

Едиција "Универзитетски уџбеник"

Оснивач и издавач едиције: Универзитет у Новом Саду
Трг Доситеја Обрадовића 5, Нови Сад

Година оснивања: 1995.

Главни и одговорни уредник Едиције: Академик Проф. др Олга Хаџић, ректор

Уређивачки одбор: Академик Проф. др Олга Хаџић, председник
Проф. др Душан Петровачки
Проф. др Мара Букић
Проф. др Благоје Станчић

Универзитет у Новом Саду
ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ „МИХАЈЛО ПУШИН”
Зрењанин

Јасмина Речек

37st
68st
223st
SCC → SM

Проф. др Мирослав Ламбић

ТЕРМОТЕХНИКА СА ЕНЕРГЕТИКОМ

Зрењанин
1998.

Назив уџбеника: „ТЕРМОТЕХНИКА СА ЕНЕРГЕТИКОМ“

Аутор: Проф. др Мирослав Ламбић

Рецензенти: Проф. др Миладин Бркић
Проф. др Душан Голубовић

Издавач: Технички факултет “Михајло Пупин”
Зрењанин, Буре Баковића бб

За издавача: Проф. др Душан Липовац, декан

Уредник: Проф. др Мирослав Ламбић

Лектор: Мр Срђан Шерер

Коректор: Сунчица Ламбић

Обрада шекста на рачунару: Владан Грујин

Штампа: “Форум” Нови Сад

Тираж: 400 примерака

CIP - Каталогизација у публикацији
Библиотека Матице српске, Нови Сад

536.7(075.8)
621.1(075.8)

ЛАМБИЋ, Мирослав

Термотехника са енергетиком / Мирослав Ламбић. -
Нови Сад : Универзитет ; Зрењанин : Технички
факултет “Михајло Пупин”, 1998
- 469 стр. : граф. прикази ; 23 цм. -
(Едиција Универзитетски уџбеник ; 70)

Тираж 400. - Библиографија : стр. 459 - 464.

ISBN 86 - 499 - 0021 - 6

а) Термотехника б) Енергетика

0

ПРЕДГОВОР

Књига *“ТЕРМОТЕХНИКА СА ЕНЕРГЕТИКОМ”* је написана као уџбеник за истомени предмет који се предаје студентима Техничког факултета “Михајло Пупин” у Зрењанину, Универзитета у Новом Саду - на образовним профилима “Дипломирали инжењер за развој - машинске струке” - у трајању од три (V, VI и VII) семестра, “Дипломирали инжењер текстилно-машинске струке” - у трајању од три (V, VI и VII), односно два (VII и VIII) семестра и “Професор техничког образовања...” - у трајању од два (V и VI), односно једног (III) семестра. Овај предмет је настао обједињавањем два предмета, односно њихових програма - *Термодинамике са термотехником и Енергетице*, односно *Обновљивих извора енергије*.

Садржај програма наставе је прилагођен образовним профилима, тако да се у делу енергетике обрађују, углавном термоенергетски ресурси и технологије - посебно нових и обновљивих извора енергије (сагласно профилима развојног инжењерства и техничког образовања).

Наставне теме које се односе на науку о топлоти обухватају сажет општи курс из техничке термодинамике и термотехнике. Обзиром да је предметна проблематика у иначе веома бројној и квалитетној домаћој, стручној и научној литератури детаљно обрађена, како у општим тако и у уже стручним и научним областима, аутор није имао потребе за детаљним и ширим излагањем ове материје.

Посебан нагласак је дат материји која обрађује енергетику сунчевог зрачења обзиром на њену сложеност, будући значај и перспективе као енергетског ресурса, као и због чињенице да је ова проблематика недовољно обрађена у другој уџбеничкој литератури.

У књизи је обрађена и проблематика коришћења енергије ветра, геотермалне енергије, енергије биомасе, производње биогаса, топлотних пумпи и др.

Пошто недостаје домаћа литература која на једном месту - у једној књизи има дате садржаје, ова књига може послужити, како студентима, тако и пројектантима и другим техничким лицима. Због тога су у прилозима уџбенику дате бројне табеле и дијаграми неопходни за решавање конкретних задатака и за прорачун енергетских постројења.

Аутор

САДРЖАЈ

ПРЕДГОВОР	3
1. УВОД	7
1.1. О ДИМЕНЗИЈАМА ЗА ЕНЕРГИЈУ	11
1.2. О ПОЈМУ ТЕРМОДИНАМИКЕ КАО НАУКЕ	12
1.3. ФЕНОМЕНОЛОШКИ И СТАТИЧКИ ПРИСТУП	12
2: ПРИНЦИПИ ТЕРМОДИНАМИКЕ.....	14
2.1. ОСНОВНИ ПОЈМОВИ	14
2.2. СИСТЕМ И ОКРУЖЕЊЕ	15
2.3. Појам околине	15
2.4. ТЕРМОДИНАМИЧКА РАВНОТЕЖА	16
2.5. ОСНОВНЕ ТЕРМОДИНАМИЧКЕ ВЕЛИЧИНЕ	16
2.6. ТЕМПЕРАТУРА И НУЛТИ ПРИНЦИП ТЕРМОДИНАМИКЕ	17
2.7. P, V, T - ОСОБИНЕ ЧИСТЕ СУПСТАНЦИЈЕ	18
2.8. ТОПЛОТНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ МАТЕРИЈЕ	18
3. ПРОМЕНЕ СТАЊА - ПРОЦЕСИ	19
3.1. ЕНЕРГИЈА	19
3.2. Унутрашња енергија	19
3.3. НАЧИН ПРЕНОСА ТОПЛОТЕ КРОЗ ГРАНИЦУ СИСТЕМА	20
3.4. ТОПЛОТНИ КАПАЦИТЕТ	21
3.5. ПОТЕНЦИЈАЛНА И КИНЕТИЧКА ЕНЕРГИЈА	22
3.6. Енергија струјања	24
4. ИДЕАЛНИ ГАС	26
5. ЈЕДНАЧИНА СТАЊА РЕАЛНОГ ГАСА	28
5.1. ВАН ДЕР ВАЛСОВА ЈЕДНАЧИНА СТАЊА	28
5.2. ВОДЕНА ПАРА	29
5.2.1. Засићена водена пара	29
5.2.2. Влажна водена пара	31
5.2.3. Прегрејана водена пара	31
5.2.4. Ентропија водене паре	32
5.2.5. T, s и h, s - дијаграми	32
5.2.6. Критичне величине стања	33
5.2.7. Једначина стања	33
5.3. ВЛАЖАН ВАЗДУХ	34
5.3.1. Релативна влажност ваздуха	34
5.3.2. Апсолутна влажност	35
5.3.3. Густина влажног ваздуха	36
5.3.4. Енталпија влажног ваздуха	37
5.3.5. Молијеров $h-x$ - дијаграм	38
6. ПРВИ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКЕ	39
6.1. КОНЦЕПТ РАДА	41
6.1.1. Дефиниција рада у механици и термодинамици	41
6.1.2. Рад компресије и експанзије	42
6.1.3. Рад квазистатичких процеса	43
6.2. УНУТРАШЊА ЕНЕРГИЈА СИСТЕМА	43
6.3. ЕНТАЛПИЈА	44
7. ДРУГИ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКЕ И ЕНТРОПИЈА	46

7.1. ЕНТРОПИЈА.....	46
ДРУГИ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКЕ.....	48 ✓
8. ЗАКОНИ ОДРЖАЊА МАСЕ И ЕНЕРГИЈЕ.....	50
8.1. ЗАКОН ОДРЖАЊА МАСЕ.....	50 ✓
8.2. ЗАКОН ОДРЖАЊА ЕНЕРГИЈЕ.....	52
8.2.1. Први принцип термодинамике за контролисану запремину.....	52
9. ПРОМЕНЕ СТАЊА ИДЕАЛНИХ ГАСОВА.....	54
9.1. Изохорски процес (Шарлов закон).....	54
9.2. ИЗОБАРСКИ ПРОЦЕС (ГЕЈ-ЛИСАКОВ ЗАКОН).....	57
9.3. ИЗОТЕРМСКИ ПРОЦЕС (БОЛЛ-МАРИОТОВ ЗАКОН).....	59
9.4. АДИЈАБАТСКИ ПРОЦЕС.....	61
9.5. ПОЛИТРОПСКЕ ПРОМЕНЕ СТАЊА ИДЕАЛНИХ ГАСОВА.....	62 ✓
<i>Одређивање айсолутивног рада</i>	65
<i>Одређивање шойлојтне енергије</i>	66
<i>Одређивање шехичког рада</i>	66
<i>ПРИКАЗ ПОЛИТРОПСКИХ ПРОМЕНА СТАЊА</i>	67
10. КРУЖНИ ПРОЦЕСИ - ЦИКЛУСИ.....	68 ✓
10.1. ПРЕТВАРАЊЕ ТОПЛОТНЕ ЕНЕРГИЈЕ У МЕХАНИЧКИ РАД.....	69
10.2. ИДЕАЛНИ КРУЖНИ ЦИКЛУСИ.....	70 ✓
10.2.1. Карноов циклус.....	70
10.2.2. Ериксонев циклус.....	71
10.3. ИДЕАЛИЗОВАНИ СТВАРНИ КРУЖНИ ПРОЦЕСИ.....	71
10.3.1. Процеси парних машина.....	71 ✓
10.3.2. Процеси гасних машина.....	74 ✓
Ото процес.....	74
Дизел - процес.....	77
Комбиновани (Сабате) процес.....	79
Цулов процес.....	79
Стирлингов процес.....	81
10.4. ПРОЦЕСИ ХЛАЂЕЊА.....	81
10.4.1. Циклуси ваздушних, пароејекторских и апсорпционих расхладних уређаја.....	84
11. РАДНА СПОСОБНОСТ СИСТЕМА.....	88
11.1. МАКСИМАЛАН И МИНИМАЛАН РАД.....	88
11.2. МАКСИМАЛАН РАД И РАДНА СПОСОБНОСТ ЗАТВОРЕНОГ СИСТЕМА.....	89
11.3. ГУБИТАК РАДНЕ СПОСОБНОСТИ - ИРЕВЕРЗИБИЛНОСТ.....	90
11.4. ЕКСЕРГИЈА И АНЕРГИЈА.....	90
11.4.1. Радна способност - ексергија отвореног система.....	91
11.5. СЛОВОДНА ЕНЕРГИЈА.....	92
11.5.1. Промена Хелмхолцове функције.....	92
12. ПРОСТИРАЊЕ ТОПЛОТЕ.....	93
12.1. ПРОСТИРАЊЕ ТОПЛОТЕ ПРОВОЂЕЊЕМ - КОНДУКЦИЈА.....	93 ✓
12.1.1. Температурно поље.....	93
12.1.2. Градијент температуре.....	94
12.1.3. Топлотни проток и Фуријеов закон.....	96
12.1.4. Општа диференцијална једначина провођења топлоте.....	98
12.1.5. Једнодимензионално стационарно провођење топлоте.....	102
12.2. ПРОСТИРАЊЕ ТОПЛОТЕ ПРЕЛАЗЕЊЕМ (КОНВЕКЦИЈОМ).....	106 ✓
12.2.1. Прелажење топлоте без фазне трансформације.....	106

12.2.2. Природа и режим струјања флуида.....	108
12.2.3. Примена теорије сличности.....	109
12.2.4. Слободна или природна конвекција.....	110
12.2.5. Принудна конвекција.....	112
12.3. ПРОЛАЗ ТОПЛОТЕ.....	115 ✓
12.4. ПРОСТИРАЊЕ ТОПЛОТЕ ЗРАЧЕЊЕМ (РАДИЈАЦИЈА).....	117 ✓
12.4.1. Основне карактеристике зрачења.....	118
12.4.2. Размена топлоте зрачењем између тела раздвојених прозачном средином.....	120
Размена топлоте зрачењем између две паралелне површине.....	120
Размена топлоте зрачењем између обухваћених површина.....	122
12.5. РАЗМЕЊИВАЧИ ТОПЛОТЕ.....	123 ✓
12.5.1. Цевни размењивачи топлоте.....	125
Основни делови цевних размењивача топлоте.....	125
12.5.2. Енергетски биланс размењивача топлоте са једним пролазом флуида.....	127
13. САГОРЕВАЊЕ.....	130
13.1. ТОПЛОТНА МОЋ.....	130
13.2. Количина ваздуха за сагоревање.....	132
13.3. ЧВРСТА И ТЕЧНА ГОРИВА.....	132
13.4. ГАСОВИТА ГОРИВА.....	133
Подела гасова.....	133
13.5. Густина димних гасова.....	134
14. СУШЕЊЕ.....	136
14.1. СТАТИКА И КИНЕТИКА СУШЕЊА.....	136
14.1.1. Статика процеса сушења.....	138
14.1.2. Кинетика сушења влажних материјала.....	141
1. КРАТАК ИСТОРИЈСКИ ПРЕГЛЕД ЕНЕРГЕТИКЕ.....	147
2. ЕНЕРГИЈА И ДРУШТВЕНИ РАЗВОЈ.....	152
3. КОНВЕНЦИОНАЛНА ЕНЕРГИЈА - РЕСУРСИ.....	156
3.1. УГАЉ.....	156 ✓
3.2. НАФТА И ЗЕМНИ ГАС.....	157 ✓
НАФТА.....	157
Земни гас.....	158 ✓
3.3. УЉНИ ШКРИЉЦИ И БИТУМИНОЗНИ ПЕСАК.....	159
Уљни шкриљци.....	159
Битуминозни песак.....	161
3.4. ДРВО.....	161
3.5. ХИДРОМЕХАНИЧКИ ЕНЕРГЕТСКИ ПОТЕНЦИЈАЛ.....	164
ЕНЕРГЕТСКИ ПОТЕНЦИЈАЛ РЕЧНИХ ТОКОВА.....	164
4. СУНЧЕВА ЕНЕРГИЈА.....	167
4.1.1. Глобално, директно, дифузно и рефлектовано зрачење.....	170
4.1.2. Површинска расподела енергије сунчевог зрачења.....	176
4.2. ПРИЈЕМНИЦИ СУНЧЕВЕ ЕНЕРГИЈЕ (ПСЕ).....	192 ✓
4.2.1. Врсте пријемника.....	192
4.2.2. ТОПЛОТНИ ПРИЈЕМНИЦИ СУНЧЕВОГ ЗРАЧЕЊА.....	194
4.2.3. ПРИЈЕМНИЦИ СА КОНЦЕНТРИСАЊЕМ (ФОКУСИРАЊЕМ) СУНЧЕВИХ ЗРАКА - КОНЦЕНТРАТОРИ.....	195 ✓
Врсте и подела.....	195

4.2.4 ХЕЛИОСТАТСКИ МАКРОКОНЦЕНТРАТОР	201
4.2.5. Концентратори са кривим огледалима	208
4.2.6. Параболоцилиндрични концентратор	209 ✓
ЕНЕРГЕТСКИ БИЛАНС	209
ОПТИЧКИ ГУБИЦИ ρ , τ , α и γ	210
УГЛОВНА ДИСПЕРЗИЈА	212
НЕТАЧНОСТ ФОРМИРАЊА СЛИКЕ СУНЦА	213
ГРЕШКЕ ПОЛОЖАЈА АПСОРБЕРА У ОДНОСУ НА РЕФЛЕКТОР	215
ГРЕШКЕ У ОРИЕНТАЦИЈИ ОГЛЕДАЛА	215
4.2.7. ТОПЛОТНА ЕФИКАСНОСТ КОНЦЕНТРИШУЋИХ СИСТЕМА	216
Opti-ka analiza	218
ТОПЛОТНА АНАЛИЗА	220
ОПТИЧКА АНАЛИЗА ПАРАБОЛОЦИЛИНДРИЧНОГ КОНЦЕНТРАТОРА (ПЦК)	223
ИЗГЛЕД И КОНСТРУКЦИЈА РАЗЛИЧИТИХ ТИПОВА КОНЦЕНТРАТОРА	227
4.2.8. Равни – плочасти пријемници сунчеве енергије (ПСЕ)	234 ✓
4.2.9. Топлотни биланс равних пријемника	235 ✓
4.2.10. Ефикасност преноса топлоте од апсорбера на радну течност (ефективност апсорбера)	254
СРЕДЊА ТЕМПЕРАТУРА АПСОРБЕРА	266
ЕФЕКТИВНА ТРАНСМИТИВНО - АПСОРПТИВНА КАРАКТЕРИСТИКА	266
ЕНЕРГЕТСКИ БИЛАНС ПСЕ СА ВАЗДУХОМ КАО НОСИОЦЕМ ТОПЛОТЕ	270
4.2.11. Енергетска ефикасност ПСЕ	274 ✓
4.2.12. Деградација енергетских карактеристика ПСЕ	277
АПСОРБЕР	280
ТЕРМИЧКА ИЗОЛАЦИЈА	280
4.2.13. БАЗНИ ПАРАМЕТРИ РАДА	282
Енергетска концентрација	290
4.2.14. Конструкције равних псе и система за коришћење сунчеве енергије	290
4.2.15. Пасивно соларно грејање	299
5. КОНВЕРЗИЈА СУНЧЕВОГ ЗРАЧЕЊА У ЕЛЕКТРИЧНУ ЕНЕРГИЈУ	302
5.1. Соларна ћелија	302
5.2. ЕФИКАСНОСТ СОЛАРНЕ ЋЕЛИЈЕ	304
6. ЕНЕРГИЈА ВЕТРА	308 ✓
6.1. ПОТЕНЦИЈАЛ	308
6.2. ВРСТЕ ВЕТРЕЊАЧА	320
6.3. ФАКТОРИ ЗА ПРОРАЧУН ВЕТРОТУРБИНСКОГ ПОСТРОЈЕЊА	322
6.3.1. Средња брзина ветра	322 ✓
6.3.2. Топографски утицаји	322
6.3.3. Коэффициент апсорбоване снаге	323
6.3.4. АЕРОДИНАМИЧКА СИЛА	323
6.4. КОНТРОЛА РАДА ВЕТРОТУРБИНА	325
7. ГЕОТЕРМАЛНА ЕНЕРГИЈА	327 ✓
7.1.1. Појам, настанак и карактеристике	327
7.1.2. Енергетски потенцијал геотермалне енергије	331
7.1.3. Дејства термалних вода	334

Просечан садржај	335
Минерализација	335
7.2. ПОСТРОЈЕЊА ЗА КОРИШЋЕЊЕ ТЕРМАЛНИХ ВОДА	335
7.3. ЕНЕРГЕТСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТЕРМАЛНИХ ВОДА	342
7.4. ПРОИЗВОДЊА ЕЛЕКТРИЧНЕ ИЗ ГЕОТЕРМАЛНЕ ЕНЕРГИЈЕ	344
8. БИОМАСА	347 ✓
8.1. САГОРЕВАЊЕ БИОМАСЕ	347
8.1.1. Енергија биомасе	347
8.1.2. Технологија припреме и сагоревања биомасе	352
8.2. СИСТЕМИ ЗА ПРИПРЕМУ И САГОРЕВАЊЕ БИОМАСЕ	354
8.3. ГАСИФИКАЦИЈА БИОМАСЕ	357
9. ЕНЕРГИЈА БИОГАСА	360 ✓
9.1. АНАЕРОБНО ВРЕЊЕ	362
9.2. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ БИОГАСА	367
9.3. ЕНЕРГИЈА И СНАГА ПОСТРОЈЕЊА ЗА ПРОИЗВОДЊУ И КОРИШЋЕЊЕ БИОГАСА	370
9.4. ПОСТРОЈЕЊЕ ЗА ПРОИЗВОДЊУ БИОГАСА	371
9.4.1. Дигестори	373
9.4.2. Складиштење биогаса	379
9.4.3. Пречишћавање биогаса	381
9.4.4. Сигурносна опрема	382
10. ТОПЛОТНЕ ПУМПЕ	383 ✓
10.1 - УКУПАН КОЕФИЦИЈЕНТ КОРИСНОСТИ ТОПЛОТНЕ ПУМПЕ	387
10.2. ТЕМПЕРАТУРЕ КОНДЕНЗАЦИЈЕ И ИСПАРАВАЊА	388
10.3. ТОПЛОТНИ ИЗВОРИ	389
10.3.1. Вода	390
10.3.2. Подземне воде	390
10.3.3. Ваздух	391
ЛИТЕРАТУРА	459