

NAPOVED RABE ENERGIJE KOT OSNOVA ZA VODENJE DALJINSKIH ENERGETSKIH SISTEMOV

PREDICTION OF ENERGY CONSUMPTION AS THE BASIS OF DISTRICT ENERGY DISTRIBUTION SYSTEM CONTROL

Marko Thaler, Alojz Poredoš, Igor Grabec, Jože Torkar*

Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani
*EL-TEC MULEJ d.o.o., Bled

Povzetek:

Kakovostno vodenje energetskega sistema zahteva modeliranje in napovedovanje stanja sistema v prihodnosti, na osnovi katerega se lahko sprejemajo najprimernejši krmilni ukrepi. Prispevek opisuje osnovne značilnosti programskega paketa INTELPRED za napovedovanje odjema energenta v daljinskih energetske sistemih. Programski paket je osnovan na metodah simuliranih nevronske mreže in genetskih algoritmov.

INTELPRED pridobi informacijo o delovanju izbranega daljinskega energetskega sistema preko dostopa do njegove centralne podatkovne baze. Na osnovi razpoložljivih podatkov izdelava model delovanja in odzivanja sistema na krmilne ukrepe. Program napove delovanje sistema v prihodnosti ter določi verjetnost točnosti napovedi na osnovi poznavanja trenutnega stanja sistema ter nekaterih predvidenih prihodnjih vrednosti okoljskih spremenljivk. Na programski paket priključen zunanji modul za ekonomsko optimizacijo delovanja energetskega sistema, nato določi ekonomsko najprimernejše krmilne ukrepe. Predlagane krmilne ukrepe se v realnem času posreduje nazaj v centralno podatkovno bazo energetskega sistema. Z njimi se izvede dejansko krmiljenje sistema, oziroma služijo upravljavcu sistema kot predlog za krmiljenje.

Ključne besede: napoved odjema energenta, ekonomska optimizacija, krmilni ukrepi, nevronske mreže, genetski algoritmi

Abstract:

An efficient control of a district energy distribution system demands an accurate modeling and prediction of future system states. Based on these predictions we can determine the most efficient control actions for the future. The presented paper describes basic characteristics of the INTELPRED program package for prediction of energy consumption in energy distribution systems. The program package is built on simulated neural networks and genetic algorithms.

INTELPRED acquires the information about the energy distribution system operation from systems central database. From available data it builds a system operation model. The program predicts future energy consumption and probability distribution of prediction error based on momentary system state and predicted future values of certain environmental variables. All these data are fed to the external module for economic optimization that is directly connected to the INTELPRED. The module determines the economically most suitable system control actions. These control actions are fed back into the

central database of the energy distribution system. From there they can be used for an actual system control or serve the system administrator as a guide line for easier decision about suitable control actions.

Key words: energy consumption prediction, economic optimization, control actions, neural networks, genetic algorithms

1. UVOD

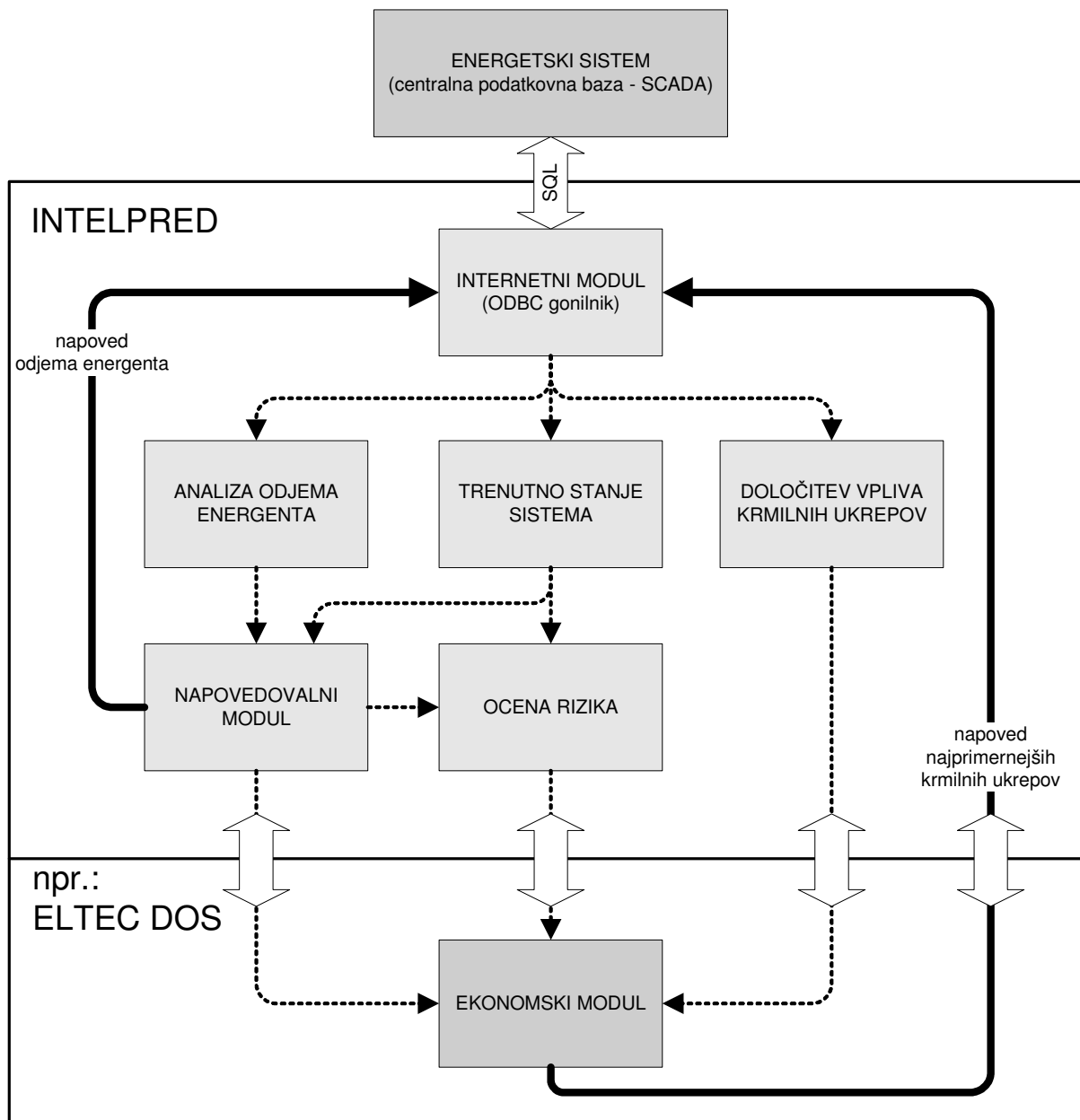
Naloga daljinskih energetskega sistema je zadovoljevanje potreb odjemalcev po določeni vrsti energenta. Potrebe odjemalcev so odvisne od različnih vplivnih spremenljivk in se s časom navadno spreminjajo. Na ta način se s časom spreminja tudi skupna potrebna količina energenta v sistemu. Ekonomično vodenje energetskega sistema zato zahteva napovedovanje potrebne količine energenta v prihodnosti. Na osnovi potrebnih količin in trenutnega stanja sistema je možno določiti ekonomsko najprimernejše krmiljenje sistema.

2. PRINCIP IZVAJANJA NAPOVEDI

Napoved rabe energije izvedemo z modeliranjem potreb odjemalcev, oziroma njihovega odjema energenta. Pri tem poskušamo opisati vplive na potrebe odjemalcev z različnimi okoljskimi spremenljivkami, kot npr. dan v tednu, zunanja temperatura, itd. Povezave med okoljskimi spremenljivkami in odjemom energenta so navadno močno nelinearne in s klasičnimi determinističnimi metodami težko določljive. Za potrebe statističnega modeliranja takšnih povezav se je uveljavila uporaba nevronske mreže, neparametrične regresije in genetskih algoritmov [1, 2]. Preko modeliranih povezav in prihodnjih predvidenih vrednosti nekaterih okoljskih spremenljivk, lahko napovemo odjem energenta v prihodnosti [3, 4, 5]. Obravnavane metode so osnova programskega paketa za napovedovanje odjema energenta v daljinskih energetskega sistema, imenovanega INTELPRED.

3. PROGRAMSKI PAKET INTELPRED

Zgradba programskega paketa (slika 1) je zasnovana tako, da omogoča veliko prilagodljivost programa na specifične značilnosti posameznih energetskega sistema. Ena od poglobljenih lastnosti je kompatibilnost programa z različnimi moduli za ekonomsko optimizacijo krmiljenja sistema, kot npr. ELTEC DOS (Dinamična Optimizacija Sistema) za področje **daljinskega ogrevanja**. Na ta način je omogočena splošna uporabnost programskega paketa INTELPRED za vse vrste daljinskih energetskega sistema.



Slika 1: Shematski prikaz zgradbe programskega paketa INTELPRED ter primera povezave z ekonomskim modulom za področje **daljinskega ogrevanja ELTEC DOS**.

Posamezni moduli programskega paketa INTELPRED so samostojne izmenljive enote, ki opravljajo specifične funkcije. Njihove glavne značilnosti so opisane v nadaljevanju.

3.1. INTERNETNI MODUL

INTELPRED izkorišča za izvajanje napovedi znanje o delovanju daljinskega energetskega sistema, ki je implicitno zapisano v centralni podatkovni bazi daljinskega energetskega sistema (SCADA). Pri tem internetni modul preko varovane povezave zagotavlja nemoteno komunikacijo med centralno podatkovno bazo in programskim paketom. Modul zagotavlja programu dostop do potrebnih podatkov ter zapis izračunanih vrednosti v

bazo. Komunikacija poteka v SQL (Structured Query Language) jeziku preko ODBC gonilnika (Open Database Connectivity).

3.2. ANALIZA ODJEMA ENERGENTA

Ob omogočenem dostopu do podatkovne baze, modul za analizo odjema energenta pregleda razpoložljive podatke v bazi in določi vpliv posameznih okoljskih spremenljivk na odjem energenta [3, 5]. Čim večji je skupni vpliv vseh razpoložljivih spremenljivk na odjem energenta, tem bolj kakovostna je lahko napoved.

3.3. TRENUTNO STANJE SISTEMA

Za kakovostno napovedovanje odjema energenta je poleg poznavanja delovanja sistema v preteklosti, ključnega pomena poznavanje trenutnega stanja sistema. Vse potrebne informacije nam pri tem zagotavlja pripadajoči modul. Prav tako je njegova naloga obveščanje programa o spremembah in morebitnih nepravilnostih v delovanju sistema, ki nato vplivajo na napoved odjema energenta in v nadaljevanju določeno najprimernejše krmiljenje sistema.

3.4. NAPOVEDOVALNI MODUL

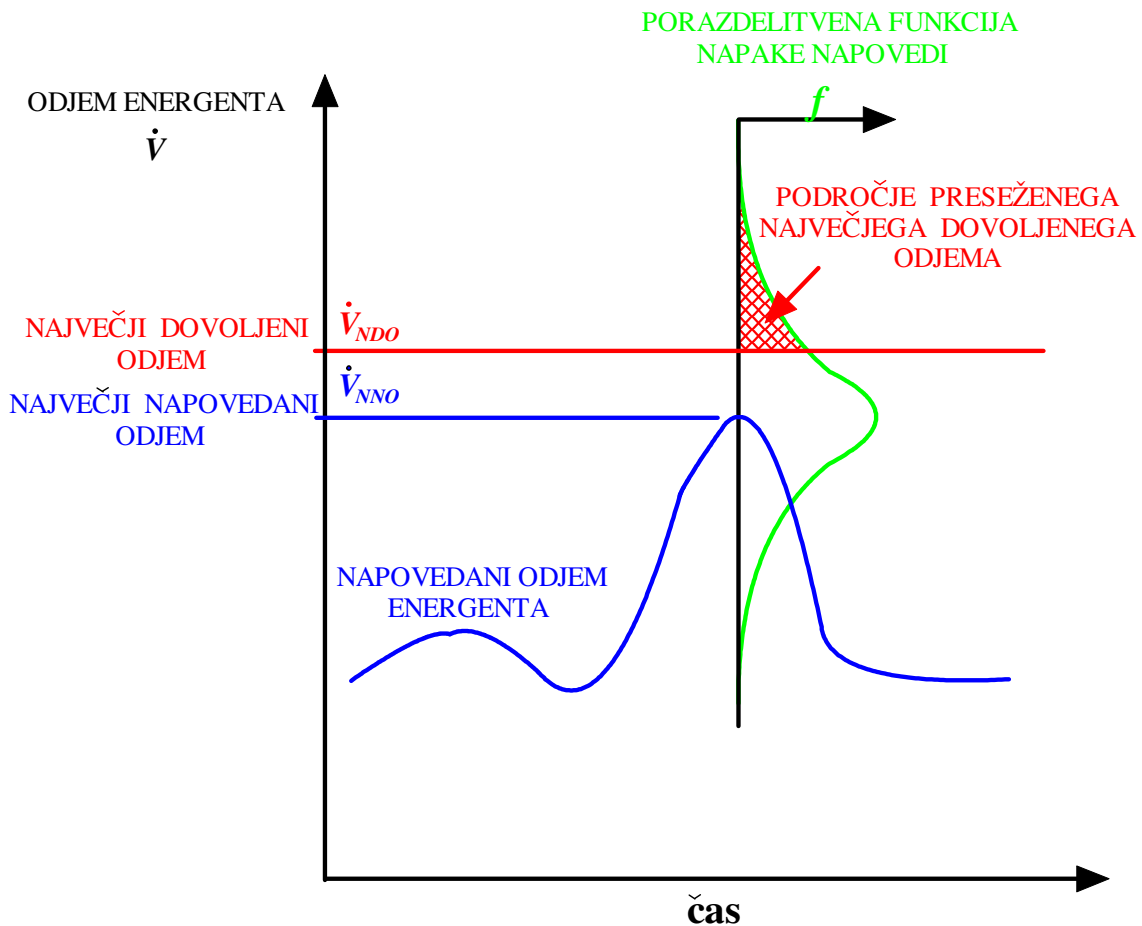
Napovedovalni modul potrebuje za napoved, poleg pridobljenega znanja o delovanju daljinskega energetskega sistema, tudi podatke o predvidenih prihodnjih vrednostih nekaterih okoljskih spremenljivk. Kadar te niso na voljo že v sami podatkovni bazi sistema, jih pridobi preko ustreznih spletnih informacijskih sistemov (npr. GEMA – GENERA LYNX). Z uporabo celotnega pridobljenega znanja o energetskega sistema, podatkov o predvidenih prihodnjih vrednostih nekaterih okoljskih spremenljivk ter trenutnega stanja energetskega sistema, napovedovalni modul izdelava napoved o odjemu energenta v prihodnosti [3, 5]. Napoved posreduje preko internetnega modula v centralno podatkovno bazo sistema. Od tam pa je na voljo vsem komponentam sistema, ki imajo dostop do baze.

3.5. DOLOČITEV VPLIVA KRMILNIH UKREPOV

Izdelava kakovostne napovedi o prihodnjih odjemih energenta v sistemu je le prvi korak za zagotavljanje ekonomsko najprimernejšega krmiljenja daljinskega energetskega sistema. Daje nam podatek o predvidenih potrebah odjemalcev, ki jih je potrebno zadovoljiti z ustreznim krmiljenjem. Pri tem je potrebno poznati vpliv posameznega krmilnega ukrepa na delovanje sistema. Vplive krmilnih ukrepov lahko določimo analitično ali pa empirično. Določitev je odvisna glede na kompleksnost obravnavanega sistema ter krmilnega ukrepa. Analitično določevanje uporabimo, kadar so poznani modeli vplivov krmilnih ukrepov na delovanje sistema. Empirično določevanje pa uporabimo, kadar vsebuje podatkovna baza sistema podatke o posameznih izvedenih krmilnih ukrepih v preteklosti in njihovem učinkovanju. Empirično določevanje je podobno določevanju vpliva okoljskih spremenljivk na odjem energenta. Razlika je le v tem, da tokrat določamo vpliv krmilnega ukrepa na razpoložljivo količino energenta v sistemu.

3.6. OCENA RIZIKA

Nobena napoved ni nikoli 100% točna. Določitev rizika presega določenega odjema v prihodnosti je zato ključnega pomena. Modul za oceno rizika na osnovi odstopanja napovedi od dejanskih odjemov v preteklosti, določi porazdelitveno funkcijo napake napovedi. Ta skupaj z napovedanimi odjemi omogoča določitev rizika presega določenega odjema v prihodnosti. Sposobnost ocene rizika je ključ za optimizacijo krmiljenja sistema. Za lažjo ponazoritev je na sliki 2 shematsko predstavljen primer ocene rizika presega neke izbrane največje dovoljene vrednosti odjema energenta v prihodnosti.



Slika 2: Primer ocene rizika presega največjega dovoljenega odjema energenta.

Pri tem šrafirana površina predstavlja verjetnost oziroma riziko, da bo dejanski odjem energenta v prihodnosti presegel neko največjo dovoljeno vrednost odjema \dot{V}_{NDO} . Na osnovi poznane rizika in ekonomskih pogojev delovanja sistema, lahko zunanji ekonomski modul določi ekonomsko najprimernejše delovanje sistema. To predstavlja osnovo za nadaljnjo določitev najprimernejših krmilnih ukrepov.

3.7. EKONOMSKI MODUL

Naloga krmiljenja je kar se da kakovostno zadovoljevanje potreb odjemalcev pri čim nižjih stroških obratovanja sistema. INTELPRED se v ta namen lahko poveže z različnimi ekonomskimi moduli, ki so specifični za posamezne vrste in zgradbo daljinskih energetskih sistemov. Osnova ekonomskih modulov je stroškovna funkcija, ki upošteva:

- stroške obratovanja in izvajanja krmilnih ukrepov,

- stroške presežnih kapacitet energenta v sistemu,
- stroške neizpolnjevanja potreb odjemalcev.

Na osnovi napovedi odjema energenta, pripadajočega rizika presega določenega odjema in poznanih vplivov krmilnih ukrepov, lahko ekonomski modul določi kombinacijo in časovni potek krmilnih ukrepov, ki so dolgoročno ekonomsko najprimernejši. INTELPRED nato preko ekonomskega modula izbrano krmiljenje, v realnem času posredujemo centralni podatkovni bazi energetskega sistema. Na ta način lahko poteka krmiljenje energetskega sistema po predlaganih krmilnih ukrepih ali pa le-ti služijo upravljavcu sistema kot predlog za krmiljenje.

4. VREDNOTENJE KAKOVOSTI KRMILJENJA

Osnovno vprašanje je seveda kakšne ekonomske učinke zagotavlja predstavljen programski paket v primerjavi s klasičnim krmiljenjem upravljavca sistema. Neposredna primerjava je možna kadar se v centralno podatkovno bazo energetskega sistema zapisujejo dejansko izvedeni krmilni ukrepi. Odgovor nam poda ekonomski modul, ki primerja vrednosti stroškovne funkcije v primeru dejanskega in predlaganega krmiljenja v opazovanem obdobju. Pri tem se neposredno primerja krmiljenje sistema z dejanskimi odjemi energenta v opazovanem obdobju. Razlika v vrednosti stroškovne funkcije je direktni pokazatelj razlike ekonomskih učinkov med enim in drugim načinom krmiljenja.

5. ZAKLJUČEK

Distribucija energentov v daljinskih energetske sistemih je kompleksen proces. Vse večje zahteve po zniževanju stroškov oskrbovanja odjemalcev z energentom, zahtevajo optimizacijo distribucijskega procesa. Osnova optimizacije je čim bolj natančno napovedovanje delovanja sistema v prihodnosti. V prispevku predstavljen programski paket za napovedovanje odjema energenta v daljinskih energetske sistemih, imenovan INTELPRED, avtonomno analizira delovanje opazovanega sistema s priklopom na centralno podatkovno bazo sistema. Na podlagi pridobljenih spoznanj, trenutnega stanja sistema ter predvidenih prihodnjih vrednosti nekaterih okoljskih spremenljivk, napove odjem energenta iz sistema v prihodnosti. Program hkrati določi vpliv posameznih krmilnih ukrepov na delovanje sistema. Vse potrebne podatke nato posreduje zunanjemu modulu za ekonomsko optimizacijo delovanja izbranega energetskega sistema. Slednji preko ustrezne analize določi ekonomsko najprimernejše krmilne ukrepe. Določeni krmilni ukrepi se lahko neposredno uporabijo za dejansko krmiljenje sistema ali pa služijo upravljavcu sistema kot predlog za krmiljenje. Program omogoča primerjanje ekonomskih učinkov, katere dosežemo pri krmiljenju kot ga izvaja upravljavec omrežja in tistim kot ga predlaga sam program.

Dosedanja testiranja napovedovanja odjema energenta na različnih daljinskih energetske sistemih so bila zelo uspešna. Trenutno izvajamo testiranje programa na daljinskem ogrevalnem sistemu, katerega upravljavec je podjetje EL-TEC MULEJ. Preko poletja se načrtujejo zaključna testiranja pravilnosti delovanja vseh programskih modulov. V jeseni 2005 načrtujemo prve rezultate ekonomskih prihrankov pri krmiljenju daljinskega ogrevalnega sistema v realnem času.

REFERENCE

- [1] I. Grabec, W. Sachse: *Synergetics of Measurement, Prediction and Control*; Springer-Verlag, 1997

- [2] *Time Series Prediction: Forecasting the Future and Understanding the Past*, Proc. NATO Advanced Res. Workshop on Comparative Time Series Anal., Santa Fe, NM 1992, ed. by A. S. Weigend, N. A. Gershenfeld; Addison-Wesley Publishing Company, 1994
- [3] M. Thaler, A. Poredoš, I. Grabec: "Empirični model napovedovanja porabe plina in drugih vrst energije"; VII. Strokovno posvetovanje SDDE / Zbornik prispevkov, Portorož 2004, str. 131-140
- [4] B. Lunar Peček, I. Grabec: "Forecasting Electrical Power Consumption by Normalized Radial Basis Function Neural Network", Neural Network World, Vol. 12, 2002, str. 241-254
- [5] M. Thaler, I. Grabec, A. Poredoš: "Prediction of energy consumption and risk of excess demand in a distribution system"; First Bonzenfreies Colloquium on Market Dynamics and Quantitative Economics, Alessandria 2004, Italija
<http://www.mfn.unipmn.it/~colloqui/session1.html>