

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Саша Јовановић

**Основи ергономије и
екологије у
инжењерству**

Крагујевац, 2025.

Основи ергономије и екологије у инжењерству

1. издање

Аутор:

Др Саша Јовановић, ванр. проф. Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Рецензенти:

Др Лозица Ивановић, ред. проф. Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Др Јованка Лукић, ред. проф. Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Др Ненад Зрнић, ред. проф. Машинског факултета Универзитета у Београду

Издавач:

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу,
Сестре Јањић 6, 34000 Крагујевац

За издавача:

Др Слободан Савић, ред. проф., декан

Уредник:

Др Младен Јосијевић, доцент, продекан за наставу

Корице:

Др Ненад Петровић, доцент

Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу број 01-1/1960-21 од 19. 06. 2025. године, одобрено за штампање као основни универзитетски уџбеник



Штампање уџбеника финансирано је од стране Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

Copyright © 2025. Сва права задржавају издавач и аутор. Забрањено прештампавање и фотокопирање.

ISBN: 978-86-6335-152-3

Место и година издавања:

Крагујевац, 2025. године

Тираж:

75 примерака

Штампа:

DONAT GRAF DOO штампарија, Вучка Милићевића 29, 11306 Београд (Гроцка)

ПРЕДГОВОР

Савремено друштво и инжењерска пракса налазе се пред изазовима који превазилазе домен класичног техничког знања. Питања очувања здравља људи у радном окружењу, као и све присутнији захтеви за еколошки одрживим развојем, наметнули су потребу за интердисциплинарним приступом у образовању и пракси инжењера.

Уџбеник под називом *Основи ергономије и екологије у инжењерству*, написан је са намером да постане основна наставна литература за предмет *Ергономија и екологија у инжењерству*, а који, као изборни, слушају студенти друге године мастер студија Факултета инжењерских наука на смеру за Машинске конструкције и механизацију. Сам уџбеник, као и готово истоимени предмет су настали као плод жеље аутора да студенти завршне године мастер студија на поменутом модулу, буду адекватно информисани и оспособљени да у својој будућој инжењерској каријери што успешније решавају конструкторске проблеме, а све време имајући у виду евентуалне ергономске или еколошке аспекте њиховог рада.

Убрзани начин живота и све захтевнији и сложенији радни процеси уводе човека у зону великих физичких и психичких напора, а који често превазилазе границе издржљивости. Све то неминовно води до повећаног ризика од повреда и трајног оштећења здравља, као и нарушавања радних и животних способности.

Сагледавајући свеопште лоше стање животне средине, не можемо се отети утиску да одређену дозу одговорности за то носе и сами инжењери. У том смислу, очекивано би било да инжењери преузму и сваку врсту иницијативе и да своја професионална знања усмере у правцу санације и очувања осетљивог еколошког амбијента у коме живимо, и то не као једини становници ове планете. Али, свакако, једини одговорни.

Први део уџбеника посвећен је основама ергономије. У њему се, у уводним поглављима, разматрају појам, предмет и задаци ергономије

као научне дисциплине, њен историјат и развој, као и актуелне области примене. Акценат је стављен на интеграцију ергономије у инжењерски дизајн, с циљем унапређења функционалности, безбедности и комфора техничких система и радних места. Затим су представљене основе антропологије и антропометрије, као и основни елементи биомеханике значајни са ергономског аспекта. Дат је и краћи осврт на процес аутоматизације и положај и улогу човека у том процесу.

Значајан део посвећен је условима у радном окружењу и утицају на човека. Анализирани су посебно термички утицаји, као и ефекти различитих нивоа и типова буке, осветљења и вибрација на раднике.

С обзиром на то да је огроман број људи скоро свакодневно у радном или неком другом контакту са рачунарима креирано је посебно поглавље у коме се говори о најважнијим ергономским аспектима ове врсте радне активности. Детаљно су анализирани, поред специфичних оптерећења радника, радних услова при раду са рачунаром, и сви најважнији елементи радног окружења оператера за рачунаром, попут столице, стола, монитора, тастатуре и рачунарског миша.

Основном принципу ергономског дизајна производа, који подразумева прилагођавање производа физичким, когнитивним и организационим потребама корисника, како би се повећала ефикасност, сигурност и удобност при коришћењу, посвећено је посебно поглавље.

Одељак посвећен обликовању радних места у уџбенику темељно обрађује мултидисциплинарни приступ прилагођавања радне средине човеку, узимајући у обзир ергономске, технолошке, техничке, економске и безбедносне факторе. Посебна пажња посвећена је антропометрији, физиологији, психологији и организацији рада, са циљем оптимизације радних услова, смањења замора и унапређења здравља и ефикасности радника.

У другом делу уџбеника најпре је објашњен појам одрживог развоја и указано на значај таквог приступа у очувању животне средине. Затим су, у посебном поглављу, објашњени узроци и последице актуелних глобалних климатских промена, као и сам механизам ефекта стаклене баште. Са ергономског становишта, представљен је и актуелни и потенцијални утицај климатских промена на радне услове и радни учинак.

Као веома значајна инжењерска тема и област коју пројектанти различитих профила морају познавати, детаљно су обрађени и представљени сви тренутно најактуелнији обновљиви извори енергије. Такође, као посебан допринос инжењера у правцу

очувања животне средине, једно поглавље је посвећено екодизајну и његовим основним принципима.

Као један од највећих актуелних и потенцијалних еколошких проблема, истакнуто је управљање отпадом, као и проблеми и перспективе у овом сектору.

Једна од најчешће коришћених метода у процесима анализе и квантификације могућих утицаја производа и производних процеса на животну средину, у току целокупног животног века производа, метода Оцењивања животног циклуса (LCA – Life Cycle Assessment) представљена је у посебном поглављу. У оквиру истог дела дат је и пример одређивања изабраних параметара уз примену одабраног софтвера, а на примеру више различитих сценарија управљања отпадом на локалном нивоу. У самом примеру, циљу избора оптималног сценарија, коришћен је и метод вишекритеријумског доношења одлука (MCDM – Multi Criteria Decision Making).

У последњем делу уџбеника, представљен је и пример примене вишекритеријумског одлучивања при избору оптималног материјала за израду вратила, као примера из типичне праксе машинског инжењера, мада се методологија коришћена у овом примеру може користити и у оквиру многих других, различитих инжењерских задатака.

На самом крају овог предговора, аутор изражава искрену наду да ће уџбеник под насловом *Основи ергономије и екологије у инжењерству* послужити као корисно и подстицајно штиво, пре свега студентима и инжењерима различитих профила.

Желим да изразим захвалност рецензентима ове књиге – проф. др Лозици Ивановић, проф. др Јованки Лукић и проф. др Ненаду Зрнићу – на пажљивом читању рукописа, конструктивним сугестијама и времену које су великодушно уложили у унапређење садржаја.

Посебну захвалност дугујем колеги, доц. др Марку Пантићу, за несебичну подршку у техничкој обради и припреми рукописа.

Најдубље и најискреније речи захвалности упућујем својој породици, а посебно супруги Весни, за разумевање, стрпљење и подршку током рада на овом уџбенику.

У Крагујевцу

Јун, 2025. године

САДРЖАЈ

1. УВОД	1
1.1 ЕРГОНОМСКИ АСПЕКТИ У ИНЖЕЊЕРСТВУ	3
1.2 ЕКОЛОШКИ АСПЕКТИ У ИНЖЕЊЕРСТВУ	5
2. ОСНОВИ ЕРГОНОМИЈЕ	7
2.1 НАСТАНАК И РАЗВОЈ ЕРГОНОМИЈЕ	7
2.2 ПОДЕЛА И ВРСТЕ ЕРГОНОМИЈЕ	12
2.2.1. Врсте ергономије	13
2.2.2. Ергономски системи	14
2.2.3 Ергономски принципи и циљеви	16
2.3 АНТРОПОЛОГИЈА И АНТРОПОМЕТРИЈА	18
2.3.1 Антропометријски инструменти	21
2.3.2 Антропометријска разноликост	25
2.3.3 Интерпретација антропометријских података	30
2.3.3.1 Пример: Одређивање висине радног стола (рад са рачунаром – компјутером)	32
2.3.4 Статичка антропометрија	33
2.3.5 Кинематичка и динамичка антропометрија	35
2.3.6 Биомеханика	36
2.4 АУТОМАТИЗАЦИЈА И ЉУДСКИ ФАКТОР	43
2.5 РАДНО ОКРУЖЕЊЕ И УТИЦАЈ НА ЧОВЕКА	46
2.5.1 Топлотна удобност	46
2.5.2 Утицај буке	49
2.5.3 Утицај вибрација	53
2.5.4 Вид и утицај осветљења	57
2.6 РАД РАДНИКА ЗА РАЧУНАРОМ	65
2.6.1 Интеракција између човека и рачунара	65
2.6.2 Оптерећење радника за рачунаром	67
2.6.3 Ергономија радне станице са рачунаром	68
2.6.4 Најважнији елементи опреме у раду са рачунаром	71
2.6.4.1 Карактеристике ергономске радне столице	73

2.6.4.2 Радни сто – основни захтеви	76
2.6.4.3 Монитор	77
2.6.4.4 Тастатура	79
2.6.4.5 Рачунарски миш	84
2.6.4.6 Радни услови при раду са рачунаром	87
2.7 ЕРГОНОМСКИ ДИЗАЈН ПРОИЗВОДА	90
2.7.1 Методологија ергономског дизајна	91
2.7.2 Анализа утицаја ергономског и неергономског дизајна на радне перформансе	93
2.8 ОБЛИКОВАЊЕ РАДНИХ МЕСТА	98
2.8.1 Обликовање радних места са аспекта антропометрије	99
2.8.2 Обликовање радних места са аспекта психологије	103
2.8.3 Обликовање радних места са аспекта физиологије	105
2.8.4 Обликовање радних места са аспекта економије	106
2.8.5 Обликовање радних места са аспекта организације рада	106
2.8.6 Обликовање радних места са аспекта заштите на раду	107
3. ОСНОВИ ЕКОЛОГИЈЕ У ИНЖЕЊЕРСТВУ	108
3.1 ЖИВОТНА СРЕДИНА И ОДРЖИВИ РАЗВОЈ	109
3.2 КЛИМАТСКЕ ПРОМЕНЕ	119
3.2.1 Ефекат стаклене баште	121
3.2.2 Климатске промене у Републици Србији	131
3.2.2.1 Промене средњих годишњих температура у Републици Србији	131
3.2.2.2 Промене количина падавина у Републици Србији	134
3.2.2.3 Последице климатских промена у Републици Србији	134
3.2.3 Последице и ублажавање климатских промена	136
3.3 УТИЦАЈ КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА НА РАДНЕ УСЛОВЕ	140
3.3.1 Утицај на радне услове на отвореним просторима	140
3.3.2 Утицај на радне услове у затвореним просторима	141
3.3.3 Проблем „удружених“ високих температура и високе влажности ваздуха	143

3.3.4 Ублажавање ефекта климатских промена на раднике	145
3.4 ОБНОВЉИВИ ИЗВОРИ ЕНЕРГИЈЕ	148
3.4.1 Предности „зелених енергија“	148
3.4.2 Недостаци „зелених енергија“	149
3.4.3 Енергија сунца - соларна енергија	150
3.4.3.1 Фото-напонске плоче	151
3.4.3.2 Соларни колектори	153
3.4.4 Енергија ветра – еолска енергија	156
3.4.4.1 Савремене ветротурбине	159
3.4.5 Енергија воде	163
3.4.5.1 Хидроенергија водених токова	164
3.4.5.2 Енергија плиме и осеке	166
3.4.5.3 Енергија таласа	168
3.4.6 Топлотна енергија океана	170
3.4.7 Геотермална енергија	172
3.4.8 Енергија биомасе	175
3.5 ЕКОДИЗАЈН ПРОИЗВОДА	179
3.5.1 Дизајн са аспекта... DESIGN FOR X, DFX Aspects	181
3.5.2 Примери добре праксе по индустријама	182
3.5.3 Екодизајн и климатске промене	185
3.6 УПРАВЉАЊЕ ОТПАДОМ – ПРОБЛЕМИ И ПЕРСПЕКТИВЕ	187
3.6.1 Отпад – дефиниција и класификација	188
3.6.1.1 Комунални отпад	189
3.6.1.2 Састав комуналног отпада	190
3.6.1.3 Генерисање комуналног отпада	192
3.6.2 Опције управљања отпадом	198
3.6.2.1 Преглед технолошких опција	198
4. МЕТОДА ОЦЕЊИВАЊА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА LCA	200
4.1 ПРЕДНОСТИ И ОГРАНИЧЕЊА LCA МЕТОДЕ	203
4.2 ПРИМЕР: ИЗБОР ОПТИМАЛНЕ ОПЦИЈЕ УПРАВЉАЊА ОТПАДОМ	205
4.2.1 Обједињена примена вишекритеријумског одлучивања и методе LCA	215
4.2.1.1 Избор најбољег сценарија - примена SAW методе	216

4.2.1.2 Избор најбољег сценарија - примена TOPSIS методе	220
5. ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКО ОДЛУЧИВАЊЕ	225
5.1 МЕТОДЕ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ОДЛУЧИВАЊА	229
5.1.1 Метода адитивних тежинских фактора	232
5.1.2 TOPSIS метода	233
5.1.3 PROMETHEE Метода	236
5.1.4 АНР метода – Аналитички хијерархијски процес	238
5.1.5 Одређивање релативних тежина критеријума	239
5.1.6 Предности и ограничења приступа ВКО	241
5.2 ПРИМЕР ПРИМЕНЕ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ОДЛУЧИВАЊА	241
5.2.1 Избор оптималног материјала применом SAW методе	242
5.2.2 Избор оптималног материјала применом TOPSIS методе	247
5.2.3 Анализа добијених резултата MCDM поступка избора оптималног материјала	256
ЛИТЕРАТУРА	259
ПРИЛОЗИ	269
СПИСАК СЛИКА	269
СПИСАК ТАБЕЛА	275

1.УВОД

Ергономија, према Међународном ергономском удружењу (IEA – International Ergonomics Association) представља научну дисциплину која се бави разумевањем међусобног деловања људи и других елемената система, али такође представља и струку која примењује теоријска знања, начела, расположиве податке и методе пројектовања са циљем оптимизације добробити човека и перформанси система. Етимолошка анализа нам показује да је појам ергономија настао од две грчке речи: *ергон* – људски рад и *номос* – закон или правило. Водећи се тиме, ергономија би представљала научну област у којој се кроз мултидисциплинарни (сарадња више стручњака из различитих области) и интердисциплинарни (сваки са свог становишта) приступ и истраживање, као и дефинисањем одређених ергономских начела тежи усклађивању односа у систему човек-радно место-радна околина (ЧМО) са циљем да се рад максимално хуманизује. Појам ергономије је у свом савременом облику и значењу превазишао везивање за односе у системима који су искључиво везани за радне активности човека у формалном смислу. Огроман је број ергономских анализа и конструкција које се баве односом човека и остатка околног система и у фазама одмора и разоноде, као и многих других активности различитих карактера. У том смислу, може се рећи да ергономисти доприносе обликовању и вредновању задатака, послова, производа, околине и система како би они постали компатибилни са потребама, способностима и ограничењима човека (Мијовић, 2008).

Ергономија, у сваком случају, представља комплексну научну дисциплину, повезану са великим бројем различитих научних области и дисциплина. Како је у свом развоју претрпела низ промена у смислу основних циљева и друштвених околности, тако се за појам ергономије везује још неколико значајних (краћих или сложенијих) дефиниција које треба навести: