

Zasnova pametnega omrežja za učinkovito upravljanje zgradb

Igor Godec, PROF.EL, Robert Rozman, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Ljubljana

Povzetek — Obstoječi načini avtomatiziranega upravljanja zgradb so v sodobnem trendu pametnih omrežij postavljeni pred pomembne izzive. Prenos podatkov na daljavo, njihova učinkovita obdelava in zmožnost hitrega prilagajanja spremembam so zaradi nepovezanosti in togosti obstoječih sistemov zelo težko uresničljivi. Kot učinkovito rešitev tovrstnih težav smo zasnovali novo generacijo pametnih mikrokrmilniških sistemov, ki prinašajo poleg opisanih še veliko novih, tudi še dokaj neraziskanih potencialov za nadaljnji razvoj. Bistvena prednost teh sistemov je povezljivost z oblako storitvijo, ki že v tem trenutku omogoča bolj učinkovito upravljanje zgradb na daljavo in uporabniku ter okolju bolj prijazno rešitev. Ravno zaradi zmožnosti hitrega prilagajanja ponuja učinkovito rešitev tudi za nove, še nepredvidene izzive v prihodnosti.

V prvem delu predstavljamo osnovni gradnik regulacije delovanja posamezne zgradbe in njenega povezovanja v koncept pametnih omrežij – mikrokrmilniški sistem DIALOG EQ, ki je namenjen učinkovitemu upravljanju pametnih zgradb tudi na daljavo. Opisujemo proces njegovega razvoja in njegove trenutne zmožnosti. Osnovno vodilo razvoja je bila prijaznost do uporabnika in okolja. V drugem delu pa se posvečamo razvojnim potencialom sistema, morebitnim izzivom prihodnosti ter nekaterim konceptom avtomatskega učenja iz podatkov, pridobljenih pri delovanju teh sistemov v posameznih zgradbah.

Ključne besede — pametna omrežja, pametne zgradbe, regulacije, ogrevanje, hlajenje, internet stvari, oblaka storitev

Abstract — Existing methods of automated building management are in the modern trend of smart grids faced with important challenges. Remote data transmission, efficient data processing and the ability to adapt rapidly to changes are severely limited as a result of poor connectivity and the rigidity of the existing systems. As an effective solution to such problems, we have designed a new generation of smart microcontroller systems that deliver in addition to the described many new, as yet relatively unexplored, potentials for further development. The major advantage of these systems is integration with a cloud service that already allows more efficient management of remote buildings and delivers enhanced user and environment-friendly solution. Also, precisely because of the ability to adapt quickly, these systems offer effective solutions for new, yet unforeseen, challenges in the future.

In this work, we present the basic building block of control for each building and its integration into the concept of smart grid networks - microcontroller system DIALOG EQ, which is aimed at efficient management of smart buildings. We describe the process of its development and current capabilities. The basic guideline for the development was user and environment friendliness. The second part is dedicated to the development potentials of the system, the challenges of the future and certain aspects of automatic (machine) learning from data obtained by the operation of these systems in individual buildings.

Keywords — smart grid, smart building, HVAC, IoT, Cloud

I. UVOD

Zgradbe so eden večjih porabnikov energije v svetovnem merilu. V razvitih državah dosegajo vsaj dobro tretjino vse porabljene energije. Slabo polovico energije v zgradbi porabi sistem za ogrevanje, prezračevanje in klimatizacijo prostorov (v nadaljevanju HVAC). Zaradi tega dejstva je ta sistem predmet pogostih raziskav in izboljšav. Na žalost je to bolj posledica naraščanja cene energentov, kot pa višjega nivoja okoljske zavesti. Ne glede na to, je vsekakor pozitivno, da se s porabo energije in vplivi na okolje nikdar v zgodovini še nismo tako intenzivno ukvarjali, kot se prav sedaj.

Pri upravljanju sistemov HVAC v zgradbah imamo nemalo odprtih problemov. Z razvojem tehnologije in našega znanja

se večina problemov postopoma rešuje, nekateri med njimi pa še vedno ostajajo dokaj nerešeni. Na učinkovitost upravljanja takih sistemov namreč vpliva veliko notranjih in zunanjih dejavnikov. Oboji se med posameznimi zgradbami precej razlikujejo, zato je potrebno splošne rešitve dosledno prilagajati specifičnim lastnostim vsake zgradbe posebej. Pri tem imamo običajno dva pogosto kontradiktorna dejavnika:

- poraba energije,
- uporabnikovo udobje.

Vsekakor vedno želimo porabiti čim manj energije, vendar je pri tem potrebno upoštevati tudi omejitve dejanskih uporabnikov – torej nujne potrebe po zagotavljanju njihovega udobja in dobrega počutja.

S pomočjo sodobnih tehnologij in predvsem tudi pametnih omrežij lahko veliko problemov rešimo enostavneje, hitreje in ceneje. To lahko naredimo predvsem zaradi sodobnih konceptov povezljivosti in dostopnosti naprav (t. i. »Internet of Things« - v nadaljevanju IoT) ter njim namenjenih spletnih shramb podatkov in storitev (t. i. oblačne storitve). Kljub temu pa nekaj problemov ostaja za prihodnost (npr. problem optimalnosti upravljanja zgradb).

Skoraj vedno pa obstajajo velike razlike v lastnostih samih objektov in vremenskih pogojih. Zato je prilagoditev posamičnim primerom neizogibna in jo je potrebno zelo previdno izvesti. Velik korak v tej smeri predstavljajo pametni regulatorji, ki omogočajo dvosmerno komunikacijo med zgradbo in oblako (spletno) storitvijo; tako lahko obe strani poskrbita najprej za ustrezno informiranost o dogajanju v zgradbi in na tej osnovi nato določita optimalni regulacijski postopek za učinkovito upravljanje zgradbe.

V nadaljevanju je najprej predstavljen osnovni gradnik pametnega omrežja za učinkovito upravljanje zgradb – regulator DIALOG EQ (v nadaljevanju krajše DEQ). Podrobneje je opisan njegov razvoj in njegove trenutne funkcionalnosti. ~~V nadaljevanju~~ sledi analiza njegovih razvojnih potencialov v skladu z najnovejšimi dognanji na področjih upravljanja zgradb in pametnih omrežij. Delo

zaključimo s kratkim praktičnim prikazom modela EFuNN, ki predstavlja napredno uporabo avtomatskega učenja na področju upravljanja zgradb.

II. PAMETNI REGULATOR DIALOG EQ

PROF.EL d.o.o. je majhno podjetje, ki se ukvarja z raziskavami in razvojem na področju regulacij sistemov za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje in upravljanje zgradb. Od leta 2000 imamo tudi lastno proizvodnjo regulatorjev v ta namen. Z leti smo pridobili kar zajetno množico uporabnikov naših sistemov, ki pa jih je potrebno ustrezno dopolnjevati in vzdrževati, če želimo, da bo njihova življenjska doba dolga in uporabniki zadovoljni.

Vzdrževanje regulatorjev ni enostavna naloga. Regulatorji so namreč praviloma vgrajeni v kotlovnice, v za ta namen pripravljenih elektro omarah. Najbolj učinkovito jih lahko vzdržujemo kar tam, vendar je s tem pogosto povezana dokaj zamudna logistika. Druga možnost je, da regulator odstranimo iz sistema, vendar tako lahko v našem razvojnem laboratoriju opravimo le preizkus regulatorja in ne celotnega sistema, v katerem se je regulator nahajal. Ob nekajletnem soočanju z opisanimi »težavami« smo spoznali, da bi bilo najbolj učinkovito, če bi lahko iz razvojnega laboratorija testirali delovanje regulatorjev in jih vzdrževali brez njihove odstranitve iz sistema. S tem bi seveda lahko na daljavo vzdrževali in nadzirali tudi celotne sisteme v zgradbah.

Omenjene potrebe kakor tudi želje strank so tako narekovale razvoj nove generacije pametnih krmilnikov z imenom DIALOG EQ oziroma krajše DEQ. Ti med drugim omogočajo:

- daljinski nadzor delovanja,
- programsko dopolnjevanje in nadgradnjo,
- možnost sledenja delovanja,
- optimizacijo regulacijskih algoritmov,
- shranjevanje uporabniških sprememb in nastavitvev,
- kronološko beleženje vseh dogodkov,
- več-nivojski dostop (varnost),
- večjezičnost

in še mnoge druge možnosti. S to generacijo krmilnikov so vsa našeta in še nekatera neomenjena opravila postala bistveno enostavnejša in cenejša – velik pa je tudi prihranek časa, ker poti na lokacije sistemov večinoma niso potrebne.

A. Razvoj DIALOGA EQ

Danes, ko večino elektronskih sklopov (v nadaljevanju: HW) proizvedejo na Kitajskem za zelo nizko ceno, se ni lahko odločiti za lasten razvoj. Prav tako pa je ob poplavi najrazličnejših procesorjev in tiskanih vezij težko najti takšen izdelek, ki ponuja kakovostno izdelavo, možnost nadgradnje, dolgoročnojšo dobavljivost in cenovno sprejemljivost. Le malo je izdelkov, ki zadoščajo vsem omenjenim kriterijem. Poleg tega dejstva pa nas kot razvojnike zanima predvsem tudi jamstvo za njihovo robustnost, elektro-magnetno skladnost, temperaturno odpornost ter nenazadnje hitrost staranja komponent in njihove tolerance. Uporabnikov pogosto vse te podrobnosti ne zanimajo, pomembno jim je le, da regulator deluje brez težav in da ga lahko enostavno upravljajo.

V začetku leta 2013 smo se tako lotili razvoja mikrokrmilniškega sistema, ki je na koncu projekta dobil ime DIALOG EQ (slika 1). Razvoj HW smo zaupali izključno domačim strokovnjakom, ki so sicer specializirani za razvoj aparature opreme na področju telekomunikacij. Posledično

smo v določeni meri uporabili tudi njihove standarde. Standardi za področje telekomunikacij so namreč veliko strožje zastavljeni kot standardi za industrijsko in hišno elektroniko, kamor uvrščamo DEQ. Izbira procesorja ni bila enostavna; na koncu smo izbrali procesor ARM iz družine Kinetis (proizvajalec Freescale, sedaj NXP), ki ima MQX operacijski sistem z vključenim TCP/IP in drugimi programskimi moduli.



Slika 1: Gradnik pametnih omrežij – Dialog EQ

B. Internet stvari (IoT) in oblačna storitev (»Cloud«)

Naše razvojne usmeritve so stremele k temu, da izkoristimo vse prednosti, ki jih ponujata dve hitro razvijajoči se tehnologiji: Internet stvari (IoT) in oblačne storitve (»Cloud«).

Dilema, ali naj ima DEQ brezžično ali žično priključitev v internet, se je končala z izbiro slednje. Brezžični (Wi-Fi) dostop je po izvedbi sicer »elegantnejši« (predvsem manj invaziven), vendar v kovinskih elektro omarah večkrat ostane »brez signala«. Na drugi strani pa lahko žični dostop vedno nadgradimo z enostavno Wi-Fi dostopno točko ali s prenosom podatkov po visokonapetostni električni instalaciji (angl. »TCP/IP over powerline«) do najbližjega usmerjevalnika.

Za IoT napravo, med katere uvrščamo tudi DEQ, je bistvenega pomena, da deluje takoj, ko jo priključimo (angl. »plug&play«), saj so nastavitve hišnih usmerjevalnikov običajno vezane na gesla, ki se jih pogosto nihče več ne spomni. Od obrtnikov za ogrevalne sisteme pa tudi ne pričakujemo, da so IT strokovnjaki. DEQ je zato sprogramiran tako, da se ob priključitvi samodejno poveže z usmerjevalnikom in najde pot do strežnika v »oblaku«.

Strežnik za zagotavljanje lastne oblačne storitve smo najeli pri izbranem ponudniku, ki po naši oceni dobro skrbi za varnost in zanesljivost delovanja storitve. Za strežnik smo registrirali domeno z naslovom »www.deq.si«, kamor smo postavili tudi centralno podatkovno bazo z vsemi potrebnimi programi. Zraven ostalih programskih modulov se na strežniku nahaja tudi spletna (v nadaljevanju WEB) aplikacija. Vse komunikacije med uporabnikom in strežnikom potekajo po varni, kodirani povezavi (TLS in SSL protokola).

C. Uporabniški vmesniki

Uporabniki danes upravičeno pričakujejo enostavne in prijazne uporabniške vmesnike od praktično vseh tehnoloških naprav. Ker med takšne naprave uvrščamo tudi DEQ, smo prav posebno pozornost usmerili temu segmentu. Da bi uporabniku ponudili čim več svobode pri nadzoru in upravljanju sistema, smo pri razvoju uporabniškega vmesnika upoštevali naprave,

ki jo ima danes povprečen uporabnik največkrat pri sebi. To so: telefon, tablica in prenosni računalnik. Od uporabnika je torej odvisno, ali bo uporabil računalnik z velikim ali telefon z majhnim zaslonom. V vsakem primeru pa bo uporabil napravo, ki je pri roki in s katero je najbolj navajen »komunicirati« z ostalim svetom. Uporabnik torej lahko kadar koli in od koder koli nadzira ter upravlja ogrevalno/hladilni, prezračevalni ali kak drug sistem v lastni zgradbi. Ker imajo uporabniki različne želje in tudi življenjske sloge, smo jim pripravili tri uporabniške dostope v petih različnih jezikih:

- OSNOVNI LOKALNI DOSTOP (LAN)
Dostop je izveden preko internega strežnika v DEQ in ponuja uporabniku direkten dostop do vseh parametrov sistema. Program je del celotne programske opreme, ki je shranjena v pomnilniku sistema. Zaradi varnosti lokalnega omrežja od uporabnika ne zahteva posebne identifikacije. Interni strežnik deluje tudi brez internetne povezave.
- WEB APLIKACIJA
Namenjena je uporabnikom, ki so priključeni s svojimi računalniki na internet in lahko dostopajo od koder koli. Program je shranjen na strežniku (»v oblaku«) in od uporabnika zahteva ustrezno identifikacijo. Izgled je podoben kot pri osnovnem dostopu, le da ponuja bogatejšo grafično prikaze merjenih podatkov tudi za nazaj (slika 2).
- APLIKACIJA ZA PAMETNE TELEFONE (ANDROID, IOS, WINDOWS PHONE)
Ta je pripravljena za vse tiste, ki prisegajo na mobilne naprave. Aplikacijo je potrebno le naložiti na telefon in vpisati svojo identifikacijo (slika 3).

D. Načini in možnosti uporabe

DEQ je zasnovan kot osnovni gradnik za avtomatizacijo zgradb in njihovo povezavo v koncept pametnih omrežij. Poleg osnovnih funkcij ogrevanja, hlajenja, prezračevanja, lahko upravlja tudi z osvetljevanjem, senčenjem, varovanjem itd.. DEQ ima naslednje priključke:

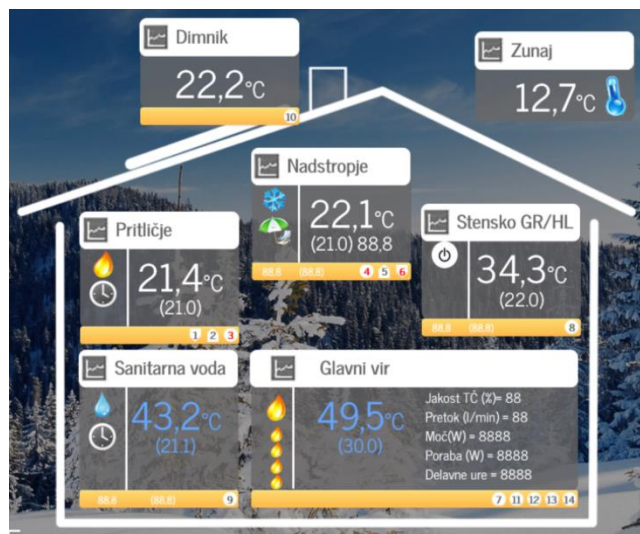
- 20 vhodov (16 analognih, 4 digitalne),
- 16 izhodov (2 analogni, 14 digitalnih).

S temi priključki lahko upravlja večino aplikacij ogrevanja, hlajenja in prezračevanja. Za ostale segmente so predvideni dodatni moduli, ki se bodo priključevali preko CAN ali serijskih vodil, pripravljenih za ta namen.

DEQ ima v svoji programski opremi predpripravljene določene module za krmiljenje različnih generatorjev toplote/hladu (oljnih, plinskih kotlov, kotlov na biomaso, toplotnih črpalk, sončnih kolektorjev) kakor tudi module za distribucijo energije (direktne in mešalne veje). Prav tako so pripravljene podprogrami za merjenje porabe električne energije, proizvodnjo toplotne energije ...

Izvajalec priključitve mora uporabniku le prilagoditi (odključati) ustrezne module in skupaj z njim nastaviti zelene parametre delovanja. Vsak uporabnik prejme ob nakupu tudi identifikacijsko kodo za uporabnike, s katero lahko vstopa v WEB ali mobilno aplikacijo. Serviserji dobijo servisno kodo, ki jim omogoča daljinski dostop do vseh sistemov, ki so jih sami postavili. Uporabniška koda omogoča le spreminjanje uporabniških nastavitev, medtem ko je za spreminjanje ostalih nastavitev potrebna najmanj servisna koda. DEQ zaenkrat še ni prosto programirljiv, zato je potrebno za spremembe

funkcionalnosti zaprositi proizvajalca, ki po želji uporabnika pripravi ustrezne programe, jih daljinsko naloži in zažene.



Slika 2: Začetni zaslon WEB aplikacije – www.deq.si



Slika 3: Aplikacija za mobilne telefone

E. Dvosmerna komunikacija z oblakom

Želja, da bi DEQ učinkovito komuniciral z uporabnikom, je bila ves čas pred našimi očmi, a zavedali smo se tudi njenih pasti. Osnovna naloga DEQ je upravljanje sistemov v zgradbi in temu je potrebno zagotoviti ustrezno prioriteto. Zato DEQ vzpostavi komunikacijo s strežnikom le enkrat na minuto. Najprej pošlje vse potrebne podatke strežniku in nato še preveri, ali ga tam čaka kakšno sporočilo. V kolikor ga ni, DEQ začasno prekine komunikacijo s strežnikom do naslednjega prenosa. Sprememba parametrov na DEQ s strani strežnika se tako lahko zgodi le ob aktivni povezavi.

Za potrebe nadzora delovanja ima vsak DEQ vgrajeno tudi »črno skrinjico«, ki spremlja in beleži vse dogodke, ki vplivajo na delovanje sistema. Krožni pomnilnik (FIFO) je dovolj velik, da si lahko zapomni dogodke za obdobje zadnjega pol leta.

Na podoben način je organiziran tudi pomnilnik za beleženje opozoril in alarmov. Vsak programski modul lahko generira opozorila in alarme v treh prioritetenih nivojih:

- »minor« – nižja
- »major« – višja
- »critical« – najvišja

Za varnost programskega dela je poskrbljeno tako, da sta v zunanjem (Flash) pomnilniku shranjena dva programa: glavni in rezervni. V kolikor bi prišlo do poškodbe glavnega programa (najbolj pogosto bi se to lahko teoretično zgodilo v procesu nadgradnje, čeprav dosedanja praksa kaže na izredno zanesljivost tega postopka), bi DEQ uporabil rezervni program, ki zagotavlja osnovni nabor funkcionalnosti, predvsem povezavo s strežnikom v oblaku in možnost ponovnega posodabljanja na daljavo.

III. RAZVOJNI POTENCIALI DIALOGA EQ IN PAMETNIH OMREŽIJ V ZGRADBAH

Zgradbe so v naši družbi pomembne z več različnih vidikov. Med najbolj pomembne vsekakor sodita dejstva, da so zgradbe eden večjih porabnikov energije in da se v njih zadržujemo večino našega življenja (kot bivalni ali službeni prostor). V skladu z načeli trajnostnega razvoja si zato prvo dejstvo zasluži še posebno pozornost – poraba energije je namreč eden od najbolj pomembnih vplivov človeka na okolje v sedanjosti in še posebej prihodnosti. Poleg raziskav in razvoja obnovljivih virov imamo še veliko rezerve prav v optimizaciji energetske porabe v zgradbah. Seveda moramo pri tem upoštevati dejstvo, da v zgradbah tudi živimo in je za to potrebno zagotavljati optimalne razmere. Seveda si vidika energetske porabe in zagotavljanja uporabnikovega udobja nekoliko nasprotujeta, vendar ju lahko vključimo kot glavna dejavnika v procesu optimizacije upravljanja zgradbe.

A. Učinkovito upravljanje zgradb s pomočjo modelov

Osnovni koncept optimalnega upravljanja zgradb, upoštevajoč oba zgoraj omenjena vidika, je dandanes dokaj enoten. Običajno je njegov glavni sestavni del t.i. termo dinamični model (TDM) samega delovanja zgradbe – ta omogoča napoved odziva zgradbe na različne zunanje in notranje dejavnike. Med najbolj izrazitimi zunanjimi dejavniki so npr. zunanja temperatura, osončenost, veter, ponekod tudi dinamične cene energentov in obnovljivi viri energije. Notranjih dejavnikov je tudi veliko in so morda celo težje predvidljivi vnaprej; to so npr. prisotnost uporabnikov, njihove zahteve in navade, njihovo število, notranji toplotni viri itd..

Za učinkovito upravljanje zgradbe zato potrebujemo model, ki nam pojasnjuje vpliv obeh vrst dejavnikov na dogajanje v zgradbi in kar je najbolj pomembno, da to z zadovoljivo natančnostjo lahko naredimo vnaprej – v obliki napovedi. Na tej osnovi lahko nato v procesu optimizacije določimo regulacijski postopek, ki bo zadovoljil omejitve in zahteve po čim manjši porabi energije in istočasno vplivu na okolje. Tovrstni način je danes najbolj razširjen in ga imenujemo »Modelsko napovedno upravljanje« zgradb (angl. MPC – Model Predictive Control). Ker je način sám bolj

splošen, obstaja v številnih oblikah – pač upoštevaje razpoložljive podatke iz okolja in vire za njegovo implementacijo [1,2].

i. Osnovni model procesa ali naprave

Da bi ustvarili dober osnovni model, običajno potrebujemo veliko znanja o samem problemu, ki ga modeliramo. Seveda pa moramo model tudi prilagoditi dejanskim podatkom neke konkretne zgradbe. Pri tem lahko seveda izkoristimo samo posamezni komponenti ali pa obe skupaj. Glede na to ločimo 3 glavne skupine tovrstnih modelov, ki jih uporabimo pri upravljanju zgradb:

- MATEMATIČNO-FIZIKALNI MODELI (angl. »WHITE BOX«)
Zgradbo modeliramo s pomočjo enačb, ki izražajo povezave in vpliv vhodnih dejavnikov na izhodne vrednosti modela. Tukaj je potrebno največ domenskega znanja in pogosto je tudi model dokaj kompleksen ter težko razumljiv nestrokovnjakom.
- HIBRIDNI MODELI (angl. »GRAY BOX«)
Predstavljajo kombinacijo med matematično-fizikalnimi modeli in empiričnimi modeli. Tukaj je potrebno nekoliko manj domenskega znanja, običajno se oblikuje enostavnejši model (izraz), čigar neznani parametri se prilagodijo podatkom iz delujočega sistema.
- EMPIRIČNI MODELI (angl. »BLACK BOX«)
Nimajo vnaprej določene strukture ali izraza in so prosto oblikovani glede na obstoječe podatke. Domensko znanje ni potrebno, je pa seveda pogosto njihovo delovanje težje razumeti oziroma razložiti. Običajno nas to ne moti in jih lahko učinkovito uporabljamo tudi brez te možnosti.

Več podrobnosti in primerjav med modeli se nahaja v [2,3].

ii. Uporaba osnovnega modela v zgradbah

Do sedaj smo omenjali le osnovni vidik uporabe omenjenega modela za učinkovito upravljanje zgradb, predvsem z vidika energetske porabe. Tovrstni modeli pa prinašajo še veliko širše potenciale za nadaljnji razvoj. Med najpomembnejšimi izpostavljam naslednje :

- MODELIRANJE DELOVANJA ELEMENTARNIH PROCESOV IN NAPRAV V ZGRADBI
Tvorimo lahko manjše modele, ki ponazarjajo delovanje elementarnih naprav in procesov v sistemu.
- DETEKCIJA NEPRAVILNOSTI V DELOVANJU NAPRAV IN PROCESOV
Na osnovi razhajanja med napovedjo modela in dejanskimi razmerami lahko sklepamo tudi na nepravilnosti ali neučinkovitosti v delovanju sistema ali posameznih procesov.
- UČENJE IN PRILAGAJANJE MODELOV MED DELOVANJEM
Ena od bistvenih lastnosti vseh modelov mora biti tudi možnost prilagajanja dejanskim razmeram. V večini primerov namreč pride do razhajanja med t. i. učnim in testnim oziroma delovnim okoljem; temu se model mora znati prilagoditi, sicer je v praksi dokaj neuporaben.
- OPTIMIZACIJA REGULACIJSKIH POSTOPKOV NA OSNOVI NAPOVEDI MODELOV
V regulacijah si vedno prizadevamo naše akcije prilagoditi pričakovanemu rezultatu, ki pride šele čez

nekaj časa. Zato je možnost napovedi pri tem zelo koristna.

B. Vloga pametnih omrežij pri upravljanju zgradb

Za učinkovito upravljanje zgradb potrebujemo čimbolj natančen model in čimbolj optimalen postopek regulacije. Da bi lahko oboje dosegli, potrebujemo tudi veliko podatkov o samemu delovanju sistema in obeh vrstah dejavnikov. Prav tako pa seveda moramo te podatke obdelati ter z njimi obogatiti naše modele in določiti optimalne postopke regulacije. Vse to zahteva vzpostavitev senzorskega omrežja in razpoložljivost računalniških virov za vse potrebne analize in izračune.

Za dobro delovanje modela potrebujemo čimbolj natančne podatke iz okolja. V večini primerov so njihovi viri kar sami regulatorji in krmilniki posameznih procesov na nižjih nivojih. Pri njih je samo potrebno zagotoviti dvosmerno komunikacijo z višjimi nivoji sistema upravljanja z zgradbo. Pametna omrežja omogočajo tudi poljubno porazdelitev računskih virov – modeli se lahko izračunavajo na oddaljeni ali bližnji lokaciji, pomembna je le povezava. Na ta način lahko zgradbe vključimo tudi v širši kontekst pametnih mest [4].

DIALOG EQ je sodobno zasnovan mikrokrmilniški sistem, ki omogoča implementacijo vseh opisanih optimalnih strategij za učinkovito upravljanje zgradb. V prvi vrsti prenaša podatke o svojem delovanju (seveda le ob uporabnikovi privolitvi) na strežnik. Zaenkrat se ti podatki shranjujejo v podatkovno bazo. V naslednjem razvojnem ciklusu pa načrtujemo tudi obdelavo teh podatkov, predvsem v smeri oblikovanja modelov za delovanje posameznih zgradb v celoti ali pa posameznih procesov oziroma naprav v zgradbah.

C. Primer uporabe modela EFuNN za ogrevanje sanitarne vode

Za ilustracijo naših načrtov povzemamo izbran primer iz preliminarne raziskave z izbranim »črno-sivim« modelom EFuNN, temelječem na nevronskih mrežah in uporabi mehke logike [5]. Več podrobnosti o teh raziskavah se nahaja v [6].

Modelirali smo grelnik sanitarne vode. Na ohlajanje vode vplivata temperatura njegove okolice (»temperatura okolja«) in poraba tople vode. Na temperaturo vode vpliva tudi proces ogrevanja. Vsi naštetih dejavniki predstavljajo vhodne podatke modela (vsi, razen zadnjega, so ob času t):

- temperatura okolja (v stopinjah Celzija)
- ogrevanje vode (1-gretje, 0-neaktivno)
- poraba tople vode (1-poraba, 0-neaktivno)
- trenutna temperatura sanitarne vode (v stopinjah Celzija)
- »prejšnja« temperatura sanitarne vode v času $t-1$ (v stopinjah Celzija)

Izhod modela napoveduje temperaturo vode v naslednjem časovnem trenutku $t+1$. Srednja kvadratna napaka te napovedi je prikazana na sliki 4. Časovni trenutki (t) so enakomerno razporejeni po diskretni časovni osi s presledkom 100 sekund in oštevilčeni z zaporednimi številkami. Model se je učil med delovanjem, zato je v začetnem delu prikaza vidna večja napaka, ki se potem med delovanjem vztrajno manjša.

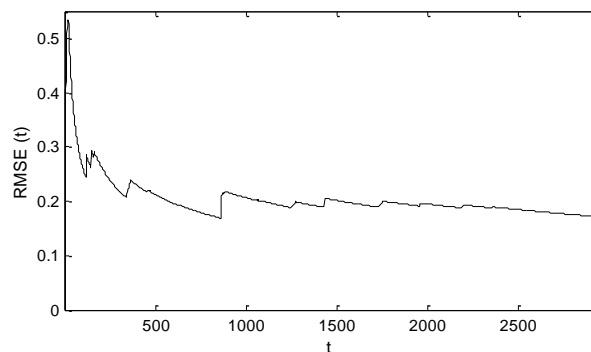
IV. ZAKLJUČEK

Z opisanim sistemom DIALOG EQ zaključujemo začetni razvojni cikel. V članku smo predstavili glavne razvojne potenciale najprej v splošnejšem, potem pa tudi bolj

konkretnem smislu razvoja našega sistema v prihodnosti. Pri tem delu bomo še naprej iskali stične točke med zgradbami in pametnimi omrežji – še posebej bodo za nas zanimivi morebitni sinergični učinki obeh konceptov.

Aplikacijsko nas bodo v prihodnosti predvsem zanimala področja uporabniških storitev, kot so vizualizacija delovanja, nastavitve uporabniških parametrov, analize učinkovitosti sistemov itd..

Raziskovalno pa nas bodo še posebej zanimala področja termodinamičnega modela zgradbe in optimizacije postopkov upravljanja zgradb, avtomatskega učenja iz podatkov, detekcije nepravilnosti v delovanju ipd..



Slika 4. Potek srednje kvadratne napake (RMSE) napovedi temperature sanitarne vode EFuNN modela grelnika sanitarne vode

LITERATURA

- [1] R. Kwadzogah, M. Zhou and S. Li, "Model predictive control for HVAC systems — A review," *2013 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, Madison, WI, 2013, pp. 442-447.
- [2] Siddhartha Ghosh, Steve Reece, Alex Rogers, Stephen Roberts, Areej Malibari, and Nicholas R. Jennings. 2015. Modeling the Thermal Dynamics of Buildings: A Latent-Force-Model-Based Approach. *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.* 6, 1, Article 7 (March 2015)
- [3] Z. Yu, L. Jia, M. C. Murphy-Hoye, A. Pratt and L. Tong, "Modeling and Stochastic Control for Home Energy Management," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 4, no. 4, pp. 2244-2255, Dec. 2013.
- [4] ROZMAN, Robert. Pametna zgradba : osnovni gradnik pametnega mesta, Osemindvajseta delavnica o telekomunikacijah, *Pametna mesta : zbornik referatov*, Elektrotehniška zveza Slovenije, 2012
- [5] N.Kasabov, *Evolving Connectionist Systems for On-line, Knowledge-based Learning: Principles and Applications*, Technical Report TR99/02, Department of Information Science, University of Otago, 1999
- [6] ROZMAN, Robert, ŠTRANCAR, Andrej, ŠONC, Damjan. Uporaba prilagodljivih mehkih nevronskih mrež v inteligentnih okoljih. V: ZAJC, Baldomir (ur.), TROST, Andrej (ur.). *Zbornik Osemnajste mednarodne elektrotehniške in računalniške konference - ERK 2009*.

BIOGRAFIJA



Igor Godec je lastnik in tehnični vodja podjetja PROF.EL d.o.o. Že več kot dve desetletji se ukvarja z raziskavami in razvojem termo-regulatorjev, njihovimi prijaznimi uporabniškimi vmesniki in aplikacijami v realnih okoljih.



Robert Rozman je višji predavatelj na Fakulteti za računalništvo in informatiko, Univerza v Ljubljani. Ukvarja se s področji digitalnega procesiranja (govornih) signalov, arhitekturo računalnikov, senzorski omrežji in pametnimi zgradbami.