

## ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

<b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b>
<p>1. Датум и орган који је именовao комисију 16.7.2015. године, Наставно-научно веће Природно-математичког факултета Универзитета у Новом Саду</p> <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <p>1. др Хелена Зарин, редовни професор Природно-математичког факултета Универзитета у Новом Саду, ужа научна област нумеричка математика, изабрана у звање 1.12.2013, председник</p> <p>2. др Драгослав Херцег, редовни професор Природно-математичког факултета Универзитета у Новом Саду, ужа научна област нумеричка математика, изабран у звање 25.5.1989, ментор</p> <p>3. др Љиљана Теофанов, ванредни професор Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду, ужа научна област математика, изабрана у звање 1.12.2014, члан</p> <p>4. Torsten Linss, Ph.D. Full Professor, Fern Universitaet Hagen, Germany, member (редовни професор Универзитета у Хагену, члан)</p>
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме Горан, Слободан, Радојев</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава 20.5.1979, Нови Сад, Србија</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду, студијски програм: професор математике, стручни назив: професор математике</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: -</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране Природно-математички факултет Универзитета у Новом Саду, „Повишење тачности сплајн диференцне шеме за решавање контурних СПП“, нумеричка математика, 6.7.2010.</p> <p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: Нумеричка математика</p>

**III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**  
**III TITLE OF THE DOCTORAL DISSERTATION**

Колокациони поступци за решавање сингуларно пертурбованих проблема  
*Collocation methods for solving singularly perturbed problems*

**IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**  
**IV OVERVIEW OF THE DOCTORAL DISSERTATION**

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикана и сл.

Докторска дисертација је написана на 134 стране на српском језику. Садржи 6 поглавља у следећем редоследу:

1. Увод / Introduction
2. Преглед основних дефиниција и теорема / Overview of the background material
3. Полиномни сплајнови / Polynomial splines
4. Адаптивне мреже / Layer-adapted meshes
5. Сплајн колокациони поступци за СПП / Spline collocation for SPP
6. Колокациони поступак за 2Д проблем реакције-дифузије / Collocation method for 2D reaction-diffusion problem.

Дисертација садржи и библиографију са 84 библиографске јединице, биографију кандидата, 23 слике, 69 табела и два прилога. Поред наведеног, садржи и кључне документацијске информације на српском и енглеском језику, предговор, захвалницу и списак ознака.

*The doctoral dissertation contains 134 pages and is written in Serbian. It is made up of 6 chapters listed above. Besides that, the dissertation contains the bibliography with 84 references, short biography of the candidate, 23 figures, 69 tables, two appendices, key words documentation both in Serbian and English, preface, acknowledgements and notation.*

**V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**  
**V EVALUATION OF THE INDIVIDUAL PARTS OF THE DOCTORAL DISSERTATION**

Наслов докторске дисертације је јасно формулисан и одражава текст и садржај истраживања.

*The title of the dissertation is clearly formulated and corresponds to the content and research presented in the dissertation.*

У предговору дисертације је укратко представљена мотивација за изучавање сингуларно пертурбованих проблема (СПП) и дат је кратак преглед садржаја.

*Preface of the thesis in brief presents a motivation for studying singularly perturbed problems (SPPs) together with a short thesis summary.*

Након уведених најчешће коришћених ознака, у првом поглављу Увод је представљен предмет изучавања дисертације – линеарни проблем реакције-дифузије у једној и две димензије. Наведени су основни циљ и приступи у конструкцији поступака за нумеричко решавање СПП. Потом је дат приказ постојећих резултата из литературе који се односе на примену колокационих метода са сплајновима различитог степена и глаткости на слојно-адаптивним мрежама. Осим што су истакнути главни резултати добијени у дисертацији, описане су и друге врсте дискретизација проблема (коначно-диференци поступци, поступци коначних елемената) у циљу каснијег поређења са оригиналним резултатима тезе. Избор референци за једнодимензионалне проблеме је добро одабран и обухвата најважније савремене методе. За проблеме у две димензије је наведен ограничен списак познатих резултата у литератури, а уочен је и недостатак приказа опште апостериорне анализе за несингуларно пертурбоване проблеме.

*After introducing necessary notation, in the first chapter Introduction, the research topic of the dissertation has been presented – linear reaction-diffusion problems in one and two dimensions. The aim of the research as well as different approaches in the construction of numerical methods for SPPs have been described. A review of the existing results from the literature on spline collocation methods*

*with various degrees and smoothness on different meshes has been given. Besides indicating main results in the dissertation, different problem discretizations (finite difference, finite element methods) have been described in order to further provide comparison with the original results of the thesis. For one-dimensional problems, the cited references are well-chosen, containing most important methods. For problems in two dimensions, a limited list of references has been presented; moreover, there is a lack of a review of a posteriori analysis in a more general non-singular case.*

Наредно поглавље је посвећено прегледу изабраних ознака, дефиниција, особина и тврђења из области интерполације, Лежандрових полинома, матрица, као и прегледу основних појмова везаних за граничне слојеве код СПП и конструкцију слојно-адаптивних мрежа.

*The next chapter is devoted to an overview of notation, definitions, properties and theorems on interpolation theory, Legendre polynomials, matrices, as well as to a short review of basics related to layers in singularly perturbed problems and a construction of layer-adapted meshes.*

У Глави 3 су најпре представљени полиномни сплајнови и наведене су неке од познатих особина, са посебним освртом на Б-сплајнове. За различите степене полинома ( $k = 2,3,4$ ), дати су елементи базе одговарајућих векторских простора  $C^1$ -сплајнова чије су додатне особине наведене у Прилогу А. Ради уопштења приказа сплајна произвољног степена класе  $C^1$ , изведена је и база која укључује Хермитске сплајнове и bubble функције. На крају ове главе су доказана тврђења која се односе на две врсте квадратне сплајн интерполације.

*In Chapter 3, polynomial splines have been introduced together with some of the well-known properties, with special emphasis on B-splines. For different polynomial degrees ( $k = 2,3,4$ ), basis elements of the corresponding vector spaces of  $C^1$ -splines have been given. Appendix A contains additional properties of these functions. In order to generalize representation of arbitrary order  $C^1$ -splines, a basis that includes Hermite splines and bubble functions has been derived. This chapter ends with theorems on properties of two classes of quadratic spline interpolations.*

У четвртом поглављу тезе описане су познате мреже дискретизације типа Шишкина и Бахвалова за једнодимензионални проблем реакције-дифузије: стандардна Шишкинова мрежа, модификована Шишкинова мрежа, мрежа Бахвалова и Вулановићева мрежа. Као алтернатива, представљена је и рекурзивно генерисана мрежа која је у дисертацији адаптирана за посматрани проблем. У помоћним тврђењима су изведене особине корака мреже, установљена је веза између пертурбационог параметра и параметара мреже, и уведена је теоријска претпоставка о конструкцији одређених тачака рекурзивно генерисане мреже. Оправданост увођења ове претпоставке није уочена у нумеричким експериментима.

*In the fourth chapter, the layer-adapted meshes of Shishkin- and Bakhvalov-type for a one-dimensional reaction-diffusion problem have been described: standard Shishkin mesh, modified Shishkin mesh, Bakhvalov mesh and Vulcanović mesh. As an alternative to previous meshes, a recursively generated mesh has been introduced, now adapted for the considered problem. Lemmata on properties of mesh step sizes have been proved, a relation between perturbation parameter and mesh parameters has been established, and a theoretical assumption on construction of certain mesh points has been introduced. The necessity for introducing this assumption has not been observed in numerical experiments.*

Оригинални допринос дисертације приказан је у последње две главе. Глава 5 је посвећена нумеричкој анализи и примени сплајн колокационих поступака за линеарни проблем реакције-дифузије у једној димензији. Уз познате информације о понашању тачног решења и његових извода, за довољно глатке полазне функције доказане су теореме о грешци интерполације за две врсте квадратног интерполанта на модификованој Шишкиновој и рекурзивно генерисаној мрежи. Потом је представљен колокациони поступак који генерише приближно решење у облику  $C^1$ -квадратног сплајна. Поред стабилности одговарајућег дискретног оператора, у супремум норми су доказане униформна априорна оцена грешке на поменутом мрежама, потом две апостериорне оцене грешака на произвољној мрежи и приказан је адаптивни алгоритам који користи апостериорне информације. Добијени резултати су верификовани већим бројем добро одабраних нумеричких експеримената, а извршено је и неопходно поређење представљеног поступка са изабраним методама из Увода. Оригинални резултати овог дела тезе који се односе само на модификовану Шишкинову мрежу су публиковани у *Numerical Algorithms* (M21 часопис са SCI листе). У истом поглављу је у наставку приказан и колокациони поступак са  $C^1$ -

сплајновима произвољног степена за који је доказана апостериорна оцена грешке. Овај део дисертације завршавају изабрани нумерички експерименти који потврђују теоретски добијене оцене, док је више резултата издвојено у 28 табела и представљено у Прилогу Б. Сва тестирања (у овом и наредном поглављу) су обављена у програмским пакетима *Mathematica* и *Matlab*.

*The original contribution of this dissertation is presented in the last two chapters. Chapter 5 is devoted to numerical analysis and application of spline collocation methods on the linear one-dimensional reaction-diffusion problem. With a priori information on the solution behavior and for sufficiently smooth data functions, theorems on interpolation errors have been proved. These theorems consider two classes of quadratic interpolants on the modified Shishkin mesh and recursively graded mesh. After presenting a  $C^1$ -spline collocation method, stability of the corresponding discrete operator has been confirmed. Moreover, in the supremum norm, a priori uniform error estimates have been proved on the aforementioned meshes together with two a posteriori error bounds on general meshes. An adaptive algorithm that uses a posteriori information has been applied. Theoretical results have been verified on a large number of well-chosen numerical examples, together with an inevitable comparison of the presented method with methods from Introduction. The original results from this part of the dissertation related to modified Shishkin mesh have been published in Numerical Algorithms (M21 journal from the SCI list). In the sequel, an a posteriori error estimate has been proved for a collocation method with arbitrary order  $C^1$ -splines. This chapter ends with selected numerical tests that confirm theoretical results, while more experiments have been summarized in 28 tables given in Appendix B. All tests (both in Chapters 5 and 6) have been performed in Mathematica and Matlab.*

Последње поглавље је посвећено дводимензионалном линеарном проблему реакције-дифузије и његовом нумеричком решавању помоћу колокационог поступка са  $C^1$ -биквадратним сплајновима. Осим представљања одговарајућег дискретног проблема и навођења познатих резултата о Гриновој функцији, у наставку је доказана теорема о апостериорној оциени грешке, што представља оригинални резултат овог дела тезе. На једном тест примеру са познатим глатким тачним решењем су приказани резултати нумеричких експеримената на мрежама описаним у трећој глави. Експериментално је потврђена и униформна конвергенција разматраног поступка, без извођења и дискусије о априорној оциени грешке. Приказани индекс ефикасности, за разлику од претходног поглавља, овде губи на релевантности услед зависности од непознатих константи из оцена Гринево функције. На другом тест примеру је извршено поређење са дискретизацијом познатом у литератури и изведен је закључак о добијеним резултатима. Како је ово поглавље посвећено нумеричкој анализи парцијалних диференцијалних једначина, релевантнији тест примери би требали да укључе тачна решења мање глаткости, која, на пример, задовољавају услове компатибилности само нултог и првог реда.

*The last chapter has been devoted to a two-dimensional linear reaction-diffusion problem and its numerical solving with a collocation method with  $C^1$ -biquadratic splines. After deriving the corresponding discrete problem and citing results on Green's function, an original theorem on a posteriori estimate has been proved. On a single test problem with a known smooth exact solution, the method has been tested on meshes from the third chapter. A uniform convergence has been experimentally confirmed, without its proof or a discussion on a priori analysis. Unlike the previous chapter, the efficiency index here loses its relevance due to the presence of unknown constants in bounds of the Green's function. On the second test example, a comparison with a well-known discretization has been given and a conclusion has been derived. Since this chapter covers the numerical analysis of partial differential equations, a more realistic tests with exact solutions with less smoothness (e.g. with only zero- and first-order compatibility conditions) should have been included.*

## **VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ**

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

T. Linss, **G. Radojev**, and H. Zarin. "Approximation of singularly perturbed reaction-diffusion problems by quadratic  $C^1$ -splines", Numerical Algorithms 61 (1) (2012), 35–56. (M21)

T. Linss, **G. Radojev**. "Robust a posteriori error bounds for spline collocation applied to singularly perturbed reaction-diffusion problems", accepted for publication in Electronic Transactions on Numerical Analysis (M21)

**VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА**  
**VII CONCLUSION I.E. RESULTS OF THE RESEARCH**

Проблеми који су посматрани у овој докторској дисертацији су стационарни сингуларно пертурбовани проблеми без првог извода у једној и две димензије и добијени су следећи резултати:

- За једнодимензионални случај је приказан колокациони поступак са  $C^1$ -квадратним сплајновима који користи средине интервала као колокационе тачке. Униформна априорна оцена грешке у максимум норми је доказана на модификованој Шишкиновој и рекурзивно генерисаној мрежи. Потом су изведене апостериорне оцене грешака на произвољним мрежама дискретизације и примењен је адаптивни алгоритам.
- За једнодимензионални случај је такође приказан и колокациони поступак са  $C^1$ -сплајновима произвољног степена који користи нуле Лежандрових полинома као колокационе тачке. Доказана је апостериорна оцена грешке у супремум норми, примењен је и адаптивни алгоритам, док је априорна оцена грешке нумерички потврђена.
- У дводимензионалном случају је проблем постављен на јединичном квадрату и дискретизован је помоћу колокационог поступка са  $C^1$ -биквадратним сплајновима. Као колокационе тачке се користе тежишта правоугаоника мреже. Сложенијом анализом је показано да се идеје из једнодимензионалног случаја могу применити на сличан начин и доказати апостериорна оцена грешке у максимум норми на произвољној мрежи дискретизације.
- Сви теоретски резултати су нумерички верификовани на бројним примерима, варирајући посматрани тест проблем, слојно-адаптивне мреже и одговарајући број тачака, степене сплајнова, као и вредности пертурбационог параметра. Експериментална поређења са познатим нумеричким методама показују ефикасност овако конструисаних колокационих поступака, а као њихова предност наводи се и  $C^1$ -глаткост добијеног нумеричког решења.

*In this dissertation, stationary singularly perturbed problems without first-order derivatives in one and two dimensions have been considered and the following results have been obtained:*

- *In a one-dimensional case, a  $C^1$ -quadratic spline collocation method has been introduced that uses midpoints of mesh subintervals as collocation points. A uniform a priori error estimate in the maximum norm has been proved on a modified Shishkin mesh and recursively graded mesh. A posteriori error estimates have also been derived on arbitrary meshes and an adaptive algorithm has been applied.*
- *Moreover, for the one-dimensional case, an arbitrary order  $C^1$ -spline collocation method has been derived that uses zeroes of Legendre polynomials as collocation points. Similarly, a posteriori error bounds in the supremum norm have been proved, the adaptive algorithm has been implemented, while a priori estimate has been numerically demonstrated.*
- *In the two-dimensional case, the problem has been posed on a unit square and further discretized with a  $C^1$ -biquadratic spline collocation method. The midpoints of the mesh rectangles are chosen as collocation points. Application of a more sophisticated analysis shows that the ideas from a one-dimensional case can be similarly applied. Thus, on an arbitrary discretization mesh, a posteriori error estimate in the maximum norm has been proved.*
- *All theoretical results have been numerically verified on a large number of experiments, varying test problems, layer-adapted meshes and corresponding number of mesh points, spline degrees as well as values of the perturbation parameter. Experimental comparison with other numerical methods shows the efficiency of the aforementioned collocation methods; moreover, a  $C^1$ -smoothness of numerical approximations has been indicated as their additional advantage.*

**VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА**  
**VIII EVALUATION OF THE PRESENTATION AND INTERPRETATION OF THE RESULTS**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.  
*Explicitly give a positive or negative evaluation of the presentation and interpretation of the research results.*

Резултате истраживања добијених у овој докторској дисертацији, кандидат је приказао систематично и прегледно. Изложена материја је представљена на адекватан начин и за проблеме у једној димензији извршена је добра селекција литературе са познатим резултатима. Теоретски резултати су математички коректно доказани кроз више лема и теорема, а оцене из оригиналних тврђења су тестиране на већем броју примера. Резултати експеримената су приказани табеларно и графички, и изведени су јасни и прецизни закључци. И поред уоченог недостатка о назнаци могућих даљих праваца истраживања, комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.

*The research results obtained in this doctoral dissertation have been clearly and systematically presented by the candidate. The material of the thesis has been adequately laid out and, for problems in one dimension, a good choice of reference list has been made. Theoretical results have been correctly proved through a number of lemmata and theorems. The estimates from the original assertions have all been tested on a large number of numerical examples. The results of experiments have been presented in tables and figures, and clear and precise conclusions have been further derived. Despite a lack of indication of possible future research directions, the Committee positively evaluates the presentation and interpretation of the research results.*

**IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**  
**IX FINAL EVALUATION OF THE DOCTORAL DISSERTATION**

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање.

*Explicitly state whether or not the dissertation is written in accordance with the provided elaboration, as well as whether or not it contains all of the relevant elements. Provide clear, precise, and concise answers to questions 3 and 4.*

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?

*1. Is the dissertation written in accordance with the elaboration stated in the submission of the topic of the dissertation?*

Докторска дисертација је у написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

*The doctoral dissertation is written in accordance with the elaboration stated in the submission of the topic of the dissertation.*

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

*2. Does the dissertation contain all of the relevant elements?*

Докторска дисертација је прегледно и добро написана. Организована је у шест поглавља, при чему већина материјала у прва четири поглавља има за циљ да упозна читаоца са темом истраживања, ознакама и већ познатим резултатима. Сва оригинална тврђења су доказана, а докази су математички коректно изведени. Списак литературе на крају дисертације се састоји од 84 референце које су у тексту цитиране на исправан начин. Према свом садржају и наведеним аргументима, докторска дисертација задовољава критеријуме за стицање докторског звања из области математичких наука.

*The doctoral dissertation has been systematically and well written. It has been organized in six chapters, where most of the material of the first four chapters aims to introduce a reader to a research topic, notation and already known results. All the original assertions have been proved and the proofs have been carried out mathematically correct. The literature at the end of the dissertation consists of 84 references that have been correctly cited within the text. According to its content and arguments, the doctoral dissertation satisfies the requirements in obtaining the PhD degree in mathematical sciences.*

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

3. *In what way does the dissertation constitute an original contribution to science?*

Дисертација садржи оригинални научни допринос из области нумеричке математике. Дефинисани су колокациони поступци са  $C^1$ -сплајновима произвољног степена за проблеме реакције-дифузије. Извршена је њихова теоријска анализа и показане су: априорна оцена за квадратне сплајнове и униформна конвергенција (скоро) другог реда на модификованој Шишкиној и рекурзивно генерисаној мрежи, апостериорна оцена грешке за сплајнове произвољног степена (у једној димензији) и биквадратне сплајнове (у две димензије) на произвољној мрежи дискретизације. Теоријски резултати су експериментално потврђени на релевантним примерима.

*The dissertation contains an original scientific contribution in the field of numerical mathematics. Collocation methods with arbitrary order  $C^1$ -splines for the reaction-diffusion problems have been introduced. Theoretical analysis of these methods has been carried out and the following results have been proved: a priori estimate for quadratic splines and uniform convergence of (almost) second order for the modified Shishkin and recursively graded mesh, a posteriori estimates for splines of arbitrary order (in one dimension) and biquadratic splines (in two dimensions) on an arbitrary mesh. Theoretical results have been experimentally verified on relevant examples.*

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

4. *The shortcomings of the dissertation and their influence on the results of the research*

Комисија уочава недостатак ширег списка референци посвећеног нумеричком решавању дводимензионалних проблема реакције-дифузије и опште апостериорне анализе. Извођење априорне оцене грешке код рекурзивне мреже изискује увођење теоретске претпоставке која није и нумерички оправдана, што намеће закључак о потреби другачијег приступа. Осим тога, изостављен је и осврт на априорну анализу проблема у две димензије, као и проблема конвекције-дифузије као још једне класе сингуларно пертурбованих проблема. Наведена проблематика свакако отвара више нових поља рада која могу да представљају предмет даљег научног истраживања кандидата, те не утиче на добијене резултате истраживања.

*The Committee has noted a lack of a wider list of references corresponding to numerical solving of two-dimensional reaction-diffusion problems as well as general a posteriori analysis. The proof of a priori error estimate on a graded mesh requires a theoretical assumption that has not been numerically justified, thus suggesting that another approach should be applied. Moreover, there is a shortcoming of a discussion on a priori analysis for problems in two dimensions, and also on convection-diffusion problems, yet another class of singularly perturbed problems. These remarks indicate to open problems that can represent tasks for future research, without influence on the research results of this dissertation.*

**X ПРЕДЛОГ**  
**X PROPOSAL OF THE COMMITTEE**

На основу укупне оцене дисертације, Комисија предлаже да се докторска дисертација кандидата Горана Радојева, под називом *Колокациони поступци за решавање сингуларно пертурбованих проблема*, прихвати, а кандидату одобри одбрана.

Based on the overall evaluation of the dissertation, this Committee suggests that the doctoral dissertation of the candidate Goran Radojev, entitled *Collocation methods for solving singularly perturbed problems*, be accepted, and the candidate be granted the right to defend it.

У Новом Саду, 14.10.2015.

---

др Хелена Зарин  
редовни професор ПМФ-а у Новом Саду  
председник

---

др Драгослав Херцег  
редовни професор ПМФ-а у Новом Саду  
ментор

---

др Љиљана Теофанов  
ванредни професор ФТН-а у Новом Саду  
члан

---

Torsten Linss, PhD  
Full Professor, Fern Universitaet Hagen  
member