

DOI: [10.46793/CIGRE37.C2.15](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.C2.15)

C2.15

**ОПТИМАЛНО АНГАЖОВАЊЕ РАКТИВНЕ ПОДРШКЕ ОБНОВЉИВИХ ИЗВОРА
ЕНЕРГИЈЕ ЗА РЕГУЛАЦИЈУ НАПОНА У ПЕРСПЕКТИВНОЈ ПРЕНОСНОЈ МРЕЖИ
СРБИЈЕ****OPTIMAL DEPLOYMENT OF REACTIVE SUPPORT FROM RENEWABLE ENERGY
SOURCES FOR VOLTAGE REGULATION IN THE PROSPECTIVE TRANSMISSION
NETWORK OF SERBIA****Мирослав Жерајић, Жељко Ђуришић***

Кратак садржај: Учешће обновљивих извора енергије (ОИЕ) у регулацији напона у преносној мрежи у режимима када су вредности напона у чвориштима преносне мреже 400 kV веће од максимално дозвољених, захтева оптимизацију токова реактивних снага како би се минимизирала потреба за преузимањем реактивне снаге из преносне мреже, а самим тим и трошкови за преузету реактивну енергију. Оптимизацијом токова реактивних снага, минимизирају се и губици активне снаге у преносној мрежи. У овом раду биће представљени оптимизацион алгоритми који функционишу на принципу слања низа поставних вредности напона регулаторима свих ОИЕ у циљу минимизирања губитака активне снаге и преузете реактивне снаге из преносне мреже. Примена алгоритама ће бити приказана на примеру преносне мреже Србије, за перспективно стање, за које се планира интензивно прикључење ветроелектрана (ВЕ) и фотонапонских електрана (ФНЕ): 7100 MW ВЕ и 3500 MW ФНЕ. Прорачуни ће бити спроведени применом софтвера *DIgSILENT PowerFactory*.

Кључне речи: *обновљиви извори енергије, оптимизација, реактивна снага, поставна вредност напона, преносна мрежа, губици активне снаге*

Abstract: Participation of renewable energy sources (RES) in voltage regulation in the transmission grid when voltage values at the 400 kV transmission grid nodes exceed the maximum permissible limits, the participation of renewable energy sources (RES) in voltage regulation requires the optimization of reactive power flows to minimize the need for reactive power absorption from the transmission network, thereby reducing the costs associated with the absorbed reactive energy. Optimizing reactive power flows also minimizes active power losses in the transmission network. This paper presents optimization algorithms that operate by sending an array/sequence of voltage setpoints to the regulators of all RES units to minimize active power losses and the amount of reactive power absorbed from the transmission grid.

* Miroslav Žerajić, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, zm235031p@student.etf.bg.ac.rs
Željko Đurišić, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, djurisic@etf.rs

The application of these algorithms will be demonstrated using the Serbian transmission network as a case study for a future scenario that anticipates intensive integration of wind power plants (WPP) and photovoltaic power plants (PVPP), totaling 7100 MW of WPP and 3500 MW of PVPP. The calculations will be performed using DlgSILENT PowerFactory software.

Key words: *renewable energy sources, optimization, reactive power, voltage setpoint, transmission grid, active power losses*

1 УВОД

Учешће варијабилних ОИЕ у пружању помоћних услуга је све више заступљено у европским земљама. Најчешће су то помоћне услуге регулације фреквенције и регулације напона. У случају када се варијабилни ОИЕ користе као ресурс за регулацију напона, из угла корисника система и учесника на тржишту (пружалац услуге), потребно је максимизирати опсег реактивне снаге коју варијабилни ОИЕ могу преузети или инјектирати из/у преносну мрежу. С друге стране, из угла оператора система, потребно је минимизирати реактивну енергију која се преузима или инјектира из/у преносну мрежу за потребе регулације напона, како би се минимизирали трошкови за накнаду пружања услуге регулације напона.

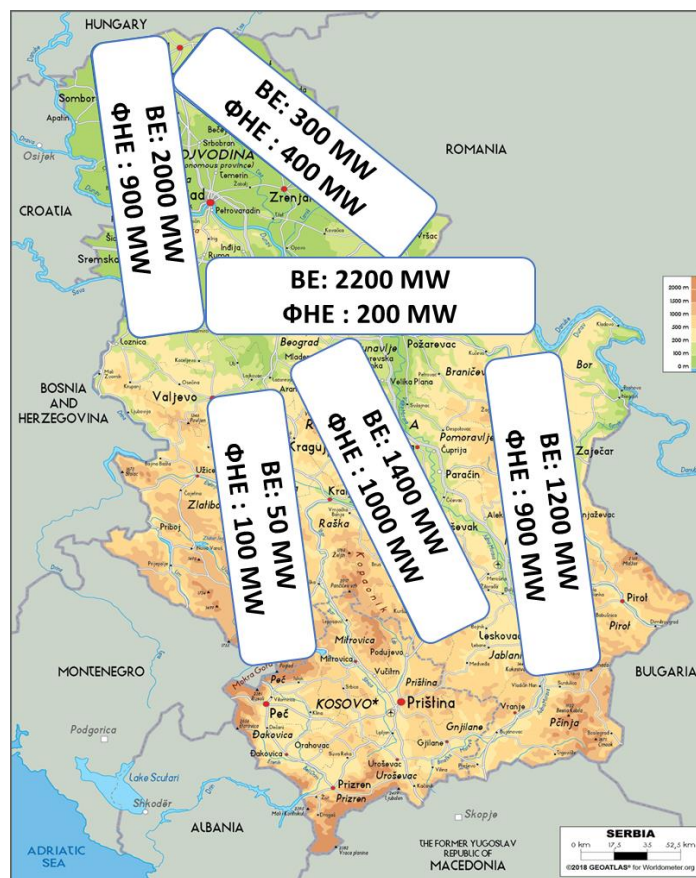
У преносној мрежи Србије, приметне су високе вредности напона на 400 kV напонском нивоу, на појединим ТС и преко 7000 сати годишње [1], због чега је, као резултат представљен у закључцима студије [2] дефинисана потреба за уградњом пригушнице у ТС Врање 4. Могућности учешћа варијабилних ОИЕ у регулацији напона у преносној мрежи је анализирана у [3,4], при чему су анализирана два режима рада варијабилних ОИЕ:

1. Када сви варијабилни ОИЕ раде у режиму $\cos\phi=1$,
2. Када сви варијабилни ОИЕ раде у капацитивном режиму, где је подразумевано да преузимају максималну могућу вредност реактивне снаге у зависности од тренутног ангажовања (према погонској карти ветроагрегата и инвертора ФНЕ).

Циљ приступа који је коришћен у [3,4] је био да се покаже агрегирани утицај варијабилних ОИЕ на смањење вредности напона у преносној мрежи, у свим сатима у години, укључујући и сате у којима ВЕ и ФНЕ не производе услед недостатка примарног енергента, када за преузимање реактивне снаге из мреже користе опције „wind free“ код ВЕ и „ноћни режим рада“ код ФНЕ. Такав приступ је подразумевао да се у свим сатима користи максимални могући опсег реактивних могућности ВЕ и ФНЕ, чиме је преузета реактивна енергија максимално могућа у свим сатима. Овакав режим није оптималан, што за последицу има непотребно ангажовање реактивне подршке ОИЕ у појединим сатима, као и повећане губитке активне снаге у преносној мрежи.

Због свега претходно наведеног, потребно је оптимизовати вредност реактивне снаге која се преузима из преносне мреже у сваком сату, тако да укупна преузета реактивна снага у сваком сату буде најмања могућа и да вредности напона на 400 kV сабирницама буду унутар дозвољеног радног опсега. Очекивани резултат је да оптимизација преузете реактивне снаге у сваком сату смањи и губитке активне снаге у преносној мрежи у односу на случај када се користи максимална реактивна могућност свих ВЕ и ФНЕ у сваком сату.

Неки од алгоритама оптимизације ће бити изложени у наредним поглављима рада, док ће за сваки алгоритам бити приказани резултати добијени на тест примеру у коме је на преносну мрежу прикључено 7100 MW из БЕ и 3500 MW из ФНЕ. На Слици 1 приказана је претпостављена просторна расподела перспективних БЕ и ФНЕ у Републици Србији.



Слика 1: Претпостављена просторна расподела перспективних БЕ и ФНЕ у Републици Србији

2 ВРСТЕ АЛГОРИТАМА ЗА ОПТИМИЗАЦИЈУ ПРЕУЗЕТЕ РЕАКТИВНЕ СНАГЕ

Како је већ споменуто у претходном поглављу, у студији наведеној у референци [3] је подразумевано да варијабилни ОИЕ у сваком сату користе максимални могући опсег реактивне снаге. То се постиже задавањем константне поставне вриједности напона регулатору електране (поставна вредност напона у тачки приључења електране), која се не мења током године. У сваком сату, електрана ради у капацитивном режиму, са поставном вредношћу напона 0.95 p.j., преузимајући из мреже максималну могућу реактивну снагу у складу са погонском картом својих ветроегрегата или инвертора ФНЕ. Овакав приступ као резултат заиста даје највеће смањење напона на 400 kV сабирницама, и кумулативни утицај варијабилних ОИЕ на смањење вредности напона у преносној мрежи је изражен, нарочито при високом уделу ОИЕ у укупној производњи ЕЕС-а Србије. Међутим, коришћење константе поставне вредности напона у свим сатима током целе године доводи до повећања губитака у преносној мрежи, доводи до случајева да електрана преузима реактивну снагу из мреже и онда када то није потребно, или преузима већу вредност реактивне снаге од вредности која је потребна. Све ово оставља простор за додатну оптимизацију преузете реактивне снаге из преносне мреже.

Најједноставнији начин да се оптимизује преузета реактивна снага из преносне мреже је задавање различитих поставних вредности напона сваком регулатору електране, а да се као критеријум узме да укупна реактивна снага преузета из преносне мреже (у тачки прикључења електрана) буде минимална. Поставне вредности напона могу да се прорачунају дан унапред, за сваки сат, или петнаестоминутни период (или неки други временски интервал) и задају у форми низа поставних вредности командом из центра управљања преносном мрежом. Критеријумска функција (1) и ограничења (2), (3) су исте за све алгоритме. Треба напоменути да формирана критеријумска функција априори не гарантује минимум губитака у преносној мрежи, али гарантује минималну количину реактивне снаге којом се постиже жељени ниво напона у чвориштима преносне мреже.

Критеријумска функција је:

$$\min(Q_{total}) = \min(\sum_{i=1}^n Q_i(U_1, U_2, \dots, U_n)) \quad (1)$$

Где је:

- Q_{total} – Укупна реактивна снага преузета из преносне мреже (у тачки прикључења електрана)
- i – Бројач регулатора
- n – Број регулатора електране
- Q_i – Напон у тачки прикључења електране са регулатором i
- $U_1, U_2, \dots, U_n$ – Напон у тачкама прикључења електране (1, ... , n)

Ограничења су:

$$U_{min} \leq U_i \leq U_{max}, \forall i \in \{1, 2, \dots, m\} \quad (2)$$

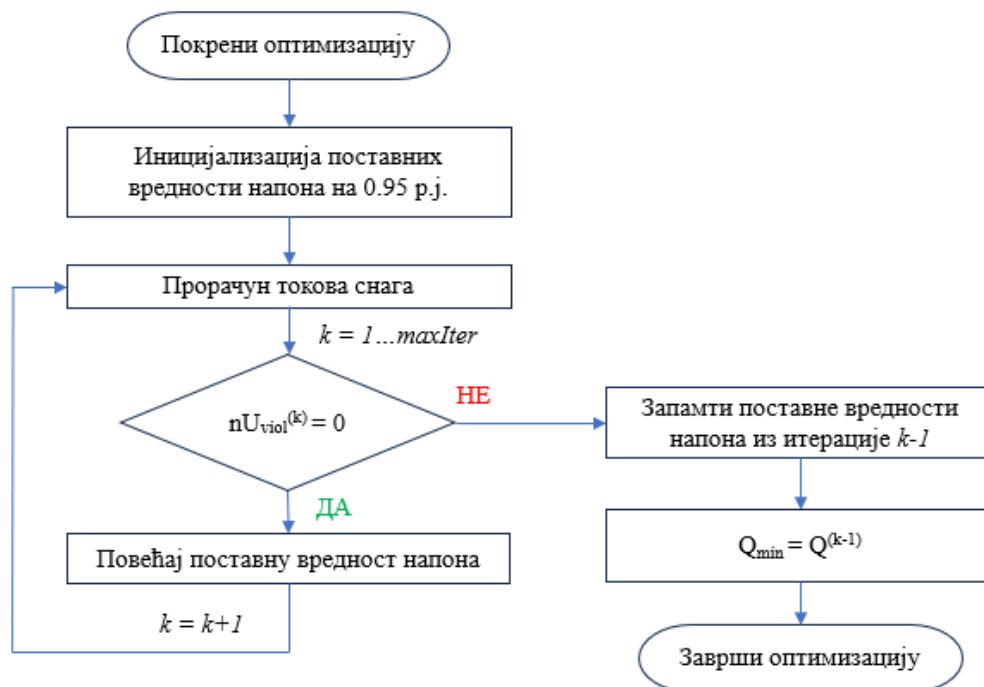
$$Q_{gmin}^{(i)} \leq Q_g^{(i)} \leq Q_{gmax}^{(i)}, \forall i \in \{1, 2, \dots, N_g\} \quad (3)$$

Где је:

- U_{min} – Предефинисана минимална вредност напона
- U_i – Вредност напона на i -тој сабирници у преносној мрежи са укупно m сабирница
- U_{max} – Предефинисана максимална вредност напона
- $Q_{gmin}^{(i)}$ – Минимална расположива реактивна снага i -те електране од укупно N_g електрана
- $Q_g^{(i)}$ – Тренутна расположива реактивна снага i -те електране од укупно N_g електрана
- $Q_{gmax}^{(i)}$ – Максимална расположива реактивна снага i -те електране од укупно N_g електрана

2.1 Алгоритам са једнаким кораком поставне вредности напона за све регулаторе електрана

Први и најједноставнији алгоритам који ће бити представљен у овом раду је алгоритам са једнаким кораком поставне вредности напона за све регулаторе електрана. Алгоритам почиње тако што се свим регулаторима електрана зада иста поставна вредност. Уколико у преносној мрежи нема сабирница са вредношћу напона изнад максимално дозвољене, поставне вредности напона се итеративно увећавају за корак чија је вредност предефинисана, све док се у мрежи не појави прво нарушење максимално дозвољене вредности напона. Када се појави прво нарушење максимално дозвољене вредности напона, бележи се вредност укупне реактивне снаге која је преузета из преносне мреже, губици у преносној мрежи и напони на 400 kV сабирницама из итерације која је претходила оној у којој је нарушење напона детектовано. Алгоритам за случај када у преносној мрежи нема сабирница са вредношћу напона изнад максимално дозвољене је приказан на Слици 2.



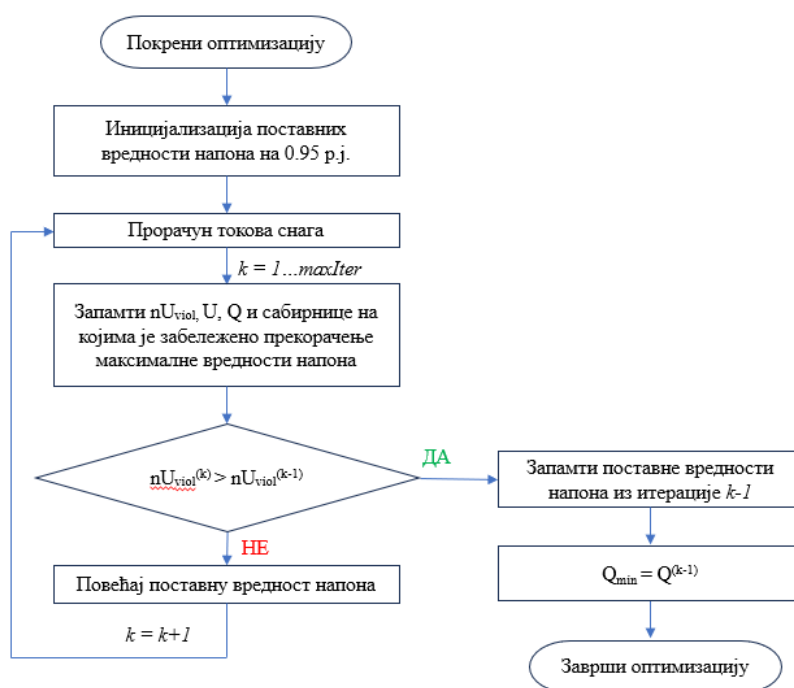
Слика 2: Алгоритам за случај када у преносној мрежи нема сабирница са вредношћу напона изнад максимално дозвољене

Ознаке на Слици 2 имају следећа значења:

- $maxIter$ – Максимални број итерација који се задаје пре почетка оптимизације и служи да заустави алгоритам у случају да није могуће добити нарушење максимално дозвољене вредности напона
- k – Редни број итерације
- $Q^{(k-1)}$ – Сума укупне реактивне снаге која се преузима из преносне мреже у тачкама прикључења електрана у $k-1$ - ој итерацији

- Q_{min} – Минимална сума укупне реактивне снаге која се преузима из преносне мреже у тачкама прикључења електрана
- nU_{viol} – Број нарушења максимално дозвољене вредности напона

Уколико у преносној мрежи постоје сабирнице са вредношћу напона изнад максимално дозвољене, поставне вредности напона се итеративно увећавају за корак чија је вредност предефинисана, али је тај корак ситнији у односу на случај када у мрежи не постоји нарушење максимално дозвољене вредности напона. Оптимизација траје све док је број нарушења максимално дозвољене вредности напона исти у две узастопне итерације. Када се број нарушења максимално дозвољене вредности напона повећа, бележи се вредност укупне реактивне снаге која је преузета из преносне мреже, губици у преносној мрежи и напони на 400 kV сабирницама из итерације која је претходила оној у којој се број нарушења повећао. Алгоритам за случај када у преносној мрежи има сабирница са вредношћу напона изнад максимално дозвољене је приказан на Слици 3.



Слика 3: Алгоритам за случај када у преносној мрежи има сабирница са вредношћу напона изнад максимално дозвољене

Ознаке на Слици 3 имају иста значења као на Слици 2, осим следећег:

- $nU_{viol}^{(k)}$ – Број нарушења максимално дозвољене вредности напона у итерацији k
- $nU_{viol}^{(k-1)}$ – Број нарушења максимално дозвољене вредности напона у итерацији $k-1$

2.2 Алгоритам са факторима осетљивости напона на промену поставне вредности напона регулатора

Други алгоритам користи факторе осетљивости напона на сабирницама у преносној мрежи услед промене поставне вредности напона регулатора. Тиме се процењује колико промена поставне вредности напона на једном регулатору утиче на промену вредности напона на осталим сабирницама у преносној мрежи, чиме се постиже следеће:

1. Реактивна могућност ВЕ и ФНЕ које имају велики допринос промени напона на неким сабирницама се максимално користи.
2. Реактивна могућност ВЕ и ФНЕ које имају мали допринос (или уопште не доприносе) промени напона на неким сабирницама се минимално (или уопште не) користи.

Фактори осетљивости напона се рачунају према (4):

$$S_{i,j} = \frac{U'_j - U_j}{\Delta u_i} \quad (4)$$

Где је:

- $S_{i,j}$ — Фактор осетљивости напона на сабирници j на промену поставне вредности напона i - тог регулатора
- U'_j — Нова вредност напона на сабирници j након промене поставне вредности напона i - тог регулатора
- U_j — Почетна вредност напона на сабирници j пре промене поставне вредности напона i - тог регулатора
- Δu_i — промена поставне вредности напона i - тог регулатора

За мрежу која има m регулатора и n сабирница, може се формирати матрица фактора осетљивости напона S , према (5):

$$S = \begin{bmatrix} S_{1,1} & S_{1,2} & \cdots & S_{1,n} \\ S_{2,1} & S_{2,2} & \cdots & S_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{m,1} & S_{m,2} & \cdots & S_{m,n} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Алгоритам почиње тако што се свим регулаторима електрана зада иста поставна вредност. Уколико у преносној мрежи постоје сабирнице са вредношћу напона изнад максимално дозвољене, поставне вредности напона се увећавају, али само за регулаторе који имају најмањи утицај на вредност напона на сабирницама на којима већ постоји нарушење максимално дозвољене вредности напона, што се одређује према (6).

$$|S_{l,i}| = \min_n |S_{n,i}| \quad (6)$$

Где је:

- $S_{l,i}$ – Најмањи фактор осетљивости напона за сабирницу i на промену поставне вредности напона регулатора l
- $S_{n,i}$ – Фактори осетљивости напона за сабирницу i на промену поставне вредности напона регулатора $1, \dots, n$
- n – Укупан број регулатора

Повећање поставне вредности напона регулатора се спроводи према (7):

$$u_l^{(k+1)} = u_l^{(k)} + \Delta u_l \quad (7)$$

Где је:

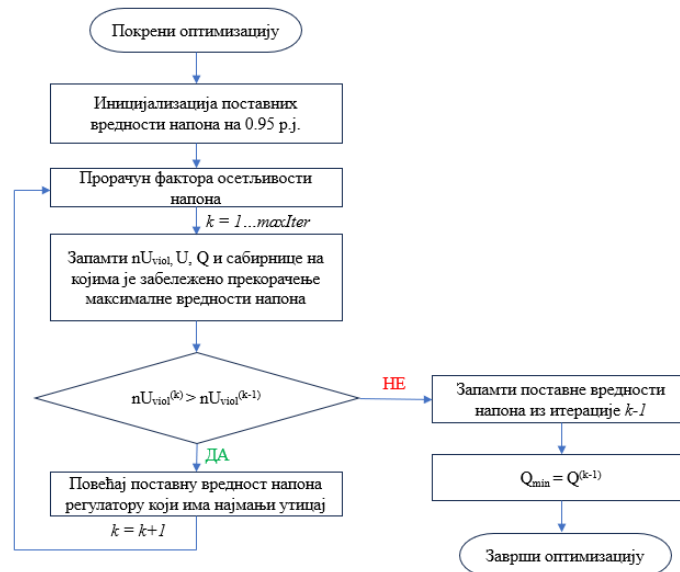
- $u_l^{(k+1)}$ – Поставна вредност напона регулатора l у итерацији $k+1$
- $u_l^{(k)}$ – Поставна вредност напона регулатора l у итерацији k
- Δu_l – Прорачунати инкремент поставне вредности напона регулатора l

Инкремент поставне вредности напона регулатора l се рачуна према (8):

$$\Delta u_l = \min(0.2, \max(0.002, \frac{0.1}{S_{l,i} + 10^{-6}})) \quad (8)$$

Коефицијенти 0.2, 0.002 и 0.1 представљају вредности које се подешавају како би се добила што боља конвергенција итеративног прорачуна, односно, како би се спречила дивергенција итеративног прорачуна.

Алгоритам са факторима осетљивости напона на промену поставне вредности напона регулатора је приказан на Слици 4. Ознаке на Слици 4 су идентичне онима на Слици 3.



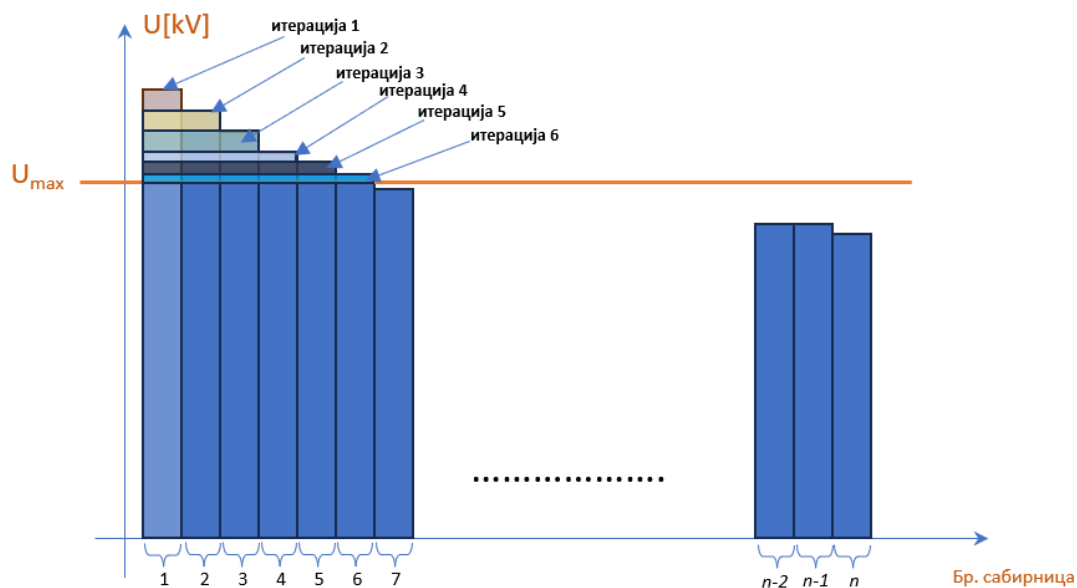
Слика 4: Алгоритам са факторима осетљивости напона на промену поставне вредности напона регулатора

2.3 Хибридни алгоритам за оптимизацију поставних вредности напона

Поред могућности да се алгоритми приказани у потпоглављима 2.1 и 2.2 користе засебно, могуће је коришћење и њихове комбинације. У том случају, прво се користи алгоритам са једнаким кораком поставне вредности напона за све регулаторе електрана, све док се не добије прво нарушење максимално дозвољене вредности напона. Затим се спроводи додатна оптимизација алгоритмом са факторима осетљивости напона на промену поставне вредности напона регулатора, са финијим инкрементом поставне вредности напона у односу на алгоритам са једнаким кораком поставне вредности. Како су ова два алгоритма већ описана у одговарајућим потпоглављима, због прегледности, хибридни алгоритам неће бити детаљније описан, али ће резултати добијени на тест примеру бити приказани када се овај алгоритам употреби.

2.4 Алгоритам са степенастом оптимизацијом

Прва два алгоритма која су приказана, као полазну тачку су имали једнаке поставне вредности напона регулатора свих ВЕ и ФНЕ – вредност 0.95 p.j. Овакав приступ је био усмерен ка претпоставкама да варијабилни ОИЕ већ раде у режиму регулације напона и да је задавањем ниске вредности напона сигурно постигнуто највеће могуће смањење високих вредности напона. Након тога, извршена је оптимизација којом се укупна реактивна снага преузета из преносне мреже минимизира.



Слика 5: Итеративна оптимизација реактивне снаге у генераторским чворовима ОИЕ ради регулације напона на сабирницама преносне мреже

У случају да сви варијабилни ОИЕ раде у режиму $\cos\phi = 1$, вредности напона на 400 kV сабирницама преносне мреже су и даље превисоки, па је прво неопходно извршити оптимално смањење вредности напона. То се може постићи степенастом оптимизацијом, којом се:

1. Вредности напона на сабирницама 400 kV мреже сортирају у опадајућем редоследу,

2. Мења се поставна вредност регулатора који највише утичу на највећу вредност напона све док се не изједначи са првом следећом вредношћу напона,
3. Корак 2 се понавља све док, у идеалном случају, напони на свим сабирницама у свим сатима, не буду унутар дозвољеног опсега. С обзиром да је у реалности извесније да вредност напона на неким сабирницама у неком сату неће моћи да се спусти тако да буде у дозвољеном опсегу, уведен је и додатни критеријум којим се алгоритам зауставља ако се при промени поставне вредности напона регулатора најугицајније електране не добије задовољавајуће смањење напона на сабирницама са највећим напоном.

Итеративни поступак који се примењује у степенастом алгоритму је приказан на Слици 5, за пример када је вредност напона изнад максимално дозвољене на шест сабирница преносне мреже, од укупно n сабирница.

3 РЕЗУЛТАТИ ПРИМЕНЕ АЛГОРИТАМА НА ТЕСТ ПРИМЕРУ

Алгоритми описани у претходном поглављу се, уз мање модификације, могу користити за оптимизацију вредности укупне преузете реактивне снаге на било којој преносној мрежи за коју постоји валидан симулациони модел са подацима о производњи, потрошњи и размени са суседним системима на нивоу једне године, дана или сата. У зависности од циља који оператор жели да постигне, оптимизација може да се извршава или за дан унапред, или блиско реалном времену (на сваких 60 мин, 30 мин или 15 мин), или комбиновано – дан унапред, уз корекцију на сатном/минутном временском интервалу. С обзиром да расположива реактивна подршка ОИЕ зависи од активне снаге генерисања, план реактивног ангажовања ОИЕ за дан унапред има одређену несигурност. Из тог разлога предлаже се комбиновано планирање за дан унапред са унутардневном фином корекцијом којом се врши преподешавање у складу са расположивим реактивним капацитетом и прецизнијим подацима о напонским приликама у систему.

Тест пример за који ће бити приказани резултати примене алгоритама представља перспективно стање преносне мреже, када је укупно инсталисано 7100 MW ВЕ и 3500 MW ФНЕ.

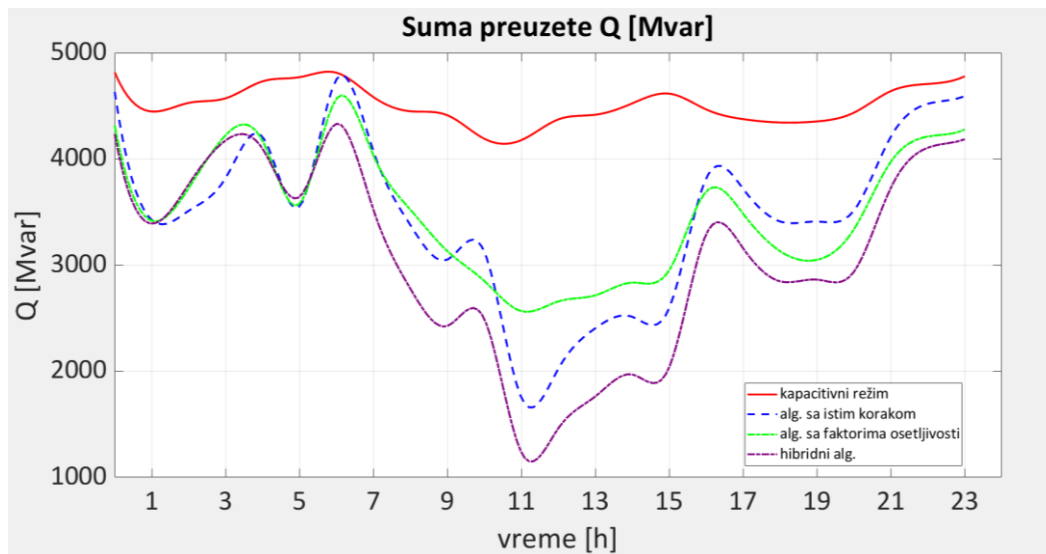
3.1 Резултати за алгоритме описане у 2.1, 2.2 и 2.3

Како је раније напоменуто, алгоритми могу да се примењују за дан унапред, и на Слици 5 су приказани резултати примене алгоритама описаних у 2.1, 2.2 и 2.3 на нивоу једног пролећног радног дана за 2030. годину. На Слици 5 је приказан и резултат за случај када сви варијабилни ОИЕ у свим сатима раде у капацитивном режиму, користећи максималне реактивне могућности.

Резултати примене оптимизационих алгоритама: са једнаким кораком, са факторима осетљивости и хибридног алгоритма и резултати када сви ОИЕ раде у капацитивном режиму показују:

1. Да се коришћењем алгоритма са једнаким кораком најбрже добије нарушење максималне дозвољене вредности напона,
2. Да је алгоритам са факторима осетљивости бољи за случајеве када у мрежи већ постоји нарушење максималне дозвољене вредности напона,

3. Да је хибридни алгоритам најбољи са аспекта минимизирања укупне преузете реактивне снаге из преносне мреже.



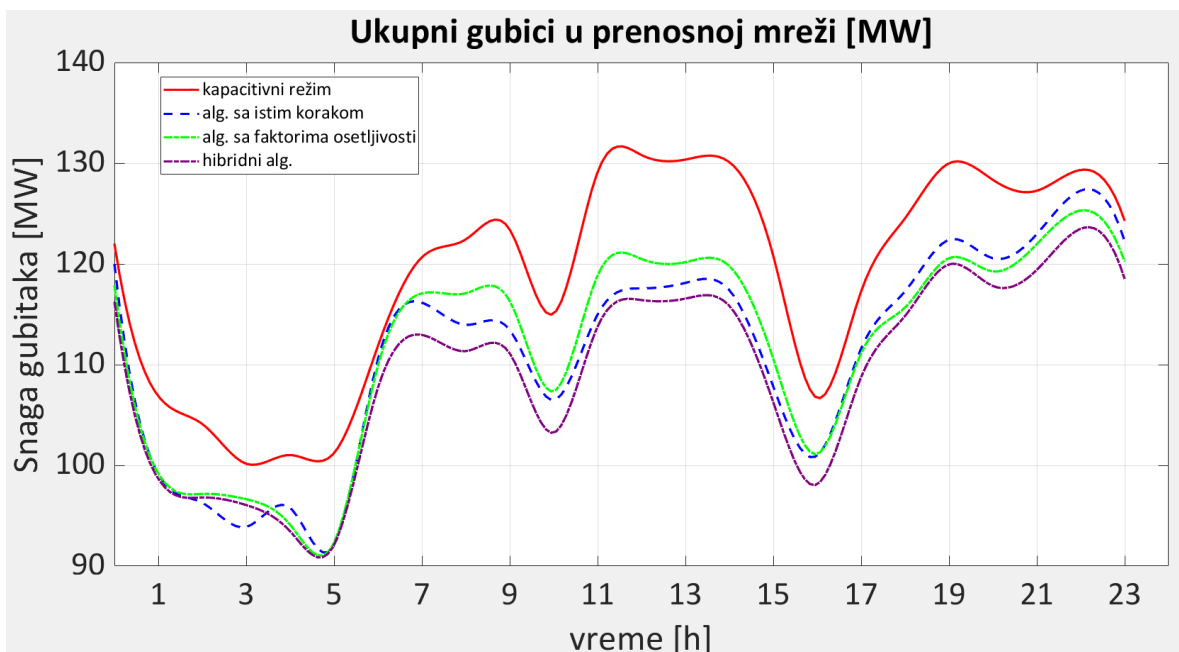
Слика 5: Сума преузете реактивне снаге: резултати примене оптимизационих алгоритама: са једнаким кораком, са факторима осетљивости и хибридног алгоритма и резултати када сви ОИЕ раде у капацитивном режиму

Слични закључци важе и за губитке у преносној мрежи (Слика 6):

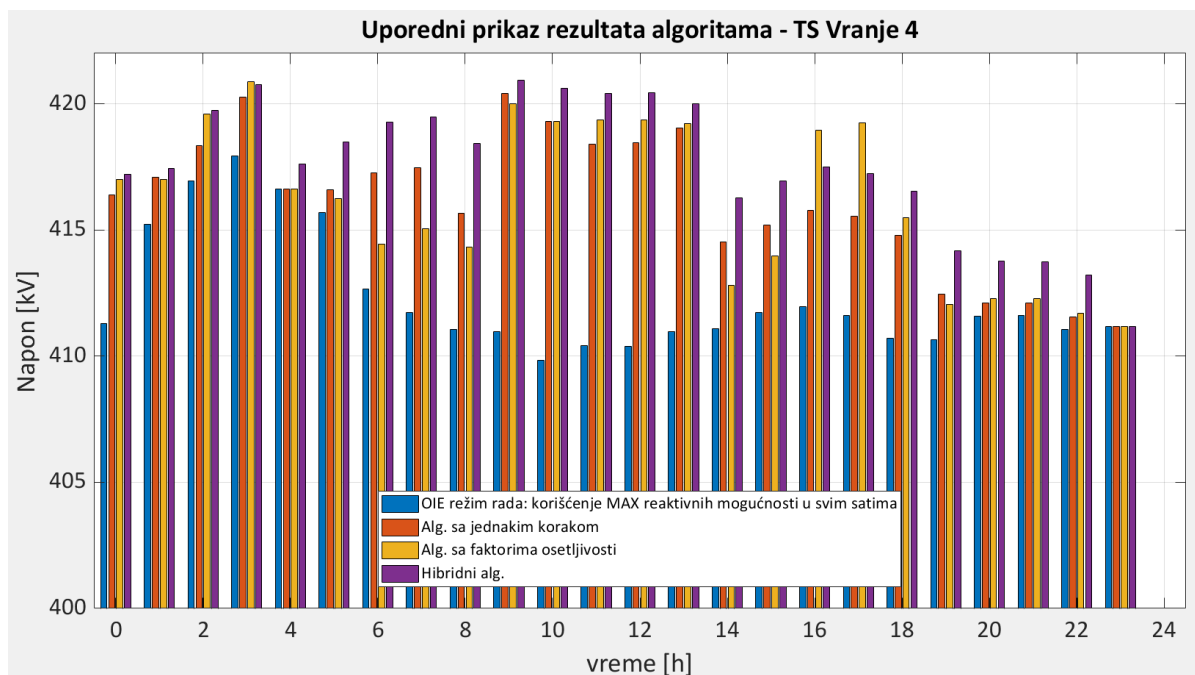
1. Коришћењем алгоритма са једнаким кораком се постижу мање вредности укупних губитака када у преносној мрежи не постоји нарушење максимално дозвољене вредности напона, јер се реактивна снага равномерније распоређује по свим елементима преносне мреже (кумулативни утицај правилно распоређених ОИЕ),
2. Коришћењем алгоритма са факторима осетљивости се постижу мање вредности укупних губитака када у преносној мрежи већ постоји нарушење максимално дозвољене вредности напона, јер тада алгоритам са једнаким кораком не може да се користи, а преко фактора осетљивости се може оптимизовати вредност напона на сабирницама које су електрично удаљене од оних на којима већ постоји нарушење максимално дозвољене вредности напона,
3. Хибридни алгоритам најбољи са аспекта минимизирања укупне снаге губитака у преносној мрежи.

За три одабране сабирнице 400 kV, на Сликама 7, 8 и 9 су приказане вредности напона након примене сваког од алгоритама. Приметно је да у неким сатима вредност напона прелази максимално дозвољену вредност, што може да буде последица следећег:

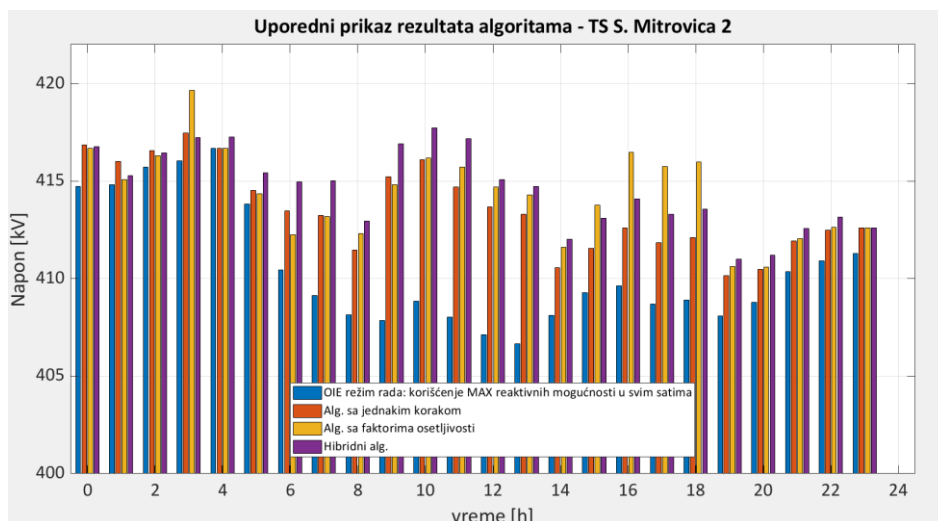
1. Критеријума заустављања алгоритма, што оставља простор за побољшање конвергенције итеративног поступка који се примењује
2. Додатне оптимизације која се примењује када у мрежи већ постоје сабирнице на којима је максимална вредност напона нарушена, или сабирнице на којима је вредност напона близу максималне. Деловањем на најмање утицајан регулатор електране може да доведе до малог пораста највеће вредности напона у мрежи.



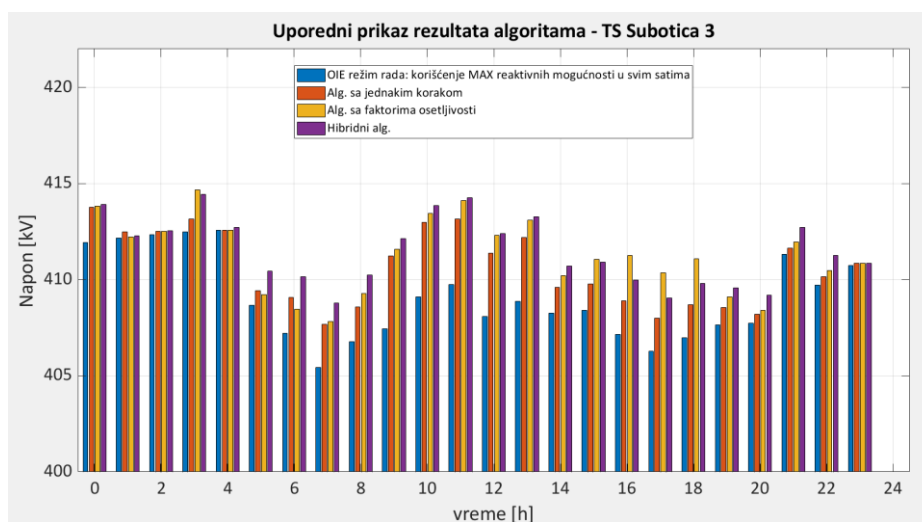
Слика 6: Снага губитака у преносној мрежи: резултати примене оптимизационих алгоритама: са једнаким кораком, са факторима осетљивости и хибридног алгоритама и резултати када сви ОИЕ раде у капацитивном режиму



Слика 7: Упоредни приказ резултата примене оптимизационих алгоритама: напон на 400 kV сабирницама ТС Врање 4



Слика 7: Упоредни приказ резултата примене оптимизационих алгоритама: напон на 400 kV сабирницама ТС Сремска Митровица 2

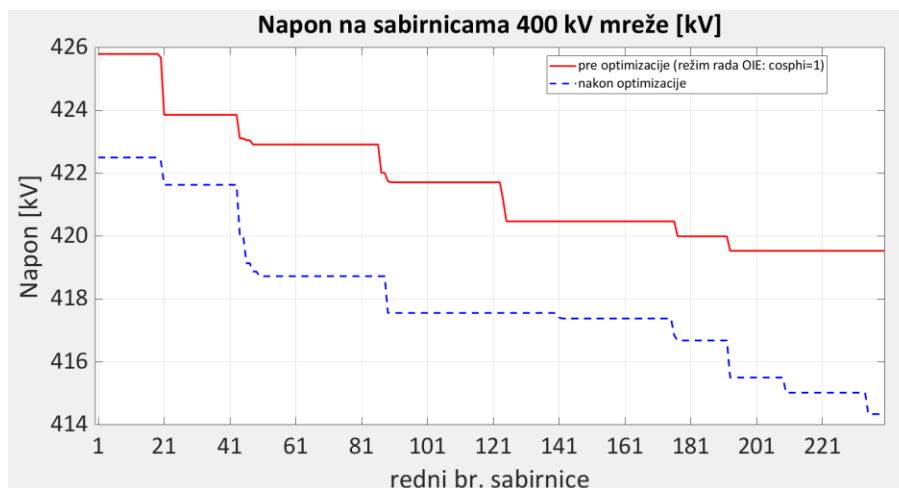


Слика 8: Упоредни приказ резултата примене оптимизационих алгоритама: напон на 400 kV сабирницама ТС Суботица 3

3.2 Резултати за алгоритам са степенастом оптимизацијом

Када сви варијабилни ОИЕ раде у режиму $\cos\phi = 1$, вредности напона на 400 kV сабирницама су и даље високе, и претпоставка је да се применом алгоритма са степенастом оптимизацијом може постићи равномернији профил напона тако што ће се прво смањивати напон на сабирницама на којима је вредност напона највећа, док се не достигне друга највећа вредност, и тако редом, док се на свим сабирницама на којима је детектовано нарушење максималне вредности напона не добије $U < 420$ kV. Међутим, резултати алгоритма на тест примеру показују да вредности напона на неким сабирницама не могу да се смање испод максимално дозвољене вредности, и да је због међусобне зависности, тешко постићи потпуно идентичне вредности на крају оптимизационог процеса.

Резултати за један сат тест примера, за један пролећни радни дан 2030. године су приказани на Слици 9.



Слика 9: Резултати алгоритма са степенастом оптимизацијом

4 ЗАКЉУЧАК

Алгоритми приказани у раду се могу користити у циљу смањења вредности напона у преносној мрежи, смањења губитака у преносној мрежи и минимизирања преузете реактивне снаге/енергије. Приказане алгоритме је могуће користити у оперативном раду и планирању оперативног рада на следећи начин:

1. За дан унапред (Д+1) се прорачунају поставне вредности напона за сваки временски интервали за које постоји прогноза производње из варијабилних ОИЕ за Д+1,
2. Поставне вредности добијене у Д-1 се коригују на сатном нивоу, како би се уважила евентуална одступања у прогнози производње из варијабилних ОИЕ или уколико је у преносној мрежи дошло до промене која је од суштинског значаја за управљање.

У зависности од циља, сваки алгоритам се може користити засебно. За снижење вредности напона испод максимално дозвољене вредности, најједноставније је користити алгоритам са степенастом оптимизацијом. За минимизирање преузете реактивне снаге и за минимизирање губитака у преносној мрежи, најбоље резултате даје хибридни алгоритам за оптимизацију поставних вредности напона.

Коришћење алгоритама са факторима осетљивости и хибридног алгоритма може да доведе до малог пораста највеће вредности напона у мрежи. Ово оставља простор за побољшање критеријума за заустављање алгоритма, оптимизације инкремента поставних вредности напона, као и самих алгоритама у целини.

5 ЛИТЕРАТУРА

- [1] План развоја преносног система Републике Србије за период 2023-2032., Електромрежа Србије АД, Београд, 2023.
- [2] Regional Study for Voltage Profile Improvement: Feasibility Study, <https://wbif.eu/technicalassistancegrants//WB17-REG-ENE-01>

- [3] Студија „Анализа потенцијала ветроелектрана и соларних електрана за пружање помоћних услуга регулације напона и фреквенције у ЕЕС-у Србије“, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, Београд, децембар 2024.
- [4] М. Žerajić, Т. Šiljegović, Р. Gorašević, К. Lazović, Ђ. Laović, Ж. Đurišić, „Participation of wind farms in voltage control in the transmission grid of Serbia“, Wind Europe annual event 2025, Copenhagen, April 2025.