



МАРКО ЂАПАН и АРСО ВУКИЋЕВИЋ

ИНДУСТРИЈСКА
ЕРГОНОМИЈА
И БЕЗБЕДНОСТ
НА РАДУ





Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука

др Марко Ђапан, др Арсо Вукићевић
**ИНДУСТРИЈСКА ЕРГОНОМИЈА И
БЕЗБЕДНОСТ НА РАДУ**

Крагујевац, 2025.

ИНДУСТРИЈСКА ЕРГОНОМИЈА И БЕЗБЕДНОСТ НА РАДУ

ИСБН: 978-86-6335-156-1

Аутори:

др Марко Ђапан, ванредни професор

др Арсо Вукићевић, доцент

Рецезенти:

др Евица Јовановић, редовни професор

Универзитет у Нишу, Факултет заштите на раду

др Иван Мачужић, редовни професор

Универзитет у Крагујевцу, Факултет инжењерских наука

Лектор:

Данијела Раденковић, професор српског језика и књижевности

Дизајн корица:

Иван Ђуришић, Агенција Круг, Крагујевац

Издавач:

Факултет инжењерских наука, Сестре Јањић 6, 34000 Крагујевац

За издавача:

Проф. др Слободан Савић, декан Факултета инжењерских наука

Уредник:

Проф. др Младен Јосијевић, продекан за наставу

Тираж: 100 примерака

Штампа:

Штампарија Donat Graf doo, Вучка Милићевића бр. 29, 11306 Гроцка, Србија

Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу бр. 01-1/2796-15 од 28. 8. 2025. године одобрено је издавање ове књиге као основног универзитетског уџбеника.

НАПОМЕНА: Репродуковање, фотокопирање или умножавање на било који начин или поновно објављивање овог уџбеника у целини или у деловима није дозвољено без претходне сагласности или писаног одобрења аутора.

ПРЕДГОВОР

Ергономија је мултидисциплинарна наука и професија релативно новијег датума, која се као научна дисциплина формално развила 1949. године. Према дефиницији Међународне асоцијације за ергономију, она обухвата три главне области: физичку ергономију (која се бави телесним ограничењима и усклађивањем радних услова са људском анатомијом), когнитивну ергономију (фокусирану на менталне процесе као што су пажња, одлучивање и умор) и организациону ергономију (која оптимизује структуре и процесе унутар тимова или институција). Основни циљ ергономије је осигуравање безбедности, здравља, комфора и благостања радника током обављања радних (физичких или менталних) активности, што директно доприноси побољшању појединачних и организационих резултата. Ергономија проучава људске способности и ограничења у интеракцији са елементима радног окружења, укључујући и услове окружења (температуру, буку, осветљење), дизајн алата, активности и радних станица, као и социјални утицај, распоред и темпо рада. Најчешћи проблеми који се повезују са лошим ергономским условима рада јесу мишићно-коштани поремећаји.

Када елементи рада и радни услови нису усклађени са потребама људи, настају ризични фактори који угрожавају здравље, безбедност и продуктивност. Неприродни и нефизиолошки положаји тела, понављајући покрети, ручна манипулација тешким теретима или замор и нижи ниво пажње спадају у честе узроке проблема код радника. Да би се то избегло, ергономска унапређења се спроводе кроз три фазе: детекцију (идентификација потенцијалних ризика), евалуацију (процена ризика коришћењем одговарајућих метода и алата за процену нивоа ергономских ризика) и контролу (имплементација промена за смањење ризика). Иако је ергономија релативно млада дисциплина, како научна тако и практична, истраживачи непрестано развијају нове методе и теорије, од статистичких анализа до дизајна иновативних приступа за оцену услова рада. У пракси се широко користе алати као што су *RULA*, *REBA*, *NIOSH* једначина, и други, који олакшавају идентификацију и процену ризика, а све у циљу превенције повреда и унапређење квалитета живота током радног века. Ови напори не само

што штите раднике, већ и повећавају ефикасност организација, чинећи ергономију кључним елементом модерних индустријских окружења.

Сврха овог уџбеника је да обезбеди свеобухватно разумевање принципа индустријске ергономије и безбедности и здравља на раду, комбинујући теоријске основе са практичним примерима, најновијим стандардима и стратегијама за управљање ризицима. Кроз анализу технолошких изазова и ергономских решења, нуди структурирани приступ за превенцију акцидената, унапређење здравља радника и изградњу културе безбедности и здравља на раду у компанијама.

Универзитетски уџбеник *Индустријска ергономија и безбедност на раду* је настао из потребе да се испрати развој шире области безбедности и здравља на раду имајући у виду старење радне снаге као и убрзани технолошки развој у компанијама. Уџбеник у потпуности покрива материју која се слуша на предметима мастер академских студија машинског инжењерства и индустријског инжењерства и инжењерског менаџмента Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Уџбеник је превасходно намењен студентима, али може бити од користи и инжењерима и другим лицима који раде на пословима безбедности и здравља на раду.

Аутори дугују велику захвалност рецензентима, проф. др Евици Јовановић и проф. др Ивану Мачужићу који су конструктивним саветима и сугестијама дали огроман допринос у коначном обликовању садржаја овог уџбеника. Поред тога, велику захвалност изражавамо и колегама из Центра за теротехнологију Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, проф. др Петру Тодоровићу, др Марији Савковић, Настасији Николић и Славици Дамљановић, на несебичној подршци током различитих фаза израде уџбеника.

У Крагујевцу,
Август 2025. године

Аутори

Студентима и
читавој ергономској заједници

Садржај

1	Систем безбедности и здравља на раду у Републици Србији и у свету.....	1
1.1	Ергономија радног места – стање прописа и праксе у Србији.....	2
1.2	Ергономија радног места – стање прописа и праксе у Европи и свету.....	4
2	Увод у ергономију.....	9
2.1	Ергономија и веза са другим научним дисциплинама.....	12
2.1.1	Ергономија и медицина	12
2.1.2	Ергономија и психологија.....	14
2.1.3	Ергономија и индустријско инжењерство.....	15
2.1.4	Ергономија и софтверско инжењерство.....	17
2.1.5	Ергономија и дизајн	19
2.1.6	Ергономија и социологија	21
2.1.7	Ергономија и информационе технологије	23
3	Типови ергономије	27
3.1	Физичка ергономија.....	28
3.1.1	Радна околина и физичка ергономија	30
3.2	Когнитивна ергономија	31
3.3	Организациона ергономија.....	34
3.4	Бенефити ергономије радног места	35
4	Ергономија у производњи	39
4.1	Демографске промене и радна снага	42
4.2	Ергономија као кључни елемент за одрживост радне снаге	42
4.2.1	Опадање броја радноспособних особа	44
4.2.2	Економски ефекти имплементације ергономских принципа.....	45
4.2.3	Мотивација и задовољство радника.....	46

4.2.4	Квалитет и ефикасност рада.....	47
5	Ергономски принципи у пројектовању радног окружења	49
5.1	Антропометрија.....	50
5.2	Радна зона.....	51
5.3	Златна зона	53
5.4	Логистика.....	54
5.5	Видно поље.....	55
5.6	Осветљење	56
5.7	Прилагођавање радног места раднику.....	57
5.8	Планирање.....	58
5.9	Принципи ергономског пројектовања радног окружења	59
5.9.1	Пројектовање радног окружења и варијације у радним положајима	59
5.9.2	Пројектовање радног окружења и равномерно распоређивање оптерећења	60
5.9.3	Пројектовање радног окружења више различитих радних активности.....	60
5.9.4	Остала правила ергономског пројектовања радног окружења	61
6	Мишићно-коштани поремећаји	65
6.1	Синдром карпалног тунела.....	67
6.2	Паркетарско колено.....	69
6.3	Теносиновитис - болест <i>De Quervain</i>	71
6.4	Епикондилитис („тениски“ и „голферски“ лакат)	72
6.5	Рејноов синдром.....	74
6.6	Бол у доњем делу леђа.....	75
6.7	Синдром ротаторске манжетне	77
6.8	Тендинитис	78
6.9	Синдром напетости врата.....	80
6.10	Синдром „окидачког прста“	82
7	Фактори ергономских ризика.....	85
7.1	Употреба велике силе.....	86
7.2	Понављајући покрети.....	87
7.3	Непрестано/беспрекидно извођење покрета	88
7.4	Неудобан/статички положај тела и вибрације	89

7.5	Дуготрајно седење.....	90
7.6	Истезање тела или делова тела	91
7.7	Мануелни послови	92
7.8	Манипулација теретима испод висине колена или изнад висине рамена	93
7.9	Габаритно велики или непогодни предмети за манипулацију.....	94
7.10	Неприродан положај зглобова и контактна оптерећења.....	95
8	Стрес на радном месту	97
8.1	Емоционални стрес.....	98
8.2	Професионални стрес.....	99
8.3	Последице стреса	101
8.4	Узроци стреса.....	103
8.5	Стрес менаџмент	105
8.6	Тест за процену стреса на радном месту	106
9	Ручна манипулација теретом.....	113
9.1	Значај и улога ручне манипулације теретом.....	116
9.2	Приступ унапређењу ручне манипулације теретом.....	118
9.3	Техника правилног подизања терета.....	121
10	Превенција мишићно-коштаних поремећаја.....	125
10.1	Промене у дизајну и организацији радног места.....	126
10.2	Промене у начину организовања и реализације радних активности.....	127
10.3	Одмор и физичке вежбе	127
10.4	Обука радника за рад на ергономски исправан начин.....	128
11	Приступ унапређењу ергономије радног места.....	131
11.1	Пирамида безбедности.....	132
11.2	Хијерархија контроле ризика.....	136
11.3	Општи модел за унапређење ергономије радног места.....	138
11.4	Примери унапређења ергономије радног места	140
12	Алати за ергономску процену ризика	145
12.1	Концепт ергономских смерница у пројектовању	148
12.2	Брза процена ризика за горње екстремитете	150
12.3	Брза процена ризика за цело тело.....	161
12.4	Индекс напрезања	171

12.5	Процена понављајућих задатака за горње екстремитете	176
12.6	Процена ризика при ручној манипулацији теретом	183
12.6.1	Процена ризика за операције подизања терета	185
12.6.2	Процена ризика за операције преношења терета	189
12.6.3	Процена ризика за тимско преношења терета	193
12.7	Процена ризика ручног гурања и/или повлачења терета	197
12.7.1	Померање терета на опреми са точковима	200
12.7.2	Померање терета без точкова	206
12.8	Једначина за подизање терета	211
12.8.1	Резултати NIOSH једначине	212
13	Безбедност и здравље на раду у оквиру индустријских револуција	217
13.1	Напредне технологије и безбедност на раду	221
14	Сарадња човек-робот	227
14.1	Историја робота	228
14.2	Стандарди и регулативе	229
14.3	Колаборативни роботи	232
14.3.1	Режим коегзистирање (суживот)	234
14.3.2	Режим сарадње	235
14.3.3	Колаборативни режим	236
14.4	Безбедност у сарадњи човек-робот	238
14.4.1	Режим 1 – Брзо (неодложно) безбедно заустављање система	239
14.4.2	Режим 2 – Принцип ручног вођења	240
14.4.3	Режим 3 – Мониторинг брзине и раздаљине	240
14.4.4	Режим 4 – Ограничавање снаге и силе	241
14.5	Механички дизајн кобота	241
14.6	Разлика између традиционалних индустријских робота и кобота	243
	Литература	247

Списак илустрација

Илустрација 3.1 – Бенефити заједничке имплементације физичке, когнитивне и организационе ергономије.....	36
Илустрација 4.1 – Године живота људи у 2009. и 2024. години, у Европској Унији (European Commission, 2025a)	39
Илустрација 4.2 – Потрошња енергије за спровођење радне активности и одржавање природног положаја тела.....	40
Илустрација 5.1 – Расподела висине људи у популацији	50
Илустрација 5.2 – Разлика у нивоу стола и радној висини.....	51
Илустрација 5.3 – Рад изнад и испод висине срца.....	52
Илустрација 5.4 – Потребан ниво и доток крви за спровођење радне активности.....	52
Илустрација 5.5 – Приказ зона за спровођење радних активности	53
Илустрација 5.6 – Зоне видног поља	55
Илустрација 5.7 – а) Опште осветљење; б) Локализовано осветљење и в) Локално осветљење.....	56
Илустрација 5.8 – Флексибилно радно место	57
Илустрација 5.9 – 7 губитака	58
Илустрација 6.1 – Најчешћи мишићно-коштани поремећаји	67
Илустрација 6.2 – Карпални тунел под упалом	68
Илустрација 6.3 – Phalenov тест	68
Илустрација 6.4 – Анатомија зглоба колена.....	69
Илустрација 6.5 – Иритација тетивне овојнице	71
Илустрација 6.6 – Латерални и медијални епикондилитис	73
Илустрација 6.7 – Рејноов синдром.....	74
Илустрација 6.8 – Зона неуролошког бола и утрнулости	76
Илустрација 6.9 – Зона механичког бола	76
Илустрација 6.10 – Приказ кидања тетиве ротаторне манжетне	77
Илустрација 6.11 – Нормалне и упаљене тетиве и овојнице.....	79
Илустрација 6.12 – Вратни-цервикални део кичме.....	80
Илустрација 6.13 – Синдром „окидачког прста“	82
Илустрација 8.1 – Зависност настанка дистреса/еустреса од оптерећења послом.....	101
Илустрација 9.1 – Зоне складишног простора према нивоу ризика ...	119

Илустрација 9.2 – Корац при правилном преношењу терета	123
Илустрација 11.1 – Принцип леденог брега	133
Илустрација 11.2 – Хајнрихова пирамида безбедности	134
Илустрација 11.3 – Неповољни положаји тела	141
Илустрација 12.1 – Програм активности ергономске процене ризика.....	146
Илустрација 12.2 – Алгоритам избора алата за ергономску процену ризика.....	147
Илустрација 12.3 – Пример мерења положаја (RULA).....	152
Илустрација 12.4 – Флексија и екстензија рамена.....	153
Илустрација 12.5 – Корекција оцене положаја надлактице.....	153
Илустрација 12.6 – Положај подлактице.....	154
Илустрација 12.7 – Корекција оцене положаја подлактице.....	154
Илустрација 12.8 – Положај зглоба шаке	154
Илустрација 12.9 – Корекција оцене положаја зглоба шаке.....	155
Илустрација 12.10 – Увртање зглоба шаке.....	155
Илустрација 12.11 – Степен флексије или екстензије врата	157
Илустрација 12.12 – Корекција оцене положаја врата.....	157
Илустрација 12.13 – Степен флексије или екстензије трупа.....	158
Илустрација 12.14 – Увијање трупа или бочно савијање трупа/леђа..	158
Илустрација 12.15 – Оцена положаја ногу.....	158
Илустрација 12.16 – Пример мерења положаја (REBA)	163
Илустрација 12.17 – Оцена положаја врата.....	163
Илустрација 12.18 – Корекција оцене положаја врата.....	164
Илустрација 12.19 – Оцена положаја трупа	164
Илустрација 12.20 – Корекција оцене положаја трупа	165
Илустрација 12.21 – Оцена положаја ногу.....	165
Илустрација 12.22 – Оцена положаја надлактице	166
Илустрација 12.23 – Корекција оцене положаја надлактице	167
Илустрација 12.24 – Оцена положаја подлактице.....	167
Илустрација 12.25 – Оцена положаја зглоба шаке	167
Илустрација 12.26 – Корекција оцене положаја зглоба шаке	168
Илустрација 12.27 – Ниво ризика за операције подизања терета.....	185
Илустрација 12.28 – Хоризонтални положај руку и трупа	186
Илустрација 12.29 – Вертикални положај руку и трупа	186

Илустрација 12.30 – Увијање или бочно савијање трупа или леђа.....	187
Илустрација 12.31 – Начин и квалитет хватања терета	188
Илустрација 12.32 – Ниво ризика за операције преношења терета....	189
Илустрација 12.33 – Хоризонтална удаљеност између руку и доњег дела леђа.....	190
Илустрација 12.34 – Положај тела и терета.....	190
Илустрација 12.35 – Начин и квалитет хватања терета	191
Илустрација 12.36 – Одређивање хоризонталне удаљености између руку и доњег дела леђа	193
Илустрација 12.37 – Одређивање вертикалног положаја руку.....	194
Илустрација 12.38 – Одређивање положаја тела	194
Илустрација 12.39 – Одређивање начина и квалитета хватања терета	195
Илустрација 12.40 – Параметри за одређивање препоручене границе тежине.....	212
Илустрација 13.1 – Фазе индустријских револуција.....	217
Илустрација 13.2 – Основне технологије Индустрије 4.0 које имају утицај на БЗР	222
Илустрација 14.1 – Прописи у области роботике	230
Илустрација 14.2 – Приказ увођења кобота у производњу.....	233
Илустрација 14.3 – Коегзистирање или суживот	234
Илустрација 14.4 – Режим сарадње	236
Илустрација 14.5 – Колаборативни режим	237
Илустрација 14.6 –Режими безбедности	239
Илустрација 14.7 – Кобот и његове карактеристике.....	242
Илустрација 14.8 –EN ISO 10218-2 и ISO/TS 15066	243
Илустрација 14.9 – Предности и мане традиционалних и колаборативних робота.....	244

Списак табела

Табела 8.1 – Психо-физички симптоми стреса.....	102
Табела 12.1 – Коначна оцена положаја руке и зглоба шаке.....	155
Табела 12.2 – Оцена за употребу мишића и силе/оптерећења	156
Табела 12.3 – Коначна оцена положаја врата, тупа и ногу.....	159
Табела 12.4 – Коначна оцена за употребу мишића и силе/оптерећења	160
Табела 12.5 – Коначна RULA оцена.....	160
Табела 12.6 – Ниво ергономског ризика.....	161
Табела 12.7 – Коначна оцена положаја врата, тупа и ногу.....	165
Табела 12.8 – Коначна оцена положаја руке и зглоба шаке.....	168
Табела 12.9 – Коначна оцена у фази Ц.....	169
Табела 12.10 – Ниво ергономског ризика.....	170
Табела 12.11 – Одређивање интензитета напора.....	172
Табела 12.12– Одређивање положаја зглоба.....	173
Табела 12.13 – Одређивање брзине извођења радних активности.....	174
Табела 12.14 – Оцене фактора.....	175
Табела 12.15 – Одређивање оцене ризика.....	175
Табела 12.16 – Избор категорије за померање руку	177
Табела 12.17 – Одређивање броја понављајућих покрета руке и шаке.....	178
Табела 12.18 – Одређивање нивоа силе руком	178
Табела 12.19 – Одређивање положаја главе и врата.....	179
Табела 12.20 – Одређивање положаја леђа	179
Табела 12.21 – Одређивање положаја руке	179
Табела 12.22 – Одређивање положаја шаке.....	180
Табела 12.23 – Одређивање начина држања предмета.....	180
Табела 12.24 – Обављање радне активности без паузе.....	180
Табела 12.25 – Одређивање ритма рада	181
Табела 12.26 – Одређивање осталих фактора	182
Табела 12.27 – Одређивање фактора дужине трајања радне активности.....	182
Табела 12.28 – Одређивање нивоа ризика	183
Табела 12.29 – Нивои ризика на основу алата MAC.....	184

Табела 12.30 – Одређивање постуралних ограничења	187
Табела 12.31 – Одређивање стања подова.....	188
Табела 12.32 – Одређивање услова околине.....	189
Табела 12.33 – Одређивање постуралних ограничења	190
Табела 12.34 – Одређивање стања подова.....	191
Табела 12.35 – Одређивање растојања преношења терета.....	192
Табела 12.36 – Идентификовање препрека на путу.....	192
Табела 12.37 – Одређивање услова околине.....	192
Табела 12.38 – Одређивање броја радника и тежине терета	193
Табела 12.39 – Одређивање постуралних ограничења	195
Табела 12.40 – Одређивање стања подова.....	196
Табела 12.41 – Одређивање растојања преношења терета.....	196
Табела 12.42 – Идентификација препрека на путу преношења терета	196
Табела 12.43 – Одређивање нивоа комуникације, координације и контроле	197
Табела 12.44 – Одређивање услова околине.....	197
Табела 12.45 – Два типа радних активности гурања и повлачења.....	199
Табела 12.46 – Нивои ризика на основу алата МАС.....	199
Табела 12.47 – Одређивање врсте опреме и тежине терета.....	201
Табела 12.48 – Одређивање положаја руку и тела	202
Табела 12.49 – Одређивање начина држања руке/руку	203
Табела 12.50 – Одређивање ритма рада	203
Табела 12.51 – Одређивање растојање за преношење терета	204
Табела 12.52 – Одређивање програма одржавања	204
Табела 12.53 – Идентификација стања подова.....	205
Табела 12.54 – Идентификација препрека на путу гурања/вучења ...	205
Табела 12.55 – Идентификација осталих фактора.....	206
Табела 12.56 – Врсте активности	206
Табела 12.57 – Одређивање положаја тела и руку	207
Табела 12.58 – Одређивање начина држања руке/руку	208
Табела 12.59 – Одређивање темпа рада.....	208
Табела 12.60 – Одређивање растојања померање терета без тачкова.....	209
Табела 12.61 – Идентификација стања подова	209

Табела 12.62 – Идентификација препрека на путу приликом померања терета без точкова	210
Табела 12.63 – Идентификација осталих фактора	210
Табела 12.64 – Одређивање фактора ХМ и АМ	213
Табела 12.65 – Одређивање фактора УМ и БМ	214
Табела 12.66 – Одређивање фактора ВМ	214
Табела 12.67 – Одређивање фактора КМ	215
Табела 12.68 – Ниво ризика у односу на индекс дизања терета	215

1 Систем безбедности и здравља на раду у Републици Србији и у свету

Систем безбедности и здравља на раду у Републици Србији обухвата дефинисану правну и институционалну структуру која има за циљ заштиту живота и здравља радника, као и превенцију идентификованих ризика на радном месту. Систем обухвата низ закона, правилника, стратегија и институција које делују синхронизовано како би се осигурали безбедни услови рада и смањио број повреда и професионалних обољења. Главна институција која је надлежна за развој, спровођење и надзор система безбедности и здравља на раду је Министарство за рад, запошљавање, борачка и социјална питања Републике Србије. Ово министарство је одговорно за креирање политика и доношење правних оквира који регулишу ову област. У саставу Министарства, значајну улогу има Управа за безбедност и здравље на раду, која је задужена за стратешко планирање, развој прописа, спровођење програма обуке и координацију са осталим релевантним институцијама. Управа такође има саветодавну улогу у припреми законодавних аката и међународну сарадњу у области безбедности и здравља на раду. Инспекторат за рад представља контролни механизам државе у погледу поштовања прописа о безбедности и здрављу на раду. Његова надлежност обухвата инспекцијски надзор послодаваца, изрицање мера у случају неправилности уз санкционисање субјеката који не поштују законске обавезе, као и аналитичко извештавање како би се утврдио достигнути ниво у области безбедности и здравља на раду у Републици Србији.