

# INTEGRIRANI MONITORING KOT ORODJE ZA UČINKOVITO IN EKONOMIČNO ENERGETSKO UPRAVLJANJE JAVNIH STAVB

## INTEGRATED MONITORING AS A TOOL FOR EFFICIENT AND ECONOMICAL ENERGY MANAGEMENT IN PUBLIC BUILDINGS

**mag. Primož Praper, univ. dipl. gosp. inž.**

primoz.praper@eutrip.si

EUTRIP, d. o. o., Kidričeva ulica 24, 3000 Celje

**izr. prof. dr. Igor Pšunder, univ. dipl. inž. grad.**

igor.psender@um.si

**red. prof. dr. Danijel Rebolj, univ. dipl. inž. grad.**

danijel.rebolj@um.si

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo,  
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

**ZNANSTVENI ČLANEK**

UDK 699.86:727

**Povzetek** | V javnih stavbah (šolah, vrtcih) obstaja velik potencial za prihranke energije z učinkovitim energetskim upravljanjem. Članek obravnava, kako je mogoče z energetskim monitoringom in obdelavo masovnih podatkov poiskati konkretne potenciale za te prihranke. Na osnovi podatkov, pridobljenih s pomočjo digitalnega obratovalnega monitoringa stavb, je bila analizirana večletna baza podatkov z okoli 2 mio. podatkov o urni porabi toplotne in električne energije ter o notranji in zunanji temperaturi. Ugotovljeno je bilo, da javne stavbe porabijo veliko več energije takrat, ko so nezasedene, in da se pogosto ogrevajo, ko so nezasedene in notranja temperatura že presega 20 °C. Na osnovi raziskave je bil identificiran potencial za prihranek energije, ki ga predstavlja predvsem zmanjšanje delovanja ogrevalnega sistema, ko je stavba nezasedena. Predlagan in predstavljen je izboljššan model energetskega upravljanja stavb z integracijo merilnikov porabe, senzorjev temperature in programabilnih krmilnikov v enoten sistem, s pomočjo katerega se na osnovi podatkovnega rudarjenja, poslovne analitike masovnih podatkov (angl. big data) in strojnega učenja delovanje sistema ogrevanja stalno izboljšuje.

Ključne besede: energetsko upravljanje stavb, prihranki energije, javne stavbe, energetski monitoring, masovni podatki, podatkovno rudarjenje

**Summary** | Public buildings (schools, kindergartens, etc.) offer many opportunities for saving energy through effective energy management. The aim of the study is to discover concrete saving potentials through energy monitoring and processing of big data. Data from the digital operational monitoring of buildings were used to analyse a database containing data spanning several years, approximately two million records on hourly heat and electricity consumption as well as indoor and outdoor temperature. The findings show that public buildings consume far more energy when unoccupied and that they are often heated – although being empty – with internal temperature already exceeding 20°C. The research identified energy-saving potentials by optimising the heating of empty buildings. An improved model for the energy management of

buildings has been proposed and presented. It is based on the integration of smart consumption sensors, temperature gauges and programmable controllers into a system, aimed at optimising the performance of heating systems through data mining, business analysis of big-data and machine learning.

Key words: buildings energy management system, energy savings, public buildings, energy monitoring, big data, data mining

## 1 • UVOD

Poraba energije v stavbah predstavlja pomemben delež porabljene energije. Podatki o porabi energije v stavbah se v svetu razlikujejo glede na državo, klimatsko cono in metodo izračuna ter znašajo od 15 % do 40 %. Po podatkih International Energy Agency se je v letu 2013 v državah OECD 33 % celotne končne energije porabilo v stavbah, 31 % v industriji, 33 % v transportu, 3 % se je porabilo v kmetijstvu, gozdarstvu ribištvu in drugih dejavnostih (IEA, 2015).

Uvajanje namenskih rešitev energetskega upravljanja stavb, pri katerem ima monitoring skladno s standardom na tem področju pomembno vlogo, kaže veliko možnosti za izboljšave in prihranke energije ob ohranjanju oz. izboljšanju temperaturnega ugodja. Pomembno izhodišče je, da morajo biti v času zasedenosti stavbe zagotovljene ustrezne temperature, v času nezasedenosti pa naj bo poraba energije čim manjša oz. le tolikšna, da bo v času

zasedenosti ustrezna temperatura dosežena pravočasno.

Članek predstavlja rešitev z avtomatizacijo delovanja sistema energetskega upravljanja s pomočjo sodobnih tehnologij monitoriranja, podatkovnega rudarjenja in strojnega učenja s ciljem čim učinkovitejše porabe energije. Predlog rešitve je v avtomatizaciji nastavitvev krmilnikov za ogrevanje, ki se učijo na osnovi množice preteklih razpoložljivih podatkov o delovanju. S tovrstnim energetskim upravljanjem stavb ni dosežen le cilj nižjih stroškov, temveč je v času zasedenosti stavbe mogoče izboljšati tudi temperaturno ugodje.

## 2 • ENERGETSKO UPRAVLJANJE STAVB IN ENERGETSKI MONITORING

### 2.1 Energetsko upravljanje

Eden izmed osnovnih namenov stavb je, da nam te zagotavljajo udobno notranjo klimo. V naravi ljudi je, da bi to dosegli čim bolj ekonomično. Ker je stavba celosten in dinamičen sistem, je težko vzpostaviti optimum za vse cilje, na katere vpliva dinamično vedenje. Zmanjšanje porabe energije ne more in sme biti edini cilj energetske prenove stavb, zato je smiselno k optimiranju porabe energije v stavbah pristopati celovito (Hensen, 1991). Energetski monitoring kot orodje energetskega upravljanja torej ne sme zajemati samo podatkov o porabi energije, temveč tudi o bivalnem ugodju.

Energetsko upravljanje je kot samostojna disciplina pridobilo pomen po prvi naftni krizi leta 1973, v širšo veljavo pa je vstopilo po drugi naftni krizi leta 1979. S stalnim povečanjem porabe energije in s tem stroškov za energijo pridobiva pomen energetska učinkovitost (Zach, 2015a).

Zanimivo je, da je bil v Sloveniji Pravilnik o tehničnih ukrepih in pogojih za toplotno zaščito stavb sprejet že leta 1970 (Uradni list SFRJ, št. 35-428/1970), medtem ko so bili predpisi oz. standardi v nekdanji državi Jugoslaviji sprejeti predvsem po letu 1980:

- JUS U.J5.510:1980. Toplotna tehnika v gradbeništvu – Metode proračuna koeficienta prehoda toplote skozi gradbene konstrukcije.
- JUS U.J5.520:1980. Toplotna tehnika v gradbeništvu – Metode proračuna difuzije vodne pare skozi gradbene konstrukcije.
- JUS U.J5.530:1980. Toplotna tehnika v gradbeništvu – Metode proračuna karakteristike toplotne stabilnosti zunanjih gradbenih konstrukcij stavb za poletno obdobje.
- JUS U.J5.600:1980. Toplotna tehnika v gradbeništvu – Tehnični pogoji za projektiranje in gradnjo stavb.
- JUS D.E8.193:1982. Stavbno pohištvo – Zunanja okna in balkonska vrata – Zahteve o propusnosti zraka in vode.
- JUS U.J5.600:1987. Toplotna tehnika v gradbeništvu – Tehnične zahteve za projektiranje in gradnjo stavb.

Optimizacija porabe energije v času delovanja stavb pa lahko pomembno zmanjša negativen vpliv na globalno okolje (Sharmin, 2014). Razlogi so tudi v zmanjšanju energetske odvisnosti in zagotavljanju obnovljivih virov energije (OVE). Eden izmed nosilnih

stebrov sonaravnega trajnostnega razvoja je tudi zmanjševanje snovno-energetskih tokov (Umanotera, 2010). Energetsko upravljanje stavb in uvajanje energetskega monitoringa sta lahko implementirana v različnih organizacijskih oblikah. Pri vseh poslovnih modelih zagotavljanja energetske učinkovitosti sta ključna postavitev ciljev in vpeljevanje mehanizmov za spremljanje doseganja rezultatov, kar zagotavlja energetski digitalni obratovalni monitoring stavb. Zelo pomemben vidik pa je, da si naročnik (javni partner ali zasebnik) takšen sistem želi in sodeluje pri njegovem načrtovanju in izvedbi (Praper, 2014).

### 2.3 Prihranki energije, ki jih omogoča energetsko upravljanje

Ozadje zanimanja za raziskave na področju energetskega upravljanja in prihrankov je bila že naftna kriza leta 1970, in sicer zaradi zaskrbljenosti zaradi možnega izčrpanja fosilnih goriv (Abrahamse et al., 2005). Že med letoma 1977 in 1980 je bilo več raziskav, ki so jih opravili Seligan in Darly (Seligan, 1977), Becker (Becker, 1978), Wenett, Neale, Yokley in Kauder (Wenett, 1980), ki so navedeni v eni od obravnavanih tujih raziskav (McCelland, 1980) in v katerih avtorji ugotavljajo možnosti prihrankov med 10 % in 20 % električne energije, uporabljene za ogrevanje. Prihranki so bili v teh študijah načeloma večji v času ekstremnih razmer, kar nakazuje prvenstveno

prihranek pri gretju in hlajenju. Študije v 70. letih prejšnjega stoletja so ugotovljale, da se z 8-urnim znižanjem nočne temperature prihrani 1 % energije za vsako stopinjo znižanja (Peffer, 2011). Raziskava, ki sta jo opravila McClland in Cook (McClland, 1980), je zajemala 101 stanovanje, od tega je imelo 25 stanovanj vgrajene števece porabe električne energije, ki so s pomočjo diod urno prikazovali porabo v centih na kWh. Ugotovljena je bila jasna korelacija v višini 12 % manjše porabe energije v tistih domovih, ki so imeli vgrajen monitoring, ne da bi se pri tem organizirano izvajali še drugi ukrepi energetskega upravljanja oz. ozaveščanja. Avtorja že takrat navajata, da je cena tovrstnega števca za monitoring 125 ameriških dolarjev (USD) in da je doba vračanja 1,9 leta, ter dodajata, da je to na nacionalni ravni primerljivo z zmanjšanjem uvoza nafte v ZDA v višini 5 %.

Pregled literature med letoma 1977 in 2004 (Abrahamse, 2005) je zajemal 38 študij s področja vpliva vedenja uporabnikov pri zmanjševanju porabe energije v gospodinjstvih s pomočjo mehanizmov ozaveščanja, z informiranjem, določanjem ciljev in s povratnimi informacijami. Študije kažejo, da je prihranek znašal do 21,9 %. Celovit pregled energetskih prihrankov, povezanih s sistemi za energetske upravljanje (angl. energy management systems – EMS), sta v letu 2015 opravila Lee in Cheng. Na temo uporabe EMS sta analizirala 276 znanstvenih člankov, ki vključujejo 305 primerov med letoma 1976 in 2014. Statistični podatki na osnovi pregleda raziskav, ki sta jih prikazala v članku, kažejo rast prihrankov energije z naslova EMS z 11,39 % na 16,22 % v zadnjih 38 letih (Lee, 2016).

Namen avtomatiziranega sistema monitoringa je zajem podatkov, njihova pretvorba v informacije in posredovanje teh informacij z namenom večje učinkovitosti projekta (Rebolj, 2008). Različne študije ((Perez-Lombard, 2008), (Harmer, 2015), (Babaei, 2015)) v nasprotju s poudarjanjem avtomatizacije same vključujejo energetske monitoring kot ključno orodje za energetske upravljanje (monitoring kot prvi ključni pogoj). Avtor Zach in sodelavci (Zach, 2015b) navajajo predvsem naslednja področja koristi: minimizacijo porabe energije, boljše informiranost uporabnikov, podporo preventivnemu vzdrževanju, stalne izboljšave učinkovitosti z analizami na osnovi dinamično posodobljenih podatkovnih baz o porabi energije in učinkovitosti delovanja, dolgoročno zbiranje empiričnih podatkov, kar omogoča izboljšave tako pri načrtovanju, gradnji kot vzdrževanju

obstoječih in novih stavb. Dodati je treba, da orodja za monitoring ne prispevajo samo k zmanjšanju porabe in stroškov, temveč tudi k zmanjšanju trenutnih obremenitev in koničnih moči (Marinakis, 2013). Ko govorimo o uspešni realizaciji stroškov, kvalitete in časovnega načrta, je treba upravljati vse faze projektov, pri čemer je IT orodje za optimizacijo (Praper, 2004).

Stavbe so načrtovane in grajene z vedno bolj zapleteno tehnologijo, v življenjskem ciklusu pa nastanejo v njih oz. o njih velike količine podatkov (Corry, 2015). Te podatke je smiselno uporabiti za izboljšanje delovanja sistemov v stavbah. Trenutna orodja za simulacije delovanja stavb samo po vnaprej določenih algoritmih lahko posnemajo nekatere tipične aktivnosti uporabnikov na tog, preddefiniran način. Uporabniško vedenje in ugodje pa sta stohastična, kompleksna in multidisciplinarna (D'Oca, 2015). Pregled literature ((Menezes, 2012), (Ryan, 2012), (Yan, 2015), (D'Oca, 2015)) potrjuje, da so vedenje in navade uporabnikov v stavbah vrzel, ki jo skušajo raziskovalci v smislu napovedane in dejanske porabe energije v stavbah premostiti.

V Sloveniji so področje uporabe naprednih rešitev za upravljanje energetskih sistemov v stavbah proučevali predvsem na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani. Primerjava konvencionalnega in alternativnega načina ogrevanja in hlajenja v javnih stavbah je pokazala, da je mogoče z alternativnimi načini ogrevanja s sevalnimi paneli in z uporabo več lokalnih prezračevalnih sistemov, krmiljenih s centralnim sistemom za upravljanje stavb (angl. Building management system), prihraniti tudi do 60 % energije (Košir, 2010). Cilj narediti stavbe bolj energetske učinkovite je lahko dosežen z učinkovito porabo naravnih energetskih virov, kot sta sončna toplota in svetloba. Primer uporabe je sistem upravljanja senčil z mehko logiko (fuzzy control), ki omogoča postavitev senčil glede na želene notranje nastavitve in zunanje razmere (Kristl, 2008). Povezovanje matematičnih izhodišč in računalniške tehnologije v smislu mehke logike za izboljševanje časa vklopa ogrevanja (angl. fuzzy logic) izhaja z začetkov umetne inteligence (Turing, 1948). Teoretična izhodišča za logiko treh vrednosti, ki je matematična osnova za fuzzy logic, je že leta 1920 podal poljski matematik (Lukasiewicz, 1920). Zadeh je podal teoretično osnovo za fuzzy logic (Zadeh, 1965). Uporaba mehke logike v tehniki ogrevanja, hlajenja in prezračevanja izhaja iz Japonske (Terano, 1989). Mitsubishi je leta 1990 prvi predstavil regulacijo na osnovi me-

hke logike. Leta 1992 je fuzzyTECH predstavil licencirano rešitev, ki je imela širok razpon: od uporabe dveh vhodnih parametrov in enega izhodnega s sedmimi pravili do uporabe osmih vhodnih enot in štirih izhodnih enot ter 500 pravil (Altrock, 1996). Rešitve regulacije s pomočjo mehke logike so odtelej vgrajene v vrsto regulatorjev in krmilnikov. Zamenjava klasičnih termostatsov s termostati, ki so imeli mehko logiko, pomeni prihranek energije v višini 3,5 % (Singh, 2005). Poenostavljeno povedano, si regulatorji z uporabo mehke logike sami preračunajo izračunan potreben čas vklopa, tako da se ob programiranem času že skoraj doseže zelena temperatura in tako optimira čas vklopa (Seltron, 2012). Izboljšanje notranjega okolja je mogoče doseči tudi s simulacijami mehke logike vodenja temperature in osvetljenosti prostorov ter prenosom optimalnih nastavitvev v realni sistem (Tomažič, 2013). Analiza regulacijskih sistemov bivalnega ugodja stavb je pokazala možnost zmanjšanja porabe energije za ogrevanje in hlajenje stavb v obsegu 30 % ter zmanjšanja porabe električne energije za osvetljevanje do 50 % v primeru uvedbe avtomatske regulacije notranjega okolja (Košir, 2011). O energetskem upravljanju v Sloveniji je bilo sicer izdanih nekaj promocijskih gradiv in informativnih listov. Gradbeni inštitut ZRMK v zbirki informativnih listov za učinkovito porabo energije (URE) navaja, da je v primerjavi z nereguliranimi ogrevalnimi sistemi z regulacijo mogoče prihraniti povprečno 10 % energije z regulacijo temperature prostora v odvisnosti od zunanje temperature z vplivom na mešalni ventil, 13 % z vplivom na temperaturo v kotlu (če se uporablja nizkotemperaturni), od 10 % do 15 % z vgradnjo termostatskih ventilov in 10 % s prekinitvijo ogrevanja oz. z nočnim znižanjem temperature vode (GI ZRMK, 2003). Ena izmed obravnavanih študij (Grote, 2014) kaže, da je prihranek za končne odjemalce pri inteligentnih sistemih merjenja okoli 3 % energije. Elektro Celje v letnem poročilu za leto 2014 poroča, da je bilo na območju, ki ga pokrivajo, nameščenih že 105.755 inteligentnih števcov, kar predstavlja 62,4 % vseh odjemalcev. Leta 2014 so se izgube električne energije v primerjavi z letom 2013 znižale za 5,7 %, kar v večini pripisujejo vgradnji inteligentnih števcov (Elektro Celje, 2015).

Poročilo v okviru projekta Re-Co (Petelin Visočnik, 2014) na pilotnih stavbah analizira možnosti za zmanjšanje porabe energije z izvajanjem neinvesticijskih ukrepov URE in ukrepov URE s kratko dobo vračanja. V pilotnih stavbah Re-Co so bila ugotovljena znižanja

porabe energije za 9,1 %, v enem od primerov pa tudi za več kot 20 %. Sučić (Sučić,

2015) navaja, da testni rezultati kažejo potencial prihrankov energije do 15 %, doseženih

z vizualizacijo in ozaveščenostjo o porabi električne energije.

### 3 • METODOLOŠKI PRISTOP

#### 3.1 Zasnova sistema energetskega monitoringa

V konceptualni fazi zasnove monitoringa porabe energije in temperaturnega ugodja je bil zasnovan minimalni obseg ključnih parametrov, ki jih je treba smiselno spremljati (Bohanec, 2014). Pomembno je upoštevanje več vidikov, in sicer poleg tehnično-tehnološkega tudi stroškovni vidik. Senzorji, še bolj pa merilniki porabe toplotne energije so upravičen strošek le, če pridobljene podatke spremljamo in uporabljamo. Seveda pa je za pomemben vidik treba upoštevati tudi modularnost in skalabilnost sistema. Sistem je zasnovan tako, da sta mogoča enostavno dodajanje merilnih mest in delitev na podsisteme.

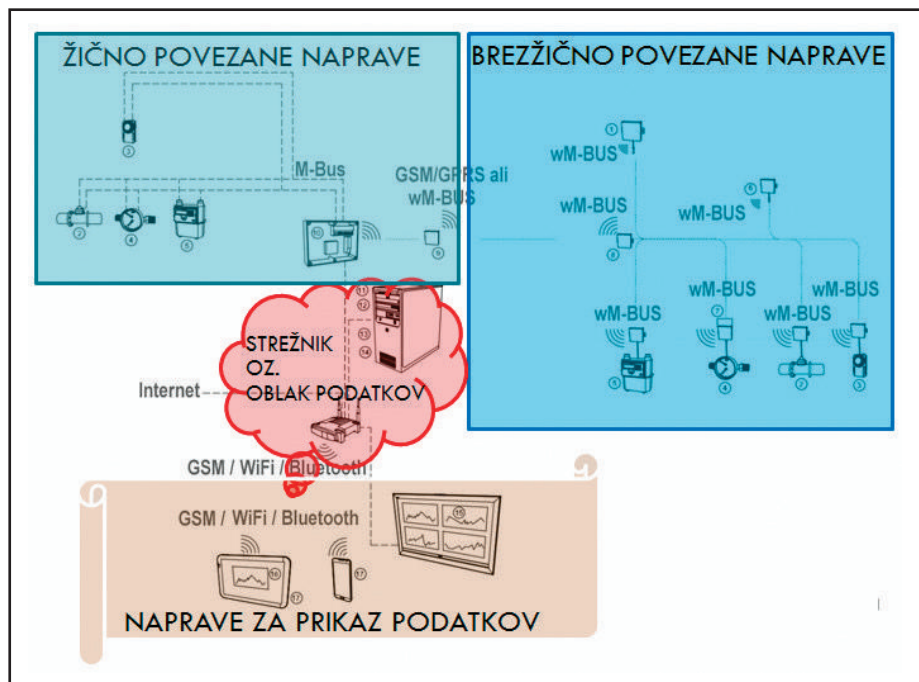
Zasnova sistema energetskega monitoringa v raziskavi je trinivojska: fizični nivo, terenski zajem s prenosom podatkov in upravljavski nivo (obdelava in prikaz podatkov).

Pametni števeci so ključne komponente za sistem pametnih omrežij, ki zapisujejo porabo energije v urnih ali krajših intervalih ter pošiljajo informacije nadzornemu centru za monitoring in obračun (Chou, 2016).

Ključna merilna mesta monitoringa so: energija za hlajenje in ogrevanje, energija za pripravo tople sanitarne vode, poraba električne energije in zajem vsaj treh notranjih in ene zunanje temperature. Sistem prikazuje slika 1.

#### 3.2 Masovni podatki: zbiranje in analiza

Uporaba tehnologij, temelječih na masovnih podatkih, in podatkovno rudarjenje spreminjata način proizvodnje energije in vzorce porabe energije (Zhou, 2016). Temeljni algoritmi za analize in podatkovno rudarjenje oblikujejo osnovo na razvijajočem se področju znanosti podatkov, ki vključuje avtomatske metode za analizo vzorcev in modelov za vse vrste podatkov z aplikacijami, ki segajo od znanstvenih odkritij do poslovne inteligence in analitike. Podatkovno rudarjenje je proces odkrivanja zanimivih vzorcev in znanja iz velike količine podatkov (Han, 2012). Podatkovno rudarjenje obsega ključne algoritme, ki omogočajo pridobitev temeljnih vpogledov in znanja iz velikih količin podatkov. Gre za interdisciplinarno področje, ki združuje koncepte področij, kot so podatkovne baze, statistika, strojno učenje in

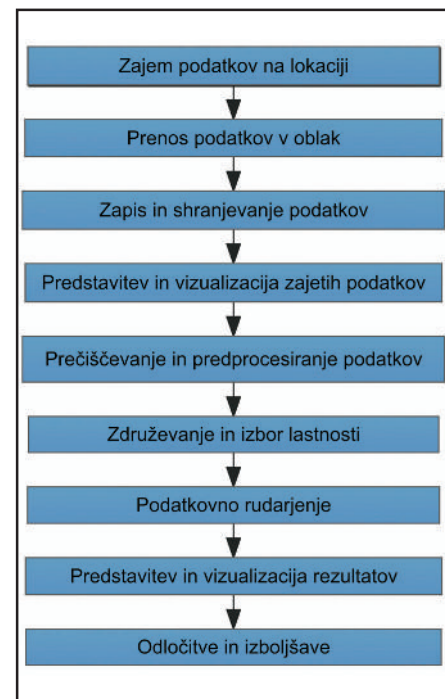


Slika 1 • Shema komponent digitalnega obratovalnega monitoringa.

prepoznavanje vzorcev. To razkrivanje znanja in podatkov običajno pomeni ponavljajoče se in interaktivne procese (Zaki, 2014). Za zagotavljanje zelenega pomena morajo imeti podatki naslednje lastnosti: morajo biti razumljivi, veljavni, aktualni in uporabni (Cios, 2007). Prav tem ciljem smo sledili pri zasnovi podatkovnega rudarjenja iz podatkov, zbranih iz energetskega monitoringa. Čeprav so vsi podatki zbrani v eni relacijski bazi, je bilo treba za podatkovno rudarjenje podatke predhodno zbrati in pripraviti za obdelavo.

Proces priprave podatkov za podatkovno rudarjenje prikazuje shema na sliki 2.

Nadaljnji korak je bil prečiščevanje in predprocesiranje podatkov. Najprej so bili podatki izvoženi in združeni (angl. data integration) iz različnih lokalnih MySQL-baz posameznih stavb v enotno bazo, pri čemer je bil zapisom dodan atribut z nazivom in namembnostjo stavbe. Odpravljena je bila redundantnost podatkov, pri čemer je bilo preverjeno, ali za noben enolično določen časovni okvir (leto/mesec/dan/ura) za posamezno stavbo ni več različnih zapisov. Nadalje so bile v



Slika 2 • Shema predpriprave podatkov za podatkovno rudarjenje.

tem koraku preverjene anomalije pri zajetih podatkih. Ugotovljeno je bilo, da določene vrednosti porabe energije ali temperature bistveno (tudi nekajkrat, do 1000-krat) odstopajo od povprečnih vrednosti. Analizirani so bili tudi vzroki za odstopanja, pri čemer je bilo ugotovljeno, da so vzroki anomalij predvsem napake na senzorjih in napake na povezavi oz. prenosu podatkov, kjer se pri izgubi povezave in pri ponovni vzpostavitvi povezave zajamejo kumulativne vrednosti. Uporabljeni so bili algoritmi, ki so izločili nepravilne podatke. Pri porabi energije so bili izločeni podatki, ki so več kot za 2-krat presegali nazivno moč priključne moči vira za dovedeno energijo, pri temperaturah so bile izločene vrednosti, ki so več kot za 2-krat presegale povprečne vrednosti. Izločeni so bili tudi zapisi, kjer so manjkali določeni podatki. Skupno je bilo izločenih manj kot 3 % vseh podatkov.

Nadalje so bile vrednosti temperature zaokrožene na eno decimalno. Razlog za zaokrožitev temperaturnih vrednosti je predvsem v merilni toleranci natančnosti termometrov, ki sicer prikazujejo rezultate na dve decimalni, vendar je njihova natančnost znotraj tolerance 0,1 °C. V nadaljnjem koraku je bilo izvedeno povprečenje temperatur. Na posamezni lokaciji (v stavbi) so se zajele npr. tri notranje temperature. Za nadaljnjo obravnavo se je izračunala povprečna vrednost ( $Povprečje = (T_1 + T_2 \dots T_n) / n$ ). Zapisom so bili dodani novi atributi, ki so bili kombinacija dveh oz. treh zapisov. Dodan je bil kontrolni

atribut, ki podaja vrednost 1, če so bili izpolnjeni trije pogoji: da gre za kurilno sezono, da je vrednost temperature večja od določene vrednosti (20 °C, 21 °C, 22 °C, 23 °C) in da je bila vrednost dovedene energije v tisti uri večja od 0.

Postopek podatkovnega rudarjenja je bil opravljen z vrtilnimi preglednicami (pivot preglednicami) programa Excel. Prednost Excelovih vrtilnih preglednic je predvsem v hitrosti in dostopnosti analiz, po drugi strani pa so specializirana orodja, kot je WEKA, precej bolj zapletena, a omogočajo skalabilnost, skupno rabo, sočasne posodobitve, ciklične regeneracije in podobno (Puckering, 2014). Prednost Excelovih vrtilnih preglednic je v intuitivnosti in veliki fleksibilnosti analitičnega procesiranja uporabniških podatkov (Dierenfeld, 2012).

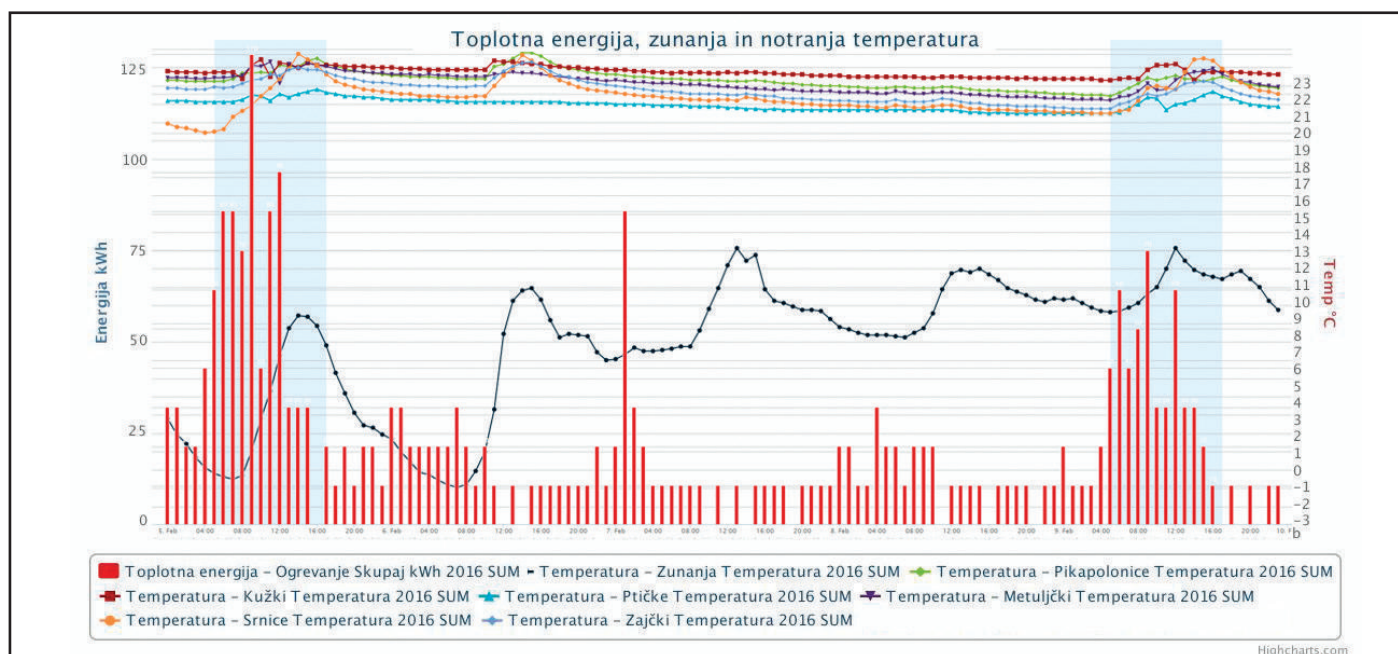
V empiričnem delu članka predstavljamo raziskavo, v katero smo vključili 10 stavb (6 vrtcev, 2 osnovni in 2 srednji šoli) iz različnih delov Slovenije. V podatkovno rudarjenje je bila za vsako stavbo vključena podatkovna zbirka s šestimi merjenimi atributi. Skupaj z osnovnimi podatki o vrstah stavb, zasedenosti stavbe in izračunanimi podatki (izračun povprečne notranje temperature, nezasedenost glede na določeno temperaturo, rabo v času glede na zasedenost) zajema naša podatkovna baza okoli 2 milijona atributov. Z energetskega monitoringom smo zajeli urne podatke o dovedeni električni in toplotni energiji v stavbi, notranjih temperaturah in zunanji

temperaturah ter jih zapisali v relacijsko bazo. Podatki, zajeti iz energetskega monitoringa, imajo naslednjo strukturo:

Čas zapisa: čas zapisa je en atribut, sestavljen v obliki leto-mesec-dan\_ura:minuta:sekunda. Izpis iz baze podatkov je za polno uro, kar pomeni, da sta minuta in sekunda 00. Atributa, ki se nanašata na minuto in sekundo, smo zato v fazi prečiščevanja in predprocesiranja podatkov odstranili, saj nista relevantna.

Sezona: leto je razdeljeno na ogrevalno sezono in sezono, ko ni ogrevanja. Ogrevalna sezona zajema obdobje med 15. oktobrom in 15. aprilom. Zunaj tega časa se stavbe praviloma ne ogrevajo oz. je tega ogrevanja na letni ravni zanemarljivo malo. Začetek kurilne oz. ogrevalne sezone se sicer praviloma določi tako, da poiščemo, kdaj je bila zunanja temperatura zraka ob 21. uri prvič v drugi polovici obravnavanega leta tri dni zapored nižja ali enaka 12 °C. Naslednji dan se šteje za začetek kurilne sezone. Kurilna sezona se konča takrat, ko je zunanja temperatura ob 21. uri v treh zaporednih dneh višja od 12 °C, in po tem datumu v prvi polovici obravnavanega leta ni več treh zaporednih dni, ko bi se temperatura ponovno znižala na 12 °C ali manj. Tretji dan je zadnji dan kurilne sezone. Trajanje kurilne sezone je število dni med začetkom in koncem kurilne sezone (Ovsenik-Jeglič in Mekinda-Majaron, 2002).

Zasedenost stavbe: ima lahko vrednosti 0 ali 1, pri čemer 0 pomeni, da takrat stavba ni zasedena, 1 pa pomeni, da je stavba zasedena.



Slika 3 • Poraba toplotne energije, temperature in zasedenost stavbe.  
Vir: Spletna aplikacija [www.energija-rr.si](http://www.energija-rr.si), [www.enmonitoring.si](http://www.enmonitoring.si).

Namembnost stavbe	Naziv stavbe	Datum in ura	Zasedenost	Kurilna sezona	Zunanja temperatura (°C)	Notranja temperatura 1 (°C)	Notranja temperatura 2 (°C)	Notranja temperatura 3 (°C)	Dovedena toplotna energija (kWh)	Dovedena električna energija (kWh)	Povprečna notra. temperatura	Pogoji: Povpr. notranja temperatura nad 21 °C in nezasedena stavba
VR	LEN	2016-02-05 00	0	1	2,81	21,81	21,31	20,19	30.000	2.320	21,10	1
VR	LEN	2016-02-05 01	0	1	1,94	21,75	21,31	20,19	30.000	2.040	21,08	1
VR	LEN	2016-02-05 02	0	1	1,44	21,75	21,25	20,19	20.000	2.040	21,06	1
VR	LEN	2016-02-05 03	0	1	0,69	21,75	21,25	20,13	20.000	2.120	21,04	1
VR	LEN	2016-02-05 04	0	1	0,13	21,69	21,25	20,13	40.000	2.200	21,02	1
VR	LEN	2016-02-05 05	0	1	-0,19	21,75	21,25	20,13	60.000	12.720	21,04	1
VR	LEN	2016-02-05 06	0	1	-0,38	21,75	21,25	20,13	80.000	29.800	21,04	1
VR	LEN	2016-02-05 07	0	1	-0,5	21,75	21,38	20,13	80.000	31.440	21,09	1
VR	LEN	2016-02-05 08	0	1	-0,31	21,38	21,69	20,25	70.000	40.560	21,11	1
VR	LEN	2016-02-05 09	0	1	1,06	22,13	21,69	20,50	120.000	54.880	21,44	1
VR	LEN	2016-02-05 10	0	1	2,81	22,44	21,75	20,44	40.000	47.560	21,54	1
VR	LEN	2016-02-05 11	0	1	4,31	21,50	21,69	20,19	80.000	25.440	21,13	1
VR	LEN	2016-02-05 12	0	1	6,25	22,25	22,13	20,56	90.000	23.640	21,65	1
VR	LEN	2016-02-05 13	0	1	7,75	22,19	22,06	20,38	30.000	23.640	21,54	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
VR	LEN	2016-02-09 10	1	1	10	22,13	21,31	20,31	30.000	42.600	21,25	0
VR	LEN	2016-02-09 11	1	1	11	22,13	21,44	19,69	30.000	21.560	21,09	0
VR	LEN	2016-02-09 12	1	1	12,13	22,19	21,56	20,00	60.000	23.000	21,25	0
VR	LEN	2016-02-09 13	1	1	11,44	21,88	21,38	20,06	30.000	20.080	21,11	0
VR	LEN	2016-02-09 14	1	1	10,94	21,31	21,38	20,25	30.000	6.640	20,98	0
VR	LEN	2016-02-09 15	1	1	10,69	21,75	21,25	20,50	20.000	6.520	21,17	0
VR	LEN	2016-02-09 16	0	1	10,56	21,75	21,38	20,69	10.000	10.640	21,27	1
VR	LEN	2016-02-09 17	0	1	10,44	21,81	21,50	20,44	0	7.840	21,25	1
VR	LEN	2016-02-09 18	0	1	10,69	21,75	21,31	20,31	10.000	4.720	21,12	1
VR	LEN	2016-02-09 19	0	1	10,88	21,75	21,19	20,13	0	3.000	21,02	1
VR	LEN	2016-02-09 20	0	1	10,44	21,69	21,06	20,00	10.000	4.760	20,92	0
VR	LEN	2016-02-09 21	0	1	10	21,69	21,00	19,94	0	2.280	20,88	0
VR	LEN	2016-02-09 22	0	1	9,25	21,63	20,94	19,88	10.000	2.040	20,82	0
VR	LEN	2016-02-09 23	0	1	8,75	21,63	20,88	19,88	10.000	2.280	20,80	0

Preglednica 1 • Zapis merjenih podatkov porabe energije in temperatur v vrtcu, imenovanem LEN

ena, kar pomeni, da so v njej uporabniki. Zasedenost pomeni uporabo stavbe za osnovno dejavnost, za katero je stavba namenjena. Pri nastavitvi urnika zasedenosti smo upoštevali, da so vrtni zasedeni med 5.00 in 17.00, šole pa med 6.00 in 15.00.

Temperature: vrednosti zunanje temperature so podane v °C; vrednosti notranje temperature so zajete na vsaj dveh ali treh različnih mestih reprezentativnih prostorov v stavbi; iz teh vrednosti je izračunana povprečna vrednost notranje temperature v stavbi.

Poraba energije: toplotna energija in električna energija; vrednosti so podane v kWh.

Konkretni primer za stavbo, imenovano LEN, vsebuje naslednje podatke:

Stavba je bila zgrajena leta 1977.

Celovita prenova zunanjega ovoja je bila opravljena leta 2013; energetski monitoring

je bil vzpostavljen leta 2014.

Ogrevana površina stavbe je 1.355,9 m<sup>2</sup>, stavba pa se ogreva na toplovod. Regulacija ogrevanja je vodena preko zunanje temperature. Regulacija ima dva režima: komfortni režim, ki naj bi deloval, ko je stavba zasedena, in znižani režim, ki naj bi deloval, ko je stavba nezasedena.

Preglednica 1 prikazuje merjene urne podatke o porabi energije in temperaturah v vrtcu LEN v času med 5. 2. 2016 (od 0.00) in 10. 2. 2016 (do 0.00).

Slika 3 prikazuje porabo, temperature in zasedenost stavbe z uporabniki. Prikazano je obdobje od 5. 2. 2016 do 9. 2. 2016, kjer sta bila 5. 2. in 9. 2. delovna dneva, 6. 2. in 7. 2. sobota in nedelja, 8. 2. pa je bil praznik, ko stavba ni bila zasedena. Rdeči stolpci kažejo porabo toplotne energije v kWh na uro, njihova

skala je na levi strani. Temno rdeča, zelena in vijoličasta barva na vrhu grafa prikazujejo podatke iz senzorjev notranje temperature, črna barva pa prikazuje podatke zunanje temperature. Njihova skala je na desni strani. Območje, obarvano s sivo barvo, kaže čas, ko je bila stavba zasedena oz. v uporabi. Že na prvi pogled je razvidno, da poraba energije (seštevek rdečih stolpcev grafa) v območju, poudarjenim s sivo barvo, predstavlja manjši del porabe. Skupaj je bilo v navedenem obdobju v času zasedenosti stavbe porabljene 47,4 % energije. V času nezasedenosti stavbe je bilo porabljenih 52,6 % toplotne energije. Ko na grafu dodamo grafični prikaz zasedenosti, se tudi vizualno pokaže, da je manjši delež energije porabljen za ogrevanje v času, ko je stavba zasedena, in večji delež v času nezasedenosti stavbe.

## 4 • REZULTATI

### 4.1 Zbirna analiza raziskave

V zbirni analizi so prikazani rezultati porabe energije v času kurilne sezone glede na dva ključna podatka: zasedenost stavbe in notranjo temperaturo. Pri tem smo se spraševali, koliko toplotne energije je bilo porabljene za ogrevanje stavbe, ko je bila nezasedena in ni bilo potrebe po zagotavljanju bivalne temperature.

Osnovna predpostavka je bila, da v času, ko so prostori nezasedeni, ni potrebe, da bi v stavbo dovajali več toplotne energije, kot je je potrebno za zagotavljanje minimalne temperature. V prostorih, namenjenih izobraževanju, podobno kot pri poslovnih prostorih, temperatura v času nezasedenosti naj ne bi padla pod 12 °C (ARC, 2017). Priporočljiva temperatura v prostorih, kjer so skladiščena živila (npr. kuhinje, shrambe), naj ne bi bila nižja od 15 °C (NIJZ, 2015).

Na osnovi izmerjenih urnih podatkov od dovedeni energiji v stavbo je bila opravljena raziskava, koliko toplotne energije je v stavbah porabljene, ko je bila stavba nezasedena. Seštevek porabe energije na osnovi urnih podatkov sešteva toploto ob pogojih, zapisanih v enačbi 1.

$$\sum_{t=0}^n Q \begin{cases} T > 20 \text{ °C} \\ \text{Kurilna sezona} = 1 \\ \text{Zasedenost stavbe} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

kjer so:

$t=0\dots n$  – seštevek urnih vrednosti dovedene toplote.

$T$  – notranja temperatura v stavbi je 20 °C ali več.

Kurilna sezona = 1 – opredeljuje pogoj, da je v času obravnave bila kurilna sezona.

Zasedenost stavb = 0 – opredeljuje pogoj, da stavba ni bila zasedena.

Za zbirno analizo so bile uporabljene Excelove vrtilne preglednice. Preglednica 2 prikazuje delež porabe v času zasedenosti in nezasedenosti desetih javnih stavb različnih namemb-

nosti. Ugotovili smo, da se v povprečju 65 % toplotne energije v stavbah porabi v času, ko so stavbe prazne in ko torej ni treba zagotavljati bivalnih pogojev. Ob tem je treba upoštevati tudi dejstvo, da so predvsem v šolah in vrtcih v času zasedenosti prostorov veliki notranji dobitki toplote, saj je v enem prostoru v povprečju okoli 20 oseb, medtem ko v času nezasedenosti teh notranjih dobitkov ni. Glede na to je sicer smiselno, da je poraba energije večja v času nezasedenosti. Potencial prihrankov se kaže predvsem takrat, ko je prostor nezaseden in je dosežena temperatura v prostoru višja od 20 °C. Ko je v prostorih že dosežena temperatura 20 °C in so stavbe nezasedene, je bilo v obravnavanih stavbah porabljene kar 53,49 % toplotne energije.

Vsota od Dovedena toplotna energija		Zasedenost		Skupna vsota
Namembnost stavbe	Naziv stavbe (šira)	0	1	
OS	PRE	67,79 %	32,21 %	100,00 %
	VOD	69,36 %	30,64 %	100,00 %
SS	RGI	75,36 %	24,64 %	100,00 %
	RUS	59,04 %	40,96 %	100,00 %
VR	GMA	85,26 %	14,74 %	100,00 %
	JMO	55,13 %	44,87 %	100,00 %
	KAS	49,21 %	50,79 %	100,00 %
	KEK	40,15 %	59,85 %	100,00 %
	LEN	48,05 %	51,95 %	100,00 %
	OST	33,63 %	66,37 %	100,00 %
Skupna vsota		65,85 %	34,15 %	100,00 %

Preglednica 2 • Delež porabe toplotne energije v času zasedenosti in nezasedenosti stavbe v različnih stavbah

Porabo v času nezasedenosti smo podrobneje analizirali glede na izmerjeno notranjo temperaturo. Kumulativne deleže porabljene energije v času nezasedenosti stavbe prikazuje slika 4.

#### 4.2 Predlog krmiljenja ogrevanja s podatkovnim rudarjenjem in strojnim učenjem

Tako predprogramirani kot prostoprogramirani krmilniki za delovanje potrebujejo algoritme, ki določajo, kdaj naj se ogrevalni sistem vključi in kdaj izključi.

Rezultati predstavljene raziskave kažejo, da obstoječi sistemi regulacije niso učinkoviti, saj so prostori pogosto ogrevani, ko to ni potrebno. Rezultati kažejo, kako velika je poraba energije v času, ko so stavbe prazne in se kljub že doseženim ciljnim temperaturam dodatno ogrevajo. Cilj nadaljnjih korakov je torej zagotoviti krmiljenje (upravljanje dovajanja energije v stavbe) tako, da stavba v času, ko ni v uporabi, ni dodatno ogrevana oz. se bo ogrevanje začelo tako, da bo ustrezna temperatura dosežena, ko se začne njena uporaba oz. zasedenost.

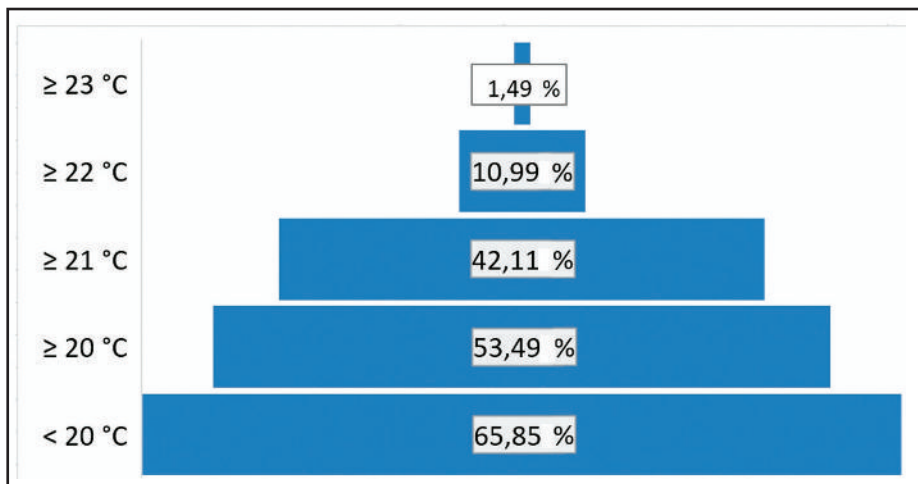
Kot smo že navedli, obstoječi načini regulacije (kot je npr. vodenje ogrevanje na osnovi krivulje po zunanji temperaturi) delujejo na preddefiniran način, ki ne upošteva vseh potrebnih parametrov za energetsko učinkovito delovanje. Predlog izboljšave, opisan v nadaljevanju, predvideva ekonomsko učinkovite nadgradnje regulacije ogrevanja s povezovanjem obstoječih krmilnikov preko interneta v centralno bazo podatkov, ki s pomočjo preteklih masovnih podatkov in strojnega učenja izključuje ogrevanje, ko je stavba prazna, in pravočasno vključi ogrevanje, da je stavba ustrezno temperirana v času začetka uporabe. Izhodišči, ki zagotavljata ustrezno bivalno ugodje in nizko porabo energije, sta:

- zagotavljanje ustreznih, ne previsokih in ne prenizkih notranjih temperatur v času zasedenosti stavbe,
- čim manjša poraba energije v času, ko je stavba nezasedena, upoštevaje minimalno dopustno temperaturo.

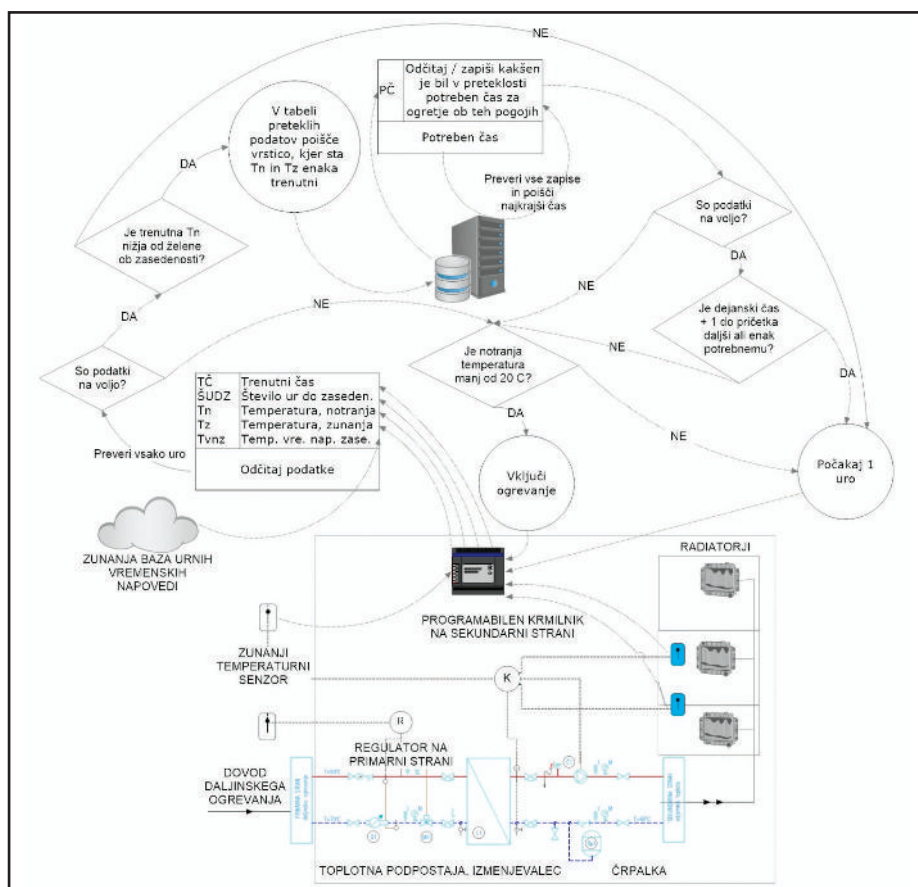
Strojno učenje na osnovi podatkov iz urnika zasedenosti, zahtevane notranje temperature v času zasedenosti in preteklih podatkov o potrebni energiji za ogretje stavbe omogoča izračun časa, ki je potreben, da se nezasedena stavba ogreje do ustrezne temperature ob začetku zasedenosti.

Za zagotavljanje ustrezne temperature v času zasedenosti je treba spremljati vsaj naslednje parametre:

- notranjo temperaturo,
- zunanjo temperaturo,



Slika 4 • Delež porabe energije glede na že doseženo notranjo temperaturo v času nezasedenosti stavbe.



Slika 5 • Predlagana nova shema upravljanja ogrevanja na osnovi podatkovnega rudarjenja.

- predviden urnik zasedenosti prostora,
- porabo toplotne in električne energije ter vremensko napoved.

Slika 5 prikazuje dopolnjen sistem upravljanja ogrevanja s pomočjo programabilnega krmilnika, ki se povezuje v centralno relacijsko bazo

v oblaku in ogrevanje krmili na osnovi znanja, pridobljenega iz preteklih podatkov, in vremenske napovedi. Krmilnik posreduje v podatkovno bazo podatke o trenutnem času, trenutnih zunanjih in notranjih temperaturah. Podani algoritmi na osnovi podatkov centralne relacijske



baze izračunajo število ur, ko bo stavba spet zasedena. Če so podatki na voljo in je trenutna notranja temperatura v času nezasedenosti nižja od želene v času zasedenosti, se začne postopek podatkovnega rudarjenja, kjer se v

bazi preteklih podatkov odčita potreben čas, da se je stavba ob enakih zunanjih razmerah ob polnem dovodu toplote ogrela. Če je teh zapisov iz preteklosti več, potem se izbere najkrajši dotedanji čas. Nato se preveri, ali

je glede na trenutni čas že potreben vklop delovanja sistema ali lahko krmilnik z vklopom počaka še eno uro. Tu je za rezervo dodana ena ura, vsaj dokler sistem ne bo nastavljen tako, da rezerva vklopa ne bo več potrebna.

## 5 • ZAKLJUČEK IN DISKUSIJA

Večina obstoječih stavb je pretežno krmiljenih na osnovi krivulje glede na zunanjo temperaturo. Ta način delovanja krmiljenja praviloma v stavbo dovaja toplotno energijo glede na zunanjo temperaturo, ne upošteva pa zasedenosti stavbe in že dosežene notranje temperature. Pomanjkanje znanja za spremembe nastavitve delovanja krmilnikov in premajhna zavzetost upravljavcev stavb, da bi nastavitve spreminjali glede na spremenjene okoliščine, se praviloma izražata v čezmernem ogrevanju v času nezasedenosti stavb. Raziskava kaže, da se velik delež (okoli 65 % pri opazovanih stavbah) toplotne energije dovaja v stavbe, ko so nezasedene. Še posebno pri dobro izoliranih stavbah (novih ali prenovljenih) ni potrebe, da se stavbe ogrevajo, ko so prazne, saj se zaradi zelo dobro izoliranega zunanje ovojja ohlajajo počasi, v poletnem času pa se zaradi dobre izolativnosti tudi ogrejejo počasi. Zato predlagani koncept predvideva, da se v stavbo sploh ne dovaja toplota, ko je stavba prazna, ogrevanje pa se vključi ravno pravi čas, da je dosežena ustrezna temperatura, ko se stavba začne uporabljati. Cilja sta torej zagotavljanje ustreznega temperaturnega ugodja, ko je stavba v uporabi, in znižanje stroškov nepotrebnega ogrevanja.

Povezava med dejavniki, ki vplivajo na notranjo temperaturo, je nelinearna in dinamična (dinamično je spreminjaje podnebnih razmer, kot so zunanje temperature, osončenost, veter, količina izmenjave zraka in prezračevanje ..., dinamični pa so tudi spreminjanje zasedenosti stavbe in navade uporabnikov) in jo je zato težko izraziti z matematičnim modelom. Po drugi strani pa iz preteklih podatkov o delovanju stavbe s pomočjo podatkovnega rudarjenja

lahko razberemo vzorce, ki jih uporabimo kot izhodišče za prihodnje upravljanje ogrevanja. Več ko je na voljo preteklih podatkov, bolj natančno je predvidevanje. Za strojno učenje po metodi surove moči (brute-force) je torej pomembno, da imamo na voljo čim več kombinacij podatkov, zajetih ob različnih pogojih. Z namenom, da pridobimo podatke, zato v začetni fazi učenja spodbujamo delovanje ogrevanja v različnih ekstremnih situacijah. Z vsako dodatno kombinacijo podatkov stavba deluje učinkoviteje, saj je napoved delovanja stavbe ob več preteklih podatkih natančnejša tudi za prihodnje situacije.

Opisani sistem upravljanja ogrevanja se torej nagiba k temu, da je v času nezasedenosti stavbe čim dlje izključen in zato ne porablja energije po nepotrebnem. S tem je temperatura v stavbi zunaj časa zasedenosti nižja, kot je bila doslej, nižja notranja temperatura pa pomeni nižjo porabo energije. Ključno ob tem je, da temperature v času zasedenosti ne nižamo in da je bivalno ugodje enako ali boljše.

Ker je predlagano, da se stavba ogreje v najkrajšem možnem času, se z vsakim ciklusom ogrevanja in glede na zunanjo temperaturo in vremensko napoved pridobijo nove kombinacije, iz katerih je mogoče odčitati najkrajši potreben čas za ogretje stavbe. Gre za niz podatkov, kot so: notranja temperatura, zunanja temperatura, potrebna energija in čas, ki je bil nazadnje potreben, da se je stavba ogrela. V določeni fazi, ko je dovolj preteklih podatkov, je smiselno upoštevati tudi vremensko napoved, in sicer z razlogom, da ne dogrevamo, kadar so napovedane visoke temperature, in da dodatno ogrevamo, kadar je napovedano hladno vreme.

Na začetku delovanja na osnovi podatkovnega rudarjenja in strojnega učenja se predlaga obrnjena logika: če ni podatka, potem naj sistem ogreva s polno močjo, da ne bi bilo prehladno v času, ko je stavba zasedena. Pri tem se v bazo zapišejo podatki o najkrajšem potrebnem času za ogretje stavbe glede na izhodiščno notranjo in zunanjo temperaturo. Naslednjič, ko so podatki na voljo, se stavba v času nezasedenosti ne ogreva, dokler ni izpolnjen pogoj minimalno potrebnega časa za ogretje. To zmanjšuje porabo energije. Pomemben vidik predlaganega koncepta je večanje baze podatkov s podatki najkrajših časov, potrebnih za ogretje. Z vsakim ciklusom ogrevanja v najkrajšem času pa se za naslednjič pridobi podatek, kdaj je potreben vklop. Potrebne bi bile še raziskave, ali je pri vseh virih ogrevanja dovajanje z maksimalno močjo najbolj učinkovito, pri čemer bi bilo treba upoštevati tudi stroške priključne moči na daljinskem ogrevanju, izkoristek kotlov pri plinu, ELKO in biomasi ter koeficiente učinkovitosti (COP) pri toplotnih črpalkah.

Ugotovili smo že, da javne stavbe pretežno delež toplotne energije (53,49 %) porabijo, ko so nezasedene in so že ogrete na več kot 20 °C. Poleg raziskave smo podali predlog, kako je mogoče v takšnem primeru zmanjšati ogrevanje, da bi pri tem ob začetku ogrevanja temperatura bila ustrezna. Ključno je torej nastaviti delovanje krmilnika tako, da bodo poleg obstoječega pogoja regulacije krivulje na osnovi zunanje temperature upoštevani še dodatni parametri, kot so: notranja temperatura, zasedenost oz. uporaba stavbe in potreben čas, da se bo stavba s trenutne temperature ogrela na želeno (glede na zunanje razmere). Povezava krmilnika v spletno bazo masovnih podatkov in strojnega učenja ogrevanja je rešitev, ki bi lahko v javnih stavbah prihranila 15 % in več energije za ogrevanje.

## 6 • LITERATURA

- Abrahamse, W., Steg, L., Vlek, C., Rothengatter, T., A review of intervention studies aimed at household energy conservation, *Journal of Environmental Psychology*, 25, 2005.
- Altrock, C. V., A Fuzzy-Logic Thermostat, *Circuit Cellar INK*, The Computer Applications Journal, 1996.

- ARC, American Red Cross, Fact Sheet: Preventing and Thawing Frozen Pipes, [http://www.tolland.org/sites/tollandct/files/uploads/freezing-pipes\\_0.pdf](http://www.tolland.org/sites/tollandct/files/uploads/freezing-pipes_0.pdf), pridobljeno 11. 1. 2017.
- Babaei, T., Abdi, H., Lim, C. P., Nahavandi, S., A study and a directory of energy consumption data sets of buildings, *Energy and Buildings*, 94, 91–99, 2015.
- Bohanec, J., Laznik, T., Praper, P., Zahteva za podelitev patenta, Digitalni obratovalni monitoring, 2014.
- Chou, J.-S., Ngo, N.-T., Smart grid data analytics framework for increasing energy savings in residential buildings, *Automation in Construction*, 2016.
- Cios, K. J., Pedrycz, W., Swiniarski, R. W., Kurgan, L. A., Data mining, A Knowledge Discovery Approach, 2007.
- Corry, E., Pauwels, P., Hu, M., Keane, M., O'Donnell, J., A performance assessment ontology for the environmental and energy management of buildings. *Automation in Construction*, 57, 2015.
- D'Oca, S., Corgnati, S., Hong, T., Data Mining of Occupant Behavior in Office Buildings, *Energy Procedia*, 2015.
- Dierenfeld, H., Merceron, A., Learning Analytics with Excel Pivot Tables. 1<sup>st</sup> Moodle ResearchConference, Heraklion, Crete-Greece, 2012.
- Elektro Celje, Letno poročilo družbe Elektro Celje in Skupine Elektro Celje 2014, 2015.
- GI ZRMK, Gradbeni inštitut ZRMK, Regulacija centralnega ogrevanja, objavljeno v: Malovrh, M., Oberžan, D., Pogačnik, J., Šijanec ZAVRL, M., Katja, R., (uredniki), Zbirka informativnih listov ZA UČINKOVITO RABO ENERGIJE. Ljubljana: Republika Slovenija, Ministrstvo za gospodarske dejavnosti, Agencija RS za učinkovito rabo energije, 2003.
- Grote, D., Petrov, K., Lagler, B., Jus, M., Žertek, A., Dodig, V., Podbregar, G., Majdič, G., Analiza stroškov in koristi uvedbe naprednega merjenja v Sloveniji, DNV KEMA Energy & Sustainability in KORONA, 2014.
- Han, J., Kamber, M., Pei, J., Data mining: concepts and techniques, Morgan Kaufmann Publishers, 2012.
- Harmer, L. C., Henze, G. P., Using calibrated energy models for building commissioning and load prediction, *Energy and Buildings*, 92, 204–215, 2015.
- Hensen, J. L. M., On the thermal interaction of building structure and heating and ventilating system, Technische Universiteit Eindhoven, 1991.
- IEA, International Energy Agency, Recent trends in OECD, Energy balances of OECD Countries, 2015.
- Košir, M., Krainer, A., Dovjak, M., Perdan, R., Kristl, Ž., Alternative to the conventional heating and cooling systems in public buildings, *Strojniški vestnik, letnik 56*, 575–583, 2010.
- Košir, M., Analiza regulacijskih sistemov bivalnega okolja v stavbah, *Gradbeni vestnik, letnik 60*, 2011.
- Kristl, Ž., Košir, M., Trobec Lah, M., Krainer, A., Fuzzy control system for thermal and visual comfort in building, *Renewable energy*, 33, 694–702, 2008.
- Lee, D., Cheng, C.-C., Energy savings by energy management systems: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 760–777, 2016.
- Lukasiewicz, J. 1920. On three-valued logic, v Borkowski, L., (ed.), Selected works by Jan Łukasiewicz, North-Holland, Amsterdam, 1970.
- Marinakos, V., Karakosta, C., Doukas, H., Androulaki, S., Psarras, J., A building automation and control tool for remote and real time monitoring of energy consumption, *Sustainable Cities and Society*, 6, 11–15, 2013.
- Mccelland, L., Cook, S. W., Energy conservation effects of continuous in-home feedback in all-electric home, *J. Environmental Systems*, 9(2), 1980.
- Menezes, A. C., Cripps, A., Bouchlaghem, D., Buswell, R., Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap, *Applied Energy*, 2012.
- NIJZ, Nacionalni inštitut za javno zdravje, Higienska stališča za higieno živil za zaposlene, namenjena delavcem v živilski dejavnosti, [http://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/datoteke/higienska\\_staliscsa\\_za\\_higieno\\_zivil\\_namenjena\\_delavcem\\_v\\_zivilski\\_dejavnosti\\_2.\\_stopnja\\_2014\\_verzija\\_2.pdf](http://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/datoteke/higienska_staliscsa_za_higieno_zivil_namenjena_delavcem_v_zivilski_dejavnosti_2._stopnja_2014_verzija_2.pdf), pridobljeno 11. 1. 2017.
- Ovsenik-Jeglič, T., Mekinda-Majaron, T., Klimatografija Slovenije, Stopinjski dnevi in trajanje kurilne sezone, pridobljeno 22. 3. 2016, 2002.
- Peffer, T., Pritoni, M., Meier, A., Aragon, C., Perry, D., How people use thermostats in homes: A review, *Building and Environment*, 46, 2529-2541, 2011.
- Perez-Lombard, L., Ortiz, J., Pouč, C., A review on buildings energy consumption information, *Energy and Buildings*, 40, 394–398, 2008.
- Petelin Visočnik, B., Pečkaj, M., Sučić, B., Z optimizacijo delovanja energetskega sistema do dodatnih prihrankov, Dnevi energetikov (16; 2014; Portorož), Portorož, Časnik Finance, 2014.
- Praper, P., Organizational point of view for the use of information technology in construction projects. In: Dikbas, A., Scherer, R., (ed.). eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction (ECPM 2004), Istanbul, Turkey. A.A. Balkema publishers, 2004.
- Praper, P., Energetsko upravljanje in uvajanje informacijskega sistema za energetsko upravljanje – pomemben dejavnik pri doseganju zastavljenih ciljev energetske sanacije, v: Visočnik, B. P., Merše, S., (urednika). Energetska učinkovitost – ključna razvojna prednost in usmeritev: zbornik/16. Dnevi energetikov 2014, Portorož. Ljubljana: Časnik Finance, 2014.
- Puckering, G., Can Excel pivot tables be considered as a data mining tool?, <https://www.quora.com/Can-Excel-Pivot-Tables-be-considered-as-a-data-mining-tool>, pridobljeno 16. 3. 2017, 2014.

- Rebolj, D., Babič, N. Č., Magdič, A., Podbreznik, P., Pšunder, M., Automated construction activity monitoring system, *Advanced Engineering Informatics*, 22, 493–503, 2008.
- Ryan, E. M., Sanquist, T. F., Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic conditions, *Energy and Buildings*, 47, 375–382, 2012.
- SELTRON, Sobni termostat ST2, navodila za uporabo, 2012.
- Sharmin, T., Gül, M., Li, X., Ganev, V., Nikolaidis, I., Al-Hussein, M., Monitoring building energy consumption, thermal performance, and indoor air quality in a cold climate region, *Sustainable Cities and Society*, 13, 57–68, 2014.
- Singh, J., Singh, N., Sharma, J. K., Fuzzy modeling and control of HVAC systems - A review, 2005.
- Sučič, B., Anđelković, A. S., Tomšič, Ž., The concept of an integrated performance monitoring system for promotion of energy awareness in buildings, *Energy and Buildings*, 98, 82–91, 2015.
- Terano, T., Asai, K., Siugeno, M., *Applied Fuzzy Systems*, 1994.
- Tomažič S., Logar, V., Škrjanc, I., Košir, M., Simulator avtomatiziranega notranjega okolja, *Elektrotehniški vestnik*, 80, 195–201, 2013.
- Turing, A., *Intelligent Machinery*, Report for National Physical Laboratory, 1948.
- Umanotera, Plan B za Slovenijo 2.0, Trajnostni razvoj – edina globalna strategija preživetja in ključna primerjalna prednost Slovenije, Zbornik, 2010.
- Yan, D., O'Brien, W., Hong, T., Feng, X., Burak Gunay, H., Tahmasebi, F., Mahdavi, A., Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges, *Energy and Buildings*, 107, 264–278, 2015.
- Zach, R., Hofstätter, H., Tauber, C., Mahdavi, A., A distributed and scalable approach to building monitoring, *ITcon, Journal of Information Technology in Construction*, 20, 2015a.
- Zach, R., Paul, A., Zach, R., Mahdavi, A., Plug and play building monitoring: The potential of low cost components, *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*, CRC Press, 2015b.
- Zadeh, L. A., *Fuzzy Sets, Information and Control*, 8, 1965.
- Zaki, M. J., Meira, W. J., *Data mining and analysis*, New York, Cambridge University Press, 2014.
- Zhou, K., Fu, C., Yang, S., Big data driven smart energy management: From big data to big insights, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 215–225, 2016.