

ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ

Назив	Симулација и евалуација ефеката флексибилности крајње потрошње електричне енергије на географским острвима
Аутори	Марко Јелић, Никола Томашевић, Марко Батић (Институт Михајло Пупин)
Категорија	Битно побољшано техничко решење на међународном нивоу (M83) Доказ: Рад у часопису категорије M22 Jelić, M.; Batić, M.; Tomašević, N.; Barney, A.; Polatidis, H.; Crosbie, T.; Abi Ghanem, D.; Short, M.; Pillai, G. Towards Self-Sustainable Island Grids through Optimal Utilization of Renewable Energy Potential and Community Engagement. Energies 2020, 13, 3386. https://www.mdpi.com/1996-1073/13/13/3386
Кључне речи	Планирање електро-енергетског система, управљање потрошњом, снабдевање електричном енергијом географских острва, систем за подршку одлучивању

За кога је решење рађено (правно лице или грана привреде):
Техничко решење је рађено за потребе академске заједнице и образовних институција.
Година када је решење комплетирано:
2020
Година када је почело да се примењује и од кога:
Примена техничког решења је почела у 2020. години. Корисник: Научна заједница увидом у рад у часопису категорије M22
Област и научна дисциплина на коју се техничко решење односи:
Техничко-технолошке науке; информационо-комуникационе технологије

Технички елаборат:

- Проблем који се техничким решењем решава
- Стање решености тог проблема у свету
- Опис техничког решења са карактеристикама, укључујући пратеће илустрације и техничке цртеже
- Референце

ТЕХНИЧКИ ЕЛАБОРАТ

Проблем који се техничким решењем решава:

Introduction

Geographical islands present a particularly complex problem in terms of ensuring electric energy stability and sustainability. Namely, due to their, more or less pronounced, isolation, their power systems are either operated in what is most commonly called “island” mode, meaning they are independent from the mainland and that all local loads are met using energy generated or converted on the very island, or operated using a limited cable connection with the mainland. Whatever the case is, constant and careful balancing of supply and demand must be ensured so that the energy supply remains stable. On the other hand, delivering energy to an island is a costly process with notable impacts on the environment. Namely, many islands rely on fuel shipments which is later burned on-site to generate electricity. This reliance results in the energy supply system being precarious, as well as energy being costly for end users.

Problem definition

The growing share of renewable energy source (RES) generation in power systems worldwide has been long considered as a great opportunity to reduce greenhouse gas (GHG) emissions through incremental phasing out of traditional polluting energy sources. However, due to their high reliance on meteorological conditions, which are intrinsically stochastic, the power supplied from RES is characterized as intermittent and highly unpredictable, at least when compared to traditional easily controllable energy generation processes. Therefore, achieving a balance between the currently available supply and the demand for end users is generally bridged using large-scale storage systems like batteries that can be charged during times when energy is being overproduced (e.g. mid-day periods when the solar irradiance is the most intense, or during night-time when the wind is blowing strongly) and then later discharged (e.g. during afternoon peak periods) when demand is high and the production is not. Implementing batteries has also allowed residential users to make use of variable tariffs (e.g. time of use (ToU) tariffs) and store energy during low-demand periods with lower prices and then use the stored energy later. This mechanism results in the minimization of costs for end users while, also, easing the burden on the grid, since it allows for maximization of self-consumption (using most of the locally produced energy) as well as increasing demand in periods with lower consumptions, e.g. during the night.

However, the development of energy storages solutions has been reliant on the utilization of certain chemical elements like lithium, for which the process of its extraction and exploitation has been linked to negative impacts on the environment. Furthermore, the introduction of batteries into users' energy infrastructure can be costly, requiring economical assessments and ensuring optimal operation during the lifetime of the asset. Therefore, a question has been posed if demand flexibility can be utilized to supplement storage technologies in a notable capacity, thus alleviating the necessity for their introduction as a means for solving the balancing problem. In order to assess this possibility, a software-based simulation has been developed using an optimization scenario that tests different levels of renewable generation capacity and demand flexibility with respect to predicted load levels and calculate the savings that can be achieved on the scale of an entire island

system, while having in mind initial acquisition and maintenance costs of all the necessary equipment.

Стање решености тог проблема у свету:

State of the art solutions

Several studies have been conducted regarding the planning aspect of island electric grid and island energy supply systems in general. The reliance of Mediterranean islands on fossil fuels has been analysed in [1] with a focus on the utilization of RES potential and their economic feasibility. Economic feasibility is also the main objective of the study conducted in [2] which focuses on analysing the effects of RES installations on small islands. A more focused, Carribean, use case has been depicted in [3] with high RES penetration. An also focused, Canary Islands, use case has been studied with regards to energy poverty and energy planning with local energy policies in mind in [4].

In general, various methodologies have been applied for energy system optimizations. Heuristics like the genetic algorithm (GA) can be found in [5] and [6], particle swarm optimizations (PSO) in [7] and artificial neural networks (ANNs) in [8]. Arguably, the most prominent method for long term feasibility assessment and energy system planning applications have been linear programming (LP) approaches. Due to their high versatility, simultaneously offering high efficiency with the help of optimization libraries like IBM's ILOG CPLEX, Gurobi and others, as well as offering the ability to easily adapt the model to include various types of flexibilities, these approaches are commonly chosen with low-resolution data applications.

Namely, when assessing long-term feasibility, the input error, especially when meteorological data is considered as this is necessary when evaluating RES output, dictates that overall trends should be observed rather than focusing on high precision in the short-term. For example, [9] offers a mixer-integer linear programming (MILP) model for 24 hour-ahead optimizations with loads considered as aggregate values. Small-scale RES installations with energy storages are optimized using MILP by [10], while [11] optimizes a residential microgrid with the inclusion of both photovoltaics and wind turbines with a year-long horizon used for the implemented methodology.

Concretely, optimization has been applied for energy system assessments, but very few papers focus specifically on island energy systems. However, a few use cases can be isolated, like [12] that considers a comprehensive multi-source system which includes solar photovoltaics (PVs), wind turbines (WT), diesel and other types of generation, or [13] where a scenario that combines optimization with demand flexibility with a focus on heating systems is presented. Demand response (DR) is analysed specifically as a potential source of demand flexibility in [14].

Опис техничког решења са карактеристикама, укључујући пратеће илустрације и техничке цртеже:

Proposed Algorithm

The proposed approach entails that for a preselected set of configurations (models of the system with different parameters such as RES generation capacity, demand flexibility, etc., selected using heuristics with regards to total consumption requirements and realistic possibilities with regards to

the selected use case) the core model of the system is parametrized or, in other words, adequately instantiated and optimized for lowest possible costs. Once the optimization process is concluded for all considered configurations, each one can be used as a representative of how much savings can be achieved when a given mechanism is applied, allowing for the selection of one (or more) best-case configurations for the given use case. This process has been illustrated using a simplified flowchart representation given in Figure 1.

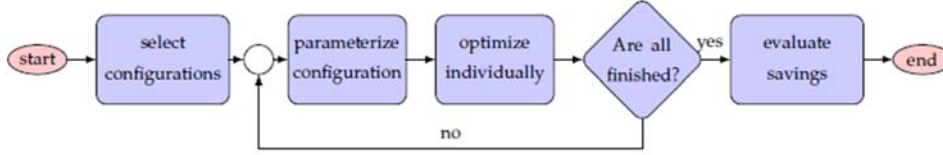


Figure 1 - A simplified flowchart representation of the simulation process

The model used for this simulation and assessment procedure was based on the Energy Hub, originally proposed in [15] and further explored in [16]. The core structure of the Energy Hub, as depicted in [16] and illustrated in Figure 2.

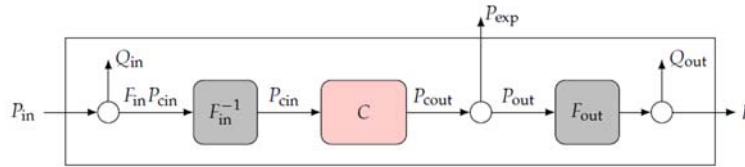


Figure 2 - Illustration of an Energy Hub

The Energy Hub, in this format, is represented using a sequential set of matrix multiplication transformations. The incoming power, P_{in} is either stored in the input storage stage or supplemented from it with charge power denoted as Q_{in} (negative Q_{in} represents discharging), or further dispatched to the system as $F_{in}P_{cin}$. This power going towards the system is then multiplied by the input transformation matrix F_{in}^{-1} , resulting in the power P_{cin} going through to the conversion stage denoted by matrix C . This stage is used to model various losses associated with the processes of energy transformation with

$$P_{cout} = CP_{cin}.$$

The output power from the conversion stage can either be exported as P_{exp} or sent to the output transformation stage, as given by

$$P_{cout} = P_{exp} + P_{out}$$

with the output transformation stage defined by the corresponding matrix F_{out} which allows for different energy carriers to be aggregated or disaggregated. In the final stage, power can be used to charge, or taken from, user-side storages with the corresponding charge rate Q_{out} (negative if storage is discharged) or dispatched to the loads L .

The Energy Hub was instantiated to reflect a simplified energy supply network of the island using the following matrices

$$F_{in}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

which defines that PV electric energy and cable imports are directly dispatched to the system,

$$C = \begin{bmatrix} \eta_t & 0 \\ 0 & \eta_i \end{bmatrix},$$

which is used to depict typical AC/AC transformer and DC/AC inverter losses and corresponding linear approximation of efficiencies ($\eta_t = 98\%$ and $\eta_i = 95\%$, respectively), and

$$F_{out} = [1 \quad 1]$$

which defines that both types of electric energy are combined to fulfil the user electric demand.

The model is extended to specifically allow for a portion of the load curve to be shifted. Precisely, a flexibility band is assumed around the calculated load values with the load variable of the model, L , bound between

$$L_{min} = (1 - f_L)L_{base} \leq L \leq (1 + f_L)L_{base} = L_{max}$$

with f_L considered as a variable value that illustrate how intense the demand flexibility is. Different RES sizing configurations will be considered alongside different demand flexibility levels so that the potential savings in each case can be calculated. However, since lowering operational costs is the main objective of the optimization, an integral energy constraint is added as

$$(\forall k \in \{1, 2, \dots, 365\}) \quad \sum_{t=24(k-1)+1}^{24k} L(k) = \sum_{t=24(k-1)+1}^{24k} L_{base}(k)$$

meaning that only intra-day load relocation is allowed and that the total daily energy consumed must remain the same between the calculated baseline profile L_{base} and what the optimization outputs.

While the main objective of the optimization when returning the optimal load profile, energy import and export schedule, etc., is to minimize operational costs, it should be noted that acquiring the necessary assets (for example RES) as well as their maintenance present significant costs that should be offset by savings that can be achieved through their implementation. Therefore, after optimizing each individual configuration and minimizing the operational costs given by J_{opex} , each configuration is analyzed so its total costs can be determined as given by the formula

$$C_{total} = J_{opex} + 12 \sum (X_i^{EMI} + X_i^{maing})$$

where X_i^{EMI} depicts the equated monthly installments (similar to the monthly bill for a lease) for all considered assets while X_i^{maing} represents the associated maintenance costs with running the system for the considered year-long period.

The model is implemented as a mixed-integer linear programming optimization problem using IBM's ILOG CPLEX for Matlab in its standard form using equality and inequality matrices A_{eq} , A_{ineq} and vectors b_{eq} , b_{ineq} as well as lower and upper bound vectors l_b and u_b as given by

$$\begin{aligned} A_{eq}x &= b_{eq} \\ A_{ineq}x &\leq b_{ineq} \end{aligned}$$

$$l_b \leq x \leq u_b.$$

The equality and inequality constraints are ordered as illustrated by Figure 3 with each block of rows in the main equality matrix representing a given constraint type (e.g. an equation that holds for every moment in time) and each block of columns representing a given variable type (e.g. imported power, load, etc.) in each moment in time.

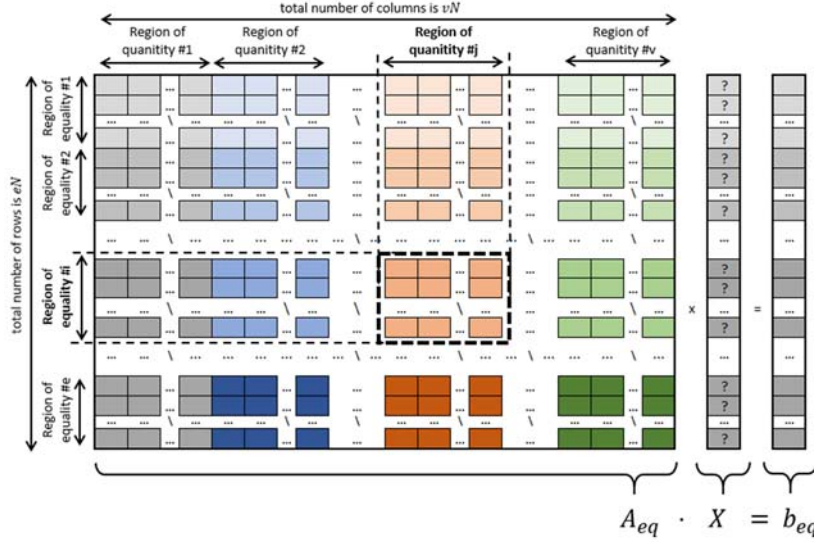


Figure 3 - Illustration of the constraint layout

Use case demonstration

In order to assess the performance and capabilities of the system, a use case will be assumed based on real-world historical data for the Spanish La Graciosa island in the Canary Islands archipelago. The necessary parameters for successfully conducting the simulation include obtaining the expected RES production profile, the expected load profile and the applicable energy tariff (pricing profile) that is available for end users.

Namely, using the open database of typical meteorological year (TMY) records [17] and the MERRA tools adapted for assessing RES production profiles [18], PV and WT generation can be easily forecasted for a year-long horizon, most commonly used for longer-term analyses. Using this data, distributions for the most influential meteorological parameters are analyzed and visualized as box plots. Based on these values, illustrated partially in Figure 4, as well as applicable regulatory constraints on the considered island, PV generation has been selected as the most realistic option through individual or community owned rooftop installations. Varying capacities of PV generation will be analyzed in the following section.

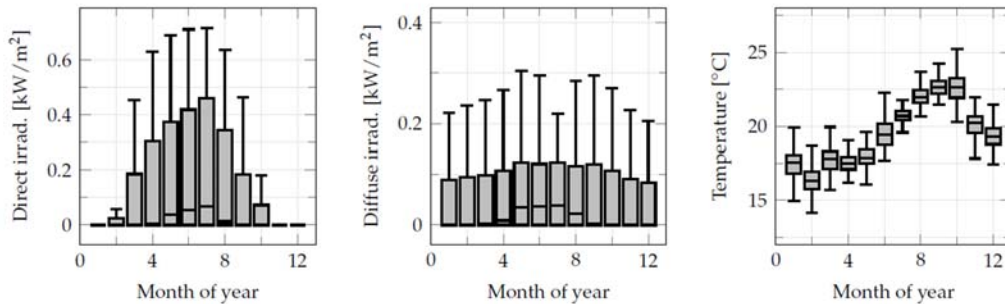


Figure 4 - Box plot of meteorological parameters

On the other hand, the year-long hourly load curve can be estimated using smart meter records obtained by local energy service companies (ESCOs). This data was separated into working day and weekend day profiles (hourly energy share of daily consumption), shown in Figure 5. These profiles are then scaled up by total daily energy consumption, calculated based on total monthly consumptions shown in Figure 6.

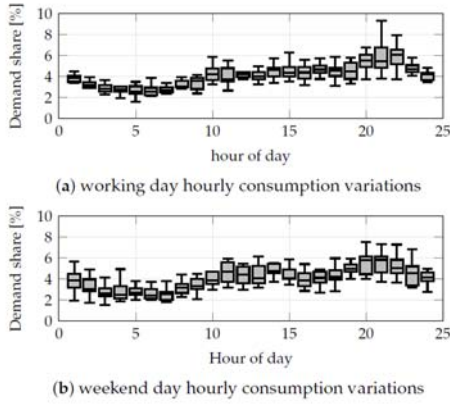


Figure 5 - Hourly energy use profiles

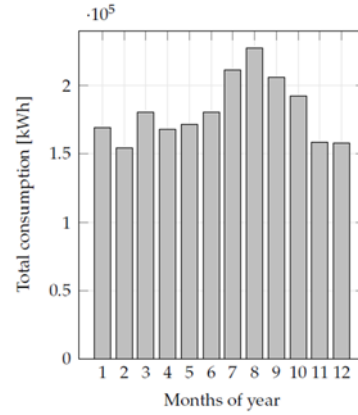


Figure 6 - Total monthly energy consumptions

When this data is combined, the hourly year-long demand curve L_{base} can be estimated and is visualized for La Graciosa in Figure 7.

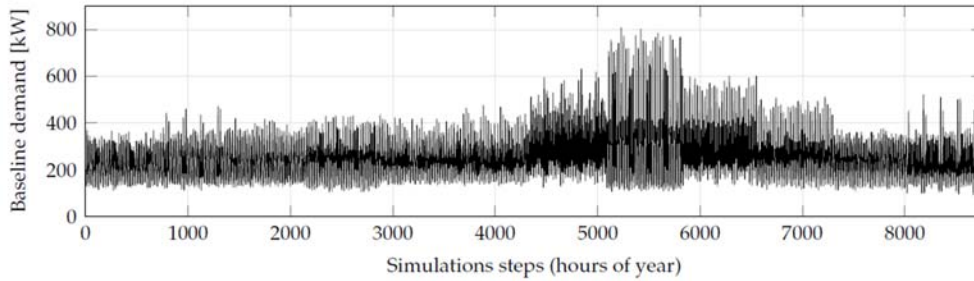


Figure 7 - Estimated demand curve

Since the overwhelming majority of users (around 91%) are contracted to a 10 kW tariff with a fixed price of 16.2 cEUR/kWh, this value is assumed as the indicator at which price energy is obtained by the submarine cable that connects La Graciosa to the nearest larger land mass.

With regards to defining a price profile at which energy can be sold in case of RES overproduction, wholesale market conditions for Spain have been analysed. Since the price of electricity varies on an hourly basis, a simplification has been made by first normalizing a selection of working day and weekend day price profiles so that the daily average equals one. The results of this analysis, presented in Figure 8, show that both profiles follow a similar shape with the peaks and valleys of the working day profile being somewhat more pronounced.

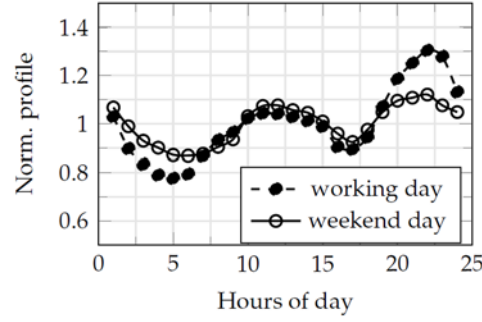


Figure 8 - Normalized working and weekend day estimates of electric energy price profiles

Afterwards, the daily average price has been observed, as depicted in Figure 9, and these very values have been used as scaling factors for the previously extracted normalized working day and weekend day price profiles. By doing this, estimated hourly price for each day can be concatenated, thus forming an hourly year-long price profile that can be used for evaluating the revenue from energy exports.

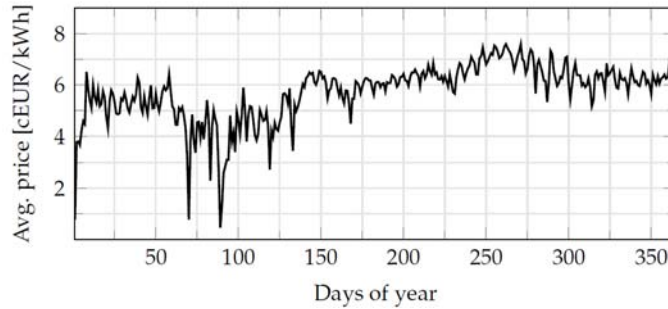


Figure 9 - Daily average electricity price

Results

In order to obtain a baseline of what level of savings can be expected when only introducing RES into the system, the installed power of PV is varied in the assumed case of La Graciosa with the flexibility level set to 0 and the obtained savings over the case with no RES have been recorded and the Figure 10 has been extracted. This figure shows that, for example, with 200 kWp of PV generation, savings of around 10% can be expected, while with 600 kWp of PV, savings of around 30% can be expected.

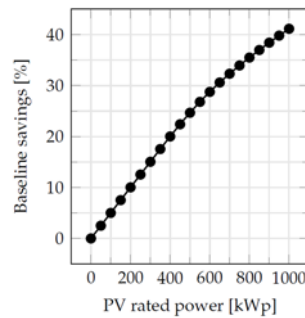


Figure 10 - Baseline savings with RES present but no demand flexibility

Following the calculation of the baseline savings, the simulation has been extended to also include different levels of flexibility between 0 and 60% with values around 20% realistically expectable with the inclusion of adequate levels of user interactions and guidance provided [19], while ongoing internal studies have shown that even more can be achieved using extreme ToU profiles. These results are presented in Figure 11 in form a surface in 3D space where the first axis corresponds to the variable level of installed PV generation capacity, the second axis corresponds to the variable assumed level of demand flexibility and the third axis corresponds to the additional percentage of savings that can be achieved on top of what is given in Figure 10.

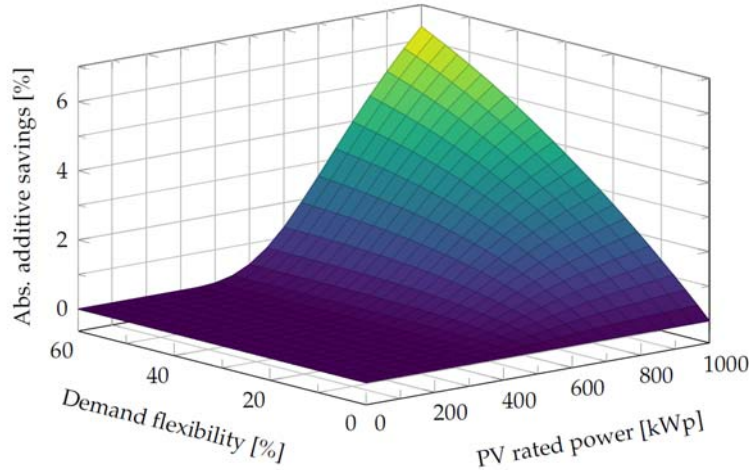


Figure 11 - Absolute additional savings that can be achieved when demand flexibility is included

In other words, in order to assess the total savings that can be achieved with both RES and demand flexibility, for a given scenario, first the baseline savings percentage should be obtained for the corresponding RES size from Figure 10, and then that value should be increased by the savings percentage from Figure 11 for the corresponding RES capacity and demand flexibility level. With the goal of easier visualization of the results obtained in Figure 11, the savings surface has been projected to the savings-RES capacity and savings-flexibility planes, with each line depicting a link between the absolute additive savings that can be achieved when the second input is fixed and the one on the x-axis is varied.

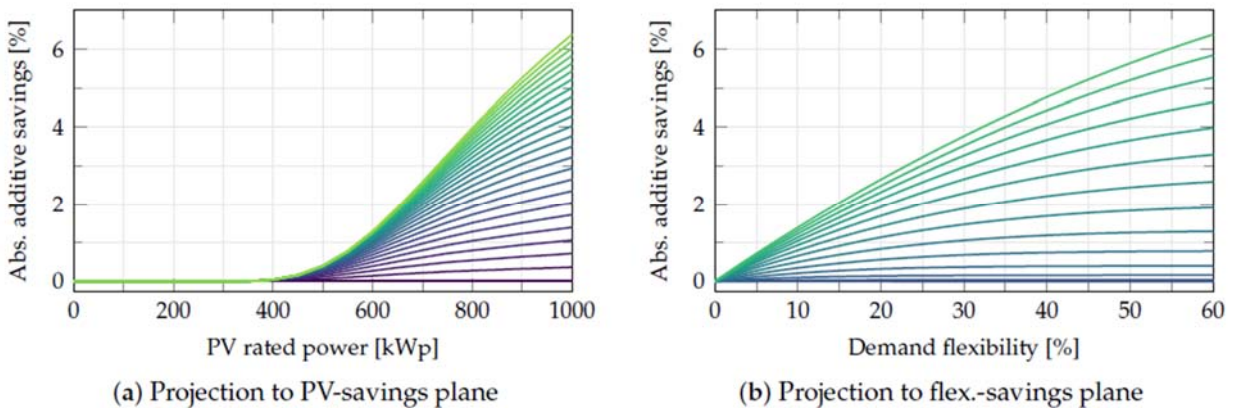


Figure 12 - Projections of absolute additional savings to the two planes

An interesting value to monitor is the proportion of the additional savings that are achieved by the inclusion of demand flexibility as a part of the baseline savings. Table 1 shows an excerpt of

absolute additive savings due to flexibility with corresponding proportion values of these values when compared with the baseline savings. These results indicate that the potential of load flexibility should not be neglected as a powerful mechanism, on top of RES generation, for supply and demand balancing.

**Table 1 - An excerpt of the additional savings by absolute value
(and as percentage of baseline savings in parentheses)**

dem. flex. [%]	PV Rated Power [kWp]			
	400	600	800	1000
10	0.02 (0.1)	0.39 (1.4)	0.80 (2.2)	1.06 (2.6)
15	0.03 (0.2)	0.69 (2.4)	1.51 (4.3)	2.04 (5.0)
20	0.04 (0.2)	0.84 (2.9)	1.93 (5.4)	2.65 (6.4)
25	0.04 (0.2)	0.96 (3.3)	2.31 (6.5)	3.23 (7.8)
30	0.04 (0.2)	1.06 (3.7)	2.66 (7.5)	3.77 (9.2)
35	0.04 (0.2)	1.13 (3.9)	2.96 (8.3)	4.29 (10.4)

Референце:

- [1] Diane Cassar *et al.*, “A Methodology for Energy Planning in Small Mediterranean Islands, the Case of the Gozo Region,” in *2019 1st International Conference on Energy Transition in the Mediterranean Area (SyNERGY MED)*, May 2019, pp. 1–6, doi: 10.1109/SyNERGY-MED.2019.8764131.
- [2] S. Szabó, I. Kougias, M. Moner-Girona, and K. Bódis, “Sustainable Energy Portfolios for Small Island States,” *Sustainability*, vol. 7, no. 9, Art. no. 9, Sep. 2015, doi: 10.3390/su70912340.
- [3] D. F. Dominković, G. Stark, B.-M. Hodge, and A. S. Pedersen, “Integrated Energy Planning with a High Share of Variable Renewable Energy Sources for a Caribbean Island,” *Energies*, vol. 11, no. 9, Art. no. 9, Sep. 2018, doi: 10.3390/en11092193.
- [4] M. Uche-Soria and C. Rodríguez-Monroy, “Special Regulation of Isolated Power Systems: The Canary Islands, Spain,” *Sustainability*, vol. 10, no. 7, Art. no. 7, Jul. 2018, doi: 10.3390/su10072572.
- [5] Y. Lu, S. Wang, Y. Zhao, and C. Yan, “Renewable energy system optimization of low/zero energy buildings using single-objective and multi-objective optimization methods,” *Energy and Buildings*, vol. 89, pp. 61–75, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.12.032.
- [6] E. Pallotti, F. Mangiatordi, M. Fasano, and P. D. Vecchio, “GA strategies for optimal planning of daily energy consumptions and user satisfaction in buildings,” in *2013 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, May 2013, pp. 440–444, doi: 10.1109/EEEIC.2013.6549556.
- [7] J. Agneessens, T. Vandoorn, B. Meersman, and L. Vandeveld, “The use of binary particle swarm optimization to obtain a demand side management system,” in *IET Conference on Renewable Power Generation (RPG 2011)*, Sep. 2011, pp. 1–6, doi: 10.1049/cp.2011.0228.
- [8] E. Matallanas *et al.*, “Neural network controller for Active Demand-Side Management with PV energy in the residential sector,” *Applied Energy*, vol. 91, no. 1, pp. 90–97, Mar. 2012, doi: 10.1016/j.apenergy.2011.09.004.
- [9] C. Clastres, T. T. Ha Pham, F. Wurtz, and S. Bacha, “Ancillary services and optimal household energy management with photovoltaic production,” *Energy*, vol. 35, no. 1, pp. 55–64, Jan. 2010, doi: 10.1016/j.energy.2009.08.025.

- [10] N.-K. C. Nair and N. Garimella, "Battery energy storage systems: Assessment for small-scale renewable energy integration," *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 11, pp. 2124–2130, Nov. 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.07.002.
- [11] R. Atia and N. Yamada, "Sizing and Analysis of Renewable Energy and Battery Systems in Residential Microgrids," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, no. 3, pp. 1204–1213, May 2016, doi: 10.1109/TSG.2016.2519541.
- [12] F. Wu and L. Yang, "Simulation of the integrated energy system for isolated island," in *2017 China International Electrical and Energy Conference (CIEEC)*, Oct. 2017, pp. 527–531, doi: 10.1109/CIEEC.2017.8388503.
- [13] C. Finck, R. Li, and W. Zeiler, "Optimal control of demand flexibility under real-time pricing for heating systems in buildings: A real-life demonstration," *Applied Energy*, vol. 263, p. 114671, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114671.
- [14] R. El Geneidy and B. Howard, "Contracted energy flexibility characteristics of communities: Analysis of a control strategy for demand response," *Applied Energy*, vol. 263, p. 114600, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114600.
- [15] P. Favre-Perrod, "A vision of future energy networks," in *2005 IEEE Power Engineering Society Inaugural Conference and Exposition in Africa*, Jul. 2005, pp. 13–17, doi: 10.1109/PESAfr.2005.1611778.
- [16] M. Batić, N. Tomašević, G. Beccuti, T. Demiray, and S. Vraneš, "Combined energy hub optimisation and demand side management for buildings," *Energy and Buildings*, vol. 127, pp. 229–241, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.05.087.
- [17] T. E3P, "Typical Meteorological Year (TMY)," Sep. 02, 2016. <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/articles/typical-meteorological-year-tmy> (accessed Oct. 29, 2019).
- [18] "Renewables.ninja." <https://www.renewables.ninja/> (accessed Nov. 15, 2019).
- [19] A.-D. Barbu, N. Griffiths, G. Morton, and others, "Achieving energy efficiency through behaviour change: what does it take," *Publications Office*, 2013.

Марко Јелић, листа техничких решења

M82

1. Марко Батић, Никола Томашевић, Марко Јелић, Сања Вранеш: "Развој интегрисаног оптимизационог алгоритма за анализу утицаја флексибилности потрошње на оптималну конфигурацију хибридних микро-мрежа", 2019, ТР32010

Никола Томашевић, листа техничких решења

M81

1. Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Сања Вранеш: "Предикција перформанси студената у оквиру OpenCourseWare платформи применом "data-mining" техника", 2019, TP32010
2. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Симулационо и тренинг окужење за обуку особља аеродрома", 2013, TP32010

M82

1. Марко Батић, Никола Томашевић, Марко Јелић, Сања Вранеш: "Развој интегрисаног оптимизационог алгорита за анализу утицаја флексибилности потрошње на оптималну конфигурацију хибридних микро-мрежа", 2019, TP32010

M85

1. Деа Пујић, Никола Томашевић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш: "Спецификација, развој и интеграција система за неинтрузивни мониторинг потрошње електричне енергије", 2019, TP32010
2. Марко Батић, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Сања Вранеш: "Развој интегрисаног софтверског система за више-критеријумско управљање хибридних микро-мрежама", 2018, TP32010
3. Марко Батић, Никола Томашевић, Јелена Кљајић, Сања Вранеш: "Спецификација и развој софтверске компоненте за аналитику потрошње електричне енергије крајњег потрошача", 2018, TP32010
4. Никола Томашевић, Валентина Јанев, Сања Вранеш: "Развој система за управљање критичним инфраструктурама у ванредним ситуацијама заснован на парадигми обраде комплексних догађаја", 2018, TP32010
5. Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Примена технике колаборативног филтрирања ради препоруке материјала за учење у оквиру OpenCourseWare платформи", 2018, TP32010
6. Никола Томашевић, Марко Батић, Лазар Бербаков: "Имплементација интегративне платформе засноване на сервисно-оријентисаној архитектури за побољшање интероперабилности система у оквиру концепта интелигентних кућа", 2018, TP32010
7. Никола Томашевић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Сервисно-оријентисана архитектура за интеграцију и интероперабилност система у оквиру концепта интелигентних кућа", 2017, TP32010
8. Марко Батић, Никола Томашевић, Милан Ђуровић, Сања Вранеш: "Развој иновативних апликативних сценарија за повећање енергетске ефикасности кроз ангажовање крајњих потрошача", 2017, TP32010
9. Марко Батић, Никола Томашевић, Сања Вранеш: "Евалуација ефеката управљања потрошњом на дугорочну исплативости хибридних микро-мрежа са обновљивим изворима енергије уз помоћ SOFIA платформе", 2017, TP32010
10. Никола Томашевић, Марко Батић, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Спецификација канонског модела података за комуникацију системских компоненти у оквиру концепта интелигентних кућа", 2017, TP32010
11. Марко Батић, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Огњен Стаменковић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Квалитативно унапређење система за контролу и управљање енергетским ресурсима комплексних инфраструктура са различитим изворима енергије", 2016, TP32010
12. Валентина Јанев, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Урош Милошевић, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "LinkedData.rs Садржаји за електронско учење", 2016, TP32010

13. Никола Томашевић, Марко Батић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Унапређење репликабилности и скалабилности SOFIA система за управљање ванредним ситуацијама", 2016, TP32010
14. Марко Батић, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Огњен Стаменковић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Систем за контролу и управљање на бази софтверког модула за оптимизацију комплексних инфраструктура са различитим изворима енергије", 2015, TP32010
15. Марко Батић, Никола Томашевић, Јелена Јовановић, Огњен Стаменковић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш: "Спецификација и архитектура система за прикупљање, размену и ажурирање података након ванредне ситуације, током фазе спасавања", 2015, TP32010
16. Никола Томашевић, Марко Батић, Јелена Јовановић, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Интерфејс система за надзор и контролу инфраструктуре аеродрома према софтверском модулу за оптимизацију производње и потрошње енергије", 2015, TP32010
17. Никола Томашевић, Марко Батић, Јелена Јовановић, Валентина Јанев, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Емулатор мерног окружења за тестирање система за оптимизацију токова енергије међусобно повезаних ентитета са различитим изворима енергије", 2015, TP32010
18. Марко Батић, Никола Томашевић, Урош Милошевић, Тамара Јовановић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш: "Обједињени систем за синхронизацију времена и података након ванредне ситуације, током фазе спасавања", 2015, TP32010
19. Младен Станојевић, Никола Томашевић, Марко Батић, Јелена Јовановић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Програмски интерфејс за екстракцију знања из онтологије аеродрома за потребе повећања енергетске ефикасности", 2014, TP32010
20. Младен Станојевић, Марко Батић, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Софтверски модул за оптимизацију производње и потрошње енергије аеродрома у реалном времену", 2014, TP32010
21. Марко Батић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Вук Мијовић, Никола Томашевић, Сања Вранеш: "Анализа и спецификација комуникационих мрежа потребних након ванредне ситуације, током фазе спасавања", 2014, TP32010
22. Младен Станојевић, Никола Томашевић, Марко Батић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Софтверски модул за препоруку профила потрошње енергије у комплексном систему са различитим изворима енергије", 2014, TP32010
23. Никола Томашевић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Генеричка онтологија аеродрома моделована за потребе повећања енергетске ефикасности аеродрома", 2013, TP32010
24. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Симулационо и тренинг окружење за обуку особља аеродрома", 2013, TP32010
25. Никола Томашевић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Проширење и популација инстанци генеричке онтологије аеродрома за потребе повећања енергетске ефикасности аеродрома", 2013, TP32010
26. Никола Томашевић, Марко Батић, Дејан Пауновић, Урош Милошевић, Сања Вранеш: "Спецификација енергетских карактеристика аеродрома као отвореног простора", 2012, TP32010
27. Валентина Јанев, Вук Мијовић, Lydia Kraus, Никола Томашевић, Јелена Јовановић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Оперативни сценарији за аеродром", 2012, TP32010
28. Валентина Јанев, Вук Мијовић, Lydia Kraus, Никола Томашевић, Јелена Јовановић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Систем за подршку одлучивању у кризним ситуацијама на аеродрому", 2012, TP32010
29. Никола Томашевић, Марко Батић, Урош Милошевић, Сања Вранеш: "Техничка карактеризација и системска архитектура аеродрома", 2012, TP32010

30. Никола Томашевић, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Марко Рибарић, Марко Батић, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Развој генеричке онтологије просторних и функционалних компоненти комплексних објеката (CO2 – Complex Object Ontology)", 2011, TP32010
31. Марко Батић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Марко Рибарић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Проширење генеричке CO2 онтологије за управљање објектима са микромрежама локалних обновљивих извора енергије", 2011, TP32010
32. Никола Томашевић, Вук Мијовић, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Проширење генеричке CO2 онтологије за управљање аеродромима", 2011, TP32010
33. Сања Вранеш, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Валентина Јанев, Младен Станојевић: "Развој метамодела података и "mark-up" језика за потребе комуникације са SCADA системима", 2011, TP32010
34. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Анализа захтева и израда UML модела софистицираног графичког корисничког интерфејса", 2011, TP32010
35. Валентина Јанев, Вук Мијовић, Lydia Kraus, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Дефинисање могућих сценарија примене SOFIA окружења на аеродрому „Никола Тесла", 2011, TP32010
36. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Марко Рибарић, Марко Батић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Развој новог, мултипарадигматичног CEP/ECA језика за управљање комплексним објектима", 2011, TP32010
37. Сања Вранеш, Младен Станојевић, Валентина Јанев, Вук Мијовић, Никола Томашевић, Lydia Kraus: "Спецификација захтева и израда UML модела архитектуре SOFIA окружења", 2011, TP32010
38. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Lydia Kraus, Младен Станојевић, Валентина Јанев, Сања Вранеш: "Развој прве верзије прототипа архитектуре SOFIA окружења", 2011, TP32010
39. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Марко Рибарић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Развој прве верзије демонстрационог прототипа примене SOFIA окружења на аеродрому "НиколаТесла", 2011, TP32010

Марко Батић, листа техничких решења

M81

1. Марко Батић, Дејан Пауновић, Сања Вранеш: "Систем за симулацију и планирање дистрибуиране микро-мреже базиране на обновљивим изворима енергије", 2013, TP32010

M82

1. Марко Батић, Никола Томашевић, Марко Јелић, Сања Вранеш: "Развој интегрисаног оптимизационог алгоритма за анализу утицаја флексибилности потрошње на оптималну конфигурацију хибридних микро-мрежа", 2019, TP32010
2. Марко Батић, Јелена Кљајић: "Модул за заштићену размену осетљивих података крајњих потрошача", 2019, TP32010
3. Марко Батић, Стефан Стојков, Марко Нанковски: "Географски информациони систем за вишекритеријумско праћење и управљање крајњим потрошачима", 2019, TP32010
4. Марко Батић, Лазар Бербаков: "Развој мобилне апликације за управљање енергијом у интелигентним зградама", 2019, TP32010

M84

1. Тамара Јовановић, Марко Батић, Весна Петковски, Милена Милојевић, Небојша Радмиловић, Иван Николић, Никола Крајновић: "Реализација модела синхроног генератора за потребе симулације међусобног утицаја електро мреже и параметара постројења за производњу електричне", 2013, TP32010

M85

1. Марко Батић, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Сања Вранеш: "Развој интегрисаног софтверског система за више-критеријумско управљање хибридним микро-мрежама", 2018, TP32010
2. Марко Батић, Никола Томашевић, Јелена Кљајић, Сања Вранеш: "Спецификација и развој софтверске компоненте за аналитику потрошње електричне енергије крајњег потрошача", 2018, TP32010
3. Никола Томашевић, Марко Батић, Лазар Бербаков: "Имплементација интегративне платформе засноване на сервисно-оријентисаној архитектури за побољшање интероперабилности система у оквиру концепта интелигентних кућа", 2018, TP32010
4. Никола Томашевић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Сервисно-оријентисана архитектура за интеграцију и интероперабилност система у оквиру концепта интелигентних кућа", 2017, TP32010
5. Марко Батић, Никола Томашевић, Милан Ђуровић, Сања Вранеш: "Развој иновативних апликативних сценарија за повећање енергетске ефикасности кроз ангажовање крајњих потрошача", 2017, TP32010
6. Марко Батић, Никола Томашевић, Сања Вранеш: "Евалуација ефеката управљања потрошњом на дугорочну исплативости хибридних микро-мрежа са обновљивим изворима енергије уз помоћ SOFIA платформе", 2017, TP32010
7. Никола Томашевић, Марко Батић, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Спецификација канонског модела података за комуникацију системских компоненти у оквиру концепта интелигентних кућа", 2017, TP32010
8. Марко Батић, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Огњен Стаменковић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Квалитативно унапређење система за контролу и управљање енергетским ресурсима комплексних инфраструктура са различитим изворима енергије", 2016, TP32010

9. Марко Батић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Унапређена софтверска компонента за позиционирање у затвореном простору у ванредним ситуацијама", 2016, ТР32010
10. Никола Томашевић, Марко Батић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Унапређење репликабилности и скалабилности SOFIA система за управљање ванредним ситуацијама", 2016, ТР32010
11. Марко Батић, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Огњен Стаменковић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Систем за контролу и управљање на бази софтверског модула за оптимизацију комплексних инфраструктура са различитим изворима енергије", 2015, ТР32010
12. Марко Батић, Никола Томашевић, Јелена Јовановић, Огњен Стаменковић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш: "Спецификација и архитектура система за прикупљање, размену и ажурирање података након ванредне ситуације, током фазе спасавања", 2015, ТР32010
13. Никола Томашевић, Марко Батић, Јелена Јовановић, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Интерфејс система за надзор и контролу инфраструктуре аеродрома према софтверском модулу за оптимизацију производње и потрошње енергије", 2015, ТР32010
14. Никола Томашевић, Марко Батић, Јелена Јовановић, Валентина Јанев, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Емулатор мерног окружења за тестирање система за оптимизацију токова енергије међусобно повезаних ентитета са различитим изворима енергије", 2015, ТР32010
15. Марко Батић, Никола Томашевић, Урош Милошевић, Тамара Јовановић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш: "Обједињени систем за синхронизацију времена и података након ванредне ситуације, током фазе спасавања", 2015, ТР32010
16. Младен Станојевић, Никола Томашевић, Марко Батић, Јелена Јовановић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Програмски интерфејс за екстракцију знања из онтологије аеродрома за потребе повећања енергетске ефикасности", 2014, ТР32010
17. Валентина Јанев, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Марко Батић, Младен Станојевић, Јелена Јовановић-Васовић, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Спецификација техничког решења система за управљање ванредним ситуацијама", 2014, ТР32010
18. Младен Станојевић, Марко Батић, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Софтверски модул за оптимизацију производње и потрошње енергије аеродрома у реалном времену", 2014, ТР32010
19. Марко Батић, Богдан Павковић, Лазар Бербаков, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Вук Мијовић, Никола Томашевић, Сања Вранеш: "Анализа и спецификација комуникационих мрежа потребних након ванредне ситуације, током фазе спасавања", 2014, ТР32010
20. Младен Станојевић, Никола Томашевић, Марко Батић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Софтверски модул за препоруку профила потрошње енергије у комплексном систему са различитим изворима енергије", 2014, ТР32010
21. Марко Батић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Софтверски симулатор микро-мреже за производњу енергије из обновљивих извора", 2013, ТР32010
22. Марко Батић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Софтверски модул за елемент микро-мреже за складиштење енергије", 2013, ТР32010
23. Марко Батић, Дејан Пауновић, Сања Вранеш: "Софтверски симулатор потрошње енергије у микро-мрежи", 2013, ТР32010
24. Марко Батић, Дејан Пауновић, Сања Вранеш: "Систем за симулацију и планирање дистрибуиране микро-мреже базиране на обновљивим изворима енергије", 2013, ТР32010
25. Марко Батић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Тамара Јовановић, Сања Вранеш: "Симулатор за дневно подешавања контролера енергетске микро-мреже", 2013, ТР32010

26. Никола Томашевић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Генеричка онтологија аеродрома моделована за потребе повећања енергетске ефикасности аеродрома", 2013, TP32010
27. Никола Томашевић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Проширење и популација инстанци генеричке онтологије аеродрома за потребе повећања енергетске ефикасности аеродрома", 2013, TP32010
28. Никола Томашевић, Марко Батић, Дејан Пауновић, Урош Милошевић, Сања Вранеш: "Спецификација енергетских карактеристика аеродрома као отвореног простора", 2012, TP32010
29. Никола Томашевић, Марко Батић, Урош Милошевић, Сања Вранеш: "Техничка карактеризација и системска архитектура аеродрома", 2012, TP32010
30. Марко Батић, Дејан Пауновић, Урош Милошевић, Сања Вранеш: "Модел за елементе микро-мреже за производњу енергије из обновљивих извора", 2012, TP32010
31. Марко Батић, Дејан Пауновић, Валентина Јанев, Вук Мијовић, Lydia Kraus, Сања Вранеш: "Интегрисани, системски модел микро-мреже, који укључује изворе, складишта и спрегу са спољашњом електромером", 2012, TP32010
32. Марко Батић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Модел потрошње енергије у комплексним објектима разних намена", 2012, TP32010
33. Валентина Јанев, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Марко Батић, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Развој семантичког web портала за е-колаборацију и дисеминацију резултата", 2011, TP32010
34. Никола Томашевић, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Марко Рибарић, Марко Батић, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Развој генеричке онтологије просторних и функционалних компоненти комплексних објеката (CO2 – Complex Object Ontology)", 2011, TP32010
35. Марко Батић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Марко Рибарић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Проширење генеричке CO2 онтологије за управљање објектима са микромрежама локалних обновљивих извора енергије", 2011, TP32010
36. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Марко Рибарић, Марко Батић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Развој новог, мултипарадигматичног CEP/ECA језика за управљање комплексним објектима", 2011, TP32010
37. Валентина Јанев, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Развој прототипа система за управљање документима на аеродромима", 2011, TP32010