warszawa.

Uzyskane stopnie naukowe

04.03.1980 – magister matematyki, specjalność zastosowania matematyki w mechanice, praca magisterska pod kierownictwem prof. dra Marka Sokołowskiego, pt. " *Zagadnienie szczeliny w tarczy nieskończonej – ruch stacjonarny*".

26.04.1990 – doktor nauk technicznych w zakresie mechaniki, praca doktorska pod kierownictwem prof. dra Marka Sokołowskiego, pt. "*O lokalnym uplastycznieniu otoczenia wierzchołka szczeliny w antypłaskim stanie odkształcenia*".

3. Informacje o zatrudnieniu w jednostkach naukowych

1982 – 1990, asystent, Zakład Teorii Ośrodków Ciągłych, IPPT PAN.

1990 – 2007, adiunkt, Zakład Teorii Ośrodków Ciągłych, IPPT PAN.

2007 – 1012, adiunkt, Katedra Matematyki i Statystycznej Analizy Danych, PJWSTK.

2012 – do chwili obecnej, starszy wykładowca, Katedra Matematyki i Statystycznej Analizy Danych, PJWSTK.

Staże zagraniczne (ponad miesięczne)

1991-1992 Wydział Inżynierii Lądowej, Uniwersytet w Padwie, Padwa, Włochy

1994-1995 Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Techniczny, Lizbona, Portugalia

ET

4. Opis osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

Jednotematyczny cykl publikacji.

a) tytuł osiągnięcia naukowego:

"Zbieżność i stabilność algorytmów numerycznych w sformułowaniach wielopolowych mechaniki"

b) prace dokumentujące osiągnięcie naukowe:

Cykl prac stanowi sześć publikacji w czasopismach znajdujących sie w bazie Journal of Citation Reports (numeracja zgodna ze spisem publikacji) i jednej recenzowanej publikacji spoza bazy:

[3]. E. Turska; B.A. Schrefler: **"On convergence conditions of partitioned solution procedures for consolidation problems",** Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol.106, pp. 51-63, 1993 *(cyt. 34, IF 2,738).*

[5]. E. Turska, K. Wisniewski, B.A. Schrefler: **"Error propagation of staggered solution procedures for transient problems"**, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol.114, pp.177-188, 1994 *(cyt. 7, IF 2,738).*

[27]. E. Turska, B.A. Schrefler: **"On consistency, stability and convergence of staggered solution procedures".** Atti della Accademia Nazionale dei Lincei, Matematica e Applicazioni, s.9, Vol.5, pp. 265-271, 1994.

[6]. B.A. Schrefler, L. Simoni, E. Turska**: "Standard staggered and staggered Newton schemes in thermo-hydro-mechanical problems",** Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol.144, pp.93-109, 1997 *(cyt. 17, IF 2,738).*

[17]. K. Wiśniewski, E. Turska: **"Improved 4-node Hu-Washizu elements based on skew coordinates",** Computers & Structures , Vol. 87, pp. 407-424, 2009 *(cyt. 11, IF 2,000).*

[21]. P. Panasz, K. Wiśniewski, E. Turska: **"Reduction of mesh distortion effects for nine-node elements using corrected shape functions"**, Finite Elements in Analysis and Design, Vol. 66, pp. 83-95, 2013 *(cyt 0, IF 1,729)*

c) Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników.

Prace dokumentujące osiągnięcie naukowe (podpunkt B) należą do dziedziny zastosowań matematyki w mechanice, a w szczególności do mechaniki komputerowej (ang. *computational mechanics*). Jest to szybko rozwijająca się dziedzina interdyscyplinarna - łącząca mechanikę (np. mechanikę ciała stałego, mechanikę konstrukcji, biomechanikę, mechanikę płynów), matematykę (np. równania różniczkowe, metody numeryczne, algebra liniowa) i informatykę (np. programowanie równoległe i rozproszone, techniki dekompozycji dużych zadań). Głównymi narzędziami numerycznymi stosowanymi w mechanice komputerowej są metody dyskretyzacyjne, takie jak metoda elementów skończonych, metoda elementów brzegowych i metoda różnic skończonych.

eT

Wymienione prace dotyczą:

1) zgodności, zbieżności i stabilności algorytmów numerycznych stosowanych do modelowania ośrodków trójskładnikowych wielofazowych (wielopolowych), prace [3, 5, 27, 6] oraz

2) analizy stabilności nowych elementów skończonych dla mechaniki ciała stałego, wyprowadzonych z wielopolowych (dwu- i trójpolowych) funkcjonałów, prace [16, 17, 21] .

Wspólnym celem badań było stworzenie dobrze postawionych narzędzi numerycznych (algorytmów i elementów skończonych), mogących znaleźć zastosowanie w zaawansowanych obliczeniach naukowych i inżynierskich.

Ad. 1. Badanie zgodności, zbieżności i stabilności algorytmów numerycznych stosowanych do modelowania ośrodków wielofazowych, prace [3, 5, 27, 6].

W pracach [3, 5, 27, 6] przedmiotem badań jest schemat numeryczny nazywany *wielostopniowym* (ang. *staggered*), często i skutecznie stosowany w zagadnieniach mechaniki, w których występuje kilka sprzężonych ze sobą pól. Tak jest np. w przypadku wielofazowych ośrodków porowatych, w których występuje ciało stałe, ciecz i gaz, o wzajemnych oddziaływaniach zmiennych w czasie i zależnych od temperatury (ang. *transient fluid-structure interaction*). Schematy wielostopniowe są stosowane głównie do dużych sprzężonych układów i można je również stosować w obliczeniach równoległych.

Podstawową ideą schematów wielostopniowych jest podzielenie całego zadania na kilka podzadań i rozwiązywaniu ich sekwencyjnie w taki sposób, że przy rozwiązywaniu jednego podzadania uwzględnia się wartości zmiennych otrzymanych z rozwiązania pozostałych podzadań. Do rozwiązywania poszczególnych podzadań wykorzystuje się stworzone wcześniej moduły, które nie muszą być dopasowane np. przy oddziaływaniu ciało stałe – ciecz, siatka elementów skończonych dla ciała stałego może sie różnić od siatki dla cieczy. Kwestią kluczową jest podział zadania na odpowiednie zadania składowe i uwzględnienie sprzężenia pomiędzy poszczególnymi zmiennymi.

W wymienionych pracach, zmienne przestrzenne modelowane są metodą elementów skończonych, natomiast pochodne po czasie – metodą różnic skończonych. Otrzymujemy wtedy nieliniowy, sprzężony i dla zagadnień o znaczeniu praktycznym, bardzo duży układ równań algebraicznych.

W pracy [3] rozważano podział na dwa podzadania – dwa układy równań. Rozważano dwufazowy przepływ izotermiczny z trzema, zależnymi od czasu t, polami niewiadomymi $\boldsymbol{X} = (\boldsymbol{u}, p_w, p_c)$, gdzie $\boldsymbol{u}$ – wektor przemieszczenia, p_w – ciśnienie wody, p_c – ciśnienie kapilarne. Najpierw zastosowano dyskretyzację MES: $\boldsymbol{B}\dot{\boldsymbol{X}} + \boldsymbol{C}\boldsymbol{X} = \boldsymbol{F}$ a następnie niejawną uogólnioną metodę trapezów (ang. *generalized trapezoidal method*) $\boldsymbol{X}_{n+1} = \boldsymbol{X}_n + \dot{\boldsymbol{X}}_{n+\theta}\Delta t$ i $\dot{\boldsymbol{X}}_{n+\theta} = (1-\theta)\dot{\boldsymbol{X}}_n + \theta\dot{\boldsymbol{X}}_{n+1}$, aby otrzymać następujący układ niepodzielony, zwany monolitycznym $[\boldsymbol{B} + \theta\Delta t\boldsymbol{C}]\boldsymbol{X}_{n+1} = [\boldsymbol{B} - (1-\theta)\Delta t\boldsymbol{C}]\,\boldsymbol{X}_n + \Delta t\boldsymbol{F}_{n+\theta}$ czyli

$$\boldsymbol{D}\,\boldsymbol{X}_{n+1} = \boldsymbol{E}\,\boldsymbol{X}_n + \Delta t\,\boldsymbol{F}_{(n+\theta)}, \qquad (1)$$

gdzie macierze $\boldsymbol{D}, \boldsymbol{E}$ zależą od zmiennych $\Delta t, \theta$ i $\boldsymbol{X}$. W [3] macierz $\boldsymbol{D}$ jest podzielona tak jak pokazano poniżej

$$\begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & 0 \\ d_{21} & d_{22} & 0 \\ 0 & 0 & d_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{u}_{n+1} \\ p_{\mathrm{w}\,n+1} \\ p_{\mathrm{c}\,n+1} \end{bmatrix} = \boldsymbol{E}\,\boldsymbol{X}_n - \begin{bmatrix} 0 & 0 & d_{13} \\ 0 & 0 & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{u}_{n+1}^{(P)} \\ p_{\mathrm{w}_{n+1}}^{(P)} \\ p_{\mathrm{c}_{n+1}} \end{bmatrix} + \Delta t\, \boldsymbol{F}_{(n+\theta)}. \qquad (2)$$

Rozkład (2) macierzy monolitycznej $\boldsymbol{D}$ na składowe zależy od własności mechanicznych rozpatrywanych pól i jest dobierany do konkretnych zagadnień. Jak widać w przypadku (2) nie jest to rozkład sugerowany przez własności algebraiczne, jak np. na górne/dolne trójkątne macierze w metodzie Gaussa-Seidela. Schemat wielostopniowy różni się od stacjonarnych metod iteracyjnych "*matrix splitting*" także sposobem rozwiązania otrzymanego układu.

Pierwszym rozwiązywanym układem równań z (2) jest ostatnie równanie (podukład):

$$d_{33}\, p_{\mathrm{c}\,n+1} = \boldsymbol{E}_3 \boldsymbol{X}_{3n} - d_{31} \boldsymbol{u}_{n+1}^{(P)} - d_{32}\, p_{\mathrm{w}_{n+1}}^{(P)} + \Delta t\, \boldsymbol{F}_{3(n+\theta)}. \qquad (3)$$

Drugim rozwiązywanym układem są dwa pierwsze równania układu (2).

Procedura wielostopniowa w kroku $(n+1)$, $n \in N$, polega na

1. podstawieniu wartości predyktorów pól $\boldsymbol{u}_{n+1}^{(P)}$ i $p_{\mathrm{w}_{n+1}}^{(P)}$ do (3) i wyznaczeniu $p_{\mathrm{c}_{n+1}}$;
2. kilkukrotnej iteracyjnej korekcji wartości $\boldsymbol{u}_{n+1}^{(P)}$ i $p_{\mathrm{w}_{n+1}}^{(P)}$ używając pierwszych dwóch równań z układu (2);
3. ewentualnej aktualizacji $p_{\mathrm{c}_{n+1}}$, tzn. podstawieniu do (3).

Cykl predyktor - korektor jest powtarzany aż do uzyskania pożądanej tolerancji ε, tzn. $\|X_{N+1}^{K} - X_{N+1}^{K-1}\| < \varepsilon$. Predyktorem zwykle jest kombinacja liniowa rozwiązań z poprzednich kroków.

W pracy [3] rozważałam, czy zdefiniowany powyżej schemat wielostopniowy prowadzi do poprawnego rozwiązania. Przeprowadziłam analizę błędów, tzn. wyznaczyłam oszacowanie błędu aproksymacji i podałam warunki na $\theta, \Delta t, h$, dla których schemat jest stabilny i zgodny. Błąd całkowity podzieliłam na 3 składowe, odpowiadające za zgodność, zbieżność i stabilność oraz przeprowadziłam analizę każdego z nich. Konkluzją tych badań było to, że stabilność jest warunkowa; podałam warunek stabilności w przypadku liniowym i nieliniowym. Okazało sie, że nie tylko stabilność jest warunkowa, ale również i to, że warunkiem koniecznym by schemat był zbieżny przy $\theta > \frac{1}{2}$, jest by iloraz $\Delta t/h^2$ był ograniczony z dołu (gdzie Δt to długość kroku czasowego, a h to charakterystyczny wymiar elementu). Podałam przykład, w którym metoda iteracyjna rozwiązania układu monolitycznego (1) jest rozbieżna, natomiast schemat wielokrokowy (2) jest zbieżny. Zatem zbieżność iteracji układu monolitycznego (1) nie jest warunkiem koniecznym zbieżności układu wielostopniowego (2).

Powyższe badania zostały uzupełnione przez rezultaty pracy [26], nieuwzględnionej w cyklu publikacji ze względów formalnych (brak kontaktu z jednym z autorów, ówczesnym doktorantem, X.Y. Zahn'em). Wyznaczono i porównano numerycznie obliczone normy spektralne dla różnych sformułowań: 1: $\boldsymbol{X}_1 = (\boldsymbol{u}, p_{\mathrm{w}}, p_{\mathrm{c}})$; 2: $\boldsymbol{X}_2 = (\boldsymbol{u}, p_{\mathrm{w}}, p_{\mathrm{g}})$; 3: $\boldsymbol{X}_3 = (\boldsymbol{u}, p_{\mathrm{w}}, S_{\mathrm{w}})$, gdzie $\boldsymbol{u}$ to przemieszczenia, p_{w} – ciśnienie wody, p_{c} – ciśnienie kapilarne, p_{g} – ciśnienie gazu, S_{w} –saturacja; problemu Liakopoulosa. Analiza błędu umożliwiła wybranie optymalnego sformułowania.

Trzy schematy numeryczne stosowane w modelowaniu ośrodków wielofazowych, tzn. iteracja prosta układu monolitycznego, iteracja stacjonarna układu rozdzielonego i schemat wielostopniowy, zostały omówione i porównane w pracy [5]. Analizowałam błąd całkowity powstały po skończonej liczbie iteracji i wyznaczyłam zależność tego błędu od błędów predyktorów, błędu obcięcia (ang. *truncation error*) i błędu zaokrągleń (ang. *round-off error*). W przypadku takiego podziału macierzy $\boldsymbol{D}$, że macierz składowa po prawej stronie jest dodatnio określona, udało mi się otrzymać warunek stabilności metody wielostopniowej. Warunek ten nie jest odpowiedni, gdy ta macierz nie jest dodatnio określona. Używając kontrprzykładów wykazałam, że zapewnienie łącznie i stabilności i zbieżności układu monolitycznego nie zapewnia stabilności metody wielostopniowej. Zilustrowałam niezależność warunków stabilności dla schematu wielostopniowego są niezależne, nawet przy założeniu zgodności.

Zbieżność schematu wielostopniowego zależy od stosowanego predyktora. Wykazałam, że gdy stosujemy do dyskretyzacji uogólnioną metodę trapezów i jeśli za predyktor przyjmujemy rozwiązanie otrzymane w poprzednim kroku (najczęściej stosowany predyktor), to jeśli zmienimy kolejność przechodzenia do granicy tzn. najpierw liczba kroków $K \to \infty$,a potem $\Delta t \to 0$, to błąd całkowity jest zbieżny do stałej różnej od zera.

Jest to ważny rezultat, ponieważ bardzo mały błąd, który nie znika nawet po dużej liczbie kroków czasowych, może prowadzić do skończonych lecz często zupełnie błędnych wyników. Tego typu błąd dużo trudniej wykryć niż błąd, który rośnie do nieskończoności, bo w wyniku iteracji otrzymujemy skończone, całkiem prawdopodobne rozwiązanie. Zauważmy zatem, że bardzo mały krok, bardzo bliskie (ostatnie rozwiązanie) użyte jako predyktor i uzyskanie pożądanej tolerancji ε nie gwarantują, że otrzymamy poprawne rozwiązanie równania $\boldsymbol{B}\dot{\boldsymbol{X}} + \boldsymbol{C}\boldsymbol{X} = \boldsymbol{F}$. Jest to sprzeczne z intuicją.

W dużych zadaniach nieliniowych warto sprawdzić czy bardziej opłacalne jest manipulowanie liczbą wykonywanych iteracji czy długością kroku czasowego Δt, aby wyznaczyć rozwiązanie numeryczne o zadanej tolerancji. W pracy [27] kontynuowałam analizę rozpoczętą w [5] dla uogólnionej metody trapezów, używając ostatnie otrzymane rozwiązanie jako predyktor. Okazało się, że nieznikający błąd numerycznie zbieżnego schematu prowadzi do tego, że otrzymane rozwiązanie numeryczne jest rozwiązaniem innego równania niż przybliżane. Wyznaczyłam postać tego równania dla schematów z jedną i dwiema iteracjami.

W pracy [6] przeprowadziłam porównanie schematu stosującego iterację prostą w schemacie wielostopniowym (ang. *successive substitutions*), która jest metodą standardową w tej klasie problemów, oraz schematu wykorzystującego metodę Newtona-Raphsona do rozwiązania każdego z poszczególnych nieliniowych układów równań otrzymanych po podziale. Zbieżność metody Newtona jest drugiego rzędu zatem można było oczekiwać, że szybkość zbieżności drugiego schematu będzie większa. Wyznaczyłam wyrażenia do analizy błędów aproksymacji i stabilności. Wyrażenia na błędy są bardzo złożone, lecz udało się otrzymać kilka wniosków teoretycznych dla schematów wielostopniowych. Przy słabym sprzężeniu układów równań metoda wykorzystująca schemat Newtona-Raphsona rzeczywiście jest drugiego rzędu, natomiast przy bardzo silnym sprzężeniu (tzn. gdy zmienne pierwszego układu równań zależą od zmiennych drugiego układu równań i vice versa) obie metody mają taką samą szybkość zbieżności. Może się jednak także zdarzyć, że metoda kolejnych podstawień jest szybsza niż schemat z metodą Newtona-Raphsona; ilustrację takiego przypadku stanowi przykład przedstawiony w pracy [3].

eT

W [6] zostały przeprowadzone testy numeryczne dla dwóch problemów konsolidacji gruntów, przy czym wszystkie pola, oprócz temperatury, były ze sobą silnie sprzężone. Problemy dotyczyły grawitacyjnego wypływu wody przez dno kolumny wypełnionej materiałem porowatym, przy założeniu, że w części częściowo nasyconej wodą powietrze ma zawsze ciśnienie atmosferyczne, t.j. problem benchmarkowy Liakopoulosa. Ponieważ problem dotyczyły powolnego procesu (ang. *slow phenomenon*) krok czasowy Δt nie był stały, lecz był wydłużany. Porównano promień spektralny, błąd początkowy i liczbę iteracji. Podobnie jak wynikało z rozważań teoretycznych, okazało się, że metoda Newtona-Raphsona nie zawsze jest szybsza od iteracyjnej, a czasami nawet jest wolniejsza. Rozważano równiez problem z trzema składnikami (ciało stałe, woda, gaz) i wykazano, że gdy zmniejszamy krok czasowy przy stałej liczbie iteracji to schemat wielostopniowy prowadzi do błędnego ciśnienia kapilarnego. Jest to potwierdzenie, że wynik teoretyczny, który otrzymałam w pracy [27] znajduje odzwierciedlenie w problemach praktycznych.

Ad. 2. Formułowanie nowych mieszanych elementów skończonych i analiza ich własności, w tym stabilności, prace [17, 21].

Przeprowadzono analizę sformułowań mieszanych elementów powłokowych w których występują pola przemieszczeń, parametrów rotacyjnych i pola dodatkowe, w tym także pola o charakterze mnożników Lagrangea.

W pracach [17, 21] opracowano szereg nowych zaawansowanych mieszanych elementów skończonych stanowiących część membranową elementów powłokowych. Rozważana klasa elementów powłokowych opiera się na hipotezie Reissnera, która umożliwia uwzględnienie deformacji rozciągania, zginania, ścinania i skręcania powłoki. Ponieważ wielkość deformacji nie jest ograniczona, to równania są nieliniowe i geometrycznie dokładne. Wyprowadzono operator styczny i nieliniowe dyskretne równania równowagi rozwiązywano metodą Newtona-Raphsona w formie rozszerzonej na parametry grupy rotacji.

Praca [17] bazowała na funkcjonale mieszanym Hu-Washizu (trójpolowy), dla którego opracowane zostały bi-liniowe elementy skończone klasy C^0 w ramach metodologii założonych pól naprężeń i odkształceń (ang. *Assumed Stress* and *Assumed Strain*). Użyto także metody wzbogacania (ang. *enhancement*) pól kinematycznych (gradientów przemieszczenia lub odkształceń) co prowadzi do elementów mieszanych typu założone/wzbogacone (ang. *mixed assumed/enhanced*). Zaproponowano by reprezentacje pól naprężeń i odkształceń przyjmować we współrzędnych skośnych (ang. *skew coordinates*) i wybrano reprezentacje, które prowadziły do bardzo dobrych rezultatów dla całego szeregu benchmarków czyli zapewniały 'optymalne' własności numeryczne elementu.

Warto zaznaczyć, że sformułowania mieszane prowadzą do tzw. rozszerzonej macierzy stycznej dla elementu, która zawiera przynajmniej jedną zerową podmacierz na diagonali i nie jest dodatnio określona. Macierz rozszerzoną należy następnie zredukować do postaci standardowej, której używa się w globalnym układzie równań, co nie dla wszystkich sformułowań mieszanych jest wykonalne. Badanie czy zadanie jest dobrze postawione przeprowadzane jest więc dla każdego mieszanego elementu skończonego i sprowadza się do analizy stabilności sformułowania. Zagadnienie stabilności sformułowań mieszanych jest przedmiotem opracowań matematycznych i jest dość skomplikowane dla ogólnych przestrzeni funkcyjnych. W celu efektywnego badania nowych elementów skończonych opracowałam dyskretny warunek stabilności typu LBB (od nazwisk Ladyzhenskaya- Babuska-Brezzi) dla dwu- i trójpolowych sformułowań mieszanych. Ze względu na skomplikowane równania, warunku tego nie można zweryfikować analitycznie i dlatego sprawdzano jego numeryczny odpowiednik. Sprowadza się to do rozwiązania odpowiednio sformułowanego uogólnionego zagadnienia na wartości własne dla szeregu siatek o rozmiarze malejącym do zera. Analizując otrzymane wartości własne, wykazałam, że wszystkie elementy omawiane w pracy [17], spełniają dyskretny warunek stabilności.

Praca [21] dotyczy 9-cio węzłowych elementów skończonych klasy C^1, zbudowanych na bikwadratowych funkcjach kształtu. Standardowy element tego typu jest niedokładny ('przesztywniony', ang. *locked*) i dlatego stosuje się dodatkowe techniki żeby usunąć ten problem; jedną z nich są tzw. dwupoziomowe interpolacje odkształceń (ang "*Assumed Strain (AS) method*" lub "*Mixed Interpolation of Tensorial Components (MITC)*"). Inną ważną kwestią jest wrażliwość ww. elementów na zaburzenia kształtu (dystorsje), które pogarszają dokładność rozwiązań dla nieregularnych siatek. W pracy [21] korygujemy te efekty za pomocą tzw. poprawionych funkcji kształtu (ang. *corrected shape functions*) użytych zamiast standardowych Lagrangeowskich funkcji kształtu. Wymaga to dodatkowych parametrów opisujących przesunięcie węzłów z pozycji centralnej, które wyznaczane są z dodatkowych nieliniowych równań algebraicznych; do ich rozwiązania stosujemy metodę Newtona z odpowiednio dobranymi wartościami początkowymi zapewniającymi szybką zbieżność.

Charakterystyczną cechą metody dwupoziomowej interpolacji odkształceń jest to, że może być opisana za pomocą trójpolowego mieszanego funkcjonału z mnożnikami Lagrangea aproksymowanymi za pomocą funkcji delta Diraca. Dlatego należy zbadać, czy sformułowania takich mieszanych elementów są postawione poprawnie tzn. czy elementy są stabilne. W pracy [21] zbadałam cztery różne 9-cio węzłowe elementy skończone bazujące na dwu-poziomowej interpolacji odkształceń i pokazałam, że wszystkie z nich spełniają dyskretny warunek *LBB*, zarówno dla standardowych jak i poprawionych funkcji kształtu.

Oryginalne elementy cyklu publikacji

1. Oryginalne elementy dotyczące zgodności, zbieżności i stabilności algorytmów numerycznych stosowanych do modelowania ośrodków wielofazowych.

Przeprowadzono analizę błędów metody wielostopniowej służącej do numerycznego rozwiązywania zagadnień wielopolowych (liniowych i nieliniowych) dla problemu dotyczącego wielofazowego ośrodka porowatego i otrzymano szereg istotnych rezultatów szczegółowych, w tym:

- wyznaczono oszacowanie błędu aproksymacji w zależności od błędów dyskretyzacji układu monolitycznego, zaokrągleń i iteracji, podano odpowiednie warunki zależne od $\theta, \Delta t, h$ dla których schemat jest stabilny i zgodny;

- pokazano, że warunkiem aby schemat był zbieżny w przypadku uogólnionej metody trapezów i $\theta >$ ½ , jest by iloraz $\Delta t/h^2$ był ograniczony z dołu, gdzie Δt to długość kroku czasowego a h to charakterystyczny wymiar elementu;

- otrzymano wyrażenie na błędy metody wielostopniowej i iteracji równoczesnej w jawny sposób zależne od K kroków iteracji.

ET

- wykazano dla metody wielostopniowej, że dla najczęściej stosowanego predyktora, błąd całkowity przy $\Delta t \to 0$ może być zbieżny do stałej różnej od zera, co oznacza, że algorytm nie jest zgodny. Wtedy numerycznie otrzymujemy rozwiązanie innego równania niż przybliżane;

- wyznaczono zależności opisujące błędy aproksymacji i zaokrągleń w przypadku standardowej metody wielostopniowej i metody wielostopniowej stosującej schemat Newtona;

- w przypadku problemów dwu- (woda , ciało stałe) i trzyfazowego(woda, gas, ciało stałe) dokonano szeregu porównań otrzymanych własności schematu wielostopniowego z trzema innymi schematami numerycznymi stosowanymi w modelowaniu ośrodków wielofazowych: iteracją układu monolitycznego, iteracją układu rozdzielonego i schematem wielostopniowym połączonym z algorytmem Newtona-Raphsona. Potwierdzono, że metoda wielostopniowa połączona z iteracją Newtona-Raphsona nie zawsze jest szybsza od iteracji prostej.

2. Oryginalne elementy dotyczące analizy stabilności nowych elementów skończonych dla mechaniki ciała stałego, wyprowadzonych z wielopolowych (dwu- i trójpolowych) funcjonałów.

Opracowano nowe zaawansowane mieszane elementy skończone stanowiących część membranową elementów powłokowych i przeprowadzono analizę ich własności numerycznych:

1) dla elementów klasy C^0 bazujących na funkcjonałach mieszanych typu Hu-Washizu (trójpolowy)

- zaproponowano by reprezentacje pól naprężeń i odkształceń przyjmować we współrzędnych skośnych, dla których spełnione są jednorodne równania równowagi i związki nierozdzielności odkształceń, co korzystnie koreluje z bardzo dobrą dokładnością elementów. Wybrano reprezentacje, które prowadziły do najlepszych rezultatów całego szeregu benchmarków, czyli zapewniały 'optymalne' własności numeryczne elementu.

- przeprowadzono analizę błędów i opracowano warunek stabilności w postaci dyskretnego warunku *LBB*. Opracowano software do sprawdzania jego numerycznego odpowiednika, tzn. do rozwiązania odpowiednio sformułowanego uogólnionego zagadnienia na wartości własne dla szeregu siatek o rozmiarze malejącym do zera. Wykazano, że wszystkie elementy skończone z pracy [17] spełniają dyskretny warunek stabilności.

2) Zbadanie stabilność elementów klasy C^1 bazujących na dwupoziomowej interpolacji odkształceń, która może ona być opisana za pomocą mieszanego funkcjonału z mnożnikami Lagrangea w postaci funkcji delta Diraca. W elementach użyto tzw. poprawionych funkcji kształtu (ang. *corrected shape functions*) zamiast standardowych Lagrangeowskich w celu zmniejszenia wrażliwości na zaburzenia kształtu (dystorsje) elementów. Zbadano cztery różne elementy i pokazano, że wszystkie z nich spełniają dyskretny *inf-sup* test, zarówno dla standardowych jak i poprawionych funkcji kształtu.

5. Przebieg pracy zawodowej

5.1 Okres przed uzyskaniu stopnia doktora

Ponieważ przyszłe życie zawodowe wiązałam z pracą w dziedzinie zastosowań matematyki w mechanice, pracę magisterską pisałam we współpracy wydziału MIiM UW i IPPT PAN, a promotorem pracy był prof. Marek Sokołowski z IPPT PAN. Zajmowałam się propagacją szczeliny pod wpływem sił skupionych. W liniowej sprężystości siły skupione pełnią rolę funkcji Greena, zatem znając ściśle

ET

rozwiązania dla w/w sił można modelować dowolny rozkład naprężeń w ciele. Ciekawym wynikiem było to, że przy ścinaniu istniała specyficzna prędkość ruchu szczeliny, która powodowała zmianę znaku Współczynnika Intensywności Naprężeń, patrz [22].

Po uzyskaniu stopnia magistra rozpoczęłam studia doktoranckie w IPPT PAN pod kierownictwem dr hab. Marka Matczyńskiego. Po roku (w związku z wyjazdem zagranicznym dr hab. M. Matczyńskiego) opiekę naukową nade mną przejął prof. M. Sokołowski. Nadal zajmowałam się teorią szczelin a szczególnie aspektami związanymi z oddziaływaniem różnego typu osobliwości w ciele stałym; uzyskane wyniki opublikowałam w pracach [1, 23, 24]. Wyniki pracy [1] były wielokrotnie cytowane, a jej rezultaty umieszczono w wydawnictwach o charakterze encyklopedycznym, m.in. M.P. Savruk "*Mehanika razrusenia sprawocznoje posobie, Dvumernye zadaci uprugosti dlja tel s trescinami*" oraz M. Kaczanov : "*Elastic solids with many cracks and related problems*", Advances in Applied Mechanics, tom 30 pod redakcją J. W. Hutchinsona i T. Y. Wu, 1994.

Na drugim roku studiów doktoranckich zostałam zatrudniona na stanowisku asystenta, a następnie starszego asystenta, i w roku 1990 obroniłam doktorat pt. *O lokalnym uplastycznieniu otoczenia wierzchołka szczeliny w antypłaskim stanie odkształcenia"*. Otrzymane przeze mnie ścisłe rozwiązania analityczne rozkładu naprężeń wokół wierzchołka szczeliny znajdującej sie w ciele sprężysto–plastycznym mogą służyć nie tylko do weryfikacji i testowania rozwiązań numerycznych, ale i do budowania numerycznych modeli ciał z defektami typu szczelina, dyslokacja, inkluzja lub otwór. Do rozwiązania osobliwych równań całkowych stosowałam metody potencjałów zmiennej zespolonej m.in. Kolosova-Muskhelishviliego i odwzorowania konforemne.

Publikacje przed doktoratem (numeracja zgodna z załączonym chronologicznym spisem publikacji):

- znajdujące sie w bazie Journal of Citation Reports, ISI Web of Knowledge

1. E. Turska-Kłębek, M. Sokołowski: **"On the influence of defects upon stress concentration at the crack".** Archives of Mechanics, Vol. 36, No. 1, pp. 121-126, 1984 (cyt. 10), IF 0,508

- inne publikacje

22. E. Turska: **"Stacjonarny ruch szczeliny w polu sił skupionych"**, Prace IPPT 21/1981, pp. 1-36, 1981 (http:\\rcin.org.pl, oai:rcin.org.pl:5914) – recenzowane.

23. E. Turska, M. Sokołowski: **"On the approximate evaluation of interaction of cracks inelastic media"**, Engineering Transactions, Vol. 31, No. 1, pp. 115-150, 1983 – recenzowane.

24. E. Turska: **"O lokalnym uplastycznieniu otoczenia wierzchołka szczeliny w antypłaskim stanie odkształcenia"**, Prace IPPT 10/1987, pp. 1-23, 1987, (http:\\rcin.org.pl, oai:rcin.org.pl:1564) – recenzowane.

5.2 Okres po uzyskaniu stopnia doktora

Po otrzymaniu doktoratu zostałam zatrudniona na stanowisku adiunkta w IPPT PAN i nadal prowadziłam badania nad zachowaniem się ciał z defektami. Ponieważ w zadaniach tych występowało wiele typów osobliwości interesowało mnie jakie są warunki dobrego postawienia

ET

zadania, a szczególnie jednoznaczności rozwiązania. Skierowałam również swoje zainteresowanie w stronę podobnych problemów w modelach i metodach numerycznych.

W roku 1991 wyjechałam na roczne stypendium naukowe do Padwy na wydział Inżynierii Lądowej Uniwersytetu w Padwie, Włochy. Tam rozpoczęłam współpracę naukową z profesorem B.A. Schreflerem, którą kontynuowałam przez wiele lat po powrocie do Polski. W ramach tej współpracy zajmowałam się własnościami numerycznymi schematów wielostopniowych stosowanymi do wyznaczania oddziaływań ciało stałe-ciecz, a także konsultowałam magistrantów i doktorantów prof. Schreflera.

W roku 1994 wyjechałam na roczne stypendium naukowe do Lizbony na wydział Mechaniczny Uniwersytetu Technicznego, Portugalia (Mechanical Engineering Dept., Instituto Superior Tecnico, Lisbon). Współpracowałam tam z prof. Luisem Faria i zajmowałam się modelowaniem materiałów z defektami, w ramach teorii mechaniki zniszczenia. W tym podejściu wpływ defektów widoczny jest w równaniach konstytutywnych, a nie w warunkach brzegowych jak w teorii szczelin. Uzyskane wyniki umieściłam w 22 stronicowym raporcie wewnętrznym "On some aspects of damage mechanics".

Po powrocie zajmowałam sie zagadnieniami związanymi z modelowaniem ciał ze szczelinami [10, 12], prawidłowym postawieniem zadania nieskończonego ciała z defektami [40, 41] i kontynuując współpracę z, ówcześnie doktorem, obecnie profesorem K. Wiśniewskim, pracowałam nad sformułowaniem i analizą własności numerycznych elementów powłokowych [7,8,9]. Zdobyte wcześniej doświadczenie w analizie schematów wielostopniowych, w których występują problemy dotyczące użycia zmiennych różnych typów wykorzystałam przy opracowywaniu powłokowych elementów skończonych bazujących na funkcjonałach mieszanych, w których także występują zmienne różnych typów (translacyjne i rotacyjne), założone pola odkształceń i założone pola naprężeń (sił przekrojowych), przy czym te ostatnie mają dodatkowo charakter mnożników Lagrangea.

Od roku 1997 dodatkowo prowadziłam zajęcia dydaktyczne w Polsko-Japońskiej Wyższej Szkole Technik Komputerowych w Warszawie. Od 2007 roku jestem tam zatrudniona na stanowisku adiunkta.

W latach 2001-07 zajmowałam się również zastosowaniem pochodnej frakcjalnej w rozwiązywaniu równań fizyki matematycznej [31,32,33,34]. Podjęliśmy udaną próbę rozwiązania równania cząstkowego, otrzymując rozwiązania -"matki", które generują i znane i nowe rozwiązania.

Wykorzystując doświadczenia zdobyte przy badaniu stabilności rozwiązań układów wielopolowych zależnych od czasu od wielu lat pracuję nad sformułowaniami i badaniem mieszanych elementów skończonych i wspólnie z prof. K. Wiśniewskim opublikowaliśmy prace [7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21]. Celem tych badań jest sformułowanie nowych elementów powłokowych o ulepszonych własnościach, wykazujących optymalne cechy ze względu na szereg kryteriów, takich jak zbieżność i dokładność a także stabilność i niewrażliwość na zniekształcenia siatki. W dalszej swojej pracy naukowej zamierzam kontynuować badania także w tej dziedzinie.

6. Udział w grantach (EU – Unia Europejska, PL – Polska)

ET

EU, FP7 Collaborative Project Maaximus of AIRBUS, "DSA of stiffened panels w.r.t. constitutive and structural parameters" *(2008-11)* wykonawca.

PL, KBN nr N501-290234 „Modele powłok kompozytowych bazujące na funkcjonale Hu-Washizu" (2008-10), główny wykonawca.

PL, KBN nr 7T11F01921, "Numeryczna analiza wrażliwości modeli powłok sprężysto-plastycznych", (2001-2004) wykonawca.

PL, KBN nr 8T11F0031: "Numeryczna agregacja modeli powłok wielowarstwowych" (1996-1999) główny wykonawca.

7. Recenzje publikacji naukowych

Wykonywałam recenzje dla następujących czasopism:

- International Journal of Numerical Methods in Engineering,

- Archiwum Mechaniki,

- Rozprawy Inżynierskie.

8. Sumaryczny Impact Factor, Indeks Hirscha i cytowania według Web of Science

Sumaryczny Impact Factor: **33,826**

(Dla lat 2008-2011 przyjęto Impact Factor zgodnie z rokiem opublikowania, dla publikacji wcześniejszych, ze względu na brak dostępu do danych, przyjęto wartość średnią 5 letnią).

Liczba cytowań: **143**

Liczba cytowań bez autocytowań: **108**

Indeks Hirscha: **8**

9. Działalność dydaktyczna, promującej naukę i współpracy z innymi jednostkami naukowymi

Od 1995 roku do chwili obecnej prowadzę wykłady i ćwiczenia dla studentów wydziałów Informatyki i Zarządzania Informacją PJWSTK z następujących przedmiotów: Analizy Matematycznej 1 i 2, Algebry Liniowej z Geometrią w języku angielskim i polskim oraz Matematyki Dyskretnej. Wielokrotnie byłam wybierana przez studentów jako najlepszy dydaktyk.

W 2012 roku konsultowałam nowy program z Analizy Matematycznej i Algebry Liniowej tak aby był zgodny z potrzebami przedmiotów informatycznych na PJWSTK.

W 2006 roku prowadziłam wykład z Matematyki Dyskretnej na studiach doktoranckich w IPPT PAN.

10. Działalność organizacyjna

Od 2007 roku jestem członkiem Polskiego Towarzystwa Matematycznego.

Ewa Tauzowska