

Mobilni nadzor male hidroelektrarne

Luka SELAK in Alojzij SLUGA

Izvleček: Prispevek obravnava razvoj sistema za mobilni nadzor male hidroelektrarne. Cenovna dostopnost in zanesljivost mobilnih komunikacijskih tehnologij omogočata njihovo uporabo na povsem novih področjih. V povezavi s polprevodniškimi senzorji lahko sedaj nadzorujemo in upravljamo kompleksne sisteme. Razvit je bil robusten in na zunanje vplive odporen komplet senzorjev za nadzor MHE, povezan z merilno opremo. Zajeti podatki se računalniško obdelajo, ovrednotijo, prikažejo operaterju in shranijo v podatkovno skladišče za kasnejše analize vzdrževanja. V primeru napake obratovanja elektrarne je operater obveščen s SMS-sporočilom. Operater lahko elektrarno na daljavo zaustavi, zažene in krmili na osnovi nivoja vode na jezu.

Ključne besede: MHE, mobilni nadzor in upravljanje, polprevodniški senzorji, podatkovno skladišče, alarmiranje,

■ 1 Uvod

V Sloveniji obratuje skoraj petsto malih hidroelektrarn, ki so večinoma v zasebni lasti in skupaj proizvedejo 12 % celotne energije, proizvedene iz obnovljivih virov energije v Sloveniji [1]. Večina hidroelektrarn je bila zgrajena okoli leta 1990. Amortizacijska doba se je večinoma že iztekla [3], zato se zmanjšuje tudi premija pri odkupu električne energije. Uvajanje novih informacijsko-komunikacijskih tehnologij nudi obstoječim hidroelektrarnam nove možnosti pri učinkovitejšem nadzoru vodenja obratovanja in vzdrževanja. Te tehnologije so postale cenovno dostopne in zanesljive, s tem pa so zanimive tudi za lastnike in operaterje malih hidroelektrarn.

Glavni vplivi na gradnjo in današnje stanje elektrarn so rečni režimi potočkov, okoljska zaščita [2] in stanje razvoja tehnologije v obdobju, ko je bila elektrarna zgrajena. Posledično se elek-

trarne med seboj razlikujejo glede na tip turbine, način aktuiranja vodilnika turbine, pretok vode, ki ga izkoriščajo, nivo zgornje in spodnje vode.

V prispevku želimo predstaviti razvoj univerzalnega kompleta za mobilni nadzor malih hidroelektrarn, ki bo ustrezal širokemu krogu zahtev uporabnikov. Nadzorni parametri omogočajo varno oddaljeno zaustavitev, zagon in aktuiranje vodilnika elektrarne. Pri nadgradnji elektrarne za oddaljeno upravljanje je potrebno dobro poznati konkretno elektrarno, saj se med seboj razlikujejo po načinu izvedbe aktuiranja vodilnika, varnostni tehnologiji in načinu izvedbe avtomatskega zagona.

Kljub zahtevni izvedbi je možnost oddaljenega upravljanja elektrarne odločilnega pomena pri odločitvi za nadgradnjo elektrarne.

■ 2 Razvoj sistema nadzora male hidroelektrarne

Namen mobilnega nadzora male hidroelektrarne (MOMHE) je operaterju elektrarne omogočiti vsepovsoden nadzor in upravljanje [5]. Sistemi za oddaljeno vodenje velikih hidroelek-

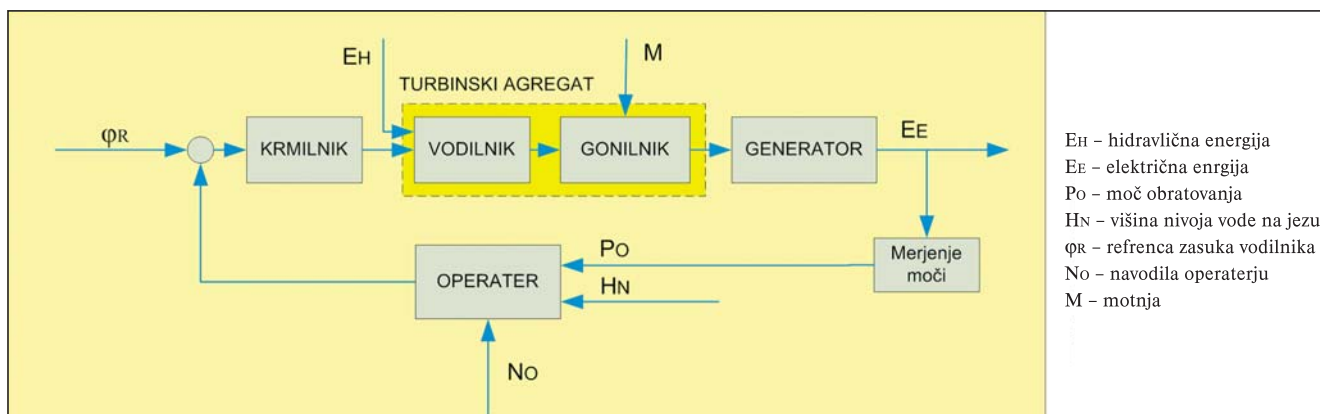
trarn so že razviti, vendar so prekompleksni za male hidroelektrarne. Napredek polprevodniške tehnologije in možnosti izdelave stroškovno ugodnih senzorjev omogočajo njihovo uporabo v širokem spektru aplikacij in vgradnjo večjega števila senzorjev v obstoječih aplikacijah. Združitev z modernimi komunikacijskimi tehnologijami omogoča, da lahko sedaj sisteme vsepovsodno nadzorujemo in upravljamo [4].

2.1 Fizični nadzor elektrarne

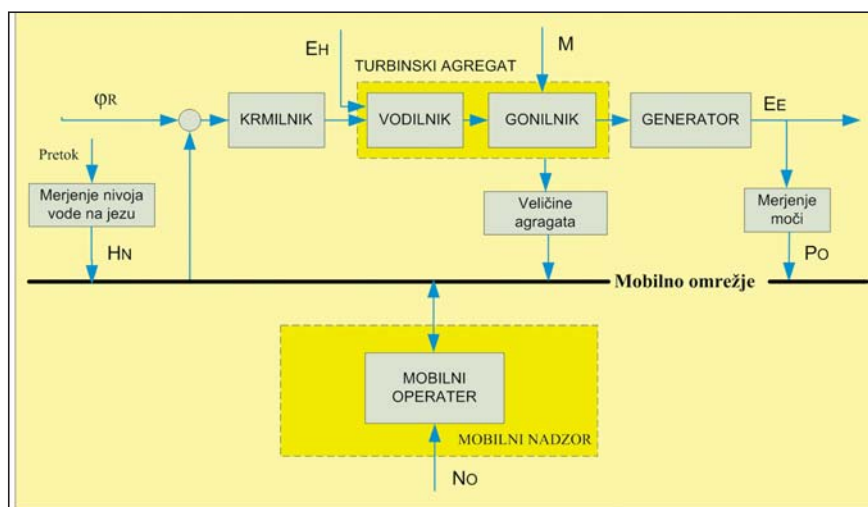
Operater elektrarne z opazovanjem nadzoruje stanje elektrarne (npr.: preverja nivo gladine vode na jezu, moč proizvodnje električne energije, temperaturo ležajev, amplitude vibracij, dnevno proizvedeno električno energijo) in ob napakah ukrepa (npr.: zamenja ležaj, odstrani listje). Krmiljenje in aktuiranje vodilnika turbine je izvedeno v strojnici na osnovi ogleda stanja nivoja vode na jezu, analognega prikazovalnika moči proizvodnje električne energije in drugih navodil operaterju, npr. zagotovitev biološkega minimuma pretoka (slika 1a).

Ob nenadnem izpadu elektrarne iz omrežja mora operater ponovno

Luka Selak, univ. dipl. inž., izr. prof. dr. Alojzij Sluga, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo



Slika 1 a. Tradicionalni nadzor MHE



Slika 1 b. Nadzor in krmiljenje MHE v mobilnem okolju – MOMHE

obiskati elektrarno in jo vklopiti v omrežje, medtem pa ta lahko več ur ne obratuje. Časovno kritično je obveščanje operaterja o zaustavitvi elektrarne, pobegu generatorja, pomanjkanju ali presežku vode na jezcu. Klasična povezava elektrarne z jezo pri pretočnih elektrarnah vključuje drag vkop vodnika do jeza, ker brezžično radijsko komunikacijo večkrat onemogočajo naravne ovire.

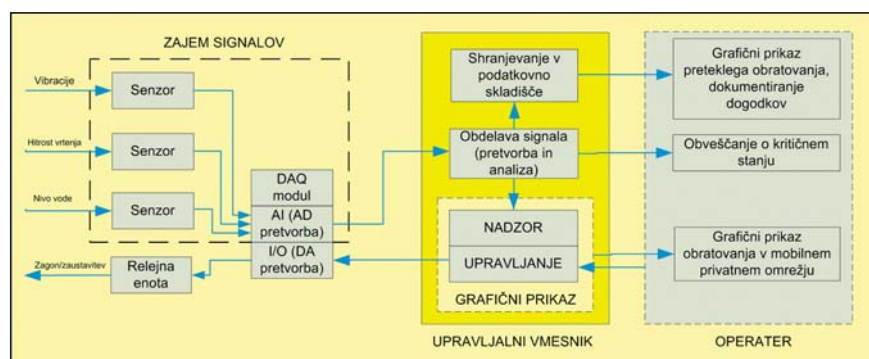
in željama operaterjev razviti univerzalni komplet (KIT) za nadzor in upravljanje hidroelektrarne. Glavni komunikacijski del sistema je mobilno omrežje, ki mora omogočati oddaljeno vsepovsodno nadzorovanje in upravljanje elektrarne (slika 1 b). Senzorji skrbijo za zajem trenutnih vrednosti fizikalnih veličin stanja elektrarne in jih posredujejo v računalniško obdelavo (slika 2). Sistem nadzora mora biti ločen od

obstoječega na elektrarni, hkrati pa mora dovoljevati zahtevano upravljanje elektrarne. Obveščanje operaterja o napakah na elektrarni mora biti zanesljivo in realizirano v realnem času. Najhitreje in z najmanjšim posegom v obstoječi sistem določimo zaustavitev ali pobeg generatorja z meritvijo frekvence vrtenja generatorja in pošiljanjem SMS-sporočila. Slika 2 prikazuje modul MOMHE, ki je sestavljen iz treh glavnih delov: zajema signalov, upravljalnega vmesnika in predstavitve stanja obratovanja elektrarne operaterju. Fizikalne signale iz okolja (DAQ-modul) zajema oprema, ki je povezana z upravljalnim vmesnikom (osebni računalnik). Upravljalni vmesnik signale obdelava (povpreči, frekvenčno analizira ...), jih shrani v podatkovno skladišče in grafično prikaže na lokalnem ali oddaljenem računalniku. Operater upravlja elektrarno na osnovi obvestila o kritičnem stanju in po lastni presoji. Ukaz aktuiranja pošlje iz oddaljenega računalnika preko upravljalnega vmesnika, DAQ-modula in relejne enote, povezane s stikalnim vmesnikom.

Slabost nadzora elektrarne s klasičnim internetnim omrežjem je omejenost s prenosom na oddaljeno lokacijo, ki mora biti priključena v internetno omrežje. Na elektrarni hkrati potrebujemo telefonski kabel in dostop do interneta.

2.2 Zasnova sistema MOMHE

Cilj sistema mobilnega nadzora in krmiljenja male hidroelektrarne (MOMHE) je v skladu z zahtevami



Slika 2. Shema modula mobilnega nadzora in krmiljenja MOMHE

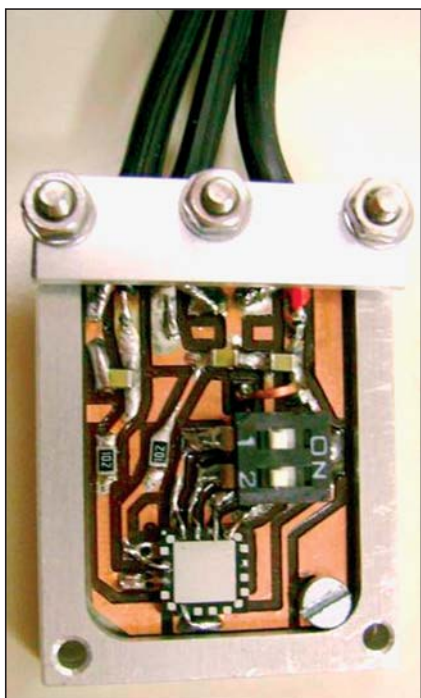
Podatki, shranjeni v podatkovnem skladišču, omogočajo grafični prikaz preteklega obratovanja, dokumentiranje dogodkov ipd.

2.3 Izbira senzorjev

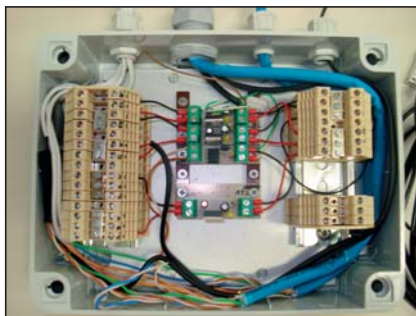
Izbira senzorjev je odvisna predvsem od odpornosti ohišja senzorjev proti zunanjim vplivom. Cenovno ugodna rešitev so polprevodniški senzorji za merjenje temperature, zasuka, vibracij in tlaka. Primer senzorja za merjenje vibracij je prikazan na *sliki 3*. Senzorji so priključeni na napajalnik (*slika 4*). Za temperaturni senzor in senzor za merjenje vibracij smo razvili ustrezno ohišje, za nekatera ostala pa moramo ohišja prilagoditi možnosti prigradnje na elektrarni. Odločili smo se za senzorje z analognim izhodnim signalom. Prednost analognega signala je v enostavnosti prenosa signala na razdalji nekaj deset metrov, za kar ne potrebujemo prilagoditvenih elementov, AD-pretvorba električnega signala pa je možna z DAQ-modulom.

2.4 Meritev moči in energije obratovanja

Meritev moči proizvodnje električne energije predstavlja osnovno informacijo o obratovanju elektrarne. Iz



Slika 3. Senzor vibracij, vgrajen v ohišje



Slika 4. Napajanje senzorjev

preteklega obratovanja lahko operater ugotovi stanje obratovanja: pomanjkanje vode na jezcu, zamašenost turbine z listjem. Moč obratovanja se odčitava z obstoječega števca proizvedene energije v intervalu vsakih pet minut. Števec mora biti digitalen, poznati pa moramo ukaze za branje podatkov preko optičnega vmesnika (*slika 5*). Zbiranje podatkov o proizvedeni energiji nam omogoča hitro in avtomatsko izdelavo različnih poročil o proizvedeni električni energiji (npr. poročilo o dnevni oz. mesečno proizvedeni električni energiji, pisanje zaključnih računov, izdajanje računov kupcem električne energije).

2.5 Zajem in shranjevanje podatkov

Celostno obvladovanje hidroelektrarne vključuje zajemanje in shranjevanje podatkov iz senzorjev. Za zajem analognih vrednosti senzorjev skrbi



Slika 5. Števec proizvedene energije

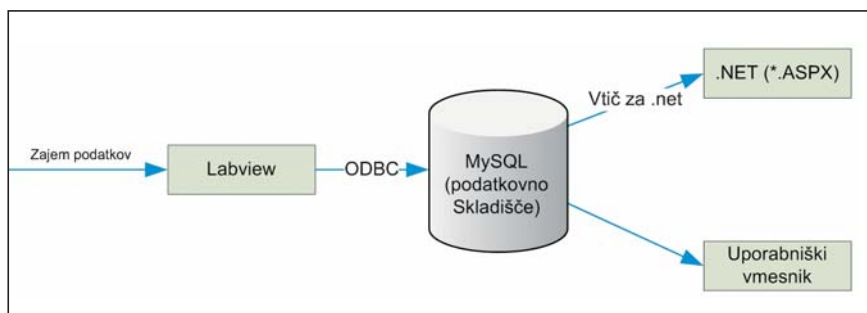
oprema National Instruments (zajemni DAQ-modul NI USB-6009), ki je programsko podprta s programom Labview. Zajemna oprema odčitava analogne vrednosti senzorjev vsaki dve sekundi, računalniški upravljalni vmesnik naredi pretvorbo v fizikalne vrednosti in jih prikaže operaterju na zaslon računalnika.

Upravljalni vmesnik fizikalne veličine nadzoruje. V primeru presežene vrednosti ukrepa z alarmiranjem (npr.: zaustavitev elektrarne) oz. obveščanjem o kritični vrednosti veličine (npr.: gladina vode na jezcu je upadla).

Velike količine podatkov iz Labview-a se shranijo v bazo podatkov MySQL (*slika 6*). Odločitev o shranjevanju je prepuščena operaterju z nastavitvijo meje proženja shranjevanja. Tako se shrani le tisti podatek, ki se razlikuje od prejšnjega za nastavljeno vrednost. Tak način se uporablja tudi pri pošiljanju podatkov o gladini vode na jezcu. Pošlje se le podatek o spremembi gladine. Mobilno omrežje in podatkovno skladišče sta tako razbremenjena prometa.

2.6 Prikazovanje preteklega stanja elektrarne

Spletni vmesnik, povezan s podatkovnim skladiščem na elektrarni, prikazuje preteklo stanje elektrarne. Operater se z oddaljene lokacije poveže preko spletnega vmesnika na elektrarno in naredi poizvedbo po želenih podatkih v podatkovnem skladišču. Tako operater na svojem računalniku ne potrebuje podatkovnega skladišča. Podatki iz elektrarne se ne pošiljajo stalno na drugo lokacijo, s tem pa je razbremenjeno mobilno omrežje. Podatkovno skladišče omogoča izdelavo poročil o obratovanju, saj so shranjene vse pretekle vrednosti stanja elektrarne. Iz oddaljene lokacije lahko naredimo vsa poročila o obratovanju elektrarne: poročilo o času neobratovanja in nenadnih izklopih elektrarne iz omrežja v preteklem obdobju, poročilo o proizvedeni električni energiji v preteklih letih ipd.



Slika 6. Upravljanje s podatkovnim skladiščem

2.7 Upravljanje elektrarne

Fizično upravljanje v strojnici elektrarne je izvedeno preko uporabniškega stikalnega vmesnika. Operater za zaustavitev elektrarne pritisne tipko stop, po odpravi napake tipko kvitiranje napake (zagon). Oddaljeno upravljanje je zagotovljeno s pomočjo dodatne relejne enote, ki sproži stikali za ustavitev in zagon elektrarne. S tem je poseg v obstoječi sistem minimalen. Relejno enoto krmilimo z modulom NI USB-6009 preko digitalnih izhodov. Aktuiranje vodilnika je možno krmiliti z nastavljanjem referenčne

lege vodilnika. To nastavlja mo koračnim motorjem, ki je krmiljen z NI USB-6009. S pomočjo digitalnih vhodov lahko beremo stanja ostalih indikatorjev na nadzorni plošči.

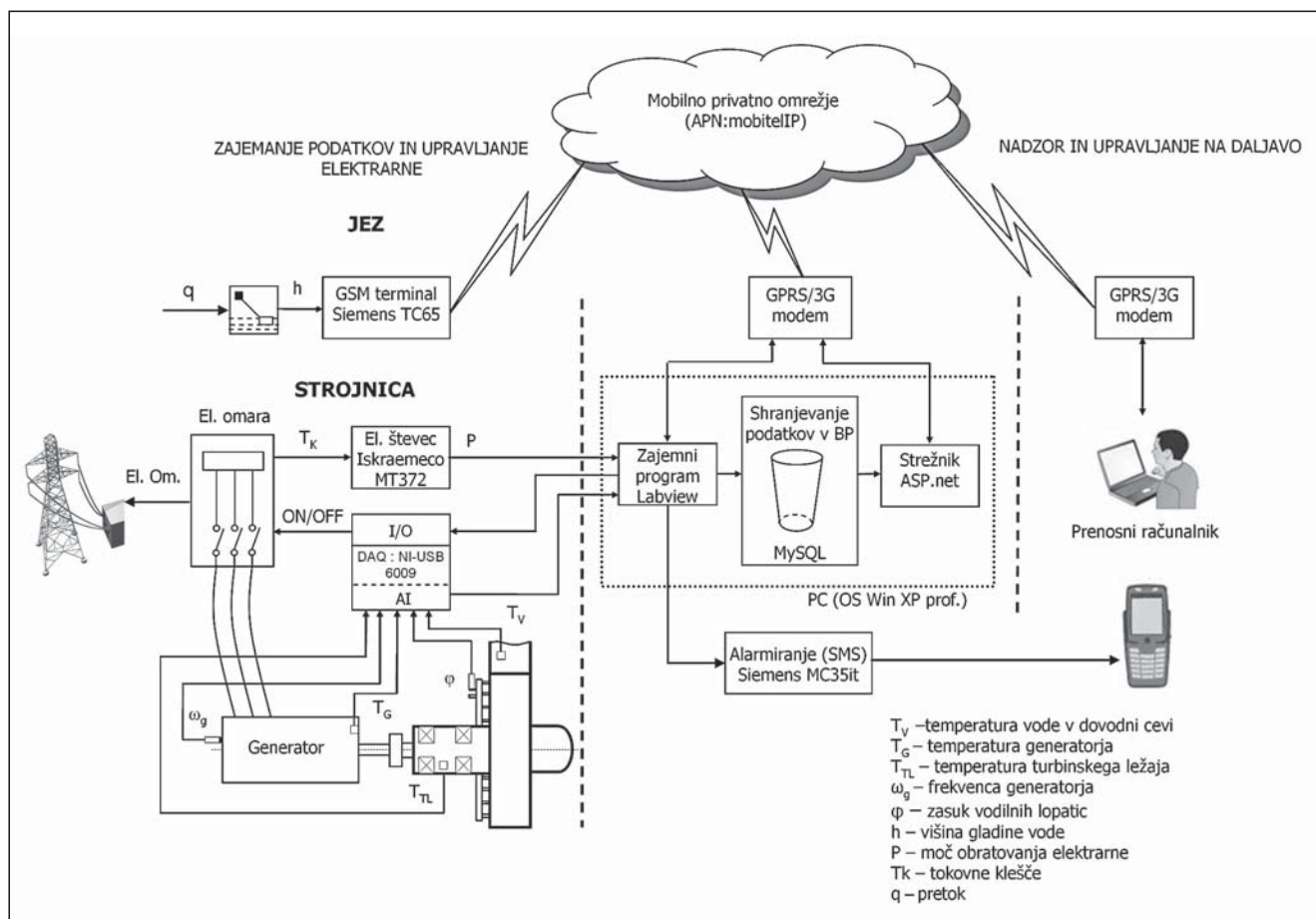
2.8 Mobilno omrežje

Odločilna prednost uporabe mobilnega omrežja je praktična vsepovsodnost mobilnega signala. Ponudniki mobilnih omrežij ponujajo poslovnim uporabnikom storitev poslovnega prenosa podatkov, ki nudi varno mobilno zasebno IP-omrežje. To pomeni, da lahko znotraj mobilnega privatnega

omrežja kadarkoli in od kjerkoli komuniciramo med SIM-kartici. Uporabniku sta dodeljena lastni APN (angl. Access point number) in geslo, vsaka SIM-kartica pa dobi svoj IP-naslov. Hitrost prenosa podatkov je primerljiva s klasičnim modemske in zadostuje zahtevam MOMHE. Odziv (PING) med SIM-kartici, vključenimi v privatno omrežje, je običajno manj kot sekundo, v nekaterih primerih pa tudi nekaj sekund. Uporabnik omrežja plačuje zakupljeni prenos podatkov, cena pa je odvisna od operaterja.



Slika 7. Mala hidroelektrarna moči 70 kW

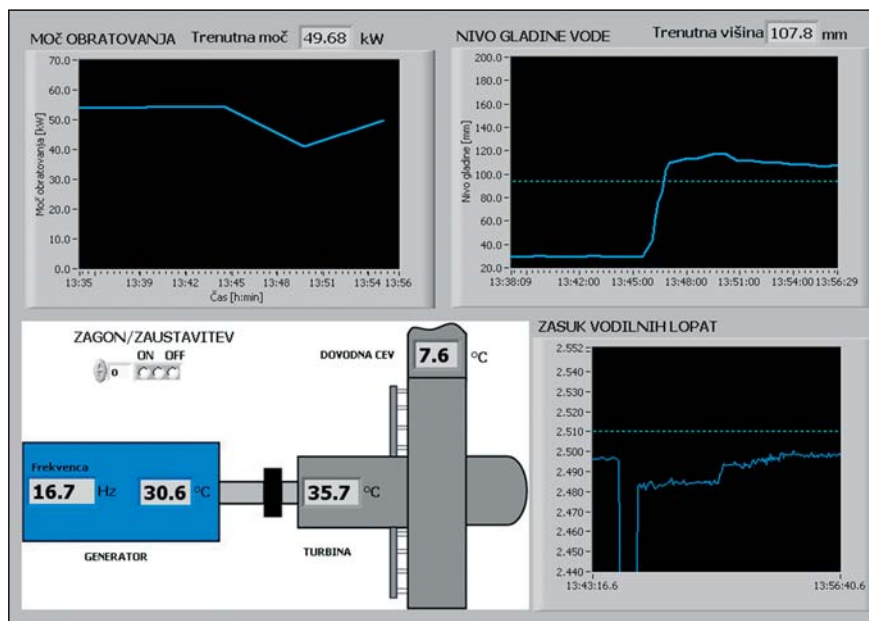


Slika 8. Implementacija MOMHE

■ 3 Implementacija sistema MOMHE

Sistem je preizkušen na mali hidroelektrarni MHE Zgornja Volaka, moči 70 kW (slika 7). Elektrarna obratuje na potoku Volaščica v Poljanski dolini. Zajemati je možno podatke o temperaturi turbinskega ležaja, temperaturi generatorja, temperaturi vode in povprečne parametre o zasuku vodilnih lopatic Francisove turbine, trenutni moči proizvodnje in hitrosti vrtenja generatorja (slika 8). Podatki se shranjujejo v podatkovno skladišče na elektrarni. Podatek o nivoju gladine vode se pošilja iz jezua v elektrarno preko mobilnega privatnega omrežja in UDP-komunikacije.

Operater na oddaljenem računalniku ali računalniku na elektrarni vidi enak uporabniški vmesnik. Spremlja lahko trenutne vrednosti senzorjev (slika 9): grafični prikaz moči obratovanja (zgoraj levo), gladine vode (zgoraj desno), zasuka vodilnih lopatic (spodaj desno) in aktira stikali za zagon in zaustavitev. Povezava na spletni strežnik mu omogoča prikaz preteklih vrednosti obratovanja (slika 10). Na levem grafu je prikazan zasuk vodilnih lopatic, na desnem moč obratovanja v noči z 18. na 19. januar



Slika 9. Uporabniški vmesnik MOMHE

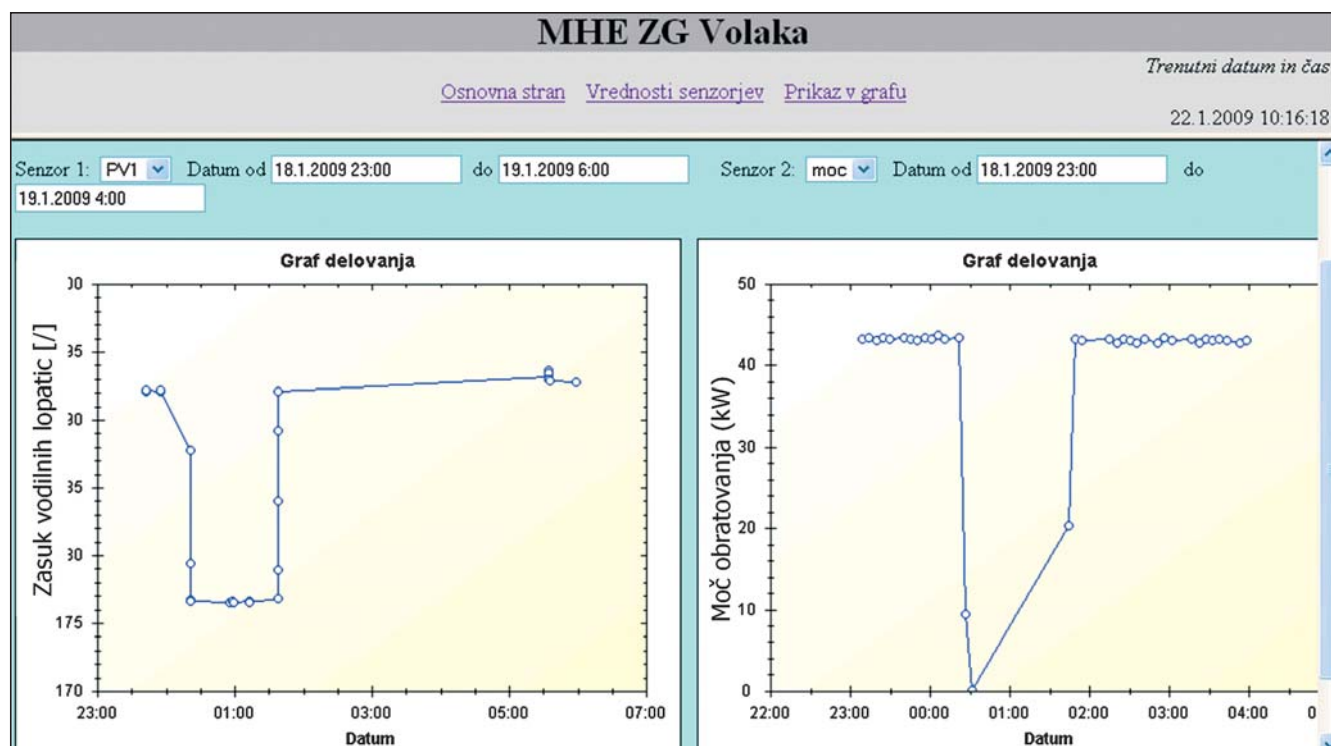
2009 (nenadna zaustavitev).

Ob nenadni zaustavitvi je operater obveščen s sporočilom SMS. Operater se nato poveže s prenosnim računalnikom na elektrarno. Preveriti mora stanja vseh senzorjev. Če so vrednosti senzorjev znotraj normalnih vrednosti, elektrarno lahko zažene (vzrok zaustavitve je napaka na omrežju), v nasprotnem pa mora napako odpraviti na elektrarni.

■ 4 Prednosti uporabe sistema

Mobilni nadzor in upravljanje elektrarne MOMHE nudi naslednje prednosti:

- Povečanje količine proizvedene mesečne energije do 5 %.
- Dodatni senzori omogočajo spoznati lastnosti elektrarne v povsem novi luči, kar pripomore k pocenitvi in lažjemu vzdrževanju



Slika 10. Vsepovsoden prikaz preteklega obratovanja elektrarne

- sistema elektrarne.
- Vseposodnost upravljanja elektrarne operaterju omogoča svobodo gibanja in višjo kvaliteto življenja.
- Cenovna dostopnost in varnost zasebnega nadzornega mobilnega omrežja.
- Fleksibilna zasnova sistema omogoča enostavno prilagoditev sistema različnim izvedbam elektrarn.
- Grafični uporabniški vmesnik operaterju omogoča na enem mestu vpogled v stanje celotne elektrarne.
- Sporočanje napak (alarm) in zajemanje podatkov je izvedeno popolnoma avtomatsko.
- Baza podatkov nudi možnost izdelave različnih poročil in avtomatsko izdajanje računov kupcem električne energije.

Strošek opisane nadgradnje hidroelektrarne je dva tisoč evrov. Mesečni prispevek za uporabo mobilnega omrežja pa je odvisen od ponudnika in znaša v sedanjem času 20 evrov.

■ 5 Zaključek

Modularno zasnovan sistem omogoča različne nivoje uporabe in avtomatizacije. Lahko izbiramo med nadzornim sistemom, nadzorno-kr-

milnim sistemom, različnimi nivoji sporočanja napak, raznovrstnimi senzorji, uporabo različnih tehnologij komunikacije (mobilna, širokopasovna, ...) in različnimi nivoji shranjevanja preteklih podatkov.

V nadaljevanju se projekt razvija v smeri analize malih hidroelektrarn v Sloveniji. Raziskava gre v smeri trenutne avtomatizacije elektrarn in stroškovne upravičenosti posodobitve različno močnih elektrarn ...

Cenovna sprejemljivost sistema omogoča uporabo sistema za različne namene:

- kot vzporedni sistem dražjim nadzornim sistemom za obveščanje širše zainteresirane skupine ljudi,
- kot pomožni nadzorni sistem vzdrževalnim službam (npr.: vzdrževalna služba za turbine),
- nadzorni sistem lahko ob stroškovni upravičenosti vgradimo in prilagodimo tudi drugim objektom.

Literatura

- [1] Ministrstvo za okolje in prostor (<http://www.mop.gov.si/nc/si/splosno/cns/novica/article/12118/5723/>) (dostopano: 16. 2. 2009).

- [2] Gorenjske elektrarne. (<http://www.gorenjske-elektrarne.si/Izobrazevanje/Strokovni-clanki/Problematika-umescanja-malih-hidroelektrarn-v-prostor>) (dostopano: 16. 2. 2009).
- [3] Zveza društev MHE (<http://www.zdmhe.si/>) (dostopano: 16. 2. 2009).
- [4] Golob, M., Steiner, I., Krajnc, M., Tovornik, B., Bratina, B., Muškinja, N. in Polutnik, A., Univerza v Mariboru, FERi, Inea, d. o. o., Telem, d. o. o.: *Tehnologije daljinskega in porazdeljenega vodenja, 2007* (dostopano: 16. 2. 2009).
- [5] Počkaj, A., Košir, M., Selak, L., Habe, J., Povšič, K.: *Nadzor male hidroelektrarne na daljavo, seminar, FS, 2009.*

Zahvala

Pri izvedbi projekta se zahvaljujemo podjetju Mobitel za vzpostavitev testnega privatnega omrežja, družini Selak (financiranje opreme), lastniku elektrarne g. Štremflju, podjetju RLS (senzorji zasuka), osebju laboratorija LAKOS, FS, UL, in kolegom Aljoši Počkaju, Matjažu Koširju, Jerneju Habetu, Klemenu Povšiču, s katerimi je bil izpeljan ta projekt.

Mobile control of a small hydropower plant

Abstract: This article deals with the development of a system for the mobile control of a small hydropower plant (SHP). Affordable and reliable mobile communication technologies can be used in completely new fields. By using semiconductor sensors we can now control and operate complex systems. The robust sensor kit, resistant to external influences and connected with measuring equipment, was developed to control a SHP. The data acquired by the sensor kit are processed, evaluated by computer, shown to the operator and stored in a database for further analysis and maintenance support. In the case of a failure the operator is contacted via an SMS message. The operator is able to stop, start and control the plant on the basis of the water level in the dam from anywhere and at anytime.

Keywords: small hydropower plant, mobile surveillance and control, distant data acquisition, semiconductor sensors, alarm,