

CONTRIBUȚIA METODELOR NUMERICE ÎN EDUCAȚIA GEOMECHANICII

Emmanouil G. VAIRAKTARIS, TEI
Piraeus, Atena, GRECIA
George METAXAS, TEI Piraeus, Atena,
GRECIA

CONTRIBUTION OF NUMERICAL METHODS IN THE EDUCATION OF GEOMECHANICS

Emmanouil G. VAIRAKTARIS, TEI of
Piraeus, Athens, GREECE
George METAXAS, TEI of Piraeus,
Athens, GREECE

REZUMAT: Metodele numerice din inginerie au atins recent o dezvoltare foarte mare ca urmare a evoluției calculatoarelor. Cu toate acestea, tehnicile de modelare avansate în geomecanică nu au fost folosite la un nivel satisfăcător. Există multe motive pentru acest lucru, dar majoritatea se referă la pregătirea inadecvată a studenților, cercetătorilor și inginerilor practicieni pentru a folosi aceste instrumente avansate. În această lucrare, se realizează discuția importanței metodelor numerice în geomecanică și este prezentată o descriere a cursurilor existente în această zonă referitoare la școlile de inginerie. În final, sunt realizate concluzii referitoare la implementarea metodelor numerice în aria inginerie.

Cuvinte cheie: educatia geomecanicii, metode numerice

1. INTRODUCERE

Câteva fenomene fizice pot fi modelate folosind ecuațiile diferențiale. Câteva dintre aceste ecuații diferențiale pot fi rezolvate analitic, mai ales în cazurile când geometria problemei este foarte simplă. Încă de la începutul secolului al XX-lea, s-au făcut eforturi pentru dezvoltarea metodelor adecvate pentru rezolvarea ecuațiilor diferențiale, dar metodele numerice recente (MN) au ajuns la o dezvoltare foarte mare datorită evoluției computerului [1].

Răspunsul solului la tensiune-deformare și comportamentul structurilor care se referă la interacțiunea sol-structură

ABSTRACT: Numerical methods in engineering science have recently achieved great development following computer evolution. However, the use of advanced numerical modeling techniques in geomechanics has not been used at a satisfactory level. There are many reasons for this, but most of them are related to the inadequate preparation of students, researchers and practicing engineers in order to use such advanced tools. In this work discussion of the importance of numerical methods in Geomechanics is discussed and description of existing courses in this area concerning engineering schools is presented. Finally, conclusions regarding the implementation of numerical methods in engineering curriculum are addressed.

Keywords: the education of geomechanics, numeric methods

1. INTRODUCTION

Several physical phenomena can be modeled using differential equations. Few of these differential equations can be solved analytically, mostly in the cases where the geometry of the problem is very simple. From the beginning of the twentieth century, efforts were made in the development of approximate methods for the solution of differential equations but recently numerical methods (NM) achieved great development following computer evolution [1].

The stress-strain soil response and the behavior of structures considering soil-structure interaction through numerical,

prin tehnici numerice, orientate către computer devine din ce în ce mai popular în ingineria solului și a rocilor. Avansurile metodelor numerice includ soluția problemelor geometrice complexe chiar în prezența unui comportament foarte neliniar și a mediilor care conțin două sau mai multe faze, cum sunt solurile saturate sau parțial saturate [] sau alte modele complicate []. Teoriile avansate și ultimele descoperiri în geomecanică (modele neliniare, teorii de înclinare, comportamentul dinamic soil-structură, modele de cuplare) sunt deja implementate în software numeric (majoritatea în FEM) [], [], []. Accentul este de asemenea pus pe precizia și pe stabilitatea algoritmilor precum și pe timpul de calcul [] și pe implementarea uneltelor probabiliste în FEM [].

Importanța MN în proiectele de dimensiuni mari și foarte mari (lucrări subterane, lucrări externe) este foarte bine stabilită în general așa cum s-a menționat în paragrafele anterioare. În proiectele medii, MN pot ajuta la o mai bună înțelegere a performanței unei structuri în timpul construcției și pe durata perioadei de funcționare [].

Dar chiar și în proiectele de dimensiuni mici, cum ar fi fundația unei clădiri, folosirea metodelor numerice este uneori necesară, deoarece fundațiile pe grinzi care folosesc modelul de sol Winkler pot fi rezolvate folosind alte metode decât MN numai în cazuri specifice [11]. FEM se poate aplica și problemelor simple (acolo unde apar probleme de tensiune sau de flux) unde elasticitatea nu poate descrie toate fenomenele observate (dilatate, modificarea presiunii porilor) [].

Cu toate acestea, folosirea tehnicilor de modelare numerică avansate în geomecanică nu a fost folosită la un nivel satisfăcător (în practică). Felice [] precizează că MN sunt încă văzute ca „o cheltuială nenecesară de software care va fi folosită la minim și va solicita instruire extinsă cu rezultate limitate în

computer-oriented techniques is becoming more and more popular in soil and rock engineering. The advances of numerical methods include solution of geometrically complex problems even in the presence of highly nonlinear material behavior and of media consisting of two or more phases, like saturated and partially saturated soils [] or other complicated models []. Advanced theories and latest developments in geomechanics (non-linear models, gradient theories, dynamic soil-structure behavior, coupling models) are already implemented in numerical software (mostly in FEM) [], [], []. Focus is also given on precision and stability of the algorithms as well as computation time [] and on implementation of probabilistic tools in FEM [].

The importance of NM in large or mega sized projects (underground works, off-shore works) is well established in general as mentioned in earlier paragraphs. In medium size projects, NM can help in better understanding of the performance of a structure during construction and throughout its service life [].

But even in small sized geotechnical projects, like a building foundation, the use of numerical methods is sometimes necessary, since beam-foundations using Winkler soil model can be solved using other methods than NM only in specific cases [11]. FEM can be also applied in simple problems (i.e. where only shear stress appears or flow problems) where elasticity cannot describe all the observed phenomena (dilation, change of pore pressures) [].

However, the use of advanced numerical modeling techniques in geomechanics has not been used at a satisfactory level (in practice). Felice [] states that NM are still viewed as an ‘unneeded expense for software that will see minimal use and require expensive training with a limited return on a practices’ profitability’. In the same direction, Arulmoli [] notices that ‘Practicing geotechnical engineers are faced

profitabilitatea practicii. În aceeași direcție, Arulmoli [] remarcă faptul că 'Inginerii geotehnici practicieni se confruntă cu provocări pe diverse fronturi care includ bugete limitate și programe solicitante; clienții, proprietarii și auditorii care nu sunt bine informați referitor la beneficiile programelor informaționale avansate sau care nu doresc să accepte instrumentele sau metodologiile care nu au fost dovedite în industrie'. Alte motive care au existat acum câțiva ani dar care nu mai există includ mediul neprietenos pentru utilizator de software disponibil [] și îndoiele științifice referitoare la MN din partea matematicienilor [].

În această lucrare, predarea metodelor numerice se realizează în primul și al doilea ciclu de educație superioară în CE. În paragrafele anterioare am prezentat importanța metodelor numerice în ingineria civilă (Structurală) și în ingineria geotehnică. În paragrafele următoare, este analizată implementarea MN în școlile Europene CE. Este prezentată și comentată cercetarea programelor de studiu ale școlilor europene care participă la EUCEET III, referitoare la MN. Este de asemenea introdusă o descriere generală a cursurilor despre MN. Apoi este discutată o cerință minimă de curriculum pentru fiecare ciclu de studiu. În final, sunt date câteva concluzii și este realizată o propoziție pentru implementarea MN în educație și ulterior în practică.

2. DESCRIEREA CERCETĂRII ȘI REZULTATE

2.1. Cercetarea referitoare la MN în programele europene de studiu (Ingineria Civilă)

Această cercetare include 72 institute educaționale de la 105 institute care participă la EUCEET III. Resursa cercetării a fost informația pe care fiecare institut de Inginerie Civilă o furnizează pe site-ul său de

with challenges from different fronts including limited budgets and demanding schedules; clients, owners, and reviewers who are not well-informed about the benefits of advanced computer programs or who are unwilling to accept tools or methodologies that have not been proven in the industry'. Other reasons that existed a few years before but no longer exist include the non user-friendly environment of available software [] and scientific doubts concerning NM from pure mathematicians [].

In this work, education of numerical methods is concerned in first and second cycles of higher education in CE. In the previous paragraphs we presented the importance of the numerical methods in civil (structural) engineering and even more in geotechnical engineering. In the next paragraphs, the implementation of NM in European CE schools is examined. A research in the study programs of the European schools that participate in EUCEET III, concerning NM, is presented and commented. A general description of courses concerning NM is also introduced. Then, a minimum curriculum requirement is discussed for every cycle of studies. Finally, some conclusions are given and a proposition is made for the implementation of the NM in education and subsequently in practice.

2. Research description and results

2.1. Research concerning NM in the European (Civil Engineering) study programs

This research includes the 72 educational institutes (EI) of the 105 institutes participating in EUCEET III. The resource of the research was the information that every Civil Engineering (CE) institute provides in its internet site. Every course related with numerical methods was distributed according to the cycle that was

internet. Fiecare curs despre metodele numerice a fost distribuit conform ciclului oferit și ca o categorie creată de autori. Pentru această lucrare, am creat trei categorii de cursuri: a) cursuri introductive despre analiza numerică (IC) b) Cursuri care prezintă MN în ingineria structurală în general (SC) și c) Cursuri care prezintă MN în ingineria geotehnică și alte geo-științe (GC).

offered and a category that created by the authors. For this work we created three categories of courses: a) Introductory courses in numerical analysis (IC) b) Courses evolving NM in structural engineering in general (SC) and c) Courses evolving NM in geotechnical engineering or other geoscience (GC).

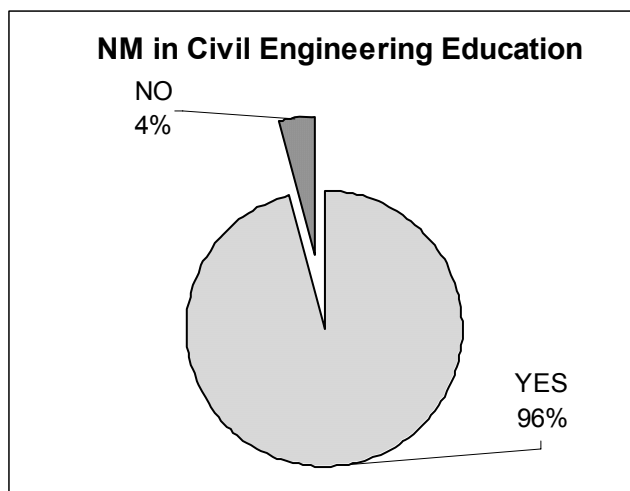


Figura 1: Diagramă procentajului de facultăți de inginerie care predau cursuri referitoare la MN sau AN în studii ale CE

Figure 2: Pie figure concerning percent of EI teaching any lesson concerning NM or NA in CE studies

Trebuie să recunoaștem că cercetarea se limitează la limbile engleză, franceză, germană, greacă. Există școli care predau cursuri în engleză numai la anumite niveluri (cicluri), astfel încât informațiile sunt oferite numai în această arie. Există de asemenea școli în care MN (în toate categoriile) reprezintă un curs autonom sau parte dintr-una dintre categoriile de mai sus. Ambele sunt incluse în cercetare.

It must be acknowledged that research is limited in languages (English, French, German, Greek). There are schools which give courses in English only in some of the levels (cycles) so information is given only in this area. There are also schools which NM (in all categories) are autonomous course or part of another in all above categories. Both were included in the research.

În programele de studiu în care ciclurile 1 și 2 nu sunt separate (programe de 5 ani), primii patru ani sunt considerați ca primul și ultimul ca al doilea. Un alt aspect important este că programele cu al doilea ciclu care sunt specializate în geosciințe au una sau mai multe GC. Trebuie de asemenea reținut că distribuția cursurilor în obligatorii,

In study programs that 1st and 2nd cycles are not discrete separated (5 year programs), the first 4 years are regarded as the 1st and the last as the 2nd. Another important notice is that 2nd cycle programs that are specialized in geosciences have one or more GC. It must be also noticed that distribution of courses in compulsory, elective or

opționale sau facultative nu se face cantitativ. Dar, în general, IC sunt de obicei cursuri obligatorii în programele de studiu cu ciclul al doilea specializate în domeniu (programe postuniversitare în Ingineria Structurală și respectiv Geotehnică).

2.2 Rezultate – Comentarii

Primul rezultat general care se poate obține din Figura 1 este că aproape toate Institutele CE au cel puțin un curs despre MN sau Analiza Numerică în General. Minoritatea de 4% constă în Institutele care extind curriculumul în cursuri de management.

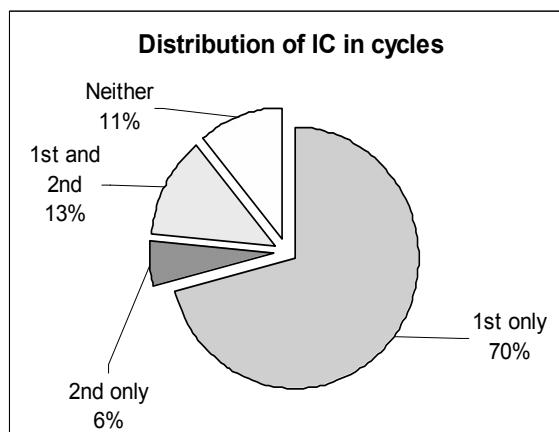
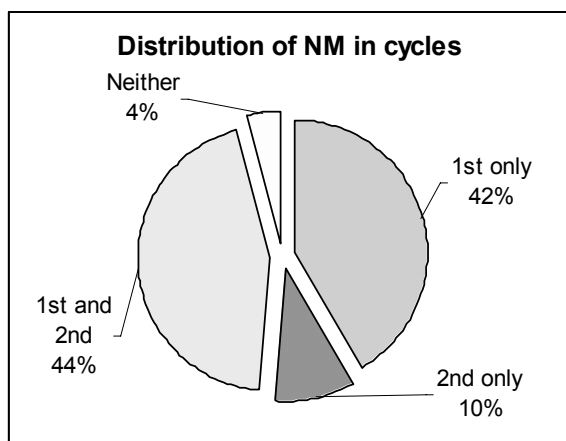
Figure 4 Include distribuția cursurilor în cicluri de studiu pentru fiecare categorie definită anterior (IC, SC, GC) și în general pentru cursurile MN. În Figure 4(a) putem observa că majoritatea acceptă importanța MN la orice nivel și le include în programe de studiu. Compararea dintre Figura 1 și Figure 4(a) indică faptul că 10% dintre Institute nu includ nicio lecție în primul ciclu de studii. Există Institute care consideră încă faptul că MN și Analiza Numerică în general nu pot fi considerate o parte fundamentală din studiile CE. Acestea le consideră cunoștințe speciale care trebuie predate în programele de studiu din ciclul al doilea.

facultative is not made in a quantitative manner. But, in general, IC are usually compulsory courses and SC and GC are usually elective or facultative courses. SC and GC are compulsory in 2nd cycle study programs specialized in the area (Post graduate programs in Structural or Geotechnical (Geoscience) Engineering respectively).

2.2 Results – Comments

A first general result that can be obtained from Figure 1 is that almost all CE Institutes have at least one course evolving NM or Numerical Analysis in general. The minority of 4% consists of Institutes that CE curriculum is extended in management courses.

Figure 4 includes the distribution of courses in the cycles of studies for every category defined previous (IC, SC, GC) and general for NM's courses. In Figure 4(a) can be seen that the majority of the EI accepts the importance of NM in any level and includes them in the study programs. Comparison of Figure 1 with Figure 4(a) shows that 10% of the Institutes do not include any lesson in the first cycle of studies. These are Institutes that still consider that NM and Numerical Analysis in general can not be considered as a fundamental part on CE studies. They consider it as special knowledge that must be taught in second cycle study programs.



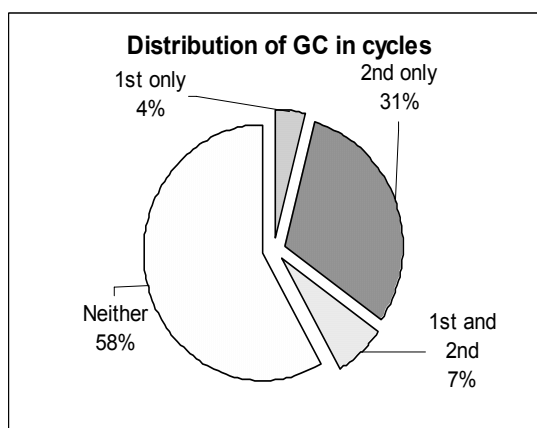
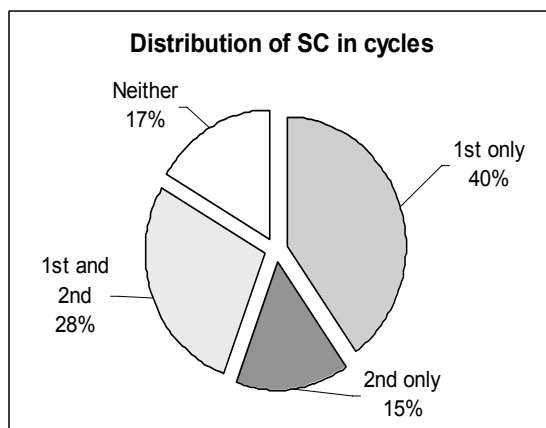


Figura 3: Diagramă referitoare la procentajul de predare a EI (a) orice tip de curs, (b) Cursuri introductive, (c) Cursuri structurale, (d) Cursuri geotehnice referitoare la MN sau AN în primul ciclu

Figure 4(b), Figure 4(c) și Figure 4(d) prezintă rezultatele ulterioare categorisirii cursurilor în cursuri din cicluri de studiu. Așa cum se poate observa în Figure 4(b), majoritatea EI au cel puțin un curs introductiv despre MN (ceea ce reprezintă un procentaj semnificativ), totuși există un procent de 17% care nu includ niciunul. Comparând Figure 4(a) și Figure 4(b), 3% din EI consideră cursurile introductive mai puțin necesare, deci sunt considerate ca făcând parte din cursurile de analiză structurală, geotehnică sau numerică (1%).

Rezultatele prezenței mai multor cursuri specifice de MN în primul ciclu sunt prezentate în Figure 4(c) și Figure 4(d). Așa cum indică Figure 4(c) majoritatea EI acceptă importanța predării MN în ingineria structurale în programele din primul ciclu. Cu toate acestea, predarea GC despre MN este semnificativă. Numai 11% din departamentele CE din EI consideră MN din Ingineria Geotehnică ca un curs fundamental. Compararea dintre Figure 4(c) și Figure 4(d) indică importanța MN pentru EI în SC și GC: în programele din primul ciclu se observă o diferență de 57%.

Figure 4(a) indică faptul că există 42% care include cursuri introductive despre MN numai în primul ciclu. Din

Figure 4: Pie figure concerning percent of EI teaching (a) any kind of course, (b) Introductory courses, (c) Structural Courses, (d) Geotechnical Courses concerning NM or NA in the first cycle

Figure 4(b), Figure 4(c) and Figure 4(d) show the results following the categorization of the courses in the cycles of studies. As can be seen in Figure 4(b), the majority of EI has at least one introductory course in NM (which is quite a significant percentage) however there are a 17% of them which do not include one. Comparing Figure 4(a) and Figure 4(b), the 3% of EI consider introductory courses to be less necessary therefore they are placed as part of structural, geotechnical or numerical analysis' courses (1%).

The results of the presence of more specific NM courses in the first cycle are shown in Figure 4(c) and Figure 4(d). As Figure 4(c) shows the majority of EI accepts the importance of teaching NM in structural engineering in first cycle programs. However the decrease of teaching GC on NM is significant. Only 11% of CE departments in EI consider NM in Geotechnical Engineering as a fundamental course. Comparison of Figure 4(c) and Figure 4(d) shows the importance for the EI of NM in SC and GC: in first cycle programs a difference of 57% is noticed.

Figure 4(a) shows that there is a 42% which includes introductory courses on NM only in the first cycle. From Figure 4(b) it can be

Figure 4(b) se poate observa că majoritatea IC sunt incluse în primul ciclu, care este un rezultat așteptat deoarece lecții introductive ar trebui predate în studiile fundamentale. Se pare că 13% din EI care au IC în ambele cicluri și 28% care au SC în ambele cicluri. Figure 4(c) indică faptul că SC sunt considerate un curs fundamental în CE deoarece este predat în majoritatea EI din primul ciclu. Cu toate acestea, cunoștințele SC pot fi sporite și în programele din ciclul al doilea (43%).

În ceea ce privește GC, din Figure 4(d) se poate spune că, cunoștințele specializate referitoare la MN și ingineria geotehnică sunt furnizate mai mult în programele din al doilea ciclu. EI consideră GC ca fiind cursuri specializate și deoarece cunoștințele de bază (IC și majoritatea SC) sunt incluse în programele din primul ciclu, majoritatea GC pot fi predate în programele din al doilea ciclu.

3. CONCLUZIE

Declarația “Implementarea modelării geotehnice avansate moderne (de la cercetare la practică) trece (numai) prin educație și instruire” este foarte implementată printre specialiștii din toate zonele. În 2005, un atelier de lucru a avut loc în Maryland, SUA, unde subiectul principal a fost implementarea modelării neliniare a Problemelor Geotehnice în practică. În cadrul acestei conferințe, Desai [] a propus o interacțiune mai bună între practică și teorie, între construcție, proiectare și cercetare. Această propunere este fundamentală pentru extinderea MN în general. Hueckel [] a propus încurajarea folosirii analizei numerice folosind FEM în cursurile de inginerie geotehnice la studenți, încurajarea folosirii modelării matematice la absolvenții de geotehnie (nu numai geomecanică) ca parte din educația nucleu, găsirea modalităților prin care industria majoră și cercetarea stimulează dezvoltarea

seen that most of the IC are included in first cycle, which is an expected result since introductory lessons should be given in the fundamental studies. Apparently there are 13% of EI that have IC in both cycles and 28% that have SC in both cycles. Figure 4(c) shows that SC are considered a fundamental course in CE since it is offered in the majority of EI in the first cycle. However knowledge of SC can be enhanced also in the second cycle programs (43%).

As far as GC are concerned, from Figure 4(d) can be supported that specialized knowledge regarding NM and geotechnical engineering is offered more in second cycle programs. EI consider GC as specialized courses and since the basic knowledge (IC and most of SC) is included in the first cycle programs, most of GC can be taught in second cycle programs.

3. CONCLUSION

The statement “The implementation of modern advanced geotechnical modelling (from research to practice) passes (only) through education and training” is something that is well stated among specialists of all areas. In 2005, a workshop took place in Maryland, USA, where the main topic was the implementation of non-linear modeling of Geotechnical Problems in practice. In this conference, Desai [] proposed better interaction between practice and theory, between construction, design and research. This proposal is fundamental for the broadness of the NM in general. Hueckel [] proposed encouragement of the use of numerical analysis using FEM in the undergraduate geotechnical engineering classes, encourage the use of mathematical modelling in the graduate geotechnical (not only geomechanical) classes as a part of required (core) course education, find the ways that major industry and research stimulate the development of new and use of the existing advanced mathematical models. As far as this work is concerned we

modelelor matematice noi și existente. În ceea ce privește această lucrare, rezumăm următoarele:

- Metodele numerice sunt o parte fundamentală a studiilor de inginerie în Institutele Academice Europene
- Programele europene de studiu includ cursuri introductive și structurale în studii fundamentale și cursuri structurale în studii din ciclul al doilea
- Cursurile geotehnice depind în special de programele de studiu din ciclul al doilea. Implementarea cursurilor geotehnice referitoare la metodele numerice din programele primului ciclului nu este bine stabilită.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Desai, C. și Christian, J.T. Metodele numerice în ingineria geotehnică, SUA: McGraw-Hill Inc., 1977
- [2] Crouch, J. R., Shenb, Y., Austinc, J.A., Dinnimand, M.S., Un model numeric educațional interactiv la Chesapeake Bay, Computers & Geosciences, 34, 3, 247-258 2008
- [3] Freund, L. B., Tranziția la educația și cercetarea ingineriei: Raport interimar de pe teren, In: I. Grenthe et al. (Eds), Știință, Tehnologie și Societate: Conducerea Universității Azi și pentru secolul al 21-lea, Stockholm: Institutul Regal de Tehnologie, 203-223, 1998
- [4] Arulmoli, A., Modelarea neliniară a interacțiunii dinamice sol-structură: Punct de vedere al practicianului. Rezumate și lucrări scurte ale atelierului de lucru asupra modelării neliniare ale problemelor geotehnice: De la Teorie la Practică, Maryland, USA, 3, 2005.
- [5] Oka, F., Analiză cuplată termo-hidro-mecanic a argilei folosind un model termo-elasto-vâscoplastic, Rezumate și lucrări scurte ale atelierului de lucru asupra modelării neliniare ale problemelor geotehnice: De la Teorie la Practică, Maryland, USA, 4 2005.

can summarize the following:

- Numerical Methods are a fundamental part of Civil Engineering studies in European Academic Institutes
- European study programs include mostly Introductory and Structural Courses in the fundamental studies and mostly Structural Courses in second cycle studies
- Geotechnical Courses are mostly related with second cycle study programs. Implementation of Geotechnical Courses concerning Numerical Methods in first cycle programs is not well established.

REFERENCES

- [2] Desai, C. and Christian, J.T. Numerical Methods in Geotechnical Engineering, USA: McGraw-Hill Inc., 1977
- [3] Crouch, J. R., Shenb, Y., Austinc, J.A., Dinnimand, M.S., An educational interactive numerical model of the Chesapeake Bay, Computers & Geosciences, 34, 3, 247-258 2008
- [4] Freund, L. B., Transitions in Engineering Education and Research: An Interim Report from the Field, In: I. Grenthe et al. (Eds), Science, Technology and Society: University Leadership Today and for the 21st Century, Stockholm: Royal Institute of Technology, 203-223, 1998
- [5] Arulmoli, A., Nonlinear Modelling of Dynamic Soil-Structure Interaction: A Practitioner's Viewpoint. Abstracts and short papers of Workshop on Nonlinear Modelling of Geotechnical Problems: From Theory to Practice, Maryland, USA, 3, 2005.
- [6] Oka, F., A Thermo-Hydro-Mechanically Coupled Analysis Of Clay Using A Thermo-Elasto-Viscoplastic Model, Abstracts and short papers of Workshop on Nonlinear Modelling of Geotechnical Problems: From Theory to Practice, Maryland, USA, 4 2005.
- [7] Vardoulakis, I. & Zervos, A., Numerical

- [6] Vardoulakis, I. & Zervos, A., Modelarea numerică folosind elasticitatea și plasticitatea gradient, Rezumate și lucrări scurte ale atelierului de lucru asupra modelării neliniare ale problemelor geotehnice: De la Teorie la Practică, Maryland, USA, 5-8, 2005.
- [7] Borja, R.I., Stabilitatea și unicitatea soluțiilor și implicațiile lor asupra modelării neliniare. Rezumate și lucrări scurte ale atelierului de lucru asupra modelării neliniare ale problemelor geotehnice: De la Teorie la Practică, Maryland, USA, 10-11, 2005.
- [8] Griffiths, D.V., Analiza probabilistică prin metoda elementelor finite: o abordare mai rațională pentru luarea deciziilor în analiza geotehnică, Rezumate și lucrări scurte ale atelierului de lucru asupra modelării neliniare ale problemelor geotehnice: De la Teorie la Practică, Maryland, USA, 58-59, 2005.
- [9] Muir Wood, D., Modelarea neliniară a solurilor, Rezumate și lucrări scurte ale atelierului de lucru asupra modelării neliniare ale problemelor geotehnice: De la Teorie la Practică, Maryland, USA, 43-48, 2005.
- [11] Kavvadas, M., Note de curs asupra fundațiilor superficiale și adânci (în grecește). Atena: NTUA, 2005,
- [11] Kavvadas, M., Note de curs asupra metodelor numerice în ingineria geotehnică Atena: NTUA, 2005.
- [12] Felice, C., Starea modelării numerice în practică: punctul de vedere al practicanților. Rezumate și lucrări scurte ale atelierului de lucru asupra modelării neliniare ale problemelor geotehnice: De la Teorie la Practică, Maryland, USA, 95-101 2005.
- [13] Budhu, M., Tehnici numerice și de vizualizare în educația despre ingineria geotehnică, Sesiunea Geo-Denver 2000, (Probleme educaționale din ingineria geotehnică (GSP 109)), Denver, USA, 39-47 2000,
- [14] Gershinowitz, H., Matematicieni în Modelling Using Gradient Elasticity And Plasticity, Abstracts and short papers of Workshop on Nonlinear Modelling of Geotechnical Problems: From Theory to Practice, Maryland, USA, 5-8, 2005.
- [8] Borja, R.I., Stability and uniqueness of solutions and their implications to nonlinear modelling. Abstracts and short papers of Workshop on Nonlinear Modelling of Geotechnical Problems: From Theory to Practice, Maryland, USA, 10-11, 2005.
- [9] Griffiths, D.V., Probabilistic analysis by the random Finite Element Method: A more rational approach to decision making in geotechnical analysis and design, Abstracts and short papers of Workshop on Nonlinear Modelling of Geotechnical Problems: From Theory to Practice, Maryland, USA, 58-59, 2005.
- [10] Muir Wood, D., Nonlinear Modelling Of Soils, Abstracts and short papers of Workshop on Nonlinear Modelling of Geotechnical Problems: From Theory to Practice, Maryland, USA, 43-48, 2005.
- [11] Kavvadas, M., Lecture Notes on Shallow and Deep Foundations (in Greek). Athens: NTUA, 2005,
- [12] Kavvadas, M., Lecture Notes on Numerical Methods in Geotechnical Engineering, (in Greek). Athens: NTUA, 2005.
- [13] Felice, C., State of numerical modelling in practice: one practitioners point of view. Abstracts and short papers of Workshop on Nonlinear Modelling of Geotechnical Problems: From Theory to Practice, Maryland, USA, 95-101 2005.
- [14] Budhu, M., Numerical and Visualization Techniques in Geotechnical Engineering Education, Proc. of Sessions of Geo-Denver 2000, (Educational Issues in Geotechnical Engineering (GSP 109)), Denver, USA, 39-47 2000,
- [15] Gershinowitz, H., Mathematicians in the Petroleum Industry, Proceedings of Conference on training of Applied Mathematics, New York, USA, 81-83, 1953
- [16] Desai, C., Nonlinear and Constitutive

industria petrolului, Conferința despre predarea matematicii aplicate, New York, USA, 81-83, 1953

[15] Desai, C., Modelarea neliniară și constitutivă din ingineria geotehnică: Fundamente ale aplicării. Rezumate și lucrări scurte ale atelierului de lucru asupra modelării neliniare ale problemelor geotehnice: De la Teorie la Practică, Maryland, USA, 12-18 2005.

[16] Hueckel, T., Modele matematice pentru practica geo-ingineriei: proiectele mari și parametrii sunt cheia, Rezumate și lucrări scurte ale atelierului de lucru asupra modelării neliniare ale problemelor geotehnice: De la Teorie la Practică, Maryland, USA, 52-56, 2005.

Modelling In Geotechnical Engineering: Fundamentals Through Application. Abstracts and short papers of Workshop on Nonlinear Modelling of Geotechnical Problems: From Theory to Practice, Maryland, USA, 12-18 2005.

[17] Hueckel, T., Mathematical Models for Geo-Engineering Practice: Big Projects and Constitutive Parameters are the Key, Abstracts and short papers of Workshop on Nonlinear Modelling of Geotechnical Problems: From Theory to Practice, Maryland, USA, 52-56, 2005.