

DOI: [10.46793/CIGRE37.C1.09](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.C1.09)**C1.09****КОНЦЕПЦИЈА ПРИМЕНЕ ОПЕРАТИВНИХ ОГРАНИЧЕЊА ПРОИЗВОДЊЕ НА
ПРЕНОСНОМ СИСТЕМУ****CONCEPT OF OPERATIONAL LIMITATIONS OF GENERATION ON TRANSMISSION
SYSTEM****Vojislav Simović, Sonja Simović***

Кратак садржај: У складу са Законом о енергетици Републике Србије, Оператор преносног система има могућност дефинисања оперативних ограничења у процесу прикључења производних објеката. Оперативна ограничења су Законом дефинисана као привремено смањење активне снаге у месту прикључења у циљу остваривања сигурног рада преносног система, и за та ограничења Оператор не подлеже плаћању финансијске надокнаде корисницима који подлежу прикључењима. Остваривање сигурног рада преносног система, у контексту оперативних ограничења, подразумева смањење снаге производних објеката у оперативном раду у циљу отклањања преоптерећења у мрежи на која утичу ти производни објекти. Због упетљаности преносне мреже, редак је случај да на неко преоптерећење утиче само један објекат, и углавном су преоптерећења изазвана утицајем већег броја објеката, са различитим доприносима, у зависности од места прикључења конкретних објеката и удаљености од елемента који се преоптерећује. Закон дефинише обавезу Оператора да у својим Правилима о раду дефинише критеријуме и начин примене оперативних ограничења поштујући принципе транспарентности и недискриминаторности. Имајући у виду да примена оперативних ограничења има директне финансијске последице по корисника али и да, у случају ограничења објеката који користе варијабилне ОИЕ, суштински представља неповратни губитак енергије са аспекта ЕЕС, јер је примарни извор енергије бесплатан, потребно је да критеријуми и начин примене задовоље примарно два аспекта: минимизацију изгубљене енергије и правичну расподелу смањења производње између оних корисника који утичу на неко преоптерећење. У овом раду ће прво бити изложен методолошки приступ одређивања фактора утицаја објеката на преоптерећења елемената у мрежи, у циљу одређивања њиховог учешћа у спровођењу ограничења. На основу тога ће бити спроведена компаративна анализа спровођења ограничења за два претходно наведена кључна критеријума: минимизација ограничене енергије и правична расподела ограничења. Резултати те анализе ће показати предности и мане примене оба критеријума. Основни циљ рада је да предложи концепт који треба да задовољи оба критеријума, али без примене компромиса и одређивања тежинских фактора једног или другог критеријума, већ концепт који у потпуности испуњава оба наведена критеријума.

* Vojislav Simović, Elektromreža Srbije, vojislav.simovic1994@gmail.com
Sonja Simović, JSC EMS, sonja.simovic@ems.rs

Кључне речи: *prenosni sistem, OIE, ograničenja, priključenje*

Abstract: Main idea of this document is defining the concept for implementation of operational limitations (curtailment without compensation). In most cases, overloads of the transmission system elements will be caused by more than one object which has operational limitations defined in the connection process. In those situations, in general, those objects will have different impacts on the overload. Two basic concepts for application of operational limitations are: 1. Limiting the object which has the highest contribution to the overload 2. Limiting all object proportionally to their contribution to the overload First concept provides limitations with minimal cumulative loss of energy in the system but isn't fair to all the participants because the burden of limitations falls only on one object. Second concept is fair by definition but cumulative energy loss is bigger than in the first case. This document will provide an idea for a different concept that should ensure that both advantages of these 2 concepts are respected without their drawbacks.

Key words: *RES, connection, TSO, curtailment*

1 УВОД

Законом о енергетици из априла 2021. године, оператору преносног система (ОПС) ЕМС АД је омогућено да понуди подносиоцу захтева прикључење које подлеже оперативним ограничењима под условом да су та ограничења одобрена од стране регулаторне агенције (АЕРС). У том Закону и у важећем Закону о енергетици [1] оперативно ограничење је дефинисано као привремено смањење активне снаге у месту прикључења у циљу остваривања сигурног рада преносног система. Идеја да се овакав концепт уведе у домаћу регулативу је проистекао из праксе ОПС у изради студија прикључења, где се показало да често није могуће дефинисати неки одређени прикључак због појаве преоптерећења у анализи сигурности „N-1“ чак и у, условно речено, малом износу, јер нису испуњени услови сигурног рада преносног система, тј. критеријум „N-1“. У тим случајевима би било неопходно дефинисати неки други прикључак који је често већег обима што изискује веће трошкове, дуже време реализације и повећане ризике у погледу изводљивости. Подносиоци захтева су се више пута изјашњавали да они преферирају једноставнији прикључак и да су спремни да прихвате да не могу увек да раде са пуном снагом (да буду ограничени) у тим критичним режимима, али није постојало правног основа за дефинисање таквог начина прикључења, јер је ОПС у обавези да обезбеди свим корисницима испуњен критеријум „N-1“. Овде се као проблем показало и разумевање тог критеријума и начин на који је он дефинисан. Наиме, критеријум „N-1“ подразумева да преносна мрежа буде конфигурисана тако да нерасположивост било ког елемента не доводи до нарушавања граница погонских величина ни на једном другом елементу преносног система, уз изузетак радијално напајаних објеката [2]. Поента оваког критеријума је јасна, у случају нерасположивости неког елемента због непланираних испада или одржавања, ниједан објекат корисника не остаје без напајања. Наравно, овај критеријум је настао много пре настанка тржишта електричне енергије и дерегулације. Тада су електроенергетски системи били вертикално интегрисани у склопу великих електропривреда где су практично корисници били само купци, јер су производни објекти били део истог система као и оператори система. У таквим системима, критеријум успешног рада је била минимизација неиспоручене електричне енергије потрошачима, а према потребама потрошача је била планирана и производња. У таквом систему, уколико нерасположивост неког елемента не доводи до губитка напајања неке потрошње, критеријум сигурности је испуњен.

Данас, у време тржишта и независних оператора система, критеријуми су другачији. Производни објекти су посебни корисници система а свој рад планирају у циљу максимизације профита. Тако планиран рад доводи до одступања потреба потрошње и енергије коју пласирају произвођачи што доводи до повећаних транзитних токова снага у систему, који се и генерално повећавају услед интензивирања тржишних активности. Наравно, мрежа је грађена у складу са тадашњом структуром и потребама и није конфигурисана идеално за данашње трендове. Са аспекта критеријума сигурности „N-1“, у данашњем систему он се једнако мора примењивати на све кориснике па и на произвођаче. То практично значи да уколико нерасположивост једног елемента доводи до немогућности пласмана целокупне енергије из неког производног објекта, критеријум сигурности није испуњен чак иако је комплетна потрошња покривена и ако нема прекида испоруке. Последица тога је искључиво изгубљена добит или трошак власника производног објекта. Са друге стране, уколико би критеријум био у потпуности испуњен, предност тога би била искључиво за власника производног објекта. Из тог разлога је оправдано у циљу испуњености критеријума „N-1“ предвидети обимнији прикључак који финансира инвеститор објекта. Иако то делује као једноставно решење, без обзира на то ко сноси трошак изградње те инфраструктуре, поставља се питање каснијих трошкова експлоатације инфраструктуре која можда није оптимално искоришћена и предвиђена је како би се испунио критеријум сигурности у потпуности, иако би прикључак много мањег обима био адекватан у 99% сати у години. Истоветна примена критеријума „N-1“ на производне објекте као на потрошачке доводи до потреба за развојем инфраструктуре у мери за коју је упитно да ли се може оправдати. Нарочито имајући у виду да развој система кроз тарифу финансирају корисници – потрошачи, а да су те потребе сада у највећој мери изазване прикључењем производних јединица. Због свега претходно наведеног, потребно је у некој мери релаксирати примену овог критеријума на производне објекте. Имајући у виду став будућих корисника да преферирају једноставније прикључке са потенцијалним ограничењима уместо обимних прикључака који омогућавају прикључење без икаквих ограничења као и чињеницу да, услед велике интеграције, упетљаности преносног система и рада у интерконекцији, инфраструктура која омогућава прикључење без икаквих ограничења представља само теоријски достижан подухват, дефинисана је могућност примене оперативних ограничења. Овај концепт представља компромис између развоја инфраструктуре за потребе прикључења и прикључка без ограничења.

2 ДЕФИНИСАЊЕ ОПЕРАТИВНИХ ОГРАНИЧЕЊА У СТУДИЈАМА ПРИКЉУЧЕЊА

Примењујући овај концепт у изради студија прикључења и дефинисању начина прикључења у складу са регулативом након 2021. године, ЕМС АД је као ОПС подносиоцима захтева дефинисао начине прикључења који обухватају примену оперативних ограничења у циљу отклањања преоптерећења различитих елемената преносних система. У оквиру студије прикључења, дефинисање оперативних ограничења представља идентификацију елемената преносног система чије преоптерећење може да буде узрок ограничавања производње. Елементи су дефинисани као потенцијални узрок примене ограничењима оним подносиоцима за које је компаративном анализом утврђено да прикључење њиховог објекта негативно утиче на појаву преоптерећења – изазива преоптерећење или повећава преоптерећење тог елемента. Практично, дефинисано ограничење даје могућност оператору да када предметни објекат буде у погону, у случају потребе ограничи његову производњу како би отклонио или спречио појаву преоптерећења неког елемента.

Иако су начини прикључења који садрже оперативна ограничења без превише дилема прихватани од стране подносилаца захтева, мора се имати у виду да, у овој фази процеса, дефинисана ограничења још увек не коштају никога ништа. Важно је напоменути да су ограничења идентификована у прорачунима на моделима у којима је садржан велики број производних објеката у различитим фазама процеса прикључења, од којих немају сви подједнаке вероватноће реализације. Та чињеница је уважена од стране нових подносилаца при одлучивању о прихватању начина прикључења који садржи оперативна ограничења.

3 ПРИМЕНА ОПЕРАТИВНИХ ОГРАНИЧЕЊА У ОПЕРАТИВНОМ РАДУ

По питању будуће примене оперативних ограничења у овом тренутку још увек постоји доста недоумица. Измене и допуне Закона о енергетици из новембра 2024 [1]. године су предвиделе обавезу ОПС да у оквиру својих Правила о раду преносног система [2] дефинише „критеријуме и начин примене оперативних ограничења“. Као што је претходно објашњено, дефинисана оперативна ограничења у студији прикључења дају оператору могућност да их спроведе у конкретном случају појаве преоптерећења неког елемента уколико је тај елемент дефинисан у списку оперативних ограничења. Уколико реално стање мреже у некој будућој години буде такво да се преоптерећење тог елемента не појављује, јасно је да неће бити потребе ни за спровеђењем оперативног ограничења. Са друге стране, уколико се деси преоптерећење неког елемента који није идентификован на нивоу студије прикључења као потенцијални узрок спровођења оперативног ограничења за неки производни објекат, ОПС неће имати право да ограничи производњу тог објекта у циљу отклањања преоптерећења конкретног елемента без накнаде већ ће морати да примени редиспечинг због угрожене сигурности и за то ће сносити финансијске последице. Као релевантан преостаје само случај у коме се у оперативном раду појављује преоптерећење елемента који је дефинисан производном објекту као узрок примене оперативних ограничења. Са тим долази и питање – како ће се ограничење примењивати?

Уколико је преоптерећени елемент наведен као узрок оперативног ограничења само једном производном објекту, проблем је поприлично једноставан – снага производног објекта ће се смањити у мери која је потребна да се оптерећење елемента доведе на ниво који је прихватљив за ОПС у конкретном радном режиму. Чак и за овај, наизглед, изузетно једноставан случај постоје детаљи које је потребно разрадити. Да ли ће се ограничење примењивати дан унапред, по идентификовању потенцијалног преоптерећења, или ће се спроводити уколико се преоптерећење појави у реалном времену? Логична претпоставка је да одговор на ово питање зависи од нивоа потенцијалног преоптерећења, карактеристика предметног елемента, радног режима система у том тренутку, али и других фактора, као што је могућност примене других оперативних мера и слично. Сви набројани фактори су детерминистичке природе па се може очекивати да ће их ОПС на адекватан начин обрадити у Правилима о раду преносног система [2].

Примена оперативних ограничења постаје значајно компликованија када је неки елемент који се преоптерећује дефинисан као потенцијални узрок спровођења оперативног ограничења за више производних објеката, што је и најчешћи случај. По правилу, објекти ће имати различите утицаје на преоптерећење конкретног елемента, осим у случају прикључења преко заједничког прикључка. Уколико два или више објеката имају различите утицаје на преоптерећење неког елемента преносног система, аксиом је да један од тих објеката утиче највише, тј. више од осталих.

У овом случају се поставља најбитније питање у погледу спровођења оперативних ограничења – како ОПС одређује на које објекте се у којој мери примењује оперативно ограничење?

Овде се могу идентификовати два основна принципа примене:

1. Принцип пропорционалног смањења
2. Принцип минимизације „ограничене“ енергије

Оба наведена принципа имају своје предности и недостатке. Принцип пропорционалног смањења подразумева да се отклони преоптерећење са критичног елемента тако што ће се извршити смањење снаге инјектирања објеката који утичу на појаву конкретног преоптерећења, пропорционално њиховом утицају на то преоптерећење. Примера ради, уколико је утицај једног објекта дупло већи од утицаја другог објекта онда ће и ограничење снаге инјектирања тог објекта бити дупло веће него ограничење другог објекта. Основна предност овог принципа је што је апсолутно поштен, тј. ограничење производње сваког објекта тачно одговара његовом доприносу појави преоптерећења. Недостатак овог принципа је што ће укупна ограничена енергија бити већа него што је то неопходно за конкретан ефекат.

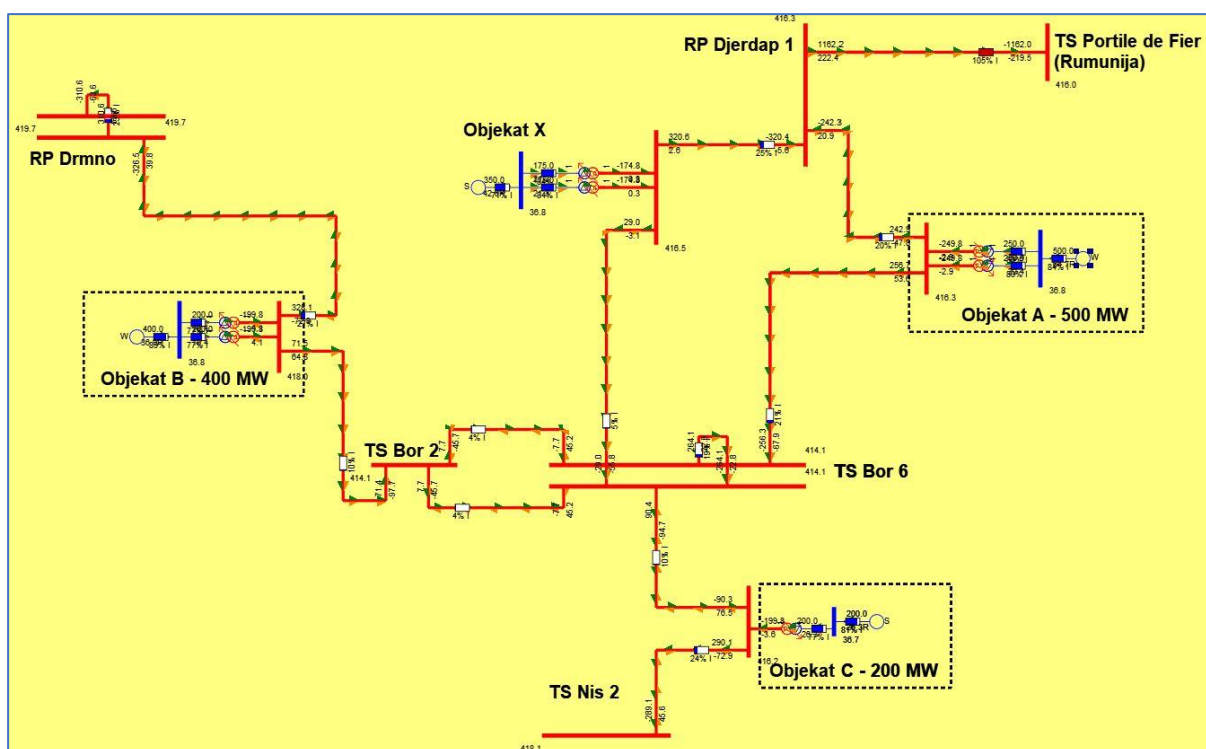
Принцип минимизације ограничене енергије подразумева да се преоптерећење критичног елемента отклони на начин да смањење снаге инјектирања објеката буде минимално са аспекта целог ЕЕС. Имајући у виду да по правилу један објекат има већи утицај од осталих, ово директно имплицира да ће се ограничење производње спроводити у потпуности на објекту који има највећи утицај, под претпоставком да се преоптерећење може потпуно отклонити ограничавањем снаге тог објекта. Уколико ограничавање снаге тог објекта није довољно за отклањање преоптерећења, онда би се након ограничавања тог објекта на снагу од 0 MW ограничење даље спроводило на следећем објекту који има највећи утицај. Предности и недостаци овог принципа су супротни првом принципу. Предност је што је ограничена енергија једнака минимално потребној за остваривање жељеног ефекта. Недостатак овог принципа је очигледан, преоптерећење ће бити отклоњено спровођењем ограничења само на једном објекту иако на то преоптерећење утичу и други објекти, тј. овакав принцип би се могао окарактерисати као дискриминаторан. Иако је дискриминаторност апсолутно недопустива у поступању оператора система, није могуће овај принцип тако лако одбацити јер је његова предност минимизација једног вида губитка енергије, што је један од основних принципа ефикасног рада ЕЕС.

Како би се ова два принципа упоредила на конкретном примеру, и како би се поткрепили изнете тврдње о предностима и недостацима сваког принципа, извршени су прорачуни токова снага у преносном систему Републике Србије, за један сат у години, са моделованим фиктивним објектима на различитим местима како би се добили различити утицаји на преоптерећења. Регион од интереса за посматрање је регион источне Србије, а као преоптерећени елемент, који је узрок спровођења оперативних ограничења, посматраће се интерконективни ДВ 400 kV РП Ђердап 1 – Портите де Фиер (Рум.). У модел су убачена три фиктивна објекта који су названи Објекат А, Објекат Б и Објекат Ц. Подаци о снагама објеката и тачкама прикључења су дати у следећој табели.

Табела 1: Подаци о производним објектима

<i>Назив објекта</i>	<i>Одобрена снага [MW]</i>	<i>Прикључак</i>
Објекат А	500	„улаз - излаз“ на ДВ 400 kV ТС Бор 6 – РП Ђердап 1
Објекат Б	400	„улаз - излаз“ на ДВ 400 kV РП Дрмно – ТС Бор 2
Објекат Ц	200	„улаз - излаз“ на ДВ 400 kV ТС Ниш 2 – ТС Бор 6

На Слици 1 је приказана топологија мреже од интереса са прикљученим претходно наведеним објектима, као и другим постојећим објектима и објектима у процесу прикључења на преносни систем.



Слика 1: Токови снага у региону од интереса

Због једноставности приказа, претпостављено је да сва три објекта раде истовремено са максималном снагом као и да су ова три објекта једини објекти који утичу на посматрано преоптерећење. Са претходне слике се може видети да је посматрани ДВ преоптерећен 5%. Претпостављено је и да се ово преоптерећење јавља у базном стању, тј. без испада у систему. Ова претпоставка не одговара у потпуности реалности јер оператор преносног система не дозвољава прикључења која доводе до преоптерећења у базном стању. Ова претпоставка је уведена како би се елиминисао утицај избора испада елемента на утицаје објеката на преоптерећење, јер се за сваки испад мења топологија мреже и та промена доводи до тога да ће фактори утицаја појединачних објеката на преоптерећење бити различити за различите испаде. Такође, преоптерећење које се може идентификовати са слике 1 је струјно преоптерећење изражено преко одговарајуће вредности привидне снаге уважавајући тренутну вредност напона. С обзиром на чињеницу да је ток реактивне снаге по далеководу више од 5 пута мањи од тока активне снаге, као и да је у прорачунима који су спроведени након смањења снаге ток реактивне снаге остао приближно исти, претпостављено је да се растерећење далековода реализује искључиво променом тока активне снаге, због једноставности.

У пракси ће бити неопходно уважити утицај реактивне снаге на преоптерећење далековода као и могућности за растерећење које се тичу утицаја на токове реактивних снага и регулацију напона.

Провером утицаја ова три објекта утврђено је да највећи утицај има објекат А, затим објекти Б и Ц респективно, што се и могло претпоставити имајући у виду близину објекта преоптерећеном далеководу. Утицај производње ових објекта на преоптерећење посматраног далековода се може изразити преко односа промене оптерећења далековода и промене снаге производње објекта у MW. Овај однос нам практично даје информацију о томе за колико MW се повећа или смањи ток снаге по далеководу за промену производње објекта за 1 MW. Ови односи за сва три објекта су приказани у следећој табели.

Табела 2: Утицај снаге производње на преоптерећење

<i>Назив објекта</i>	<i>Одобрена снага [MW]</i>	<i>Однос $\Delta P_{load}/\Delta P_{gen}$ [MW/MW]</i>
Објекат А	500	0.46
Објекат Б	400	0.216
Објекат Ц	200	0.257

Уколико се примени први поменути принцип спровођења оперативних ограничења, који је у овом раду назван принцип пропорционалног смањења, да би се преоптерећење у потпуности отклонило, тј. да би се оптерећење далековода свело на тачно 100%, било би потребно редуковати производњу наведена три објекта на вредности које су приказане у следећој табели.

Табела 3: Потребно смањење снаге производње за први принцип

<i>Назив објекта</i>	<i>Одобрена снага [MW]</i>	<i>Смањење снаге производње [MW]</i>
Објекат А	500	81
Објекат Б	400	38
Објекат Ц	200	46
Укупно	1100	165

Из претходне табеле можемо видети да је применом овог принципа укупно потребно смањити производњу производних објекта за 165 MW како бисмо отклонили преоптерећење.

Уколико бисмо применили други принцип, принцип минимизације ограничене енергије, ограничење би се применило само на објекат А јер има највећи утицај на преоптерећење. Смањења снаге производње производних објекта за овај случај су приказана у табели 4.

Табела 4: Потребно смањење снаге производње за други принцип

<i>Назив објекта</i>	<i>Одобрена снага [MW]</i>	<i>Смањење снаге производње [MW]</i>
Објекат А	500	125
Објекат Б	400	0
Објекат Ц	200	0
Укупно	1100	125

Као што се може видети из табеле 4, у овом случају укупно смањење снаге износи 125 MW, што је за трећину мање смањење снаге него применом принципа број 1. Са друге стране, као што је већ речено, овај принцип није правичан и ограничење је спроведено само на једном објекту јер он има највећи утицај. У систему са вертикално интегрисаним националним електропривредним предузећем, овај принцип би био најисправнији, али у систему у ком постоји тржиште и производња електричне енергије је комерцијална делатност, овај принцип је проблематичан.

4 ДЕФИНИСАЊЕ НОВОГ ПРИНЦИПА ПРИМЕНЕ – ПРИНЦИП КОМПЕНЗАЦИЈЕ

Анализирајући два претходно обрађена принципа јасно је да оба имају своје недостатке и да примена било ког од ова два принципа представља неку врсту компромиса. Јасно је да са чисто техничког аспекта и са економског аспекта на нивоу друштва, други принцип, тј. принцип минимизације, има предност у односу на први, али принципи слободног тржишта у електроенергетици онемогућавају примену овог принципа. С обзиром на чињеницу да тржиште условљава решавање овог проблема на неоптималан начин, прикладно је искористити управо тржишне механизме за дефинисање оптималног решења примене оперативних ограничења. Како би се дошло до одговора, потребно је пре свега поставити питање шта је циљ. Циљ је да се ограничење спроведу на начин да се искористе предности оба принципа али без њихових недостатака. Конкретно, потребно је да смањење снаге на објектима буде тачно једнако минимално потребном али и да буде поштено према свим учесницима, тј. да сви учесници сnose пропорционалан трошак њиховом утицају. Како би се ово остварило јасно је да је неопходно да се ограничење спроведе на објекту са највећим утицајем, као у случају примене принципа под бројем 2. Да би се избегла неравномерна расподела трошкова између учесника, идеја овог рада је да учесници са мањим утицајем (у конкретном случају објекти Б и Ц) финансијски компензују трошак учеснику са највећим утицајем (у конкретном случају – објекту А) пропорционално њиховом утицају на преоптерећење. Овим се задовољавају сви потребни критеријуми оптималне примене оперативних ограничења. Практично, утицај објекта Б и Ц се посредно елиминише кроз смањење снаге на објекту А, може се рећи да објекат А спроводи ограничење њихове производње на свом објекту јер је утицај већи, и то смањење ће му бити надокнађено финансијски. У нашем конкретном случају је потребно елиминисати 57 MW са далековода за шта је потребно ограничити производњу објекта А за 125 MW, а објекти Б и Ц ће власнику објекта А исплатити накнаду у износу који одговара 23 % и 28% његовог трошка, респективно, што је израчунато нормализацијом утицаја који су приказани у Табели 2.

5 ЗАКЉУЧАК

Након спроведених анализа у овом раду, јасно је да је могуће дефинисати начин примене оперативних ограничења тако да се испуне сви критеријуми оптималне примене како по систем тако и по учеснике, при томе изегавајући недостатке описаних принципа. Кроз принцип компензације се остварује и минимално смањење снаге у систему за потребе отклањања преоптерећења и равномерна расподела трошкова између учесника чији су објекти предмет примене оперативних ограничења. Принцип изложен у овом раду представља само основни концепт који је потребно даље разрадити. Сама примена зависи од великог броја фактора, рецимо да ли се ограничење спроводи унапред или унутар дана. Уколико је унапред, постоји „изгубљена добит“ и она представља трошак који је потребно компензовати, а уколико је унутар дана, уговорене трансакције остају и реализују се, али постоји трошак дебаланса. Поред тога, у случају спровођења ограничења унапред, поред утицаја објеката, фактор у оптимизацији ће свакако бити и уговорене цене по којима објекти продају своју енергију, па би у том случају на пример имало смисла тражити минимизацију производа потребног смањења снаге [MW] и цене [MWh]. Додатно, као што је и поменуто у раду, за различите испаде у систему и утицају објеката ће се мењати, а у случају спровођења ограничења унапред биће неопходно уважити све потенцијалне испаде и дефинисати алгоритам примене за различите испаде, и то посебно за примену унапред и унутар дана. Из свега овога је јасно да разрада овог концепта до нивоа методологије која се може применити представља озбиљан посао и дефинитивно превазилази обиме овог рада.

6 ЛИТЕРАТУРА

[1] Закон о енергетици

[2] Правила о раду преносног система