

ГОРАН АНЂЕЛКОВИЋ*

АНТРОПОГЕНА ЕМИСИЈА ТОПЛОТЕ У АТМОСФЕРУ БЕОГРАДА

Садржај: Током последњих деценија је откривен тренд глобалног загревања атмосфере. Такође је констатовано да се мења клима градова, што се највише манифестује порастом температуре ваздуха тако да се стварају урбана острва топлоте у хладнијој околини. То је утврђено и за Београд. Наводи се више узрока овој појави, али се сматра да је антропогена производња топлоте један од главних чинилаца пораста температуре. Циљ овог рада је да се дефинишу антропогени извори топлоте у Београду и да се израчуна количина топлоте коју они емитују, као допунски извори топлоте у односу на Сунце.

Кључне речи: енергија, атмосфера, клима, антропогена емисија топлоте, топлотни биланс, Београд.

Abstract: During last few decades the phenomenon of global warming up of the atmosphere is discovered. It is also concluded that the climate in cities changes, the main result of what is the higher air temperature, the heat island within the places with cold weather. This happens also in Belgrade. There are many reasons for this phenomenon, but the anthropogenic production of energy is considered to be one of the main factors for the rise of temperature. The aim of this work is to define anthropogenic sources of heat in Belgrade and to reckon the quantity of heat they emit as additional sources in relation to the sun.

Key words: energy, atmosphere, climate, anthropogenic heat release, balance of heat, Belgrade.

Увод

Интензивна урбанизација током XX века изнела је на површину велики број проблема везаних пре свега за промену услова животне средине на великим просторима. Као главни чинилац трансформације географске средине који покреће и интензивира урбанизацију појављује се још од XIX века индустријализација. Ако се узме у обзир и срастање градова, формирање гигантских урбаних зона - мегалополиса, проблем постаје још већи. Утицај једне такве концентрације људи и њихових активности је изражен на све компоненте физичкогеографске средине, а посебно се одражава на атмосферу. Познавање тих утицаја нема само биоклиматски, него и планерски, али и глобални климатски значај.

Основна разлика између градске и окружујуће сеоске средине јесте у структури површине тла. Углавном природни предео села у граду је замењен антропогеним структурама (објектима). Термичке карактеристике материјала од којих су саздани ти објекти, топлотни капацитет и топлопроводљивост, као и карактеристике влажности се потпуно разликују од физичких карактеристика природних објеката околине. Те особине подлоге су, заједно са вештачки изазваном концентрацијом енергетских извора и променом састава атмосфере, основни узрок постанка *градске климе*, као облика локалне климе (топоклиме) насталог под утицајем човека.

* Мр Горан Анђелковић, асистент-приправник, Географски факултет, Београд.

Сунце је основни извор енергије за све појаве и процесе у атмосфери и на површини наше планете. Количина топлоте коју човек на различите начине производи, као и вештачки изазвана акумулација Сунчеве топлоте, у планетарним размерама је релативно мала. Питање утицаја човека на биланс топлоте на Земљи другим начинима (ефекат стаклене баште и сл.) је дискутабилно. Ово важи за планету у целини. У ограниченом простору на Земљи (мезоразмере, а посебно микроразмере) ситуација може да буде драстично промењена. Градови и велике индустријске зоне значе огромну концентрацију различитих видова енергије (топлоте) на релативно малом простору, што важи и за Београд (Будыко, 1974; Landsberg, 1981; Оке 1982; Helbig, 1983; Радиновић, 1984; Ункашевић, 1994).

Свеобухватни човеков утицај на урбану климу и атмосферу се испољава у три главна вида, а сваки од њих се састоји од неколико посебних утицаја. Без намере да се поређају по значају на прво место се могу ставити *промене карактеристика атмосфере*: емитовање аеросола, емитовање гасова стаклене баште и емитовање биохемијски штетних супстанци. На другом месту су *промене карактеристика Земљине површине*: промена облика површине (изменом геометрије површине настаје вештачки рељеф), промена физичких особина тла (грађевински материјали, асфалт и бетон, мењају термичке особине тла и спречавају понирање воде), промена хидролошких особина подлоге (исушивање тла и водених површина, повећање отицања) и промена вегетације. На крају је *антропогена емисија (производња) топлоте*: вештачка производња топлоте (намерна, тј. допунско загревање просторија, и ненамерна, тј. топлота саобраћаја и индустрије) и метаболичка топлота (топлота живих система).

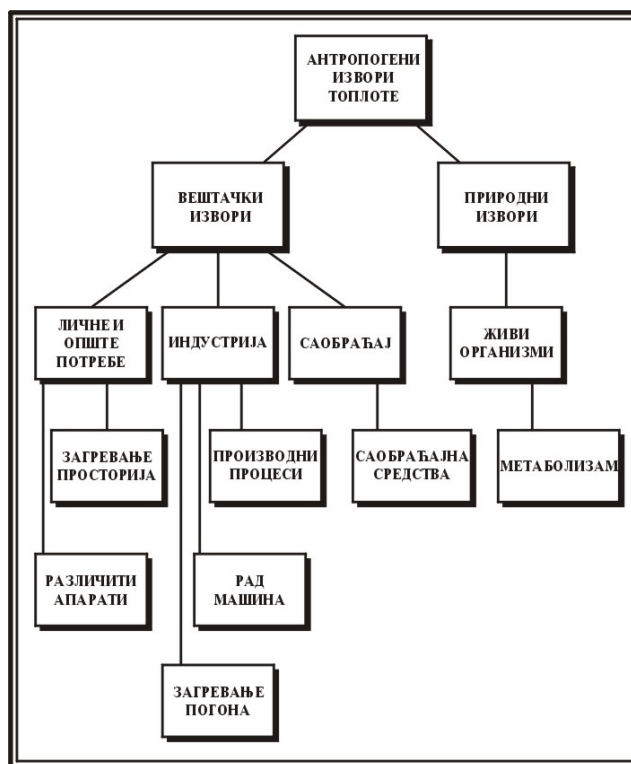
Антропогени извори топлоте у Београду

Сви извори енергије, односно топлоте, за Земљину површину и атмосферу се могу сврстати у две основне групе: природне и антропогене. Први су независни од човека и обухватају четири извора: Сунце, звезде, Месец и изворе топлоте из унутрашњости Земље. Њихов значај за процесе у географској средини се изразито разликује. Као што је поменуто Сунце својим зрачењем одлучујуће делује на климу Земље у целини, али је у појединим деловима географске средине неприкосновени утицај Сунчевог зрачења доведен у питање.

Када се говори о антропогеној производњи топлоте онда се имају у виду два могућа извора (сл. 1): вештачки извори (техногена топлота) и живи системи (метаболичка топлота). Вештачка продукција топлоте обухвата намерну и ненамерну продукцију. Намерна производња топлоте подразумева допунско загревање просторија, а ненамерна ослобађање топлоте у саобраћају и индустрији, али и током рада различитих кућних уређаја. Под живим системима се подразумевају људски организми, али град представља станиште и различитих врста животиња; од домаћих до дивљих врста у зоолошким вртovima, чија је бројност у управној вези са становништвом градова. Микроорганизми такође представљају значајан извор топлоте, иако се њихова улога углавном занемарује. У истраживањима овакве проблематике најчешће се целокупна антропогена емисија топлоте везује за број становника (просечне енергетске потребе по глави становника) и тако прерачунава њена укупна вредност у једном урбаном подручју (Оке, 1982 и др.). Тај метод је применљив и за Београд.

Градови представљају највеће потрошаче енергије на Земљи. Они су, између осталог, и настали у циљу обезбеђивања најекономичнијег живота људи и одвијања процеса производње и потрошње материјалних добара. Простор Београда је највећи потрошач енергије у Србији. Са аспекта климатологије простор Београда представља део простора Србије у коме је човек условио најинтензивније енергетске трансформације, како директне енергије Сунца, тако и енергије коју је "сам произвео". У сваком случају у простору главног града се производњом и допремањем (било са територије Србије или

ван ње) на једном релативно малом простору концентрише велика количина енергије, што је уосталом случај и код других великих градова. За утврђивање енергетског биланса у климатском систему ограниченог простора Београда важна је *производња енергије*, јер једино она учествује у процесима који се одвијају у том



простору, а битни су за климу.

Слика 1. Антропогени извори топлоте за атмосферу.

Ради лакше анализе потрошње појединих врста енергената и израчунавања количина енергије које се том приликом ослобађају (ради утврђивања њених утицаја на климатске процесе) потребно је прецизно разграничити потрошњу према врсти потрошача. Службено се евидентирање потрошње врши по препоруци енергетичара. Они разликују потрошњу "у личне и опште сврхе, у индустрији и у саобраћају" (Годоровић, 1980). У прву групу спадају домаћинства и сви објекти који се у граду користе у јавне сврхе или служе као пословне просторије. Ту спадају и пратеће градске инсталације као што су градски водовод и јавна расвета. Најзначајнија компонента потрошње енергије је свакако загревање просторија. О друга два потрошача говори само њихово име.

Антропогена производња топлоте у Београду

Дуго је човек користио енергију Сунца, властиту енергију, снагу животиња и механичке силе природе (ветар и воду), а посебно дрво, које вековима остаје важан енергетски извор. Проналаском парне машине, крајем XVIII века, постепено се смањује учешће дрвета као енергетског извора на рачун угља, који почетком XX века постаје главни енергетски извор. Крајем XIX века, проналаском бензинског и дизел мотора, структури енергетских извора се прикључује нафта. Њен енергетски значај је тада почео

експлозивно да расте. Осим нафте и земни гас доживљава брзи успон. Скоро истовремено са нафтом и гасом развија се производња електричне енергије. Средином XX века уз одређена ограничења почиње коришћење атомске енергије. Данас значај енергетике далеко превазилази сферу економских процеса.

"Сва енергија коју човек користи у коначном рачуну претвара се у топлоту и манифестује у порасту температуре. Енергија која се добија из угља, нафте, природног гаса, као и атомска енергија, представљају допунске изворе енергије за савремену епоху. Зато њено ослобађање нарушава топлотни биланс зрачења на Земљи. Само хидроенергија и енергија која се добија из дрвета и пољопривредних производа представљају преобработу енергију Сунчевог зрачења, коју је у току једне или неколико година апсорбовала Земља. Стога њено коришћење не утиче на топлотни биланс Земље" (Радиновић, 1984). То је случај када се проблем посматра само у временској димензији. Ако, међутим, посматрамо конкретан урбани простор, онда сви енергетски извори који су доведени споља изазивају промене дотадашњег енергетског биланса.

Познато је да Београд троши дрво, угаљ, течна горива, гас и електричну енергију. Ове врсте горива представљају примарне, али и секундарне енергетске облике, који су већ производ одређене трансформације. Сви примарни и секундарни енергетски облици претварају одређеним трансформационим поступком своју енергетску моћ у облик енергије погодан за коришћење. И примарни и секундарни облици су стога названи употребни енергетски облици или краће *употребна енергија*. Тек њиховом трансформацијом добијамо онај облик енергије који је погодан за директно коришћење код крајњег потрошача: загревање просторија, осветљавање, покретање машина и сл. Тај облик енергије се зове *корисна енергија*.

Дакле употребна енергија представља потенцијалну енергију и изражава се топлотном моћи појединих облика примарне и секундарне енергије (енергената). Њена вредност је увек већа од вредности корисне енергије, јер, не претвара се сва употребна енергија у корисну. Одступања зависе пре свега од врсте горива, од конструкције постројења за трансформацију и од нивоа његовог одржавања. Оно што се добија трансформационим поступком од употребне енергије је бруто корисна енергија. Од ње се разликује нето корисна енергија. То је на пример, разлика између топлотне енергије произведене у котлу централног грејања неке зграде или у топлани система даљинског грејања и укупне одате топлоте у свакој од грејаних просторија, уколико нема других потрошача. Та разлика се своди на губитке у разводу. За климу је битна бруто корисна енергија, јер било да се изгуби током развода или да се израчи у грејаним просторијама енергија добијена од горива на крају доспева у атмосферу. У исту категорију спада и енергија коју продукују различити организми јер и она директно учествује у загревању атмосфере. Сви потрошачи енергије (стамбене и јавне зграде, саобраћај, индустрија и становништво) за атмосферу су произвођачи топлоте јер изазивају загревање ваздуха. Питање је само колико се енергије на тај начин ослободи у атмосферу у Београду.

Утицај Сунчевог, атмосферског и Земљиног зрачења на укупни топлотни биланс Земљине површине је, и без урачунавања антропогених фактора, прилично сложен. Основна једначина топлотног биланса је само наизглед једноставна:

$$Q_R = Q_I (1-A) + Q_{L\downarrow} + Q_{L\uparrow}$$

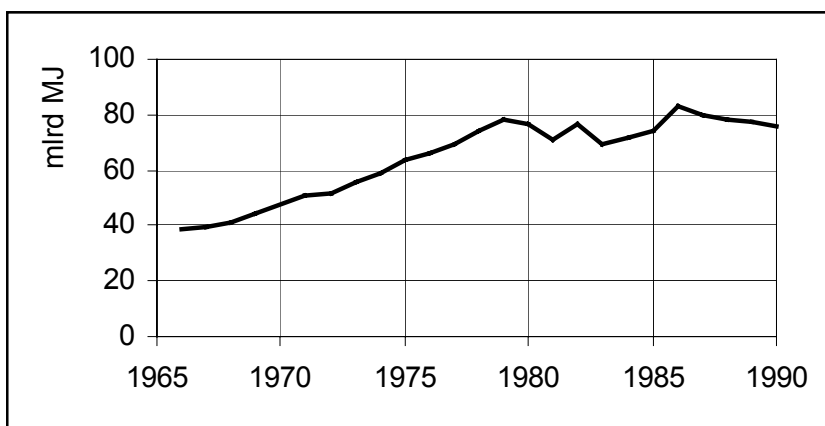
У тој једначини је Q_R - укупни радијациони биланс Q_I - краткоталасна Сунчева радијација, A - алbedo, $Q_{L\downarrow}$ - силазна дуготаласна радијација, $Q_{L\uparrow}$ - узлазна дуготаласна радијација. Ако се посматра конкретан простор (урбани) онда се топлотни биланс система Земљина површина - ваздух може изразити на следећи начин (према Оке, 1982):

$$Q_R + Q_A = Q_T + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_H$$

где је Q_R - укупни радијациони биланс система, Q_A - емисија топлоте од стране антропогених извора (Q_V - приликом загревања зграда, рада машина и саобраћајних средстава и Q_M - током процеса метаболизма човека и животиња), Q_T - количина топлоте која се губи због турбуленције ваздуха, Q_E - количина топлоте која се троши на испаравање, ΔQ_S - промена енталпије система и ΔQ_H - хоризонтална или адвективна размена топлоте.

Укупна количина топлоте која се ослобађа из свих антропогених извора представља збир количина топлоте ослобођених за личне и опште потребе, за потребе саобраћаја и индустрије и топлоте коју је метаболичким процесима произвело становништво Београда. Ти добици топлоте, који потичу од самих урбаних извора, могли би се назвати и унутрашњи топлотни добици. Супротно њима добици топлоте који потичу од Сунчевог зрачења представљају спољне топлотне добитке.

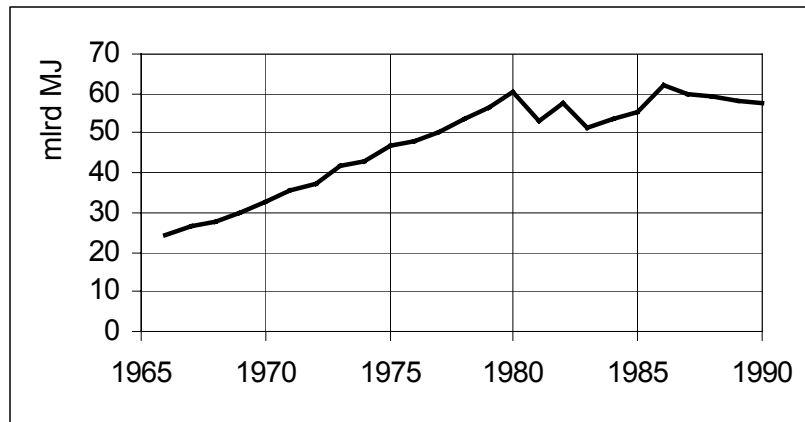
Укупну потрошњу употребне енергије у Београду (загревање зграда, саобраћај и индустрија) можемо пратити тек од 1966. године јер се за период пре тога не располаже потпуним подацима. Такође, можемо пратити како се кретала та потрошња до 1990. године, јер после тога почиње период ратова у нашој земљи, а долази и до увођења међународних санкција. Значи, ради се о у периоду који се добрим делом поклапа са нормалним климатским периодом 1961-1990. година. Укупна потрошња употребне енергије у административном подручју Београда, Граду Београду, у периоду 1966-1990. година је приказана на слици 2 (према: Тодоровић, Новоселац; 1995).



Слика 2. Укупна потрошња употребне енергије у Београду за период од 1966. до 1990. године.

Међутим, не претвара се сва употребна енергија у топлоту. Потенцијалне енергетске вредности горива (употребна енергија) се рачунају за сваку врсту горива посебно, јер енергетска моћ неког горива зависи од природе материје која га гради (топлотна моћ употребног горива). Вредност енергије која се може искористити (брuto корисна енергија) се може одредити уколико је познат и степен корисности "котла", а за нето енергију и степен корисности целокупног "разводног система". Ови подаци би се за сваки појединачни случај могли одредити испитивањем, што је за град у целини практично неизводљиво. Зато остају као могућност два поступка. Прво, да се израчуна корисна енергија из количине потрошеног горива, ако се зна његова топлотна моћ и степен корисности претварања. Или друго, преко потребне количине топлоте за грејање просторија и спољних температура, за топлу потрошну воду преко потребне количине воде и слично за остале кориснике. Ако се ради на први начин, степени корисности се узимају као просечне вредности за сваку врсту употребног енергетског облика. Топлотна моћ горива такође није постојана величина, јер зависи од квалитета горива, па се и овде користе просечне вредности.

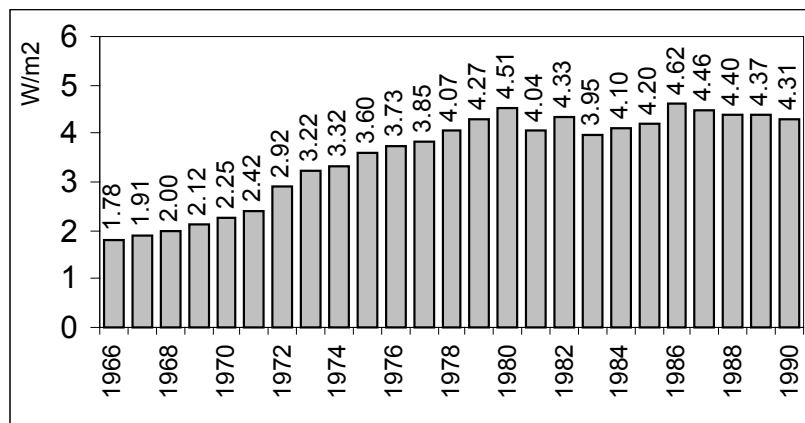
Да бисмо могли сагледати укупну антропогену производњу топлоте у Београду, морамо прво да израчунамо корисну енергију. Ток годишњих вредности корисне енергије (израчунат методом степена корисног претварања по врстама енергената) се може видети на слици 3. Очигледно је да те вредности расту скоро током



читаваог периода.

Слика 3. Укупна производња вештачке топлоте - Q_V (корисна енергија) у Београду у периоду 1966-1990. година.

Ако сада додамо и метаболичку топлоту, а добијену вредност изразимо по јединици површине, збирно приказане вредности Q_V и Q_M представљаће просечну годишњу емисију топлоте из антропогенних извора у Београду. На слици 4 се види ток годишњих вредности производње антропогене топлоте (Q_A) од 1966. до 1990. године у насељу Београд (Анђелковић, 2002). Антропогена производња топлоте је расла до осамдесетих година, када се стабилизовала и износила између 4 и 4,5 W/m^2 . Највећу вредност Q_A има 1986. године (4,62 W/m^2).



Слика 4. Укупна емисија антропогене топлоте (Q_A) у насељу Београд током периода 1966-1990. година.

Вредност укупне производње антропогене топлоте у Београду (насеље Београд - континуирано изграђени простор) добијена је тако што је израчуната производња вештачке топлоте (Q_V) у административном подручју Београда (3.222,68 km^2) по једном становнику те територије (енергетске потребе по становнику), и добијена вредност помножена бројем становника у насељу Београд. Добијена је укупна производња топлоте у насељу (359,96 km^2) у току једне године. Тој вредности је додата укупна продукција

метаболичке топлоте (Q_M) становника насеља Београд (по годинама). Добијена вредност је потом прерачуната на јединицу површине и јединицу времена (J/s по m^2), односно добијена је вредност емисије антропогене топлоте у W/m^2 . Исти поступак је изведен за сваку годину проучаваног периода.

Видимо како је у Београду, али које се вредности могу срести у другим градовима? Године 1970. у Будимпешти је продукована топлота у износу од $43 W/m^2$ (Helbig, 1983). Будимпешта је тада имала 1,3 милиона становника, који су живели на површини од $113 km^2$. Када се зна да је у Београду 1986. године, у време највеће емисије топлоте, живело 15% мање становника него у Будимпешти (1,1 милион), на површини која је скоро три пута већа ($360 km^2$), онда се може рећи да је продукција топлоте ова два града упоредива. Значи, око девет пута већа количина енергије (апсолутне вредности: $43 W/m^2 / 4,62 W/m^2$) је одраз површине и броја становника, али и типа економије, степена загревања, рационалности искоришћавања топлотних извора итд. У некадашњем Западном Берлину је, на пример, 1967. произведен $21 W/m^2$ топлоте, а веома близак Београду, са $3 W/m^2$, је 1972. био Сингапур (Оке, 1982). Подаци о површини "енергетски продуктивног простора" у насељу Београд не постоје, али се могу проценити на приближно $1/2$ до $1/3$ територије насеља. То значи, ако би се производња антропогене топлоте прерачунала у односу на површину под грађевинама, фабричким погонима и улицама добила би се можда дупла вредност производње енергије. Анализирано по елементима урбане структуре, максималне вредности би се добиле када су у питању велики солитери или фабричке хале енергетски интензивних индустријских грана.

Табела 1. Структура производње антропогене топлоте у Београду по групама извора (%).

Год.	Личне и опште сврхе	Индустрија	Саобраћај	Метаболичка топлота
1966	36.45388	16.45263	25.16285	21.93064
1967	36.10955	15.34656	27.68399	20.85991
1968	36.13169	13.76445	29.82298	20.28088
1969	35.37673	13.93629	31.35664	19.33034
1970	35.64194	15.05998	30.87295	18.42513
1971	35.67900	13.90091	33.13050	17.28958
1972	36.52328	13.58488	32.96003	16.93181
1973	35.06063	13.98372	35.26329	15.69236
1974	33.14699	14.99507	36.30385	15.55409
1975	33.85683	15.37283	36.05295	14.71738
1976	33.74756	16.16330	35.52375	14.56539
1977	34.21208	16.07968	35.40950	14.29875
1978	36.06074	15.93756	34.28990	13.71179
1979	36.71076	16.36688	33.65153	13.27083
1980	34.61483	17.30741	35.33597	12.74179
1981	33.17280	18.67983	33.65590	14.49147
1982	37.35130	18.07321	30.87507	13.70042
1983	43.24772	13.15520	28.44812	15.14897
1984	45.08345	15.18600	24.99363	14.73692
1985	44.44803	17.22553	23.83891	14.48753
1986	42.39226	16.17599	28.16854	13.26321
1987	43.23360	19.02279	23.92259	13.82102
1988	40.92414	20.38925	24.61274	14.07387
1989	41.31229	19.99456	24.40512	14.28803

1990	39.21792	21.47293	24.75352	14.55564
------	----------	----------	----------	----------

С обзиром на начин евидентирања потрошње енергије у Београду (збирно годишње), тешко је извршити процену сезонских варијација антропогене производње топлоте. Индустрија и саобраћај су активности које углавном не зависе од доба године, једино производња топлоте за загревање зграда има изразито сезонски карактер. Загревање просторија је обухваћено како потрошњом енергије у личне и опште сврхе тако и у индустрији (где спадају и други облици потрошње енергије заступљени током целе године). У новије време потрошња енергије за климатизацију у летњим условима постаје све већа. Такође, интензитет саобраћаја за време зимске половине године може да буде мањи. Због тога се процена односа укупне производње енергије у току зимске и летње половине године, или само зиме и лета, може извршити одговарајућим умањењем производње за загревање. Структура производње енергије у Београду по групама потрошача кретала се током периода 1966-1990. година тако што је удео енергије произведене у личне и опште сврхе (у укупној антропојеној производњи топлоте) падао од половине шездесетих година до половине седамдесетих, а затим растао до половине осамдесетих година, када је почео поново да пада (таб. 1). Међутим, приметљив је општи тренд раста удела те енергије у укупној производњи антропогене топлоте у Београду. Године 1966. њен удео у вештачки произведеној топлоти је износио испод 47 %, а 1984. године скоро 53 %. Удео производње у индустрији је благо падао почетком периода (са око 16 % до испод 14 %), да би затим почео да расте све до краја осамдесетих година, када је достигао петину укупне производње (према: Тодоровић, 1980; Тодоровић, Новоселац, 1995).

Анализом структуре производње у оквиру саме категорије "личне и опште сврхе" по групама потреба може се закључити да се удео производње енергије за загревање просторија креће око 60 % (не рачунајући енергију за загревање воде). Структура производње енергије у индустрији је таква да се на "одржавање услова средине, тј грејање, вентилацију и климатизацију троши око 49 % укупне потрошње енергије коју захтева београдска индустрија" (Тодоровић, 1980). Производња корисне енергије за загревање стамбених и просторија опште и јавне намене се може тачно одредити једино ако постоје мерачи потрошње у грејним системима. Међутим, пошто је то у нашим условима скоро неизводљиво, ова енергија се одређује рачунски, полазећи од просечних потреба по јединици грејног простора (метод степен-дана). Потрошња корисне енергије у индустрији према групама потрошача је одређена снимањем у више типичних фабрика Београда и утврђивањем приближног процентуалног удела потрошача (Тодоровић, 1980). Ако узмемо у обзир да је једино топлота произведена за загревање сезонски варијабилна "зими се појављује, а лети нестаје", можемо рећи да у укупној антропојено произведеној топлоти једино та количина топлоте може додатно зими да утиче на пораст температуре у граду. Зими је акумулација Сунчеве енергије у грађевинским материјалима, као фактор додатног загревања, због повећане облачности и замућености атмосфере сведен на најмање годишње вредности. Имајући то у виду, потрошња енергије за загревање може да добије још већи ефекат. О којој се количини топлоте ради види се у табели 2 (у апсолутним и релативним вредностима).

У табели бр. 2 се види да се количина топлоте произведене за загревање просторија током анализираних двадесетпетогодишњег периода углавном кретала око једне трећине укупне произведене енергије у Београду. Тачније, до осамдесетих година она је била испод 30%, а у последњој деценији поменутог периода она износи између 30 и 35 %. Ове вредности топлоте треба у летњем делу године одузети од укупне продукције енергије, а у зимској додати. Другим речима, зими се у просеку за трећину повећава флуks антропогене топлотне енергије у Београду. То значи да је у "шпицу" 1986. године, за време хладног периода године производња топлоте износила око $6,16 \text{ W/m}^2$. Знајући да производња топлоте варира и између радних и нерадних дана, овим вредностима би требало додати и разлике између тих периода. Наравно, ово су теоријске вредности, прави

максимуми би се могли добити једино мерењима. Ако би та мерења била просторно и временски постављена према распореду и режиму рада великих (тачкастих и линијских) извора топлоте, онда би се могла добити потпуна "слика термичких утицаја". У Будимпешти је, на пример, антропогена продукција топлоте зими око 19% изнад већ поменуте просечне годишње вредности (51 W/m^2 у односу на 43 W/m^2), у Монтреалу је 1961. износила 55%, а на Менхетну 1967. године чак 69% (Оке 1982).

Табела 2. Производња енергије за загревање у Београду.

Год.	Произведена топлота (W/m^2)			Удео у Q_A (%)
	Лич. и оп. сврхе	Инд.	Укупно	
1966	0.389163	0.143439	0.532602	29.93412
1967	0.413635	0.143566	0.557201	29.18554
1968	0.432590	0.134584	0.567174	28.42359
1969	0.450273	0.144860	0.595133	28.05482
1970	0.480919	0.165951	0.646870	28.76455
1971	0.518355	0.164931	0.683286	28.21885
1972	0.640474	0.194550	0.835024	28.57056
1973	0.677776	0.220767	0.898543	27.88840
1974	0.660891	0.244163	0.905054	27.23578
1975	0.731202	0.271137	1.002339	27.84679
1976	0.754355	0.295059	1.049413	28.16855
1977	0.790557	0.303442	1.093999	28.40629
1978	0.881648	0.318220	1.199868	29.44585
1979	0.940726	0.342516	1.283242	30.04623
1980	0.936969	0.382596	1.319565	29.24953
1981	0.805001	0.370196	1.175198	29.05680
1982	0.969270	0.383018	1.352289	31.26665
1983	1.025083	0.254647	1.279730	32.39468
1984	1.108325	0.304887	1.413211	34.49121
1985	1.120406	0.354601	1.475007	35.10933
1986	1.174431	0.365980	1.540411	33.36159
1987	1.156452	0.415552	1.572003	35.26133
1988	1.081564	0.440067	1.521630	34.54522
1989	1.081975	0.427656	1.509631	34.58471
1990	1.013445	0.453160	1.466606	34.05249

Последице антропогене емисије топлоте

На почетку овог рада је истакнуто да се човеков утицај на климу у урбаним просторима испољава у три главна вида. Поменуте су промене карактеристика урбане атмосфере, затим измене карактеристика урбане површине и наравно антропогена емисија топлоте. Досадашња проучавања утицаја карактеристика урбане подлоге и састава урбане атмосфере на климу Београда су врло оскудна (без обзира што је њихов утицај на климу Београда несумњив). Прецизније речено, до сада се углавном говорило о збирном ефекту групе фактора. Израчунавање количина антропогене топлоте у Београду представља

покушај да се квантитативно издвоји један од тих утицаја, наравно без намере да докаже да је баш он највећи.

Величина антропогене продукције топлоте у Београду се најбоље може сагледати ако се упореди са топлотом коју простор Београда добија од Сунца. Да видимо у том циљу најпре како изгледа топлотни биланс једног ограниченог "природног простора" на Земљи. Замислимо вертикалан стуб атмосфере јединичног пресека (на пример 1m^2) који се протеже од Земљине површине до горње границе атмосфере. У билансу зрачења тог стуба приход се састоји од Сунчевог зрачења које упије површина Земље и атмосфера, а расход од дуготаласног излучивања подлоге и атмосфере у васиону. Однос примљене и емитоване количине топлоте овог простора зависи од географске ширине. У области између екватора и 38° географске ширине топлотни биланс је позитиван, изван тог појаса он има негативне вредности. Топлотна енергија коју Земљина површина и атмосфера израче у вишим географским ширинама надокнађује се преносом топлоте од екватора према половима путем струјања, односно турбуленције. Значи, простор Београда, који лежи око 7° у унутрашњости простора негативног топлотног биланса, би се природно непрекидно хладио да не добија топлоту из области позитивног биланса. Другим речима, транспорт топлоте из нижих ширина је основни извор којим се природно попуњава "дефицит у енергетском буџету" Београда.

Антропогена продукција топлоте (Q_A) међу компонентама топлотног зрачења у Београду представља трећи извор за ово подручје (први је апсорпција Сунчевог зрачења у овом простору, а други је хоризонтално преношење топлоте). Пошто представља додатни извор и доприноси успостављању нове равнотеже, антропогена емисија топлоте се може сматрати и *допунским извором*. Ако посматрамо само период 1971-1990. година, у коме Q_A већ достиже релативно високе вредности (око $2,5\text{ W/m}^2$) можемо видети да просечна годишња вредност антропогене продукције топлоте од $3,93\text{ W/m}^2$ представља $2,58\%$ глобалног зрачења ($I_g = 152,62\text{ W/m}^2$) у том периоду у Београду, односно $1,47\%$ зрачења које доспева на горњу границу атмосфере изнад Београда ($I_e = 267,92\text{ W/m}^2$). Пошто се та вредност из године у годину мења добро је истаћи и највишу годишњу вредност Q_A у посматраном периоду. Максимална продукција топлоте од $4,62\text{ W/m}^2$ (1986. године) чини $3,0\%$ од глобалног зрачења те године ($I_g = 154,16\text{ W/m}^2$) или $1,72\%$ екстратерестричког зрачења. Антропогена топлота се често упоређује са билансом Сунчевог зрачења (Q_R). Године 1986. биланс Сунчевог зрачења у Београду (Зелено брдо) је износио $54,17\text{ W/m}^2$, што значи да је Q_A те године износила $8,53\%$ вредности тог биланса (Анђелковић, 2002). Уз помоћ раније приказаних једначина можемо закључити како би изгледала тачна формула топлотног биланса Београда. У тој формули би на левој страни стајале вредности Сунчевог зрачења које простор Београда апсорбује (Q_R), топлоте коју добија транспортом из других крајева (Q_{H+}) и топлоте из антропогенних извора (Q_A). На десној страни би био губитак топлоте турбуленцијом (Q_T), испаравањем (Q_E), адвекцијом (Q_{H-}) и, пошто се посматра ограничени временски период, акумулирање топлоте у подлози (Q_P , која се може пренети у наредни период).

Антропогена топлота је допунска енергија у урбаном климатском систему Београда. Пошто њу емитују извори на Земљиној површини или подлози, онда се Q_A може сматрати топлотом подлоге. Прецизно говорећи извори антропогене топлоте су тачкасти (зграде, индустријски објекти и организми) и линеарни (саобраћај). Иако је то прилично значајна чињеница, у овом раду је њихова топлота узета као равномерно распоређена на целој територији насеља (у дужем периоду одсуства циркулације би постојала тежња да се изједначе разлике у ефектима). То значи да су ови извори Земљине површине просторно посматрани као површински извори. Осим тога, с обзиром на таласну дужину, ово зрачење се може сврстати у категорију дуготаласног зрачења Земљине површине. У складу са поменутиим чињеницама, утицајем топлоте антропогеног порекла у урбаном климатском систему Београда се успоставља нова равнотежа у односу на ону која се формира само под утицајем Сунчевог зрачења. Најједноставнији је иницијални случај, у коме се не мењају остале компоненте система него само расте температура атмосфере.

Међутим, промене су врло сложене, условљене су физичким принципима, а зависе од метеоролошких услова и географских карактеристика простора. Најчешће ситуацију знатно компликује успостављање бројних повратних спрега па одговор на питање утицаја није једнозначан и захтева врло комплексна истраживања. Једна важна чињеница се не сме заборавити: утврђена је велика осетљивост климе чак на врло мале промене у дотоку топлоте (Будыко, 1974).

Ипак, да размотримо шта то конкретно значи. Од топлоте све почиње. Енергија (топлота) је покретач свих значајнијих процеса у атмосфери. На годишњем нивоу иста количина топлоте која је ушла у климатски систем мора из њега и да изађе. У противном дошло би до промене енталпије, која би се манифестовала изменом температуре компонената система (што значи и атмосфере). Најпре се мења унутрашња молекуларна енергија тела, тј. запажа се пораст његове температуре. Када је у питању климатски систем мења се температура Земљине површине и атмосфере. Због тога се мења температура и биланс воде у појединим деловима система. Мења се распрострањеност и других мобилних материја. Различито загревање доводи до покретања ваздуха заједно са свим примесима које он садржи. На тај начин долази до трансформисања и транспорта како материје тако и енергије. Последица свих тих процеса је измена стања климатског система, пре свега његове најважније компоненте - атмосфере. То се огледа у промени вредности свих метеоролошких елемената, а тиме и њихових средњих вредности - климатских елемената. Различитост поменутих процеса у урбаном и сеоском простору узрок је климатским разликама између града и његове околине. Још од времена Лука Хоуарда се сматра да се климатски утицај урбанизације најјасније испољава на температури ваздуха (Ландсберг, 1983). Остаје као један од највећих нерешених проблема како раздвојити све урбане утицаје на климу, а посебно, како одвојити утицај антропогене од Сунчеве топлоте.

Закључак

Имајући у виду велику акумулацију Сунчеве зрачне енергије у граду, као и смањено излучивање подлоге, јасно је да је енергетски биланс града (подлоге и пограничног слоја атмосфере) промењен. Када се томе дода још једна важна чињеница, а то је антропогена производња топлоте, онда се долази до изразите поремећености биланса енергије у урбаном простору као ограниченом делу географске средине. Сви ови процеси су засновани на физичким законитостима трансформације енергије. Међутим, физички процеси се одвијају у конкретном географском простору, који условљава специфичности њихове манифестације.

Антропогена емисија топлоте у Београду, као и у другим урбаним просторима, обухвата техногену топлоту и метаболичку топлоту. Прва потиче из вештачких извора: загревање просторија (намерна производња топлоте) и саобраћај и индустрија (ненамерна производња). Друга је последица процеса који се дешавају у живим системима. Под живим системима се подразумевају људски организми, али и различите врсте животиња, чија је бројност у управној вези са становништвом градова. У истраживањима овакве проблематике најчешће се вредност антропогене емисије топлоте везује за број становника (енергетске потребе по глави становника као независно променљива) и тако прерачунава њена количина у једном урбаном простору.

Сви антропогени извори топлоте у Београду (стамбене и јавне зграде, саобраћај, индустрија и становништво) током периода за који постоје поуздани подаци (1966-1990. година) производили су годишње између $1,78 \text{ W/m}^2$ (1966) и $4,62 \text{ W/m}^2$ (1986) топлоте која је емитована у атмосферу (Q_A). Ови подаци се односе на територију насеља Београд, континуирано изграђени урбани простор. Добијени су прерачунавањем података о производњи топлоте у Граду Београду на вредност по становнику, затим је (на основу

броја становника) добијена величина продукције топлоте у насељу и изражена по јединици површине.

Сезонска емисија топлоте се не може прецизно израчунати пошто не постоји евиденција потрошње енергената у временским периодима мањим од године. Међутим, она се може проценити на основу структуре производње антропогене топлоте (издвајањем потрошње енергије за загревање просторија или одржавање услова средине од осталих потреба). Количина топлоте произведене за загревање просторија кретала се током анализираних двадесетпетогодишњег периода око једне трећине укупне годишње производње антропогене топлоте у Београду. Другим речима, зими се у просеку за трећину повећава флуks Q_A у Београду. То значи да је у "шпицу" 1986. године, за време хладног периода године производња топлоте износила око $6,16 \text{ W/m}^2$.

Урбано или градско *острво топлоте*, као феномен више температуре ваздуха у градовима у односу на околину, представља најважнију последицу утицаја урбанизације на топоклиму. Антропогена емисија топлоте у урбаним просторима изазива, осим пораста температуре ваздуха, и *друге промене у географској средини*. Последице се не јављају само у локалној средини (измена топоклиме), него се могу запазити и на глобалном нивоу. Услед производње топлоте од стране антропогених извора, у Београду опада ваздушни притисак у односу на околину, а као последица тога се мењају карактеристике ветра у граду. Услед пораста температуре опада релативна влажност ваздуха; али без обзира на то, облачност, магла и падавине су у граду већи него у околини. Непогоде, као и појава града, су чешћи. Ове чињенице потврђују бројна истраживања метеоролога и географа. Наравно, неки вештачки извори топлоте, сагоревањем фосилних горива, изазивају загађивање атмосфере (најважнија последица). Оно има, не само климатски, него првенствено директни биолошки значај.

ЛИТЕРАТУРА

- Анђелковић, Г., (2002): **Утицај антропогених извора топлоте на климу Београда**. Магистарски рад, Географски факултет, Београд.
- Будыко М. И., (1974): **Изменения климата**. Гидрометеоиздат, Ленинград.
- Ландсберг Г. Е., (1983): **Климат города**. Гидрометеоиздат, Ленинград.
- Оке Т. Р., (1982): **Климаты пограничного слоя**. Гидрометеоиздат, Ленинград.
- Радиновић Ђ., (1984): **Климатологија - општа и регионална**. ПМФ Универзитета у Београду и Југословенски завод за продуктивност рада и информационе системе, Београд.
- Тодоровић Б., (1980): **Енергетика Београда**. Савез машинских и електротехничких инжењера и техничара Србије, Београд.
- Тодоровић Б., Новоселац А., (1995): **Потрошња енергије у Београду од 1988. до 1994. године**. Часопис "Трејање, хлађење и климатизација", бр. 4, Савез машинских и електротехничких инжењера и техничара Србије, Београд.
- Ункашевић М., (1994): **Клима Београда**. Научна књига, Београд.
- Helbig A., (1983): **Zur Modifikation der Atmosphäre über Städten und Industrie-gebieten**. Geographische Berichte, 106, Heft 1/1983, VEB Hermann Haack, Gotha.

GORAN ANĐELKOVIĆ

Summary

ANTHROPOGENIC HEAT RELEASE IN THE ATMOSPHERE OF BELGRADE

The sun is main source of energy for all occurrences and processes in the atmosphere and on the surface of our planet. The quantity of energy that man produces on different ways in planetary proportions is relatively small. Within limited space on the Earth situation can be completely different. Cities and huge industrial zones confirm the fact of the concentration of different sorts of energy on relatively small area, which is also case in Belgrade.

All anthropogenic sources of heat in Belgrade (housing and public buildings, traffic, industry and inhabitants) during the period for which there are verified facts (1966-1990) were producing from $1,78 \text{ W/m}^2$ (1966) to $4,62 \text{ W/m}^2$ (1986) heat per year and it was emitted in the atmosphere (Q_A). Those facts are for the continuously built urban area of Belgrade. They are reckoned by calculation of data concerning the production of heat in administrative area of Belgrade per inhabitant, then (according to the number of inhabitants) the value of production of energy is marked and calculated per unit of surface area.

Seasonal emission of energy cannot be precisely calculated because there are no records during time period shorter than a year. However, it can be evaluated according to the structure of production of the anthropogenic heat (when the consumption of energy used for heating or for servicing environmental necessities is separated from other needs). The quantity of heat produced for heating, during analyzed period of twenty five years, was about one third of the total production of anthropogenic energy during one year in Belgrade. In other words, during the winter flux rises, on average, for about one third. During cold period of the year 1986 (the peak) the production of heat was $6,16 \text{ W/m}^2$.