

Прилаз одрживом развоју повезујући обновљиве изворе енергије, складиштење енергије и еко-геолошки опоравак

Linking renewable energy sources, energy storage and geo-ecology recovery to approach sustainability

Марија С. ТОДОРОВИЋ, гостујући професор на Факултету за енергетику и животну средину,
Southeast University Nanjing, Кина, CEO vea-invi.ltd, Београд

Кључне речи:
обновљиви извори
енергије (ОИЕ),
прекидност ОИЕ,
складиштење
енергије, заштовени
рудници, одрживост,
гео-еколошки
опоравак

У циљу прилаза одрживом развоју и заокрепа са пута неоправности, осим непрекидног истраживања и развоја технологија ОИЕ (обновљивих извора енергије), неопходно је наћи иновативне начине универзалних шема, карактеристичних величина, индикатора и критеријума меродавних за одрживо коришћење Земљиних ресурса, заштити животне средине и/или њен гео-еколошки опоравак. Прекидна доступност и променљив квалитет већине ОИЕ захтевају складиштење енергије. За коришћење ОИЕ великих размера потребни су велики системи за складиштење енергије као и велики складишне запремине. Широм света, многи напуштени рудници (уља или минерала) нуде велике складишне просторе готово спремно за употребу за директно складиштење енергије. Рад представља прелег одговарајућих технологија и осврћ посебно на примере Србије и Румуније.

Key words:
renewable energy
sources (RES), RES
interruptibility, energy
storage, abandoned
mines sustainability,
geo-ecological
recovery

With an aim to find a way to approach sustainability, in addition to the uninterrupted R&D of the RES (Renewable Energy Sources) technologies it is necessary to find innovative ways of universal schemes, quantities, indicators and criteria relevant for the sustainable Earth resources utilization, environment protection and/or already damaged environment recovery. Interruptible availability and variable quality of most types of the RES requests energy storage. Large-scale RES utilization needs large-scale storage systems and large storage volumes. Worldwide, many abandoned mines (of coal or minerals) offer large storage volumes almost ready-made to be used directly for energy storage. Related technologies and a few case studies commented in Serbia and Romania.

1. Увод

Како се извори фосилне енергије приближавају исцрпљењу, глобално загревање расте, и све више катастрофалних временских екстрема се дешава широм света, и све је више упозорења да су ризици за преживљавање човечанства на Земљи такође у порасту и да Земља/људски род као целина постаје све комплекснији систем /1/. У настојању да се пронађе начин за прелазак са постојеће једносмерне неповратности ка одрживости, осим неометаног истраживања и развоја у циљу даљег напретка технологија ОИЕ (обновљивих извора енергије), неопходно је наћи иновативне путеве универзалних шема, меродавних величина, индикатора и критеријума важних за одрживо коришћење Земљиних ресурса, заштиту животне средине, и/или опоравак већ нарушене животне средине како би човечанство постало резилентно и одрживо.

Обновљиви извори енергије (ОИЕ), нарочито енергија сунца и ветра, имају значајан потенцијал да замене фосилна горива и смање емисије CO₂ и других гасова са ефектом стаклене баште у свим областима економије и друштва и да притом потребе за топлотном и електричном енергијом буду задовољене. Међутим интензитети снаге енергије сунца и ветра су у великој мери променљиви и прекидни, те шира употреба и интеграција већих количина енергије из ових извора и њена дистрибуција и употреба у енергетским системима је још увек прилично далеко од процењених потенцијала, предвиђања и очекивања. Отуда постоји кључна

потреба за проналажењем поузданих начина за повећање поузданости ових система.

У студији NREL-а (Oak Ridge) /2/ је испитан утицај складиштења енергије на примену енергије сунца и ветра великих размера у електричној мрежи. Обновљиви извори енергије, као што су сунчева енергија и енергија ветра, имају огроман потенцијал да смање зависност од фосилних горива и емисије гасова са ефектом стаклене баште у сектору електричне енергије. Због њихове прекидности и променљиве природе интензитета расположиве снаге све је већи изазов за употребу складиштења енергије као основне компоненте енергетских система који би требало да користе обновљиве ресурсе (ОР) великих размера. Потребно је пронаћи приступ који може да потврди одржавање потребне поузданости система, укључујући неопходне технологије и измене у радним рутинама, као и предности у односу на конкурентност трошкова које одабране технологије доносе.

Студија /2/ представља резултате анализе потенцијалне улоге неколико форми расположивих технологија управљања енергетским системом, укључујући складиштење енергије у електроенергетској мрежи посебно у односу на утицај коришћења енергије ветра и сунчеве енергије великих размера. Осим високоенергетских батерија, ова студија обухвата и складишта воде са пумпама (Pump Hydro Storage - PHS), као и складишта енергије са компримованим ваздухом (Compressed Air Energy Storage - CAES) и складишта топлотне енергије (Thermal Energy Storage - TES).

2. Пумпна хидро, с компринованим ваздухом и складишта топлотне енергије

Пумпна Хидро Складишна (ПХС) технологија складишта воде са пумпама је једина технологија за складиштење енергије која се широм света примењује на нивоу GW /2/. ПХС користи конвенционалне пумпе и турбине и захтева површину земље и количину воде за два резервоара (горњи и доњи). ПХС системи могу да постигну просечну ефикасност изнад 75%. Прописи којима се регулише заштита животне средине могу да ограниче велике надземне ПХС системе. Међутим, студија /4/ укључује и одличну еколошку алтернативу за конфигурације са мањим еколошким утицајем: природне или вештачке подземне формације за доњи резервоар. Подземне хидроелектране са складиштима са пумпама које користе воду из напуштених рудника угља је тема објављена у /21/.

Астуријски централни угљени басен у северној Шпанији је деценијама експлоатисана рударска област чија се мрежа тунела шири тако да укључује више од 30 рудника, према /21/. Делови њене инфраструктуре ће ускоро постати доступни за алтернативне употребе пошто ће у Шпанији већина подземних рудника угља престати са радом 2018. године (EU 2010/787/UE). Мрежа тунела у затвореним рудницима је предложена као могуће доње складиште за развој подземног пројекта складишта са пумпама чија инфраструктура може да се процени на око 200.000 m³ на дубинама које се крећу од 300 - 600 m.

Технологија складишта енергије са компринованим ваздухом (СЕКВ) је заснована на конвенционалној технологији гасних турбина и користи експанзиону потенцијалну енергију компримованог ваздуха. Енергија се складишти компримовањем ваздуха у херметички затвореном простору – подземној пећини-складишту. Као што је описано у студији /2/, ради екстракције ускладиштене енергије, компримовани ваздух се извлачи из складишног суда, загрева, а затим експандира помоћу турбина високог притиска које задржавају нешто од енергије компримованог ваздуха, а затим меша са горивом и сагорева, а потом са издувним ваздухом се одводи путем гасне турбине ниског притиска повезане са генератором електричне енергије.

Главни недостаци СЕКВ-а су његова зависност од фосилних горива и што је за њега потребна подземна пећина (што може да се превазиђе уколико је доступан неки исцрпљен рудник који је затворен и више не ради). Препоручене су и алтернативне конфигурације за СЕКВ: употреба извесних надземних судова, новопроектване турбине којима се смањује употреба фосилних горива, или повраћај топлоте – употреба топлоте компресије и искључење потребе за употребом фосилних горива.



Складиште топлотне енергије (СТЕ) складишти топлотну енергију загревањем или хлађењем складишног медија тако да, када је то потребно, ускладиштена енергија може да се користи за примену у грејању или хлађењу као и за производњу електричне енергије (исцрпан преглед је наведен у /3/). Системи за СТЕ, нарочито они који су повезани са топлотним пумпама и они који се користе у подземним складиштима топлотне енергије (СТЕ) се много користе у зградама, квартовима, у индустријским процесима и за даљинско грејање и хлађење градова. Техничке шеме и принципи метода рада СТЕ, њихово пројектовање и изградња, као и димнзионисање капацитета и анализа динамике функционисања СТЕ су познате како у технологијама и системима за складиштење осетљиве /15/, тако и системима латентне топлоте фазно променљивих материјала (ФПМ). Ови системи се користе за грејање/хлађење зграда и грејање санитарне воде без или са топлотним пумпама уз коришћење сунчеве енергије претварањем у топлотну и/или фотонапонску енергију, или различите врсте других система са концентрацијом сунчевог зрачења (соларне електране), као и за термално-хемијска складишта.

Овај кратки преглед ПХС, СЕКВ и СТЕ технологија система за складиштење енергије и специфичних конфигурација које одговарају посебним потребама може да помогне да се сагледају потенцијалне предности енергетско/еколошко/технолошких спрега технологија којима се комбинује употреба доступних подземних простора затворених рудника угља у циљу будуће рехабилитације животне средине у синергији са ширењем употребе, развојем и растом коришћења ОИЕ.

Природно, овај закључак се односи на регионе који су богати фосилним и минералним ресурсима који имају дугу историју интензивног и екстензивног рударства; као закључак уводног дела, он захтева нашу посебну пажњу и може представљати једну од кључних тема у истраживању и развоју као и комерцијализацији у циљу постизања овог задатка – што овај рад чини важним не само за Србију и на пример Румунију, већ, у великој мери, и глобално.

3. Исцрпљење ресурса, затварање рудника и потреба за енергетском рехабилитацијом

Затварање рудника у Румунију у којој рударство датира од 100. године пре н.е. (/5/,/6/) се углавном односи на руднике у којима су рудни ресурси током времена исцрпљени и који су зато непрофитабилни за рад. Као најбоља опција за државу утврђена је њихова рехабилитација и затварање у складу са одговорностима утврђеним законима Румуније, уз утврђивање одрживости пројекта у односу на све ин-



Сл. 1. Затворени рудници соли претворени у туристичке центре Турда у Румунији и Величка у Пољској

тересне групе. На основу овог програма планирано је да се у Румунији током 10 година затвори више од 450 рудника, уз обезбеђење средстава у висини од око US \$400 милиона. Примери затворених рудника еко-геолошки опорављених и претворених у туристичке центре је дат на слици 1. у Румунији и у Пољској

Студијским задатком /7/ је обухваћено мапирање и успостављање GIS база података о налазиштима минерала и рударским областима у Србији. Оно је обављено у оквиру заједничког пројекта помоћи владе Француске и Министарства рударства и енергетике Републике Србије. Резултат студије су базе података о налазиштима минерала и рударским областима конструисане приступом Microsoft програму.

База података „налазишта руда“ /7/ садржи 199 регистара који, између осталог, укључују: геолошке податке (типологија, морфологија, старост и тип минерализације и стене у којој се налази, минералогски састав руде и јаловине и хидротермалне промене); економске податке (статус рудника, врста градње, ранија производња, статус ресурса и резерви); податке који се односе на опасности по животну средину које налазиште може да носи; списак налазишта која се налазе у оквиру области; главне примарне и секундарне рудне минерале (роба или материје) који су присутни, од којих је сваки наведен уз оцену тежине садржаног метала у циљу омогућавања оцене економског значаја области; коментар о потенцијалним испуштањима материја у животну средину и штети у вези са постојећим рударским активностима и индустријом прераде минерала; налазишта минерала и рударске области у Србији са обједињеном мапом и GIS базама података укључујући плиоценске басен Косово и Матохију у Србији који садржи највеће резерве лигнита у Европи које могу да се експлоатишу као и руднике бабра у Тимочној области и руднике олова и цинка у Копаоничкој области у Србији. Штавише, у Србији ова област изгледа да није довољно истражена у односу на злато, посебно имајући у виду доступност савремених истражних алата и поступака примерених геолошким и морфолошким карактеристикама земље.

Студија /8/ је урађена као заједничко румунско-српско истраживање које обрађује на важне теме, а у скорје време треба да буде и ревидирана. У њој се анализира утицај рударских активности на одрживо управљање земљиштем у рударским областима Србије и Румуније са фокусом на највеће изазове у вези са питањима законодавства, нарочито његовим значајем за нарушавање земљишта, управљање отпадом из рудника и рекултивацију земљишта, као и у односу на приступ земљишту за сврхе експлоатације руда, пренос накнада за коришћење рудника и шира партнерства (рудничка индустрија, државна регулатива, грађанска друштва за одрживо рударство, итд.).

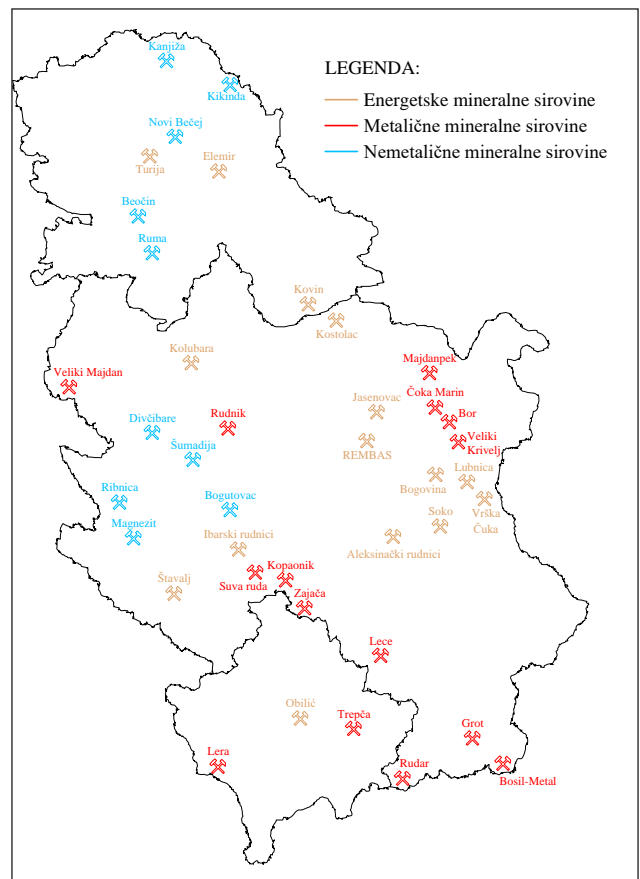
Иако су обе владе вољне да рударству обезбеде одговарајућу улогу у јачању националних привреда, оне се суочавају са бројним ограничењима. Закључна изјава из Студије из /8/ је да „Одрживе праксе у рударству и доследно спровођење приступа планираног затварања рудника у оквиру унапређеног законодавства и у сарадњи са интересним групама на свим нивоима стварају услове за развој креативног, профитабилног, еколошког и социјално одговорног управљања и поновне употребе рудничког земљишта“.

Ови документи (румунски и српски) као и многи други могу да представљају основу за оснивање, испитивање, развој, унапређење и помагање реструктурирања и развоја НОВОГ програма који интегрише ОИЕ у сектор енергетике/рударства/екологије како би се обезбедио појачан мултидимензионални приступ одрживом развоју.

4. Потенцијал напуштених рудника за складиштење енергије и потреба за рекултивацијом земљишта

Рударско-енергетско-индустријски систем басена Косово (/9/, /13/) може да послужи као пример случаја за најважније аспекте структуралних промена великог басена лигнита проузрокованих рудничком експлоатацијом: утрошак великих површина земљишта, пропадање еко-система; миграције становништва и промене у обрасцу насеља/села; потенцијално висок ниво загађења животне средине (ваздуха, воде, земље и живих бића) из индустријског комплекса (/9/, /13/). Развој рударско-енергетско-индустријског система у косовском басену је убрзао друштвено-економске трансформације (урбанизација, смањење пољопривредног земљишта) и проузроковао промене у погледу локација и функција градских центара /13/. Коначно, површинска експлоатација руда и изградња и функционисање система топлотне енергије и других система за прераду угља представљају главну структуралну промену која захтева јединствене и специфичне приступе планирању у великим басенима лигнита.

Одрживо рударство и доследно спровођење приступа планског затварања рудника захтевају развој узајамног партнерства рударских компанија, просторних планера, инвеститора, установа и локалних заједница у циљу утврђивања креативног, профитабилног, еколошког и социјално одговорног управљања и поновне употребе рудничког земљишта /8/.



Сл.2. Рудници енергетских, неметалних и металних минерала у Србији

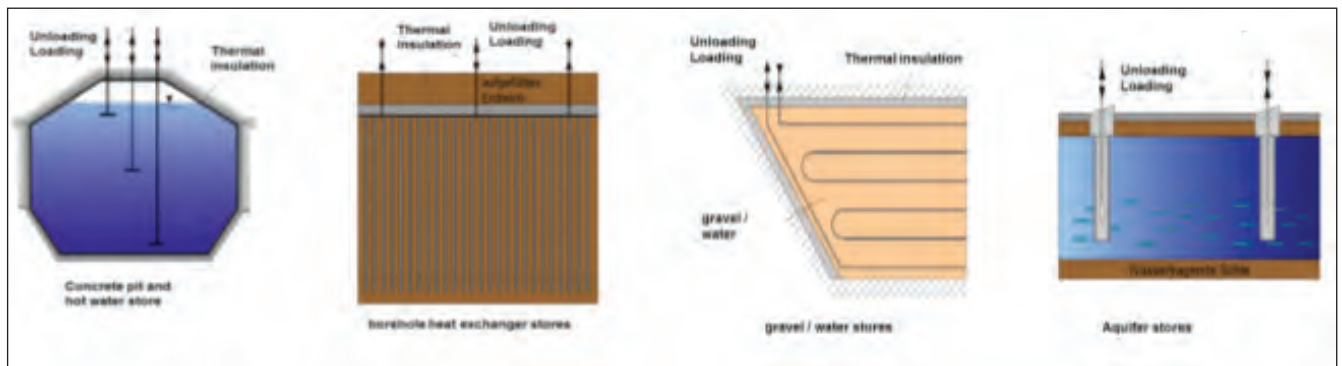
Транснационална и прекогранична сарадња земаља у Сливу реке Дунав је изузетно важна /8/, имајући у виду транснационалне ризике од великих еколошких „врућих тачака“ од рудника у обе земље који захтевају рехабилитацију жи-

вотне средине (несрећа са изливањем цијанида у Тису из рудника злата у северној Румунији 2000. године) и које остављају за собом дуготрајне последице по екосистеме у Румунији, Мађарској и Србији /8/.

Сл.2. приказује мапу Србије са ознакама главних рудника енергетских сировина, металних и неметалних минералних ресурса (проф. др. С. Вујић, Рударски институт Београд).

Напуштени рудници (где су рударске активности обављане, али где није дошло до прихватљивог затварања/рекултивације или су они непотпуно обављени) доприносе наслеђу пропадања животне средине од историјског рударства пре доношења прописа о затварању рудника. У Канади су законодавци иницирали различите програме за оцену и санирање напуштених рудника под њиховом надлежношћу.

Студија /12/ представља развој WebGIS апликације намењене пружању безбедних и поузданих података који су потребни за рекултивацију напуштених рудника у националним парковима и другим заштићеним областима у Војводини у складу са постојећим националним прописима, на основу одговарајуће централне базе података која по први пут обједињује све доступне податке о напуштеним рудницима у Војводини, и може да служи као модел за сличне базе података на територији Републике Србије. Катастар напуштених рудника на територији АП Војводине која је представљена 2015. године даје информације о статусу 217 напуштених рудника. То је први пројекат ове врсте који је спроведен у Србији.



Сл.3. Концепти за подземно складиштење топлотне енергије /2/

Рад под насловом „Складиштење топлоте у дубоком инфраструктурама рудника чврстог угља“ (“Heat-Storage in Deep Hard Coal Mining Infrastructures”) /19/ приказује немачки пројекат намењен развоју технологија за складиштење топлоте у подземној инфраструктури рудника чврстог угља. До краја 2018. године биће затворен дубоки рудник чврстог угља у Немачкој - Prosper Haniel – у Рурској области као последњи од више од сто већ затворених рудника угља у индустријском срцу Немачке у коме, у области која има 50 градова, живи више од шест милиона становника /17/.

Због великих димензија рудника од по више десетина квадратних километара по руднику, дубинама до 1,500m и при температури стена до 50°C, рудници имају потенцијал да постану огроман геотермални резервоар за сезонско складиштење топлоте. Рад представља фини преглед детаља пројекта: истраживање технологија поновне употребе подземних рудника у топлотне сврхе (отворени и затворени круг система екстракције геотермалне енергије у рудницима угља), **врсте подземних СТЕ (ПСТЕ), технички критеријуми за реализацију сезонске топлоте у руднику, утврђивање и притупачност одговарајуће рудничке инфраструктуре, геометрија и оријентација складишта, системи отвореног и затвореног кола, одговарајући скла-**

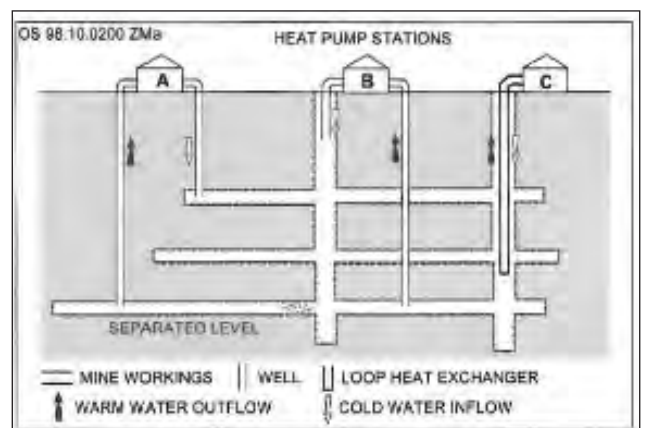
дишни медиј, безбедност и стабилност попречног пресека, заптивеност система за складиштење, техничко испитивање складишта топлоте и материјала система за измену, итд.

Канадско искуство у коришћењу напуштених рудника за сврхе СТЕ које је било пуно изазова започело је 1989. године /18/, када је Град Спрингхил основао индустријски парк и понудио компанијама да се прикључе на довод геотермалне енергије из локалних напуштених рудника угља. Процењује се да рудници носе енергетски потенцијал који превазилази 67.000 MWh годишње, а једна студија некадашњих рудника злата у Тиминсу је открила да ови рудници представљају ресурс са енергетским потенцијалом од најмање 28.000 MWh/год. /18/. Једноставна методологија за одређивање потенцијала геотермалне енергије у напуштеним рудницима угља је наведена у /20/.

Zbigniew Malolepszy и група аутора у радовима (/11/, /14/, /22/) су приказали искуства Пољске са: геотермалним ресурсима некадашњег рудника угља Nowa Ruda, вештачким геотермалним резервоарима ниске температуре у напуштеним подземним рудницима и моделовање геотермалних ресурса у оквиру напуштених рудника угља.

Студија /10/ износи преглед фактора који утичу на изводљивост геотермалних система у рудницима и идентификује могуће конфигурације геотермалних система погодних за фазе истраживања, рада и затварања рудника. У њој се такође разматрају геотермалне могућности које се повезују са напуштеним и старим рудницима, као и потенцијалне

категорије резервоара топлоте повезаних са рудницима: природна основа; затрпани ископи; руднички отпад; пумпање ради одводњавања; и поплављени ископи/језера у површинским ископима. Поплављени рудник угља у Горњој Шлезији чини резервоар геотермалне воде ниске енталпије



Сл. 4. Три поједностављене шеме за екстракцију геотермалне енергије из напуштеног рудника угља /14/

је температуре од 20-50°C, у зависности од дубине. Вода се црпи из рудника у циљу екстракције и коришћења топлоте. По одвођењу топлоте, вода се због садржаја минерала реинјектира (поновно убризгава) у резервоар. Други метод укључује издвајање топлотне енергије помоћу система круга размењивача топлоте инсталираних у самом руднику /14/.

5. Пећинско складиште и додатне грађевинске појединости о коришћењу напуштених рудника

До сада су веома мало коришћена складишта енергије у великим пећинама у стенама погодним за складиштење воде на вишим температурама (40 до 90°C). Изградња оваквих пећина је релативно скупа уколико није могуће претворити већ постојеће пећине (нпр. оне које се користе као складишта уља). Главни проблем су топлотни губици проузроковани кружењем топле воде у пукотинама које се налазе изван пећине за складиштење.

По правилу, напуштени рудници се пуне водом која може да се користи за складиштење топлотне енергије. За разлику од складишта у пећинама, геометрија није увек оптимизована тако да се добије мала површина, пошто се рудници углавном карактеришу као широко разгранати системи тунела/галерија. Тако рудници највише одговарају за потребе СТЕ температуре сличне температури окружења испод површине (примери потичу из Канаде). СТЕ више температуре могу да се граде у дубљим рудницима са вишим температурама стена. Такође је потребно посветити пажњу скоро природним подземним системима за складиштење топлотне енергије који представљају хибридни облик између система ПСТЕ и вештачки изграђеног складишта.

Основни грађевински принцип је важан за овакве видове складишта топлотне енергије, пошто се подземље не користи директно за складиштење топлоте; уместо тога, складишни медиј се састоји од мешавине шљунка или земље и воде. Системи за складиштење могу да се састоје од површинског копа који је заптивен одговарајућим средством и напуњен складишним медијем.

Предност је то што, у поређењу са системом за складиштење на основу чисте воде, није потребна носећа кровна конструкција, што снижава трошкове градње. По правилу, складишта су топлотно изолована бочно и на врху, понекад такође и на дну, у зависности од запремине и дубине складишта. Изолациони материјал мора да поседује одговарајућу чврстоћу на притисак за ову примену.

Складиште се генерално пуни топлотном енергијом која се из њега поново извучи индиректно помоћу уграђених кружних петљи од пластичних цеви. Зато је могуће да се у мешавини флуида за пренос топлоте користи антифриз који омогућава рад на температурама испод 0 ° C. Осим складиштења топлоте на високим температурама, овим се такође омогућава рад система у комбинованом режиму топлог и хладног складиштења помоћу топлотних пумпи.

6. Уместо закључака – Стари рудници угља могу да постану део зелене енергије будућности

Амбициозни циљ немачке владе је да трансформише свој енергетски пејзаж током следећих неколико деценија: да до 2025. године 35-40% електричне енергије долази из ОИЕ; до 2035. овај циљ износи 55-60%, а до 2050. најмање 80% електричне енергије треба да долази из ОИЕ, уз укупно смањење потрошње енергије у износу од 25% (у односу на 2008.). Да би се ови циљеви остварили, неопходна су огромна улагања у генерисање енергије коришћењем

енергије сунца и ветра, као и корак даље у употреби хидроенергије уз унапређење укупне ефикасности електрана на природни гас. Рани знаци су охрабрујући, нарочито у смислу мешавина ових врста енергије (2015. године ОИЕ су допринели 32,5% укупној потреби за електричном енергијом у Немачкој. У то време је било периода у Немачкој са толико производње електричне енергије да је иста готово претстављала за мрежу преоптерећење, што је резултирало довода до тога да су цене електричне енергије током неколико часова биле негативне, што значи да је комерцијалним потрошачима плаћено да троше електричну енергију.

Ови догађаји у Немачкој додатно истичу потребу и значај складиштења енергије за постизање и одржавање равнотеже у мрежи електродистрибуције у системима са комбинованом производњом централне производње и дистрибуиране производње електричне енергије коришћењем ОИЕ променљивих снага и прекидног карактера /16/.

Да бисе постигла равнотежа између понуде и потражње и да би дистрибутивни систем остао стабилан, када енергија из технологија ОИЕ уђе у мрежу, једина реална могућност је да се енергија складишти када се произведе, и да се шаље назад у мрежу када је потребна. А то је складиштење енергије у ком стари рудници угља могу да имају главну улогу.

У виду завршних коментара, треба нагласити следеће: пошто се фосилни извори енергије ближе исцрпљењу и како широм света долази до све катастрофалнијих екстремних временских услова, све је више упозорења да су и ризици по опстанак човечанства на Земљи такође у порасту. Земља/човечанство у целини постаје систем сложенији него икад. У настојањима да се направи заокрет са тренутно једносмерне неповратности ка одрживости, осим неометаног истраживања и развоја технологија намењених унапређењу ОИЕ (обновљивих извора енергије), такође је неопходно наћи иновативне начине за универзалне шеме, количине, показатеље и критеријуме релевантне за одрживо коришћење Земљиних ресурса, заштиту животне средине и/или обнављање већ нарушене животне средине како би се постигла отпорност и одрживост човечанства.

Због прекидности и променљивог интензитета ОИЕ складиштење енергије је од кључног значаја за коришћења ОИЕ великих размера, а системи за складиштење великих размера захтевају складишта велике запремине. *Широм света, мноштво напуштених рудника (уља или минерала) нуди велике складишне капацитете који су готово спреми за ујоштуру директно као складишта енергије.*

Референце

- [1] Jeong Tai Kim, Marija S. Todorovic, Towards Sustainability Index For Healthy Buildings - Via Intrinsic Thermodynamics, Green Accounting And Harmony, *Energy and Buildings* 62 (2013) 627–637
- [2] Denholm, P., Ela, E., Kirby, B., and Milligan, M. Role of Energy Storage with Renewable Electricity Generation. United States: *Technical Report NREL/TP-6A2-47187* January 2010, N. p., 2010. Web. doi:10.2172/972169
- [3] Ioan Sarbu and Calin Sebarchievici, A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage, *Sustainability* 2018, 10, 191; doi:10.3390/su10010191
- [4] Estanislao Pujades, Philippe Orban, Sarah Bodeux, Pierre Archambeau, Sébastien Erpicum, Alain Dassargues, Underground pumped storage hydropower plants using open pit mines: How do groundwater exchanges influence the efficiency?, *Applied Energy* 190 (2017) 135–146
- [5] Bianca Cobârzan, Environmental Rehabilitation Of Closed Mines. A Case Study On Romania, *Transylvanian Review of Administrative Sciences*, 22E/2008 pp. 34-43

- [6] Florea Gabrian, C. and Turdean, N., Closing The Mines In Romania - A New Challenge, www.infomine.com/library/publications/docs/Florea.pdf
- [7] J. Monthel, P. Vadala, J.M. Leistel, F. Cottard with the collaboration of M. Ilic, A. Strumberger, R. Tosovic, A. Stepanovic, Mineral Deposits And Mining Districts Of Serbia Compilation Map And GIS Databases, *BRGM/RC-51448-FR*, 67 p., 1 CD-rom, 2002
- [8] Vesna Popović, Jelena Živanović Miljković, Jonel Subic, Andrei Jean-Vasile, Nedelcu Adrian and Eugen Nicolăescu, Sustainable Land Management in Mining Areas in Serbia and Romania, *Sustainability* 7, 11857-11877; doi:10.3390/su70911857, 2015
- [9] Ivica Ristović, Milan Stojaković And Milivoj Vulić, Reclamation And Sustainable Development Of Coal Mining In Kolubara Basin, <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0354-9836/2010%20OnLine-First/0354-98361000002R.pdf>
- [10] Paul L. Younger, Can You Take The Heat? – Geothermal Energy In Mining, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology · June 2014
- [11] Zbigniew Malolepszy, Geothermal resources of former coal mine Nowa Ruda, Poland, www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/EGC/szeged/P-9-04.pdf
- [12] Ranka Stanković, Nikola Vulović, Nikola Lilić, Ivan Obradović, Radule Tošović, Milica Pešić-Georgiadis, WebGIS Cadastre of Abandoned Mines in Autonomous Province of Vojvodina, *Mining And Environmental Protection*, 2015
- [13] Nenad Spasić, Miodrag Vujošević, Omiljena Dželebdžić, Sustainability in the Use of Natural Resources and Spatial Development - Monograph, *Institute of Architecture and Urban & Spatial Planning of Serbia*, Belgrade, 2007.
- [14] Zbigniew Malolepszy, Modelling Of Geothermal Resources Within Abandoned Coal Mines, Upper Silesia, Poland, The United Nations University, Reports 1998, Number 8
- [15] Marko Ban, Goran Krajačić, Marino Grozdek, Tonko Curko, Neven Duić, The Role Of Cool Thermal Energy Storage (CTES) In The Integration Of Renewable Energy Sources (RES) And Peak Load Reduction, *Energy* 48 (2012) 108e117
- [16] Jurgen Reinert, CTO and COO SMA Solar Technology AG & Jochen Schneider, EVP Energy Services SMA Solar Technology AG, Digital Solar & Storage - A Future Energy System, *EES International The Electric Energy Storage*, 10/06/2017.
- [17] Jan Martin Nordbotten, Analytical Solutions For Aquifer Thermal Energy Storage, *AGU, Water Resources Research* 10.1002/2016WR019524
- [18] F.A. Michel, Utilization Of Abandoned Mine Workings For Thermal Energy Storage In Canada, https://talon.stockton.edu/eyos/energy_studies/content/docs/effstock09/Session_11_1_Case%20studies_Overviews/105.pdf
- [19] Rolf Bracke, Gregor Bussmann, Heat-Storage in Deep Hard Coal Mining Infrastructures, Proceedings World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 April 2015
- [20] Rafael Rodríguez Díez, María B. Díaz-Aguado, Estimating Limits for the Geothermal Energy Potential of Abandoned Underground Coal Mines: A Simple Methodology, *Energies* 2014, 7, 4241-4260; doi:10.3390/en7074241
- [21] Javier Menéndez, Jorge Loredo, J. Manuel Fernandez, Mónica Galdo, Underground Pumped-Storage Hydro Power Plants with Mine Water in Abandoned Coal Mines, *Mine Water and Circular Economy IMWA*, 2017

kg