

Isplativost pametnih mjera iz područja energetike u okviru koncepta pametnih gradova

Markoč, Mislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:988892>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-16**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mislav Markoč

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor

Dr. sc. Goran Krajačić, dipl. ing.

Student:

Mislav Markoč

Zagreb, 2019.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru Dr.sc. Goranu Krajačiću na ukazanom vremenu i uloženom trudu. Također bih se želio zahvaliti Viktoriji Dobravec i Nikoli Mataku na korisnim savjetima i ispravicima. Na kraju, zahvaljujem se svojoj obitelji, prijateljima i djevojci koji su mi pružali podršku tijekom školovanja.

Mislav Markoč



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student:

Mislav Markoč

Mat. br.: 0035195758

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

**Isplativost pametnih mjera iz područja energetike u okviru koncepta
pametnih gradova**

Naslov rada na
engleskom jeziku:

**Profitability of smart energy measures within the framework of the
smart city concept**

Opis zadatka:

Procjenjuje se da danas više od 70 % stanovništva Europske unije (EU-28) živi u urbanim područjima - gradovima i gradskim predgrađima. Gradovi su pokretači gospodarskog razvoja, ali su i odgovorni za proizvodnju značajnog udjela emisija ugljičnog dioksida. Oni predstavljaju veliki potencijal za smanjenje potrošnje energije i povećanje energetske učinkovitosti te imaju ključnu ulogu u održivom energetske razvoju. Koncept pametnih gradova primjer je održivog gospodarskog i energetske razvoja urbanih područja. U okviru pametnih gradova postoji nekoliko značajnih tehničkih rješenja koja mogu snažno doprinijeti smanjenju emisija ugljičnog dioksida.

U okviru zadatka, student će za predložena rješenja provesti tehnno-ekonomsku analizu za grad Zagreb. U radu je potrebno:

1. Napraviti detaljan pregled literature u području pametnih gradova s naglaskom na primjenu pametnih mjera iz područja energetike;
2. Dati opis nekoliko istaknutih primjera pametnih gradova EU-28 te pregled projekata pametnih gradova na razini Republike Hrvatske. Za zadani grad napraviti referentni model sustava u računalnom programu EnergyPLAN te napraviti scenarijsku analizu pametnih mjera s obzirom na „kritični višak proizvodnje električne energije“ (CEEP), ukupnu cijenu scenarija, emisije CO₂, uvoz/izvoz električne energije;
3. Analizirati mjere: pametno parkiranje, integracija centraliziranog toplinskog i rashladnog sustava s mogućnošću korištenja kanalizacijskog sustava kao izvora otpadne topline, solarnih toplinskih kolektora i dizalica topline, integracija solarnih fotonaponskih (PV) elektrana i električnih vozila, korištenje pametne javne rasvjete.

U obzir uzimati prostorna ograničenja za instalaciju solarnih panela i kolektora. Centralizirani toplinski i rashladni sustav modelirati tako da pokriva 50 % potreba za toplinskom i rashladnom energijom u zadanom gradu. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. studenog 2017.

Rok predaje rada:

1. rok: 23. veljače 2018.

2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.

3. rok: 21. rujna 2018.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.

2. rok (izvanredni): 2.7. 2018.

3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Goran Krajačić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA I DIJAGRAMA	III
POPIS KRATICA	IV
SAŽETAK	V
SUMMARY	VI
1. UVOD	1
1.1. Moderna gradska naselja	1
1.2. Koncept održivog razvoja	2
1.3. Pametni gradovi	3
2. PAMETNE MJERE IZ PODRUČJA ENERGETIKE	5
2.1. Prometna rješenja	5
2.2. Pametna rasvjeta	8
2.3. Toplinski i rashladni sustavi	8
2.4. Solarne fotonaponske elektrane	11
3. PRIMJERI PAMETNIH GRADOVA	12
3.1. Europska unija	12
3.2. Republika Hrvatska	18
4. ENERGETSKO MODELIRANJE GRADA ZAGREBA	24
4.1. EnergyPLAN	24
4.2. Referentni model	26
4.3. Implementacija pametnih mjera	34
4.4. Usporedba implementiranih pametnih mjera	46
5. ZAKLJUČAK	50
LITERATURA	51

POPIS SLIKA

Slika 1.	Kretanje postotka urbanizacije u Europi	1
Slika 2.	Stupovi koncepta održivog razvoja	2
Slika 3.	Ilustracijski prikaz pametnog grada	3
Slika 4.	Pametne vertikalne garaže	6
Slika 5.	Senzori na parkirnim mjestima	6
Slika 6.	Punjenje električnog automobila u Zagrebu	7
Slika 7.	Shema solarnog toplinskog kolektora	10
Slika 8.	Solarna fotonaponska (PV) elektrana	11
Slika 9.	Nova autobusna mreža Barcelone	13
Slika 10.	Povezanost sustava pametnih prskalica s bazom podataka	14
Slika 11.	Jednostavna shema mjehuričaste barijere	15
Slika 12.	Mreža centraliziranog sustava hlađenja u Parizu	17
Slika 13.	Anti-smog tornjevi – jedan od osam modela energetske pozitivnih zgrada	17
Slika 14.	Kontejneri s RFID čipovima	19
Slika 15.	Sučelje aplikacije „Smart Parking Dubrovnik“	20
Slika 16.	Pametne govornice u Zadru	21
Slika 17.	Sučelje računalnog programa EnergyPLAN – verzija 2017.	25
Slika 18.	Shematski prikaz toka energetske bilance Grada Zagreba za 2016. godinu	26
Slika 19.	Satna potražnja električne energije u RH za 2012. godinu	27
Slika 20.	Satna distribucija uvoza električne energije u RH za 2012. godinu	27
Slika 21.	Podjela CTS-a u EnergyPLAN-u	30
Slika 22.	Proizvodne jedinice TE-TO Zagreb	31
Slika 23.	Proizvodne jedinice EL-TO Zagreb	31
Slika 24.	Vrste simulacija u EnergyPLAN-u	32
Slika 25.	Rezultati referentnog modela Grada Zagreba za 2016. godinu 1/2	33
Slika 26.	Rezultati referentnog modela Grada Zagreba za 2016. godinu 2/2	33
Slika 27.	Rezultati implementacije koncepta pametne rasvjete 1/2	36
Slika 28.	Rezultati implementacije koncepta pametne rasvjete 2/2	36
Slika 29.	Rezultati implementacije CRS-a i pametnog CTS-a 1/2	38
Slika 30.	Rezultati implementacije CRS-a i pametnog CTS-a 2/2	38
Slika 31.	Rezultati implementacije PV modula 1/2	40
Slika 32.	Rezultati implementacije PV modula 2/2	40
Slika 33.	Rezultati implementacije električnih vozila 1/2	42
Slika 34.	Rezultati implementacije električnih vozila 2/2	43
Slika 35.	Rezultati skupne implementacije pametnih mjera 1/2	44
Slika 36.	Rezultati skupne implementacije pametnih mjera 2/2	45

POPIS TABLICA I DIJAGRAMA

Tablica 1. Neposredna potrošnja energije u Gradu Zagrebu	28
Tablica 2. Neposredna potrošnja energije u kućanstvima	29
Tablica 3. Neposredna potrošnja u sektoru usluga	29
Tablica 4. Potrošnja energije u prometu za Grad Zagreb u 2016. godini	30
Tablica 5. Ukupni toplinski i električni kapaciteti	31
Tablica 6. Broj prijeđenih kilometara u 2016. godini.....	41
Tablica 7. Broj prijeđenih kilometara u 2016. godini.....	42
Dijagram 1. Usporedba pametnih mjera prema CEEP	46
Dijagram 2. Usporedba pametnih mjera prema ukupnoj godišnjoj cijeni	47
Dijagram 3. Usporedba pametnih mjera po uvozu električne energije	48
Dijagram 4. Usporedba pametnih mjera po izvozu električne energije	48
Dijagram 5. Usporedba pametnih mjera po emisijama CO ₂	49

POPIS KRATICA

Kratika/Oznaka	Opis
BEV	Battery Electric Vehicle
CEEP	Critical Excess Electricity Production
CO ₂	Ugljični dioksid
COP	Coefficient of Performance
CRS	Centralizirani rashladni sustav
CTS	Centralizirani toplinski sustav
EBPP	Electronic Bill Presentment and Payment
EIB	European Investment Bank
EIP - SCC	European Innovation Partnership Smart Cities and Communities
ELENA	European Local Energy Assistance
ERAU	Embry – Riddle Aeronautical University
EU	Europska unija
ICT	Informacijsko komunikacijske tehnologije
INEA	Innovation and Networks Executive Agency
ISO	International Organization for Standardization
LED	Light Emitting Diode
PEV	Plug-in Electric Vehicles
PV	Photo Voltaic
RH	Republika Hrvatska
RFID	Radio Frequency Identification

SAŽETAK

Procjenjuje se da danas više od 70 % stanovnika Europske unije živi u urbanim područjima – gradovima i gradskim predgrađima. Gradovi su pokretači napretka i razvoja, ali i odgovorni za značajan dio štetnih emisija. Stoga upravo oni predstavljaju veliki potencijal za primjenu koncepta energetske održivosti koji uključuje smanjenje potrošnje energije te povećanje energetske učinkovitosti što rezultira smanjenjem štetnih emisija.

Pametni gradovi primjer su održivog gospodarskog i energetskog razvoja urbanog područja. Energetske pametne mjere između ostalog uključuju prometna rješenja, pametnu rasvjetu, centralizirane toplinske i rashladne sustave te integraciju obnovljivih izvora energije.

U okviru rada nabrojane su pametne mjere iz područja energetike te dani primjeri pametnih gradova na području Europske unije i Republike Hrvatske. Zatim je, za pet odabranih pametnih mjera – pametno parkiranje, pametna rasvjeta, integracija centraliziranog toplinskog i rashladnog sustava s dizalicama topline i solarnim kolektorima, integracija električnih vozila te integracija PV modula provedena tehno-ekonomska analiza za Grad Zagreb.

Analiza je provedena u računalnom programu EnergyPLAN, a rezultati su uspoređeni s referentnim modelom na temelju pet odabranih parametara. Simulacija je pokazala kako svaka od mjera smanjuje štetne emisije CO₂, najviše integracija električnih vozila – čak 8,26 %. Što se tiče financijskih ušteda, tu prednjači instaliranje PV modula s povratom investicije od 1,258 godina. S druge strane, sustav pametnog parkiranja ima velike investicijske troškove, a jedva vidljive uštede. Idealan scenarij bila bi provedba svih mjera istovremeno čime bi se ostvarilo smanjenje emisija od 9,13 % te smanjila ukupna godišnja cijena sustava za 869 milijuna eura.

Ključne riječi: održivi razvoj, pametni gradovi, energetska učinkovitost, emisije CO₂, obnovljivi izvori energije, EnergyPLAN, Zagreb

SUMMARY

It is estimated that today more than 70 % of European population lives in urban areas – cities and city suburbs. Cities are initiators of development, but, at the same time, the ones responsible for a significant part of harmful emissions. Therefore, cities represent great potential for implementation of the concept of energy sustainability, which includes reduction of energy consumption and increase of energy efficiency resulting in the reduction of harmful emissions.

Smart cities are examples of both economical and energetical sustainable development of urban areas. Smart measures in energetics include, among other things, traffic solutions, smart lighting, district heating and cooling systems and integration of renewable energy sources.

Within the framework of the paper smart measures in the field of energetics are listed and examples of smart communities, both in EU and Republic of Croatia are given. For five chosen measures – smart parking technology, smart lighting, district heating and cooling system with solar collectors and heat pumps, integration of PV modules and integration of electric vehicles, technical and economic analysis for the City of Zagreb was conducted.

Analysis was conducted in computer program EnergyPLAN and the results were compared with the reference model based on five chosen parameters. Simulation has shown that each of the implemented measures reduces the emission of CO₂, most notably integration of electric vehicles with a reduction of 8,26 %. From the economic standpoint, integration of PV modules has been proven the best with return of investment period of 1,258 years. On the other hand, the smart parking system is characterized by great investment costs and barely visible savings. The ideal scenario would include simultaneous implementation of all measures which would result in 9,13 % reduction of CO₂ emission and 869 million € decrease of annual costs.

Key words: sustainable development, smart cities, energy efficiency, CO₂ emission, renewable energy sources, City of Zagreb, EnergyPLAN

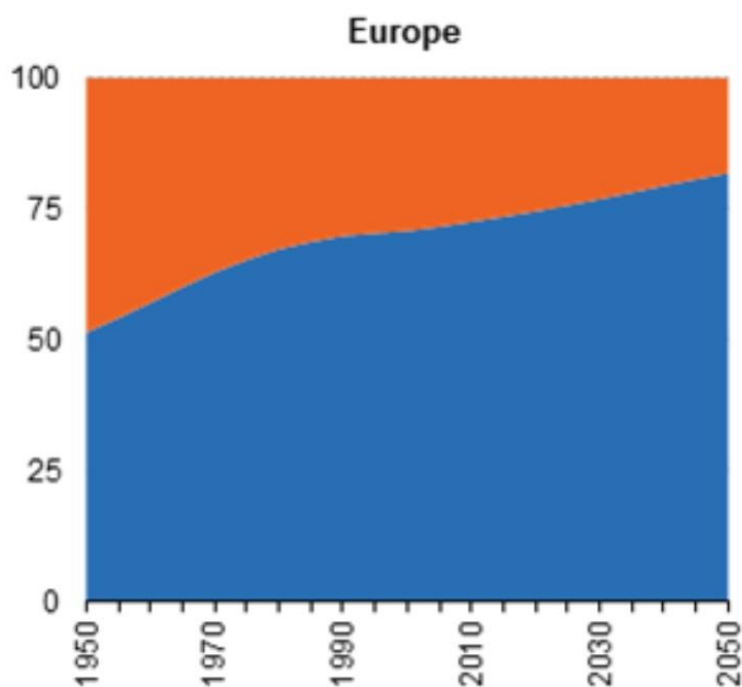
1. UVOD

1.1 Moderna gradska naselja

Gradsko naselje ili skraćeno grad, označava veće, kompaktno izgrađeno naselje, organizirano u više ili manje povezanu, diferenciranu društvenu zajednicu – gradsku općinu, koju čine građani toga grada [1].

Gradska naselja su oduvijek predstavljala izvor ljudskog napretka, mjesto na kojem su se, zbog koncentriranih i lako dostupnih različitih vrsta znanja, rađale inovacije i unaprjeđivala civilizacija.

S razvojem civilizacije sve je više rastao i postotak urbanizacije (Slika 1.). Gradovi danas, prema podacima Ujedinjenih Naroda, obuhvaćaju čak 55 % sveukupnog stanovništva na planetu Zemlji (7,6 milijarde ljudi), a procjenjuje se kako će taj postotak do 2050. godine narasti na 68 %. U razvijenim zemljama 'zapadne civilizacije' taj je postotak daleko veći pa tako u Europi čak 74% stanovništva živi u urbanim područjima – gradovima i gradskim predgrađima [2].



Slika 1. Kretanje postotka urbanizacije u Europi

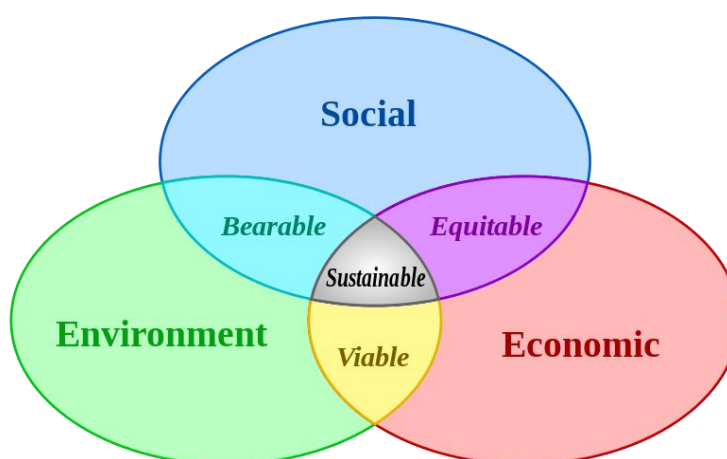
U doba kada je čovječanstvo uočilo posljedice koje sa sobom nosi zagađenje okoliša i povezane klimatske promjene, gradovi su označeni kao odgovorni za proizvodnju velikog udjela štetnih emisija CO₂. Stoga upravo oni predstavljaju veliki potencijal za primjenu pametnih metoda uštede energije, odnosno povećanja energetske učinkovitosti te posljedično smanjenja štetnih atmosferskih emisija.

Te metode implementirane su u koncept održivog razvoja s energetske i gospodarske gledišta, a gradovi koji pomoću tehnoloških mjera teže k prilagodbi tom konceptu nazivaju se pametnim gradovima.

1.2 Koncept održivog razvoja

Tijekom procesa razvoja čovječanstva zanemario se negativan utjecaj na okoliš, ali i samo društvo. Stoga je bilo nužno postaviti koncept prema kojem bi se razvoj mogao nastaviti u takvom obliku da osigura perspektivnu i stabilnu budućnost. Taj koncept se naziva konceptom održivog razvoja, a prema definiciji Brundtlandske komisije ¹ on se definira kao „razvoj koji zadovoljava potrebe sadašnjosti bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da zadovolji vlastite potrebe“.

Cjelokupan pojam održivosti najčešće se pokazuje preko tri stupa – ekološkog, socijalnog i ekonomskog, koji samo u međusobnom balansu omogućuju održivi razvoj (Slika 2.).



Slika 2. Stupovi koncepta održivog razvoja [3]

Kao što se i može pretpostaviti, održivost mora biti prisutna u svim područjima ljudske djelatnosti, a posebno je neophodna briga za očuvanje okoliša. Isto tako, kontrolirati se mora i broj stanovnika, potrošnja resursa kao što su hrana, voda, šume, ali i energija. No s druge strane, u socijalnom aspektu koncepta mora se osigurati mir, sigurnost i socijalna pravda kao preduvjeti za ugodan život ljudske civilizacije.

¹ Brundtlandska komisija je tijelo Ujedinjenih Naroda koje ima za cilj ujediniti sve nacije svijeta u cilju prihvatanja koncepta održivog razvoja

1.3 Pametni gradovi

Pojam pametnog grada (eng. smart city) predstavlja urbano područje koje koristi različite vrste naprednih informatičkih i elektroničkih tehnologija i znanja kako bi se, putem analize prikupljenih podataka, unaprijedilo upravljanje gradskom imovinom i resursima.

Jedna od općeprihvaćenih definicija pojma pametnog grada dolazi iz knjige „Od inteligentnih do pametnih gradova“ („From Intelligent To Smart Cities“) [4] u kojoj autori Deakin i Al Wear iznose četiri ključne karakteristike koje grad mora posjedovati da bi se nazivao pametnim:

- primjena širokog spektra digitalnih i elektroničkih tehnologija na zajednicu i grad
- korištenje ICT-a (informatičkih i komunikacijskih tehnologija) za transformaciju radnih okruženja
- uvrštavanje ICT tehnologija u administrativne strukture grada/države/općine
- postavljanje mjera koje spajaju ICT i ljude u cilju razumijevanja mogućnosti tehnologija i njihove uporabe u svakodnevnom životu

Primarni cilj je prikupiti podatke o aktivnostima građana, kretanju prometa, potrošnji resursa zgrada i objekata te osmisлити tehnološka rješenja koja će unaprijediti, ali i energetske optimizirati navedene aktivnosti.

Na Slici 3. nalazi se ilustracijski prikaz pametnog grada.



Slika 3. Ilustracijski prikaz pametnog grada [5]

Koncept pametnog grada nastoji prodrijeti u sve aspekte ljudskog života i djelovanja pa se tako njegova primjena može naći u prometnom sektoru, sektoru zgradarstva, opskrbi različitim oblicima energije, ali i drugim kategorijama kao što su zdravstvo, školstvo i gradska uprava.

Razvitkom tehnologije broj ideja koje obuhvaća koncept pametnog grada svakim danom sve više i više raste. Tako primjerice Amsterdam, koji je svoj plan razvoja prema modelu pametnog grada pokrenuo još 2009. godine, svake godine raspisuje natječaj na koji se javljaju inovatori s idejama o unapređenju života u glavnom gradu Nizozemske pomoću tehnološki naprednih rješenja.

Cilj je iskoristiti dostupnu tehnologiju za unapređenje života građana uz naglasak na održivosti kao glavnom motivu. Tako pametne mjere mogu se pronaći u administrativnim uredima gdje bi se trebala omogućiti lakša i tehnološki naprednija rješenja pomoću kojih bi građani mogli dobiti potrebne informacije i podatke. Također, u obrazovanju bi se trebala poticati kreativnost i inovativnost kao budući stupovi razvoja, a gospodarstvo bi trebalo integrirati sve više start-up poduzeća kojima su glavni resursi ljudska pamet i inovativnost.

S energetskog gledišta, postoji širok velik broj modernih tehnologija koje bi se mogle koristiti u smanjenju potrošnje energije, povećanju energetske učinkovitosti, a shodno tome i smanjenju štetnih emisija.

2. PAMETNE MJERE IZ PODRUČJA ENERGETIKE

Kao što je već spomenuto, spektar energetske metoda u konceptu pametnih gradova vrlo je širok, no sve metode imaju jedan zajednički cilj – povećanje energetske efikasnosti te smanjenje rasipanja energije i zagađenja okoliša.

2.1 Prometna rješenja

Jedna od najprepoznatljivijih karakteristika gradskih područja je gust promet. Privatni i službeni automobili, zajedno s razgranatom mrežom javnog prijevoza, svakodnevno svojim ispušnim plinovima zagađuju ulice svih većih gradova. Stoga su gotovo svi veći europski gradovi unazad nekoliko desetljeća počeli s kampanjom čiji je cilj promoviranje korištenja javnog gradskog prometa ili CO₂ neutralnih načina transporta (npr. bicikl) umjesto osobnih automobila. Velike metropole Europske Unije kao što su Pariz ili London već godinama ograničavaju promet u samom središtu grada koristeći poseban sustav naljepnica koje omogućuju ulazak u centar samo određenom, kontroliranom, broju vozila. Koliko je stanje u nekim predjelima svijeta postalo alarmantno najbolje govori primjer iz kineske prijestolnice Pekinga gdje je prometno zagađenje zraka postalo toliko da su vlasti bile primorane uvesti sistem parnih i neparnih brojeva na tablicama².

Prema Agenciji za zaštitu okoliša Sjedinjenih Američkih Država (USEPA) čak 28 % cjelokupne emisije stakleničkih plinova dolazi kao posljedica transporta. Sama vozila uzrokuju čak 75 % emisija ugljikovog monoksida, a u urbanim sredinama između 50 i 90 % ukupno onečišćenja zraka.

I) Pametno parkiranje

Vožnja prilikom traženja parkirnog mjesta povećava količinu štetnih tvari nepotrebno ispuštenih u okoliš. Uzimajući u obzir prosječno vrijeme traženja parkinga, prosječnu potrošnju goriva automobila te prosječnu emisiju štetnih plinova lako matematički može prikazati smanjenje emisija stakleničkih plinova nastalo smanjenjem vremena traženja slobodnog parkirnog mjesta. Takav brojčani izračun korišten je u nastavku rada prilikom modeliranja ušteda za grad Zagreb.

Kod parkiranja u urbanim područjima postoje dva glavna problema – nedostatak parkirnog prostora i nemogućnost lociranja slobodnih parkirnih mjesta.

² Sistem parnih i neparnih brojeva na tablicama podrazumijeva da se u određenim danima u tjednu smiju prometovati samo vozila s parnim, odnosno neparnim brojevima registarskih oznaka

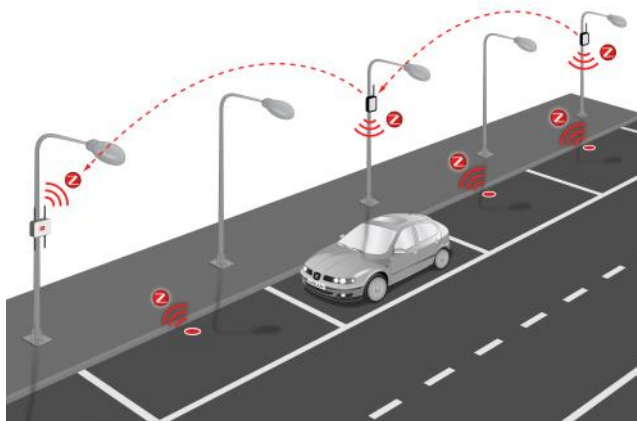
Jedno od postojećih rješenja za prvi problem jest konstruiranje pametnih parkirnih prostora koja mehanizirano slažu automobile u vertikalne stupce smanjujući tako prostor potreban za pohranu automobila (Slika 4.).



Slika 4. Pametne vertikalne garaže [6]

Za postavljanje pametnih garaža i parkirnih mjesta potrebne su velike investicije, što nije slučaj s rješenjem za problem traženja slobodnog parkirnog mjesta.

Tehnološko rješenje tog pitanja obuhvaća postavljanje senzora na parkirna mjesta (Slika 5.) te programiranje aplikacije za pametne telefone i uređaje koja će svojim korisnicima prikazati slobodna parkirna mjesta na željenom parkingu i ih navigirati do istih. Takvo rješenje odnedavno je moguće vidjeti i u gradu Splitu koji je na dva parkirališta postavio spomenutu opremu te tako olakšao traženje slobodnih mjesta vozačima.



Slika 5. Senzori na parkirnim mjestima [7]

II) Električni i hibridni automobili

Kada je postalo jasno kako fosilna goriva imaju ograničene rezerve te vrlo štetno djeluju na okoliš, automobilski svijet se okrenuo traženju alternativnog načina pogona vozila.

Tako su nastali hibridni pogoni, a u novije vrijeme i električni automobili koji se smatraju neutralnima po pitanju direktne emisije stakleničkih plinova, tj. emisije koja nastaje prilikom vožnje automobila. S druge strane, indirektna emisija stakleničkih plinova, ona nastala prilikom proizvodnje samog vozila te proizvodnje električne energije, još uvijek je prisutna.

Najveći problem tehnologije bio je razvoj baterija koje su sposobne pokretati električna vozila. No, taj je problem riješen osmišljavanjem vozila koja se mogu napajati na vanjskom izvoru struje (PEV – Plug in Electric Vehicles). Među podskupine PEV-a spadaju električna vozila koja za pokretanje koriste isključivo kemijsku energiju ukomponiranoj bateriji koju je moguće puniti (BEV – Battery Electric Vehicles) te hibridna vozila koja se, uz bateriju pogodnu za punjenje, mogu pogoniti i na električnu energiju iz internog generatora te motor s unutrašnjim izgaranjem. Komercijalizacija električnih vozila sa sobom povlači i pitanje postavljana infrastrukture – zbog relativno malog dometa u odnosu na vozila na fosilna goriva potrebno je postavljanje razgranate i rasprostranjene mreže punionica za PEV automobile (Slika 6.).



Slika 6. Punjenje električnog automobila u Zagrebu

2.2 Pametna rasvjeta

Javna rasvjeta u prosjeku predstavlja 10 do 20 % cjelokupne energetske potrošnje države (taj postotak je i veći u državama u razvoju) [8]. Ovaj skup energetske mjere podrazumijeva zamjenu tradicionalne javne, ali i kućne, rasvjete tehnološki naprednom pametnom rasvjetom čija je glavna odlika prilagođavanje trenutnim potrebama za svjetlom. Tako, na primjer, tradicionalna rasvjetna tijela daju isti intenzitet svjetlosti, odnosno troše istu količinu energije, bez obzira na to ima li u blizini pješaka, automobila ili biciklista kojima su potrebna, dok se pametna rasvjeta prilagođava trenutnim potrebama gradirajući intenzitet svjetlosti i utrošenu energiju ovisno o potrebi. Ukoliko senzor uoči nailazak nekog objekta rasvjeta će zasvijetliti jače, a u slučaju nepostojanja potrebe će se prigušiti.

Također, pametna rasvjeta u slučaju kvara automatski dojavljuje problem u kontrolni centar gdje se lako može očitati koje je rasvjetno tijelo prestalo s radom.

Integracijom sustava pametne rasvjete u koncept pametnog grada se uz uštedu energije povećava i sigurnost stanovništva što je jedna od sekundarnih zadataka ovakvog koncepta gradskih naselja.

Uz to, česta je i primjena solarnih ćelija za napajanje rasvjetnih tijela. Danju se pomoću PV (eng. photovoltaic) ploča napaja baterija koja pruža potrebnu energiju za noćnu rasvjetu čime se smanjuje emisija štetnih plinova kod proizvodnje potrebne električne energije.

2.3 Toplinski i rashladni sustavi

Veliki moderni gradovi imaju veliku potrebu za toplinskom, odnosno rashladnom energijom tijekom cijele godine. U zimskim mjesecima domove, tvornice i radne prostore potrebno je grijati, dok se u ljetnim mjesecima toplinska ugodnost postiže hlađenjem tih prostora.

Stoga je u većini gradskih naselja, pa tako i u gradu Zagrebu, uveden centralizirani toplinski sustav, odnosno sustav daljinskog grijanja. Prema hrvatskom Zakonu o tržištu toplinske energije centralizirani toplinski sustav (CTS) je toplinski sustav koji putem vrel vodne, toplo vodne i parovodne mreže duže od 2000 metara povezuje obračunska mjerna mjesta za preuzimanje toplinske energije od proizvođača do obračunskog mjernog mjesta za prodaju toplinske energije kupcima [9].

CTS sam po sebi ne predstavlja pametnu mjeru pošto je, u starijim generacijama, energija proizvedena iz fosilnih goriva, a transportni i ostali gubici znatni. Kako bi centralizirani toplinski sustav spadao pod mjere pametnih gradova važno je da barem djelomično energiju proizvodi pomoću dizalica topline, a poželjno bi bilo da spada u CTS sustave četvrte generacije koji za funkciju imaju opskrbu zgrada i stanova niskotemperaturnim grijanjem,

minimizaciju energetske gubitaka, iskorištavanje niskotemperaturnih izvora otpadne topline, omogućavanje integracije obnovljivih izvora energije te povezivanje elektroenergetskog i toplinskog sustava.

I) Integrirani centralizirani toplinski i rashladni sustav (eng. District heating and cooling system)

Premda se centralizirani sustav grijanja koristi još od 1880-ih godina te je već postao standard u gradovima diljem svijeta, primjena centraliziranog sustava hlađenja još uvijek nije u potpunosti zaživjela u svim većim gradovima pa se stoga može smatrati jednom od tehnoloških mjera pametnih gradova.

Rashladni agregati koji se koriste kod centraliziranih rashladnim sustavima imaju puno veći koeficijent učinkovitosti (COP)³ (čak i do 7) od tradicionalnih rashladnih decentraliziranih klima-uređaja koji su veliki potrošači energije (COP između 2 i 4) što automatski znači uštedu energije. Sveukupno, centralizirani sustavi grijanja i hlađenja mogu uštedjeti između 30 i 50 % primarne energije [10].

II) Korištenje dizalica topline i otpadne topline iz kanalizacije

Jedan od energetske prihvatljivih niskotemperaturnih izvora za grijanje vode u cijevima centraliziranog sustava je otpadna toplina iz kanalizacije.

Otpadna voda u kanalizaciji je prosječne temperature između 10 i 20 °C (15.6 °C je prosječna temperatura kanalizacije u SAD-u) što predstavlja veliki toplinski potencijal koji se može iskoristiti dizalicama topline [11].

Dizalice topline koriste geotermalnu energiju iz zemlje, toplinsku energiju podzemnih voda ili zraka te preko sustava grijanja prenose toplinu u stambeni prostor.

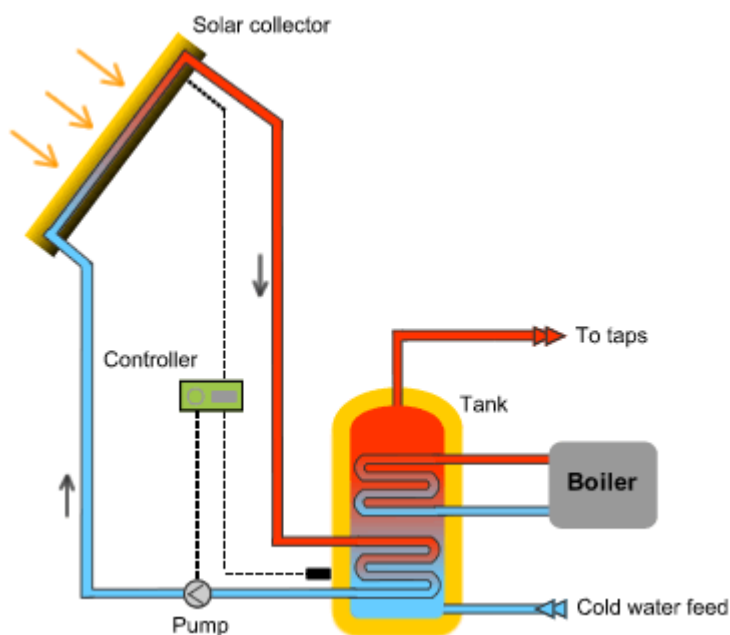
³ COP (eng. Coefficient of Performance) predstavlja omjer korisne topline grijanja i hlađenja u odnosu na uloženi rad

III) Solarni toplinski kolektori

Solarni toplinski kolektor prikuplja toplinu apsorbirajući Sunčevu svjetlost.

Konstruktivski postoji veći broj izvedba solarnih kolektora, a najveća razlika je u geometriji pa tako nailazimo na ravne solarne kolektore (u obliku ploče), cijevne solarne kolektore ili tanjuraste (parabolične) kolektore.

Na Slici 7. prikazana je shema solarnog kolektora.



Slika 7. Shema solarnog toplinskog kolektora [12]

Solarni kolektori koriste se za zagrijavanje vode te stoga mogu biti ukomponirani u centralizirani sustav grijanja nekog grada kao obnovljivi izvor energije što dodatno smanjuje štetne emisije cijelog sustava.

2.4 Solarne fotonaponske elektrane

Fotonaponske elektrane (Slika 8.) jedan su od najboljih načina za iskorištavanje Sunčeve energije. Sastoje se od mreže fotonaponskih modula (PV – Photo Voltaic) koji koriste fotoelektrični efekt kako bi Sunčevu energiju pretvorili direktno u električnu. Fotoni iz sunčeve svjetlosti pogađaju module te izbijaju negativno nabijene elektrone koji se, zbog polarizacijski građenih panela, počinju kretati prema drugoj strani modula stvarajući električnu energiju. Zatim se tako prikupljena električna energija uz pomoć invertera prilagođava mrežnim parametrima te uključuje u elektroenergetsku mrežu grada.



Slika 8. Solarna fotonaponska (PV) elektrana [13]

3. PRIMJERI PAMETNIH GRADOVA

3.1 Europska unija (EU – 28)

Europska Unija, uz Sjedinjene Američke Države i Indiju, predstavlja najrazvijenije područje na svijetu po pitanju pametnih gradova.

Vladajuća tijela Europske unije na čelu s Europskom komisijom i INEA-om (eng. Innovation and Networks Executive Agency) promiču i financijski podupiru razvoj novih i unapređenje već postojećih pametnih zajednica pa je tako od 2014. godine na snazi program Horizon 2020 koji, između ostalog, pruža mogućnosti financiranja strategija razvoja pametnih gradova u okviru budžeta EU. Program europske pametne gradove dijeli u kategorije svjetionika i pratitelja – gradovi svjetionici već imaju razvijen program pametnog grada dok gradovi pratitelji imaju za cilj taj program „kopirati“ odnosno prilagoditi svojim uvjetima [14].

Također, u okviru europske zajednice djeluje i EIP – SCC (European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities) čiji je cilj poticati razvoj pametnih gradova među građanima, industrijom, financijskim ustanovama i drugim važnim dionicima kroz šest akcijskih područja (eng. action clusters): fokus građana, poslovni modeli, financije i nabava, integrirana infrastruktura i procesi, integrirano planiranje, politika i regulacije, održive četvrti i izgrađenost okoliša, održiva urbana mobilnost [15].

U nastavku slijedi pobliži opis tri izabrana istaknuta pametna grada svjetionika iz EU-28 zajednice: Barcelone, Amsterdama i Pariza.

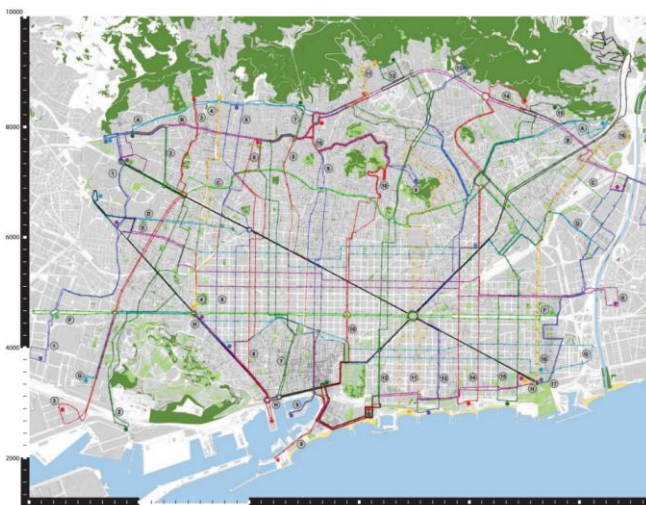
I) Barcelona

Barcelona kotira kao najuspješniji pametni grad na europskom tlu – prema istraživanju Juniper Research-a iz 2016. godine proglašena je drugim najboljim pametnim gradom na svijetu, odmah iza „pametnog grada-države“ Singapura [16].

Promet je jedno od glavnih područja primjene pametnih tehnologija u Barceloni koja se posebno istaknula optimizacijom javnog gradskog prijevoza.

Pomoću digitalnih sustava za prikupljanje podataka o prometnim tokovima, ured za promet Barcelone preoblikovao je mrežu gradskih linija koristeći uglavnom vertikalne, horizontalne i dijagonalne trase s mnogo stanica i presjecišta (Slika 9.).

Tim potezom došlo je do ubrzanja javnog gradskog prijevoza, smanjenja čekanja u prometnim zastojima, a samim time i do manje potrošnje goriva te posljedično manjih emisija štetnih plinova.



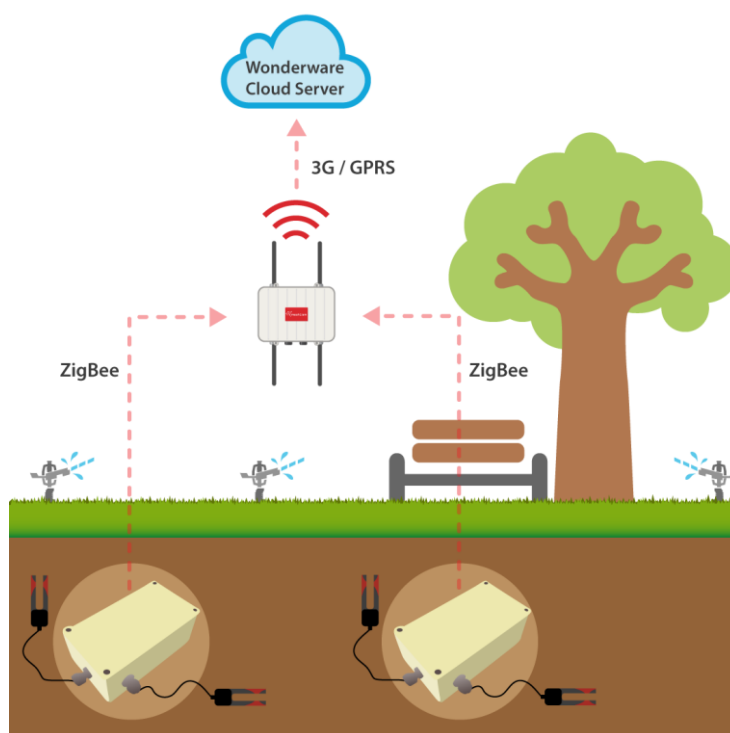
Slika 9. Nova autobusna mreža Barcelone [17]

Osim novog dizajna autobusnih linija, gradski ured za planiranje nedavno je predstavio i kompletno novi prometni plan za cijeli grad koji bi trebao smanjiti vrijeme čekanja u prometnim gužvama za 21 %. Nadalje, velika većina grada već je dulje vrijeme opremljena pametnim parkirnim mjestima sa senzorima te pametnom LED rasvjetom koja, između ostalog, omogućuje i besplatan Wi-Fi internetsku vezu svim građanima i posjetiteljima. Razvijena je i inovativna tehnologija solarne rasvjete koja u sebi ima ukomponirane različite pametne

dodatke (senzori za pokret, senzori za kontrolu kvalitete zraka ili zagađenja, Wi-Fi), ovisno o potrebama mjesta gdje se rasvjeta postavlja.

Velika pozornost pridaje se i kvaliteti zraka pa su tako diljem urbanog središta postavljeni i senzori koji nadziru kakvoću zraka i razinu buke. Barcelona se pametnim mjerama služi i u „borbi“ protiv suše. Diljem gradskih parkova u zemlju su postavljeni senzori koji prate količinu padalina te, zajedno sa podacima o predviđenoj količini kiše u narednih nekoliko dana, reguliraju razinu zalijevanja biljaka i travnjaka iz prskalica. U slučaju smanjene količine oborina prskanje zelenih površina prestaje te se voda čuva za osnovne potrebe građanstva.

Na Slici 10. prikazana je veza pametnih prskalica s bazom podataka.



Slika 10. Povezanost sustava pametnih prskalica s bazom podataka [7]

II) Amsterdam

Jedan od preduvjeta za implementaciju mjera pametnih gradova svakako je prikupljanje podataka vezanih uz relevantne gradske aktivnosti čijom se onda analizom utvrđuju potrebna tehnološka rješenja.

Upravo je u tom području Amsterdam grad svjetionik u Europskoj Uniji – glavni grad Nizozemske ima javno dostupnu bazu podataka (City Data) gdje se zainteresirani građani mogu informirati o stanovništvu, prometu, infrastrukturi, zdravstvu, energetske tokovima itd. vezanim uz njihov dio grada ili uz cijeli grad općenito [18].

Razvoj pametnog grada potaknut je 2009. godine osnivanjem „Amsterdam Smart City Initiative“ čiji je cilj promoviranje i objedinjavanje ideja koje će grad učiniti još bližim idealnom modelu pametnog grada. Inicijativa na svojim internetskim stranicama nudi pregledan i interaktivan popis svih pametnih projekata u gradu podijeljenih u nekoliko kategorija ovisno o području gradskog života na koji se odnose (energetika, digitalni grad, mobilnost, građanstvo itd.) [19].

Kako je Amsterdam grad izgrađen na sustavu kanala i mostova, jedan od ekoloških problema grada leži u onečišćenju samih kanala. Plastika je, zbog svog svojstva dugotrajne, pa gotovo i nemoguće razgradivosti u okolišu, prepoznata kao jedan od glavnih onečišćivača amsterdamskog vodnog puta. Stoga je, u sklopu tehnološkog rješenja pametnih gradova, predstavljena inovativna metoda pod nazivom „Great Bubble Barrier“ (hrv. Velika mjehurićasta barijera). Ideja je u samoj svojoj izvedbi veoma jednostavna – na dno kanala postavlja se cijev s rupama kroz koju se potom upuhuje zrak koji onda svojim prodiranjem na površinu stvara mjehurićastu barijeru čiji je cilj sprječavanje prolaska plastičnog otpada (Slika 11.). Cijeli koncept je jeftin i lako primjenjiv te je stoga naišao na plodno tlo diljem kanalskog sistema. Daljnji razvitak ideje uključuje korištenje prikupljenih plastičnih otpadaka kao sirovine za 3D plastični printer.



Slika 11. Jednostavna shema mjehurićaste barijere [19]

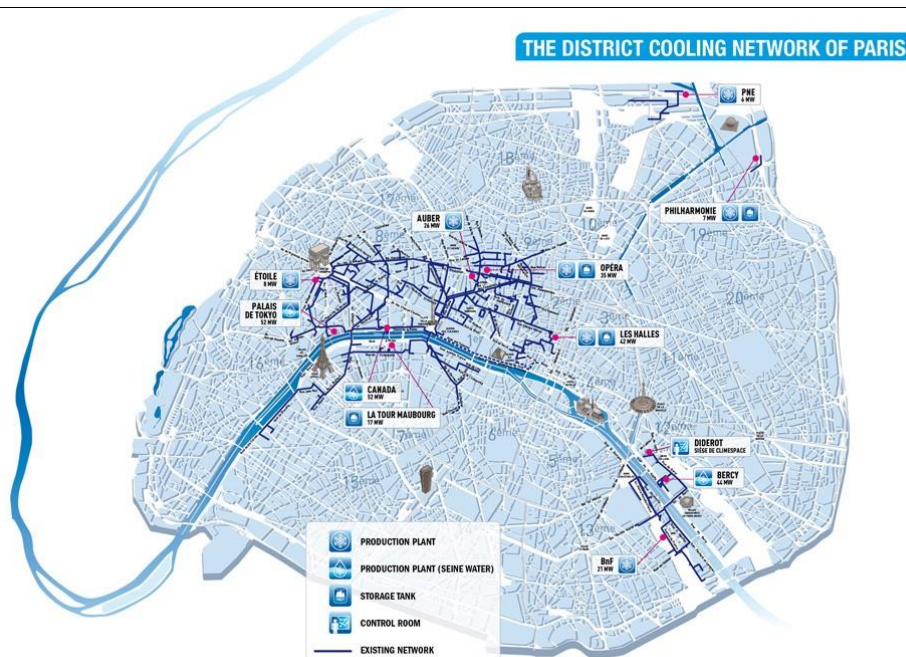
III) Pariz

Glavni grad Francuske je jedan od svjetskih pionira kad je u pitanju korištenje centraliziranog daljinskog sustava grijanja i hlađenja (eng. district heating and cooling systems) koji, ukoliko zadovoljava određene uvjete (korištenje dizalica topline i obnovljivih izvora energije, niski gubici, mogućnost niskotemperaturnog grijanja), predstavlja jednu od energetski najkorisnijih metoda iz skupa tehnoloških mjera pametnih gradova.

CTS u Parizu obuhvaća mrežu od 475 kilometara koja čak 50 % energije crpi iz obnovljivih izvora energije [20]. Najveći udio u postotku ima korištenje otpadne topline koja se pomoću dizalica topline integrira u vrelovodni sustav (39 %) te čak 36 geotermalnih izvora topline. Također, iako je sustav baziran na protoku vruće pare kroz cijevi, njegova specifičnost leži u 19 petlji tople vode (eng. hot water loops) koje opskrbljuju manje gradske četvrti ili postrojenja, a s glavnim sustavom povezane su pomoću izmjenjivača topline. Prednost petlji leži u boljoj distribucijskoj učinkovitosti koja se penje do čak 95 %. Isto tako, topla voda ima bolja svojstva skladištenja topline od pare (veći toplinski kapacitet) pa petlje reduciraju potrebu korištenja fosilnih goriva prilikom vrhunca potražnje za grijanjem (eng. peak demand) [20].

Osim sustava centraliziranog grijanja, Pariz ima dobro razvijen i sustav centraliziranog hlađenja koji opskrbljuje 500 000 kućanstava [20]. Njegova mreža od 71 km pod nazivom „Climespace“ (Slika 12.) predstavlja najveću mrežu daljinskog sustava hlađenja u Europi koja broji oko 570 potrošača. Sustav se sastoji od velike mreže u centru grada te dvije zasebne manje mreže na sjevero-istočnom i jugo-zapadnom dijelu. „Climespace“ čak 60 % mreže provodi kroz već postojeće kanalizacijske sustave što minimalizira potrebu za novom infrastrukturom.

Što se veličine cijelog sustava tiče, on se sastoji od devet centara za proizvodnju hladne vode ukupne snage od 330 MW koji godišnje proizvedu 412 GWh rashladne energije [20]. Potrebna energija proizvodi se pomoću rashladnih agregata, a veliku uštedu energije stvara i uzimanje već djelomično rashlađene vode iz rijeke Senne na koju su spojena tri proizvodna postrojenja ukupne veličine od 148 MW. Prosječna temperatura rashladnog medija iznosi 4 °C, a povratna temperatura doseže čak 14 °C.



Slika 12. Mreža centraliziranog sustava hlađenja u Parizu [20]

Osim centraliziranih sustava grijanja i hlađenja, pariške vlasti su nedavno predstavile i projekt „Paris Smart City 2050“ koji teži k smanjenju emisija stakleničkih plinova za 75 % do 2050. godine. Jedan od načina ostvarenja tog ambicioznog poduhvata predstavila je francuska arhitektonska kuća „Vincent Callebaut Architectures“. Njihov model temelji se na gradnji visokih, energetskih pozitivnih zgrada koje bi bile sposobne proizvoditi energiju za okolne, susjedne objekte. Idealan tip energetski pozitivnih zgrada predstavljaju one koje uspiju iz obnovljivih izvora energije proizvesti više energije nego što troše na osiguravanje ugodnog boravka u njima. Osam futurističkih modela građevina (Slika 13.) trebalo bi pokušati riješiti problem toplinskih otoka⁴ u gradovima te pomoći razvoju Pariza prema konceptu održivog razvoja.



Slika 13. Anti-smog tornjevi – jedan od osam modela energetski pozitivnih zgrada [21]

⁴ Toplinski otok je gradsko područje koje je znatno toplije od okolnih ruralnih područja, a uzrokovan je ljudskim djelovanjem (gustoćom zgrada, promet, smanjenje prirodne ventilacije itd.)

3.2 Republika Hrvatska

Republika Hrvatska, članica Europske unije od 2013. godine, u području primjene tehnologija pametnih gradova još uvijek nije dosegla razinu ostalih članica.

Tako unutar granica RH postoji 128 gradskih naselja, od kojih, prema istraživanju Zavoda za gradski promet Fakulteta prometnih znanosti u Zagrebu [22], samo njih 40-ak primjenjuje tehnologije pametnih gradova. Rješenja novih tehnologija najbolje su primijenjena u području mobilnosti gdje već duže vrijeme građani hrvatskih gradova mogu koristiti usluge javnih bicikala, dijeljenja automobila, vožnje na zahtjev ili praćenja i plaćanja javnog gradskog prijevoza putem neke od aplikacija na pametnim telefonima.

Prvih korak u unapređenju korištenja pametnih tehnologija na hrvatskom tlu svakako je donošenje strategija o razvoju pametnih gradova, kakvu je primjerice donio glavni grad Zagreb. Jasnom vizijom i planom napretka hrvatski gradovi imaju priliku dostići europske susjede te tako postati dijelom novog, održivog društva budućnosti.

U nastavku su nabrojani neki od projekata pametnih gradova u Hrvatskoj, s naglaskom na Grad Zagreb.

I) Koprivnica

Jedan od predvodnika razvoja strategija pametnih gradova u Hrvatskoj je grad Koprivnica. Koliko je Koprivnica uspješna u svom nastojanju implementacije pametnih rješenja govori činjenica da je ona prvi grad u regiji te tek sedmi na prostoru Europe kojemu je dodijeljen ISO certifikat broj 37120: „Održivi razvoj – indikatori za gradske službe i kvalitetu života“. Certifikat najviše kategorije Platinum je pokazao kako je Koprivnica uspješna u mjerenju 46 osnovnih i 48 pomoćnih indikatora od ukupno 100 mjerljivih iz 17 područja relevantnih za život grada.

Precizna mjerenja omogućila su gradu razvoj pametnih tehnologija koje će povećati životnu ugodnu građanima, poboljšati učinkovitost rada gradskih službi, smanjiti zagađenje okoliša te izdatke gradskog budžeta istovremeno približavajući Koprivnicu modernom samoodrživom gradu.

Jedno od tehnološki naprednih rješenja koje je svoju primjenu našlo upravo u Koprivnici je model elektronskog računa pod skraćenicom EBPP (eng. Electronic Bill Presentment and Paying). Usluga namijenjena tvrtkama koji izdaju velik broj računa različitim klijentima omogućuje zamjenu klasičnog papirnatoг računa elektroničkim oblikom. Time se ostvaruje ušteda na troškovima tiskanja i printanja računa, ali i smanjuje zagađenje okoliša uzrokovano korištenjem velike količine papirnatе sirovine.

U Koprivnici se koristi i tehnologija pametnog sustava elektronske evidencije odvoza komunalnog otpada. Rješenje omogućuje naplatu odvoza prema volumenu i broju sakupljanja ili masi otpada, a sastoji se od kontejnera s RFID⁵ čipovima (Slika 14.), sustava za automatsku identifikaciju te cloud aplikacije za obradu podataka.

Osim ovih dvaju inovativnih rješenja, Koprivnica posjeduje i usluge korištenja javnih bicikala te pametne klupe koje građanima pružaju besplatnu internetsku vezu diljem središta grada.



Slika 14. Kontejneri s RFID čipovima [23]

⁵ RDIF (Radio Frequency Identification) je tehnologija koja koristi radio vezu za komunikaciju između prijenosnih uređaja i glavnog (host) računala

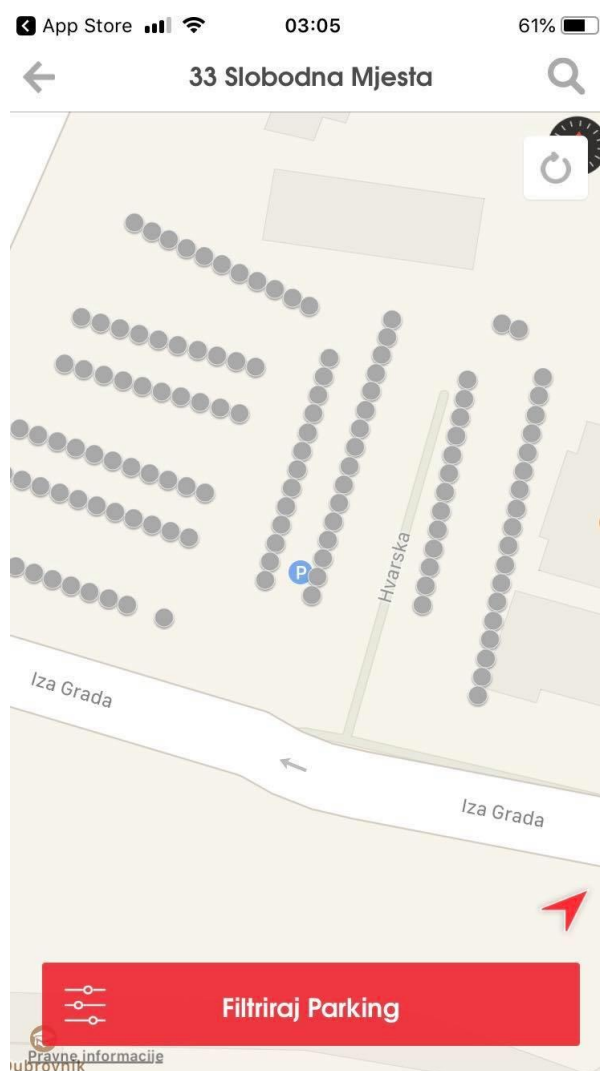
II) Dubrovnik

Jedan od pametnih projekata u gradu je aplikacija „Smart Parking“ koja, preko pametnih mobilnih telefona, olakšava građanima Dubrovnika i njihovim gostima parkiranje.

Aplikacija korisniku prezentira interaktivnu mapu praznih i popunjenih mjesta na parkiralištima, kao i podatke o cijeni i uvjetima parkiranja.

Isto tako, moguća je i navigacija klijenta do slobodnog mjesta.

Slika 15. prikazuje sučelje aplikacije „Smart Parking“.



Slika 15. Sučelje aplikacije „Smart Parking Dubrovnik“

Dubrovnik se, slično kao i Barcelona, okrenuo pametnim tehnologijama i u slučaju navodnjavanja zelenih površina pa je tako u gradu u tijeku postavljanje senzora koji bi prema temperaturi i vlažnosti tla regulirali zalijevanje parkova.

III) Zadar

Grad Zadar je također počeo s razvitkom tehnologija pametnih gradova.

Strategija uključuje implementaciju dosad već poznatih tehnologija kao što su pametna rasvjeta, besplatna internetska mreža, pametno parkiranje te „Portal City“ aplikacija koja bi nudila svojevrsan pregled pametnog grada - omogućavala bi korisnicima da na jednom mjestu vrše plaćanje različitih komunalnih usluga kao što su parking, javni prijevoz, taksi prijevoz, ulaz u muzeje, ali i davala im informacije o kakvoći zraka, temperaturi mora, prometnom stanju itd.

Projekt s kojim se Zadar ističe među drugim hrvatskim gradovima je postavljanje takozvanih pametnih govornica po uzoru na New York i London (Slika 16.). Govornice, osim telefoniranja, korisnicima omogućuju kupovinu karata za parking te javni gradski prijevoz, besplatno korištenje Wi-Fi mreže, kao i dobivanje korisnih informacija o samom gradu.



Slika 16. Pametne govornice u Zadru [24]

IV) Zagreb

Glavni grad Republike Hrvatske zbog svoje veličine, odnosno činjenice da sa prigradskim naseljima obuhvaća više od milijun stanovnika što predstavlja četvrtinu stanovništva države, te ekonomskog i sociološko-kulturnog značaja predstavlja velik potencijal za primjenu naprednih tehnoloških mjera pametnih gradova.

Važan korak u razvoju grada Zagreba kao pametnog grada predstavlja projekt donošenja jedinstvene Strategije razvoja pametnog grada odnosno Zagreb Smart City strategije. Ta se strategija nameće kao nastavak Akcijskog plana energetske održivog razvoja Grada Zagreba koji je donesen 2010.g.

Novom strategijom se prioritet razvoja pametnog Grada Zagreba stavlja na četiri osnovne kategorije (od kojih je svaka podijeljena na više sektora) [25]:

1. kvaliteta života
2. gospodarstvo
3. upravljanje i informiranje te
4. zaštita okoliša i borba protiv klimatskih promjena,

a u svrhu ostvarenja vizije pametnog grada definirano je i šest strateških područja:

- Razvoj digitalne infrastrukture
- Učinkovita, transparentna i pametna gradska uprava
- Pametno upravljanje energijom
- Obrazovanje
- Gospodarstvo – pametna rješenja za tvrtke
- Održiva urbana mobilnost

Strategija razvoja pametnog Grada Zagreba sadrži ukupno 27 mjera koje bi se trebale primijeniti na navedenih šest područja, a neki od konkretnih primjera su:

- Platforma za naprednu vizualizaciju, interpretaciju i statističku analizu planiranja, izgradnje i eksploatacije digitalne infrastrukture (platforma za agregaciju podataka trebala bi biti temeljena na konceptu integrirane platforme koja će omogućiti prikupljanje, pohranu, obradu i dijeljenje podataka iz svih važnih sektora među svim dionicima pametnog grada – nešto slično amsterdamskoj City Dana platformi)
- Gigabitna širokopojasna korisnička infrastruktura (implementacija mjera pametnog grada zahtjeva robusnu, pouzdanu i pristupačnu širokopojasnu mrežu)

- Ubrzanje razvoja digitalnih javnih usluga i povećanje apsorpcije digitalnih tehnologija u gradskoj upravi Grada Zagreba
- Pametna električna mreža (elektroenergetski sustav koji inteligentno integrira i koordinira radnje svih korisnika priključenih na sustav – proizvođača, opskrbljivača i potrošača, a s ciljem održive, ekonomski isplative, ekološki prihvatljive i sigurne opskrbe električnom energijom na području grada)
- Pametni CTS (uz smanjenje emisija CO₂ te povećanje energetske učinkovitosti, krajnjim se korisnicima nastoji osigurati i minimum gubitaka, pravilna raspodjela potrošnje te plaćanje po stvarnoj potrošnji)
- Uvođenje suvremenih ICT-a u osnovne i srednje škole (cilj je povećanje digitalne pismenosti, kvalitete i učinkovitosti procesa učenja te stvaranje jednakih mogućnosti za sve učenike osnovnih i srednjih škola)

4. ENERGETSKO MODELIRANJE GRADA ZAGREBA

Energetsko modeliranje grada Zagreba provedeno je u računalnom programu EnergyPLAN s ciljem ispitivanja utjecaja određenih pametnih mjera na energetske sektor grada Zagreba.

Najprije je izrađen referentni model grada te su zatim implementirane mjere:

- pametnog parkiranja,
- pametne javne rasvjete,
- integracije centraliziranog toplinskog i rashladnog sustava s mogućnošću korištenja kanalizacijskog sustava kao izvora otpadne topline, solarnih toplinskih kolektora te dizalica topline,
- integracije solarnih fotonaponskih elektrana (PV) te
- integracije električnih vozila.

Zatim je provedena scenarijska analiza navedenih mjera s obzirom na:

- kritični višak proizvodnje električne energije (eng. CEEP – Critical excess electricity production),
- ukupnu cijenu provedbe scenarija,
- emisije CO₂ te
- uvoz/izvoz električne energije.

4.1 EnergyPLAN

EnergyPLAN je računalni program koji simulira ponašanje energetskih sustava nekog grada, regije ili države na satnoj osnovi.

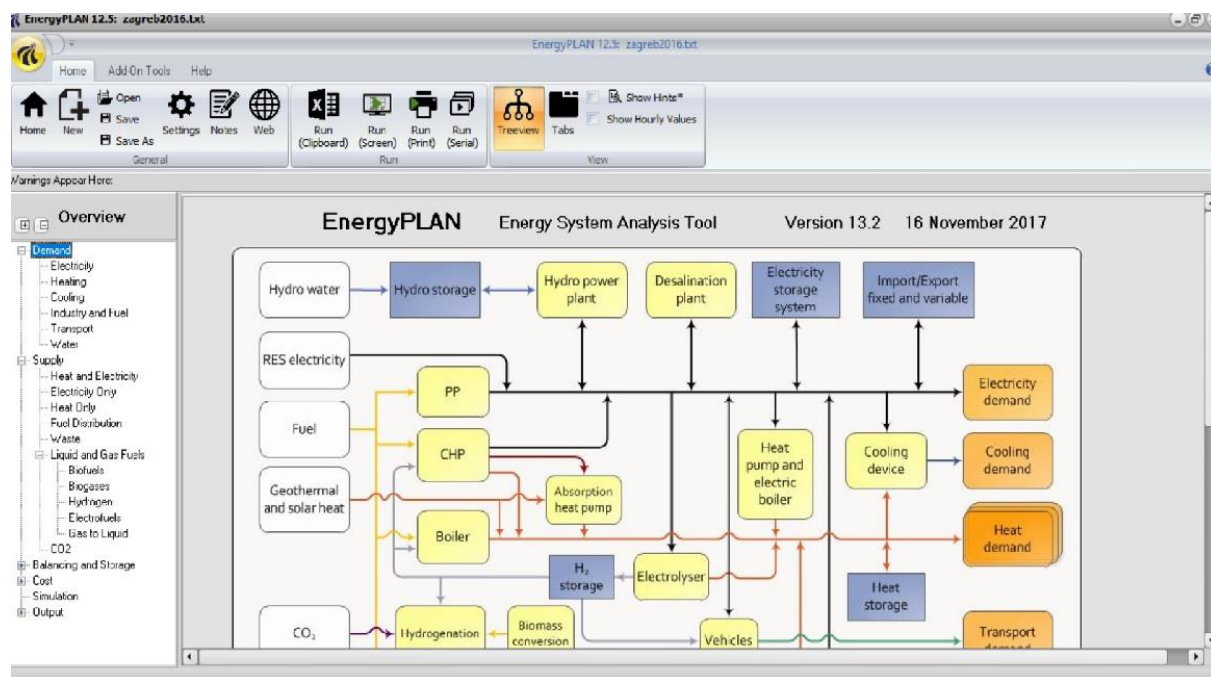
Riječ je o determinističkom sustavu koji na osnovu mnogobrojnih potrebnih ulaznih podataka prikazuje određene izlazne podatke.

Za izradu modela u program je potrebno unijeti ulazne podatke o ukupnoj potražnji za električnom energijom te satnoj distribuciji potražnje. Ukupnu potražnju potrebno je raspodijeliti po sektorima. Potrebno je navesti vrstu i snagu instaliranih kapaciteta za proizvodnju električne energije iz konvencionalnih i obnovljivih izvora, mogućnosti skladištenja energije, satnu krivulju proizvodnje energije iz obnovljivih izvora te vrstu korištenog goriva kod neobnovljivih izvora. Moguć je i unos različitih vrsta regulacije te uvrštavanje cijene električne energije kako bi se analizi moglo pristupiti i s ekonomskog aspekta.

Na izlaznoj strani programa očitavaju se energetske bilance sustava, satna proizvodnja energije iz određenog izvora, CEEP u sustavu, ukupni troškovi sustava, potrošnja goriva, emisije CO₂ itd.

EnergyPLAN je razvijen od strane danskog Sveučilišta u Aalborgu, no svoju primjenu naišao je diljem svijeta te je čest alat u energetske case-study slučajevima. Posebno je koristan prilikom analize integracije obnovljivih izvora energije u elektro-energetski sustav nekog područja.

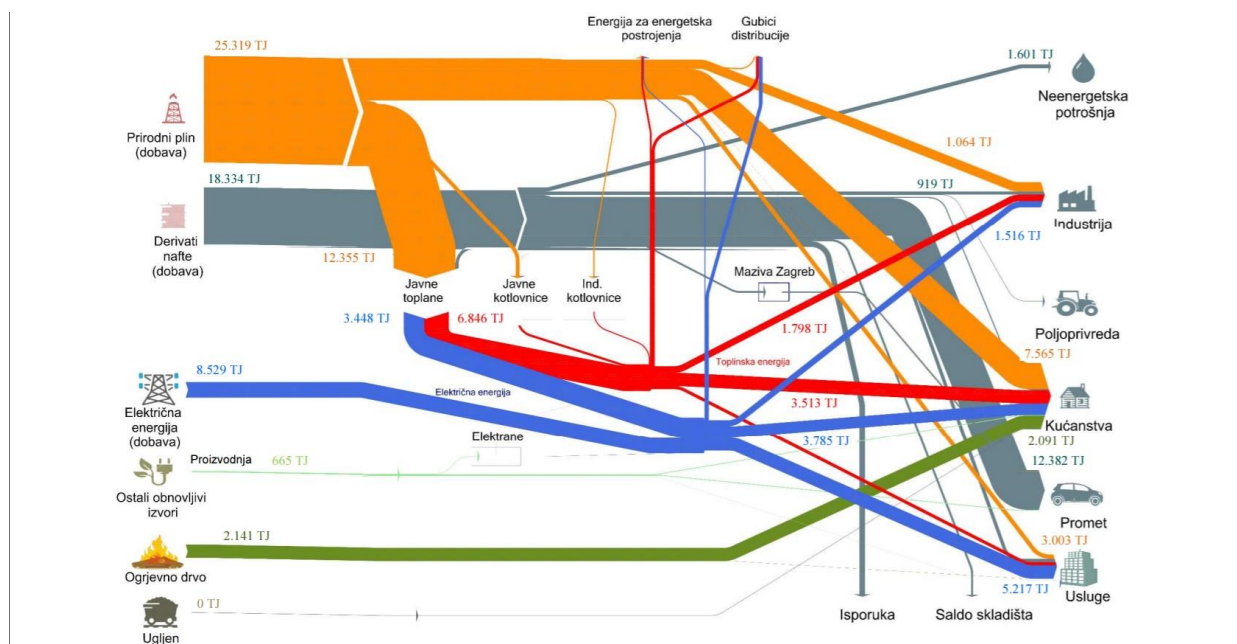
Slika 17. prikazuje sučelje računalnog programa EnergyPLAN.



Slika 17. Sučelje računalnog programa EnergyPLAN – verzija 2017.

4.2 Referentni model

Referentni model za grad Zagreb je, zbog dostupnosti podataka, izrađen za 2016. godinu. Za tu je godinu Energetski institut Hrvoje Požar izradio energetske bilancu za grad Zagreb koja je poslužila kao osnovna baza podataka za izradu modela [26]. Shema bilance prikazana je na Slici 18.



Slika 18. Shematski prikaz toka energetske bilance Grada Zagreba za 2016. godinu [26]

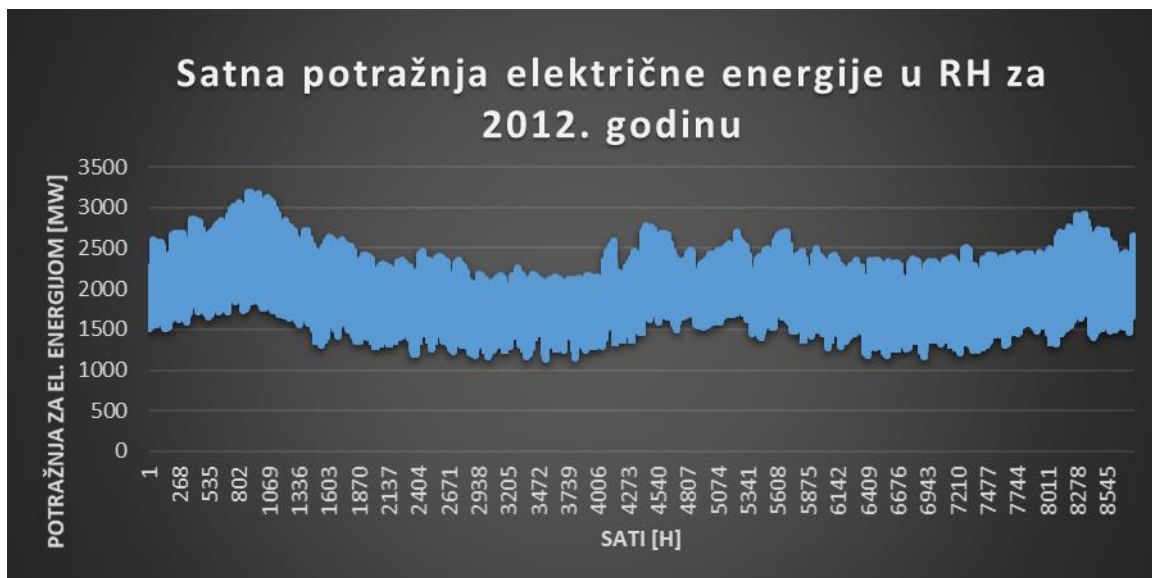
U rubrici potražnje (eng. demand) uneseni su podaci za:

1. potrošnju električne energije
2. potrošnju toplinske energije
3. potrošnju kućanstava i uslužnog sektora
4. potrošnju industrije te
5. potrošnju u transportu.

1. Potrošnja električne energije

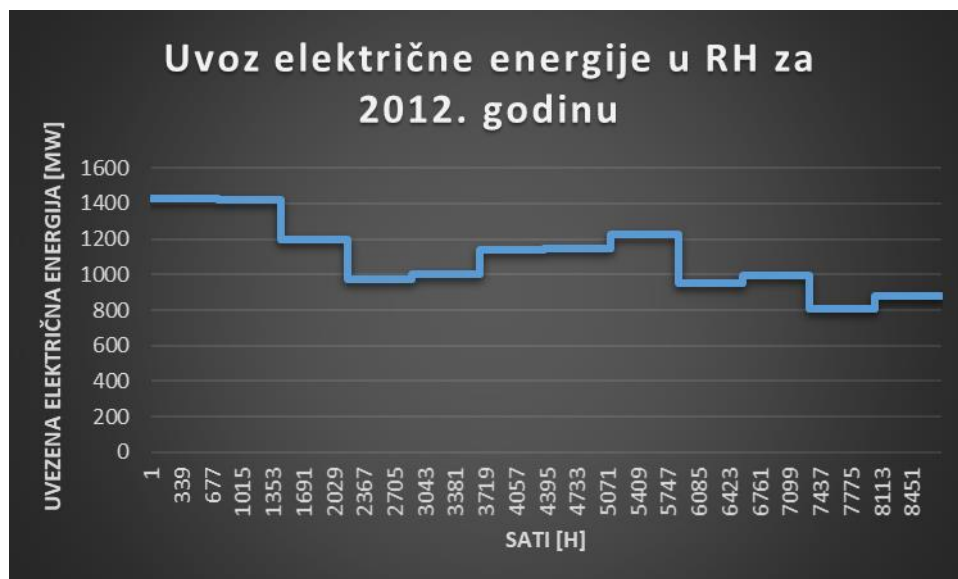
Prema energetske bilanci za 2016. godinu [26] neposredna potrošnja električne energije u Gradu Zagrebu iznosila je 3,016 TWh. Od toga se u gradsku mrežu uvozom dobavilo 2,37 TWh, dok se ostatak proizvodi transformacijama primarnih oblika energije iz konvencionalnih goriva ili iz obnovljivih izvora energije.

Satna krivulja potrebe za električnom energijom uzeta je na razini Republike Hrvatske za 2012. godinu (Slika 19.) pod pretpostavkom da se ona nije značajno mijenjala u naredne četiri godine.



Slika 19. Satna potražnja električne energije u RH za 2012. godinu

Prilikom odabiranja satne distribucije uvoza električne energije također je odabrana distribucija za RH iz 2012. godine (Slika 20.).



Slika 20. Satna distribucija uvoza električne energije u RH za 2012. godinu

2. Potrošnja toplinske energije

Nakon električne energije, druga najzastupljenija stavka u neposrednoj potrošnji energetskeg sustava Grada Zagreba (Tablica 1.) jest toplinska energija koja se proizvodi u dvama kogeneracijskim postrojenjima.

Ukupna toplinska energija kombinirano proizvedena u tim dvama postrojenjima iznosi 1,755 TWh sati godišnje [26].

Tablica 1. Neposredna potrošnja energije u Gradu Zagrebu [26]

	Jedinica	2016.	2016.	
			TJ	%
Prirodni plin	10 ⁶ m ³	337,5	11.772	25,5%
Ogrjevno drvo	10 ³ m ³	237,9	2.141	4,6%
Ostali obnovljivi	TJ	281	281	0,6%
Derivati nafte	10 ³ t	342,4	14.846	32,1%
Toplinska energija	TJ	6315,5	6.316	13,7%
Električna energija	GWh	3015,9	10.857	23,5%
UKUPNO			46.213	100,0%

Što se tiče hlađenja, centralizirani sustav na području Grada Zagreba ne postoji, dok se individualne potrebe uglavnom zadovoljavaju klima uređajima koji za svoj pogon koriste električnu energiju. Stoga je energija potrebna za hlađenje prikazana u potražnji za električnom energijom.

3. Potrošnja kućanstava i uslužnog sektora

Računalni program EnergyPLAN nema posebnu rubriku za upisivanje potrošnje sektora usluga te je potrošnja tog sektora morala biti pridodana potrošnji kućanstava.

Izuzme li se CTS, ostatak potrebe za toplinskom energijom kućanstava s individualnim grijanjem zadovoljava se pomoću plina (2,14 TWh), biomase (0,622 TWh) te derivata nafte (0,0544 TWh) [26]. Detaljna potrošnja po energentima prikazana je u Tablici 2.

Tablica 2. Neposredna potrošnja energije u kućanstvima [26]

	Jedinica	2016.	2016.	
			TJ	%
Prirodni plin	10 ⁶ m ³	216,9	7.565	43,1%
Ogrjevno drvo	10 ³ m ³	232,3	2.091	11,9%
Energija Sunca	TJ	94,7	95	0,5%
Ostala biomasa	TJ	147,6	148	0,8%
Ukapljeni plin	10 ³ t	3,0	141	0,8%
Ekstralako lož ulje	10 ³ t	4,6	196	1,1%
Toplinska energija	TJ	3.513,1	3.513	20,0%
Električna energija	GWh	1.051,4	3.785	21,6%
UKUPNO			17.534	100,0%

Što se uslužnog sektora tiče, izuzmemo li prije evidentiranu potrošnju električne i toplinske energije, najzastupljeniji energent je plin s 0,898 TWh, a slijede ga derivati nafte (0,235 TWh) te biomasa (0,0167 TWh) [26]. Detaljna potrošnja po energentima prikazana je u Tablici 3.

Tablica 3. Neposredna potrošnja u sektoru usluga [26]

	Jedinica	2016.	2016.	
			TJ	%
Prirodni plin	10 ⁶ m ³	86,1	3.003	28,9%
Ogrjevno drvo	10 ³ m ³	5,3	48	0,5%
Geotermalna energija	TJ	26,3	26	0,3%
Ostala biomasa	TJ	12,4	12	0,1%
Ukapljeni plin	10 ³ t	4,9	230	2,2%
Ekstralako lož ulje	10 ³ t	18,1	773	7,4%
Lož ulje	10 ³ t	1,8	72	0,7%
Toplinska energija	TJ	1004,6	1.005	9,7%
Električna energija	GWh	1449,2	5.217	50,2%
UKUPNO			10.386	100,0%

Zbrajanjem potrošnje kućanstava i sektora usluga dolazi se do potrošnje plina od 3,039 TWh, biomase od 0,639 TWh te naftnih derivata od 0,289 TWh

4. Potrošnja industrije

Za potrebe industrijske proizvodnje energetske sustav Grada Zagreba godišnje zahtjeva 0,296 TWh zemnog plina te 0,246 TWh naftne i naftnih derivata [26].

5. Potrošnja u transportu

Potrošnja energije u sektoru transporta prikazana je u Tablici 4.

Tablica 4. Potrošnja energije u prometu za Grad Zagreb u 2016. godini [26]

	Jedinica	2016.	2016.	
			TJ	%
Prirodni plin	10 ⁶ m ³	3,5	122	1,0%
Biogoriva	10 ³ t	0,0	0	0,0%
Ukapljeni plin	10 ³ t	9,5	445	3,5%
Motorni benzin	10 ³ t	81,1	3.616	28,2%
Dizelsko gorivo	10 ³ t	194,8	8.320	64,8%
Električna energija	GWh	93,0	335	2,6%
UKUPNO			12.838	100,0%

Kao što je vidljivo iz tablice, najzastupljeniji energent u sektoru transporta su dizelska goriva s potrošnjom od 2,31 TWh godišnje. Nakon njih slijede benzinska goriva s 1 TWh godišnje, dok su od ostalih energenata zastupljeni ukapljeni naftni plin (UNP – 0,124 TWh), prirodni plin (0,0339 TWh) te električna energija (0,093 TWh).

U rubrici opskrbe (eng. supply) uneseni su podaci o pogonima za energetske transformacije u Gradu Zagrebu.

Kao što je već ranije navedeno, gradski energetska sustav opskrbljuju dva kogeneracijska postrojenja (EL-TO i TE-TO). Stoga zagrebački energetska sustav, prema podjeli unutar EnergyPLAN-a (Slika 21.) spada u grupu 3 – CTS sustave bazirane na velikim kogeneracijskim postrojenjima.

Group 1 represents district heating systems with no CHP
Group 2 represents district heating systems based on small CHP plants
Group 3 represents district heating systems based on large CHP extraction plants

Slika 21. Podjela CTS-a u EnergyPLAN-u

Kogeneracijsko postrojenje TE-TO, smješteno na zagrebačkom Žitnjaku, sastoji se od osam proizvodnih jedinica (Slika 22.). Od toga pet jedinica proizvodi samo toplinsku energiju, dok preostale tri proizvode istovremeno toplinsku i električnu energiju. U postrojenju se koriste tri tipa goriva: prirodni plin (na slici oznaka g1), ekstra lako loživo ulje (na slici oznaka g2) te loživo ulje (na slici oznaka g3).

snaga proizvodnih jedinica	tip	gorivo	godina izgradnje
blok C 120 MW _e / 200 MW _t	toplifikacijski blok	g1 i g3	1979.
blok D 52 MW _t	pom.parna kotlovnica PK-3	g1 i g3	1985.
blok E 58 MW _t	vrelovodni kotao VK-3	g1	1977.
blok F 58 MW _t	vrelovodni kotao VK-4	g1	1978.
blok G 116 MW _t	vrelovodni kotao VK-5	g1 i g3	1982.
blok H 116 MW _t	vrelovodni kotao VK-6	g1 i g3	1990.
blok K 208 MW _e /140 MW _t (71+71+66MW _e)	kombi kogeneracijski blok s dvije plinske turbine	g1 i g2	2003.
blok L 112 MW _e /110 MW _t (75+37MW _e)	kombi kogeneracijski blok s jednom plinskom i jednom parnom turbinom	g1	2009.

Slika 22. Proizvodne jedinice TE-TO Zagreb [27]

Kogeneracijsko postrojenje EL-TO, smješteno na zagrebačkoj Trešnjevci, sastoji se od šest proizvodnih jedinica (Slika 23.). Od toga tri postrojenja proizvode samo električnu energiju, dok preostala tri proizvode samo toplinsku energiju. U postrojenju se koriste dva tipa goriva: prirodni plin (na slici oznaka g1) te loživo ulje (na slici oznaka g2).

snaga po agregatima	tip	gorivo	godina izgradnje
11 MW _e	toplifikacijski blok	g1, g2	1970.
30 MW _e	toplifikacijski blok	g1, g2	1980.
2 x 23,9 MW _e	kombi kogeneracijski blok s dvije plinske turbine	g1	1998.
64 MW _t	pom.parni kotao	g1, g2	1971.
116 MW _t	pom. vrel. kotao	g1, g2	1991.
116 MW _t	pom. vrel. kotao	g1, g2	2010.

Slika 23. Proizvodne jedinice EL-TO Zagreb [27]

Prilikom unosa u EnergyPLAN sumiran je ukupni toplinski i električni kapacitet obaju postrojenja kao što je prikazano u Tablici 5.

Tablica 5. Ukupni toplinski i električni kapaciteti [27]

Toplinska energija – kotlovi (eng. boilers)	696 MW
Električna energija	88.8 MW
Kogeneracija	440 MW el. en. + 450 MW topl.en.

Zbrojeni podaci uvršteni su u EnergyPLAN pod grupom 3: toplinska energija u rubriku kotlovi (eng. boilers), električna energija u rubriku kondenzacijskog rada (eng. condensing mode operation), dok je kogeneracija uvrštena pod način rada s povratnim tlakom (eng. back pressure mode operation).

Svi potrebni stupnjevi iskorištenja ostavljeni prema zadanim početnim postavkama EnergyPLAN-a.

U rubrici potražnje za gorivima (eng. fuel demand) upisana su goriva koja koriste kogeneracijska postrojenja. Tako su naftni derivati zastupljeni s 41,7 %, dok ostatak, odnosno 58,3 %, zauzima zemni plin.

Što se obnovljivih izvora energije tiče, u energetsom sustavu grada Zagreba zastupljeni su PV kolektori s proizvodnjom od 0,2537 TWh godišnje [26].

Na kraju je bilo potrebno uvrstiti cijene. Cijena po toni CO₂ je 2016. godine prosječno iznosila oko 5 €/t CO₂ [28], što je čak četiri puta manje od aktualne cijene emisija CO₂.

Uvrštene su i cijene goriva u €/GJ.

Nakon uvrštavanja potrebnih ulaznih podataka u EnergyPLAN pristupilo se dvama tipovima simulacije – tehničkoj i ekonomskoj simulaciji tržišta (Slika 24.).



Slika 24. Vrste simulacija u EnergyPLAN-u

Za potrebe referentnog modela provedena je tehnička analiza s balansiranjem potreba za električnom i toplinskom energijom, a rezultati su prikazani na slikama 25. i 26.

Input

zagreb2016.txt

The EnergyPLAN model 13.0



Electricity demand (TWh/year):										Capacities										Efficiencies										Regulation Strategy:										Technical regulation no. 2										Fuel Price level: Basic																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Fixed demand: 3.02										Flexible demand: 0.00										Group 2:										MW-e										MJs										elec.										Ther										COP										CEEP regulation: 000000000										Minimum Stabilisation share: 0.00										Stabilisation share of CHP: 0.00										Minimum CHP gr.3 load: 0 MW										Minimum PP: 0 MW										Heat Pump maximum share: 0.50										Maximum import/export: 1600 MW										Hydro Pump: 0										Hydro Turbine: 0										Electrol. Gr.2: 0										Electrol. Gr.3: 0										Electrol. trans: 0										Ely. MicroCHP: 0										CAES fuel ratio: 0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Electric heating + HP: 0.00										Transportation: 0.09										Heat Pump: 0										0										0.40										0.50										3.00										0										0										0.90										3.00										0										696										0.90										0										0.45										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00										0.00									

Iz dobivenih rezultata izvučeni su referentni podaci s kojima će se uspoređivati modeli s implementiranim pametnim mjerama:

- CEEP – 0 MW
- ukupna godišnja cijena – 6499 mil. €
- uvoz/ izvoz el. energije – 0,34 MW / 0,07 MW
- emisija CO₂ - 2.3 Mt

4.3. Implementacija pametnih mjera

U referentni model energetskog sustava Grada Zagreba implementirano je pet pametnih mjera:

1. pametno parkiranje,
2. pametna javna rasvjeta,
3. integracija centraliziranog toplinskog i rashladnog sustava s mogućnošću korištenja kanalizacijskog sustava kao izvora otpadne topline, solarnih toplinskih kolektora te dizalica topline,
4. integracije solarnih fotonaponskih elektrana (PV) te
5. integracija električnih vozila,

a kao godina provedbe scenarija uzeta je 2030. godina.

1. Pametno parkiranje

Zagreb parking d.o.o. - koncesionar za upravljanje javnim parkiralištima i garažama na području grada Zagreba, raspolaže s 32 262 parkirna mjesta na području Grada Zagreba. Od tog broja 29 855 je vanjskih parkirnih mjesta, dok su 2 407 mjesta garažna [29].

Zamišljeno je da sustav pametnog parkiranja do 2030. godine obuhvati 50 % svih parkirnih mjesta na području grada što bi iznosilo 16 131 parkirno mjesto.

Prema istraživanju provedenom na floridskom sveučilištu ERAU (Embry-Riddle Aeronautical University), objavljenom u časopisu „Ergonomics and Design“ 2014. godine [30], utvrđeno je kako je instalacijom sustava pametnog parkiranja prosječno vrijeme traženja parkinga skraćeno za 11 sekundi, prilikom čega je prosječna brzina vozača tijekom cirkuliranja po parkiralištu bila 4,83 m/s.

Množenjem tih dvaju podataka dolazimo do uštede od 53,13 m po vozaču. Ukoliko pretpostavimo da se na jednom parkirališnom mjestu izmjene tri vozača dnevno dolazimo do brojke od 48 393 vozača/dan, odnosno do uštede od 2 571,12 km dnevno.

Pomnožimo li taj broj s 365 dolazimo od brojke od 938 458,8 km godišnje.

Za pretpostaviti je da će se na parkirnim mjestima naći jednak broj automobila koji koriste dizelsko gorivo i motorni benzin, te uzimajući u obzir njihovu potrošnju prilikom gradske vožnje dolazimo do godišnjih ušteda od 28 153,75 l odnosno 0,0003 TWh dizelskog goriva te 32 846,06 l odnosno 0,00031 TWh benzinskog goriva.

Ukupna potrošnja goriva u transportu umanjena je za navedeni iznos, no zbog malenog udjela u odnosu na ukupnu potrošnju energenata uštede na razini energetskeg sustava Grada Zagreba nisu vidljive.

Ipak, došlo je do ušteda u emisijama CO₂. Ukoliko uzmemo podatak da prosječan automobil emitira 150 g CO₂/km, dolazimo do smanjena emisija za 140,77 t CO₂ godišnje.

U obzir se mora uzeti i cijena provedbe ovakvog scenarija. Troškovi uvođenja pametnog sustava parkiranja variraju ovisno o vrsti sustava, proizvođaču, tehnološkoj razini sustava itd. Prema istraživanju koje je korišteno prilikom izračuna ušteda cijena ukupna cijena provedbe projekta sastoji se od 180 € fiksnih troškova te 50 € godišnjih troškova popravaka i održavanja po mjestu [50]. Prema tim podacima kapitalni trošak uvođenja tehnologije pametnog parkinga u Grad Zagreb iznosio bi 2,9 milijuna eura, dok bi godišnji trošak održavanja iznosio 806 550 eura.

2. Pametna rasvjeta

Prema podacima iz Akcijskog plana energetskeg održivog razvoja Grada Zagreba [31] na području grada postoji oko 126 500 rasvjetnih tijela električne i plinske javne rasvjete. Udio plinske javne rasvjete u ukupnoj strukturi javne rasvjete je gotovo zanemariv, a čitav sustav plinske javne rasvjete čini 214 javnih rasvjetnih tijela.

U 2015. godini u sektoru javne rasvjete Grada Zagreba potrošeno je 81 294 MWh (0,0813 TWh) električne energije.

U Akcijskom planu energetskeg održivog razvoja Grada Zagreba postoji plan modernizacije javne rasvjete koji uključuje postavljanje pametne javne rasvjete s LED tehnologijom te će se stoga provođenje tog plana uzeti kao implementacija pametne mjere javne rasvjete.

Planirano je da program bude u većini (90 %) financiran od strane programa ELENA (eng. European Local Energy Assistance). ELENA je program Europske Unije za financiranje implementacija mjera bolje energetske učinkovitosti, korištenja obnovljivih izvora energije te poboljšanja transportnih sustava. Potrebna sredstva osigurava EIB (eng. European Investment Bank).

Program modernizacije zahvaća približno 110 000 rasvjetnih tijela. Trošak po rasvjetnom tijelu iznosi 900 €, dok se ukupni očekivani troškovi procjenjuju na 50 milijuna eura.

Nadalje, očekivane uštede iznose 30 000 MWh (0,03 TWh) električne energije godišnje te posljedično smanjenje emisija CO₂ za oko 10 000 t/god.

Tako bi se ukupna potreba Grada Zagreba za električnom energijom smanjila s 3,016 TWh na 2,986 TWh. Novi izlazni rezultati programa EnergyPLAN prikazani su na slikama 27. i 28.

Input

zagreb2020_pametna_rasvjeta.txt

The EnergyPLAN model 13.0



Electricity demand (TWh/year):		Flexible demand: 0.00		Capacities MWh-e MJ/s		Efficiencies elec. Ther.		COP		Regulation Strategy: CEEP regulation 000000000		Technical regulation no. 2		Fuel Price level: Basic	
Fixed demand: 2.99		Fixed imp/exp.: -2.37		CHP		0.0		0.40 0.50		Minimum Stabilisation share: 0.00				Capacities Storage Efficiency	
Electric heating + HP: 0.00		Transportation: 0.09		Heat Pump		0		3.00		Minimum CHP gr 3 load: 0.00		0 MW		MWh-e GWh elec. Ther.	
Electric cooling: 0.00		Total: 0.71		Boiler		0		0.90		Minimum PP: 0.00		0 MW		Hydro Pump: 0 0 0.90	
District heating (TWh/year)		Gr.1	Gr.2	Gr.3	Sum	Group 3: CHP		89	91	0.40	0.41			Hydro Turbine: 0 0 0.50	
District heating demand:		0.00	0.00	1.75	1.75	Heat Pump		0						Electrol. Gr.2: 0 0 0.73 0.05	
Solar Thermal:		0.00	0.00	0.00	0.00	Boiler		696						Electrol. Gr.3: 0 0 0.73 0.05	
Industrial CHP (CSHP):		0.00	0.00	0.00	0.00	Condensing		89		0.45				Electrol. trans.: 0 0 0.73	
Demand after solar and CSHP:		0.00	0.00	1.75	1.75	Heatstorage: gr.2: 10 GWh		gr.3: 10 GWh		Fixed Boiler: gr.2: 0.0 Per cent		gr.3: 0.0 Per cent		Ely. MicroCHP: 0 0 0.73	
Photo Voltaic:		0 MW	0.00	TWh/year	0.00	Grid stabilisation share		Electrified prod. from: CSHP Waste (TWh/year)		Gr.1: 0.00 0.00				CAES fuel ratio: 0.000	
Photo Voltaic:		0 MW	0	TWh/year	0.00	Regulation Strategy:		CEEP regulation: 000000000		Technical regulation no. 2				Transport (TWh/year)	
Offshore Wind:		0 MW	0	TWh/year	0.00	Stabilisation share of CHP:		0.00		Fuel Price level: Basic				Coal Oil Ngas Biomass	
River Hydro:		0 MW	0	TWh/year	0.00	Minimum CHP gr 3 load:		0 MW		Capacities Storage Efficiency				Household: 0.00 0.29 3.04 0.64	
Hydro Power:		0 MW	0	TWh/year	0.00	Minimum PP:		0 MW		Hydro Pump: 0 0 0.90				Industry: 0.00 0.25 0.30 0.00	
Geothermal/Nuclear:		0 MW	0	TWh/year	0.00	Heat Pump maximum share:		0.50		Electrol. Gr.2: 0 0 0.73 0.05				Various: 0.00 0.00 0.00 0.00	
						Maximum import/export:		1600 MW		Electrol. Gr.3: 0 0 0.73 0.05					
						Distr. Name:		Hour_nordpool.bt		Ely. MicroCHP: 0 0 0.73					
						Addition factor:		0.00 EUR/MWh		CAES fuel ratio: 0.000					
						Multiplication factor:		2.00							
						Dependency factor:		0.00 EUR/MWh pr. MW							
						Average Market Price:		227 EUR/MWh							
						Gas Storage:		0 GWh							
						Syn gas capacity:		0 MW							
						Biogas max to grid:		0 MW							

Output

	District Heating										Electricity										Exchange							
	Demand					Production					Balance MW	Consumption					Production					Stab. Load %	Balance					Payment Imp Million
Distr. heating MW	Solar MW	Waste+ CSHP MW	DHP MW	CHP MW	HP MW	ELT MW	Boiler MW	EH MW	Elec. demand MW	Flex. Transp. MW		Elec. trol. version MW	EH MW	Hydro Pump MW	Tur. bine MW	RES MW	Hy. dr. MW	Geo. thermal MW	Waste+ CSHP MW	CHP MW	PP MW		Imp MW	Exp MW	CEEP MW	EEP MW	Imp MW	
January	412	0	0	0	60	0	0	352	0	0	379	11	0	0	0	0	0	0	59	0	100	17	2	0	2	4	0	
February	361	0	0	0	70	0	0	291	0	0	410	11	0	0	0	0	0	0	68	0	100	17	0	0	7	0		
March	283	0	0	0	48	0	0	234	0	0	325	11	0	0	0	0	0	0	47	0	100	7	4	0	4	1		
April	181	0	0	0	58	0	0	123	-1	0	313	11	0	0	0	0	0	0	57	0	100	9	2	0	2	0		
May	60	0	0	0	22	0	0	39	0	0	301	11	0	0	0	0	0	0	21	0	100	0	17	0	17	0		
June	60	0	0	0	5	0	0	55	0	0	318	11	0	0	0	0	0	0	5	0	100	0	48	0	48	0		
July	60	0	0	0	27	0	0	32	1	0	359	11	0	0	0	0	0	0	27	0	100	1	17	0	17	0		
August	60	0	0	0	36	0	0	23	0	0	354	11	0	0	0	0	0	0	35	0	100	2	12	0	12	0		
September	60	0	0	0	60	0	0	7	-6	0	315	11	0	0	0	0	0	0	58	0	100	9	1	0	1	0		
October	179	0	0	0	78	0	0	98	0	0	311	11	0	0	0	0	0	0	76	0	100	34	0	0	6	0		
November	293	0	0	0	91	0	0	203	0	0	329	11	0	0	0	0	0	0	89	0	100	146	0	0	24	0		
December	392	0	0	0	91	0	0	302	0	0	367	11	0	0	0	0	0	0	89	0	100	176	0	0	33	0		
Average	200	0	0	0	54	0	0	146	0	0	340	11	0	0	0	0	0	0	52	0	100	37	9	0	9	Average price (EUR/MWh)		
Maximum	606	0	0	0	91	0	0	598	0	72	548	21	0	0	0	0	0	0	89	0	100	302	156	0	156	249		
Minimum	60	0	0	0	0	0	0	0	-31	194	194	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	162		
TWh/year	1.75	0.00	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	1.29	0.00	0.00	2.99	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.00	0.32	0.08	0.00	0.08	81	12		

FUEL BALANCE (TWh/year):															CAES BioCon- Electro-					Industry					Imp/Exp Corrected			CO2 emission (Mt)	
DHP	CHP2	CHP3	Boiler2	Boiler3	PP	Geo/Nu	Hydro	Waste	Elec. Elc.	version	Fuel	PV	PV	Offsh.	Hydro	Solar	Th.	Transp.	househ.	Various	Total	Imp/Exp	Corrected Net	Total	Net				
Coal	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Oil	-	0.48	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.10	0.29	0.25	4.12	0.00	4.12	1.10	1.10					
N Gas	-	0.67	-	1.43	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.16	3.04	0.30	5.59	0.00	5.59	1.14	1.17					
Biomass	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	0.64	-	0.64	0.00	0.64	0.00	0.00				
Renewable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
H2 etc.	-	0.00	-	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Biofuel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Nuclear/CCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Total	-	-	1.15	-	1.43	0.00	-	-	-	0.00	-	0.00	-	-	-	-	3.26	3.97	0.54	10.35	0.55	10.90	2.24	2.26					

Slika 27. Rezultati implementacije koncepta pametne rasvjete 1/2

[illegible]

Slika 28. Rezultati implementacije koncepta pametne rasvjete 2/2

Izlazni rezultati iz EnergyPLAN-a daju sljedeće podatke:

- CEEP – 0 MW
- ukupna godišnja cijena – 6481 mil. €
- uvoz/izvoz el. energije – 0,32 MW / 0,08 MW
- emisija CO₂ - 2,24 Mt

Usporedimo li dane podatke s referentnim modelom možemo uočiti kako je došlo do smanjenja emisija CO₂ za 0,06 Mt odnosno 2,61 %. Isto tako, bolji je balans između uvoza i izvoza električne energije.

Što se tiče ukupnih troškova, implementacija pametne rasvjete donosi godišnju uštedu od 18 milijuna eura, što znači da je period povrata investicije od 50 milijuna eura 2,78 godina. No, ukoliko se 90 % projekta financira nepovratnim sredstvima programa ELENA, period povrata za 10 % investicije (5 mil eura) iznosi samo 0,278 god.

3. Integracija centraliziranog toplinskog i rashladnog sustava s mogućnošću korištenja kanalizacijskog sustava kao izvora otpadne topline, solarnih toplinskih kolektora te dizalica topline

Na području RH još uvijek se potrebe za rashladnom energijom uglavnom zadovoljavaju preko uređaja koji se napajaju električnom energijom.

Stoga je bilo potrebno aproksimirati koliko se dio električne energije koristi za proizvodnju rashladne energije te njega u EnergyPLAN-u izdvojiti u rubriku hlađenje.

Procijenjena je paušalna potreba za rashladnom energijom od 10 kWh po m² izgrađene površine na području Grada Zagreba. Tako se došlo do godišnje potrebe od 1,93 TWh sati potrebne rashladne energije. Ukoliko u obzir uzmemo koeficijent učinka (COP) koji iznosi 3 dolazimo do podatka da se za hlađenje na području Grada Zagreba godišnje koristi 0,643 TWh električne energije.

Tekstom zadatka zadano je da zamišljeni centralizirani rashladni sustava mora zadovoljiti 50 % potreba Grada Zagreba za rashladnom energijom, odnosno 0,965 TWh.

Ukoliko želimo da zagrebački sustav 2030. godine bude približno jednak pariškom sustavu danas, on mora crpiti 50 % energije iz obnovljivih izvora topline kao što su otpadna toplina i dizalice topline. Stoga je model u EnergyPLAN-u modeliran tako da se 50 % potreba za rashladnom energijom centraliziranog rashladnog sustava (0,4825 TWh) crpi pomoću apsorpcijskih dizalica topline. Kod dizalica topline je također korišten COP 3.

U postojeći CTS Grada Zagreba također je bilo potrebno integrirati solarne kolektore i dizalice topline na način da one kombinirano zadovoljavaju 50 % potreba sustava.

Nakon simulacije u EnergyPLAN-u dobiveni su rezultati prikazani na slikama 29. i 30.

Input

zagreb2030_CTS_CRS.txt

The EnergyPLAN model 13.0

Electricity demand (TWh/year): Flexible demand 0.00 Fixed demand 2.05 Fixed imp/exp. -2.37 Electric heating + HP 0.00 Transportation 0.09 Electric cooling 0.32 Total 0.10										Group 2: Capacities MW-e MJ/s elec. Ther COP CHP 0 0 0.40 0.50 Heat Pump 0 0 3.00 Boiler 0 0 0.90 Group 3: CHP 89 91 0.40 0.41 Heat Pump 0 0 3.00 Boiler 0 0 0.90 Condensing 89 696 0.45										Regulation Strategy: Technical regulation no. 2 CEEP regulation 000000000 Minimum Stabilisation share 0.00 Stabilisation share of CHP 0.00 Minimum CHP gr 3 load 0 MW Minimum PP 0 MW Heat Pump maximum share 0.50 Maximum import/export 1600 MW										Fuel Price level: Basic Capacities Storage Efficiencies MW-e GWh elec. Ther. Hydro Pump: 0 0 0.80 Hydro Turbine: 0 0.90 Electrol. Gr.2: 0 0 0.73 0.05 Electrol. Gr.3: 0 0 0.73 0.05 Electrol. trans.: 0 0 0.73 Ely. MicroCHP: 0 0 0.73 CAES fuel ratio: 0.000									
District heating (TWh/year) Gr.1 Gr.2 Gr.3 Sum District heating demand 0.00 0.00 1.75 1.75 Solar Thermal 0.00 0.00 0.39 0.39 Industrial CHP (CSHP) 0.00 0.00 0.00 0.00 Demand after solar and CSHP 0.00 0.00 1.36 1.36										Photo Voltaic 0 MW 0.00 TWh/year 0.00 Grid stabili- Photo Voltaic 0 MW 0 TWh/year 0.00 sation Offshore Wind 0 MW 0 TWh/year 0.00 share River Hydro 0 MW 0 TWh/year 0.00 Hydro Power 0 MW 0 TWh/year Geothermal/Nuclear 0 MW 0 TWh/year										Heat storage: gr.2 10 GWh gr.3: 10 GWh Fixed Boiler gr.2 0.0 Per cent gr.3: 0.0 Per cent Electricity prod. from CSHP Waste (TWh/year) Gr.1: 0.00 0.00 Gr.2: 0.00 0.00 Gr.3: 0.00 0.00										Distr. Name: Hour_nordpool.tbt Addition factor 0.00 EUR/MWh Multiplication factor 2.00 Dependency factor 0.00 EUR/MWh pr. MW Average Market Price 227 EUR/MWh Gas Storage 0 GWh Syngas capacity 0 MW Biogas max to grid 0 MW									

Output

District Heating															Electricity															Exchange	
Demand		Production								Consumption					Production					Balance					Payment						
Distr. heating MW	Solar MW	Waste+ CSHP MW	DHP MW	CHP MW	HP MW	ELT MW	Boiler MW	EH MW	Ba- lance MW	Elec. demand MW	Flex & Transp MW	Elec- trolyser MW	Hydro Pump MW	Tur- bine MW	RES MW	Hy- dro MW	Geo- thermal MW	Waste+ CSHP MW	CHP MW	PP MW	Stab- Load %	Imp MW	Exp MW	CEEP MW	EEP MW	Imp MW	Exp MW				
January	463	30	50	0	23	0	0	362	0	-2	301	11	0	0	0	0	0	0	22	0	100	0	16	0	16	0	0	2			
February	416	52	50	0	42	0	0	279	0	-7	326	11	0	0	0	0	0	0	41	0	100	4	9	0	9	1	0	1			
March	353	50	50	0	15	0	0	242	0	-5	259	11	0	0	0	0	0	0	15	0	100	0	18	0	18	0	2	0			
April	272	61	50	0	27	0	0	147	0	-13	249	11	0	0	0	0	0	0	27	0	100	0	9	0	9	0	1	0			
May	174	50	50	0	2	0	0	85	0	-13	239	11	0	0	0	0	0	0	2	0	100	0	37	0	37	0	5	0			
June	183	54	50	0	0	0	0	92	0	-13	253	11	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	84	0	84	0	12	0			
July	188	57	50	0	3	0	0	91	0	-13	285	11	0	0	0	0	0	0	3	0	100	0	41	0	41	0	4	0			
August	187	54	50	0	8	0	0	87	0	-12	282	11	0	0	0	0	0	0	8	0	100	0	30	0	30	0	5	0			
September	177	41	50	0	31	0	0	69	0	-15	250	11	0	0	0	0	0	0	31	0	100	0	6	0	6	0	1	0			
October	274	35	50	0	61	0	0	134	0	-6	247	11	0	0	0	0	0	0	60	0	100	6	0	0	6	0	1	0			
November	366	30	50	0	91	0	0	198	0	-2	261	11	0	0	0	0	0	0	89	0	100	93	0	0	93	0	0	16			
December	448	21	50	0	91	0	0	287	0	-1	292	11	0	0	0	0	0	0	89	0	100	11	0	0	11	0	21	0			
Average	291	45	50	0	33	0	0	173	0	-8	270	11	0	0	0	0	0	0	32	0	100	18	21	0	21	0	0	0			
Maximum	657	610	50	0	91	0	0	604	0	53	436	21	0	0	0	0	0	0	89	0	100	210	172	0	172	0	0	0			
Minimum	118	0	50	0	0	0	0	0	0	-141	155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0			
TWh/year	2.56	0.39	0.44	0.00	0.29	0.00	0.00	1.52	0.00	-0.07	2.37	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00		0.16	0.18	0.00	0.18		39	32			

FUEL BALANCE (TWh/year):															CAES BioCon. Electro-										Industry					Imp/Exp Corrected			CO2 emission (Mt):	
DHP	CHP2	CHP3	Boiler2	Boiler3	PP	Geo/Nu.	Hydro	Waste	Ely.	version	Fuel	PV	PV	Offsh.	Hydro	Solar,Th.	Transp.	househ.	Various	Total	Imp/Exp	Corrected	Net	Total	Net									
Coal	-	-	0.00	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00										
Oil	-	-	0.29	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.31	0.29	0.25	4.14	0.00	4.14	1.10	1.10										
N.Gas	-	-	0.41	-	1.69	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.16	3.04	0.30	5.59	0.00	5.59	1.14	1.17										
Biomass	-	-	0.00	-	0.00	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	0.64	-	0.64	0.00	0.64	0.00	0.00										
Renewable	-	-	0.00	-	0.00	0.00	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	0.39	-	-	-	0.39	0.00	0.39	0.00	0.00										
H2 etc.	-	-	-	-	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00										
Biofuel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00										
Nuclear/CCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00										
Total	-	-	0.70	-	1.69	0.00	-	-	-	0.00	-	0.00	-	-	-	0.39	3.47	3.97	0.54	10.76	-0.06	10.70		2.24	2.27									

Slika 29. Rezultati implementacije CRS-a i pametnog CTS-a 1/2

Output specifications

zagreb2030_CTS_CRS.txt

The EnergyPLAN model 13.0



District Heating Production		RES specification																													
		Gr.1										Gr.2				Gr.3				RES1 RES2 RES3 RES Total											
		District heating MW	Solar MW	CSHP MW	DHP MW	District heating MW	Solar MW	CSHP MW	CHP MW	HP MW	ELT MW	Boiler MW	EH MW	Storage MW	Ba- lance MW	District heating MW	Solar MW	CSHP MW	CHP MW	HP MW	ELT MW	Boiler MW	EH MW	Storage MW	Ba- lance MW	RES1 Photo MW	RES2 Photo MW	RES3 Offshore MW	RES Total ind MW		
January	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	463	30	50	23	0	0	362	0	82	-2	0	0	0	0			
February	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	416	52	50	42	0	0	279	0	742	-7	0	0	0	0			
March	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	353	50	50	15	0	0	242	0	709	-5	0	0	0	0			
April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	272	61	50	27	0	0	147	0	1094	-13	0	0	0	0			
May	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174	50	50	2	0	0	85	0	1069	-13	0	0	0	0			
June	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	183	54	50	0	0	0	92	0	1021	-13	0	0	0	0			
July	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	188	57	50	3	0	0	91	0	1062	-13	0	0	0	0			
August	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	187	54	50	8	0	0	87	0	732	-12	0	0	0	0			
September	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	177	41	50	31	0	0	69	0	1898	-15	0	0	0	0			
October	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	274	35	50	61	0	0	134	0	1993	-6	0	0	0	0			
November	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	386	30	50	91	0	0	198	0	2128	-2	0	0	0	0			
December	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	448	21	50	91	0	0	287	0	2020	-1	0	0	0	0			
Average	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	291	45	50	33	0	0	173	0	1210	-8	0	0	0	0			
Maximum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	657	610	50	91	0	0	604	0	3226	53	0	0	0	0			
Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	118	0	50	0	0	0	0	0	0	-141	0	0	0	0			
Total for the whole year																															
TWh/year		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.56	0.39	0.44	0.29	0.00	0.00	1.52	0.00	-0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Own use of heat from industrial CHP:		0.00 TWh/year																													
ANNUAL COSTS (Million EUR)																NATURAL GAS EXCHANGE															
Total Fuel ex Nigas exchange =		311																													
Uranium =		0																													
Coal =		0																													
Fuel/Oil =		25																													
Gas/Oil/Diesel =		160																													
Petrol/UP =		65																													
Gas handling =		40																													
Biomass =		21																													
Food income =		0																													
Waste =		0																													
Total Nigas Exchange costs =		234																													
Marginal operation costs =		1																													
Total Electricity exchange =		-524																													
Import =		39																													
Export =		-32																													
Bottleneck =		0																													
Fixed imp/exp =		-530																													
Total CO2 emission costs =		11																													
Total variable costs =		34																													
Fixed operation costs =		6058																													
Annual Investment costs =		363																													
TOTAL ANNUAL COSTS =		6455																													
RES Share:		9.6	Percent of Primary Energy														0.0	Percent of Electricity													
																	0.0	TWh electricity from RES													

20.February.2019 115.13

Izlazni podaci iz EnergyPLAN-a daju sljedeće rezultate:

- CEEP – 0 MW
- ukupna godišnja cijena – 6455 mil. €
- uvoz/izvoz el. energije – 0,16 MW / 0,18 MW
- emisije CO₂ - 2,24 Mt

Usporedimo li podatke s referentnim modelom vidljivo je da je došlo do smanjenja emisija CO₂ za 0,06 Mt, odnosno 2,61 %. Isto tako, smanjio se uvoz električne energije, dok se izvoz višestruko povećao.

Što se tiče ukupne cijene koštanja, integracija centraliziranog rashladnog sustava i pametnog CTS-a donosi uštedu od 44 milijuna eura godišnje. No, tu valja imati na umu značajne troškove instalacije centraliziranog rashladnog sustava.

4. Integracija solarnih fotonaponskih elektrana (PV)

U referentnoj 2016. godini Grad Zagreb je imao 0,2357 MW instalirane snage PV modula. Zamišljeno je da do 2030. godine PV moduli budu postavljeni na 20 % površine svih krovova u Gradu Zagrebu.

Krovna površina može se pretpostaviti kao izgrađena površina na području Grada Zagreba. Pošto je faktor izgrađenosti na području grada otprilike 0,3, ukupna izgrađena površina može se procijeniti na 193 km². Uzmemo li 20 % od te površine, govorimo o 38,6 km² za postavljanje PV modula.

Gruba procjena kaže da je za instalaciju 1 MW PV modula potrebno 0,01 km² površine te bi se stoga ovom metodom na krovove grada Zagreba moglo postaviti 3 860 MW PV modula.

Novi kapacitet PV modula uvršten u EnergyPLAN daje rezultate prikazane na slikama 31. i 32.

Input

zagreb2016.txt

The EnergyPLAN model 13.0



Electricity demand (TWh/year):		Flexible demand		0.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
--------------------------------	--	-----------------	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Izlazni rezultati iz EnergyPLAN-a daju sljedeće podatke:

- CEEP – 1,21 MW
- ukupna godišnja cijena – 5686 mil. €
- uvoz/izvoz el. energije – 0,2 MW / 5,65 MW
- emisije CO₂ - 2,22 Mt

Analizom izlaznih podataka može se učiti pojava kritičnog viška proizvedene električne energije zbog velikog povećanja proizvodnje iz obnovljivih izvora energije.

Usporedimo li podatke s referentnim modelom došlo je do smanjenja emisija CO₂ za 0,08 Mt odnosno 3,48 %. Isto tako, bilanca uvoza i izvoza u potpunosti je preokrenuta pa se tako uvoz sveo na minimum dok je izvoz značajno porastao.

Što se tiče ukupnih troškova, implementacija PV modula donosi uštedu od 813 milijuna €. Ukoliko se kao referentna cijena PV modula uzme 0,265 €/W, ukupna cijena postavljanja 3 860 MW PV modula iznosi 1 023 milijuna eura.

Povrat investicije u takvom slučaju iznosio bi 1,258 godina.

5. Integracija električnih vozila

Integracija električnih vozila u sustav transporta Grada Zagreba modelirana je prema broju prijeđenih kilometara.

Za referentnu 2016. godinu je prema neposrednoj potrošnji energenata (Tablica 4.) i izračunatoj efikasnosti u km/KWh za određeni tip goriva dobiven ukupni broj prijeđenih kilometara prikazan u Tablici 6. Valja napomenuti kako je električna energija razdvojena na električnu energiju koju troše tramvaji (65 GWh) te ostatak električne energije koju troše osobna električna vozila (28 GWh).

Tablica 6. Broj prijeđenih kilometara u 2016. godini

Vrsta goriva	TWh	Km/KWh	Milijardi kilometara	% prijeđenih kilometara
Prirodni plin	0,0339	1,6	0,0542	0,97
Biogoriva	0	/	0	0
Ukapljeni plin	0,124	1,6	0,198	3,54
Motorni benzin	1,005	1,51	1,519	27,18
Dizelsko gorivo	2,311	1,58	3,649	65,3
Električna energija (tramvaji)	0,065	/	/	/
Električna energija (automobili)	0,0028	6	0,168	3,01
Ukupno			5,588	100

Podaci o referentnom stanju pokazuju kako osobni električni automobili naprave 3,01 % prijeđenih kilometara u Gradu Zagrebu.

Prema zamišljenom scenariju osobni električni automobili bi 2030. godine trebali napraviti 25 % svih prijeđenih kilometara u gradu Zagrebu, odnosno 1,397 milijardi kilometara. Ekološki neprihvatljiva vozila na dizelska goriva zamijenila bi se električnima te bi broj prijeđenih kilometara po tipu vozila i potrošnja energenata u sektoru transporta izgledali kao u Tablici 7.

Tablica 7. Broj prijeđenih kilometara u 2030. godini

Vrsta goriva	TWh	Km/KWh	Milijardi kilometara	% prijeđenih kilometara
Prirodni plin	0,0339	1,6	0,0542	0,97
Biogoriva	0	/	0	0
Ukapljeni plin	0,124	1,6	0,198	3,54
Motorni benzin	1,005	1,51	1,519	27,18
Dizelsko gorivo	1,533	1,58	2,42	43,31
Električna energija (tramvaji)	0,065	/	/	/
Električna energija (automobili)	0,175	6	1,397	25
Ukupno			5,588	100

Takva potrošnja ubačena u EnergyPLAN daje rezultate prikazane na slikama 33. i 34.

Input

zagreb2030_električna_vozila.txt

Electricity demand (TWh/year):

Fixed demand

Electric heating + HP

Electric cooling

Flexible demand

Fixed imp/exp

Transportation

Total

0.00

3.02

0.00

0.00

0.00

-2.37

0.24

0.89

Group 2:

CHP

Heat Pump

Boiler

Capacities

MW-e

0

0

Efficiencies

elec.

0.40

0.90

Ther

0.50

0.90

COP

3.00

3.00

Group 3:

CHP

Heat Pump

Boiler

Condensing

89

91

0

89

0.40

0.41

0.90

0.45

Heatstorage: gr.2:

Fixed Boiler: gr.2:

Electric prod. from

Gr.1:

Gr.2:

Gr.3:

10 GWh

0.0 Per cent

CHSP

0.00

0.00

0.00

gr.3:

gr.3:

Waste (TWh/year)

0.00

0.00

0.00

Regulation Strategy:

CEEP regulation

Minimum Stabilisation share

Stabilisation share of CHP

Minimum CHP gr 3 load

Minimum PP

Heat Pump maximum share

Maximum import/export

000000000

0.00

0.00

0 MW

0 MW

0.50

1600 MW

Distr. Name :

Addition factor

Multiplication factor

Dependency factor

Average Market Price

Gas Storage

Syngas capacity

Biogas max to grid

Hour_nordpool.bd

0.00 EUR/MWh

2.00

0.00 EUR/MWh pr. MW

227 EUR/MWh

0 GWh

0 MW

0 MW

Fuel Price level: Basic

Capacities Storage Efficiencies

MW-e

GWh

elec.

Ther.

0

0

0.80

0.90

0

0.73

0.05

0

0.73

0.05

0

0.73

0.05

0

0.73

0.05

0.000

(TWh/year)

Coal

Oil

Ngas

Biomass

0.00

2.53

0.03

0.00

0.00

0.29

0.04

0.64

0.00

0.25

0.30

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

Photo Voltaic

Photo Voltaic

Offshore Wind

River Hydro

Hydro Power

Geothermal/Nuclear

0 MW

0 MW

0 MW

0 MW

0 MW

0 MW

0.00

0

0

0

0

0

TWh/year

TWh/year

TWh/year

TWh/year

TWh/year

TWh/year

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

Grid

stabilisation

share

0.00

0.00

0.00

Heatstorage: gr.2:

Fixed Boiler: gr.2:

Electric prod. from

Gr.1:

Gr.2:

Gr.3:

10 GWh

0.0 Per cent

CHSP

0.00

0.00

0.00

gr.3:

gr.3:

Waste (TWh/year)

0.00

0.00

0.00

Regulation Strategy:

CEEP regulation

Minimum Stabilisation share

Stabilisation share of CHP

Minimum CHP gr 3 load

Minimum PP

Heat Pump maximum share

Maximum import/export

000000000

0.00

0.00

0 MW

0 MW

0.50

1600 MW

Distr. Name :

Addition factor

Multiplication factor

Dependency factor

Average Market Price

Gas Storage

Syngas capacity

Biogas max to grid

Hour_nordpool.bd

0.00 EUR/MWh

2.00

0.00 EUR/MWh pr. MW

227 EUR/MWh

0 GWh

0 MW

0 MW

Fuel Price level: Basic

Capacities Storage Efficiencies

MW-e

GWh

elec.

Ther.

0

0

0.80

0.90

0

0.73

0.05

0

0.73

0.05

0

0.73

0.05

0.000

(TWh/year)

Coal

Oil

Ngas

Biomass

0.00

2.53

0.03

0.00

0.00

0.29

0.04

0.64

0.00

0.25

0.30

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

Output

District Heating

Demand

Dist. heating

Solar

Waste+

CHSP

DHP

CHP

HP

ELT

Boiler

EH

Balace

Production

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

71

80

60

69

31

10

36

45

66

91

91

61

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

341

281

223

113

30

50

22

14

3

89

202

139

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

Consumption

Elec.

Flex.

Transp.

HP

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

MW

Output specifications														zagreb2030_električna_vozila.txt														The EnergyPLAN model 13.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
District Heating Production														RES specification																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Gr.1				Gr.2								Gr.3								RES1						RES2		RES3		RES4		RES5		Total																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
District heating	Solar	CSHP	DHP	District heating	Solar	CSHP	CHP	HP	ELT	Boiler	EH	Storage	Balance	District heating	Solar	CSHP	CHP	HP	ELT	Boiler	EH	Storage	Balance	Photo	Photo	Offshore	4-7 ind	RES1	RES2	RES3	RES4	RES5	Total																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
January	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	412	0	0	71	0	0	341	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
February	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	361	0	0	80	0	0	281	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
March	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	283	0	0	60	0	0	223	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	181	0	0	69	0	0	113	0	1278	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
May	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	31	0	0	30	0	1100	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
June	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	10	0	0	50	0	1143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
July	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	36	0	0	22	0	1113	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
August	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	46	0	0	14	0	599	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
September	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	66	0	0	3	0	3340	-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
October	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	179	0	0	86	0	0	89	0	3982	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
November	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	293	0	0	91	0	0	202	0	3585	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
December	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	392	0	0	91	0	0	302	0	3563	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Average	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0	61	0	0	139	0	1649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Maximum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	608	0	0	91	0	0	573	0	6487	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	-31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Total for the whole year														Total for the whole year														Total for the whole year						Total for the whole year																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
TWh/year														TWh/year														TWh/year						TWh/year																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.00														0.00														0.00						0.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Own use of heat from industrial CHP: 0.00 TWh/year														Own use of heat from industrial CHP: 0.00 TWh/year														Own use of heat from industrial CHP: 0.00 TWh/year						Own use of heat from industrial CHP: 0.00 TWh/year																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
ANNUAL COSTS (Million EUR)														NATURAL GAS EXCHANGE														NATURAL GAS EXCHANGE						NATURAL GAS EXCHANGE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Total Fuel ex Ngas exchange = 275														Total Fuel ex Ngas exchange = 275														Total Fuel ex Ngas exchange = 275						Total Fuel ex Ngas exchange = 275																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Uranium = 0														Uranium = 0														Uranium = 0						Uranium = 0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Coal = 0														Coal = 0														Coal = 0						Coal = 0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Fuel/Oil = 36														Fuel/Oil = 36														Fuel/Oil = 36						Fuel/Oil = 36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Gasol/Diesel = 112														Gasol/Diesel = 112														Gasol/Diesel = 112						Gasol/Diesel = 112																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Petrol/IP = 65														Petrol/IP = 65														Petrol/IP = 65						Petrol/IP = 65																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Gas handling = 40														Gas handling = 40														Gas handling = 40						Gas handling = 40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Biomass = 21														Biomass = 21														Biomass = 21						Biomass = 21																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Food income = 0														Food income = 0														Food income = 0						Food income = 0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Waste = 0														Waste = 0														Waste = 0						Waste = 0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Total Ngas Exchange costs = 235														Total Ngas Exchange costs = 235														Total Ngas Exchange costs = 235						Total Ngas Exchange costs = 235																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Marginal operation costs = 2														Marginal operation costs = 2														Marginal operation costs = 2						Marginal operation costs = 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Total Electricity exchange = -440														Total Electricity exchange = -440														Total Electricity exchange = -440						Total Electricity exchange = -440																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Import = 97														Import = 97														Import = 97						Import = 97																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Export = -6														Export = -6														Export = -6						Export = -6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Bottleneck = 0														Bottleneck = 0														Bottleneck = 0						Bottleneck = 0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Fixed implex = -530														Fixed implex = -530														Fixed implex = -530						Fixed implex = -530																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Total CO2 emission costs = 11														Total for the whole year														Total for the whole year						Total for the whole year																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Total variable costs = 83														TWh/year														TWh/year						TWh/year																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Fixed operation costs = 6045														1.35														0.77						0.00						3.04		0.03		0.30		5.49		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		5.49		5.49		0.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Annual Investment costs = 344																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											

Premda svaka od implementiranih mjera ostvaruje smanjenje štetnih emisija i financijske ušteda, idealan bi scenarij obuhvaćao istovremenu provedbu svih pet mjera.

Energetski sustav koji implementira sve gore navedene mjere, nakon ubacivanja u EnergyPLAN, daje rezultate prikazane na slikama 35. i 36.

[illegible]

Slika 35. Rezultati skupne implementacije pametnih mjera 1/2

Output specifications				zagreb2030_ukupno.txt										The EnergyPLAN model 13.0																											
District Heating Production																																									
Gr.1				Gr.2										Gr.3										RES specification																	
District heating	Solar	CSHP	DHP	District heating	Solar	CSHP	CHP	HP	ELT	Boiler	EH	Storage	Balance	District heating	Solar	CSHP	CHP	HP	ELT	Boiler	EH	Storage	Balance	RES1	RES2	RES3	RES 4-7 ind	Total													
MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW													
January	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	463	30	0	17	0	0	416	0	0	0	252	0	0	0	252													
February	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	416	52	0	25	0	0	339	0	0	0	393	0	0	0	393													
March	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	353	50	0	12	0	0	291	0	0	0	602	0	0	0	602													
April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	272	61	0	16	0	0	195	0	0	0	843	0	0	0	843													
May	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174	50	0	3	0	0	120	0	0	0	1051	0	0	0	1051													
June	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	183	54	0	0	0	0	128	0	0	0	1151	0	0	0	1151													
July	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	188	57	0	3	0	0	128	0	0	0	1170	0	0	0	1170													
August	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	187	54	0	6	0	0	127	0	0	0	992	0	0	0	992													
September	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	177	41	0	19	0	0	116	0	0	0	719	0	0	0	719													
October	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	274	35	0	38	0	0	201	0	0	0	463	0	0	0	463													
November	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	366	30	0	59	0	0	277	0	0	0	267	0	0	0	267													
December	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	448	21	0	62	0	0	365	0	0	0	203	0	0	0	203													
Average	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	291	45	0	22	0	0	225	0	0	0	676	0	0	0	676													
Maximum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	657	610	0	91	0	0	650	0	0	0	3860	0	0	0	3860													
Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
Total for the whole year																																									
TWh/year				0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00										2.56 0.39 0.00 0.19 0.00 0.00 1.98 0.00 0.00										5.94 0.00 0.00 0.00 5.94																	
Own use of heat from industrial CHP: 0.00 TWh/year																																									
NATURAL GAS EXCHANGE																																									
ANNUAL COSTS (Million EUR)								DHP & Boilers				CHP2		PP CAES		Individual		Trans port		Indu. Var.		Demand Sum		Bio gas		Syn gas		CO2Hy gas		SynHy gas		SynHy gas		Storage		Sum		Im port		Ex port	
Total Fuel ex Ngas exchange =				260				MW				MW		MW		MW		MW		MW		MW		MW		MW		MW		MW		MW		MW		MW		MW			
Uranium =				0																																					
Coal =				0																																					
Fuel/Oil =				21				January				462		24		0		714		4		34		1238		0		0		0		0		1238		1238		0			
Gas/Oil/Diesel=				112				February				377		35		0		625		4		34		1074		0		0		0		0		1074		1074		0			
Petrol/LP =				65				March				323		18		0		489		4		34		867		0		0		0		0		867		867		0			
Gas handling =				40				April				217		23		0		314		4		34		591		0		0		0		0		591		591		0			
Biomass =				21				May				134		4		0		104		4		34		279		0		0		0		0		279		279		0			
Food income =				0				June				143		0		0		104		4		34		284		0		0		0		0		284		284		0			
Waste =				0				July				143		4		0		104		4		34		287		0		0		0		0		287		287		0			
								August				142		8		0		104		4		34		291		0		0		0		0		291		291		0			
Total Ngas Exchange costs =				250				September				129		27		0		104		4		34		297		0		0		0		0		297		297		0			
Marginal operation costs =				1				October				223		54		0		310		4		34		625		0		0		0		0		625		625		0			
								November				308		84		0		508		4		34		938		0		0		0		0		938		938		0			
Total Electricity exchange =				-1679				December				405		88		0		679		4		34		1210		0		0		0		0		1210		1210		0			
Import =				28				Average				250		31		0		346		4		34		664		0		0		0		0		664		664		0			
Export =				-1540				Maximum				722		129		0		1049		4		34		1835		0		0		0		0		1835		1835		0			
Bottleneck =				364				Minimum				0		0		0		104		4		34		141		0		0		0		0		141		141		0			
Fixed implex=				-530				Total for the whole year																																	
								TWh/year		2.20		0.27		0.00		3.04		0.03		0.30		5.84		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		5.84		5.84		0.00			
Total CO2 emission costs =				10																																					
Total variable costs =				-1158																																					
Fixed operation costs =				6088																																					
Annual Investment costs =				700																																					
TOTAL ANNUAL COSTS =				5630																																					
RES Share: 43.1 Percent of Primary Energy 262.7 Percent of Electricity 5.9 TWh electricity from RES																																									
21-February-2019 [14:42]																																									

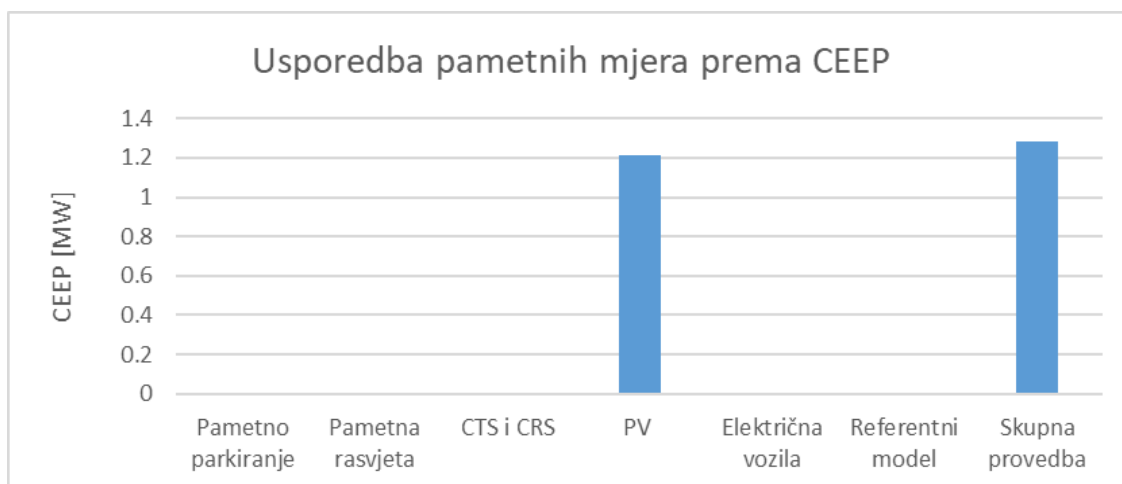
4.4 Usporedba implementiranih pametnih mjera

Implementirane pametne mjere su, nakon usporedbe s referentnim modelom, uspoređene međusobno i s rezultatima skupne provedbe svih mjera. Kao i dosad, korišteno je pet parametara iz EnergyPLAN-a:

1. CEEP
2. Ukupna godišnja cijena
3. Uvoz električne energije
4. Izvoz električne energije
5. Emisije CO₂

1. Kritični višak proizvodnje električne energije (CEEP)

Rezultati usporedbe pametnih mjera po količini CEEP-a dani su u Dijagramu 1.

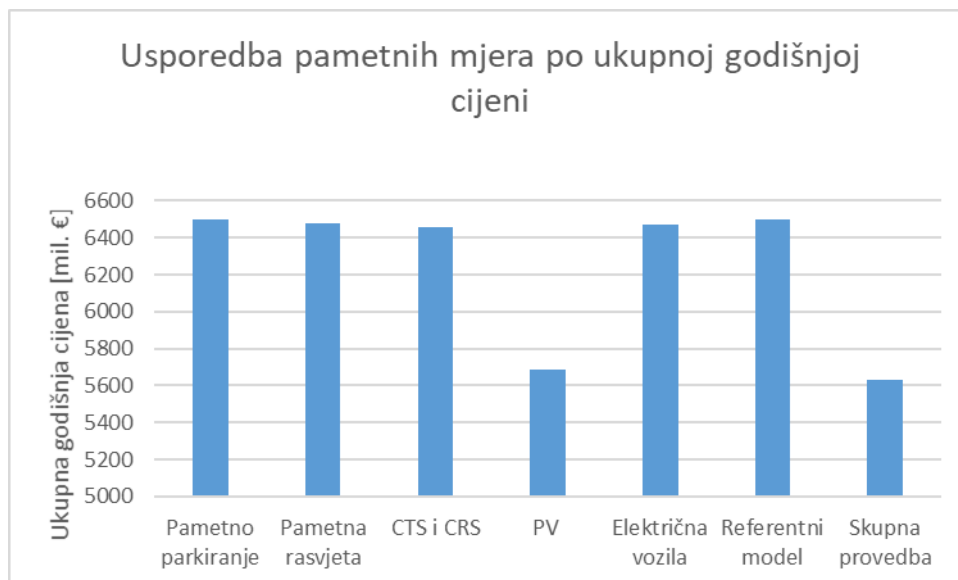


Dijagram 1. Usporedba pametnih mjera prema CEEP

Iz dijagrama je jasno vidljivo kako do pojave CEEP-a dolazi samo kod instalacije PV modula te skupne provedbe svih mjera što je i logično jer se CEEP pojavljuje kod velikog udjela obnovljivih izvora energije u energetsom sustavu.

2. Ukupna godišnja cijena

Rezultati usporedbe pametnih mjera po ukupnoj godišnjoj cijeni dani su u Dijagramu 2.



Dijagram 2. Usporedba pametnih mjera prema ukupnoj godišnjoj cijeni

Iz dijagrama je jasno vidljivo kako bi se najveće uštede kod provedbe samo jedne od mjera ostvarile postavljanjem PV modula na 20 % krovova u Gradu Zagrebu.

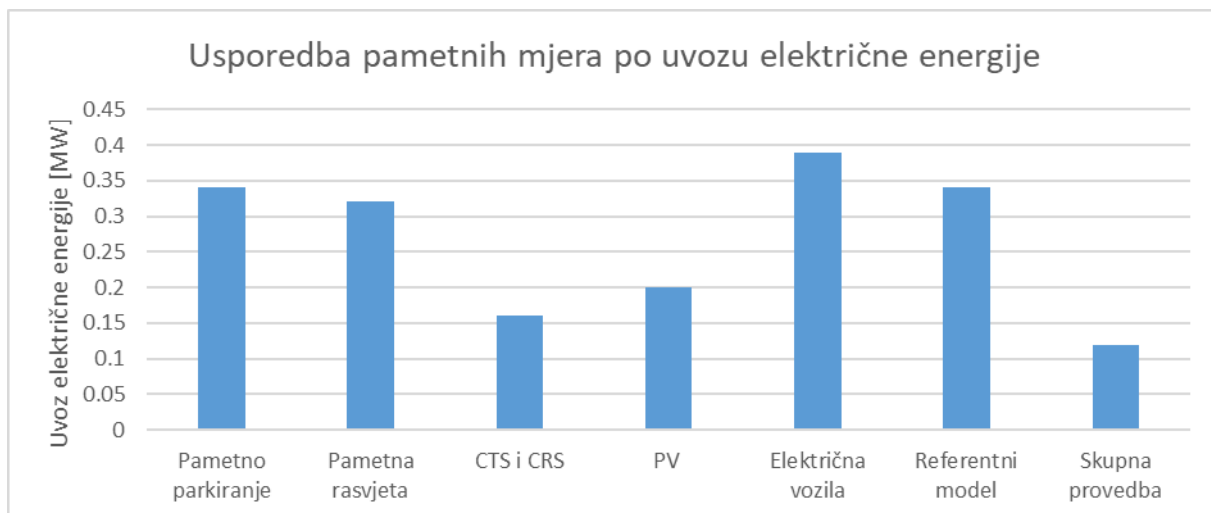
Daleko najveće uštede postižu se skupnom provedbom svih mjera.

Isto tako, valja naglasiti kako su uštede goriva implementacijom pametnog parkiranja premale da bi bile vidljive u EnergyPLAN simulaciji.

Rezultate ove usporedbe treba uzeti s dozom opreza jer u računicu nisu uključeni troškovi instalacije i održavanja pametnih sustava. U tekstu su dani neki primjeri troškova za sustav pametnog parkiranja, pametne rasvjete i postavljanja PV modula te je izračunat okvirni povrat investicije, no neke je troškove, poput troškova izgradnje CRS-a nemoguće realno procijeniti.

3. Uvoz električne energije

Rezultati usporedbe pametnih mjera po uvozu električne energije dani su u Dijagramu 3.

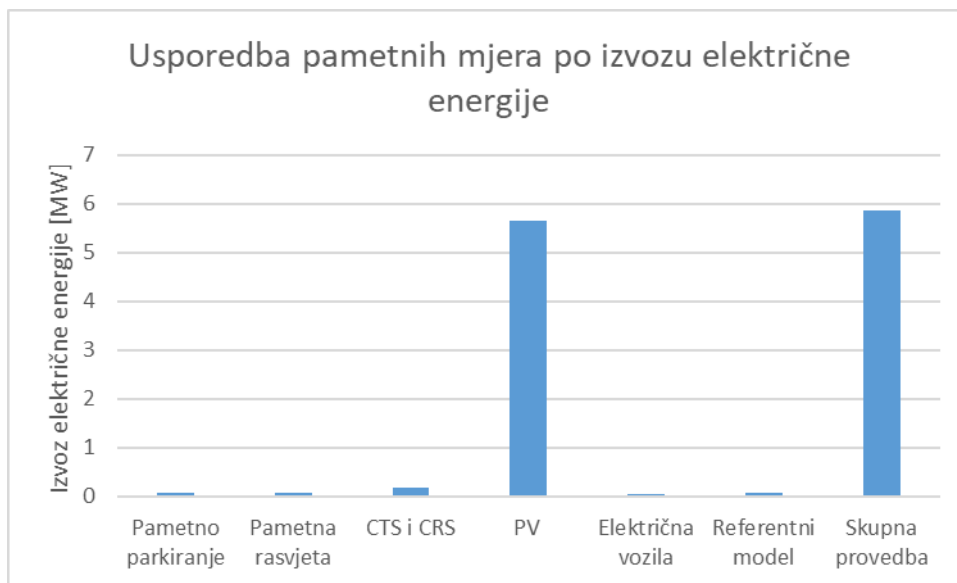


Dijagram 3. Usporedba pametnih mjera po uvozu električne energije

Iz dijagrama je vidljivo da je jedino u slučaju integracije električnih automobila došlo do povećanja potrebnog uvoza električne energije, no i to je povećanje relativno malo u odnosu na smanjenja koja su postignuta implementacijom drugih mjera.

4. Izvoz električne energije

Rezultati usporedbe pametnih mjera po izvozu električne energije dani su u Dijagramu 4.

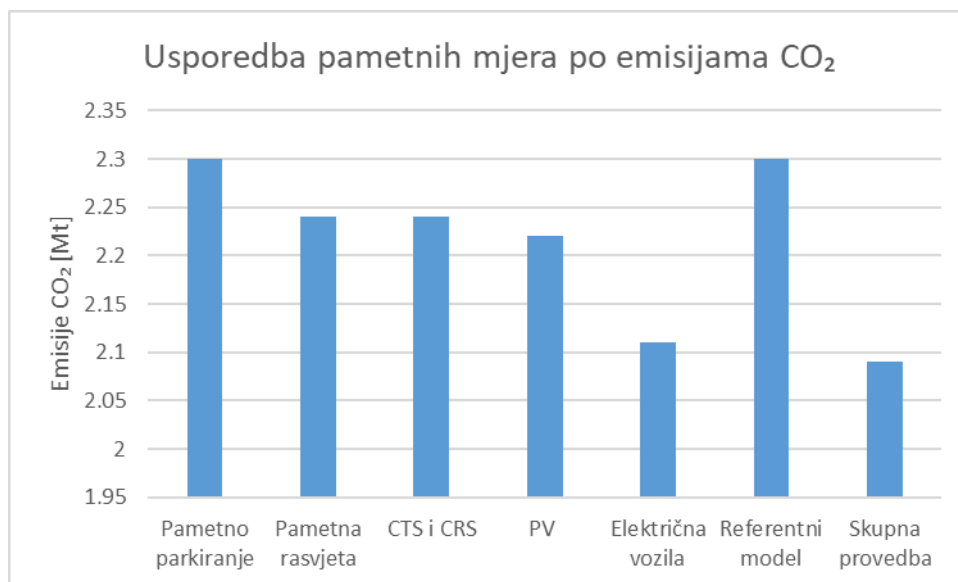


Dijagram 4. Usporedba pametnih mjera po izvozu električne energije

Iz dijagrama je vidljivo kako je značajno povećanje izvoza električne energije postignuto jedino implementacijom PV modula te skupnom provedbom svih mjera.

5. Emisije CO₂

Rezultati usporedbe pametnih mjera po uvozu emisijama CO₂ dani su u Dijagramu 5.



Dijagram 5. Usporedba pametnih mjera po emisijama CO₂

Iz dijagrama je vidljivo kako je implementacijom svake od pametnih mjera postignuto smanjenje štetnih emisija CO₂. Smanjenje je postignuto i uvođenjem sustava pametnog parkiranja, no ušteda od 140 t CO₂ nije vidljiva u EnergyPLAN-u.

5. ZAKLJUČAK

Koncept održivog razvoja prepoznat je kao ideal kojem bi čovječanstvo trebalo težiti, a jedan od glavnih nositelja tog koncepta su pametni gradovi.

Povećana energetska učinkovitost te smanjenje štetnih emisija od presudne su važnosti za energetske održivost pametnog grada. Upravo k tom cilju teže pametne mjere iz područja energetike koje se implementiraju u zajednice diljem svijeta.

Iako Hrvatska, pa tako i Zagreb, još uvijek zaostaju za europskim primjerima, vidljiv je početak implementacije tehnološki naprednih pametnih mjera i u hrvatske gradove.

Provedenom analizom u EnergyPLAN-u pokazano je kako svaka od implementiranih mjera na energetske sustav Grada Zagreba povećava energetske učinkovitost te smanjuje štetne emisije. No, isto tako, valja uzeti u obzir i cijenu provedbe određenih mjera koja često puta koči njihovu primjenu u realnom svijetu.

Od pojedinačnih mjera najveće smanjenje emisija CO₂ ostvarilo se implementacijom električnih vozila. Ukupne godišnje emisije smanjenje su za 0,19 Mt, odnosno 8,26 %. S financijske strane najveće godišnje uštede ostvarene su implementacijom PV modula. Ukupna godišnja cijena energetskog sustava smanjenja je za 813 milijuna eura, s povratom investicije od 1,258 godina.

Stoga su upravo implementacija PV modula i integracija većeg broja električnih vozila pokazane kao najisplativije pojedinačne pametne mjera. Idealni scenarij bila bi skupna provedba svih pet razmatranih pametnih mjera koja bi donijela smanjenje emisija CO₂ u iznosu od 0,21 Mt (9,13 %) te godišnje uštede od 869 milijuna eura. Ipak, cijena provedbe svih mjera također bi bila poprilična.

Premda provedba pametnih mjera sa sobom povlači investicijske troškove, analizom je pokazano kako njihova implementacija donosi značajne uštede s ekonomskog i energetskog aspekta te će primjena pametnih mjera u budućnosti zasigurno biti sastavni dio energetske strategije Grada Zagreba i Republike Hrvatske.

LITERATURA

- [1] Online Enciklopedija Leksikografskog zavoda Miroslava Krleže, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=22952>, 10.2.2019.
- [2] United Nations – Department of Economic and Social Affairs, <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>, 10.2.2019.
- [3] Wikipedia – Sustainable development, https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_development, 11.2.2019.
- [4] Al Wear H., Deakin M., „From Intelligent to Smart Cities“, Routledge, 2012.
- [5] KPMG International – Harnessing the Smart City opportunity, <https://home.kpmg/au/en/home/insights/2017/11/harnessing-the-smart-city-opportunity.html>, 11.2.2019.
- [6] Reuters – smart parking, <https://www.financialexpress.com/industry/startup-parkwheels-turns-chaotic-parking-into-smart-parking/728460/>, 11.2.2019.
- [7] Libelium.com – smart parking, <http://www.libelium.com/>, 11.2.2019.
- [8] Escolar S., Carretero J., Marinescu M., Chessa S., „Estimating Energy Savings in Smart Street Lighting by Using an Adaptive Control System“, International Journal of Distributed Sensor Networks, 2014.
- [9] Zakon o tržištu toplinske energije, Narodne novine 80/13
- [10] UNEP, „District Energy in Cities: Unlocking the Potential of Energy Efficiency and Renewable Energy“, 2015.
- [11] EPA – Environmental Protection Agency, <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>, 11.2.2019.
- [12] Loumakis G., „Potential for Plastics and Rubber in Low Cost Solar Thermal Collectors“
- [13] Tree Hugger – Renewable Energy, <https://www.treehugger.com/renewable-energy/africas-largest-solar-farm-325000-pv-modules-now-fully-operational.html>, 12.2.2019.
- [14] European Commission – Funding Programmes, <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en>, 12.2.2019.
- [15] EIP – SCC – smart cities, <https://eu-smartcities.eu/>, 12.2.2019.

- [16] Juniper Research, „Smart cities – What's in it for citizens?“, 2016.
- [17] Ajuntament de Barcelona – City Protocol, <http://81.47.175.201/project-protocol/index.php/xarxa-ortogonal-d-autobus-a-barcelona>, 13.2.2019.
- [18] Amsterdam City Data – Gemeente Amsterdam, <https://data.amsterdam.nl/>, 13.2.2019.
- [19] Amsterdam Smart City.com, 13.2.2019.
- [20] Riahi L., UNEP, „District Energy in Cities: Paris Case Study“
- [21] Vincent Callebaut Architectures: „Paris 2050“
- [22] Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, „Indikatori mobilnosti u konceptu Smart City“, 2017.
- [23] Koprivnica.hr – pametan grad, <https://koprivnica.hr/category/pametan-grad/>, 13.2.2019.
- [24] Tportal.hr – „Zadar dobio prve pametne govornice u Hrvatskoj“, 2017.
- [25] REGEA – Regionalna energetska agencija sjeverozapadne Hrvatske, <http://regea.org/smart-city/>, 13.2.2019.
- [26] Energetski institut Hrvoje Požar, „Energetska bilanca Grada Zagreba za 2016. godinu s procjenama potrošnje za 2017. i 2018.“, 2017.
- [27] HEP Proizvodnja – Termoelektrane, <http://proizvodnja.hep.hr/proizvodnja/osnovni/termoelektrane/teto.aspx>, 15.2.2019.
- [28] Business Insider – Commodities, <https://markets.businessinsider.com/commodities/co2-emissionsrechte>, 15.2.2019.
- [29] Brkić D., „Analiza postojećeg stanja i prijedlog optimizacije sustava parkiranja u Gradu Zagrebu“, 2015.
- [30] Surpis G., Liu D., Vicenzi D., „How Much Can a Smart Parking System Save You?“, Ergonomics in Design The Quarterly of Human Factors Application, 2014.
- [31] Mehadžić M., Šegon V., Maras H., „Revizija Akcijskog plana energetske održivosti razvika Grada Zagreba“, 2017.