

РЕЦЕНЗИЈА
НА РАКОПИСОТ „МОДЕЛИРАЊЕ ВО РУДАРСТВОТО“ ОД ВОНРЕДЕН
ПРОФЕСОР ВАНЧО АЏИСКИ, ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ
НАУКИ, УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ ВО ШТИП

Врз основа на одредбите од Статутот и Правилникот за единствените основи за остварување на издавачката дејност на Универзитет „Гоце Делчев“ во Штип, како и Одлуката бр.1702-6614 од 86. редовна седница на Наставно-научниот совет на Факултетот за природни и технички науки, одржана на 23.2.2026 година, избрана е Рецензентска комисија во состав:

- д-р Зоран Десподов, редовен професор на Факултет за природни и технички науки при Универзитет „Гоце Делчев“ во Штип, избран во научната област подземна експлоатација;

- д-р Раде Токалиќ, редовен професор на Рударско-геолошки факултет, Универзитет во Белград, Р Србија, избран во научната област изработка на подземни рударски простории и рударски материјали

за изготвување на извештај, рецензија на приложениот ракопис „МОДЕЛИРАЊЕ ВО РУДАРСТВОТО“ од **вонр. проф. д-р Ванчо Аџиски**, наменет за студентите на прв циклус студии на Факултет за природни и технички науки при Универзитет „Гоце Делчев“ во Штип.

Ракописот со наслов „МОДЕЛИРАЊЕ ВО РУДАРСТВОТО“ припаѓа во научната област подземна експлоатација (2.07.03.04) според меѓународната Фраскатијева класификација.

По прегледот на ракописот, Комисијата до Наставно-научниот совет на Факултет за природни и технички науки го поднесува следниов

ИЗВЕШТАЈ

Општи податоци за ракописот: Учебникот со наслов „Моделирање во рударството“ од вонр. проф. д-р Ванчо Аџиски е наменет за студентите на прв циклус студии на Факултет за природни и технички науки при Универзитет „Гоце Делчев“ во Штип. Предметот според Наставната програма е предвиден да се слуша во петтиот семестар, со неделен фонд на часови кој изнесува 2+1+1. Доставениот текст е целосно подготвен во согласност со пропишаната Наставна програма за горенаведениот предмет и според барањата кои се поставуваат пред студентите во рамки на предметот, а се однесуваат на основните принципи, методи и примена на моделирањето во рударството. Ракописот ја опфаќа наставната материја потребна за стекнување теоретски и практични знаења од областа на моделирањето, симулацијата и анализата на системи во рударското инженерство.

Податоци за обемот на ракописот: Учебникот „Моделирање во рударството“ од авторот вонр. проф. д-р Ванчо Аџиски е напишан на македонски стандарден јазик, со компјутерски обработен текст, што овозможува лесно читање и следење на презентираниот материјал. Ракописот е наменет за студентите на прв циклус студии на Факултет за природни и технички науки при Универзитет „Гоце Делчев“ во Штип.

Ракописот е напишан на вкупно 312 страници, систематизиран во 9 поглавја, и содржи 83 слики и 11 табели, кои соодветно ја надополнуваат

и визуелно ја појаснуваат обработената наставна содржина. Материјалот е конципиран согласно со наставната содржина на предметот и овозможува систематско изучување на основните принципи, методи и примени на моделирањето и симулацијата во рударското инженерство.

Учебникот е пишуван согласно со Упатството за техничко уредување на учебници и учебни помагала во електронска форма (ОИДК.ОБ.15), подготвен е во А4 формат и технички е уреден на прегледен начин, со јасна структура на поглавјата, сликите, табелите и користената литература. Техничкото уредување на ракописот е на соодветно ниво и овозможува прегледност на изложениот материјал во целост.

Како Рецензентска комисија сметаме дека обемот на ракописот и неговата содржина ги задоволуваат критериумите согласно со предвидениот број на часови и одредбите од Правилникот за единствените основи за остварување на издавачката дејност на Универзитет „Гоце Делчев“ во Штип.

Податоци за постоење на сличен или ист наслов: Овој учебник е прв од ваков вид и со ваква содржинска концепција, наменет за студентите на прв циклус студии на Факултетот за природни и технички науки при Универзитет „Гоце Делчев“ во Штип, кој систематски ја обработува проблематиката на моделирањето, симулацијата и анализата на системи во рударството.

Потребата од објавување на овој учебник произлегува од современите барања во рударското инженерство, каде што моделирањето и симулацијата претставуваат значајни алатки за анализа, планирање, оптимизација и донесување инженерски одлуки. Содржината на ракописот е приспособена на наставната материја и овозможува студентите да стекнат основни теоретски и практични знаења за системскиот пристап, математичкото моделирање, симулациските методи и нивната примена во рударски процеси и системи.

Ракописот има посебна вредност, бидејќи ја поврзува општата теорија на моделирање и симулација со примери и објаснувања релевантни за рударството. На тој начин, учебникот ќе претставува значаен наставен ресурс за студентите, но и корисна литература за наставниците и стручните лица кои се занимаваат со анализа, моделирање и оптимизација на рударски системи. Со неговото објавување ќе се надополни потребата од соодветна литература на македонски јазик од оваа област.

Краток опис на содржината: Во воведниот дел од учебникот се истакнува значењето на моделирањето и симулацијата како основни алатки за разбирање, предвидување и подобрување на сложените рударски системи. Авторот ја нагласува потребата од системски пристап при анализа на рударските процеси, кои се карактеризираат со голем број компоненти, временска променливост, повратни влијанија и неизвесност. Во овој дел се објаснува улогата на моделот како репрезентација на реалниот систем и улогата на симулацијата како безбеден и економичен начин за испитување на различни сценарија.

Посебно внимание е посветено на поврзаноста меѓу теоретските основи и инженерската практика, преку објаснување на клучните поими како изворен систем, модел, симулатор и експериментална рамка. Во воведот се истакнува и значењето на изборот на соодветен формализам, нивото на деталност, верификацијата, валидацијата и примената на современи податочни и софтверски алатки. На тој начин, воведниот дел ја поставува основната

концептуална рамка на учебникот и ја насочува содржината кон практична примена на моделирањето и симулацијата во рударското инженерство.

Поглавје 1 - Вовед во системи. Во ова поглавје се обработуваат основните поими поврзани со системите и системскиот пристап, како основа за понатамошно разбирање на моделирањето и симулацијата во рударството. Системот е дефиниран како збир на меѓусебно поврзани компоненти кои разменуваат материја, енергија и информации, при што рудникот е претставен како типичен пример на сложен, отворен и динамичен систем. Разгледани се границата на системот, компонентите, интеракциите, околината, влезните и излезните параметри, како и пристапите на анализа преку „црна кутија“ и „бела кутија“.

Понатаму, обработена е класификацијата на системите според временската рамка, сложеноста, природата на компонентите, видот на интеракциите и присутната неизвесност. Посебно внимание е посветено на линеарните и нелинеарните системи, временски променливите и временски независните системи, континуираните и дискретните системи, како и детерминистичките и стохастичките системи. Исто така, разгледани се тврди и меки системи, анализа и синтеза на системи, основите на системската филозофија и значењето на системското размислување за разбирање и управување со комплексни инженерски и рударски процеси.

Поглавје 2 - Моделирање на системи. Во ова поглавје се обработуваат основните принципи на моделирањето на системи, со посебен акцент на неговата примена во рударството. Моделирањето е објаснето како процес на апстракција на реален систем, преку кој може да се анализираат, предвидуваат и оптимизираат различни рударски процеси без изведување скапи, ризични или временски интензивни експерименти во реални услови. Разгледани се улогата на математичките модели, значењето на променливите, претпоставките и границите на системот, како и односот помеѓу едноставноста и точноста на моделот.

Понатаму, објаснета е потребата од моделирање на системи, особено во случаи кога директното експериментирање е прескапо или опасно, како што се анализата на стабилноста на рударски косини, оптимизацијата на транспортни рути, проценката на производството и моделирањето на процеси за преработка на минерални суровини. Разгледани се и различни методи за моделирање на комплексни системи, вклучувајќи математички модели, модели базирани на вештачки невронски мрежи и фази модели. Исто така, прикажана е класификацијата на моделите според нивната природа и примена, како физички и апстрактни модели, математички и описни модели, статички и динамички модели, стабилни и преодни модели, детерминистички и стохастички модели, како и континуирани и дискретни модели.

Поглавје 3 - Рамка за моделирање и симулација. Во ова поглавје е обработена рамката за моделирање и симулација, преку дефинирање на основните ентитети и нивните меѓусебни односи. Објаснети се клучните поими: изворен систем, модел, симулатор и експериментална рамка, како основа за правилно разбирање и примена на симулациското моделирање. Посебно внимание е посветено на улогата на изворниот систем како реална или виртуелна средина што се моделира, како и на базата на однесување која се формира преку собирање податоци од набљудување или експериментирање.

Понатаму, разгледана е експерименталната рамка како формулација на условите под кои системот се набљудува или се испитува, при што се дадени примери од рударството, како моделирање на стабилност на косини, краткорочно предвидување на нестабилност и долгорочно планирање на безбедни рударски косини. Објаснета е и разликата помеѓу моделот како збир на инструкции, равенки или правила за генерирање однесување и симулаторот како пресметковен систем што го извршува моделот. Обработени се и примарните односи меѓу ентитетите, односно моделирачката релација поврзана со валидноста на моделот и симулациската релација поврзана со точноста на симулаторот. На тој начин, поглавјето обезбедува јасна методолошка основа за правилно поставување, проверка и примена на модели и симулации во рударските системи.

Поглавје 4 - Формализми за моделирање и нивни симулатори. Во ова поглавје се обработуваат основните формализми за моделирање и нивните симулатори, со цел да се објасни како различни типови динамички системи можат да се претстават и симулираат. Разгледани се моделите со дискретно време, кај кои состојбата на системот се менува чекорно во однапред дефинирани временски интервали. Објаснети се транзициските и излезните функции, траекториите на состојба и излез, како и основниот алгоритам за дискретно-временска симулација. Посебно внимание е посветено на клетченските автомати, Конвејевата „Игра на живот“, преклопните автомати, секвенциските машини и линеарните дискретно-временски мрежи, како примери за појава на сложено однесување од едноставни правила и интеракции.

Понатаму, обработени се моделите со диференцијални равенки и нивните симулатори, каде што промената на состојбата се опишува преку стапки на промена и континуирани траектории. Прикажани се основите на обичните диференцијални равенки, линеарните и нелинеарните модели, нумеричката интеграција, Ојлеровите методи, Рунге-Кута методите, методите со повеќе чекори, контролата на големината на чекорот, точноста, конвергенцијата и нумеричката стабилност. Разгледани се и специфични проблеми кои се јавуваат при континуирана симулација, како крути системи, маргинално стабилни системи и системи со дисконтинуитети. Исто така, обработени се дискретно-настанските модели и симулатори, каде што симулацијата се фокусира на значајни настани наместо на секој временски чекор. Преку примери со дискретно-настански клетченски автомати, закажување на настани, редици и серверски процеси, поглавјето ја прикажува важноста на изборот на соодветен формализам според природата на системот, барањата за точност и пресметковната ефикасност.

Поглавје 5 - Верификација, валидација и акредитација. Во ова поглавје се обработуваат верификацијата, валидацијата и акредитацијата како основни предуслови за доверлива и сигурна примена на симулациските модели. Објаснети се основните поими поврзани со симулансот, референтот, концептуалниот модел, извршниот модел, симулацијата, резултатите и барањата на моделот. Посебно внимание е посветено на разликата помеѓу верификацијата, како процес со кој се проверува дали моделот е правилно изработен според поставените барања и спецификации, и валидацијата, како процес со кој се оценува дали моделот доволно точно го претставува реалниот систем или процес што се симулира. Акредитацијата е разгледана како

официјална одлука за тоа дали моделот е прифатлив за конкретна примена, врз основа на резултатите од верификацијата и валидацијата.

Понатаму, разгледани се верификацијата и валидацијата како процеси на споредба помеѓу барањата, концептуалниот модел, извршниот модел, резултатите и реалниот систем. Обработени се ризиците што можат да произлезат од неправилна примена на моделите, како користење невалиден модел, некористење валиден модел или користење модел надвор од неговата намена. Посебно се објаснети границите на валидност, кредибилитетот на моделот и потребата од документирање на претпоставките и условите под кои моделот може да се користи. Во поглавјето се прикажани и различни методи за верификација и валидација, вклучувајќи неформални, статички, динамички и формални методи, како инспекција, валидација со непосредна проценка, анализа на чувствителност, предвидлива валидација, споредбено тестирање, статистички методи и формални логички пристапи. На тој начин, поглавјето дава јасна методолошка основа за проверка на точноста, доверливоста и применливоста на симулациските модели во инженерски и рударски системи.

Поглавје 6 - Симулациони техники во рударството. Во ова поглавје се обработуваат главните симулациони техники кои имаат примена во рударското инженерство. Разгледана е Монте Карло симулацијата како веројатносен пристап за анализа на неизвесности, проценка на ризици и поддршка при донесување одлуки во рударските проекти. Објаснети се техниките за случајно земање примероци, моделирањето на распределби на веројатност, примената во анализа на финансиски и оперативни ризици, како и употребата на Монте Карло пристапот при проценка на економската исплатливост, временските ризици и сценаријата за управување со рударски проекти.

Во поглавјето се обработени и нумеричките методи за симулација, вклучувајќи ги методот на конечни разлики, методот на конечни елементи и компјутерската динамика на флуиди. Преку овие методи се разгледуваат можностите за анализа на напрегања, деформации, стабилност на карпести маси, подземни води, вентилација и дисперзија на гасови во рударски средини. Посебно внимание е посветено на нивната примена во проектирање, мониторинг, безбедност и оптимизација на рударските операции.

Исто така, разгледани се дискретно-настанската симулација, агент-базираната симулација, системската динамика и хибридниот симулација како современи пристапи за моделирање на сложени рударски системи. Обработени се нивните примени во транспортните системи, багер-камион операциите, подземната логистика, движењето и безбедноста на работниците, евакуациските сценарија, управувањето со материјалните текови, долгорочното планирање, еколошките влијанија и управувањето со јаловишта. Преку овие содржини, поглавјето ја прикажува практичната вредност на различните симулациски техники и нивното комбинирање во интегрирани модели за подобро планирање, оптимизација, управување со ризици и донесување инженерски одлуки во рударството.

Поглавје 7 - Дигитална трансформација во рударското инженерство: симулации и автономни системи. Во ова поглавје се обработува дигиталната трансформација во рударското инженерство преку примена на симулации, дигитални технологии и автономни системи. Разгледани се современите симулациски технологии во рударството, нивната улога во планирањето,

оптимизацијата на производството, управувањето со безбедноста и подобрувањето на оперативната ефикасност. Обработени се нумеричките методи за моделирање, системите базирани на агенти, симулациите засилени со вештачка интелигенција, дигиталните двојници и виртуелните рударски околии, како основа за понапредно донесување инженерски одлуки.

Понатаму, разгледани се симулациските модели за управување со перформансите на опремата и флотата во рударството, со посебен акцент на симулаторите за обука на оператори, предвидливото одржување, оптимизацијата на диспечирањето, намалувањето на оперативните трошоци и примената на вештачка интелигенција во распоредувањето и одржувањето. Обработена е и примената на дигиталните двојници како виртуелни реплики на рударски средства, процеси и системи, кои овозможуваат мониторинг во реално време, анализа на сценарија, оптимизација на процесите и подобро управување со ризици.

Во поглавјето се опфатени и далечинското набљудување и ГИС-базираните симулации во рударството, особено нивната примена во истражувањето на минерални ресурси, оперативното планирање, мониторингот на животната средина и следењето на рекултивацијата. Разгледани се климатското и хидролошкото моделирање како важни алатки за управување со рударските води, предвидување на поплави, моделирање на одводнување, контрола на кисели руднички дренажи и проценка на ризици поврзани со климатски промени. Исто така, обработени се роботиката и автономните системи во рударството, вклучувајќи автономни транспортни системи, роботизирано дупчење, автоматизирано минирање, далечинско управување и AI-базирано сортирање на руда. Со овие содржини, поглавјето ја прикажува улогата на дигитализацијата, автоматизацијата и интелигентните системи во создавањето побезбедни, поефикасни, поодржливи и технолошки напредни рударски операции.

Поглавје 8 - Софтвери и алатки за програмирање во рударското инженерство. Во ова поглавје се обработуваат софтверските и програмските алатки кои се користат за моделирање, симулација, анализа и оптимизација во рударското инженерство. Разгледани се Python, MATLAB, SimPy, SciPy и NumPy како значајни пресметковни околии и библиотеки за нумеричка анализа, дискретно-настанска симулација, обработка на податоци, геопросторна анализа и развој на прилагодени модели за рударски процеси. Обработена е и нивната компаративна примена, со посебен акцент на предностите, ограничувањата, интеграцијата со постојните индустриски софтвери и примената во геолошко моделирање, рударско планирање, оптимизација на процеси и проценка на еколошки влијанија.

Во поглавјето се разгледани и специјализирани софтверски решенија наменети за рударската индустрија, како Rocscience EX3, GEOVIA Surpac, AnyLogic, GoldSim, MineTwin и други алатки за геотехничко моделирање, анализа на стабилност, рударско планирање, симулација на оперативни сценарија, управување со ризици и еколошко моделирање. Обработени се методите за анализа на чувствителност и проценка на грешки, вклучувајќи Монте Карло симулација, латинско хиперкубично земање примероци, Соболови индекси, пренос на грешка и квантификација на неизвесноста, како основа за подобра валидација и доверливост на нумеричките модели.

Разгледани се и процесите на калибрација, проценка на параметри и тестирање на моделите во реални услови, со примена на статистички методи, Баесови пристапи, оптимизациски техники и споредба со емпириски податоци. Посебно внимание е посветено на интеграцијата на вештачката интелигенција и машинското учење во симулациските модели, преку примена на синтетички податоци, засилено учење, невронски мрежи, предвидувачко моделирање и AI-засилени дигитални двојници за подобра оптимизација, предвидување и поддршка при донесување инженерски одлуки.

Исто така, обработени се облачните пресметки и високоперформансните пресметки како современа основа за изведување сложени и пресметковно интензивни рударски симулации. Разгледани се паралелните пресметковни рамки, распределените архитектури, GPU-пресметките, облачните симулациски платформи и нивната примена во моделирање на големи рударски системи, автономни операции, климатски модели и индустриска автоматизација. Со овие содржини, поглавјето ја заокружува техничката и софтверската основа потребна за практична примена на современото моделирање и симулација во рударското инженерство.

Поглавје 9 - Етички, практични и регулаторни аспекти на моделирањето и симулацијата во рударското инженерство. Во ова поглавје се обработуваат етичките, практичните и регулаторните димензии на современото моделирање и симулација во рударското инженерство. Посебно внимание е посветено на концептот на одговорно моделирање, при што се разгледуваат прашањата поврзани со транспарентноста, одговорноста, точноста на претставувањето, ограничувањата на моделите, употребата на податоци и влијанието на симулациските резултати врз засегнатите страни, животната средина и донесувањето инженерски одлуки.

Во поглавјето се разгледуваат и пристрасноста и правичноста во рударските симулациски модели, како и етичките дилеми што произлегуваат од примената на вештачката интелигенција, автоматизацијата, надзорните технологии и предвидувачките модели во рударски апликации со висок ризик. Обработени се и прашањата за приватноста, човечкиот фактор, еколошкото одлучување, меѓугенерациската правичност и потребата од регулаторен надзор врз моделите што се користат при планирање, управување и проценка на ризици во рударските операции. Со ова поглавје учебникот добива дополнителна современа вредност, бидејќи ја нагласува потребата моделирањето и симулацијата да се применуваат не само како технички алатки, туку и како одговорна инженерска практика со пошироки безбедносни, еколошки, општествени и институционални последици.

ЗАКЛУЧОК

Врз основа на понудената содржина и оценката за квалитетот, структурата и соодветноста на разработените теми, Рецензентската комисија оценува дека учебникот „Моделирање во рударството“ од вонр. проф. д-р Ванчо Ациски ги задоволува критериумите за квалитет, стручност и приспособеност кон наставната програма за која е наменет. Учебникот претставува јасен, систематски и разбирлив наставен материјал, првенствено наменет за студентите од прв циклус на студии при Факултетот за природни и технички науки на Универзитет „Гоце Делчев“ во Штип.

Учебникот обработува современа и значајна проблематика од областа на моделирањето, симулацијата и анализата на системи во рударското инженерство. Содржината е изложена на прегледен и методолошки доследен начин, со јасна поврзаност меѓу теоретските основи и практичната примена во рударството. Посебна вредност на учебникот претставува тоа што ги опфаќа основните концепти на системи, модели, симулациски формализми, верификација и валидација, симулациски техники, дигитална трансформација, софтверски алатки, вештачка интелигенција, дигитални двојници и современи пресметковни пристапи применливи во рударските процеси.

Учебникот има значајна педагошка и стручна вредност, бидејќи овозможува студентите да стекнат теоретски знаења, аналитички пристап и практични основи за примена на моделирањето и симулацијата во решавање на инженерски проблеми во рударството. Покрај студентите, учебникот може да биде корисен и за наставници, истражувачи, инженери и стручни лица кои се занимаваат со планирање, анализа, оптимизација, управување со ризици и примена на современи дигитални технологии во рударството.

Воедно, учебникот е подготвен согласно со правилата и критериумите за објавување на платформата е-библиотека на Универзитет „Гоце Делчев“ во Штип и ги исполнува условите за објавување како учебник.

Врз основа на изнесеното, Рецензентската комисија има особена чест да му предложи на Наставно-научниот совет на Факултетот за природни и технички науки учебникот со наслов „Моделирање во рударството“ од вонр. проф. д-р Ванчо Аџиски да го одобри за издавање и користење како учебник.

РЕЦЕНЗЕНТИ

Д-р Зоран Десподов, редовен професор, с.р.

Д-р Раде Токалиќ, редовен професор, с.р.