

RAČUNALNIŠKO PODPRTO NAČRTOVANJE UKREPOV ZA RAZBREMENITEV KRITIČNIH PRENOSNIH POTI

David Grgič Fakulteta za elektrotehniko, david.grgic@fe.uni-lj.si
Marko Bajec, Fakulteta za računalništvo in informatiko, marko.bajec@fri.uni-lj.si
Ferdinand Gubina, Fakulteta za elektrotehniko, ferdinand.gubina@fe.uni-lj.si
Robert Golob, Fakulteta za elektrotehniko, robert.golob@fe.uni-lj.si
Marko Senčar, Agencija za energijo RS, marko.sencar@agen-rs.si

Po deregulaciji slovenskega elektroenergetskega sistema je bila za razbremenjevanje kritičnih prenosnih poti, to je preobremenjenih vodov in transformatorjev, izbrana metoda s prerazporeditvijo proizvodnje delovne moči (Grgič, 2001). Ker gre za matematično zahtevno operacijo z elementi optimizacije, je Agencija za energijo Republike Slovenije naročila računalniški program za pomoč pri načrtovanju ukrepov za razbremenitev kritičnih prenosnih poti po navedenem principu. Članek predstavlja ta program. Program je zasnovan modularno in sicer iz lokalne baze podatkov, uporabniškega vmesnika za vnos in urejanje podatkov ter pregled rezultatov, modula izračuna optimalne prerazporeditve proizvodnje ter dela za pripravo standardiziranih poročil z rezultati izračuna.

1. Uvod

Uvajanje trga z električno energijo v slovensko elektrogospodarstvo zahteva nove rešitve vodenja obratovanja sistema, ki zagotavljajo zanesljivo in kakovostno obratovanje elektroenergetskega sistema (EES-a). Večina teh rešitev spada v sklop sistemskih storitev, za katere je zadolžen upravljavec sistema. Med temi storitvami je tudi razbremenjevanje kritičnih prenosnih poti, to je preprečevanje preobremenitev vodov in transformatorjev. Za slovenski EES je bila predlagana rešitev s prerazporeditvijo proizvodnje delovne moči (Grgič 2001). Postopek določanja optimalne prerazporeditve, ki odpravi vse preobremenitve v sistemu, kot tudi njena evaluacija in preverjanje rešitev, zaradi računske zahtevnosti kot tudi zaradi velikega obsega vhodnih podatkov zahteva računalniško podporo.

Tako je Agencija za energijo RS naročila izdelavo računalniškega programa, ki ga bo uporabljala za nadzor in preverjanje odločitev upravljavca prenosnega omrežja o razbremenjevanju kritičnih prenosnih poti ter pri razreševanju morebitnih sporov, ki izvirajo iz zavrnitve dostopa do omrežja. Naročnik je zahteval program s sodobnim uporabniškim vmesnikom, ki bi deloval na platformah MS Windows 98 in MS Windows 2000. Za potrebe podatkov, nujnih za opis elektroenergetskega sistema, je projekt predvideval tudi analizo in izvedbo ustrezne podatkovne baze.

2. MODEL

Ideja razbremenjevanja omrežja s prerazporeditvijo proizvodnje delovne moči je, da na ekonomski osnovi

geografsko tako prerazporedimo proizvodnjo, torej jo v enem delu omrežja povečamo in v drugem delu zmanjšamo, da s tem spremenimo pretoke moči po vodih in transformatorjih do te mere, da noben element prenosnega omrežja ni preobremenjen.

V ta namen upravljavec omrežja od proizvajalcev zbira ponudbe za spremembo proizvodnje. Vsak proizvajalec lahko ponudi za svoje generatorje več sprememb proizvodnje, vsako po svoji ceni.

Ker imajo različni generatorji različen vpliv na pretok moči po preobremenjenih vodih in transformatorjih in so cene teh ponudb načeloma različne, naleti upravljavec omrežja na težavno odločitev, katere ponudbe izbrati, da bo razbremenil vse preobremenitve ob kar najnižjih stroških. Upravljavec omrežja je soočen z optimizacijskim problemom, ki ga lahko strnemo v naslednjih točkah:

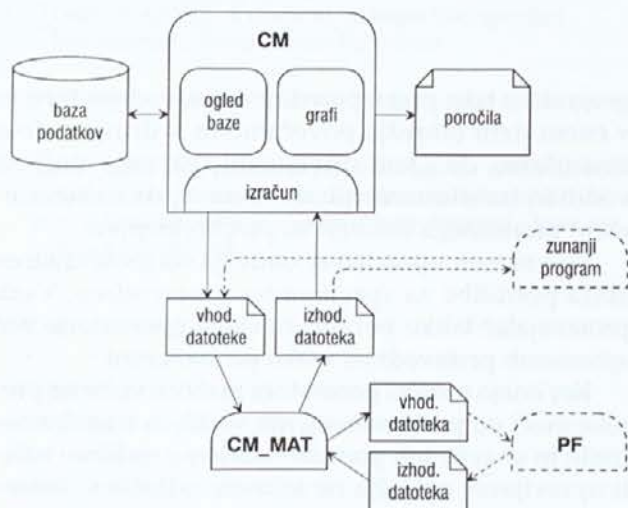
- doseči minimalne stroške, povezane s prerazporeditvijo proizvodnje,
- posameznemu generatorju se sme spremeniti proizvodnjo največ za velikost njegove ponujene spremembe,
- vsi vodi in transformatorji v omrežju morajo biti obremenjeni z njihovo nazivno obremenitvijo,
- ker se skupna poraba v sistemu ne spremeni, mora biti tudi vsota vseh sprememb proizvodnje enaka nič. Če torej nekaterim generatorjem povečamo proizvodnjo, jo moramo drugim zmanjšati.

Podrobnejšo matematično razlago zgornjih točk kot tudi opis celotne metode razbremenjevanja podaja literatura (Grgič 2001).

3. Zasnova programa

Program je zasnovan modularno, slika 1. Osrednji modul (CM) je program z grafičnim uporabniškim vmesnikom, ki omogoča iteracijo z bloki. Sem spada povezava z bazo podatkov in njeno urejanje, izris raznih grafov in histogramov, zagon izračuna optimalne prerazporeditve proizvodnje z namenom razbremenitve sistema, izdelava standardiziranih poročil z rezultati izračunov, itd.

Modul CM je bil razvit v okolju Borland Delphi™ 5.0 (BD™ 5.0), za katerega smo se odločili predvsem zaradi narave problema, ki ne zahteva rešitev, podprtih z večnivojskimi arhitekturami. Program je namreč namenjen delovanju v lokalnem, enouporniškem okolju, kjer rešitev tipa strežnik-odjemalec povsem zadošča. Poleg omenjenega je pri izbiri razvojnega okolja pripomoglo tudi dejstvo, da BD™ 5.0 omogoča hiter razvoj kakovostnega in funkcionalnega uporabniškega vmesnika.



Slika 1: Blok shema programa.

Matematično jedro sistema (CM_MAT) je razvito v okolju Matlab (MathWorks, 1999), ki je zaradi dobre matematične podpore računsko intenzivnim operacijam primernejše od BD™. Programiranje v okolju Matlab poteka preko skriptnega jezika. Matlab omogoča avtomatsko pretvorbo skriptnega programa v C++ izvorno kodo, od tu naprej pa tudi prevajanje programa v samostojno izvršljivo datoteko (EXE). Modul CM_MAT je tako popolnoma samostojen, kar dovoljuje njegovo uporabo neodvisno od Matlaba in obenem postavlja ločnico med računskim delom sistema ter uporabniškim vmesnikom. Komunikacija med računskim delom CM_MAT ter drugimi deli sistema poteka preko vhodno-izhodnih datotek tekstovnega tipa.

3.1 Uporabniški vmesnik

Ker je program izdelan za operacijske sisteme Windows™ 98 in Windows™ 2000, je grafični uporabniški vmesnik prilagojen konvenciji teh okolij. Sestavni del programa je tudi pomoč v standardizirani obliki.

3.2 Baza podatkov

Podatki o parametrih elementov elektroenergetskega sistema, kot tudi urni podatki o topologiji omrežja, proizvodnjah in odjemih moči so shranjeni v relacijski podatkovni bazi, ki temelji na programskem paketu MS Access. Izbiro katerekoli zmožljivejše baze podatkov smo zaradi majhnega obsega podatkov kot tudi zaradi enouporniške narave sistema ocenili za nepotrebno. Sistem je razvit tako, da omogoča morebiten poznejši prehod na drugo bazo podatkov. Baza podatkov obsega poleg drugega za vsako uro tudi ponudbe proizvajalcev za spremembe njihovih proizvodenj (Grgič 2001). V prihodnosti je predvidena povezava te baze podatkov z glavno bazo podatkov Agencije za energijo RS, v kateri se bodo avtomatsko zajemali podatki iz EES-a.

Zaradi zaupne narave podatkov je dostop zaščiten z geslom. Po prijavi dobi uporabnik možnost pregledovanja, urejanja in dodajanja zapisov v bazo podatkov.

3.3 Izračun optimalne prerazporeditve proizvodnje

Matematični del programa, ki vključuje izračun optimalne prerazporeditve delovne moči z namenom razbremenitve preobremenjenih delov prenosnega omrežja, se izvrši v modulu CM_MAT, slika 1. Zato mora osrednji program CM za izbrana obratovalna stanja iz podatkovne baze pripraviti vhodne datoteke za ta modul. Modul CM_MAT te podatke prebere, preveri njihovo strukturo in izvrši razbremenjevanje ter rezultate zapiše v izhodno datoteko, ki jo lahko nato vnesemo v podatkovno bazo.

Modul CM_MAT je izdelan v razvojnem okolju Matlab z uporabo optimizacijske knjižnice. Program je nato s pomočjo knjižnic Matlab Compiler, C/C++ Math Library in C/C++ Graphic Library ter razvojnega orodja Watcom C/C++ preveden v samostojno aplikacijo. Z uporabo preverjenih optimizacijskih algoritmov, ki so del Matlabove optimizacijske knjižnice, smo zagotovili hiter in zanesljiv izračun optimalne prerazporeditve delovne moči za razbremenjevanje preobremenitev v elektroenergetskih sistemih.

Modul CM_MAT lahko poleg osrednjega programa CM kličejo tudi druge aplikacije, pri čemer je treba upoštevati format vhodno-izhodnih datotek tega programa. S tem smo povečali prilagodljivost programa, saj je lahko matematični del izračuna razbremenjevanja

prenosnih preobremenitev uporabljen v aplikacijah, ki bodo šele razvite.

Metodo razbremenjevanja preobremenitev lahko dodatno izboljšamo z uporabo programa za izračun pretokov moči (Grgič 2001). Zato je program CM_MAT zasnovan tako, da omogoča klic programa za izračun pretokov moči (PF), ki je zaenkrat še v fazi razvoja. Izmenjava podatkov med njima bo potekala preko vhodno-izhodnih datotek.

3.4 Poročila

Program omogoča izdelavo standardiziranih poročil o razbremenjevanju kritičnih prenosnih poti. S tem dobi uporabnik možnost hitre izdelave poročil, ki jih lahko hrani za poznejšo analizo v digitalni obliki ali pa arhivira v papirni obliki.

3.5 Uporaba programa

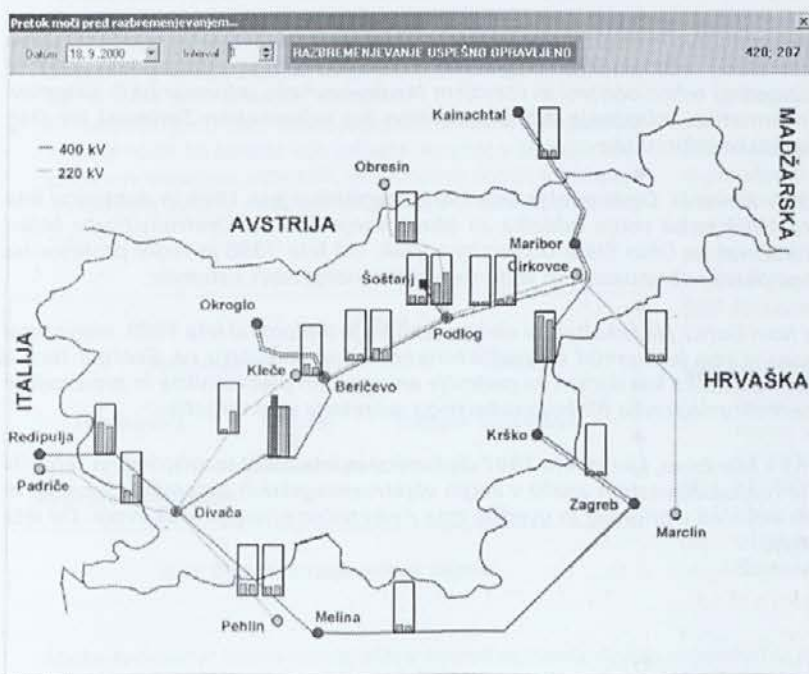
Upravljanje s programom poteka prek menijev in gumbov v orodni vrstici. Istočasno je lahko odprtih več oken s pregledom različnih podatkov in diagramov.

Zamišljeni koncept dela s programom je, da uporabnik najprej analizira izbrana obratovalna stanja, npr. za vse urne intervale trgovanja naslednjega dne. Ker bodo lahko v prihodnosti intervali trgovanja tudi krajši, npr. polurni ali 15 minutni, odvisno od razvoja trga z električno energijo, nastavimo dolžino intervala oziroma število intervalov v enem dnevu v nastavitvah programa.

Pred razbremenjevanjem po izbrani metodi (Grgič 2001) je potrebno od proizvajalcev električne energije zbrati ponudbe za spremembo proizvodnje delovne moči. Analiza teh ponudb je mogoča na dva načina. Prva možnost je pregled v tabelarni obliki, kjer so za izbran časovni interval podane vse ponudbe vseh proizvajalcev. Še bolj zanimiva je druga možnost, ko ponudbe analiziramo v grafični obliki za vsako posamezno elektrarno. V tem primeru izberemo časovni interval in elektrarno, nakar se nam izriše skupna ponudba te elektrarne, ki je v splošnem sestavljena iz več posameznih ponudb. Če je bilo razbremenjevanje za opazovani interval že opravljeno in je bila predlagana sprememba proizvodnje te elektrarne, je sprememba ustrezno označena. Podani so tudi številski podatki o posameznih ponudbah in parametrih krivulje. Tako v tabeli kot tudi v grafičnem pregledu ponudb je omogočeno dodajanje novih ponudb.

Če se izkaže, da bi bilo omrežje za določene časovne intervale preobremenjeno, lahko uporabnik za te intervale požene izračun optimalne prerazporeditve proizvodnje delovne moči z namenom razbremenitve preobremenjenih vodov omrežja. Rezultate lahko po končanem izračunu vnesemo v podatkovno bazo, kjer so na voljo za nadaljnjo analizo oziroma izdelavo poročil.

Ogled rezultatov razbremenjevanja kot tudi pomoč uporabniku pri odkrivanju preobremenitev je uporabniku olajšana s pomočjo grafičnega prikaza preobremenjenih vodov omrežja, slika 2. Za vse vode z vklopljenim prikazom v nastavitvah se izrišeta dva



Slika 2: Algoritem izboljšane metode z uporabo izračuna pretokov moči.

histograma. Prikazana sta v okvirčku, ki je normiran glede na nazivno prenosno kapaciteto voda. Levi histogram prikazuje obremenitev voda pred, desni pa po razbremenjevanju. Če je vod preobremenjen, je histogram obarvan rdeče, njegova višina pa posledično presega velikost okvirčka. Na konkretnem zgledu, slika 2, vidimo, da je pred razbremenjevanjem preobremenjen 400 kV vod Divača-Beričevo ter, da je bilo razbremenjevanje uspešno, saj so po njem vsi pretoki moči v slovenskem EES nižji od njihovih nazivnih vrednosti.

Program omogoča avtomatsko izdelavo nekaj standardiziranih tipov poročil. Na začetku izberemo časovne intervale, za katere želimo izdelati poročila. Če za določen interval razbremenjevanje ni bilo potrebno, se nam v poročilu to samo zabeleži. V primerih, ko je razbremenjevanje uspešno opravljeno, so za vse preobremenjene vode

v sistemu izpisani pretok navidezne moči pred razbremenjevanjem, maksimalen dovoljen pretok in pretok moči po razbremenjevanju. Temu sledi seznam vseh elektrarn, ki so s svojimi ponudbami sodelovale pri razbremenjevanju, z informacijo o proizvodnji delovne moči pred razbremenjevanjem, angažirano spremembo proizvodnje, proizvodnjo delovne moči po razbremenjevanju in s tem povezanimi stroški. Stroški spremembe proizvedenih delovnih moči so na koncu seštetni za vse elektrarne. V primeru neuspešnega razbremenjevanja so v poročilu navedeni samo preobremenjeni vodi skupaj z začetnimi pretoki navideznih moči in njihovimi maksimalnimi dopustnimi obremenitvami.

4. ZAKLJUČEK

Članek predstavlja računalniški program za načrtovanje ukrepov pri razbremenjevanju kritičnih prenosnih poti po metodi prerazporeditve proizvodnje delovne moči. Za izdelavo programa je bilo potrebno eno leto, naročniku, Agenciji za energijo Republike Slovenije, pa je bil predan v uporabo v prvi polovici leta 2001 vzporedno z uvajanjem trga z električno energijo v Sloveniji.

Trenutno je v teku povezava tega programa s programom za izračun pretokov moči. Poleg tega predvidevamo, da bo naročnik v prihodnosti zagotovil avtomatsko zajemanje podatkov o obratovalnih stanjih elektroenergetskega sistema iz centra vodenja upravljavca prenosnega omrežja.

Program bo služil kot pomoč pri preverjanju in razsojanju v morebitnih sporih, povezanih s preobremenitvami in iz tega izhajajočimi zavrnitvami dostopa do elektroenergetskega omrežja, ravno tako pa bi ga lahko upravljavec prenosnega omrežja uporabljal pri kratkoročnem načrtovanju obratovanja elektroenergetskega sistema.

VIRI IN LITERATURA

D. Grgič, F. Gubina, R. Golob (2001):

»Razbremenjevanje kritičnih prenosnih poti v pogojih trga z električno energijo«, Elektrotehniški vestnik, Letnik 68, št. 2-3.

MathWorks (1999):

»Matlab Optimization Toolbox User's Guide«, Mathworks Inc.; version 2, Natick MA 01760-1500, USA.

Vladimir Batagelj (1998):

»Optimizacijske metode«, skripta v pripravi, <http://vlado.fmf.uni-lj.si/vlado/optim/optim.htm>.

Dr. David Grgič je diplomiral leta 1995, magistriral leta 1998 in doktoriral leta 2001 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Od leta 1995 je zaposlen kot raziskovalni sodelavec na Fakulteti za elektrotehniko, Katedri za elektroenergetske sisteme in naprave. Vodi vaje pri predmetu Obratovanje in načrtovanje EES. Njegovo raziskovalno delo je povezano z obratovanjem elektroenergetskih sistemov.

Dr. Marko Bajec je predavatelj na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Diplomiral je iz računalništva leta 1996. Isto leto se je vpisal na podiplomski študij računalništva. Magistriral je leta 1998, doktoriral pa leta 2001. V okviru Katedre za informatiko se ukvarja z razvojnimi tehnologijami in razvojem ter prenovitvijo informacijskih sistemov. Marko Bajec je član Slovenskega društva Informatika, združenja AIS (Association for Information Systems) ter član programskega odbora posvetovanja Dnevi slovenske informatike.

Dr. Ferdinand Gubina se je rodil 16. maja 1939 v Sloveniji. Diplomiral je leta 1963, magistriral leta 1969 in doktoriral leta 1972 na Fakulteti za elektrotehniko. Od leta 1963 je bil vodja oddelka za obratovanje EES na Elektroinštitutu Milan Vidmar. Leta 1970 je eno leto raziskoval in poučeval na Ohio State University v ZDA. Od leta 1988 je redni profesor na Fakulteti za elektrotehniko. Področje njegovega dela je obratovanje in vodenje elektroenergetskih sistemov.

Dr. Robert Golob se je rodil 23. januarja 1967 v Novi Gorici. Na Fakulteti za elektrotehniko je diplomiral leta 1989, magistriral leta 1992 in doktoriral leta 1994. Po doktoratu je eno leto prebil na podoktorskem izpopolnjevanju na Georgia Tech v ZDA. Po vrnitvi se je zaposlil na Fakulteti za elektrotehniko kot docent za področje energetskih pretvornikov in proizvodnje električne energije. Od leta 1999 s krajšim presledkom opravlja funkcijo državnega sekretarja za energetiko.

Mag. Marko Senčar se je rodil 20. avgusta 1963 v Mariboru, kjer je leta 1987 diplomiral in leta 1992 magistriral na Tehniški fakulteti. Deloval je na področju varnostnih in razpoložljivostnih analiz v večjih elektroenergetskih sistemih v Sloveniji in Švici. Po vrnitvi je bil na pristojnem ministrstvu vključen v pripravo in uvedbo trga z električno energijo v Sloveniji. Od leta 2001 je pomočnik direktorja Agencije za energijo.