

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: **2024-04-19**

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

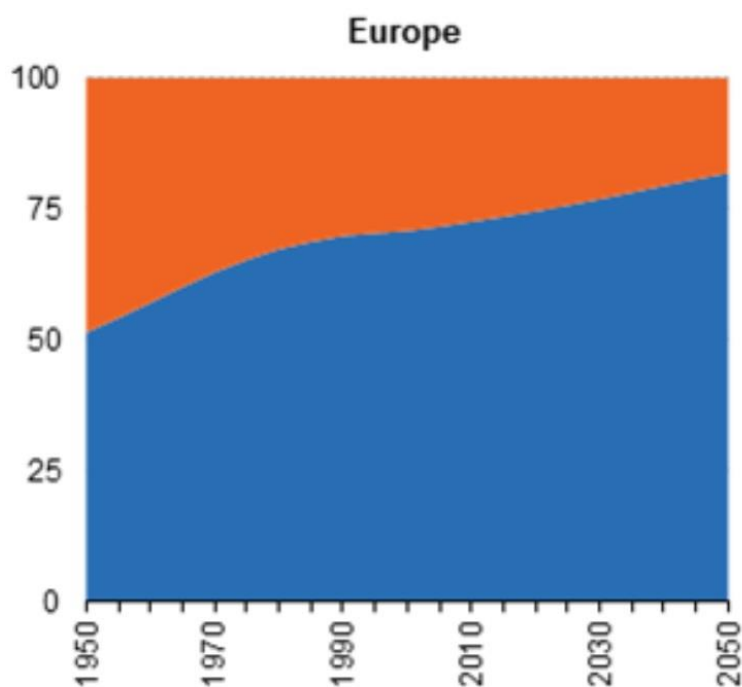
1. UVOD

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

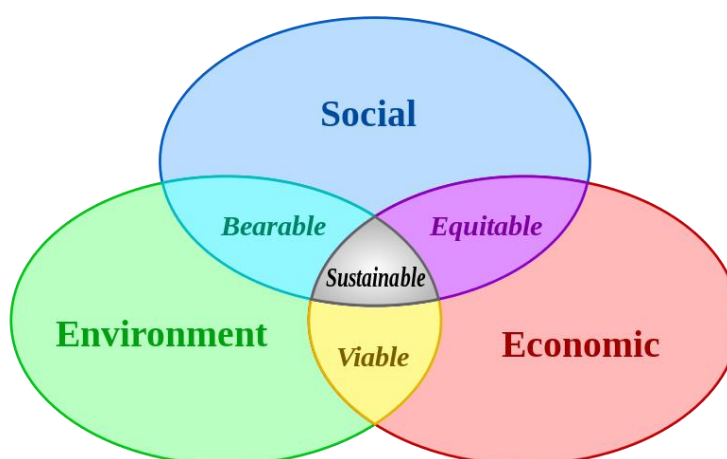
U doba kada je čovječanstvo uočilo posljedice koje sa sobom nosi zagađenje okoliša i povezane klimatske promjene, gradovi su označeni kao odgovorni za proizvodnju velikog udjela štetnih emisija CO₂. Stoga upravo oni predstavljaju veliki potencijal za primjenu pametnih metoda uštede energije, odnosno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

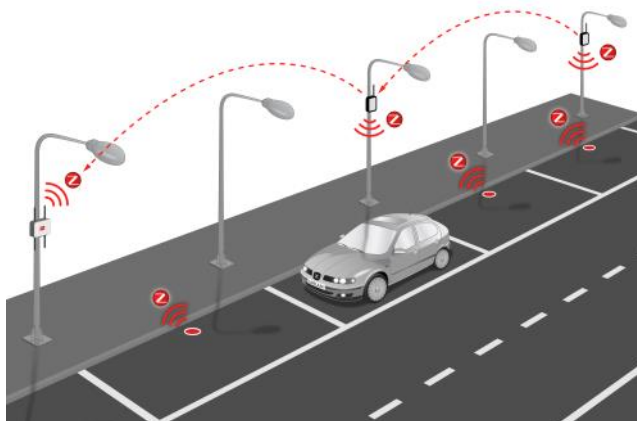
Jedno od postojećih rješenja za prvi problem jest konstruiranje pametnih parkirnih prostora koja mehanizirano slažu automobile u vertikalne stupce smanjujući tako prostor potreban za pohranu automobila (Slika 4.).



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 vrelodvodne, toplovodne 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 rashladnih 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.

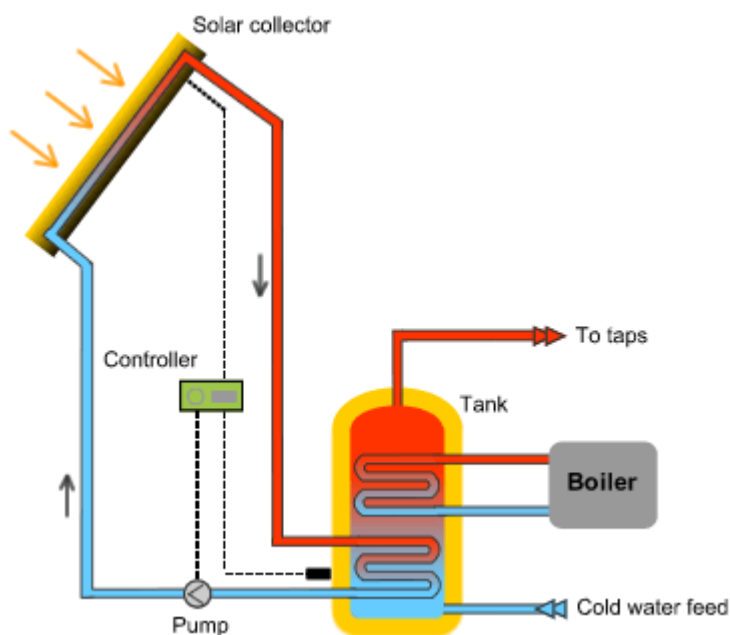
³ COP (eng. Coefficient of Performance) predstavlja omjer korisne topline grijanja i hlađenja u odnosu na uloženi rad

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.

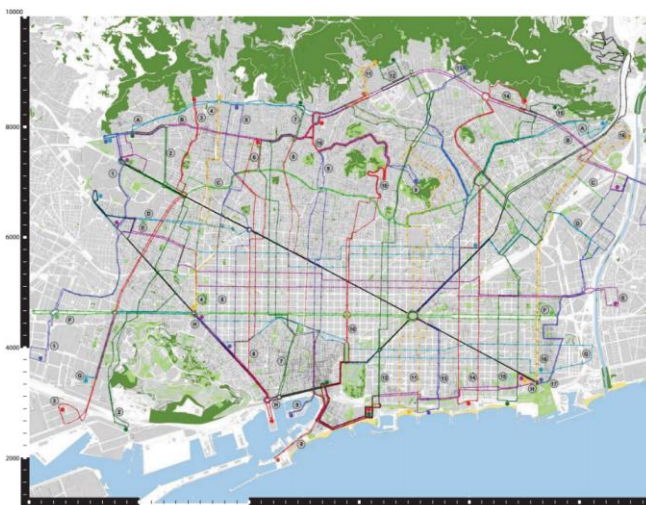
I) Barcelona

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 zastoјima, a samim time i do manje potrošnje goriva te posljedično manjih emisija štetnih plinova.



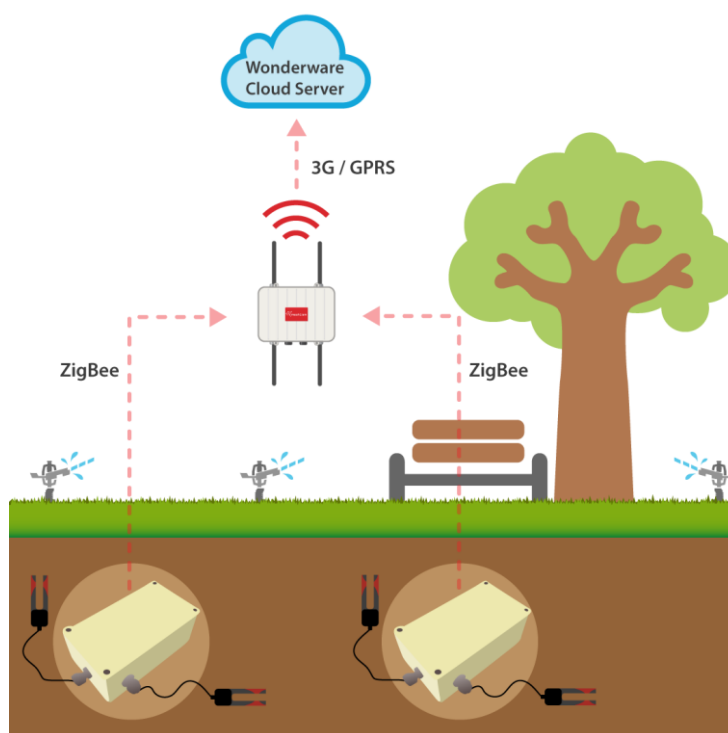
Slika 9. Nova autobusna mreža Barcelone [17]

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]

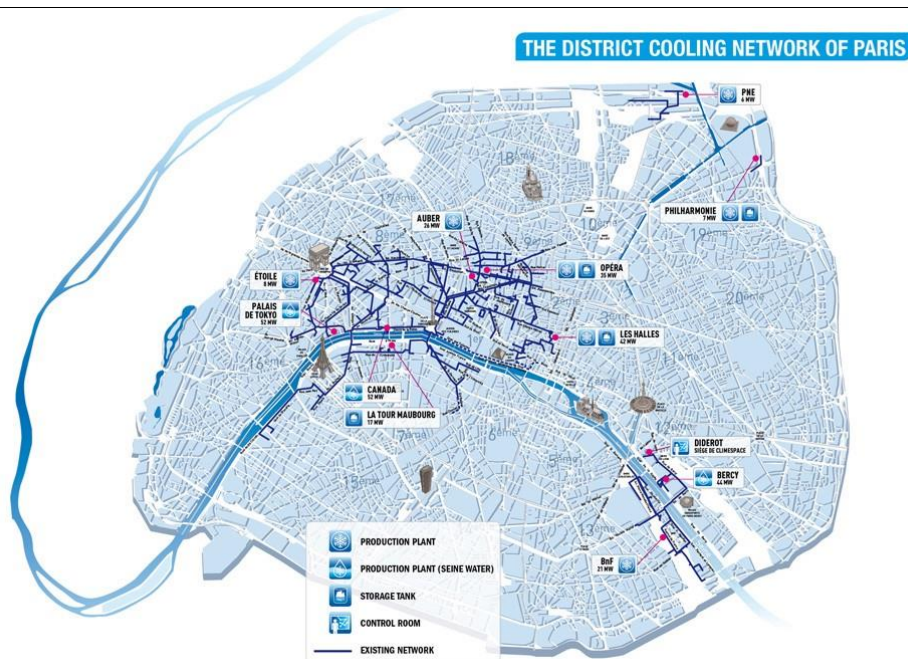
III) Pariz

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

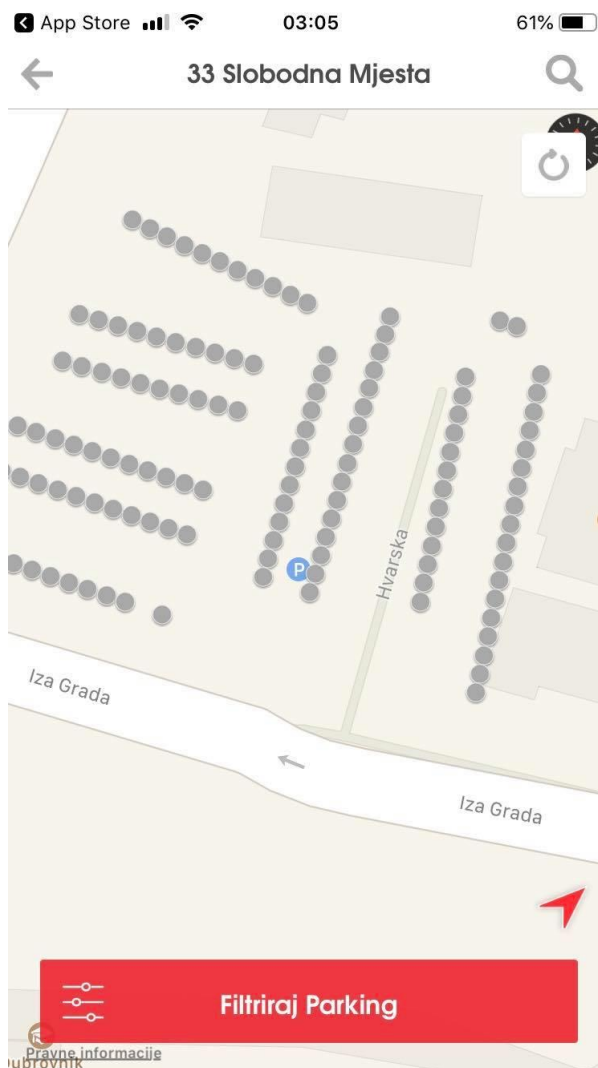
II) Dubrovnik

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.

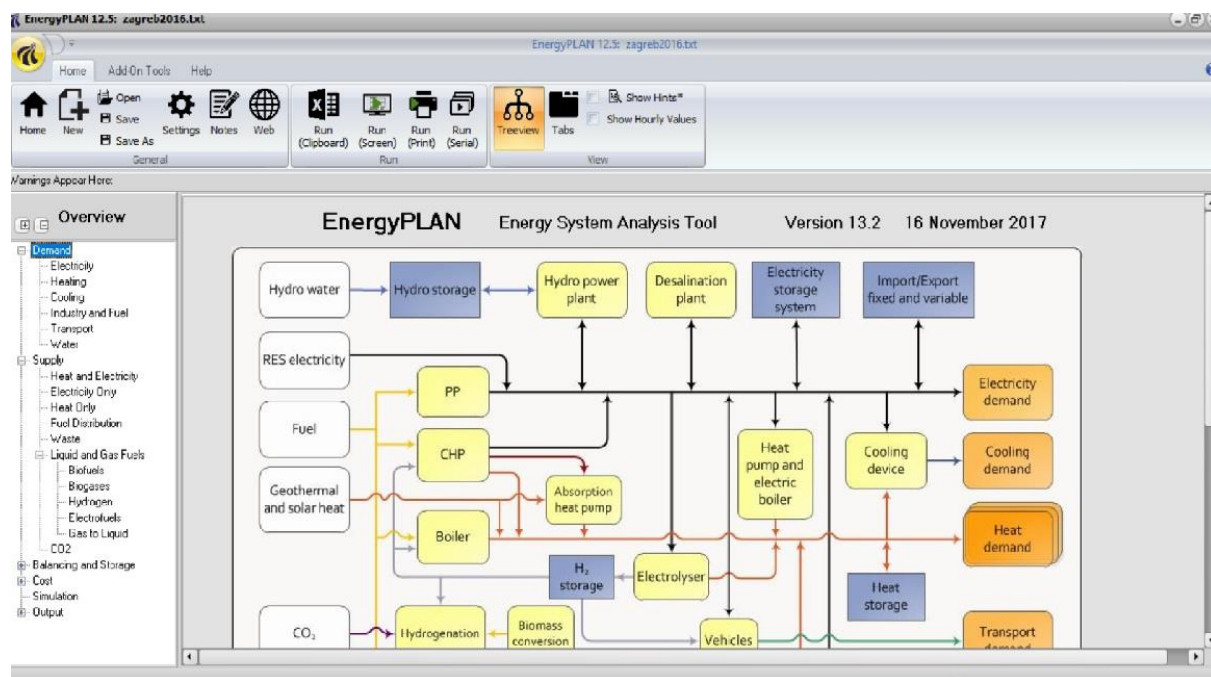
Riječ je o determinističkom sustavu koji na osnovu mnogobrojnih potrebnih ulaznih podataka prikazuje određene izlazne podatke.

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.

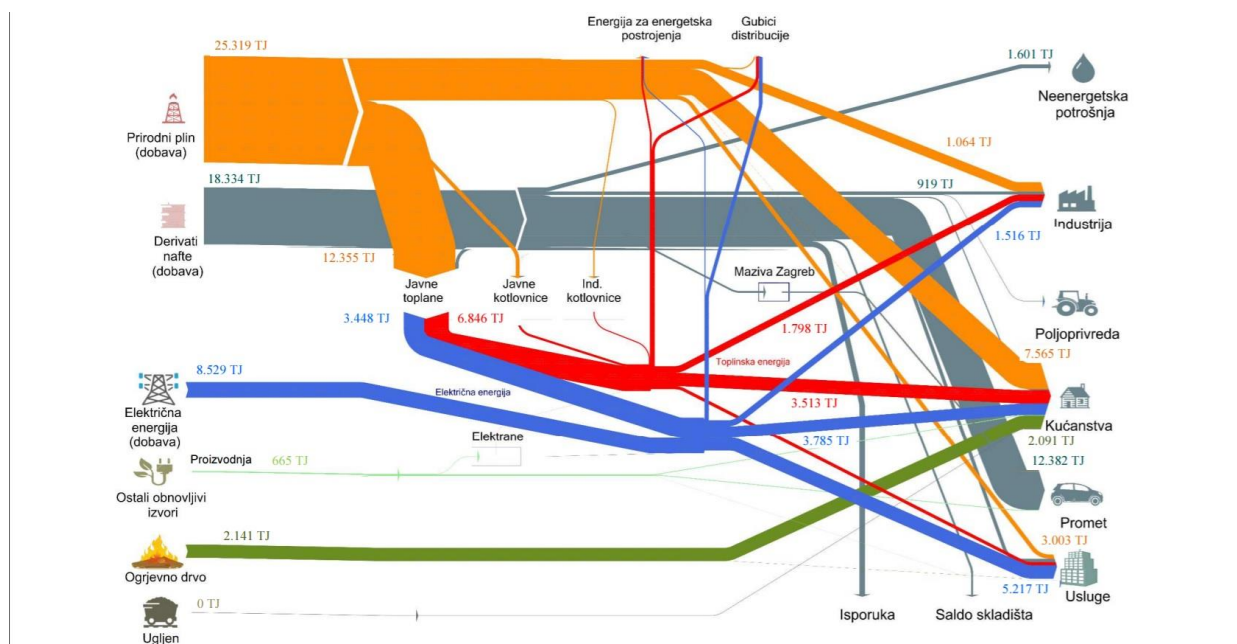
Slika 17. prikazuje sučelje računalnog programa EnergyPLAN.



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]

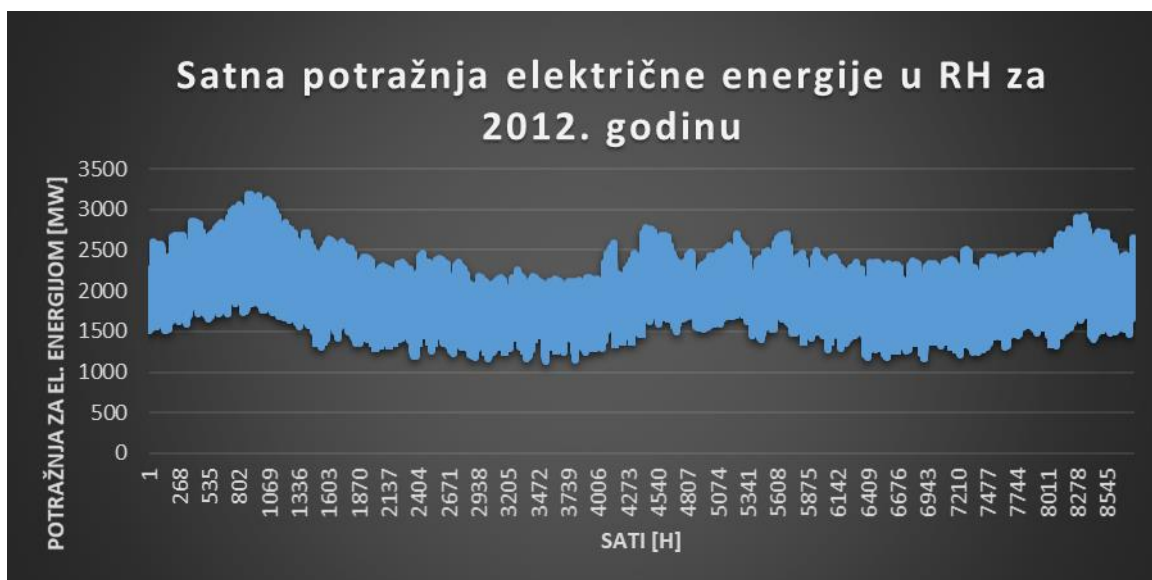
U rubrici potražnje (eng. demand) uneseni su podaci za:

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

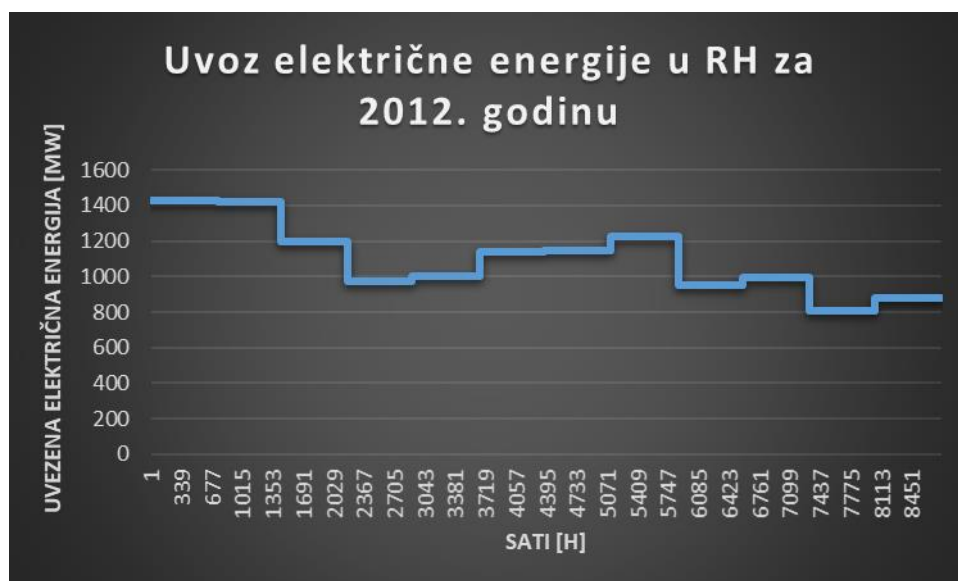
Prema energetskej bilanci za 2016. godinu [26] neposredna potrošnja električne energije u Gradu Zagrebu iznosila je 3,016 TWh. Od toga se u gradsku mrežu uvozom dobavilo 2,37 TWh, dok se ostatak proizvodi transformacijama primarnih oblika energije iz konvencionalnih goriva ili iz obnovljivih izvora energije.

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

Electricity demand (TWh/year):

Fixed demand 3.02

Electric heating + HP 0.00

Electric cooling 0.00

District heating (TWh/year) 0.00

District heating demand 0.00

Solar Thermal 0.00

Industrial CHP (CSHP) 0.00

Demand after solar and CSHP 0.00

Capacities

Group 2:

CHP 0

Heat Pump 0

Boiler 0

Group 3:

CHP 89

Heat Pump 0

Boiler 696

Condensing 89

Efficiencies

elec. 0.40

ther. 0.50

0.90

0.41

0.90

0.45

Regulation Strategy:

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

Hydro Pump: 0 0.80

Hydro Turbine: 0 0.90

Electrol. Gr.2: 0 0.73

Electrol. Gr.3: 0 0.73

Electrol. trans: 0 0.73

Ely. MicroCHP: 0 0.73

CAES fuel ratio: 0.000

Photo Voltaic 0 MW

Photo Voltaic 0 MW

Offshore Wind 0 MW

River Hydro 0 MW

Hydro Power 0 MW

Geothermal/Nuclear 0 MW

Grid station

Fixed Boiler: gr.2 0.0

Electricity prod. from: Gr.1 0.00

Gr.2 0.00

Gr.3 0.00

Dist. Name: Hour_nordpool.td

Addition factor 0.00

Multiplication factor 2.00

Dependency factor 0.00

Average Market Price 227

Gas Storage 0

Syngas capacity 0

Biogas max to grid 0

(TWh/year)

Transport 0.00

Household 0.00

Industry 0.00

Various 0.00

Output

	District Heating										Electricity										Balance										Exchange																															
	Demand		Production								Consumption										Production						Balance				Payment																															
	Dist. heating	MW	Solar	CSHP	DHP	CHP	HP	ELT	Boiler	EH	Balance	Elec. demand	Flex&Transp	HP	Electrolyser	EH	Hydro Pump	Turbine	RES	Hydro	Geo-thermal	Waste+CSHP	CHP	PP	Stab. Load	Imp	Exp	CEEP	EFP	Imp	Exp																															
		MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	%	MW	MW	MW	MW	Million EUR																															
January	412	0	0	0	81	0	0	351	0	0	362	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	100	19	1	0	1	5	0																																
February	361	0	0	0	71	0	0	290	0	0	314	11	0	0	0	0	0	0	0	0	66	0	100	44	0	0	0	8	0																																	
March	283	0	0	0	50	0	0	232	0	0	329	11	0	0	0	0	0	0	0	0	49	0	100	3	4	0	0	4	0																																	
April	181	0	0	0	59	0	0	123	0	-1	316	11	0	0	0	0	0	0	0	0	58	0	100	11	1	0	1	2	0																																	
May	60	0	0	0	24	0	0	37	0		304	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	100	0	16	0	16	0	2																																
June	60	0	0	0	8	0	0	54	0	0	321	11	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	100	0	46	0	46	0	6																																	
July	60	0	0	0	30	0	0	29	0	1	363	11	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	100	1	16	0	16	0	1																																	
August	60	0	0	0	38	0	0	21	0	0	358	11	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0	100	2	11	0	11	0	2																																	
September	60	0	0	0	60	0	0	6	0	-7	318	11	0	0	0	0	0	0	0	0	59	1	100	11	1	0	1	2	0																																	
October	179	0	0	0	79	0	0	97	0	3	314	11	0	0	0	0	0	0	0	0	77	0	100	37	0	0	0	7	0																																	
November	293	0	0	0	91	0	0	202	0	0	332	11	0	0	0	0	0	0	0	0	89	0	100	149	0	0	0	25	0																																	
December	392	0	0	0	91	0	0	302	0	0	371	11	0	0	0	0	0	0	0	0	89	0	100	179	0	0	0	34	0																																	
Average	200	0	0	0	55	0	0	145	0	0	343	11	0	0	0	0	0	0	0	0	54	0	100	38	8	0	8			Average price (EUR/MWh)																																
Maximum	606	0	0	0	91	0	0	598	0	73	554	21	0	0	0	0	0	0	0	0	89	3	100	307	154	0	154			250	161																															
Minimum	60	0	0	0	0	0	0	0	0	-31	196	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0																																	
TWh/year	1.75	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	1.28	0.00	0.00	3.02	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.00		0.34	0.07	0.00	0.07		84	11																															
FUEL BALANCE (TWh/year):																																	Industry				Total		Imp/Exp Corrected		CO2 emission (Mt):																					
																																	DHP	CHP2	CHP3	Boiler2	Boiler3	PP	Geo/Nu.	Hydro	Waste	CAES	BioCon.	Electro-	Fuel	PV	PV	Offsh.	Hydro	Solar.Th.	Transp.	househ.	Various	Total	Imp/Exp		Corrected		Total		Net	
																																									</																					

Slika 25. Rezultati referentnog modela Grada Zagreba za 2016. godinu 1/2

[illegible]

Slika 26. Rezultati referentnog modela Grada Zagreba za 2016. godinu 2/2

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 energetskeg 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

Electricity demand (TWh/year):

Fixed demand

Electric heating + HP

Electric cooling

Flexible demand

Fixed imp/exp.

Transportation

Total

Capacities

MW-e MJ/s

CHP

Boiler

Boiler

CHP

Heat Pump

Condensing

Efficiencies

elec. Ther. COP

0.40 0.50

0.90

0.40 0.41

0.90

0.45

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

Technical regulation no. 2

00000000

0.00

0.00

0 MW

0 MW

0.50

1600 MW

Fuel Price level: Basic

Capacities Storage Efficiency

MW-e GWh elec. Ther.

Hydro Pump:

Hydro Turbine:

Electrol. Gr.2:

Electrol. Gr.3:

Electrol. trans.:

Ely. MicroCHP:

CAES fuel ratio:

0.00

0

0

0

0

0

0

0.000

District heating (TWh/year)

District heating demand

Solar Thermal

Industrial CHP (CSHP)

Demand after solar and CSHP

Gr.1

Gr.2

Gr.3

Sum

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

1.75

1.75

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

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

Slika 27. Rezultati implementacije koncepta pametne rasvjete 1/2

Output specifications										zagreb2030_pametna_rasvjeta.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 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	0	412	0	0	60	0	0	352	0	0	0	0	0	0	0	0	
February	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	361	0	0	70	0	0	291	0	14	0	0	0	0	0	0	
March	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	283	0	0	46	0	0	234	0	41	0	0	0	0	0	0	
April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	181	0	0	58	0	0	125	0	1069	-1	0	0	0	0	0	
May	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	22	0	0	39	0	968	0	0	0	0	0	0	
June	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	5	0	0	55	0	926	0	0	0	0	0	0	
July	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	27	0	0	32	0	970	1	0	0	0	0	0	
August	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	36	0	0	23	0	520	0	0	0	0	0	0	
September	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	60	0	0	7	0	2246	-6	0	0	0	0	0	
October	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	179	0	0	78	0	0	98	0	2708	3	0	0	0	0	0	
November	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	293	0	0	91	0	0	203	0	2450	0	0	0	0	0	0	
December	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	392	0	0	91	0	0	302	0	2429	0	0	0	0	0	0	
Average	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0	54	0	0	146	0	1191	0	0	0	0	0	0	
Maximum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	606	0	0	91	0	0	598	0	4548	72	0	0	0	0	0	
Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-31	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										1.75 0.00 0.00 0.47 0.00 0.00 1.29 0.00 0.00					0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00										
Own use of heat from industrial CHP: 0.00 TWh/year																														
NATURAL GAS EXCHANGE																														
ANNUAL COSTS (Million EUR)																														
Total Fuel ex Ngas exchange = 307																														
Uranium = 0																														
Coal = 0																														
FuelOil = 33																														
Gasoil/Diesel= 147																														
Petrol/JP = 65																														
Gas handling = 40																														
Biomass = 21																														
Food income = 0																														
Waste = 0																														
January 392 85 0 714 4 34 1228 0 0 0 0 0 0 1228 1228 0																														
February 324 100 0 625 4 34 1086 0 0 0 0 0 0 1086 1086 0																														
March 260 69 0 489 4 34 856 0 0 0 0 0 0 856 856 0																														
April 139 82 0 314 4 34 573 0 0 0 0 0 0 573 573 0																														
May 43 31 0 104 4 34 215 0 0 0 0 0 0 215 215 0																														
June 61 7 0 104 4 34 209 0 0 0 0 0 0 209 209 0																														
July 35 39 0 104 4 34 215 0 0 0 0 0 0 215 215 0																														
August 28 52 0 104 4 34 219 0 0 0 0 0 0 219 219 0																														
September 7 85 0 104 4 34 233 0 0 0 0 0 0 233 233 0																														
October 109 111 0 310 4 34 567 0 0 0 0 0 0 567 567 0																														
November 225 129 0 508 4 34 900 0 0 0 0 0 0 900 900 0																														
December 335 129 0 679 4 34 1181 0 0 0 0 0 0 1181 1181 0																														
Average 163 77 0 346 4 34 623 0 0 0 0 0 0 623 623 0																														
Maximum 665 129 0 1049 4 34 1785 0 0 0 0 0 0 1785 1785 0																														
Minimum 0 0 0 104 4 34 142 0 0 0 0 0 0 142 142 0																														
Total for the whole year																														
TWh/year 1.43 0.67 0.00 3.04 0.03 0.30 5.47 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 5.47 5.47 0.00																														
Total CO2 emission costs = 11																														
Total variable costs = 92																														
Fixed operation costs = 6045																														
Annual investment costs = 344																														
TOTAL ANNUAL COSTS = 6481																														
RES Share: 6.2 Percent of Primary Energy 0.0 Percent of Electricity 0.0 TWh electricity from RES 18.February.2019 [17.06]																														

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.

[illegible]

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

Output specifications

zagreb2030_CTS_CRS.txt

The EnergyPLAN model 13.0



Gr.1					Gr.2										Gr.3										RES specification																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
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	Bal-ance MW	District heating MW	Solar MW	CSHP MW	CHP MW	HP MW	ELT MW	Boiler MW	EH MW	Storage MW	Bal-ance MW	RES1 Photo MW	RES2 Photo MW	RES3 Offshor MW	RES Total 4-7 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	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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
NATURAL GAS EXCHANGE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
ANNUAL COSTS (Million EUR)					DHP & CHP3					PP CAES					Indi-vidual					Trans port					Indu. Var.					Demand Sum					Bio- gas					Syn- gas					CO2Hy gas					SynHy gas					SynHy gas					Storage					Sum					Im- port					Exp- port																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Total Fuel ex Nigas exchange =					311																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							

Slika 30. Rezultati implementacije CRS-a i pametnog CTS-a 2/2

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.

Krovnna 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

The EnergyPLAN model 13.0



Electricity demand (TWh/year):		Flexible demand		0.00		Capacities		Efficiencies		Regulation Strategy:		Technical regulation no. 2		Fuel Price level: Basic		Capacities Storage Efficiencies			
Fixed demand		3.02		Fixed import/exp.		-2.37		CHP		MW-e		MJ/s		elec.		Ther.		COP	
Electric heating + HP		0.00		Transportation		0.24		Group 2:		0		0		0.40		0.50		3.00	
Electric cooling		0.00		Total		0.89		Heat Pump		0		0							
								Boiler		0		0				0.90			
District heating (TWh/year)		Gr.1		Gr.2		Gr.3		Sum		Group 3:		89		91		0.40		0.41	
District heating demand		0.00		0.00		1.75		1.75		CHP		0		0				3.00	
Solar Thermal		0.00		0.00		0.00		0.00		Heat Pump		0		0					
Industrial CHP (CSHP)		0.00		0.00		0.00		0.00		Boiler		0		896				0.90	
Demand after solar and CSHP		0.00		0.00		1.75		1.75		Condensing		89		0.45					
Photo Voltaic		0 MW		0.00		TWh/year		0.00		Grid		stabilisation		share					
Photo Voltaic		0 MW		0		TWh/year		0.00		Heat storage: gr.2:		10 GWh		gr.3:		10 GWh			
Offshore Wind		0 MW		0		TWh/year		0.00		Fixed Boiler: gr.2:		0.0 Per cent		gr.3:		0.0 Per cent			
River Hydro		0 MW		0		TWh/year		0.00		Electricity prod. from		CHSP		Waste		(TWh/year)			
Hydro Power		0 MW		0		TWh/year		0.00		Gr.1:		0.00		0.00					
Geothermal/Nuclear		0 MW		0		TWh/year		0.00		Gr.2:		0.00		0.00					
										Gr.3:		0.00		0.00					
										Distr. Name:		Hour_nordpool.bd							
										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 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		RES6		RES7		RES8		RES9		RES10		RES11		RES12		RES13		RES14		RES15		RES16		RES17		RES18		RES19		RES20		RES21		RES22		RES23		RES24		RES25		RES26		RES27		RES28		RES29		RES30		RES31		RES32		RES33		RES34		RES35		RES36		RES37		RES38		RES39		RES40		RES41		RES42		RES43		RES44		RES45		RES46		RES47		RES48		RES49		RES50		RES51		RES52		RES53		RES54		RES55		RES56		RES57		RES58		RES59		RES60		RES61		RES62		RES63		RES64		RES65		RES66		RES67		RES68		RES69		RES70		RES71		RES72		RES73		RES74		RES75		RES76		RES77		RES78		RES79		RES80		RES81		RES82		RES83		RES84		RES85		RES86		RES87		RES88		RES89		RES90		RES91		RES92		RES93		RES94		RES95		RES96		RES97		RES98		RES99		RES100		RES101		RES102		RES103		RES104		RES105		RES106		RES107		RES108		RES109		RES110		RES111		RES112		RES113		RES114		RES115		RES116		RES117		RES118		RES119		RES120		RES121		RES122		RES123		RES124		RES125		RES126		RES127		RES128		RES129		RES130		RES131		RES132		RES133		RES134		RES135		RES136		RES137		RES138		RES139		RES140		RES141		RES142		RES143		RES144		RES145		RES146		RES147		RES148		RES149		RES150		RES151		RES152		RES153		RES154		RES155		RES156		RES157		RES158		RES159		RES160		RES161		RES162		RES163		RES164		RES165		RES166		RES167		RES168		RES169		RES170		RES171		RES172		RES173		RES174		RES175		RES176		RES177		RES178		RES179		RES180		RES181		RES182		RES183		RES184		RES185		RES186		RES187		RES188		RES189		RES190		RES191		RES192		RES193		RES194		RES195		RES196		RES197		RES198		RES199		RES200		RES201		RES202		RES203		RES204		RES205		RES206		RES207		RES208		RES209		RES210		RES211		RES212		RES213		RES214		RES215		RES216		RES217		RES218		RES219		RES220		RES221		RES222		RES223		RES224		RES225		RES226		RES227		RES228		RES229		RES230		RES231		RES232		RES233		RES234		RES235		RES236		RES237		RES238		RES239		RES240		RES241		RES242		RES243		RES244		RES245		RES246		RES247		RES248		RES249		RES250		RES251		RES252		RES253		RES254		RES255		RES256		RES257		RES258		RES259		RES260		RES261		RES262		RES263		RES264		RES265		RES266		RES267		RES268		RES269		RES270		RES271		RES272		RES273		RES274		RES275		RES276		RES277		RES278		RES279		RES280		RES281		RES282		RES283		RES284		RES285		RES286		RES287		RES288		RES289		RES290		RES291		RES292		RES293		RES294		RES295		RES296		RES297		RES298		RES299		RES300		RES301		RES302		RES303		RES304		RES305		RES306		RES307		RES308		RES309		RES310		RES311		RES312		RES313		RES314		RES315		RES316		RES317		RES318		RES319		RES320		RES321		RES322		RES323		RES324		RES325		RES326		RES327		RES328		RES329		RES330		RES331		RES332		RES333		RES334		RES335		RES336		RES337		RES338		RES339		RES340		RES341		RES342		RES343		RES344		RES345		RES346		RES347		RES348		RES349		RES350		RES351		RES352		RES353		RES354		RES355		RES356		RES357		RES358		RES359		RES360		RES361		RES362		RES363		RES364		RES365		RES366		RES367		RES368		RES369		RES370		RES371		RES372		RES373		RES374		RES375		RES376		RES377		RES378		RES379		RES380		RES381		RES382		RES383		RES384		RES385		RES386		RES387		RES388		RES389		RES390		RES391		RES392		RES393		RES394		RES395		RES396		RES397		RES398		RES399		RES400		RES401		RES402		RES403		RES404		RES405		RES406		RES407		RES408		RES409		RES410		RES411		RES412		RES413		RES414		RES415		RES416		RES417		RES418		RES419		RES420		RES421		RES422		RES423		RES424		RES425		RES426		RES427		RES428		RES429		RES430		RES431		RES432		RES433		RES434		RES435		RES436		RES437		RES438		RES439		RES440		RES441		RES442		RES443		RES444		RES445		RES446		RES447		RES448		RES449		RES450		RES451		RES452		RES453		RES454		RES455		RES456		RES457		RES458		RES459		RES460		RES461		RES462		RES463		RES464		RES465		RES466		RES467		RES468		RES469		RES470		RES471		RES472		RES473		RES474		RES475		RES476		RES477		RES478		RES479		RES480		RES481		RES482		RES483		RES484		RES485		RES486		RES487		RES488		RES489		RES490		RES491		RES492		RES493		RES494		RES495		RES496		RES497		RES498		RES499		RES500		RES501		RES502		RES503		RES504		RES505		RES506		RES507		RES508		RES509		RES510		RES511		RES512		RES513		RES514		RES515		RES516		RES517		RES518		RES519		RES520		RES521		RES522		RES523		RES524		RES525		RES526		RES527		RES528		RES529		RES530		RES531		RES532		RES533		RES534		RES535		RES536		RES537		RES538		RES539		RES540		RES541		RES542		RES543		RES544		RES545		RES546		RES547		RES548		RES549		RES550		RES551		RES552		RES553		RES554		RES555		RES556		RES557		RES558		RES559		RES560		RES561		RES562		RES563		RES564		RES565		RES566		RES567		RES568		RES569		RES570		RES571		RES572		RES573		RES574		RES575		RES576		RES577		RES578		RES579		RES580		RES581		RES582		RES583		RES584		RES585		RES586		RES587		RES588		RES589		RES590		RES591		RES592		RES593		RES594		RES595		RES596		RES597		RES598		RES599		RES600		RES601		RES602		RES603		RES604		RES605		RES606		RES607		RES608		RES609		RES610		RES611		RES612		RES613		RES614		RES615		RES616		RES617		RES618		RES619		RES620		RES621		RES622		RES623		RES624		RES625		RES626		RES627		RES628		RES629		RES630		RES631		RES632		RES633		RES634		RES635		RES636		RES637		RES638		RES639		RES640		RES641		RES642		RES643		RES644		RES645		RES646		RES647		RES648		RES649		RES650		RES651		RES652		RES653		RES654		RES655		RES656		RES657		RES658		RES659		RES660		RES661		RES662		RES663		RES664		RES665		RES666		RES667		RES668		RES669		RES670		RES671		RES672		RES673		RES674		RES675		RES676		RES677		RES678		RES679		RES680		RES681		RES682		RES683		RES684		RES685		RES686		RES687		RES688		RES689		RES690		RES691		RES692		RES693		RES694		RES695		RES696		RES697		RES698		RES699		RES700		RES701		RES702		RES703		RES704		RES705		RES706		RES707		RES708		RES709		RES710		RES711		RES712		RES713		RES714		RES715		RES716		RES717		RES718		RES719		RES720		RES721		RES722		RES723		RES724		RES725		RES726		RES727		RES728		RES729		RES730		RES731		RES732		RES733		RES734		RES735		RES736		RES737		RES738		RES739		RES740		RES741		RES742		RES743		RES744		RES745		RES746		RES747		RES748		RES749		RES750		RES751		RES752		RES753		RES754		RES755		RES756		RES757		RES758		RES759		RES760		RES761		RES762		RES763		RES764		RES765		RES766		RES767		RES768		RES769		RES770		RES771		RES772		RES773		RES774		RES775		RES776		RES777		RES778		RES779		RES780		RES781		RES782		RES783		RES784		RES785		RES786		RES787		RES788		RES789		RES790		RES791		RES792		RES793		RES794		RES795		RES796		RES797		RES798		RES799		RES800		RES801		RES802		RES803		RES804		RES805		RES806		RES807		RES808		RES809		RES810		RES811		RES812		RES813		RES814		RES815		RES816		RES817		RES818		RES819		RES820		RES821		RES822		RES823		RES824		RES825		RES826		RES827		RES828		RES829		RES830		RES831		RES832		RES833		RES834		RES835		RES836		RES837		RES838		RES839		RES840		RES841		RES842		RES843		RES844		RES845		RES846		RES847		RES848		RES849		RES850		RES851		RES852		RES853		RES854		RES855		RES856		RES857		RES858		RES859		RES860		RES861		RES862		RES863		RES864		RES865		RES866		RES867		RES868		RES869		RES870		RES871		RES872		RES873		RES874		RES875		RES876		RES877		RES878		RES879		RES880		RES881		RES882		RES883		RES884		RES885		RES886		RES887		RES888		RES889		RES890		RES891		RES892		RES893		RES894		RES895		RES896		RES897		RES898		RES899		RES900		RES901		RES902		RES903		RES904		RES905		RES906		RES907		RES908		RES909		RES910		RES911		RES912		RES913		RES914		RES915		RES916		RES917		RES918		RES919		RES920		RES921		RES922		RES923		RES924		RES925		RES926		RES927		RES928		RES929		RES930		RES931		RES932		RES933		RES934		RES935		RES936		RES937		RES938		RES939		RES940		RES941		RES942		RES943		RES944		RES945		RES946		RES947		RES948		RES949		RES950		RES951		RES952		RES953		RES954		RES955		RES956		RES957		RES958		RES959		RES960		RES961		RES962		RES963		RES964		RES965		RES966		RES967		RES968		RES969		RES970		RES971		RES972		RES973		RES974		RES975		RES976		RES977		RES978		RES979		RES980		RES981		RES982		RES983		RES984		RES985		RES986		RES987		RES988		RES989		RES990		RES991		RES992		RES993		RES994		RES995		RES996		RES997		RES998		RES999		RES1000		RES1001		RES1002		RES1003		RES1004		RES1005		RES1006		RES1007		RES1008		RES1009		RES1010		RES1011		RES1012		RES1013		RES1014		RES1015		RES1016		RES1017		RES1018		RES1019		RES1020		RES1021		RES1022		RES1023		RES1024		RES1025		RES1026		RES1027		RES1028		RES1	

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.

Input

zagreb2030_ukupno.txt

Electricity demand (TWh/year):

Fixed demand

Electric heating + HP

Electric cooling

Flexible demand

Fixed imp/exp

Transport

Total

0.00

2.02

0.00

0.32

0.00

-2.37

0.24

0.21

Group 2:

CHP

Heat Pump

Boiler

Group 3:

CHP

Heat Pump

Boiler

Condensing

MW-e

MJ/s

elec.

ther.

COP

0.00

0.40

0.50

0.00

0.90

0.00

0.90

0.41

0.00

0.90

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

Technical regulation no. 2

000000000

0.00

0.00

0 MW

0 MW

0.50

1600 MW

Fuel Price level: Basic

Capacities

Storage

Efficiencies

MW-e

GWh

elec.

ther.

0

0

0.80

0.90

0

0

0.73

0.05

0

0.73

0.00

District heating (TWh/year)

District heating demand

Solar Thermal

Industrial CHP (CSHP)

Demand after solar and CSHP

Gr.1

Gr.2

Gr.3

Sum

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

1.75

0.39

0.00

1.36

Photo Voltaic

Offshore Wind

River Hydro

Hydro Power

Geothermal/Nuclear

3660 MW

0 MW

0 MW

0 MW

0 MW

5.94 TWh/year

0 TWh/year

0 TWh/year

0 TWh/year

0 TWh/year

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

Grid

stabilisation

share

Heat Storage: gr.2

Fixed Boiler: gr.2

Electricity prod. from:

Gr.1:

Gr.2:

Gr.3:

10 GWh

0.0 Per cent

CSHP

0.00

0.00

0.00

gr.3:

10 GWh

0.0 Per cent

Waste

(TWh/year)

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

Technical regulation no. 2

000000000

0.00

0.00

0 MW

0 MW

0.50

1600 MW

Fuel Price level: Basic

Capacities

Storage

Efficiencies

MW-e

GWh

elec.

ther.

0

0

0.80

0.90

0

0

0.73

0.05

0

0.73

0.00

District heating (TWh/year)

District heating demand

Solar Thermal

Industrial CHP (CSHP)

Demand after solar and CSHP

Gr.1

Gr.2

Gr.3

Sum

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

1.75

0.39

0.00

1.36

Photo Voltaic

Offshore Wind

River Hydro

Hydro Power

Geothermal/Nuclear

3660 MW

0 MW

0 MW

0 MW

0 MW

5.94 TWh/year

0 TWh/year

0 TWh/year

0 TWh/year

0 TWh/year

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

Grid

stabilisation

share

Heat Storage: gr.2

Fixed Boiler: gr.2

Electricity prod. from:

Gr.1:

Gr.2:

Gr.3:

10 GWh

0.0 Per cent

CSHP

0.00

0.00

0.00

gr.3:

10 GWh

0.0 Per cent

Waste

(TWh/year)

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

Technical regulation no. 2

000000000

0.00

0.00

0 MW

0 MW

0.50

1600 MW

Fuel Price level: Basic

Capacities

Storage

Efficiencies

MW-e

GWh

elec.

ther.

0

0

0.80

0.90

0

0

0.73

0.05

0

0.73

0.00

District heating (TWh/year)

District heating demand

Solar Thermal

Industrial CHP (CSHP)

Demand after solar and CSHP

Gr.1

Gr.2

Gr.3

Sum

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

1.75

0.39

0.00

1.36

Photo Voltaic

Offshore Wind

River Hydro

Hydro Power

Geothermal/Nuclear

3660 MW

0 MW

0 MW

0 MW

0 MW

5.94 TWh/year

0 TWh/year

0 TWh/year

0 TWh/year

0 TWh/year

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

Grid

stabilisation

share

Heat Storage: gr.2

Fixed Boiler: gr.2

Electricity prod. from:

Gr.1:

Gr.2:

Gr.3:

10 GWh

0.0 Per cent

CSHP

0.00

0.00

0.00

gr.3:

10 GWh

0.0 Per cent

Waste

(TWh/year)

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

Technical regulation no. 2

000000000

0.00

0.00

0 MW

0 MW

0.50

1600 MW

Fuel Price level: Basic

Capacities

Storage

Efficiencies

MW-e

GWh

elec.

ther.

0

0

0.80

0.90

0

0

0.73

0.05

0

0.73

0.00

Output

WARNING!!: (1) Critical Excess;

	District Heating															Electricity															Exchange						
	Production										Balance	Consumption										Production					Balance					Payment Imp	Exp				
	Distr. heating	Solar	Waste+CSHP	DHP	CHP	HP	ELT	Boiler	EH	MW		Elec. demand	Flex+Transp.	Elec. prod.	Hydro Pump	Turbine	RES	Hydro	Geo-thermal	Waste+CSHP	CHP	PP	Stab. loss	Imp	Exp	CEEP	EEP	Million EUR									
January	463	30	0	0	17	0	0	416	0	0	297	27	0	0	0	0	252	0	0	0	17	0	100	0	250	0	250	0	64								
February	416	52	0	0	25	0	0	339	0	0	322	27	0	0	0	0	393	0	0	0	24	0	100	4	372	3	369	1	58								
March	353	50	0	0	12	0	0	291	0	0	255	27	0	0	0	0	602	0	0	0	12	0	100	0	603	62	541	1	123								
April	272	61	0	0	16	0	0	195	0	0	246	27	0	0	0	0	843	0	0	0	16	0	100	0	827	174	653	0	172								
May	174	50	0	0	3	0	0	120	0	0	236	27	0	0	0	0	1051	0	0	0	3	0	100	0	1075	307	769	0	259								
June	183	54	0	0	0	0	0	128	0	0	249	27	0	0	0	0	1151	0	0	0	0	0	100	0	1221	391	830	0	244								
July	188	57	0	0	3	0	0	128	0	0	282	27	0	0	0	0	1170	0	0	2	0	0	100	0	1196	398	799	0	180								
August	187	54	0	0	6	0	0	127	0	0	278	27	0	0	0	0	992	0	0	0	5	0	100	0	1006	286	720	0	174								
September	177	41	0	0	19	0	0	116	0	0	247	27	0	0	0	0	719	0	0	0	19	0	100	0	700	110	589	0	129								
October	274	35	0	0	38	0	0	201	0	0	244	27	0	0	0	0	463	0	0	0	37	0	100	8	428	16	412	1	80								
November	366	30	0	0	59	0	0	277	0	0	258	27	0	0	0	0	267	0	0	0	58	0	100	67	196	0	196	11	33								
December	448	21	0	0	62	0	0	365	0	0	288	27	0	0	0	0	203	0	0	0	60	0	100	81	131	0	131	14	24								
Average	291	45	0	0	22	0	0	225	0	0	267	27	0	0	0	0	676	0	0	0	21	0	100	13	668	146	522		Average price (EUR/MWh)								
Maximum	657	610	0	0	91	0	0	650	0	0	430	53	0	0	0	0	3860	0	0	0	89	0	100	219	3861	2261	1600		236								
Minimum	118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	262							
TWh/year	2.56	0.39	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	1.98	0.00	0.00	2.34	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	5.94	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00		0.12	5.87	1.28	4.59	28	1540								
FUEL BALANCE (TWh/year):															Industry															CO2 emission (Mt):							
DHP															CHP3	Boiler2	Boiler3	PP	Geo/Nu.	Hydro	Waste	CAES	BioCon	Electro-thermal	PV	PV	Offsh.	Hydro	Solar.Th.	Transp.	househ.	Various	Total	Imp/Exp	Corrected Imp/Exp	Total	Net
Coal	-	-	0.00	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00									
Oil	-	-	0.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.53	0.29	0.25	3.26	0.00	0.00	3.26	0.87	0.87									
N.Gas	-	-	0.27	-	-	2.20	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.16	3.04	0.30	5.96	0.00	0.00	5.96	1.22	1.24									
Biomass	-	-	0.00	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.64	0.00	0.00	0.64	0.00	0.00	0.64	0.00	0.00									
Renewable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.33	0.00	0.00	6.33	0.00	0.00										
H2 etc.	-	-	0.00	-	-	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	0.00										
Total	-	-	0.46	-	-	2.20	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.39	2.69	3.97	0.54	16.19	-12.78	3.41	2.09	2.11									

21-February-2019 (14:42)

Slika 35. Rezultati skupne implementacije pametnih mjera 1/2

Output specifications				zagreb2030_ukupno.txt										The EnergyPLAN model 13.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
District Heating Production														RES specification																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Gr.1				Gr.2										Gr.3										RES1					RES2					RES3					RES4					RES5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
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	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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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										SynHy										SynHy										Storage										Sum										Im- port										Ex- port																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Total Fuel ex. Nigas exchange =				260										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW										MW									

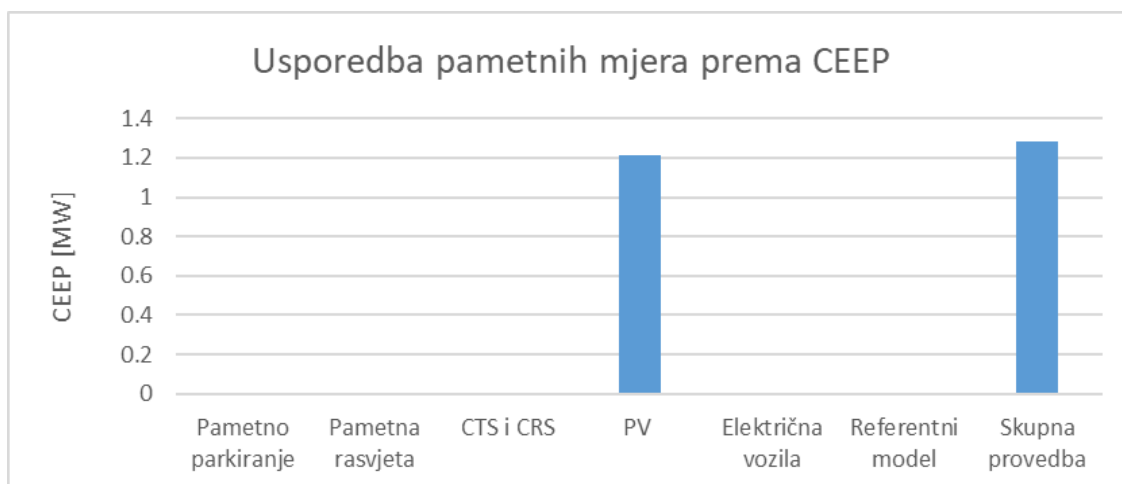
4.4 Usporedba implementiranih pametnih mjera

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.

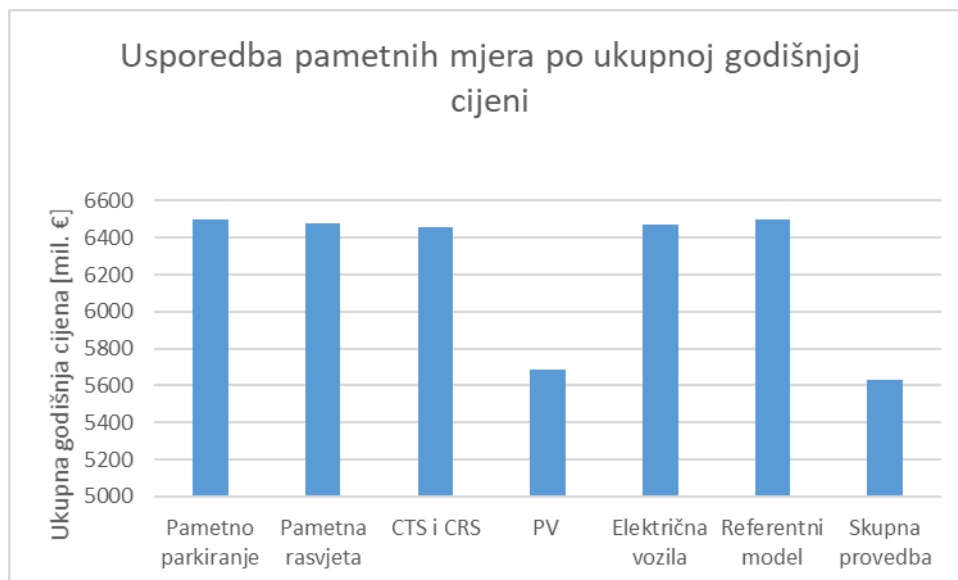


Dijagram 1. Usporedba pametnih mjera prema CEEP

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.

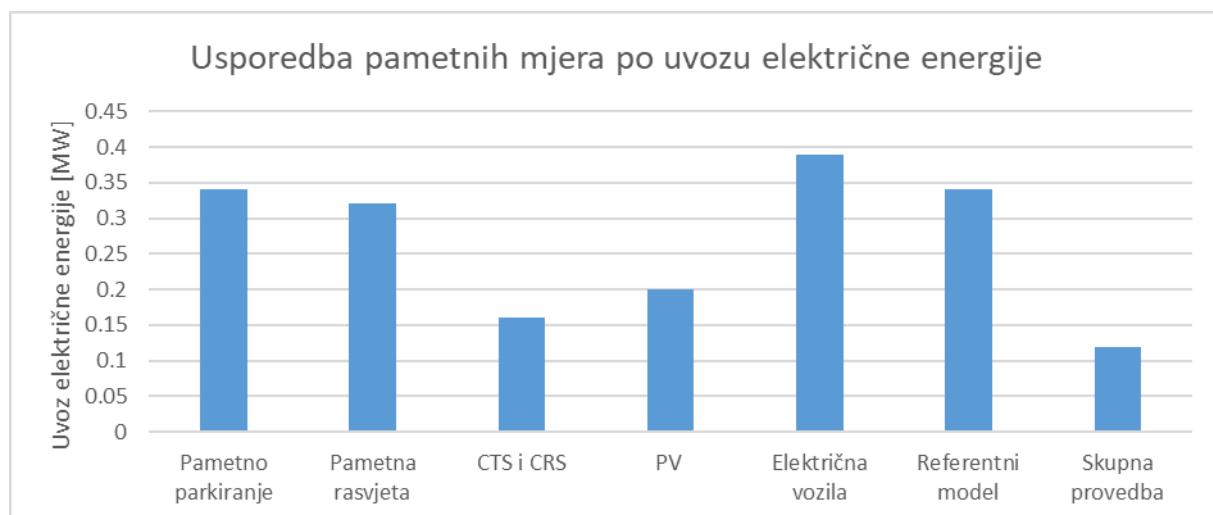
Daleko najveće uštede postižu se skupnom provedbom svih mjera.

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.

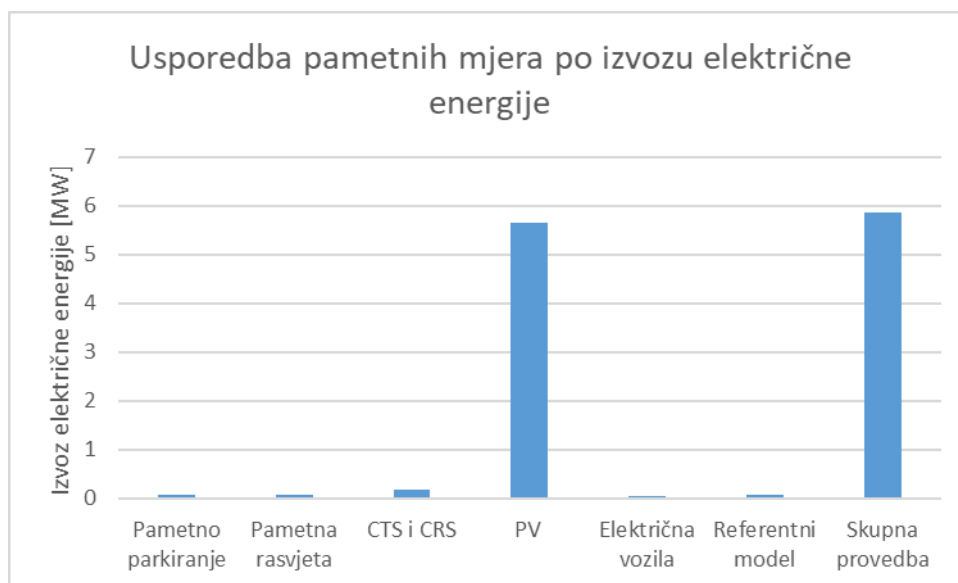


Dijagram 3. Usporedba pametnih mjera po uvozu električne energije

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.

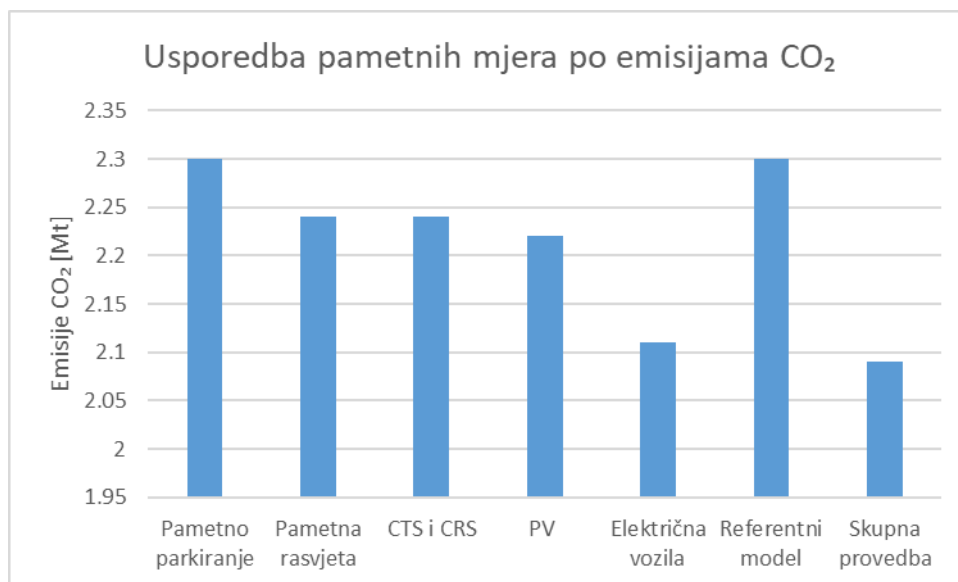


Dijagram 4. Usporedba pametnih mjera po izvozu električne energije

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 Krležę, <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.