

ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ

Назив	Рангирање корисника по енергетској ефикасности коришћењем ненадгледаног приступа
Аутори	Деа Пујић, Марко Јелић, Марко Батић, Никола Томашевић
Категорија	Ново техничко решење у фази реализације (M85) Доказ: Протокол о тестирању
Кључне речи	Евалуација енергетске ефикасности, класификација потрошача коришћењем машинског учења, ненадгледано учење

За кога је решење рађено (правно лице или грана привреде):

Техничко решење је рађено за потребе компаније Vilogia која је управник зграда за колективно становање у Leers (Француска)

Година када је решење комплетирано:

2020

Година када је почело да се примењује и од кога:

Примена техничког решења је почела у 2020. години, пуштањем у рад система за подршку управљања енергијом крајњих потрошача у зградама за колективно становање у Leers (Француска) у циљу побољшања енергетске ефикасности.

Корисник: Vilogia (Француска)

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

Рангирање корисника по енергетској ефикасности коришћењем несупервизијског приступа

Проблем који се техничким решењем решава:

With the aim of preserving the environment and planet in general, the focus has been recently put on exploring approaches for increasing electrical energy savings. However, these approaches vary depending on the type of users. Unlike in the industrial domain, where saving potential by load rescheduling turns out to be significant, residential users, who make approximately 25% of total energy use, are likely to be much less flexible in their adjustments regarding energy. Therefore, with high research potential, the residential domain has been observed, with a notable goal of influencing user behavioral change towards achieving energy efficiency.

As it is well known, the number of sensors, IoT devices and measurements within homes has significantly increased lately [1]. This enabled research on various energy-related advanced analytics on top of the data which is intended to improve user life quality and result in reducing energy wastes. These analytics cover a wide range of approaches to user behavioral change regarding energy efficiency such as *load disaggregation*, known as Non-Intrusive Load Monitoring [2], *optimization* approaches which are intended to align user's demand with the available renewable energy production taking various constraints into consideration such as prices [3], *data extractors* which are supposed to process high amount of data and delegate useful information to the user [4], [5]. Nonetheless, in all of the above-mentioned approaches, the crucial factor is user motivation.

Therefore, numerous approaches have been proposed in literature for influencing users to change their habits and behaviour. One of those was categorized as user energy efficiency benchmarking, with the main idea to create a competitive environment amongst different users which would steer them to improve their habits and become more energy efficient. Namely, the idea was to rank the users' energy efficiency using a numeric indicator (e.g. score from 0% to 100%). Therefore, this ranking is intended to steer users to try to improve their rank in comparison with the other users or to remain highly positioned if they already hold such an esteemed place amongst their neighbours. This approach is mainly conceptualized taking into consideration the fact that people can adapt more easily if they have the ability to observe a better example, resulting in the creation of unique social pressure which is expected to contribute to improving energy efficiency.

Стање решености тог проблема у свету:

Even though the proposed approach is expected to be beneficial regarding the decrease of energy wastes and improving energy efficiency by the residential users, this topic is quite unexplored in the related literature, especially in comparison with the other energy efficiency related topics such as demand side management, which is why it seemed as more than appropriate to explore this approach in this technical research. Nonetheless, there are several conventional approaches for ranking reviewed in [6] such as normalization, Ordinary Least Square, Stochastic Frontier Analysis

and Data Envelopment Analysis. When artificial intelligence is considered, fuzzy logic [7] approach and artificial neural networks [8] are present in literature.

As a part of the research, exploitation of the clustering approach has been the focus, with the previous work about this methodology applied for energy efficiency has been reviewed in [9]. However, the biggest difference between the previous solutions in comparison with this one is the application, since this research brings the clustering solution to the user benchmarking for the first time. Additionally, all of the obtained results will be presented using real-world data collected from users in Leers, France.

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

The most challenging obstacle regarding benchmarking of user energy efficiency is the definition of a fair ranking criterion and the selection of the appropriate features which should be taken into account for the ranking. The definition of the criterion is considered challenging due to the fact that it can be subjective. For example, in case energy consumption dependence on the occupancy and building characteristics are considered as terms in the criterion function, the corresponding weight factor can take any of an infinite number of values, depending on the decision-maker's preferences.

Consequently, with the motivation of avoiding subjective ranking, an unsupervised clustering approach has been chosen. The main idea of this solution was to provide a service which would categorize users into one out of k energy efficiency categories depending on various characteristics, as presented in Figure 1. This particular figure presents a case with two ranking contributions, each on one of the axes, and three output groups. Nonetheless, the proposed concept supports an arbitrary number of input features, as well as output categories. The main idea is that the model, through its training process, determines relevant parameters of each cluster, so that in the evaluation phase, each user is classified into the group which is the *closest*, or, in other words, most similar to his or her behavior.

As the preferred clustering methodology, the *K-means* algorithm has been chosen. The model has been trained using real-world data from Leers, France. In the K-means model, each out of the k predefined number of clusters is characterized by coordinates of its center. Therefore, during the training phase, the centers of k clusters are calculated, so that the total distance of the training samples from the cluster centers is minimal. Namely, in the beginning of the training process, the

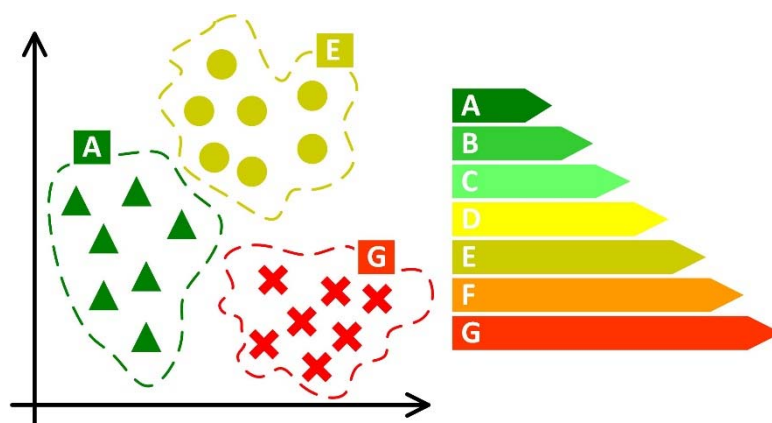


Figure 1 - Illustration of a clustering-based ranking system in two dimensions

centers are initialized using one of several methods (e.g. random) in the region outlined by the examples present in the training set. Eventually, through the training process, in each iteration, coordinates of the centers are updated so that total distance is reduced, or, to be precise, within-cluster sum of square distances between each training sample (observation) and center, up until the changes in the coordinates are insignificant and that it can be concluded that the optimization process has converged.

What is crucial to point out is that this method is designed to provide estimated ranking depending on the previous users behavior thought the estimated model parameters, avoiding the inclusion of a subjective ranking criterion, which was the highest priority when designing this technical solution.

Apart from the model selection, it was crucial to select relevant and available characteristics which should be used for the users' energy efficiency ranking estimation. As it is obvious, the most important feature to be considered was electricity usage. In this particular case, 24 h energy consumption has been selected. Nonetheless, it was unfair to provide a ranking only based on the total consumption, due to different circumstances. For example, if single person in a small flat consumes only 5% energy less than family of five in a big house, it is obvious that it is much more inefficient. Therefore, various other factors are suggested in literature as appropriate input features, such as meteorological parameters. Namely, this should enable normalization of the energy consumption depending on the climate conditions in a specific location. For example, different amount of energy is most definitely needed in Moscow during winter as opposed to in some moderate climate, especially having in mind that both heating and cooling devices are large consumers. Nonetheless, in the particular use case that has been explored as a part of this research, all users were located in one building block, so these parameters were not suitable. Nevertheless, as previously stated, the proposed methodology supports these inputs, even though they will not be considered any further in this report. Additionally, various building characteristic, such as wall thickness, type and quality of isolation, etc. are often proposed as relevant input features. However, similarly to the previous mentioned case with meteorological conditions, and having in mind that all users considered within this study lived in the same building block, these parameters were also not included.

In order to select additional suitable features, analysis of the correlation between the available IoT measurements and total demand on an hourly basis has been carried out. To be precise, besides the total energy consumption, average total occupancy during that hour (*avg_occupancy* []) and average indoor temperature during that hour (*indoor_temperature_avg* [°C]) have been considered within the study. After removing invalid values, for all the variables X their mean values μ_X and standard deviation σ_X and all the values of each variable that were outside the interval $[\mu_X - 2\sigma_X, \mu_X + 2\sigma_X]$ were removed as outliers. Corresponding distribution of the remaining data is presented in form of a normalized histogram with 50 bins, with the mean and standard deviations of the remaining data denoted in the upper right corner, as illustrated in Figure 2. Furthermore, the measurements were analyzed crosswise in order to observe if they exhibit any correlation between each other. The resulting scatter plots, accompanied with a "best fit" straight line obtained using the least square algorithm with the slope and intercept values denoted in the legend, are presented in Figure 3. In this figure, an example of the relationship between *consumption* plotted on all y axes, and *avg_occupancy* and *indoor_temperature_avg* plotted on the respective x axes is given.

Having in mind that the residents in the analyzed apartments utilize electric space heaters and have no cooling equipment, in order to illustrate how seasonality impacts the results, scatterplots showing the relationship between *consumption* and *avg_occupancy* as well as *consumption* and *indoor_temperature_avg* are illustrated in Figures 4 and 5, respectively. Following the graphical analysis of the aforementioned gathered measurements, their correlation is calculated using the Pearson correlation coefficient ρ_{XY} .

Out of the set of all measurements, one by one variable is selected and inserted into the formula for the correlation coefficient alongside *consumption*. By doing this, the results from Table I were obtained with the given values representing the cross-correlation coefficient value (i.e. the value of $\bar{\rho}_{XY}[1, 2] = \bar{\rho}_{XY}[2, 1]$) between the denoted variable in the leftmost column and *consumption*. Correlation between the consumption and occupancy appears to exist, as there are some cases in which Pearson correlation coefficient equals 0.24. Nonetheless, it should be pointed out that in some other data set it is highly likely that this value would be even higher. Namely, particular users considered within this study have lower electricity prices during night, which is why portion of their load is shifted to the night, when occupancy measurements equal zero, due to the fact that corresponding sensor is motion based. On the other hand, when indoor temperature is concerned, the whole dataset in aggregate seems to blur the specific characteristics of seasonal temperature distributions resulting in a negative correlation with the consumption. However, when data for individual seasons is analyzed, all correlation coefficients turn positive, with an especially high correlation observable in winter time, showing that indoor temperature can also be used as a suitable feature. Taking the previous analysis into consideration it can be concluded that both occupancy and indoor temperature are correlated with the users' demand, so that it would be justified to take both of these as the inputs for the benchmarking system.

Table I – Heat map of correlation coefficients between different IoT measurements and consumption

	all	summer	fall	winter
<i>consumption</i>	1.000	1.000	1.000	1.000
<i>avg_occupancy</i>	0.236	0.305	0.058	0.289
<i>indoor_temperature_avg</i>	-0.186	0.032	0.214	0.498

Since apart from the total energy consumption, two additional input features were selected – average daily occupancy and indoor temperature, the K-means algorithm has been designed to have two inputs – the ratio between the total user's energy consumption and the average occupancy and the ratio between the total user's energy consumption and the difference between the average indoor temperature and 30 °C. Also, it was decided to separate users into 3 energy efficiency categories.

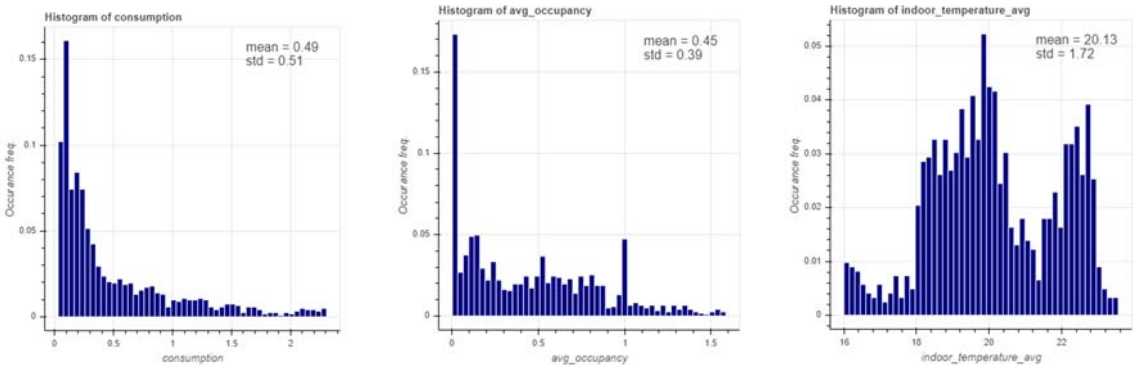


Figure 2 - Histograms illustrating distributions of different IoT measurements

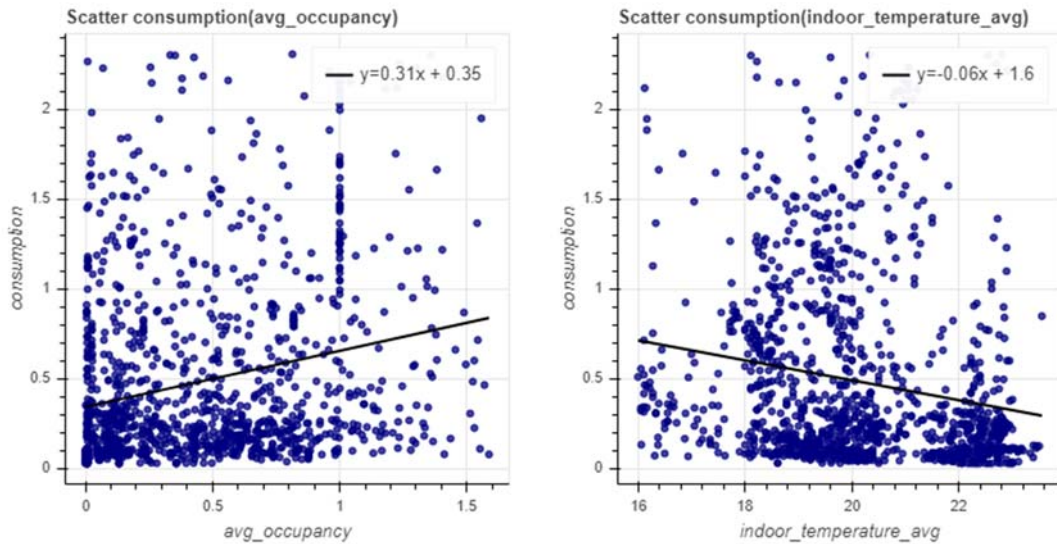


Figure 3 - Dependency between consumption and other IoT measurements

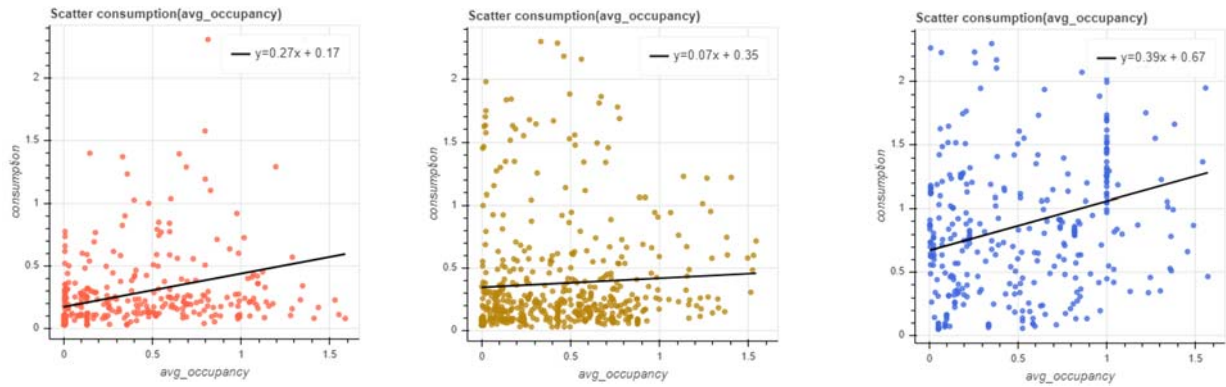


Figure 4 - Dependency between consumption and avg_occupancy depending on the season (from left to right: summer, fall, winter)

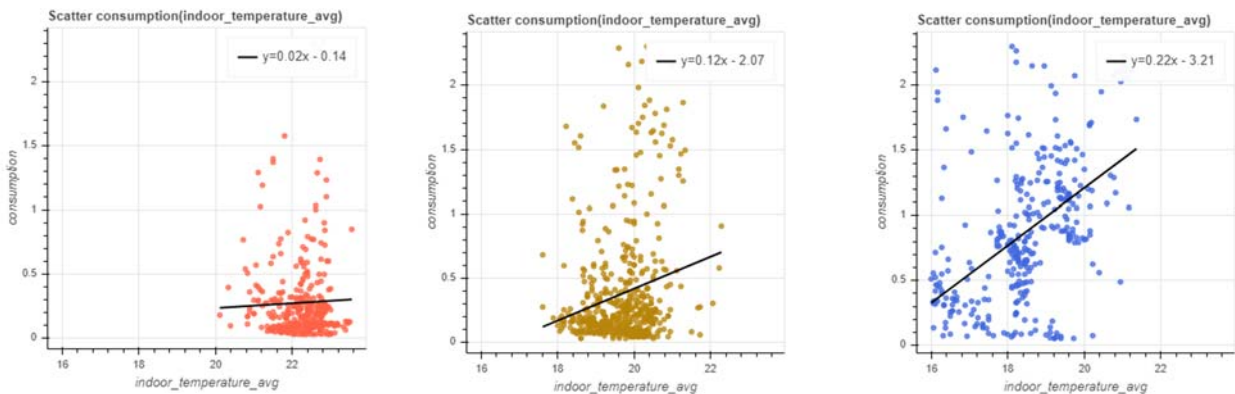


Figure 5 - Dependency between consumption and indoor_temperature_avg depending on the season (from left to right: summer, fall, winter)

Previously explained data has been gathered from nine apartments in Leers, France for three months: August, October and December of 2019, covering periods with various meteorological conditions. All of the obtained data has been preprocess with the special focus on removing outliers, after which the model was trained to separate users into three groups depending on their energy efficiency as the efficient user, the moderately efficient user or inefficient user.

The model was trained using the Python programming language with normalized data and the results of the training process are shown in Figure 6. In the aforementioned figure, three efficiency clusters of the training data have been presented along with the centers of the corresponding three clusters. It should be mentioned that the K-means algorithm does not have the knowledge about the clusters representation, so its semantics should be provided after the training process, by a domain expert. In the case presented in the picture, it was obvious that the cluster which is the closest to origin represents the most efficient users, since both the considered inputs are lower than in other clusters. Nonetheless, giving semantic representation to the remaining two is not that straightforward. The heuristic chosen within this solution was to give priority (i. e. better efficiency rank) to the users who are utilizing energy on account of temperature increase, since it could influence users comfort level rather the once with the higher average occupancy. Therefore, as the moderate energy efficient users, the top left cluster was chosen, while the right one was declared inefficient.

As a result of the fact that K-means is an unsupervised learning approach, the predefined number of clusters significantly influences the final results, especially having in mind that semantics of each cluster has to be added after the training process is finished, thus giving them a meaning. Therefore, in case additional data is presented, and/or more granularity amongst different users is required, the number of clusters k could and be adequately adapted.

Apart from the results on the training observations, the results on different homes in the spaces of training data and in time will be presented in order to be able to analyze the influence of this approach on the users. Figures 7, 8 and 9 depict ranking of individual households overlaid on top of the training clusters. What could be noticed is that, in all three cases, the ranking for a single household varies through all potential energy efficiency groups, leading to the conclusion that each user has the potential to adjust and improve behavior. Additionally, the idea was to present each user with information for his or her neighborhood (i.e. to include other users living in the nearby area), so that the influence of social pressure can be utilized to improve their habits and facilitate the transition towards more energy efficient behavior.

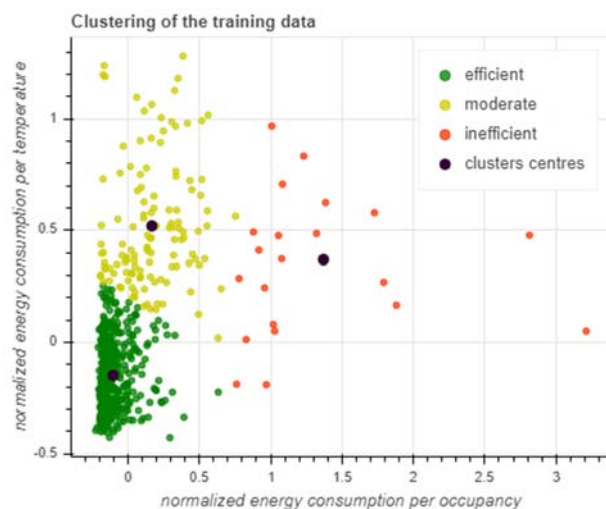


Figure 6 - An illustration of three different energy efficiency clusters with their respective cluster centres (each dot represents one household's measurement obtained for a predefined time range)

By further analysis of the obtained results in Figures 7, 8 and 9, different efficiency patterns could be noticed amongst different users. Even though houses H1 and H3 tends to be efficient for most of the time, with only a couple of days with being classified as inefficient, H3 has notably more moderated instances. Additionally, contrary to H1 and H3, H2 has significantly more classifications as inefficient. Taking all of previously elaborated results into consideration, it can be concluded that the users behave differently regarding their energy efficiency, which provides corroboration that the system designed as a part of this technical solution could indeed support a decrease of energy wastes and improve saving energy.

In order to supplement previous conclusion, an additional analysis will be elaborated in this report. In Figures 10, 11 and 12, individual household ranks are presented through time, and it can be noticed that their rank varies through time, as previously suggested. Nonetheless, it should be pointed out that, due to the data organization (first summer months, then autumn, then winter) moderate efficiency and inefficiency is present in majority in the colder months, which is more than expected, due to the use of electrical heating system in the considered apartments. Therefore, once enough data is obtained, the model could be further improved by separate training depending on the seasonal conditions.

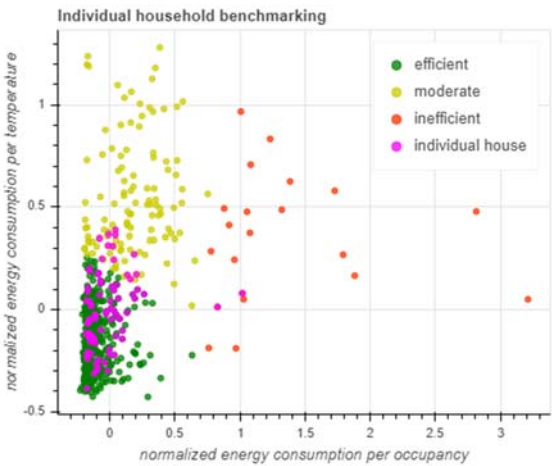


Figure 7 - An illustration of different ranking in time for a single household (anonymized codename “H1”) shown in magenta, overlaid on top of the clusters determined previously

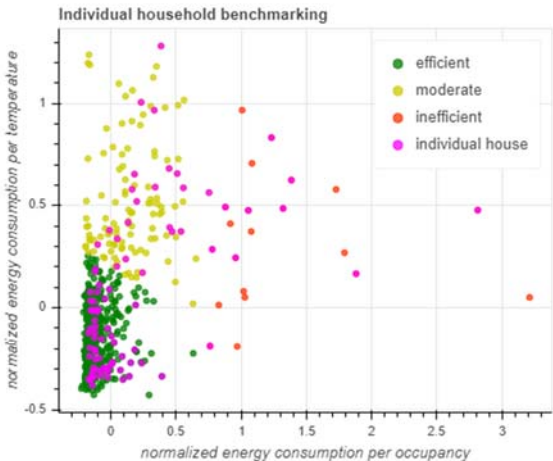


Figure 8 - An illustration of different ranking in time for a single household (anonymized codename “H2”) shown in magenta, overlaid on top of the clusters determined previously

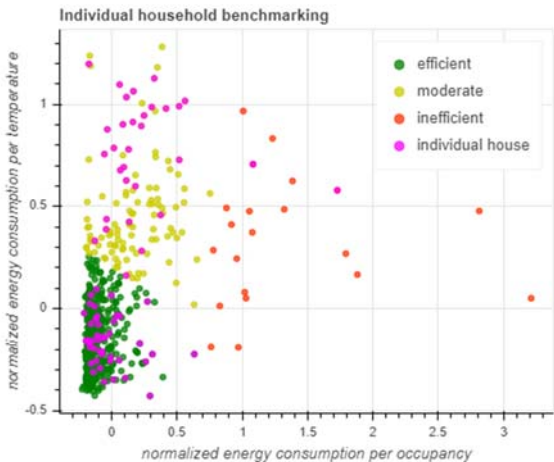


Figure 9 - An illustration of different ranking in time for a single household (anonymized codename “H3”) shown in magenta, overlaid on top of the clusters determined previously

Finally, taking into consideration that the user energy efficiency benchmarking system goes beyond just technical analysis, specification and the development, the social aspect will be covered, as well. Namely, having the social pressure as the key motivation point in the proposed methodology, the feedback from the residential users has been collected. The interviews were conducted with the main goal of obtaining the information on what was the most beneficial characteristics of the proposed system for the end users. The global feedback for the system was more than positive with most users requesting that they be provide them with more data than just the overall rank. Namely, in the phase of the system design, it was expected that the users would react most prominently to a simple representation. Nonetheless, since the users expressed their interest in disaggregating their ranking estimation and obtaining detailed analyses on what impacted their ranking, this topic still leaves space for further research.

In conclusion, within the research covered by this technical solution, the methodology and system for user energy efficiency ranking have been proposed and developed. The effects and behavior of the system have been analyzed and presented within this report. Namely, in order to provide a fair comparison between different users, an unsupervised clustering machine learning approach has been chosen to rank residential users into one out of three energy efficiency categories. The classification has been carried out using a K-means model and IoT measurements obtained from residential users in Leers, France such as energy consumption, occupancy and indoor temperature.

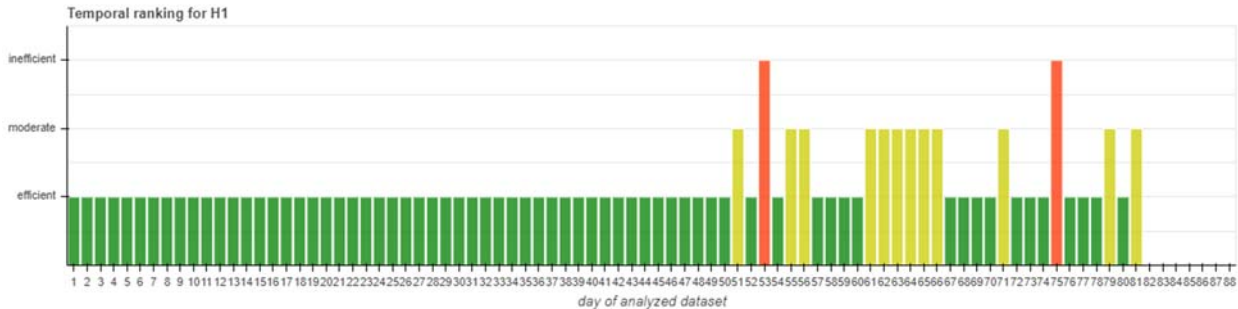


Figure 10 - Temporal rank of “H1” illustrating how the score varies in time

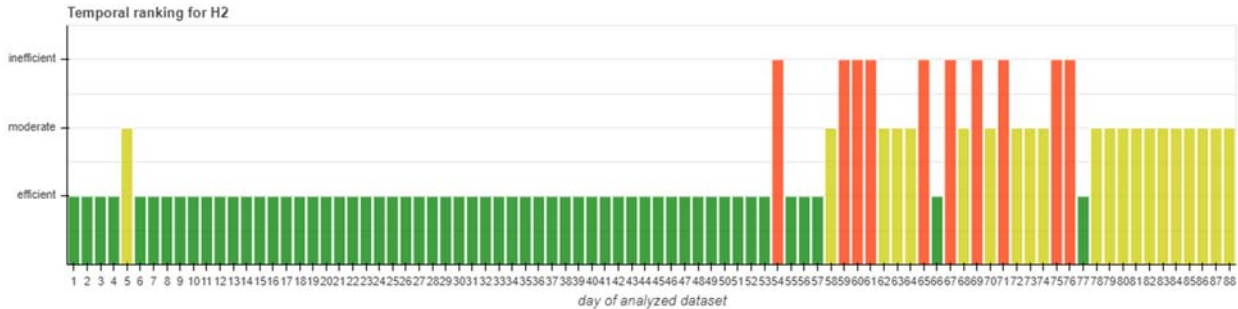


Figure 11 - Temporal rank of “H2” illustrating how the score varies in time

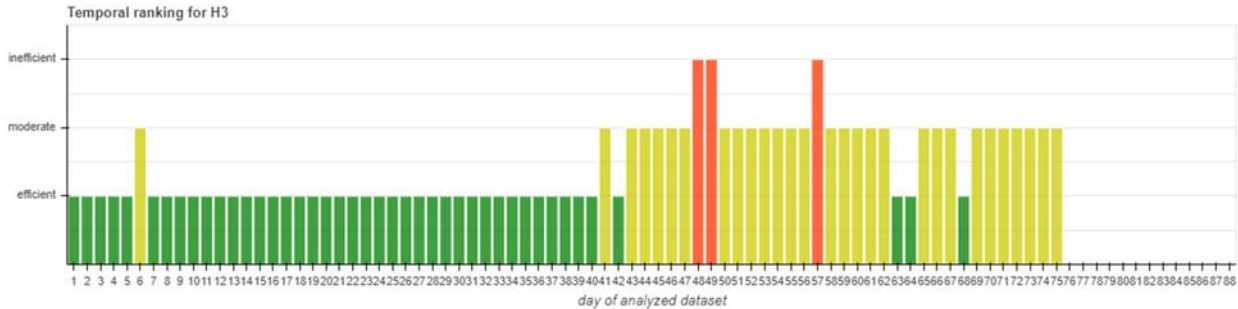


Figure 12 - Temporal rank of “H3” illustrating how the score varies in time

Finally, the main idea was to create a competitive environment which would influence the users to change their behavior and increase energy savings.

Finally, in the context of future work, especially taking into consideration that a data-driven model was selected, additional data and training are required in order to improve the estimation and potentially an increase of granularity of the ranking groups should be considered. Additionally, after some period of time, when users adjust and improve their behavior overall, a new training procedure would be required due to recalibrate the model. In the end, a special focus is to be put on the disaggregation of the ranking in order to satisfy the user requests in hopes of making the system more appealing to them.

Референце:

Aaa

- [1] “Mapping Internet of Things innovation clusters in Europe,” Jun. 19, 2019. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/internet-of-things/clusters> (accessed Jan. 15, 2020).
- [2] E. J. Aladesanmi and K. A. Folly, “Overview of non-intrusive load monitoring and identification techniques,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 30, pp. 415–420, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.ifacol.2015.12.414.
- [3] 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.
- [4] F. Terroso-Saenz, A. González-Vidal, A. P. Ramallo-González, and A. F. Skarmeta, “An open IoT platform for the management and analysis of energy data,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 92, pp. 1066–1079, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.future.2017.08.046.
- [5] M. Alaa, A. Zaidan, B. Bahaa, M. Talal, and M. L. Mat Kiah, “A Review of Smart Home Applications based on Internet of Things,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 97, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.jnca.2017.08.017.
- [6] W. Chung, “Review of building energy-use performance benchmarking methodologies,” *Applied Energy*, vol. 88, no. 5, pp. 1470–1479, May 2011, doi: 10.1016/j.apenergy.2010.11.022.
- [7] W. Chung, “Using the fuzzy linear regression method to benchmark the energy efficiency of commercial buildings,” *Applied Energy*, vol. 95, pp. 45–49, Jul. 2012, doi: 10.1016/j.apenergy.2012.01.061.
- [8] S.-M. Hong, G. Paterson, E. Burman, P. Steadman, and D. Mumovic, “A comparative study of benchmarking approaches for non-domestic buildings: Part 1 – Top-down approach,” *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 2, no. 2, pp. 119–130, Dec. 2013, doi: 10.1016/j.ijsbe.2014.04.001.
- [9] Y. Wang, Q. Chen, C. Kang, and Q. Xia, “Clustering of Electricity Consumption Behavior Dynamics Toward Big Data Applications,” *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, no. 5, pp. 2437–2447, Sep. 2016, doi: 10.1109/TSG.2016.2548565.

Протокол о тестирању од стране корисника:

**Protocol on testing of the technical solution
User Energy Efficiency Benchmarking Using Clustering
Approach**

We hereby confirm that technical solution "User Energy Efficiency Benchmarking Using Clustering Approach", developed by the Institute Mihajlo Pupin, has been successfully deployed within ICT solution for improvement of energy efficiency through behavioural change, which is utilised in residential building block operated by Vilogia in Leers, France.

In particular, the solution has been applied in two residential buildings with twenty-four apartments, comprising single, two and three bedroom apartments, where it has been tested for evaluation of energy performance and benchmarking of end users. The benchmarking offered both self-comparison as well as cross-comparison with end users from the same neighbourhood.

The solution was successfully tested throughout period of several months and achieved desired effects as it induced completion of end users regarding energy efficiency improvement.

Yours sincerely,



74, rue Jean Jaurès - CS 10430
59664 Villeneuve d'Ascq Cedex
Tél. : 03 59 35 50 00 - Fax : 03 59 35 53 55
Vilogia - Société Anonyme d'HLM
N° Siren 475 680 815 - RCS Lille Métropole



Audrey LINKENHELD
Directrice Développement,
Partenariats & Innovation

Direction Développement, Partenariats & Innovation
74 rue Jean Jaurès - CS 10430
59664 Villeneuve d'Ascq Cedex
Tél : 03 59 35 55 92 - Portable : 06 45 00 89 75
audrey.linkenheld@vilogia.fr
vilogia.fr

Деа Пујић, листа техничких решења

M85

1. Деа Пујић, Никола Томашевић, Лазар Бербаков, Сања Вранеш: “Спецификација, развој и интеграција система за неинтрузивни мониторинг потрошње електричне енергије”, 2019, ТР32010

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

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, ТР32010

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
2. Марко Батић, Јелена Кљајић: "Модул за заштићену размену осетљивих података крајњих потрошача", 2019, ТР32010
3. Марко Батић, Стефан Стојков, Марко Нанковски: "Географски информациони систем за вишекритеријумско праћење и управљање крајњим потрошачима", 2019, ТР32010
4. Марко Батић, Лазар Бербаков: "Развој мобилне апликације за управљање енергијом у интелигентним зградама", 2019, ТР32010

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, ТР32010

M85

1. Марко Батић, Никола Томашевић, Дејан Пауновић, Сања Вранеш: "Развој интегрисаног софтверског система за више-критеријумско управљање хибридни микро-мрежама", 2018, ТР32010
2. Марко Батић, Никола Томашевић, Јелена Кљајић, Сања Вранеш: "Спецификација и развој софтверске компоненте за аналитику потрошње електричне енергије крајњег потрошача", 2018, ТР32010
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, ТР32010
4. Никола Томашевић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Сервисно-оријентисана архитектура за интеграцију и интероперабилност система у оквиру концепта интелигентних кућа", 2017, ТР32010
5. Марко Батић, Никола Томашевић, Милан Ђуровић, Сања Вранеш: "Развој иновативних апликативних сценарија за повећање енергетске ефикасности кроз ангажовање крајњих потрошача", 2017, ТР32010
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, ТР32010
7. Никола Томашевић, Марко Батић, Јелена Јовановић, Сања Вранеш: "Спецификација канонског модела података за комуникацију системских компоненти у оквиру концепта интелигентних кућа", 2017, ТР32010
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, ТР32010

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, ТР32010
27. Никола Томашевић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Проширење и популација инстанци генеричке онтологије аеродрома за потребе повећања енергетске ефикасности аеродрома", 2013, ТР32010
28. Никола Томашевић, Марко Батић, Дејан Пауновић, Урош Милошевић, Сања Вранеш: "Спецификација енергетских карактеристика аеродрома као отвореног простора", 2012, ТР32010
29. Никола Томашевић, Марко Батић, Урош Милошевић, Сања Вранеш: "Техничка карактеризација и системска архитектура аеродрома", 2012, ТР32010
30. Марко Батић, Дејан Пауновић, Урош Милошевић, Сања Вранеш: "Модел за елементе микро-мреже за производњу енергије из обновљивих извора", 2012, ТР32010
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 електромрежом", 2012, ТР32010
32. Марко Батић, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Модел потрошње енергије у комплексним објектима разних намена", 2012, ТР32010
33. Валентина Јанев, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Марко Батић, Вук Мијовић, Сања Вранеш: "Развој семантичког web портала за е-колаборацију и дисеминацију резултата", 2011, ТР32010
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, ТР32010
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, ТР32010
36. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Марко Рибарић, Марко Батић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Развој новог, мултипарадигматичног СЕР/ЕСА језика за управљање комплексним објектима", 2011, ТР32010
37. Валентина Јанев, Дејан Пауновић, Јелена Јовановић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Развој прототипа система за управљање документима на аеродромима", 2011, 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 хибридни 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 хибридни 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, ТР32010
14. 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
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, ТР32010
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, ТР32010
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, ТР32010
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, ТР32010
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, ТР32010
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, ТР32010
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, ТР32010
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, ТР32010
23. Никола Томашевић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Генеричка онтологија аеродрома моделована за потребе повећања енергетске ефикасности аеродрома", 2013, ТР32010
24. Вук Мијовић, Никола Томашевић, Валентина Јанев, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Симулационо и тренинг окружење за обуку особља аеродрома", 2013, ТР32010
25. Никола Томашевић, Марко Батић, Сања Вранеш: "Проширење и популација инстанци генеричке онтологије аеродрома за потребе повећања енергетске ефикасности аеродрома", 2013, ТР32010
26. Никола Томашевић, Марко Батић, Дејан Пауновић, Урош Милошевић, Сања Вранеш: "Спецификација енергетских карактеристика аеродрома као отвореног простора", 2012, ТР32010
27. Валентина Јанев, Вук Мијовић, Lydia Kraus, Никола Томашевић, Јелена Јовановић, Младен Станојевић, Сања Вранеш: "Оперативни сценарији за аеродром", 2012, ТР32010
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, ТР32010
29. Никола Томашевић, Марко Батић, Урош Милошевић, Сања Вранеш: "Техничка карактеризација и системска архитектура аеродрома", 2012, ТР32010

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