ПРЕДГОВОР

Уџбеник *Основи електроенергетике* намијењен је студентима Студијског програма за електроенергетику и аутоматику на Електротехничком факултету у Бањој Луци, који истоимени предмет слушају на II години студија. Осим тога, уџбеник може бити од користи и студентима других одсјека и других факултета, који желе да се упознају са основним појмовима и принципима у савременој електроенергетици. За праћење излагања потребна су основна предзнања из математике, физике и основа електротехнике.

Уџбеник садржи десет глава, које обрађују три области: увод у електроенергетику, основне прорачуне у електроенергетици, те основе експлоатације електроенергетског система и тржишта електричне енергије.

Увод у електроенергетику обухвата прве три главе. У првој глави обрађен је историјски утицај енергије на развој друштва, са посебним нагласком на електроенергетику. Објашњени су процеси конверзије и трансформације енергије, ланци конверзије за добијање електричне енергије, те сврха и значај електроенергетског система. На крају прве главе дат је осврт на остварени развој и будуће перспективе у кориштењу електричне енергије, те утицај електроенергетике на екологију. У другој глави обрађен је избор величина и одговарајућих рјешења у електроенергетици: усвајање вриједности напона и струја, таласних облика, броја фаза и учестаности. Кроз анализу развоја електроенергетике током више од стотину година, објашњено је, не само како поједина рјешења функционишу у пракси, него и зашто су баш та рјешења усвојена. Трећа глава обухвата детаљан опис елемената који чине савремени електроенергетски систем и његове подсистеме. Прво је описан електроенергетски систем као цјелина, а затим су обрађени подсистем производње (термоелектране, хидроелектране, нуклеарне електране, вјетроелектране и соларне електране), подсистем преноса (водови и разводна постројења), те подсистеми дистрибуције и потрошње. У циљу лакшег разумијевања, у овој глави приказани су многобројни примјери објеката и елемената електроенергетског система из праксе.

Основни прорачуни у електроенергетици обухватају наредних пет глава. Њихов циљ је да се објасни како се теоријски усвојено градиво, које се проучава на предметима на нижим годинама студија, примјењује у електроенергетици. Тако су у четвртој глави обрађени прорачуни наизмјеничних режима једнофазних и трофазних кола у временском домену, а затим, у петој и шестој глави, одговарајући прорачуни у фазорском домену. Објашњене су предности, недостаци и ограничења у примјени појединих приступа. У седмој глави обрађени су трофазни несиметрични режими, а у осмој глави сложеноперијодични режими једнофазних и трофазних кола. Са циљем лакшег усвајања градива, излагања су обогаћена великим бројем илустративних примјера из праксе. Ови примјери, осим за разумијевање појединих поступака, могу да послуже и као упутство гдје и како се ти прорачуни практично користе. На крају сваке од ових глава налазе се ријешени задаци за даљи рад, при чему сложенији задаци (означени звјездицом) нису неопходни за разумијевање основног градива.

Основе експлоатације електроенергетског система и основе тржишта електричном енергијом обрађене су у деветој и десетој глави. У деветој глави прво су објашњени основи прорачуна токова снага у радијалним и петљастим мрежама, а затим, основе регулације активних снага и учестаности кроз примарну, секундарну и терцијарну регулацију. У десетој глави дат је осврт на развој и еволуцију тржишта електричне енергије кроз процес дерегулације електроенергетског система. Објашњени су основни појмови у трговању електричном енергијом, те како се тржишни принципи користе у функционисању електроенергетских система у земљама у нашем окружењу. Дат је и критички осврт на процесе у пословању на тржиштима електричном енергијом.

Излагање градива прилагођено је студентима који се по први пут сређу са електроенергетиком. Електроенергетика, као и електроенергетски систем, посматрају се као цјелина, са циљем стицања „шире слике“ о електроенергетици. Пошто предмет *Основи електроенергетике* слушају студенти електроенергетике и аутоматике, градиво је изложено тако да студентима електроенергетике пружи основу за лакше праћење предмета на наредним годинама студија, а студентима аутоматике да разумију функционисање електроенергетике у пракси. Зато је, приликом писања рукописа, усвојен приступ да излагање буде што једноставније, али, ипак, да не буде тривијално.

Приликом израде рукописа, добио сам несебичну подршку колега са електротехничких факултета у Бањој Луци, Источном Сарајеву и Београду, те Факултета техничких наука у Новом Саду. Свима њима срдачно захваљујем. Посебну захвалност дугујем рецензентима, проф. др Жељку Ђуришићу и проф. др Чедомиру Зељковићу, на пажљивом читању рукописа и драгоцјеним сугестијама.

Позивам све читаоце, првенствено студенте, да ми доставе све своје примједбе, сугестије и коментаре.

У Бањој Луци, 2024.

Аутор

САДРЖАЈ

1. Увод у електроенергетику 1

1.1. Појам енергије и снаге 1

1.1.1. Појам енергије 1

1.1.2. Појам снаге 3

1.2. Енергија и развој друштва 4

1.3. Електрична енергија и ланац конверзије енергије 6

1.3.1. Енергетски потенцијал и производња електричне енергије 8

1.3.2. Потрошња електричне енергије 12

1.3.3. Биланс снага и енергија 13

1.4. Електроенергетски систем 15

1.5. Електроенергетика и екологија 17

1.5.1. Декарбонизација 17

1.5.2. Денуклеаризација 18

1.5.3. Еколошки захтјеви за обновљиве изворе енергије 19

1.5.4. Енергетска ефикасност 20

1.5.5. Предвиђања развоја уз уважавање еколошких захтјева 20

2. Избор величина у електроенергетици 22

2.1. Избор напонских нивоа у ЕЕС-у 22

2.2. Избор таласних облика у ЕЕС-у 25

2.3. Избор броја фаза 31

2.3.1. Двофазни систем напона и струја 31

2.3.2. Трофазни систем напона и струја 33

2.3.3. Предности трофазног система у односу на двофазни 35

2.3.4. Теслино обртно магнетно поље и трофазни електроенергетски систем 36

2.4. Избор учестаности у електроенергетском систему 38

2.5. Осврт на примјену једносмјерне електроенергетике 40

2.5.1. Пренос енергије високим једносмјерним напонима 40

2.5.2. Једносмјерна електроенергетика и „паметне мреже“ 42

2.6. Задаци за даљи рад 43

3. Елементи електроенергетског система 47

3.1. Подсистем производње електричне енергије 50

3.1.1. Енергија угља, нафте и гаса – термоелектране (ТЕ) 50

3.1.2. Нуклеарна енергија – нуклеарне електране (НЕ) 54

3.1.3. Енергија воде – хидроелектране (ХЕ) 57

3.1.4. Енергија вјетра – вјетроелектране (ВЕ) 61
3.1.5. Енергија Сунца – соларне електране (СЕ) 65
3.2. Подсистем преноса 67
3.2.1. Водови у преносној мрежи 67
3.2.1.1. Ваздушни водови у преносној мрежи 67
3.2.1.2. Кабловски водови у преносној мрежи 71
3.2.2. Разводна постројења 71
3.3. Подсистем дистрибуције 83
3.4. Подсистем потрошње 88

4. Анализа режима у временском домену 91
4.1. Наизмјенични сигнали у временском домену 91
4.1.1. Фазно кашњење и предњачење 91
4.1.2. Ефективна вриједност 92
4.2. Наизмјенични режими у линеарним колима 93
4.2.1. Отпорник отпорности *R* 94
4.2.2. Калем индуктивности *L* 94
4.2.3. Кондензатор капацитивности *C* 95
4.3. Електрична снага у временском домену 96
4.3.1. Тренутна снага једнофазног кола 96
4.3.2. Тренутна снага двофазног кола 99
4.3.3. Тренутна снага трофазног кола 101
4.4. Спреге трофазних елемената 102
4.5. Пофазна анализа трофазних кола у временском домену 105
4.6. Основе прорачуна струја кратких спојева у временском домену 106
4.7. Задаци за даљи рад 108

5. Наизмјенични режими у фазорском домену 115
5.1. Дефиниција фазора 115
5.2. Рачунске операције у фазорском домену 118
5.2.1. Сабирање и одузимање фазора 118
5.2.2. Извод фазора 119
5.2.3. Интеграл фазора 120
5.3. Основни прорачуни електричних кола примјеном фазорског рачуна 120
5.3.1. Чисто отпорно коло 120
5.3.2. Чисто индуктивно коло 121
5.3.3. Чисто капацитивно коло 121
5.3.4. Импеданса и адмитанса 122

5.3.5. Резонанција 125
5.3.5.1. Паралелна резонанција 126
5.3.5.2. Редна резонанција 126
5.3.5.3. Осврт на практичне проблеме при резонанцији у електроенергетици. 128
5.4. Прорачун снага једнофазног кола у фазорском домену 128
5.4.1. Дефиниција снаге у фазорском домену 129
5.4.2. Снаге у пасивним колима 130
5.4.3. Токови снага у активним колима и PQ раван 133
5.4.4. Угаоне карактеристике при преносу снаге 135
5.5. Задаци за даљи рад 137
5.6. Прилог: Основне операције са комплексним бројевима 142

6. Трофазни симетрични режими 144
6.1. Дефиниција трофазног симетричног режима 144
6.2. Спрезање трофазних елемената 147
6.2.1. Спрега звијезда 147
6.2.2. Спрега троугао 148
6.3. Особине појединих спрега и трансфигурација спрега 150
6.3.1. Спрега звијезда 150
6.3.2. Спрега троугао 151
6.3.3. Трансфигурација трофазних спрега 153
6.4. Пофазна анализа уравнотежених трофазних кола 156
6.4.1. Циркуларна симетричност 158
6.4.2. Потпуна симетричност 159
6.4.3. Симетричност без спреге 161
6.5. Снаге у трофазним колима 162
6.6. Пофазне еквивалентне шеме елемената ЕЕС-а 165
6.6.1. Синхрони генератор 166
6.6.2. Ваздушни и кабловски вод 167
6.6.3. Енергетски трансформатор 169
6.6.4. Дијелови ЕЕС-а и потрошачи 171
6.7. Задаци за даљи рад 172

7. Трофазни несиметрични режими 183
7.1. Општи прорачун несиметричних трофазних режима 184
7.2. Директни, инверзни и нулти симетрични системи 186
7.3. Фортескјеова трансформација 188
7.4. Пофазна представа симетричних режима 191

7.4.1. Директни симетрични режим ... 191
7.4.2. Инверзни симетрични режим ... 192
7.4.3. Нулти симетрични режим ... 192
7.4.4. Параметри кола за симетричне режиме ... 193
7.5. Метода симетричних компоненти ... 195
7.6. Пофазне шеме елемената у домену симетричних компоненти ... 198
7.6.1. Синхрони генератор и синхрони мотор ... 200
7.6.2. Ваздушни и кабловски вод ... 201
7.6.3. Енергетски трансформатор ... 201
7.7. Прорачун несиметричних режима на неуравнотеженим елементима ... 203
7.8. Симетричне компоненте у спрегама звијезда и троугао ... 207
7.9. Осврт на примјену методе симетричних компоненти ... 210
7.10. Основе прорачуна несиметричних кварова ... 211
7.10.1. Основе прорачуна кратких спојева ... 211
7.10.1.1. Декомпозиција EEC-а на симетричан дио и мјесто квара ... 212
7.10.1.2. Једнополни кратак спој ... 214
7.10.1.3. Двополни кратак спој ... 216
7.10.1.4. Двополни кратак спој са земљом ... 218
7.10.1.5. Тринополни кратак спој ... 220
7.10.1.6. Осврт на добијене изразе за прорачун кратких спојева ... 221
7.10.2. Изоловане и уземљене мреже ... 224
7.10.3. Основе прорачуна прекида фаза ... 226
7.10.3.1. Прекид фазе у уземљеним мрежама ... 228
7.10.3.2. Прекид фазе у неуземљеним мрежама ... 230
7.11. Прорачун несиметричних режима без електромагнетних спрега ... 231
7.12. Задаци за даљи рад ... 234

8. Анализа сложеноперидичних режима ... 239
8.1. Узроци настанка изобличења напона и струје ... 239
8.2. Разлагање периодичних сигнала у Фуријеов ред ... 241
8.2.1. Одређивање коефицијената реалног Фуријеовог реда ... 244
8.2.2. Анализа специјалних случајева таласних облика ... 247
8.2.2.1. Паран сигнал ... 247
8.2.2.2. Непаран сигнал ... 248
8.2.2.3. Сигнал симетричан на половини периоде ... 248
8.2.2.4. Паран сигнал симетричан на половини периоде ... 249
8.2.2.5. Непаран сигнал симетричан на половини периоде ... 249

8.2.2.6. Преглед коефицијената за карактеристичне облике сигнала 250
8.2.3. Комплексни Фуријеов ред 255
8.3. Сложеноперијодични режими у електроенергетици 259
8.3.1. Ефективна вриједност сложеноперијодичног сигнала 259
8.3.2. Квантификовање изобличења сигнала 260
8.3.3. Снаге у сложеноперијодичним режимима 262
8.3.4. Сложеноперијодични режими у линеарним колима 264
8.3.5. Сложеноперијодични режими у трофазним колима 267
8.3.6. Простирање виших хармоника у трофазним колима 269
8.3.7. Снаге у трофазним колима у сложеноперијодичним режимима 272
8.4. Основе дигиталне обраде сигнала у електроенергетици 275
8.4.1. Одабирање сигнала 275
8.4.2. Дискретни Фуријеов ред 278
8.4.3. Осврт на примјену дискретних Фуријеових редова 280
8.5. Задаци за даљи рад 280

9. Основе експлоатације ЕЕС-а 283
9.1. Основи прорачуна токова снага 284
9.1.1. Прорачун токова снага у радијалним мрежама 285
9.1.2. Метода потенцијала чворова 291
9.1.3. Снага инјектирања и метода потенцијала чворова 293
9.1.4. Поставка проблема токова снага у петљастим мрежама 297
9.1.5. Осврт на прорачун токова снага 299
9.2. Основе регулације електроенергетског система 300
9.2.1. Регулациони ресурси у ЕЕС-у 300
9.2.2. Регулација активних снага и учестаности 302
9.2.2.1. Примарна регулација 303
9.2.2.2. Секундарна регулација 305
9.2.2.3. Терцијарна регулација 306
9.2.3. Осврт на примјену регулације активних снага и учестаности 306
9.2.4. Регулација напона и реактивних снага 309
9.3. Помоћни системи у ЕЕС-у 310

10. Основе тржишта електричне енергије 311
10.1. Вертикално интегрисани ЕЕС 311
10.2. Електрична енергија као роба 313
10.3. Дерегулисани ЕЕС 314
10.4. Врсте тржишта електричне енергије 317

10.5. Велепродајно тржиште 319
10.6. Тржиште помоћних услуга 320
10.7. Балансно тржиште 321
10.7.1. Набавка балансног капацитета 322
10.7.2. Одређивање количине и цијене испоручене балансне енергије 322
10.8. Малопродајно тржиште 323
10.8.1. Снабдјевачи на малопродајном тржишту 324
10.8.2. Јавно снабдијевање 325
10.9. Осврт на рад тржишта електричне енергије 326
10.9.1. Технички предуслови 326
10.9.2. Подсистем производње у дерегулисаном ЕЕС-у 327
10.9.3. Интеграција обновљивих извора 327
10.9.4. Управљање потрошњом 328
10.9.5. Балансирање система помоћу спот тржишта енергије 328
11. ЛИТЕРАТУРА 329

1. УВОД У ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКУ

Енергетика је научна област која проучава *енергију* и њено коришћење. У овој глави упознаћемо се са појмом енергије и њеним облицима, те ћемо дефинисати енергетски потенцијал и енергетске потребе. Пажњу ћемо посветити *електричној енергији*, која се проучава у области *електроенергетика*, а користи помоћу *електроенергетског система*.

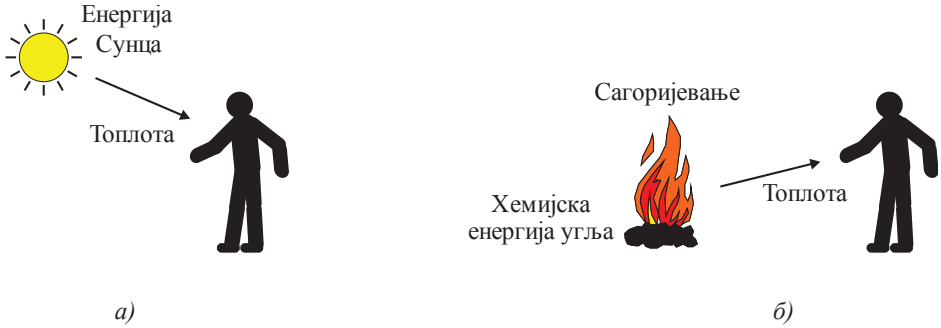
1.1. Појам енергије и снаге

Увод у енергетику започећемо објашњењима основних појмова: енергије и снаге.

1.1.1. Појам енергије

Енергија представља способност вршења рада, а утрошена енергија одговара извршеном раду којим се човјек окоришћује. Сва енергија на Земљи потиче од Сунца, и то као минули рад Сунца – тзв. *необновљиви извори енергије* (угаљ, нафта, нуклеарно гориво итд), те као текући рад Сунца – тзв. *обновљиви извори енергије* (водени токови, вјетар, Сунчево зрачење итд). Необновљиви и обновљиви извори енергије представљају *примарне изворе енергије*, у којима се енергија налази у различитим облицима: као хемијска енергија (у угљу, нафти или гасу), као механичка енергија (потенцијална енергија водотокова, кинетичка енергија вјетра), као нуклеарна енергија у језгрима атома, као соларна енергија Сунца итд.

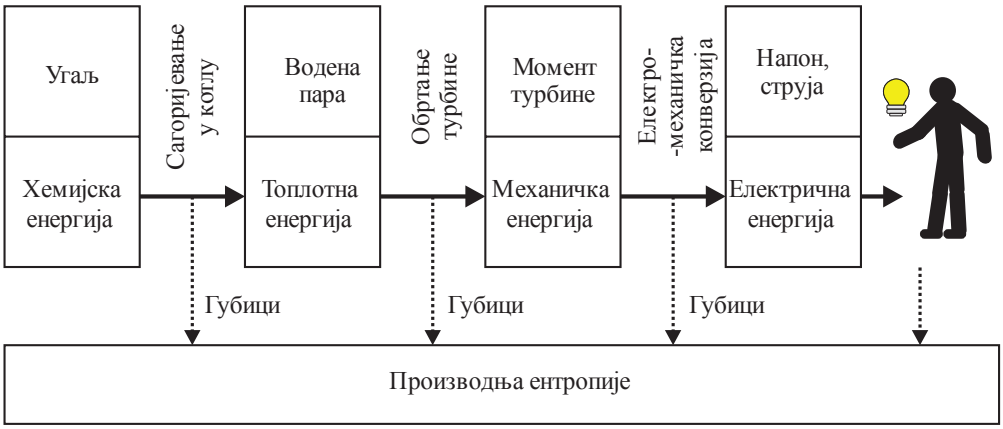
Окоришћавање енергијом назива се *потрошња енергије*. Човјек може непосредно користити примарне облике енергије, нпр. за загријавање директним коришћењем топлоте Сунца, како је приказано на Сл. 1.1а. Међутим, најчешће се енергија примарних извора посредно претвара (конвертује) у потребан облик, нпр. хемијска енергија угља се конвертује у топлотну, што је илустровано на Сл. 1.1б. У случају директног грijања енергијом Сунца, окоришћавање енергијом је *директно*, а у другом *индиректно*, претварањем хемијске енергије у топлотну у процесу сагоријевања.



Сл. 1.1. Окоришћавање енергијом: а) директно и б) индиректно

Конверзија енергије је процес којим се енергија претвара из једног у други облик, а коначни облик енергије, којим се човјек непосредно окоришћује, назива се *корисни облик енергије*. Енергија примарног извора може се претворити у корисну енергију у више различитих облика. На примјер: хемијска енергија угља може се претворити у топлотну енергију, али даље и у механичку енергију у парној машини, или свјетлосну посредством механичке и електричне енергије. Ови облици енергије називају се *конвертовани* облици енергије. Осим конверзије енергије, постоји и *трансформација енергије*. То је процес којим енергија задржава свој облик, али се мијењају њени параметри, нпр. мијења се однос напона и струје код електричне енергије, или однос притиска и температуре код топлотне енергије.

У процесу окоришћавања енергијом обично се примјењује више узастопних конверзија и трансформација, које представљају *ланац конверзије енергије*, како је приказано на Сл. 1.2. У датом примјеру, хемијска енергија угља се индиректно конвертује у свјетлосну енергију, кроз неколико међукорака: посредством унутрашње енергије паре у котлу, затим механичке и електричне енергије у турбини и генератору, те, на крају, у свјетлосну енергију у сијалици.



Сл. 1.2. Ланац конверзије (и трансформације) хемијске енергије угља у свјетлосну енергију посредством механичке и електричне енергије

У процесима конверзије и трансформације енергије важи *закон о одржању енергије*: енергија се не може уништити, нити створити, него она може само промијенити свој облик или стање. Теоријски, енергија се може представити као збир ексергије и анергије:

$$W(\textit{енергија}) = W(\textit{ексергија}) + W(\textit{анергија}), \tag{1.1}$$

при чему ексергија представља дио енергије која се може даље конвертовати или трансформисати, а анергија представља неповратно изгубљени рад. Процеси конверзије и трансформације, осим корисне ексергије, увијек садрже и анергију, односно дио енергије који, по законима термодинамике, повећава укупну ентропију. Ова теоријска анализа се у инжењерским прорачунима примјењује тако што енергију дијелимо на корисну енергију, којом ћемо успјети да се даље окористимо, и неизбјежну *енергију губитака* (или *губитке*), који повећавају ентропију, што је, такође, приказано на Сл. 1.2. Сваки корак у ланцу конверзије и трансформације праћен је неизбјежним губицима енергије.

Јединица за енергију је џул [J], али се осим ње врло често користе и алтернативне јединице за поједине облике енергије, нпр. ват-час [Wh] за електричну енергију, калорија [cal] или BTU (енг. *British Thermal Unit*) за топлотну енергију итд. У Табели 1.1 дат је преглед типичних јединица за енергију и њихови међусобни односи.

Табела 1.1. Јединице за енергију и њихови односи

	J=N·m=W·s	Wh	cal	BTU
J=N·m=W·s	1	$2{,}78\ 10^{-4}$	0,239	$9{,}48\ 10^{-4}$
Wh	$3{,}6\ 10^{3}$	1	860,42	3,41
cal	$4{,}19\ 10^{3}$	$1{,}16\ 10^{-3}$	1	0,0039
BTU	1055,06	0,293	252,16	1

Енергија ускладиштена у гориву (у тзв. енергентима), као што су угаљ, нафта или гас, често се изражава и у *тонама еквивалентног угља* [tce] или *барелима еквивалентне нафте* [BOE], гдје су одговарајући односи tce≈29308 GJ и BOE≈6,1 GJ.

1.1.2. Појам снаге

За процесе конверзије и трансформације енергије од кључне важности је брзина промјене енергије у времену, што је по дефиницији снага:

$$P = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t}, \tag{1.2}$$

која се изражава у ватима [W], а понекада и у коњским снагама, енг. *Horse Power* [HP], при чему је 1 HP=745,7 W. Снага описује начин реализације енергије у времену.

У општем случају, сви енергетски биланси (односи уложене енергије, добијене енергије и енергије губитака) проучавају се преко биланса снага, чијим се интеграњењем даље једноставно добија биланс енергија. Биланс снага је строжи услов од биланса енергија, а дат је изразом:

$$P_{ul} = P_{iz} + P_g, \tag{1.3}$$

гдје су P_{ul} и P_{iz} улазна и излазна снага у дати процес конверзије или трансформације, а P_g снага губитака у том процесу. Однос излазне (корисне) и улазне снаге назива се *степен искоришћења снаге* и рачуна из:

$$\eta = \frac{P_{iz}}{P_{ul}} = \frac{P_{iz}}{P_{iz} + P_g} = 1 - \frac{P_g}{P_{ul}} < 1, \tag{1.4}$$

и он описује *ефикасност* датог процеса. Степен искоришћења снаге цијелог ланца конверзије добија се као производ ефикасности сваког од n процеса конверзије и трансформације који учествују у њему:

$$\eta_{uk} = \prod_{i=1}^{n} \eta_i \,. \tag{1.5}$$

Биланс снаге мора бити увијек задовољен, како на нивоу појединих процеса конверзије и трансформације, тако и на нивоу цијелог ланца конверзије. Задовољавањем биланса снага задовољен је и биланс енергија.

Примјер 1.1: У ланцу конверзије са Сл. 1.2 степен искоришћења конверзије енергије угља у термодинамичком циклусу је η_1=0,5, енергије водене паре у механичку енергију у турбини η_2=0,8, а механичке енергије турбине у електричну енергију у генератору η_3=0,95. Занемарујући губитке у транспорту електричне енергије, и сматрајући да је ефикасност сијалице са жарном нити при претварању електричне енергије у свјетлосну енергију η_4=0,05, потребно је одредити укупни степен искоришћења датог ланца конверзије.

Укупни степен искоришћења је:

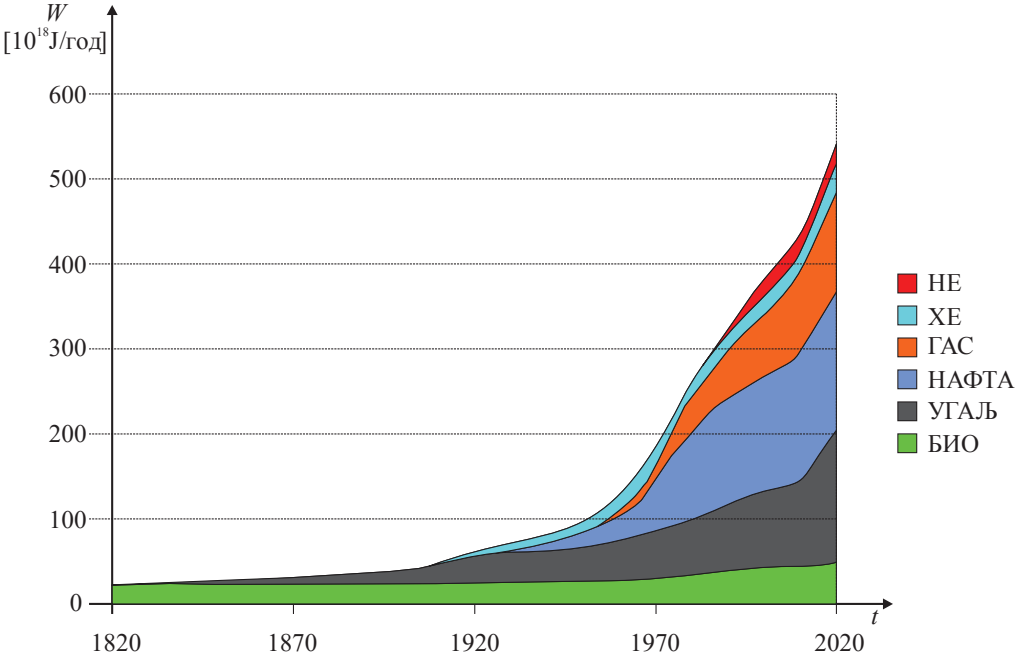
$$\eta_{uk} = \prod_{i=1}^{4} \eta_i = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,95 \cdot 0,05 \approx 0,02 \,.$$

На основу добијеног резултата можемо да закључимо да се само 2 % хемијске енергије угља конвертује у корисну свјетлосну енергију у сијалици.

Поједини облици енергије, нпр. електрична енергија, постоје само у прелазном облику, тј. током конверзије, па су то тзв. *латентни* или *прелазни* облици енергије. Такве облике енергије морамо проучавати преко одговарајућих снага којима се она реализује или претвара. Због немогућности акумулисања латентних облика енергије, они се морају у сваком тренутку производити у истом износу у којем се и троше. Њихово евентуално складиштење остварује се конверзијом у неки други облик енергије, нпр. конверзијом електричне енергије у потенцијалну енергију воде, или хемијску енергију у батеријама.

1.2. Енергија и развој друштва

Потрошња енергије директно одговара степену развијености друштва. На Сл. 1.3 приказана је свјетска годишња потрошња енергије у претходних 200 година, као и учешће појединих примарних извора у укупној производњи и потрошњи енергије.

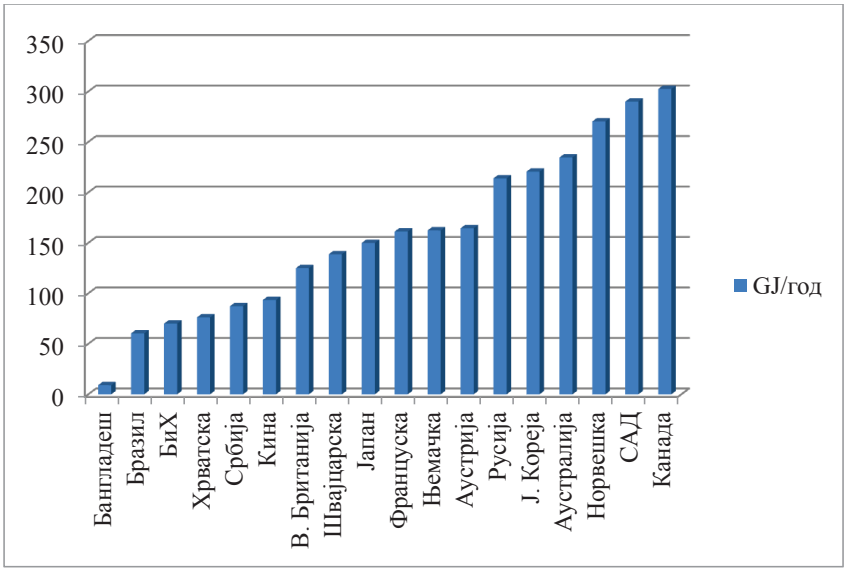


Сл. 1.3. Глобална годишња потрошња енергије у периоду од 200 година

Посматрајући потрошњу енергије у датом периоду, видимо да је први пораст потрошње настао након индустријских револуција у другој половини XIX вијека. Након тога, нови раст потрошње настаје након Првог и Другог свјетског рата у првој половини XX вијека. Од друге половине XX вијека потрошња енергије расте готово експоненцијално све до данашњег доба. Кроз приказани период људско друштво је прошло кроз индустријализацију, интензиван напредак науке и технологије, унапређење стандарда и квалитета живота, а на раст потрошње утицао је и раст броја становника на Земљи. Грубо се може оцијенити да је потрошња енергије расла око два пута сваких 20 година током претходних 100 година.

Са Сл. 1.3 можемо, такође, видјети и учешће појединих извора енергије: биомасе (БИО), угља, нафте, природног гаса, те хидроенергије (ХЕ) и нуклеарне енергије (НЕ). Потрошња лако доступне биомасе (материје органског поријекла која служи као гориво, као што је нпр. дрво) је приближно константна у цијелом посматраном периоду. Потрошња угља је значајно порасла од краја XIX вијека: прво захваљујући масовној употреби парне машине, а након тога за добијање електричне енергије, што се задржало и у данашње вријеме. Од прве половине XX вијека почиње значајна потрошња нафте, доминантно за потребе саобраћаја, а затим и природног гаса, у другој половини XX вијека, за индустрију, гријање и производњу електричне енергије. Хидроенергија почиње да се масовније користи од почетка XX вијека за производњу електричне енергије, а њено учешће је постало приближно константно већ од половине XX вијека због тога што је већина расположивих примарних извора (великих ријека) већ искоришћена. Коришћење нуклеаране енергије почиње половином XX вијека, интензивира се од око 1970. године, и остаје са приближно константним учешћем до данас.

На Сл. 1.4 приказана је годишња потрошња енергије по становнику за неколико одабраних земаља током 2020. године, гдје видимо да је у развијеним земљама потрошња енергије значајно већа него у неразвијеним. На потрошњу утиче и број становника и њихове животне навике, али и други услови, као што су климатски, због потребе за загријавањем. Можемо да закључимо да постоји директна веза између утрошене енергије и степена развијености друштва: са већим утрошком енергије друштво постаје развијеније, али развијено друштво, такође, троши веће количине енергије.



Сл. 1.4. Годишња потрошња енергије по становнику у одабраним земљама 2020. године

Глобално, постоји непрекидни раст потрошње енергије који је условљен порастом броја становника на Земљи и достигнутим степеном развоја друштва. На Сл. 1.5 приказана је реализована потрошња енергије у периоду 1990-2020, те прогнозирана потрошња енергије до 2040. године на глобалном нивоу. Видимо да се и у будућности очекује раст потрошње енергије, са сличним трендовима као и у претходном периоду.

Количина утрошене енергије током протеклих тридесетак година је у појединим периодима дјелимично осциловала (нпр. у првој декади XXI вијека примјетан је пад потрошње због свјетске финансијске кризе). Такође, на удјеле појединих примарних извора утицали су и други фактори, као што су технолошки, нпр. усавршавање експлоатације нафте техникама хидрауличког фрактуирања (енг. *fracking*), затим политички фактори, нпр. блокада транспорта енергената из појединих дијелова свијета, или еколошки фактори. Због таквих поремећаја долази до одступања прогнозиране и остварене потрошње. Тако, иако је било очекивано смањење удјела нафте и угља почетком XXI вијека, оно још није остварено.

Можемо да закључимо да се и у будућности очекује константан раст потрошње енергије. При томе, предвиђа се стагнирање или благи раст учешћа енергије угља и нуклеарне енергије, што је посљедица строжих еколошких ограничења и чињенице да су њихови ресурси ограничени у природи. Очекивани раст потрошње природног гаса је посљедица проналаска нових изворишта, али и чињенице да је природни гас еколошки прихватљивији од нафте и угља. С друге стране, прогнозиран је веома интензиван раст учешћа обновљивих извора енергије (ОИЕ) од којих су најзначајнији соларна и вјетро енергија. У прилог њиховом коришћењу иду еколошки и политички захтјеви, који убрзавају развој технологије и смањују цијену производње енергије из обновљивих извора.