

Увод у енергетику

Лекција 1

Проф. др Владимир Стевановић

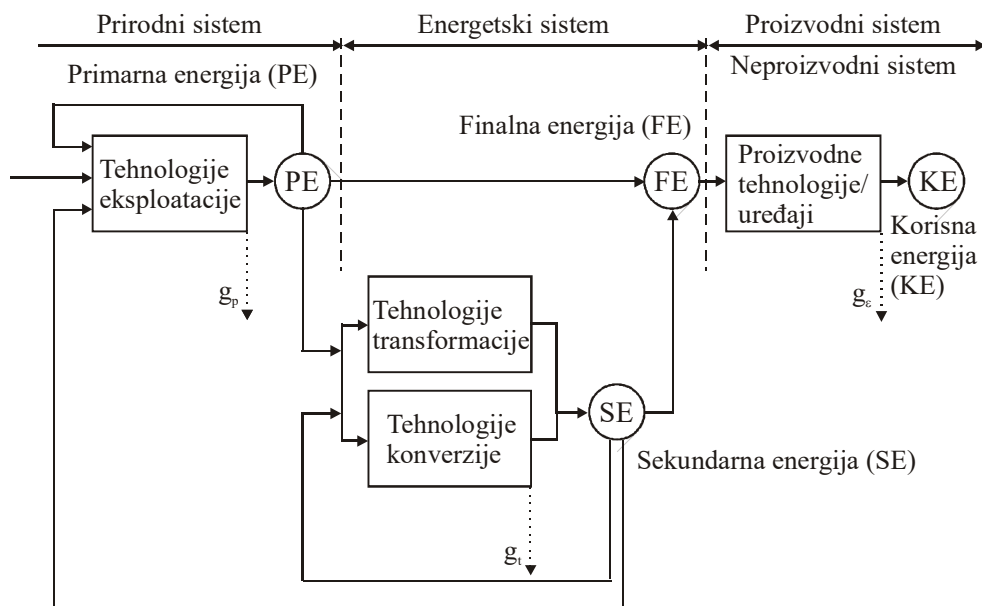
Катедра за термоенергетику, каб. 134/4, vstevanovic@mas.bg.ac.rs

Макроенергетски системи и токови енергије

Шта подразумевамо под енергијом, Е? Способност за вршење рада ($\epsilon\nu\acute{\epsilon}\rho\gamma\epsilon\iota\alpha$), али и $E=mc^2$, хемијска енергија, унутрашња енергија,

У природи и у оквиру техничких система које је створио човек енергија се појављује у више облика, као што су механичка (кинетичка и потенцијална), топлота (укључује и топлотно зрачење), хемијска, електрична (електромагнетна), нуклеарна (фисија и фузија). Носиоци енергије су: (а) механичке: водени токови (хидроенергија), ваздушна струјања (еолска енергија), плима и осека; (б) топлоте (термодинамички – унутрашње енергије): флуидне струје, загрејана тела, Сунчево зрачење; (в) хемијске: фосилна горива (угаљ, нафта, природни гас, уљни шкриљци, деривати нафте, генераторски гас), биомаса, градски отпад, егзотермна хемијска једињења, итд., (г) електричне (електрони у проводницима струје); (д) нуклеарне (уранијум, деутеријум, трицијум,...).

Извори енергије се налазе у природи – природни систем (види слику 1). Енергију коју човек користи из природе називамо примарна енергија. Човек је развио технологије експлоатације природних извора, као што су: рудници и опрема за вађење угља или уранијума из Земљине коре, бушотине за нафту и природни гас, вештачка језера и водне турбине, ветрењаче, Сунчеве колекторе итд. Из природног система енергију преузима енергетски систем (слика 1), у оквиру кога се претвара у погодније облике за коришћење, који се називају секундарна енергија (на пример: трансформација сирове нафте у различите врсте бензина и дизел гориво у рафинеријама, трансформација угља у кокс или брикете сушеног угља, конверзија механичке енергије у електричну у хидроелектранама и ветрогенераторима, хемијске енергије фосилног горива или нуклеарне енергије нуклеарног горива у топлоту у топланама, или у топлоту, а затим у механичку енергију и на крају у електричну у термоелектранама, односно нуклеарним електранама, итд.). У оквиру енергетског система се носиоци енергије транспортују до места потрошње (нафтоводи, гасоводи, далеководи за транспорт електричне енергије на високом напону, итд.) и



Слика 1 Токови енергије у оквиру макроенергетског система

Табела 1 Енергетске јединице и умношци основних величина

Конверзионни фактори:

1 ten	=	41,868 GJ
1 teu	=	29,3 GJ
1 GWh	=	3,6 TJ
1 MBtu	=	1,0551 GJ
1 Gcal	=	4,1868 GJ
1 TWh	=	0,086 Mten
1 barrel	=	6,12 GJ
1000 m ³ pr.gas	=	33,5 GJ
1 t biomase (suve)	=	18 – 24,5 GJ

Префикси јединица:

E	(eksa)	x 10 ¹⁸
P	(peta)	x 10 ¹⁵
T	(tera)	x 10 ¹²
G	(giga)	x 10 ⁹
M	(mega)	x 10 ⁶
k	(kilo)	x 10 ³

дистрибуирају до крајњих корисника, то јест до места финалне потрошње (дистрибутивне цевне мреже гасовода, транспорт цистернама до бензинских пумпи, електрична дистрибутивна мрежа на ниском напону, итд.). Човек користи финалну енергију да би задовољио своје потребе, као што су: (а) грејање, вентилација и климатизација просторија у којима живи и ради, припрема топле воде за одржавање хигијене, осветљење, производња, припрема и чување хране и сл. (делатности у оквиру домаћинства, комуналних система, пољопривреде и индустрије); (б) коришћење и прерада природних сировина, производња различитих материјала и готових производа, грађевинарство (делатности у оквиру индустрије); (в) транспорт људи и добара, комуникације, информационе делатности (саобраћај и телекомуникације); и др. Облици финалне енергије су: топлота, електрична енергија, хемијска енергија деривата нафте, природног гаса, угља, сушеног угља, кокса, биомасе, итд. У оквиру производних и услужних технологија и уређаја финална енергија се уграђује у производ или извршену услугу као корисна енергије: (а) механички рад у друмском, ваздушном или воденом саобраћају, или механички рад за транспорт у индустрији, обраду материјала деформацијом или резањем у машиноградњи, итд., (б) унутрашњу енергију при термичкој обради (полуфабриката у индустрији, кувању хране итд.) или унутрашњу енергију (топлоту?!) ваздуха и зидова при грејању, (в) хемијску енергију у ендотермним процесима, (г) светлост, (д) информациону енергију (?)...

Основна јединица за енергију у Међународном систему јединица је џул у ознаци (J). Међутим, то је врло мала јединица у односу на количине енергије које се користе, транспортују и дистрибуирају у оквиру макроенергетског система града, регије, државе или света. Такође, није директно упоредив са енергијом коју садрже конвенционални носиоци енергије угаљ или нафта. Због тога се при анализи макроенергетских система користе јединице и префикси приказани у табели 1.

Ресурси енергије

Извори примарне енергије могу бити обновљиви (као што су хидромеханичка енергија, еолска, биомаса, Сунчева, геотермална) или необновљиви (фосилна и нуклеарна горива). Ресурси фосилних и нуклеарних горива се приказују као експлоатационе резерве, које су доказане и економски исплативе за експлоатацију са постојећом технологијом, и као укупне геолошке резерве. Обновљиви извори енергије се најчешће приказују као издашност извора у току једне године, када се разматрају у оквиру годишњих енергетских биланса, односно као расположива енергија у дужем временском периоду (на пример 100 година) када се пореде са ресурсима необновљивих извора. Процена необновљивих енергетских ресурса у свету је дата у табели 2. Више од две трећине светских резерви угља се налазе у Русији, САД и Кини. Потенцијал за коришћење обновљивих извора енергије у свету применом постојећих технологија, у периоду од годину дана, приказан је у табели 3. Теоријске могућности коришћења обновљивих извора Сунчеве енергије, енергије ветра и биомасе су знатно веће него што су приказане у табели 3. Нека од ограничења у већем коришћењу ових енергетских

извора су проблем сакупљања биомасе, ниски енергетски флуksеви Сунчеве енергије (око 200 W/m^2 на 45° географске ширине) и енергије ветра (између $0,2$ и $1,2 \text{ kW/m}^2$), као и променљив интензитет Сунчевог зрачења и ветра.

У Србији доминантан удео у енергетским ресурсима има лигнит. Експлоатише се у рудницама са површинском експлоатацијом у Колубарском и Костолачком басену, који садрже око једне четвртине резерви, док се три четвртине резерви налази на Косову. Лигнит је угаљ ниског квалитета. Сагоревањем 1 kg српског лигнита ослобађа се око 7 до 8 MJ топлоте, што је око $2,5$ пута мање од топлотне моћи мрког и око 4 пута мање од топлотне моћи каменог угља. Лигнит се највећим делом користи у термоелектранама за производњу струје. Укупне експлоатационе резерве фосилних горива у Србији су приказане у табели 4. Експлоатациони потенцијали обновљивих извора су приказани у табели 5, при чему се данас у значајној мери користи једино хидроенергија.

Табела 2 Ресурси примарне енергије у свету у G_{ten}

	Експлоатационе		
	G_{ten}	без U^{238} %	са U^{238} %
Угаљ	481	65	8
Нафта	88	12	2
Природни гас	61	8	1
Тресет	4	0,5	/
Нуклеарна U^{235} U^{238}	105 5249	14,5	89
Укупно	$739^{1)}/5883^{2)}$	100	100

Напомене: 1) Без U^{238}

2) Са U^{238} који се може користити у брзим
оплодним нуклеарним реакторима.

Табела 4 Експлоатационе резерве фосилних горива у Србији

	M_{ten}	%
1) Угаљ – укупно	955	91
2) Лигнит	780	74
3) Нафта и пр. гас	13,5	1
4) Уљни шкриљци	84	8
Укупно 1)+3)+4)	1052,5	100

Табела 3 Потенцијал обновљиве енергије који се може технички искористити у току годину дана у свету

	G_{ten}	%
Хидропотенцијал	2,38	26
Биомаса	3,15	34
Сунчева	0,84	9
ветар	2,58	27
геотермална	0,35	3
Укупно:	9,3	100

Табела 5 Потенцијал обновљиве енергије који се може технички искористити годишње у Србији

	M_{ten}	%
Хидроенергија	1,7	30
Биомаса	3,4	60
Геотермална	0,2	4
Сунчева	0,2	4
Еолска	0,1	2
Укупно	5,6	100

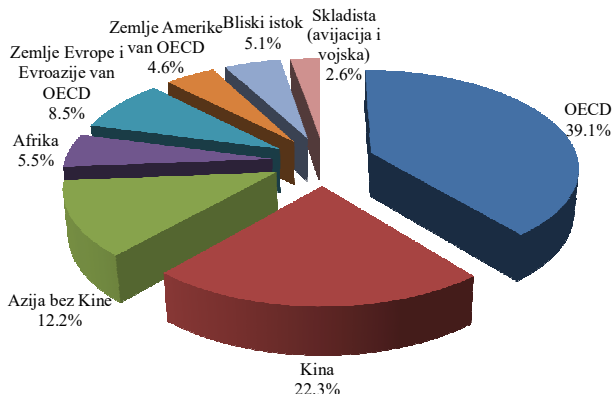
Потрошња енергије

Потрошња примарне енергије у свету је приказана на сликама 2 и 3, у развијеним земљама које формирају Организацију за економску сарадњу и развој (ОЕЦД¹) на слици 4, а у Србији на слици 5. Број становника на Земљи износи $7,12$ милијарди, од тога у земљама ОЕЦД-а живи $1,26$ милијарди, односно нешто мање од једне петине ($17,7\%$). Слика 2 показује да $1/5$ становништва троши 50% примарне енергије. Поређење потрошње примарне енергије у свету и земљама ОЕЦД-а (слике 3 и 4) показује да је удео потрошње нафте и

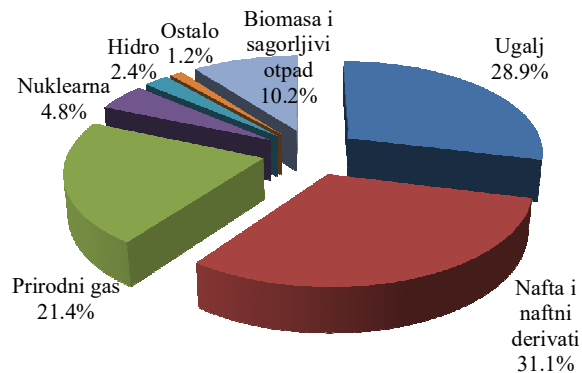
¹ Земље ОЕЦД-а су САД, Канада, Мексико, Аустрија, Белгија, Чешка, Данска, Финска, Француска, Немачка, Грчка, Мађарска, Исланд, Ирска, Италија, Луксембург, Холандија, Норвешка, Пољска, Португалија, Шпанија, Шведска, Швајцарска, Турска, Велика Британија, Јапан, Јужна Кореја, Аустралија.

нуклеарне енергије у развијеним земљама већи од светског просека, а удео угља је мањи, што је условљено структуром привреде и стандардом становништва у земљама ОЕЦД-а. За разлику од светског просека и структуре потрошње у земљама ОЕЦД-а, потрошња примарне енергије у Србији је заснована на угљу, са смањеним уделом квалитетнијих фосилних горива (природног гаса и нафте) и повећаним уделом хидроенергије (слика 5). Потрошња финалне енергије у свету, земљама ОЕЦД-а и Србији је приказана на сликама 6, 7 и 8. Види се да је удео квалитетнијих енергената, као што су електрична енергија, нафта и природни гас у развијеним земљама већи од светског просека, а удео угља и биомасе је мањи. У финалној потрошњи у Србији доминира електрична енергија, слика 8. У свету се за производњу електричне енергије користе различити енергенти (слика 9). У Србији се око 2/3 струје производи из угља, а 1/3 коришћењем хидроенергије. Тренд промене потрошње финалне енергије по секторима у свету је приказан у табели 6. У Србији је удео потрошње финалне енергије у индустрији нешто већи, а у саобраћају мањи од светског просека.

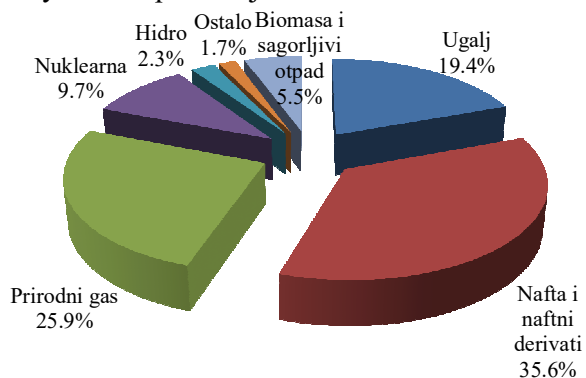
Србија увози преко 24% својих потреба примарне енергије (2013. године). Домаћа експлоатација нафте задовољава 37% укупних потреба, док домаћи природни гас учествује 23% у укупној потрошњи гаса. У мањој количини се увозе висококвалитетни угљеви, и електрична енергија по потреби. Однос сопствене производње и потрошње примарне енергије у неким земљама износи: Норвешка 5,86, Ангола 6,38, Аустралија 2,66, Русија 1,83, САД 0,86, Данска 0,97, Шведска 0,71, Србија 0,76, Немачка 0,4, Мађарска 0,45, Грчка 0,4, Јапан 0,06 Италија 0,24. **Дакле, поседовање сопствених енергетских извора није неопходан услов за привредни и економски развој.**



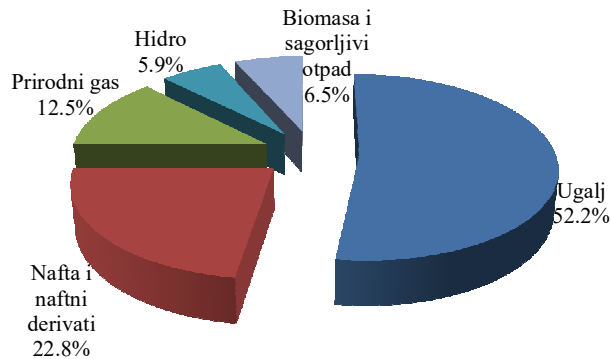
Слика 2 Потрошња примарне енергије по појединим регионима у свету 2013. године. Укупна потрошња је била 13 541 Mten.



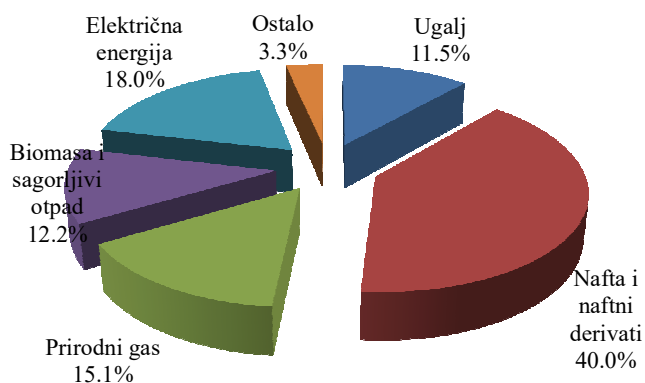
Слика 3 Потрошња примарне енергије ("примарни енергетски колач") у свету 2013. године. Укупна потрошња је била 13 541 Mten.



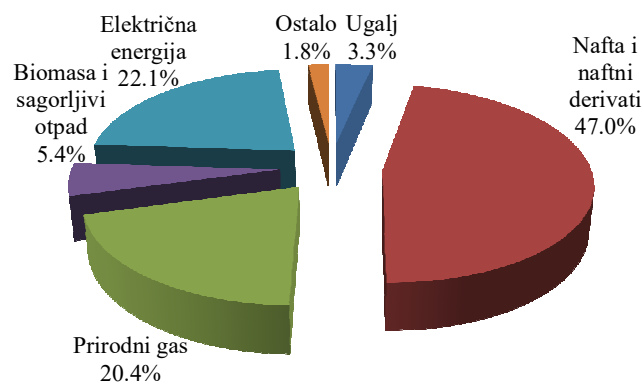
Слика 4 Потрошња примарне енергије у земљама ОЕЦД-а 2013. године. Укупна потрошња је била 5300 Mten.



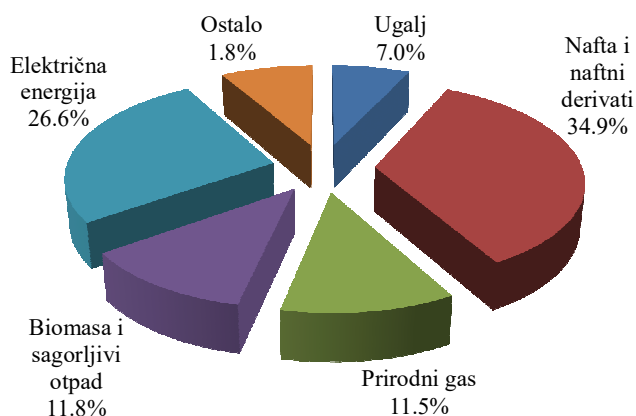
Слика 5 Потрошња примарне енергије у Србији 2013. године. Укупна потрошња је била 14,89 Mten.



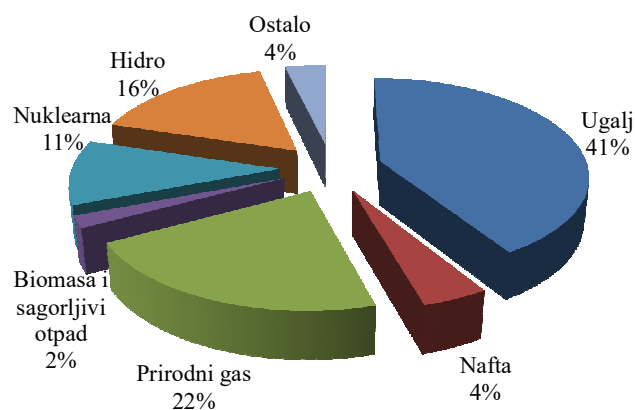
Слика 6 Удео појединих енергената у финалној потрошњи у свету 2013. године. Укупна потрошња је била 9301 Mten.



Слика 7 Удео појединих енергената у финалној потрошњи у земљама ОЕЦД-а 2013. Укупна потрошња је била 3578 Mten.



Слика 8 Удео појединих енергената у финалној потрошњи у Србији 2013. године. Укупна потрошња је била 7,990 Mten.



**Остало укључује геотермалне изворе енергије, Сунчеву енергију, енергију ветра итд.

Слика 9 Коришћење енергената за производњу електричне енергије у свету 2013. године. Укупна производња је била 23 406 TWh.

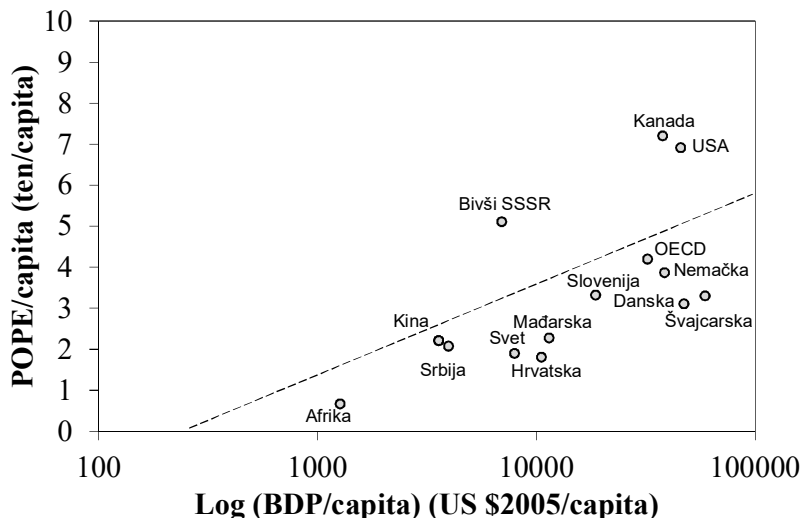
Табела 6 Потрошња финалне енергије по секторима у %

(%)	Свет			ОЕЦД			Србија	
	1973.	2003.	2013.	1973.	2003.	2013.	2003.	2013.
Индустрија	37	29	32	38	26	24	33	29
Саобраћај	23	31	30	25	36	36	18	23
Домаћинства, и остало	40	41	38	37	39	40	49	47

Потрошња енергије и друштвено-економски развој

Дијаграм на слици 10 илуструје потрошњу примарне енергије у зависности од друштвено-економског развоја појединих држава, структуре њихове привреде, обима сопствених енергетских ресурса и стандарда становништва. Могу се уочити државе са високим стандардом и великим сопственим ресурсима, као што су САД и Канада, државе са нижим стандардом и великим сопственим ресурсима (Русија), високо развијене државе које зависе од увоза енергије (Западноевропске земље) и економски сиромашни региони (Африка). Потрошња примарне енергије по глави становника у Србији износи 2,08 ten/capita, док је светски просек 1,90 ten/capita. Потрошња електричне енергије по глави становника у

Србији (табела 7) је већа од светског просека, али нижа од потрошње у високоразвијеним земљама. Знатан део електричне енергије у Србији се троши за грејање, како због цене, тако и због ограничене инфраструктуре и расположивости других енергената, пре свега топлоте и система даљинског грејања у градовима и природног гаса и мреже гасовода.



Слика 10 Потрошња примарне енергије (POPE) по глави становника у зависности од друштвеног производа per capita (2013. година)

Табела 7 Годишња потрошња електричне енергије по глави становника (kWh/capita) (2013. година)

Земља/регија	kWh/capita
Свет	3030
ОЕЦД	8070
Африка	580
Руска федерација	6560
Данска	6040
Хрватска	3750
Канада	15520
Кина	3770
Мађарска	3890
Немачка	7020
Србија	4440
Словенија	6830
САД	12990
Швајцарска	7810

Индикатори потрошње енергије

На нивоу макроенергетског система се дефинишу енергетски, економски и технолошки индикатори потрошње енергије. **Основни енергетски индикатор је енергетска ефикасност (ЕЕ).** На нивоу потрошње финалне енергије

$$EE_P = (\text{потрошња корисне енергије}) / (\text{потрошња финалне енергије}) = KORO / FIPO.$$

На нивоу енергетских технологија за трансформацију и конверзију примарне у секундарну енергију

$$EE_E = (\text{производња секундарне енергије}) / (\text{потрошња примарне енергије}) = PRSE / POPE$$

или ако се узму у обзир и губици при транспорту и дистрибуцији до места финалне потрошње

$$EE_E = (\text{потрошња финалне енергије}) / (\text{потрошња примарне енергије}) = FIPO / POPE.$$

На нивоу појединачног постројења или уређаја EE_E се назива степен корисности и одређује се као однос уложене и добијене енергије. За целокупни макроенергетски систем енергетска ефикасност се дефинише као

$$EE = (\text{потрошња корисне енергије}) / (\text{потрошња примарне енергије}) = KORO / POPE.$$

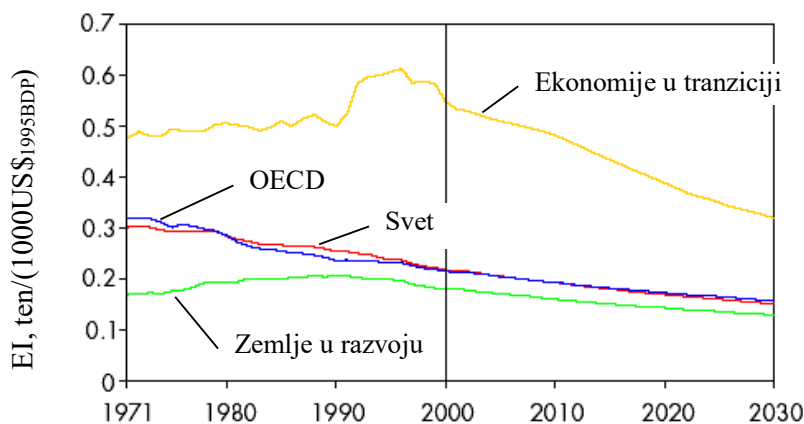
Основни економски индикатор је енергетски интензитет (EI). Одређује се као однос потрошње примарне или финалне енергије и бруто друштвеног производа. Енергетски интензитет примарне енергије је приказан на слици 11. У земљама ОЕЦД-а се уочава стално смањење енергетског интензитета, док се код земаља у развоју и транзицији уочава максимум при достизању одређеног нивоа економске и техничко-технолошке развијености.

Технолошки индикатор је специфична потрошња енергије (или "енергетска цена производа", табела 8).

Рационално коришћење енергије

Рационално коришћење енергије подразумева високу енергетску ефикасност и мали енергетски интензитет. Мере којима се остварује рационално коришћење енергије се могу сврстати у следеће групе:

- Мере организационо-оперативног карактера, које обухватају довођење система и опреме за производњу, снабдевање и коришћење енергије у исправно стање, у смислу рада са пројектним параметрима и увођење опреме за мерење и система за праћење енергетских токова и израде Енергетског обрачуна.



Слика 11 Енергетски интензитет примарне енергије

Табела 8 Енергетска “цена” неких сировина (средње вредности):

Сировина	(MJ/kg)
челик	40
алуминијум	120
бакар	45
цинк	65
олово	40
цемент	9
пластика	150
стакло	30
цигла	2
папир	25
гума	150

- Техничко-технолошке мере које обухватају усавршавање производних технологија у смислу измене параметара процеса и аутоматизације система снабдевања енергијом у складу са захтевима технологије, односно усавршавања технолошког уређаја (нова техничка решења уређаја и/или нови материјали опреме) која омогућују промену параметара процеса и снижавање губитака енергије.
- Производно-технолошке мере које обухватају увођење нових производних технологија, промене производних програма па и структуре производних активности.
Енергетска ефикасност се може повећати на свим нивоима макроенергетског система: производње примарне енергије, конверзије примарне енергије, трансформације примарне енергије, транспорта и преноса енергије, и у свим секторима за коришћење енергије.

Економско вредновање мера за рационално коришћење енергије

Мера за рационално коришћење енергије мора бити и економски исплатива. Исплативост се вреднује помоћу економских метода за вредновање инвестиција. Најчешће коришћена метода је метод интерне стопе приноса и заснована је на временској вредности новца. Уколико се у периоду од n година сваке године уштеди P динара услед примене неке мере за рационално коришћење енергије, будућа вредност тих уштеда S , на крају периода од n година, може се одредити као сума геометријског реда² и износи $S = R \frac{(1+i)^n - 1}{i}$, док је садашња вредност P (вредност дисконтована на нулту годину у којој се реализују инвестиције) $P = R \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$, где је i дисконтна стопа. Уколико се садашња вредност уштеда изједначи са инвестицијама I које се морају уложити да би се реализовала мера, добија се

² $S = R + R(1+i) + R(1+i)^2 + R(1+i)^3 + \dots + R(1+i)^{n-1} = R((1+i)^n - 1)/i$

$$I = R \frac{(1+i_{IRR})^n - 1}{i_{IRR}(1+i_{IRR})^n}, \text{ где је } i_{IRR} \text{ интерна стопа приноса ("internal rate of return"), која представља}$$

стопа приноса са којом се оплоди капитал уложен у инвестицију I. Уколико је i_{IRR} веће од стандардне стопе приноса, или интерне стопе приноса неког алтернативног пројекта, инвестиција је оправдана.

Коришћење енергије и животна средина

Последица коришћења енергије је загађење животне средине, у неком од следећих облика: (а) загађење атмосфере продуктима сагоревања фосилних горива, које доводи до “киселих киша”, “озонских рупа”, “ефекта стаклене баште” (коме највише доприноси емисија CO_2 при сагоревању фосилних горива, табела 9) и других нежељених појава: загађење оловом, метеоролошке инверзије температуре у атмосфери са повећањем концентрације атмосферских загађивача, итд.; (б) предаја отпадне топлоте атмосфери и површинским водама при процесима конверзије, транспорта и коришћења енергије, са

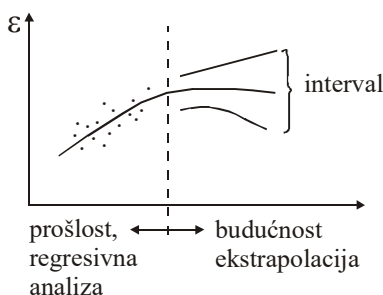
Табела 9 Емисија CO_2 по становнику годишње (2013. год.)

Земља/регија	($\text{tCO}_2/\text{capita}$)
Свет	4,52
ОЕЦД	9,55
Африка	0,97
Руска федерација	10,79
Данска	6,91
Хрватска	3,76
Канада	15,26
Кина	6,60
Мађарска	3,99
Немачка	9,25
Србија	6,33
Словенија	6,96
САД	16,18
Швајцарска	5,14

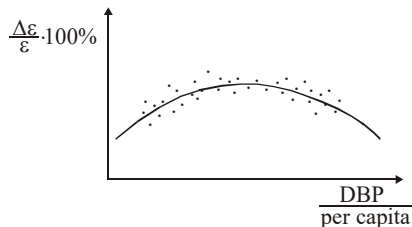
утицајем на локалне и глобалне климатске промене; (в) загађење тла и околине чврстим отпадом, као што су пепео и шљака; (г) уклањање или оштећење обрадивог земљишта при експлоатацији фосилних горива, пре свега површинска експлоатација угља; (д) потапање земљишта, утицај на микроклиму и подземне воде при градњи брана за хидроцентрале; (ђ) сеча шума; (е) производња вештачке радиоактивности и радиоактивних изотопа; (ж) загађење буком; (з) естетска деградација природе. Планетарно глобални значај имају загађења атмосфере која доводе до појава “киселих киша”, “озонских рупа” и “ефекта стаклене баште”. Значајна средства се улажу у развој нових технологија за коришћење фосилних горива, пречишћавање димних гасова, смањење потрошње путем повећања енергетске ефикасности, итд.

Планирање потрошње енергије

Методе за планирање потрошње енергије се могу поделити на: (а) статистичке, (б) економетријске, (в) примена феноменолошких модела. Феноменолошки модели дају најпоузданије резултате. Засновани су на симулацији различитих сценарија развоја, који обухватају: демографске промене, промене структуре потрошње енергије и обима производње и услуга, развој нових технологија, примену нових мера за повећање ЕЕ итд.



Слика 12 Статистичка метода планирања



Слика 13 Економетријска метода планирања

Табела 10 Предвиђање годишњег пораста финалне потрошње појединих енергената у свету за период 2007.-2030. година

	(%)
Угаљ	0,6
Деривати нафте	1,8
Гас	1,6
Електрична енергија	2,4
Топлота	0,5
Обновљиви извори	1,8