

**Magazynowanie energii elektrycznej a paradygmat elektroenergetyki**  
Electricity storing and paradigm of the electrical power engineering

**Tomasz Kowalak**

Urząd Regulacji Energetyki

**Abstract**

The starting point of this article is a question of conviction about the lack of technical and economic feasibility of electricity storing . Currently observed technological development allows us to expect that in the next few years, this barrier will be overpassed. The objective and subjective conditions for this process were presented. The implementation of the program of development of electricity storage facilities located on the side of end users and networks was also discussed.

**Key words** – electricity storing, technological development, objective and subjective conditions, development of electricity storage facilities

**Wprowadzenie**

To, że energia elektryczna jest bardziej dobrem cywilizacyjnym niż prostym towarem rynkowym wydaje się być tezą niezaprzeczną. W dobie intensywnego rozwoju Internetu Rzeczy oraz przeciwdziałania wykluczeniu cyfrowemu, niezakłócony dostęp do energii elektrycznej jest tak samo nieodzowny jak dostęp do powietrza. W tej kwestii sporu nie ma, pojawia się on natomiast z całą ostrością w dyskusji nad sposobami zagwarantowania dostępu do energii elektrycznej w najbliższej i dalszej przyszłości. Wymownym przejawem tego sporu jest odrzucenie przez Parlament Europejski raportu nt. bezpieczeństwa energetycznego Unii [1].

Dyskusja ta toczy się jednak z pominięciem kilku kluczowych zagadnień. Są to w szczególności:

1. Paradygmat systemu elektroenergetycznego. Zachodzi pytanie, czy jest wciąż aktualny, a jeżeli nawet tak, to jak długo jeszcze będzie obowiązywał? Tak więc, czy nadal jest to paradygmat, czy dotychczas niepodważalne aksjomaty doczekały się dyskusji i potrzeby rewizji?
2. Rozproszenie zasobów a bezpieczeństwo energetyczne w każdym jego wymiarze.
3. Kluczowy dylemat, będący konsekwencją rozstrzygnięcia poprzednich: jaki powinien być kształt i zakres inwestycji. Wiemy, że okres użytkowania zarówno bloków energetycznych jak i elementów infrastruktury sieciowej to co najmniej 40-50 lat. Wiele wskazuje, że przemiany technologiczne znacznie wcześniej wymuszą zmianę modelu funkcjonowania rynku energii. Oznacza to, że możliwość zamortyzowania i wynagrodzenia podejmowanych dziś inwestycji za 30, 20 czy nawet 15 lat już nie musi być tak oczywista jak obecnie<sup>1</sup>.

### 1. Paradygmat systemu elektroenergetycznego

Fundamentem poglądów głoszonych oficjalnie przez przedstawicieli sektora elektroenergetycznego jest, funkcjonujący od ponad stu lat, paradygmat działania systemu elektroenergetycznego, postrzegany jako bezdyskusyjna i niezmienna prawda absolutna. Jest nim przekonanie o **techniczno-ekonomicznej niemożności magazynowania energii elektrycznej** [2].

Okoliczność ta, dotychczas prawdziwa, jest przyczyną całego łańcucha zależności i konsekwencji, jakie zdeterminowały współczesny kształt sektora elektroenergetycznego. Jednakże pojawienie się zdolności magazynowania energii elektrycznej, bez wnikania w ich technologiczną różnorodność i rozmaity stopień dojrzałości do komercjalizacji (co mogłoby stanowić kanwę odrębnego studium) spowoduje, że praktycznie wszystkie uwarunkowania działania systemu elektroenergetycznego, traktowane obecnie jako oczywiste, stracą swoją aktualność.

---

<sup>1</sup> Znamiennie są decyzje koncernów niemieckich odnośnie spisania w stratę aktywów wytwórczych opartych na węglu, które to koncerny – zapewne – przedstawione poniżej rozumowanie już przeprowadziły na swój użytek i wdrażają wynikające z tego wnioski.

## 1.1. Analiza konsekwencji braku możliwości magazynowania energii elektrycznej

### 1.1.1. Uwarunkowania obiektywne

Brak możliwości magazynowania energii elektrycznej pociąga za sobą konieczność natychmiastowego nadążania z jej generacją za popytem, zmieniającym się dynamicznie i w sposób niekontrolowany. Popyt ten można jedynie prognozować z ograniczoną dokładnością na podstawie dotychczasowego doświadczenia, ew. „moderować” poprzez obszarowe wyłączenia zasilania. Konsekwencją tego jest konieczność „obudowania” dostaw energii elektrycznej „jako takie” złożonym pakietem usług systemowych i rezerw mocy, które warunkują skuteczność tych dostaw. Usługi te świadczone są przez źródła wytwórcze, na warunkach monopolu zdeterminowanego lokalizacją tych źródeł w sieci i ich dostępnością dla operatora zarządzającego całym procesem, wynikającą z ich skali działania (JWCD). To dlatego energia elektryczna jest tak specyficznym towarem w sensie fizycznym.

Konieczność zapewnienia możliwości nadążania procesu wytwarzania energii elektrycznej za dynamicznie zmieniającym się popytem wymusza bezwzględną dyspozycyjność źródeł wytwórczych, co z kolei determinuje celowość zastosowania technologii w pełni sterowalnych<sup>2</sup>, tj. takich które nie są wystawione na kaprysy sił natury, a więc wykorzystujących paliwa kopalne.

Kopalne (nieodnawialne) nośniki energii pierwotnej są drogie w pozyskaniu. Racjonalne więc są działania na rzecz maksymalizowania sprawności procesu przemiany. Ponieważ wiodące technologie wytwarzania energii elektrycznej, niezależnie od wykorzystywanego paliwa, oparte są na obiegu Rankine’a – droga do podnoszenia sprawności wiedzie poprzez zwiększanie parametrów procesu: ciśnienia i zakresu temperatur. To z kolei prowadzi do budowania jednostek coraz większych. Mówi się o ekonomicznym efekcie skali wytwarzania energii elektrycznej, ale jest to optyka pojedynczego źródła wytwórczego a nie całego procesu zaopatrzenia odbiorcy w energię elektryczną.

---

<sup>2</sup> Sterowalność źródeł nie jest tożsama z czasem dostępu; dla przedmiotowego rozważania decydująca jest kwestia możliwości programowania pracy źródeł w odpowiedzi na prognozę zapotrzebowania.

Wzrost jednostkowych mocy zainstalowanych<sup>3</sup> (a w konsekwencji mocy osiągalnych<sup>4</sup> i dyspozycyjnych<sup>5</sup>) powoduje, że coraz większe moce dyspozycyjne muszą być przeznaczone do zapewnienia rezerwy wirującej<sup>6</sup> ze względu na inercję cieplną instalacji wytwórczych, determinującą czas ich przywoływania do pracy ze stanu zimnego.

Budowa instalacji wytwórczych o coraz większych mocach jednostkowych wymusza też stosowną rozbudowę sieci, niezbędnej by moce te rozprzewadzić do odbiorców. Wymusza to również podwyższanie poziomu rezerw wytwórczych z kolejnych powodów: koniecznych dla zapewnienia wypełnienia kryterium N-1<sup>7</sup>, oraz umożliwiających bieżące nadążanie generacji za zmieniającym się popytem.

### 1.1.2. Uwarunkowania subiektywne

Na sposób funkcjonowania sektora elektroenergetycznego, uformowany z przedstawionych powyżej obiektywnych powodów fizycznych, dodatkowy wpływ mają założenia o charakterze subiektywnym. Są one często przyjmowane za pewnik, niejako „podszywający” się pod aksjomat. W szczególności są to:

- wiara w poprawność modelu „miedzianej płyty”<sup>8</sup> jako odwzorowania roli sieci w relacji pomiędzy stroną wytwórczą a odbiorczą, oraz
- uznanie za aksjomat niewrażliwości popytu na energię elektryczną na zmianę jej ceny (kosztu zaopatrzenia w energię elektryczną) – z uwagi na jej niezastępowalność i wyjątkowość na obecnym etapie rozwoju cywilizacyjnego.

Model miedzianej płyty jest atrakcyjny ze względu na jego prostotę (koszt utrzymania sieci ponoszą tylko odbiorcy, a cena usługi dostarczenia energii nie zależy od miejsca przyłączenia odbiorcy do sieci ani jego odległości od źródła energii). Jednakże mo-

---

<sup>3</sup> Moc jednostki wytwórczej możliwa do osiągnięcia zgodnie z projektem.

<sup>4</sup> Moc jednostki wytwórczej możliwa do osiągnięcia w wyniku późniejszych modernizacji (większa od zainstalowanej) lub trwałych ograniczeń względem projektu (mniejsza od zainstalowanej).

<sup>5</sup> Moc jednostki wytwórczej możliwa do osiągnięcia w danej chwili (mniejsza od mocy osiągalnej o chwilowe ubytki, związane np. z ograniczeniem możliwości chłodzenia).

<sup>6</sup> Różnica pomiędzy mocą dyspozycyjną a faktycznym obciążeniem pracującej jednostki wytwórczej.

<sup>7</sup> W uproszczeniu, jest to zasada takiego planowania bieżącej pracy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE) przez operatora systemu przesyłowego, by utrata (np. w wyniku awarii) dowolnego elementu wytwórczego lub sieciowego nie powodowała zdestabilizowania pracy pozostałych elementów i systemu jako całości.

<sup>8</sup> Miedziana płyta – koncepcja „zakładająca, że można energię przesłać dowolnie z jednego miejsca w drugie (w rzeczywistości są ograniczenia sieci przesyłowej i przesył / produkcja w jednym miejscu kosztuje drożej w innym taniej. <<Miedziana płyta>> odstręcza więc od inwestycji w <<trudnych>> obszarach (kosztownych), a węższa bagaż problemów w ręce Operatora Systemu Przesyłowego (musi zapewnić dostawę energii we wszystkie miejsca i wziąć na siebie dodatkowe koszty)” [3].

del ten działa poprawnie pod dwoma warunkami: istniejąca sieć jest dobrze rozwinięta i źródła wytwórcze oraz ośrodki poboru energii są w niej rozmieszczone na tyle równomiernie, że nie pojawiają się ograniczenia sieciowe. W warunkach polskich żaden z tych warunków nie jest spełniony. Argument „wyrównania konkurencji pomiędzy źródłami wytwórczymi w handlu ponad siecią”, jaki przed laty posłużył do wdrożenia tego rozwiązania, jest po prostu fałszywy. Niestety, model ten jest szczególnie atrakcyjny dla wytwórców wielkoskalowych, gdyż zapewnia im „na starcie” nieuprawnioną przewagę rynkową nad źródłami rozproszonymi, m.in. fałszując sygnały rynkowe poprzez zaniżanie ceny energii kosztem opłat sieciowych.

Niezastępowalność energii elektrycznej jest niezaprzeczalnym faktem, ale sztywność cenowa popytu ma inną przyczynę. Trudno bowiem o ujawnienie elastyczności cenowej popytu w warunkach, gdy rozerwana (a co najmniej bardzo rozciągnięta w czasie) jest pętla sprzężenia zwrotnego pomiędzy określonym zachowaniem odbiorcy energii, a informacją o koszcie, jaki odbiorca ten musi ponieść w wyniku swego zachowania. Jednym ze źródeł tego zjawiska są zasady cenotwórstwa przyjęte na rynku energii elektrycznej. Zgodnie z nimi cena zaopatrzenia w energię elektryczną odbiorcy końcowego (klienta) została oderwana od kosztów, zmieniających się zarówno w zależności od czasu (godziny dnia i nocy, dni robocze i wolne od pracy, pory roku, sytuacje szczególne, np. przedawaryjne, w systemie elektroenergetycznym) jak i od miejsca przyłączenia odbiorcy do sieci. Kolejnym – opóźnienie w dostępie do informacji o kosztach do poniesienia, zależnych od ilości pobranej energii, w szczególności w odniesieniu do znacznej części rynku, jaką stanowią odbiorcy rozproszeni. Opóźnienie to jest w ich przypadku w najlepszym razie miesięczne, a w odniesieniu do wielu z nich nawet roczne. Obserwowana sztywność popytu nie jest więc cechą absolutną tylko pozorną.

Takie zdefiniowanie modelu rynku energii elektrycznej oznacza, że konsument tej energii jest skazany nie tylko na ponoszenie skutków monopolu naturalnego ze strony sieci, do której jest przyłączony, ale także skutków monopolu wielkich źródeł wytwórczych (teoretycznie funkcjonujących na rynku konkurencyjnym) w zakresie świadczenia przez nie usług systemowych i rezerw mocy, których koszty przenoszone są do taryf sieciowych.

Budowanie takiego obrazu systemu elektroenergetycznego jako jedynie słusznego, służy konserwacji tego wielowarstwowego monopolu, maskowanego jedynie mało efektywnymi działaniami, których celem jest stworzenie pozorów wdrożenia mechanizmów konkurencji. To dlatego wciąż, jak mantra, wbrew faktom [4], powtarzana jest teza o niemożności magazynowania energii elektrycznej. Co więcej, tak zdefiniowane

założenia pozwalają w sposób przekonujący dowodzić szkodliwości dla systemu źródeł wytwórczych o niestabilnych (niesterowalnych) charakterystykach pracy. Dotyczy to w szczególności źródeł wykorzystujących jako nośnik energii pierwotnej energię wiatru i słońca, z uwagi na wymuszany przez ich niestabilność istotny wzrost zakresu rezerw mocy koniecznych do zapewnienia przez źródła wytwórcze konwencjonalne (sterowalne). Ów zarzut szkodliwości rozciągany jest nawet na prosumentów sprzedających śladowe w skali systemu nadwyżki wyprodukowanej przez siebie energii.

Faktem jest, że tradycyjna forma zagospodarowania chwilowych nadwyżek energii elektrycznej, celem ich wykorzystania w okresach chwilowego niedoboru energii, jaką jest praca pompowa elektrowni szczytowo-pompowych, przestaje być jedyną technicznie i ekonomicznie dostępną (a z konieczności ograniczoną ilościowo) formą magazynowania energii elektrycznej na skalę systemową. W grę wchodzi zarówno nowe formy magazynowania stacjonarne [5], jak i mobilne, związane z rozwojem elektrycznych pojazdów [6]. W każdym przypadku są to instalacje jednostkowo małe w skali systemu. Są więc predystynowane do zastosowania w rozproszeniu i do wdrożenia do masowej, seryjnej produkcji, pozwalającej na dalsze, radykalne obniżenie kosztów jednostkowych w efekcie wykorzystania efektu skali w procesie ich wytwarzania.

Dla przedmiotowego wywodu pozostaje bez znaczenia, czy realne skomercjalizowanie<sup>9</sup> magazynów energii elektrycznej nastąpi w ciągu zapowiadanych pięciu lat, czy nastąpi wcześniej, czy się jeszcze o kolejne pięć lat przesunie. Jest wystarczająco wiele przesłanek<sup>10</sup>, by odrzucić pogląd iż rozwój ten zostanie zahamowany. A to oznacza, że z ogromnym prawdopodobieństwem **w przeciągu najbliższej dekady fundament, na którym opiera się paradygmat systemu elektroenergetycznego ulegnie całkowitej dezaktualizacji**<sup>11</sup>. Jednocześnie, obserwując rozwój przydomowych magazynów

---

<sup>9</sup> Redukcja ceny 1 MW mocy oraz 1 MWh energii z magazynu (w połączeniu ze źródłem odnawialnym) poniżej poziomu dyktowanego przez technologie scentralizowane nieodnawialne. Należy podkreślić, że takie bezpośrednie porównanie, czytelne dla indywidualnych inwestorów, nie uwzględnia korzyści związanych z rozproszeniem zasobów i lepszym wykorzystaniem źródeł konwencjonalnych i OZE, co w skali systemu elektroenergetycznego może powodować, że próg opłacalności zastosowania magazynów leży powyżej poziomu wynikającego z bezpośredniego porównania. Powinno to być przedmiotem zainteresowania organów Państwa odpowiedzialnych za politykę energetyczną i mechanizmy regulacji rynku energii.

<sup>10</sup> Zarówno „pokojowych” (konieczność skompensowania wpływu źródeł odnawialnych na system elektroenergetyczny), jak i militarnych, np. działo elektromagnetyczne, czy elektromagnetyczna katapulta wspierająca start samolotów z lotniskowca [7] [8] [9].

<sup>11</sup> Podkreślenia wymaga, że okres dziesięciu lat to co najwyżej jedna czwarta (a raczej mniej) projektowego okresu eksploatacji źródeł wielkoskalowych, co oznacza konieczność głębokiej rewizji zamierzeń inwestycyjnych, planowanych w formule tradycyjnej.

energii elektrycznej w Niemczech, forsowany w ramach kolejnego etapu *Energiewende*<sup>12</sup>, oraz presję polityczną ze strony Komisji Europejskiej, a także znaczenie (wydźwięk) dokumentów publikowanych przez MAE<sup>13</sup>, ONZ<sup>14</sup>, a nawet Watykan [13], można przyjąć, że założenie dziesięcioletniego okresu oczekiwania na upowszechnienie tych technologii jest założeniem nazbyt pesymistycznym.

Jest to okoliczność o kluczowym znaczeniu gdyż komercjalizacja rozproszonego magazynowania energii elektrycznej pozwala na rewizję wszystkich wymienionych na wstępie mechanizmów. Błędem bowiem byłoby ograniczenie roli magazynów energii elektrycznej jedynie do „asymilacji” źródeł niestabilnych w systemie elektroenergetycznym funkcjonującym wg modelu dotychczasowego. Takie podejście[14] opisuje jedynie etap pośredni, którego realizacja jest zresztą drogą do pełnego ich upowszechnienia.

## 1.2. Efekty komercjalizacji magazynów energii elektrycznej

Pełna komercjalizacja magazynów energii elektrycznej pozwala na skompensowanie nie tylko wahań generacji niestabilnej, ale – przede wszystkim – wahań krzywej poboru (konsumpcji) energii z systemu elektroenergetycznego.

Upowszechnienie magazynowania energii elektrycznej:

- w pierwszej kolejności skutkuje zmianą sposobu zapewnienia rezerw mocy czynnej poprzez przeniesienie tej funkcji do magazynów. Dzięki temu może wzrosnąć czas wykorzystania mocy dyspozycyjnej obecnych w systemie źródeł wielkoskalowych<sup>15</sup>, poprawiając ekonomikę ich pracy i bezinwestycyjnie „uwalniając” moce dotychczas niewykorzystane z uwagi na długookresowe wahania krzywej poboru lub moce związane koniecznością zapewnienia rezerwy wirującej, niezbędnej ze względu na wahania krótkookresowe i konieczność zapewnienia spełnienia kryterium N-1;
- pozwala w sposób praktycznie nieograniczony adaptować do współpracy z systemem kolejne rozproszone źródła niestabilne (słoneczne i wiatrowe), w tym segmencie wytwarzania lokując bezwzględny przyrost mocy. Pozwala więc na stopniowe, płynne przesuwanie punktu ciężkości zainstalowanych i osiągalnych mocy wytwórczych ze źródeł wykorzystujących paliwa kopalne w kierunku źró-

---

<sup>12</sup> Finansowanie rozwoju magazynów przydomowych [10].

<sup>13</sup> Postulat rozwoju OZE, który bez rozwoju magazynowania energii nie jest możliwy [11].

<sup>14</sup> Potrzeba obniżenia kosztów systemowych poprzez rozwój m.in. technologii magazynowania energii znalazła swe odzwierciedlenie w dokumentach Europejskiego Komitetu Ekonomicznego ONZ [12].

<sup>15</sup> Projektowo dla jednostki wytwórczej jest to 6 – 6,5 tys. godzin w roku (liczącym 8760 godzin). Aktualnie w Polsce czas ten wynosi średnio ok. 4 tys. godzin.

del odnawialnych, produkujących energię elektryczną przy zerowym (lub bliskim zera) koszcie zmiennym. Co ważne, proces ten może przebiegać bez wprowadzania zagrożeń dla stabilności systemu elektroenergetycznego, ale także bez powodowania napięć społecznych w Polsce<sup>16</sup> i politycznych w relacjach z Komisją Europejską<sup>17</sup> i resztą Wspólnoty oraz krajami ościennymi<sup>18</sup>.

- ze względu na fakt, że magazyny energii elektrycznej, podobnie jak większość źródeł odnawialnych, pracują na napięciu stałym, a z systemem powiązane są poprzez falowniki, upowszechnienie ich wykorzystania otwiera możliwość zmiany sposobu oferowania usług systemowych także w zakresie regulacji napięcia i rozplywów mocy biernej, a po przekroczeniu określonego progu względem mocy zainstalowanej w synchronicznych maszynach wirujących – także regulacji częstotliwości.
- ze względu na rozproszony charakter zdolności magazynowych i ich potencjał do świadczenia usług systemowych i rezerw mocy, perspektywa ich upowszechnienia stanowi kolejny argument na rzecz jak najszybszego wdrożenia rozwiązań technicznych składających się na sieć inteligentną, w tym powszechne inteligentne opomiarowanie odbiorców końcowych i sieci. Związana z tym jest też konieczność zmiany schematów funkcjonowania i, w jej konsekwencji, przebudowa automatyki zabezpieczeniowej oraz całkowita zmiana zakresu rzeczowego inwestycji, jakie są niezbędne do poniesienia w sieci.

## 2. Rozproszenie zasobów a bezpieczeństwo energetyczne

Na ustawowo zdefiniowane bezpieczeństwo energetyczne składają się trzy filary: techniczny (niezawodność dostaw energii elektrycznej o standardowych parametrach), ekonomiczny (dostępność energii po rozsądnym koszcie) oraz ekologiczny (pozyskanie i dostarczenie energii elektrycznej z poszanowaniem zasobów naturalnych), uwzględniające czynnik czasu, tj. wymagania doraźne (bieżące) oraz długoterminowe (przyszłościowe)<sup>19</sup>.

---

<sup>16</sup> Scenariusz stopniowej restrukturyzacji przemysłu wydobywczego.

<sup>17</sup> Realna perspektywa dostosowania Polski do polityki klimatycznej KE, bez jej kontestowania.

<sup>18</sup> Uniezależnienie polityki energetycznej Polski od uwarunkowań międzynarodowych.

<sup>19</sup> Definicja ustawowa bezpieczeństwa energetycznego – Art. 3 pkt 16 ustawy Prawo energetyczne: „stan gospodarki umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska”.



## 2.1. Immanentne zagrożenie bezpieczeństwa energetycznego przy skupionym zasobie wytwórczym

Zrównoważenie przedstawionej na wstępie triady w systemie opartym na źródłach wielkoskalowych, wykorzystujących paliwa kopalne, głównie węgiel, jest praktycznie niemożliwe.

Wytwarzanie energii elektrycznej z węgla niejako z definicji stanowi naruszenie filara ekologicznego, zarówno na etapie pozyskania nośnika energii pierwotnej (w szczególności: dewastacja terenu, naruszenie równowagi wodnej – w przypadku kopalni odkrywkowej, czy szkody górnicze, zasolenie wód powierzchniowych, depozyt metanu z powietrza wentylacyjnego – w przypadku kopalni głębinowej) jak i samego procesu przemiany (depozyt pyłów, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, związków rtęci, popiołów i ciepła jako produktów ubocznych procesu wytwarzania energii elektrycznej z paliw kopalnych).

Zabiegi na rzecz ograniczenia ww. wpływu na środowisko podnoszą koszt procesu, nie wszystkie są realizowane, nie wszystkie mogą być realizowane z przyczyn fundamentalnych (np. depozyt ciepła). Tak więc równowaga kosztów wytwarzania energii elektrycznej i wpływu tego procesu na środowisko jest efektem kompromisu. Jego wartość jest dodatkowo zafalszowana przez nieuwzględnianie w tym rachunku znacznej części kosztów zewnętrznych (tzw. *externalities*) tj.: kosztów przywilejów branżowych, jawnych i ukrytych dotacji z budżetu, kosztów społecznych leczenia chorób wynikłych z degradacji środowiska itd. Koszty te nie znajdują odzwierciedlenia w cenie produkowanej energii, a przez społeczeństwo są ponoszone w formie mniej czy bardziej ukrytej [15] [16] [17].

Kwestia bezpieczeństwa energetycznego w wymiarze technicznym jest w sensie modelowym powtórzeniem kompromisu opisanego powyżej, zgodnie z zasadą, że „bezpieczeństwo kosztuje”, teoretycznie tyle, ile społeczeństwo jest gotowe za nie zapłacić<sup>20</sup>. Na koszty te składa się finansowanie rezerw mocy (nadwyżka mocy zainstalowanej względem wykorzystywanej) w takim zakresie, by w każdej sytuacji, nawet mało prawdopodobnej, uniknąć deficytu w jej bilansie, budowa i utrzymanie sieci przesyłowych i rozdzielczych w takim stopniu, by minimalizować ryzyko awarii z powodów nadmiernego wyeksploatowania czy zaniedbań utrzymaniowych (awarie linii wywoływane przez

---

<sup>20</sup> W warunkach monopolu, na jakich funkcjonuje tradycyjny sektor elektroenergetyczny, wyrażającego się schematem „placz, ale płać”, społeczeństwo ma bardzo ograniczony zakres wyrażania swej woli w tym zakresie, niemniej, znamienne pozostają upadek rządu w Bułgarii w 2013 r. oraz aktualne wydarzenia w Armenii, spowodowane zapowiedzią drastycznej podwyżki cen prądu.

przeciążenia czy upadające drzewa), projektowanie i budowa linii o wytrzymałościach mechanicznych zdolnych przenieść ekstremalne obciążenia pogodowe itd.<sup>21</sup>

Najbardziej spektakularnym (i dotkliwym) naruszeniem wymagań bezpieczeństwa energetycznego w wymiarze technicznym jest *blackout*, czyli rozpad systemu i, będąca tego efektem, utrata zdolności zasilania odbiorców. *Blackout* może nastąpić zawsze. System elektroenergetyczny jest „tylko” złożoną infrastrukturą techniczną, pracująca w stanie równowagi a stabilnej<sup>22</sup>, w której można jedynie minimalizować ryzyka błędu ludzkiego lub awarii technicznej, ale nie da się ich całkowicie wyeliminować. Problemem może być zasięg *blackoutu*, wynikający ze zdolności lub jej braku do zareagowania na dynamicznie rozwijające się zakłócenie. Jednakże problemem kluczowym dla powodowanych nim strat jest czas jego trwania. A ten wynika ze zdolności systemu do podniesienia się po *blackoutcie*. *Blackout* włoski w sierpniu 2003 r. był tak dotkliwy właśnie z tego powodu, że system przejściowo utracił zdolność do restartu, w związku z czym powrót do pełnej jego sprawności trwał kilka dni.

Jednakże nie jest to jedyna forma naruszenia bezpieczeństwa energetycznego w aspekcie technicznym. Drugim, nie mniej istotnym jego przejawem jest obniżona jakość dostarczanej energii elektrycznej, dłuższe lub krótsze przerwy w zasilaniu o zasięgu lokalnym, odkształcenia krzywej napięcia itd. Konsekwencje ekonomiczne tych zjawisk, ze względu na ich permanentny charakter, osiągają skalę porównywalną do strat powodowanych przez incydentalne *blackouty*, ale nie są tak spektakularne<sup>23</sup>. Natomiast środki zaradcze także kosztują.

Ponadto warto zauważyć, że utrzymywanie scentralizowanego systemu wytwarzania energii elektrycznej pozostaje w sprzeczności z postępującym rozpraszaniem jej konsumpcji. Centra odbioru energii elektrycznej rozwijają się w coraz większej odległości elektrycznej od miejsc jej wytwarzania, co zmusza do nadążnej rozbudowy sieci i zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia zakłóceń w procesie przesyłania i dystrybucji energii elektrycznej do odbiorców. Niezbędne do wdrożenia środki zaradcze powodują konieczność ponoszenia dodatkowych kosztów, co w niekorzystny sposób przesuwają możliwy do osiągnięcia (akceptowalny) punkt równowagi pomiędzy aspektem technicznym i ekonomicznym bezpieczeństwa energetycznego.

---

<sup>21</sup> Dla przykładu: utrata zasilania aglomeracji szczecińskiej w kwietniu 2008 r. była spowodowana m.in. przez wyrwanie z podmokłego gruntu stóp fundamentowych słupów linii przesyłowej, obciążonej marznącym deszczem.

<sup>22</sup> System wytrącony z punktu równowagi nie powraca do niego samoczynnie; bez stosownej reakcji ze strony operatora odchylenie rośnie coraz szybciej aż do rozpadu systemu.

<sup>23</sup> Wg programu Leonardo 100 mld EUR w gospodarce europejskiej oraz pomiędzy 119 a 188 mld USD w gospodarce amerykańskiej [18].

W dyskusji dotyczącej uwarunkowań funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, być może ze względu na poprawność polityczną, niemal całkowicie pomijany jest aspekt, który wszystkie wyżej wymienione problemy przesuwają na drugi plan. Jest to **całkowity brak odporności systemu scentralizowanego na celowy atak**, możliwy do przeprowadzenia bez względu na wysokość kosztów poniesionych na ochronę przed nim.

Nawet współczesna elektrownia atomowa, zbudowana w sposób zapewniający jej przetrwanie bezpośredniego uderzenia przez samolot pasażerski [19], nie jest odporna, jako systemowe źródło energii elektrycznej, na destrukcję jej rozdzielni wprowadzenia mocy, czy wychodzących z tej rozdzielni linii przesyłowych. Problem ten w identycznym stopniu dotyczy wszystkich wielkoskalowych instalacji wytwórczych, konwencjonalnych i odnawialnych. Związany jest wyłącznie z ich skalą, która z jednej strony determinuje zasięg wpływu ew. zdarzenia na resztę systemu elektroenergetycznego, z drugiej zaś decyduje o atrakcyjności takiego ataku z punktu widzenia ewentualnego napastnika.

Skuteczny atak na instalacje elektroenergetyczne nie wymaga zaangażowania żadnych środków technicznych, których przygotowanie mogłyby wzbudzić zainteresowanie odpowiednich służb, albo stanowić barierę ekonomiczną. Co gorsza, atak odpowiednio przemyślany, może nie tylko doprowadzić do załamania systemu elektroenergetycznego (*blackout*), ale także na długo pozbawić technicznej możliwości jego podniesienia. Skutki, społeczne, gospodarcze i polityczne takiego zdarzenia nie wymagają komentarza, natomiast potencjalna choćby wizja takiego scenariusza powinna stymulować władzę polityczną do konsekwentnego wdrażania środków ograniczających ryzyko jego wystąpienia oraz zakres jego skutków.

## 2.2. Dalsze pogorszenie poziomu bezpieczeństwa energetycznego w wyniku przyłączania generacji niestabilnej do tradycyjnego systemu opartego na pracy źródeł wielkoskalowych

Forsowana pod hasłem przeciwdziałania zmianom klimatu polityka wspierania rozwoju źródeł odnawialnych, polega na tworzeniu ułatwień w bezpośrednim przyłączeniu ich do sieci i budowaniu mechanizmów ekonomicznych wsparcia inwestycyjnego i/lub operacyjnego. Jednocześnie zachowany zostaje scentralizowany charakter systemu elektroenergetycznego jako takiego. Paradoksalnie, tak zawężone podejście pogłębia poziom ryzyk immanentnych opisanych w pkt. 2.1.

Wynika to z narastania sprzeczności wewnętrznych w systemie, przy jednoczesnym braku jakichkolwiek rozwiązań je łagodzących<sup>24</sup>.

Wzrost udziału energii ze źródeł odnawialnych w energii elektrycznej konsumowanej ogółem niewątpliwie przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa energetycznego w aspekcie ekologicznym<sup>25</sup>, jednocześnie istotnie pogarszając je w aspektach ekonomicznym i technicznym. W tym kontekście zrozumiałą może być opór ze strony sektora elektroenergetycznego przed rozwiązaniami przyspieszającymi ten proces.

Podkreślenia wymaga jednak, że opisana powyżej sytuacja dotyczy systemu elektroenergetycznego funkcjonującego w formule tradycyjnej (skupionych wielkoskalowych źródeł konwencjonalnych) i przyłączania do niego źródeł odnawialnych niesterowalnych, bez wdrażania jakichkolwiek środków buforujących ich niestabilność. Jednakże obrona status quo oznacza przedłużanie stanu wystawienia gospodarki na ryzyka immanentne, wynikające ze skupionej formuły działania systemu elektroenergetycznego i dodatkowo, naraża na rosnące ryzyka polityczne. Powinna więc zostać zastąpiona przez proces poszukiwania rozwiązań konstruktywnych.

### 2.3. Środki zaradcze

Kluczowym środkiem zaradczym, w obliczu ryzyk opisanych w pkt. 2.1., jest **rozproszenie zasobów** poprzez wykorzystanie rozwoju technologicznego, który to umożliwia. Ewentualny atak na lokalną, jedną z wielu, instalację wytwórczą jest pozbawiony sensu i jako taki nie przedstawia dla ew. napastnika żadnej wartości. Tym samym minimalizuje się (eliminuje) ryzyko wystąpienia takiego scenariusza. Podobnie minimalizuje się skutki ew. awarii źródeł lub elementów sieci z powodów technicznych. Co więcej, rozproszenie zasobów wytwórczych jest naturalną formą dostosowania systemu elektroenergetycznego do procesu rozpraszania zasobów po stronie jej konsumpcji, skraca drogę energii elektrycznej w systemie od źródła do odbiornika, a tym samym zmniejsza koszty transportu energii i ekspozycję na jego zakłócenie z jakiegokolwiek przyczyny. Aktywnie sprzyja podnoszeniu świadomości energetycznej i w następstwie bardziej efektywnemu wykorzystywaniu energii.

W wyniku rozproszenia zasobów, na które składają się zarówno źródła wytwórcze jak i magazyny energii oraz narzędzia wpływu na krzywą popytu, realizowane w formule

---

<sup>24</sup> Potrzeba wdrożenia rozwiązań zwiększających elastyczność systemu została dostrzeżona i wyartykułowana w materiałach publikowanych przez Komisję Europejską, np. w prezentacji „Smart Grid In Europe”, Kai Tullius, Smart Communication and Technology Forum, Warszawa, 11 czerwca 2015”.

<sup>25</sup> O ile nie jest realizowany przez współspalanie biomasy (w szczególności importowanej z antypodów).

inteligentnej sieci, wzrasta poziom wykorzystania w czasie zarówno konwencjonalnego majątku wytwórczego jak i zasobów sieciowych. Wzrasta także niezawodność dostaw dzięki ograniczaniu ryzyk immanentnych. Oznacza to wzrost bezpieczeństwa energetycznego w aspektach zarówno technicznym jak i ekonomicznym. Jeżeli do tego dodać, że istotny i rosnący udział w rozproszonych źródłach stanowiąc będą źródła odnawialne (korzystające z lokalnych nośników energii pierwotnej o zerowym koszcie zmiennym), to rozproszenie zasobów oznacza wzrost bezpieczeństwa energetycznego także w aspekcie ekologicznym, czyli we wszystkich trzech aspektach.

Warunkiem koniecznym dla racjonalnej realizacji rozproszenia zasobów opartych na generacji ze źródeł odnawialnych jest:

- możliwość zintegrowanego sterowania pracą zasobu rozproszonego (budowa Smart Grid<sup>26</sup> opartej na inteligentnym opomiarowaniu odbiorców i zarządzaniu siecią oraz przyłączonym do niej zasobem wytwórczym, odbiorczym i magazynowym),

której efektem będzie

- uodpornienie systemu – w pierwszym kroku na niestabilność generacji z OZE, a docelowo na niestabilność popytu – poprzez rozwój rozproszonego magazynowania energii elektrycznej oraz narzędzi wpływu na krzywą popytu (DSM/DR).

Obydwa ww. warunki do niedawna stanowiły barierę nie do pokonania, co przesądzało o takim a nie innym kształcie sektora elektroenergetycznego. Aktualnie realizacja pierwszego z nich jest już możliwa (wiele krajów europejskich go wdraża, Polska zadeklarowała celowość wdrożenia<sup>27</sup> ale dotychczas zwleka z ostateczną decyzją), natomiast odnośnie drugiego, jak zasygnalizowano powyżej, jego realizacja stanie się możliwa w najbliższych latach.

Ciągłe odkładanie „pierwszego kroku” można więc zakwalifikować do działań na szkodę państwa i jego obywateli. Przedłuża bowiem stan narażenia na ryzyka, którymi w żaden sposób nie można zarządzić, a ponadto wystawia rządzących na szantaż polityczny ze strony związanych z energetyką grup kapitałowych oraz związków zawodowych, zainteresowanych przedłużaniem jak długo się da, *status quo* przynoszącego im określone korzyści.

---

<sup>26</sup> *Smart Grid* – inteligentne sieci elektroenergetyczne, gdzie istnieje komunikacja między wszystkimi uczestnikami rynku energii mająca na celu dostarczanie usług energetycznych zapewniając obniżenie kosztów i zwiększenie efektywności oraz zintegrowanie rozproszonych źródeł energii, w tym także energii odnawialnej [20].

<sup>27</sup> Stanowisko Rządu RP w odpowiedzi na dokument [21].

### 3. Inwestycje

Wnioskiem z przedstawionych powyżej rozważań jest potrzeba przeglądu założeń „Polityki Energetycznej Polski” w horyzoncie 2050 r. i poddania rewizji dyskusowanych i zapowiadanych planów inwestycyjnych w sektorze elektroenergetycznym, zarówno w odniesieniu do źródeł wytwórczych jak i do sieci przesyłowych i rozdzielczych. Towarzyszyć temu winna zmiana obowiązujących kanonów organizacji rynku energii, a w szczególności mechanizmów cenotwórstwa w kierunku rozwiązań, które zapewnią kreowanie racjonalnych sygnałów inwestycyjnych adresowanych także do rozproszonych inwestorów. Alternatywą jest perspektywa ponoszenia przez odbiorców energii podwójnych kosztów: „rynkowych” konsekwencji wadliwego mechanizmu rynkowego oraz administracyjnych kosztów finansowania mechanizmów niwelujących skutki tych nieprawidłowości<sup>28</sup>.

#### 3.1. Inwestycje w wytwarzanie wielkoskalowe

Celowość zrewidowania planów dotyczy wszystkich inwestycji wielkoskalowych, niezależnie od tego jaki nośnik energii pierwotnej miałyby wykorzystywać (węgiel, gaz, uran, czy OZE). Jest to szczególne wyzwanie dla Ministra Gospodarki, odpowiedzialnego za „Politykę energetyczną Polski 2050” oraz Ministra Skarbu jako właściciela największych koncernów energetycznych, zainteresowanych kontynuacją obowiązujących dotychczas schematów pod hasłem-wytrychem dbałości o zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego.

#### 3.2. Inwestycje w magazyny energii – alternatywne względem wytwarzania konwencjonalnego, tzn. kompensujące zmiany obciążenia KSE, a w tym kompensujące niestabilność OZE

Równoległe do rozwoju magazynów energii przy niestabilnych OZE, konieczne jest wdrożenie programu rozwoju magazynów energii elektrycznej lokowanych po stronie odbiorców końcowych oraz sieci. Potrzeba także wdrożenia do praktyki narzędzi zarządzania popytem, wspólnie z magazynami energii pozwalających na stopniowe wy-

---

<sup>28</sup> Przykładem takiego dualizmu w aktualnej rzeczywistości jest opłata jakościowa w taryfie sieciowej, ponoszona m.in. na usuwanie ograniczeń sieciowych (maskowanie błędów, jakim jest kanon miedzianej płyty) oraz mechanizm wsparcia dla źródeł odnawialnych, które na tak zdeformowanym „rynku” nie mają możliwości zaistnieć bez wsparcia.

gładzenie krzywej pracy JWCD. W odniesieniu do magazynów energii, mogą to być zarówno inwestycje realizowane przez samych wytwórców w OZE (w tym prosumentów), jak i samodzielnie lokowane w sieci przesyłowej i dystrybucyjnej. Istotne jest, by z działania tego wyłączyć JWCD ze względu na konieczność/racjonalność zachowania rozproszonego charakteru zdolności magazynowych.

### 3.3. Inwestycje w sieć

Jest wymogiem chwili podjęcie decyzji politycznej w sprawie rozpoczęcia przebudowy sieci w kierunku Smart Grid, co na poziomie sieci dystrybucyjnej wymaga całkowitej zmiany priorytetów inwestycyjnych względem dotychczasowego schematu. Szczegółowe zestawienie kluczowych różnic pomiędzy zakresem inwestycji w sieć tradycyjną i „Smart” zasługuje na odrębny opis. Dotyczy to w szczególności takich aspektów jak:

- zagęszczenie sieci;
- wzmacnianie zdolności przesyłowych linii istniejących;
- wymiana transformatorów;
- wymiana aparatury łączeniowej w stacjach;
- wymiana automatyki zabezpieczeniowej;
- opomiarowanie sieci;
- opomiarowanie odbiorców końcowych.

We wszystkich wyżej wymienionych przypadkach działania konieczne (lub zbędne) w systemie funkcjonującym w formule tradycyjnej, w Smart Grid mogą być ograniczone (lub konieczne) lub możliwe do zrealizowania w inny sposób. Większość przedsięwzięć inwestycyjnych zrealizowanych w trybie „tradycyjnym” może się okazać zbędna, brakuwać zaś będzie inwestycji w sieć właściwych dla wykorzystania inteligentnego pomiaru na rzecz wdrożenia/wykorzystania rozproszonego magazynowania energii, rozproszonych źródeł i zarządzania popytem. Fakt skomercjalizowania magazynów energii i oparty na tym dalszy rozwój OZE wymusi więc uzupełnienie tych braków lub spowoduje rozwój autarkicznych mikrosieci<sup>29</sup>. W każdym przypadku branża pozostanie z niewykorzystanym majątkiem znacznej wartości jako spuścizną po zbyt długo prowadzonych inwestycjach tradycyjnych.

---

<sup>29</sup> Mikrosieć autarkiczna – lokalna inteligentna sieć elektroenergetyczna, pracująca trwale w izolacji od KSE, wykorzystująca lokalne źródła energii elektrycznej i utrzymywana w równowadze dzięki wykorzystaniu zasobów magazynowych i narzędzi DSM.

### 3.4. Mechanizmy rynku

Elementem kluczowym dla właściwego ukierunkowania inwestycji w systemie elektroenergetycznym jest system cenotwórstwa i organizacja rynku. Jak długo organizacja rynku będzie oparta na scentralizowanych grupach kapitałowych, dysponujących wystarczającym potencjałem, by wywierać istotny wpływ na kształt legislacji, trudno jednak mieć nadzieję na zasadniczą zmianę mechanizmów rynku.

Mechanizmy te muszą kreować przesłanki dla indywidualnych decyzji inwestorskich, zarówno w małej jak i wielkiej skali. Nie jest ambicją niniejszego tekstu przedstawienie „jedynej słusznej” recepty, co i jak powinno zostać zrobione. To jest zadanie dla dużego, multidyscyplinarnego zespołu, z „systemowcami” w roli głównej, ale zdolnego do oderwania się od tradycyjnego postrzegania systemu elektroenergetycznego i zdolnego oprzeć się naciskom wynikającym z optyki krótkoterminowej. Najważniejsze obszary wymagające analizy i przebudowy, wynikającej z odejścia od kanonu miedzianej płyty, to:

1. W zakresie cenotwórstwa energii elektrycznej i usług świadczonych przez wytwórców energii elektrycznej:
  - mechanizmy rynku hurtowego i ich powiązania z rynkiem bilansującym z jednej strony oraz detalicznym z drugiej w sposób pozwalający na bieżące odzwierciedlanie w detalicznej cenie energii aktualnej sytuacji w systemie elektroenergetycznym (nadwyżek i niedoborów względem krzywej zapotrzebowania, z uwzględnieniem ich lokalizacji) i zapewniający stabilność w horyzoncie długoterminowym, tj. odporny na spłaszczenie sygnałów cenowych w wyniku spłaszczenia krzywej pracy JWCD;
  - rynek mocy (mega- i negawatów<sup>30</sup>) zorientowany na wszystkich wytwórców, z prosumentami i gestorami magazynów i usług redukcji zapotrzebowania włącznie, uwzględniający możliwość agregowania ofert małych jednostek;
  - rynek usług systemowych otwarty na wszystkich usługodawców, w tym prosumentów i odbiorców końcowych bez zdolności wytwórczych, ale z kompetencją do zorganizowanego wpływu na krzywą ich poboru, w szczególności funkcjonujących w formule usługodawców zagregowanych.

---

<sup>30</sup> Mocy wprowadzanych do systemu i mocy, z których poboru odbiorcy świadomie rezygnują w odpowiedzi na odpowiedni sygnał.



2. W zakresie działalności sieciowej:

- zasady partycypacji wytwórców w pokrywaniu kosztów sieci (taryfa węzłowa dla wytwarzania, uwzględniająca lokalizację źródła w systemie, dyskontująca atrakcyjność źródeł w obszarach z deficytem energii);
- taryfa strefowa dla konsumpcji, uwzględniająca potrzebę łagodzenia efektów antyrozwojowych dla obszarów sieci peryferyjnych, z deficytem energii i wysokim kosztem jej dostarczenia;
- zasady przyłączania źródeł i magazynów do sieci, uwzględniające charakter przyłączanego obiektu w kontekście lokalnych warunków zasilania, odporne na spekulacyjne blokowanie miejsc przyłączenia, ale też przeciwdziałające przerzucaniu kosztów powodowanych przez inwestycję na ogół odbiorców.

Niektóre spośród wymienionych powyżej oczekiwań, realizowane pojedynczo, mogą prowadzić do budowania barier nie do pokonania (np. fundamentalny dla wygenerowania właściwych sygnałów rynkowych zakaz eksternalizacji kosztów powodowanych przez inwestycję w sposób oczywisty pogarsza jej biznes plan, jeżeli jednocześnie nie umożliwi się m.in. zdyskontowania korzyści lokalizacyjnych). Dlatego tak ważne jest kompleksowe podejście do przedstawionych zagadnień. Tylko w taki sposób może być wykreowany ekonomiczny mechanizm wsparcia rozwoju aktywów pożądanых przy jednoczesnym hamowaniu rozwoju aktywów zbędnych i destrukcyjnych dla systemu. Alternatywą byłoby pozostanie przy narzędziach administracyjnych, obciążonych wszystkimi ryzykami wynikającymi z lobbingu i ręcznego sterowania.

## 4. Podsumowanie

Dotychczasowy brak możliwości magazynowania energii elektrycznej jest podstawową przyczyną ukształtowania sektora elektroenergetycznego w obecnej, scentralizowanej formule. Aktualnie obserwowany rozwój technologiczny pozwala oczekiwać, że w perspektywie najbliższych kilku lat bariera ta zostanie pokonana. Tym samym nieaktualny staje się paradygmat, na którym oparte jest funkcjonowanie sektora elektroenergetycznego w dotychczasowej formule.

Ryzyka immanentne dla sektora elektroenergetycznego, działającego w formule scentralizowanej, opartej na paliwach kopalnych, rosną w sposób nieakceptowalny na dłuższą metę, w praktyce uniemożliwiając zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego w którymkolwiek z jego aspektów (technicznym, ekonomicznym bądź ekologicznym).

Wynika stąd konieczność wykorzystania rozwoju technologicznego celem zminimalizowania tych ryzyk.

Konsekwencją zdezaktualizowania się dotychczasowego paradygmatu jest całkowita zmiana charakteru i zakresu pożądanych inwestycji w sektorze elektroenergetycznym. Odsuwanie w czasie wdrożenia tego wniosku (w szczególności inercyjna kontynuacja inwestycji wielkoskalowych i skorelowanych z nimi inwestycji sieciowych) naraża klientów elektroenergetyki na konieczność finansowania w przyszłości kosztów utopionych w inwestycje, które w zmienionej rzeczywistości okażą się dysfunkcyjne. Jest możliwe stopniowe przejście od sektora w pełni scentralizowanego do rozproszonego, w którym źródła wielkoskalowe będą współlistniały z zasobem rozproszonym w sposób ekonomicznie efektywny, bez kreowania napięć społecznych i politycznych w relacjach wewnętrznych i międzynarodowych.

### Literatura

- [1] [http://energetyka.wnp.pl/pe-odrzucil-raport-nt-bezpieczenstwa-energetycznego-unii,251904\\_1\\_0\\_0.html](http://energetyka.wnp.pl/pe-odrzucil-raport-nt-bezpieczenstwa-energetycznego-unii,251904_1_0_0.html), [30.07.2015]
- [2] <http://www.rynek-energii-elektrycznej.cire.pl/st,33,203,item,108456,2,0,0,0,0,0,rynek-mocy-krajowego-systemu-elektroenergetycznego.html>, [30.07.2015]
- [3] <http://konradwirski.blog.tt.com.pl/?p=321>, [30.07.2015]
- [4] <http://www.cire.pl/item,113153,1,0,0,0,0,0,finlandia-magazyn-energii-dla-najwiekszej-instalacji-pv.html>, [30.07.2015]
- [5] <http://reneweconomy.com.au/2015/energy-storage-to-reach-cost-holy-grail-mass-adoption-in-5-years-18383>, [30.07.2015]
- [6] <http://www.teslamotors.com/powerwall>, [30.07.2015]
- [7] <http://www.ise.fraunhofer.de/en/downloads-englisch/pdf-files-englisch/data-nivc-/electricity-production-from-solar-and-wind-in-germany-2014.pdf>, [30.07.2015]
- [8] <http://www.onr.navy.mil/media-center/fact-sheets/electromagnetic-railgun.aspx>, [30.07.2015]
- [9] [http://www.defence24.pl/news\\_pierwsze-testy-katapulty-elektromagnetycznej-rewolucja](http://www.defence24.pl/news_pierwsze-testy-katapulty-elektromagnetycznej-rewolucja), [30.07.2015]
- [10] <http://www.cire.pl/item,111258,1,0,0,0,0,0,juz-ponad-10-tys-doplat-do-domowych-magazynow-energii-w-niemczech.html>, [30.07.2015]

- [11] <http://biznes.onet.pl/wiadomosci/energetyka/mae-nieefektywne-elektrownie-weglowe-musza-zniknac/qn2psd>, [30.07.2015]
- [12] <http://www.unece.org/index.php?id=37243>, [30.07.2015]
- [13] Encyklika „Laudato si’”, [http://w2.vatican.va/content/francesco/pl/encyclicals/documents/papa-francesco\\_20150524\\_enciclica-laudato-si.html](http://w2.vatican.va/content/francesco/pl/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si.html), [30.07.2015]
- [14] [http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/downloads/publikationen/Studien/Speicher\\_in\\_der\\_Energiewende/Agora\\_Speicherstudie\\_EN\\_web.pdf](http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/downloads/publikationen/Studien/Speicher_in_der_Energiewende/Agora_Speicherstudie_EN_web.pdf), [30.07.2015]
- [15] [http://www.greenpeace.org/poland/PageFiles/602721/Raport\\_GP\\_Ukryty\\_rachunek\\_za\\_wegiel.pdf](http://www.greenpeace.org/poland/PageFiles/602721/Raport_GP_Ukryty_rachunek_za_wegiel.pdf), [30.07.2015]
- [16] <http://www.cire.pl/item,111409,1,0,0,0,0,mfw-doplaty-do-paliw-kopalnych-to-600-mln-dolarow-na-godzine.html>, [30.07.2015]
- [17] <http://www.cire.pl/item,111409,1,0,0,0,0,mfw-doplaty-do-paliw-kopalnych-to-600-mln-dolarow-na-godzine.html>, [30.07.2015]
- [18] <http://www.elma-energia.pl/resources/file/text/Koszty%20z%C5%82ej%20jako%C5%9Bci%20energii.pdf>, [30.07.2015]
- [19] [http://energetyka.wnp.pl/katastrofa-samolotu-a-elektrownia-jadrowa,250857\\_1\\_0\\_4.html](http://energetyka.wnp.pl/katastrofa-samolotu-a-elektrownia-jadrowa,250857_1_0_4.html), [30.07.2015]
- [20] <http://www.smartgrid.agh.edu.pl>, [30.07.2015]
- [21] <http://www.mg.gov.pl/Bezpieczenstwo+gospodarcze/Energetyka/Inteligentne+sieci>, [30.07.2015]