

Szkoła Główna Handlowa w Warszawie  
Kolegium Analiz Ekonomicznych

Michał Antoszewski

Makroekonomiczne, sektorowe i fiskalne konsekwencje  
spadku energochłonności polskiej gospodarki

Autoreferat rozprawy doktorskiej  
napisanej pod kierunkiem naukowym  
dr. hab. Tomasza Kuszewskiego, prof. SGH

Warszawa, luty 2019

## 1) Wstęp

W związku z przyspieszeniem tempa wzrostu gospodarczego, o skali nienotowanej przed rewolucją przemysłową, globalne zużycie energii również uległo gwałtownemu zwiększeniu w stosunku do poziomów z połowy XIX w. W początkach tego procesu wzrost aktywności gospodarczej był związany z niemal proporcjonalnym wzrostem zużycia energii. Pociągało to za sobą w przybliżeniu stałą energochłonność gospodarki, czyli ilość energii potrzebnej do wytworzenia jednostki produktu. Wraz z upływem czasu zaczęto jednak obserwowwać stopniowe oddzielanie się (*decoupling*) tempa wzrostu ilości zużywanej energii od tempa wzrostu poziomu aktywności gospodarczej, mierzonego zmianami PKB (Metcalfe, 2008). Zjawisko to przybrało na sile szczególnie na przestrzeni ostatnich dekad (Allcott, Greenstone, 2012). *Decoupling* był i nadal jest efektem oddziaływania szeregu czynników, które można przyporządkować trzem zjawiskom (Matheny, 2010). Po pierwsze, duży wpływ na ten proces wywarła zmiana struktury gospodarek rozwiniętych – odejście od energochłonnego przemysłu w kierunku odznaczających się niskim jednostkowym zużyciem energii usług. Po drugie, kluczową rolę odegrał i odgrywa nadal postęp techniczny, obniżający energochłonność procesów wytwórczych (Sorrell, 2007). Zjawisko to jest równoznaczne ze wzrostem produktywności energii, tj. poprawą efektywności energetycznej, rozumianej jako wartość dodana/produkt możliwy do wytworzenia przez jednostkę energii (Mulder, de Groot, 2004; Barker, Foxon 2008). Po trzecie, spadek energochłonności stanowią i nadal stanowi reakcję dostosowawczą gospodarki na szoki zewnętrzne bądź działania z zakresu polityki gospodarczej. Do tego typu szoków można zaliczyć gwałtowne zmiany cen surowców w latach 70. XX w. (Metcalfe, 2008), zaś do narzędzi polityki gospodarczej – działania nakierowane na wyzwanie związane z ochroną środowiska i polityką klimatyczną oraz z zapewnieniem zrównoważonego rozwoju (Mulder, de Groot, 2004).

Dotychczasowy nurt badań nad konsekwencjami spadku energochłonności gospodarek, czyli poprawy ich efektywności energetycznej, ograniczał się jedynie do pomiaru bezpośrednich oszczędności związanych ze zmniejszeniem zużycia energii – w formie ograniczenia ponoszonych nań wydatków. Szeroko pojęte, bezpośrednio i pośrednie korzyści ekonomiczne spadku energochłonności gospodarek, są jednak o wiele większe (Environment Northeast, 2012), lecz ich skala jest powszechnie niedoceniana (Ecofys, 2013). Niezwykle istotne jest zatem pełne zrozumienie społeczno-ekonomicznych konsekwencji tego zjawiska. Zmniejszenie jednostkowego zużycia energii „rozlewa się” po całej gospodarce, wywołując szereg pozytywnych reakcji łańcuchowych. W polu zainteresowania ekonomii leżą konsekwencje spadku energochłonności o charakterze makroekonomicznym, sektorowym i fiskalnym. Z tego względu w ostatnich latach zaczęto więc odchodzić od tak zawężonego podejścia, ograniczonego wyłącznie do pomiaru redukcji popytu na energię, w kierunku identyfikacji oraz kwantyfikacji szerokiego spektrum „wielorakich korzyści” (*multiple benefits*) społeczno-ekonomicznych wynikających z poprawy efektywności energetycznej. Korzyści te nie podlegały jednak jak dotąd kompleksowemu i systematycznemu analizom – także na poziomie poszczególnych gospodarek. Pierwszy krok w tym kierunku postawiła Międzynarodowa Organizacja Energii (*International Energy Agency*, IEA), wyróżniając pięć głównych obszarów, na które oddziałuje poprawa efektywności energetycznej (IEA, 2014):

- 1) Sytuacja makroekonomiczna (*Macroeconomic development*);
- 2) Finanse publiczne (*Public budgets*);
- 3) Zdrowie i samopoczucie (*Health and well-being*);
- 4) Produktowność przemysłu (*Industrial productivity*);
- 5) Dostępność energii (*Energy delivery*).

W tym kontekście efektywność energetyczną postrzega się jako „szeroko dostępne, czyste i tanie paliwo”, które umożliwia ograniczenie skutków wysokich kosztów energii, poprawę produktywności, pobudzenie wzrostu gospodarczego oraz redukcję obciążeń środowiskowych (Environment Northeast, 2012). Należy także odnotować, że spadek energochłonności gospodarki światowej jest procesem o charakterze ciągłym, stąd powszechnie oczekuje się również kontynuacji tego procesu w przyszłości (Matheny, 2010). Z tego względu prowadzenie badań dotyczących reakcji gospodarki na oczekiwaną poprawę efektywności energetycznej jest pożądane.

Dotychczasowe badania nad ogólnoeconomicznymi konsekwencjami poprawy efektywności energetycznej obejmowały kraje rozwinięte. Żadna z tego typu analiz nie dotyczyła jednak Polski – kraju będącego jednym z liderów w zakresie zmniejszania energochłonności gospodarki, począwszy od lat dziewięćdziesiątych XX wieku. Celem niniejszej rozprawy jest wypełnienie tej luki poprzez identyfikację konsekwencji postępującego spadku energochłonności (poprawy efektywności energetycznej) dla poszczególnych sfer polskiej gospodarki, w tym:

- poziomu aktywności gospodarczej, mierzonego przez podstawowe agregaty makroekonomiczne;
- sektorowej struktury produkcji i zatrudnienia;
- struktury bilansu handlowego oraz konkurencyjności gospodarki;
- wzorca konsumpcji gospodarstw domowych oraz struktury wydatków rządowych;
- dochodów i wydatków sektora finansów publicznych;
- poziomu zużycia energii – w formie popytu pośredniego oraz finalnego.

Ze względu na dostępność adekwatnych technik modelowania ekonomicznego niniejsza rozprawa skupia się zatem na pierwszym, drugim oraz w pewnym stopniu czwartym spośród pięciu obszarów tematycznych wskazanych przez IEA (2014). Obszary te można określić mianem konsekwencji makroekonomicznych, sektorowych oraz fiskalnych spadku energochłonności procesów gospodarczych. Ekonomiczne konsekwencje obniżania się energochłonności można również podzielić na dwie grupy:

- efekty o charakterze popytowym – związane ze wzrostem nakładów inwestycyjnych nakierowanych na poprawę efektywności energetycznej;
- efekty o charakterze podażowym – związane ze zmniejszeniem kosztów energii.

W ramach obydwu grup można ponadto wyróżnić efekty bezpośrednie oraz efekty pośrednie, związane z działaniem mechanizmów równowagi ogólnej w gospodarce. Należy jednak zaznaczyć, że efekty podażowe mogą pojawić się również bez podejmowania konkretnych inwestycji w energooszczędne dobra i usługi. W takiej sytuacji stanowią one konsekwencję postępu technologicznego oraz tzw. autonomicznej poprawy efektywności energetycznej (*autonomous energy efficiency improvement*, AEEI). Szacuje się, że efekty pośrednie i bezpośrednio związane ze spadkiem wydatków na energię odgrywają o wiele bardziej istotną rolę niż pośrednie i bezpośrednio efekty inwestycyjne, odpowiadając za 88-91% całości efektów makroekonomicznych (Malone et al., 2009). Co więcej, modelowanie wpływu różnego rodzaju programów inwestycyjnych zmierzających do poprawy efektywności energetycznej wymaga szczegółowych informacji nt. ich zakresu podmiotowego i przedmiotowego, wysokości i źródeł finansowania czy ram czasowych. Z tego względu w niniejszej rozprawie analizie podlegają wyłącznie efekty drugiego typu, tj. związane ze zmniejszeniem kosztów energii.

Zgodnie z najlepszą wiedzą autora niniejsza rozprawa stanowi pierwszą próbę kompleksowej analizy wielorakich, długookresowych skutków ekonomicznych zmniejszenia się energochłonności w polskiej gospodarce w ujęciu makroekonomicznym, sektorowym i fiskalnym. Dotychczasowe badania prowadzone w tym zakresie skupiały się na pomiarze korzyści z inwestycji nakierowanych na poprawę efektywności energetycznej (Bukowski et al., 2013), na ocenie wpływu zmian w strukturze opodatkowania na efektywność wykorzystania zasobów naturalnych w gospodarce (Antosiewicz et al., 2016), bądź na analizie historycznych zmian energochłonności w ujęciu sektorowym, z uwzględnieniem powiązań międzygałęziowych (Plich, Skrzypek, 2016). Należy wyraźnie podkreślić, że przeprowadzone badanie koncentruje się na analizie procesów dostosowawczych w polskiej gospodarce, których wystąpienia należy oczekiwać w reakcji na poprawę technologicznych warunkowań pośredniego i finalnego zużycia energii, a także na uwypukleniu płynących stąd wyzwań. Jego celem nie jest więc ocena korzyści i kosztów związanych z prowadzeniem określonych działań z zakresu polityki gospodarczej, zmierzających do poprawy efektywności energetycznej.

Rozprawa doktorska składa się z sześciu części: wprowadzenia, czterech rozdziałów oznaczonych numerami 2-5 oraz podsumowania. Rozdział 2 przedstawia historyczne uwarunkowana badań nad poprawą efektywności energetycznej procesów gospodarczych. Zawiera także omówienie czynników determinujących występowanie tego zjawiska oraz szerokiego spektrum jego konsekwencji, wykraczających daleko poza zmniejszenie wydatków ponoszonych na energię. Omawia ponadto dotychczasowe badania nad makroekonomicznymi, sektorowymi oraz fiskalnymi skutkami spadku energochłonności gospodarek. Rozdział ten kończy analiza dotychczasowych trendów zmian energochłonności w polskiej gospodarce, a także ich oczekiwanego kształtowania się w przyszłości. Rozdział 3 zawiera omówienie modeli równowagi ogólnej (*computable general equilibrium*, CGE), które stanowią odpowiednie narzędzie do prowadzenia analiz ekonomicznych w zakresie skutków zmian energochłonności/efektywności energetycznej procesów gospodarczych. W rozdziale 4 opisano narzędzie analityczne wykorzystane w niniejszej rozprawie – autorski, wielosektorowy model CGE skalibrowany dla polskiej gospodarki – o nazwie GEMPOL (*General Equilibrium Model for Poland*). W rozdziale tym omówiono kolejne etapy konstrukcji modelu GEMPOL, a także jego kluczowe charakterystyki. Rozdział 5 przedstawia wyniki analizy empirycznej, przeprowadzonej z wykorzystaniem modelu GEMPOL. Dotyczy ona zbadania makroekonomicznych, sektorowych i fiskalnych konsekwencji długookresowej poprawy efektywności energetycznej. Podsumowanie obejmuje zestawienie otrzymanych wyników oraz najważniejszych wniosków płynących z wykonanej analizy empirycznej.

## 2) Tłó literaturowe

Allan et al. (2007b) zauważyli, że energia odgrywa o wiele ważniejszą rolę w pobudzeniu wzrostu gospodarczego niż się powszechnie uważa. Z makroekonomicznego punktu widzenia niezwykle istotne jest, czy poprawa efektywności energetycznej ma charakter jednorazowy czy też stanowi proces ciągły. Trwały wpływ na dynamikę wzrostu gospodarczego może wywierać jedynie proces o charakterze ciągłym, zaś jednorazowy spadek energochłonności prowadzi wyłącznie do skokowego wzrostu poziomu aktywności gospodarczej, czyli poziomu PKB (Allan et al., 2006).

Obniżanie się energochłonności gospodarki wywiera również bezpośredni i pośredni wpływ na wzorzec konsumpcji gospodarstw domowych. Proces ten oddziałuje w kierunku obniżenia udziału wydatków na energię w koszyku gospodarstw domowych (efekt bezpośredni), co umożliwia przeznaczenie większej części ich budżetów na inne dobra i usługi (efekt pośredni), zmniejszając tym samym skalę ubóstwa energetycznego – definiowanego dosyć powszechnie jako wydatkowanie ponad 10% dochodów na energię (Heffner, Campbell, 2011).

Dodatkowo, wywołany zwiększeniem poziomu aktywności gospodarczej wzrost zatrudnienia i płac zwiększa dochody do dyspozycji, wywołując dalsze bodźce popytowe oraz wpływając na zmianę sektorowej struktury produkcji w gospodarce – w formie efektów pośrednich.

Efekty sektorowe dotyczą przede wszystkim heterogenicznych reakcji poszczególnych gałęzi gospodarki na zmniejszanie się energochłonności, tj. poprawę ich konkurencyjności (niższe koszty energii – efekty pierwotne) i produktywności (bardziej efektywna technologia – efekty wtórne) – por. Worrell et al. (2003). Ceny energii mają bowiem wpływ na koszty produkcji większości wytwarzanych w gospodarce dóbr (de Gregorio, 2012). Efekty te odgrywają rzecz jasna szczególną rolę dla branż przemysłowych, w przypadku których nośniki energii stanowią istotną pozycję struktury kosztów. Niezwykle ważne są również efekty równowagi ogólnej, wynikające ze wzajemnych powiązań poszczególnych gałęzi w łańcuchu dostaw. Poprawa efektywności energetycznej oznacza ponadto transfer kapitału w kierunku mniej energochłonnych, a bardziej pracochłonnych gałęzi gospodarki, co powoduje istotne zmiany w sektorowej strukturze produkcji i zatrudnienia (Ryan, Campbell 2012). W szczególności, zmniejszenie popytu na energię w gospodarce prowadzi do ograniczenia skali działalności przez branże paliwowo-energetyczne (Barker, Foxon, 2008; Environment Northeast, 2012). Z kolei w przypadku pozostałych gałęzi gospodarki poprawa konkurencyjności i wzrost wolumenu produkcji są tym większe, im wyższy jest udział wydatków na energię w całkowitych kosztach produkcji. Warto także nadmienić, iż to właśnie sektory paliwowo-energetyczne należą do branż najbardziej energochłonnych, toteż w ich przypadku poprawa konkurencyjności oraz indukowany spadek cen produktów i wzrost wolumenu produkcji są najsilniejsze. Oddziałujący w kierunku zmniejszenia skali produkcji efekt silnego spadku popytu na ich produkty w innych branżach jest jednak silniejszy niż pozytywny efekt po stronie podażowej, związany z poprawą efektywności energetycznej (Allan et al., 2006).

Spadek energochłonności wywiera także wpływ na bilans handlowy oraz konkurencyjność międzynarodową gospodarek (Ryan, Campbell, 2012) – odmienny dla importerów i eksporterów produktów energetycznych. W przypadku importerów netto poprawa efektywności energetycznej skutkuje wzrostem eksportu z powodu spadku kosztów produkcji i tym samym poprawy konkurencyjności cenowej. Efekt ten jest najsilniejszy w przypadku branż najbardziej energochłonnych (Allan et al., 2006). Zmniejszone zużycie paliw i energii prowadzi z kolei do zmniejszenia importu tego typu produktów (Barker, Foxon, 2008). W efekcie można oczekiwać poprawy salda wymiany handlowej dla importerów netto nośników energii w odpowiedzi na spadek energochłonności ich gospodarek. W przypadku eksporterów netto poprawa efektywności energetycznej w gospodarce ich partnerów handlowych powoduje jednak spadek popytu na nośniki energii, a w konsekwencji zmniejszenie eksportu tego rodzaju produktów do tych krajów oraz pogorszenie salda wymiany handlowej.

Istotną rolę odgrywają także fiskalne konsekwencje poprawy efektywności energetycznej. Są one ściśle powiązane z oczekiwanymi efektami makroekonomicznymi. Długookresowy wpływ spadku energochłonności na sektor finansów publicznych stanowi pochodną dwóch przeciwstawnych efektów. Z jednej strony następuje spadek znaczenia wpływów z opodatkowania nośników energii w strukturze dochodów budżetowych, co związane jest z ograniczeniem popytu na paliwa i energię (Environment Northeast, 2012). Dotyczy to w szczególności podatku akcyzowego. Co ważne, wpływy do budżetu z tego tytułu mogą nawet ulec obniżeniu w kategoriach bezwzględnych w przypadku znaczącej skali odejścia od paliw kopalnych (Olmos et al., 2011). Z drugiej strony obniżeniu powinny ulegać wydatki związane z konsumpcją energii przez sektor publiczny, a także z subsydiowaniem jej produkcji i konsumpcji (Ryan, Campbell, 2012). Równie ważne, o ile nie ważniejsze od wspomnianych

efektów bezpośrednich są jednak efekty pośrednie, wynikające z oczekiwanego zwiększenia poziomu aktywności gospodarczej – szczególnie w branżach energochłonnych. Powinny one skutkować zwiększeniem wpływów z tytułu podatku VAT oraz z podatku dochodowego od osób fizycznych (PIT) i prawnych (CIT). Uważa się ponadto, że efekt netto zmiany dochodów, będący skutkiem funkcjonowania opisanych mechanizmów, powinien być pozytywny, prowadząc do wzrostu ogólnego poziomu wpływów podatkowych (Environment Northeast, 2012).

Zmniejszenie jednostkowego zużycia energii może również spowodować obniżenie cen jej nośników. Warunkiem koniecznym wystąpienia takiej sytuacji jest spadek energochłonności o charakterze globalnym, czyli na poziomie całej gospodarki światowej (Ryan, Campbell, 2012). Poziom cen energii byłoby wówczas niższy, lecz jedynie względem scenariusza bazowego, zakładającego brak zmian efektywności energetycznej. W porównaniu do dzisiejszych poziomów oczekuje się bowiem wzrostu cen energii w czasie we wszystkich rozpatrywanych scenariuszach (IEA, 2014). W scenariuszu globalnej poprawy efektywności energetycznej wzrost ten byłby jednak mniejszy niż w sytuacji braku ograniczenia popytu na energię (Ecofys, 2013). Warto również nadmienić, że poprawa efektywności energetycznej zwiększa odporność gospodarki na szoki zewnętrzne związane z silnymi zmianami światowych cen paliw. Gospodarki o niższej energochłonności doświadczają w takich sytuacjach proporcjonalnie mniejszego wzrostu jednostkowych kosztów produkcji, pogarszającego konkurencyjność rodzimych przedsiębiorstw (Matheny, 2010).

Dotychczasowe rozważania teoretyczne oraz obserwacje empiryczne wskazują, że część redukcji zużycia energii wskutek poprawy efektywności energetycznej bywa odwracana przez zwiększenie popytu na nośniki energii. W rezultacie procentowe zmniejszenie całkowitego zużycia energii jest słabsze niż procentowy spadek jej zużycia jednostkowego. Zjawisko to określa się mianem efektu odbicia (*rebound effect*). Implikuje ono także, iż poprawa efektywności energetycznej może dostarczyć mniejszych oszczędności energii niż wynika to z prostego przemnożenia wartości względnej zmiany energochłonności przez początkowe zużycie energii (Gillingham et al., 2016). W skrajnym przypadku może dojść nawet do bezwzględnego wzrostu jej zużycia, określanego mianem *backfire* (Sorrell, 2007; Gillingham et al., 2016). Jako pierwszy na taką możliwość wskazał Jevons (1865) w swoim słynnym paradoksie, zaś koncepcję tę rozwinęli Khazzoom (1980) oraz Brookes (1990). Saunders (1992, 2000) określił ją z kolei mianem postulat Khazzooma-Brookes'a. Głosi on, że wszelkie efektywne kosztowo działania z zakresu poprawy efektywności energetycznej zwiększają konsumpcję energii w stosunku do poziomu wyjściowego. Należy jednak zauważyć, że o ile wzrost zużycia energii wynika w tym przypadku ze wzrostu poziomu aktywności gospodarczej, o tyle nie ulega zmianie kwestia fundamentalna, tj. zmniejszenie energochłonności wywołane przez poprawę efektywności energetycznej (Environment Northeast, 2012).

### 3) Cele i hipotezy badawcze

W ramach niniejszej rozprawy sformułowano następujące hipotezy badawcze, których zasadność została poddana empirycznej weryfikacji:

1. Kontynuacja spadku energochłonności polskiej gospodarki spowoduje zwiększenie – względem bazowego scenariusza stałej energochłonności – ogólnego poziomu aktywności gospodarczej.
2. Wskutek heterogeniczności wyjściowego poziomu energochłonności oraz jej oczekiwanych zmian w poszczególnych branżach nastąpi istotna zmiana sektorowej struktury gospodarki; procesowi temu będą towarzyszyć przepływy zasobów kapitału i pracy z branż tracących na znaczeniu w kierunku najszybciej rozwijających się gałęzi gospodarki.

3. W ramach danego poziomu salda handlowego (równowagi zewnętrznej) wyraźnej zmianie ulegnie produktowa struktura wymiany handlowej z zagranicą – zarówno importu, jak i eksportu.
4. Nastąpi spadek wartości oraz udziału wydatków na zakup produktów energetycznych w całkowitych wydatkach gospodarstw domowych i rządu; towarzyszyć mu będzie zwiększenie wartości oraz udziału konsumpcji dóbr i usług nieenergetycznych.
5. Poprawa efektywności energetycznej będzie prowadzić do obniżenia dochodów sektora finansów publicznych z tytułu opodatkowania produktów energetycznych; ubytek ten zostanie jednak w pewnym stopniu zrekompensowany przez zwiększenie dochodów z innych źródeł, wynikające ze wzrostu ogólnego poziomu aktywności gospodarczej.
6. Nastąpi spadek łącznego zużycia energii w gospodarce; w ujęciu względnym będzie on jednak słabszy niż oczekiwany spadek energochłonności.

#### 4) Metoda badawcza

Jak zauważyli Greening et al. (2000), ceny w gospodarce podlegają licznym i kompleksowym dostosowaniom wskutek zmian efektywności energetycznej. W tym kontekście wyłącznie podejście analityczne oparte na teorii równowagi ogólnej jest w stanie dokonać ich pełnej i wiarygodnej kwantyfikacji. Poprawa efektywności energetycznej „rozlewa” się bowiem na całą gospodarkę poprzez szereg mechanizmów dostosowawczych, wpływających na ceny i wolumeny produkcji oraz konsumpcji poszczególnych dóbr i usług. Heterogeniczność energochłonności, możliwości substytucji nakładów w procesie produkcji oraz elastyczności popytu w poszczególnych gałęziach gospodarki (Allan et al., 2006) skutkuje asymetrycznymi reakcjami poszczególnych cen w odpowiedzi na zmiany efektywności energetycznej, co wymaga uwzględniania w analizach wymiaru sektorowego. Z wymienionych powodów obliczeniowe modele równowagi ogólnej (*computable general equilibrium, CGE*) stanowią odpowiednie narzędzie do oceny ogólnogospodarczych skutków zmian efektywności energetycznej, mających wpływ na niemal wszystkie obszary gospodarki (Allan et al., 2006, 2007a). Wielosektorowość modeli tej klasy umożliwia z kolei badanie współzależności oraz sprzężeń zwrotnych pomiędzy poszczególnymi gałęziami gospodarki oraz ich interakcji z zagranicą, przy uwzględnieniu różnic w strukturze kosztów produkcji (praco-, kapitało- i materiałochłonność, wykorzystanie krajowych i importowanych produktów), strukturze odbiorców wytwarzanych produktów (popyt pośredni/finalny, popyt krajowy/eksport), stopniu otwartości na wymianę handlową, obciążeniach podatkowych czy możliwości substytucji pomiędzy nakładami w procesach produkcyjnych. W konsekwencji możliwe jest śledzenie efektów bezpośrednich i pośrednich (drugiej rundy, równowagi ogólnej) oraz efektów dystrybucyjnych związanych z heterogenicznym wpływem rozpatrywanych szoków symulacyjnych na poszczególne sektory gospodarki (Allan et al., 2007a; Barker, Foxon, 2008; Gillingham et al., 2016). Warto zauważyć, że modele CGE są powszechnie wykorzystywane nie tylko w analizach dotyczących zmian energochłonności, lecz także innych zagadnień klimatyczno-energetycznych (Allan et al., 2007a).

Z powyższych względów narzędzie analityczne wykorzystane w niniejszej rozprawie stanowi autorski, wielosektorowy, rekursywnie dynamiczny, obliczeniowy model równowagi ogólnej (*computable general equilibrium, CGE*) o nazwie GEMPOL (*General Equilibrium Model for Poland*), skalibrowany dla polskiej gospodarki oraz ujmujący Polskę jako małą gospodarkę otwartą (*small open economy, SOE*), z bazowym rokiem 2010. Model uwzględni 83 produkty oraz gałęzie gospodarki, 3 kategorie podaży pracy (wysoko, średnio oraz nisko wykwalifikowaną), a także szczegółową dezagregację podatków pośrednich i bezpośrednich: VAT, akcyzę, cła importowe, pozostałe podatki od produktów i dotacje do produktów, podatki od producentów i dotacje dla producentów, a także podatki dochodowe od pracy i kapitału. GEMPOL przyjmuje standardowe dla zdecydowanej większości modeli CGE założenia: stałych

korzyści skali, doskonałej konkurencji oraz zagnieżdżonych funkcji produkcji i konsumpcji. Model został napisany w języku GAMS/MPSGE oraz jest rozwiązywany jako problem mieszanej komplementarności (*mixed complementarity problem*, MCP).

Model GEMPOL został skalibrowany na podstawie tablic podaży i wykorzystania za 2010 r. (GUS, 2014), których wyjściowy układ wyróżnia 77 produktów i gałęzi gospodarki. Wybór roku bazowego był podyktowany faktem, że to właśnie dla 2010 r. dostępne są najnowsze tablice podaży i wykorzystania dla polskiej gospodarki o większym niż zazwyczaj stopniu szczegółowości. Tak szczegółowe tablice sporządzane są bowiem w odstępach pięcioletnich, z około czteroletnim opóźnieniem. Istotnym mankamentem tego zbioru danych jest jednak nadmierna agregacja produktów oraz gałęzi paliwowo-energetycznych (*Węgiel kamienny i brunatny; Ropa naftowa i gaz ziemny, rudy metali, produkty górnictwa pozostałe; Energia elektryczna, gaz, para wodna i gorąca woda*). Uniemożliwia ona w rezultacie śledzenie szczegółowych zmian wielkości produkcji, importu oraz zużycia paliw kopalnych, energii elektrycznej i ciepła przez poszczególne gałęzie gospodarki. Biorąc pod uwagę tę niedostateczną szczegółową reprezentację sektorową, dla potrzeb konstrukcji modelu niezbędna okazała się dalsza, autorska dezagregacja opracowanych przez GUS tablic, umożliwiająca zwiększenie stopnia szczegółowości reprezentacji produktów i gałęzi paliwowo-energetycznych, a także ich liczby do 83. Wartości niekalibrowalnych elastyczności substytucji dla zagnieżdżonych funkcji produkcji zostały z kolei w przeważającej mierze oszacowane samodzielnie (Antoszewski, 2017), z wykorzystaniem technik estymacji panelowej oraz w oparciu o bazę *World Input-Output Database* (Timmer et al., 2015).

Skonstruowany na potrzeby niniejszej rozprawy model GEMPOL został następnie wykorzystany do przeprowadzenia analizy empirycznej – w formie symulacji kontrfaktycznych. Dotyczyła ona zbadania makroekonomicznych, sektorowych i fiskalnych konsekwencji długookresowej poprawy efektywności energetycznej, obejmującej dwa istotne wymiary. Pierwszy z nich to wzrost produktywności procesów wytwórczych w polskiej gospodarce, tj. spadek energochłonności w poszczególnych branżach, wynikający z poprawy wydajności dostępnych technologii produkcyjnych. Drugi stanowi z kolei zmiana preferencji gospodarstw domowych oraz rządu – w kierunku większej konsumpcji dóbr i usług nieenergetycznych kosztem produktów paliwowo-energetycznych. W tym kontekście można również mówić o poprawie „efektywności” wykorzystania nośników energii przez odbiorców finalnych, umożliwiającej zwiększenie poziomu użyteczności osiągniętej z konsumpcji danej wiązki tego typu wyrobów. Wykorzystanie w tym celu symulacji kontrfaktycznych wynika z faktu, że bezpośrednia ocena ekonomicznych skutków zmniejszania się energochłonności produkcji i konsumpcji jest niezwykle trudna ze względu na niemożność obserwacji alternatywnej rzeczywistości, w której energochłonność produkcji i konsumpcji pozostawałaby niezmienna w czasie.

Rekursywnie dynamiczny charakter modelu GEMPOL umożliwia konstrukcję scenariusza bazowego (*business as usual*, BAU), odzwierciedlającego oczekiwane w przyszłości tendencje rozwoju polskiej gospodarki przy założeniu braku dalszego obniżania się jej energochłonności. Po kalibracji modelu oraz wyznaczeniu wartości zmiennych endogenicznych dla danego roku, począwszy od roku bazowego, następuje przejście – w odstępach pięcioletnich – do kolejnego okresu, poprzez równanie akumulacji kapitału, a także poprzez zmianę zasobów pracy oraz innych założeń egzogenicznych, w tym parametrów technologicznych, czyli poprzez zmiany produktywności. Co warte podkreślenia, scenariusz bazowy zakłada brak zmian energochłonności w latach 2015-2050. Implikuje to więc ustalenie energochłonności produkcji i konsumpcji na stałym poziomie, wynikającym z początkowej kalibracji modelu



oraz z uwzględnienia historycznych zmian jednostkowego zużycia energii, które miały miejsce w latach 2010-2015.

Scenariusz dalszej poprawy efektywności energetycznej, czyli scenariusz centralny przyjmuje niemal taki sam zestaw założeń egzogenicznych jak scenariusz bazowy – z wyjątkiem zmian wartości części parametrów technologicznych, związanych z produktami energetycznymi. W przeciwieństwie do scenariusza bazowego poprawa efektywności energetycznej w scenariuszu centralnym zachodzi więc nie tylko w latach 2010-2015, lecz w całym okresie 2010-2050. Symulowane w modelu szoki odzwierciedlają oczekiwaną poprawę efektywności energetycznej procesów produkcyjnych w poszczególnych branżach gospodarki, tj. spadek energochłonności wynikający z poprawy technologii, a nie ze zmiany gałęziowej struktury całej gospodarki. Z technicznego punktu widzenia prowadzą się one zatem do wzrostu produktywności paliw kopalnych oraz energii elektrycznej i ciepła, czyli do spadku ich zużycia przypadającego na jednostkę wytwarzanych w danej gałęzi produktów. Modelowany wzrost produktywności dotyka w jednakowym stopniu wszystkich produktów energetycznych wykorzystywanych przez daną branżę, lecz jego skala różni się dla poszczególnych gałęzi gospodarki. Takie podejście jest najbardziej powszechne w literaturze (por. Allan et al., 2006), a także jest warunkowane dostępnością odpowiednich projekcji techniczno-inżynierskich. Założono ponadto, że dalsza poprawa efektywności energetycznej nie zachodzi w *stricte* paliwowo-energetycznych gałęziach gospodarki. Jak zauważyli Allan et al. (2007a), można spotkać się z opinią, iż tego typu branże funkcjonują już obecnie niejako na granicy „limitów termodynamicznych”, w związku z czym nie jest możliwe zwiększenie przez nie wolumenu produkcji przy utrzymaniu dotychczasowego zużycia produktów energetycznych. Źródłem projekcji nt. oczekiwanych zmian energochłonności w poszczególnych gałęziach gospodarki oraz dla konsumpcji finalnej jest opracowanie Komisji Europejskiej (2016) pt. *EU Reference Scenario 2016 – Energy, transport and GHG emissions – Trends to 2050*. To właśnie porównanie wyników scenariusza centralnego ze scenariuszem stałej energochłonności (BAU) umożliwia ocenę makroekonomicznych, sektorowych i fiskalnych konsekwencji obniżania się energochłonności polskiej gospodarki w rozpatrywanym horyzoncie czasowym. Porównanie to udziela także odpowiedzi na pytanie, jaka jest skala społeczno-ekonomicznych korzyści związanych z obserwowaną poprawą efektywności energetycznej w gospodarce Polski.

Przeprowadzone symulacje zostały ponadto wzbogacone o analizę wrażliwości otrzymanych wyników ze względu na skalę rozpatrywanych szoków egzogenicznych, związanych z poprawą efektywności energetycznej w czasie. Miała ona na celu uwytklenie niepewności towarzyszącej projekcjom Komisji Europejskiej (2016). W tym celu opracowano dodatkowe scenariusze symulacyjne, alternatywne względem scenariusza centralnego. Obejmowały one o połowę szybszą oraz o połowę wolniejszą poprawę efektywności energetycznej. W analizie wrażliwości uwzględniono również scenariusz „kosztownej” poprawy efektywności energetycznej, o takiej samej skali jak w scenariuszu centralnym. Jej osiągnięcie wymaga poniesienia konkretnych wydatków inwestycyjnych., które nie prowadzą do akumulacji kapitału, lecz niejako „uwalniają” techniczne możliwości zmniejszenia jednostkowego zużycia energii.

## 5) Uzyskane wyniki oraz ich znaczenie

Na podstawie przeprowadzonego badania oraz otrzymanych wyników można sformułować szereg wniosków w zakresie makroekonomicznych, sektorowych i fiskalnych skutków zmniejszenia się energochłonności polskiej gospodarki. Konkluzje te są zasadniczo zbiteżne z postawionymi hipotezami badawczymi – z wyjątkiem części hipotezy czwartej, dotyczącej zmian wartości i struktury konsumpcji prywatnej oraz publicznej.

Należy jednak zwrócić uwagę, że zaprezentowane poniżej odchylenia wartości poszczególnych zmiennych, mierzone w odniesieniu do scenariusza bazowego, nie powinny być interpretowane jako prognozy, których trafność będzie można zweryfikować z dokładnością do kilku miejsc po przecinku w ujęciu *ex post* – po zaobserwowaniu ich rzeczywistych wartości. W symulacjach kontrfaktycznych porównywane są bowiem dwa hipotetyczne stany gospodarki w przyszłości, zaś otrzymywane wyniki są warunkowe względem parametryzacji modelu oraz urzeczywistnienia się przyjętych założeń egzogenicznych. Wyniki symulacji nie są zatem bezpośrednio porównywalne z publikowanymi na bieżąco, oficjalnymi danymi statystycznymi nt. zmian stanu gospodarki w czasie. Warto zaznaczyć, że również istotne co precyzyjne, ilościowe wyniki symulacji są także wnioski o charakterze jakościowym, dotyczące kierunku zmian wartości poszczególnych zmiennych oraz wzajemnych relacji pomiędzy nimi.

Po pierwsze, rozpatrywana w kategoriach pozytywnego szoku technologicznego kontynuacja spadku energochłonności polskiej gospodarki powoduje zwiększenie – względem bazowego scenariusza stałej energochłonności – ogólnego poziomu aktywności gospodarczej, mierzonego przez takie agregaty makroekonomiczne jak PKB (od 1,39% w 2020 r. do 5,67% w 2050 r.), produkcja globalna (od 0,40% w 2020 r. do 0,51% w 2050 r.), konsumpcja prywatna (od 2,19% w 2020 r. do 9,52% w 2050 r.) i publiczna (od 0,33% w 2020 r. do 0,41% w 2050 r.), inwestycje (od 1,58% w 2020 r. do 6,69% w 2050 r.) czy zasób kapitału (od 0,62% w 2025 r. do 4,91% w 2050 r.). Otrzymane wyniki potwierdzają zatem hipotezę badawczą nr 1.

Po drugie, wskutek heterogeniczności wyjściowego poziomu energochłonności oraz jej oczekiwanych zmian w poszczególnych branżach następuje istotna zmiana sektorowej struktury gospodarki. Można oczekiwać wyraźnego spadku produkcji w gałęziach paliwowo-energetycznych (maksymalnie od 3,60% w 2020 r. do 16,09% w 2050 r.) oraz wzrostu aktywności w energochłonnych gałęziach przemysłowych (maksymalnie od 2,05% w 2020 r. do 6,71% w 2050 r.). Procesowi temu towarzyszą przepływy zasobów kapitału i pracy z branż tracących na znaczeniu w kierunku najszybciej rozwijających się gałęzi gospodarki. Otrzymane wyniki potwierdzają zatem hipotezę badawczą nr 2.

Po trzecie, wyraźnej zmianie ulega produktowa struktura wymiany handlowej z zagranicą – zarówno importu, jak i eksportu. W ramach danego poziomu salda handlowego (równowagi zewnętrznej) spadek krajowego zapotrzebowanie na paliwa i produkty energetyczne powoduje zmniejszenie ich importu (maksymalnie od 8,20% w 2020 r. do 34,91% w 2050 r.) oraz wzrost eksportu ich produkcji krajowej (maksymalnie od 2,32% w 2020 r. do 12,76% w 2050 r.). Umożliwia to w efekcie przekierowanie strumienia wydatków, powodujące wzrost importu dóbr i usług nieenergetycznych (maksymalnie od 2,76% w 2020 r. do 19,29% w 2050 r.), zaś zwiększony popyt krajowy powoduje zmniejszenie skali eksportu tego typu produktów (maksymalnie od 2,16% w 2020 r. do 18,70% w 2050 r.). Poprawa konkurencyjności krajowej produkcji dóbr energochłonnych skutkuje wzrostem ich eksportu (maksymalnie od 1,38% w 2020 r. do 4,25% w 2050 r.). Silna importochłonność gałęzi energochłonnych prowadzi jednak także do zwiększenia importu tego typu dóbr (maksymalnie od 1,53% w 2020 r. do 5,30% w 2050 r.). Całkowita wartość i wolumen eksportu oraz importu nie zmieniają się

jednak istotnie, co w obliczu zwiększenia PKB implikuje zmniejszenie stopnia otwartości polskiej gospodarki. Otrzymane wyniki potwierdzają zatem hipotezę badawczą nr 3.

Po czwarte, następuje stosunkowo niewielki spadek procentowego udziału kosztów zakupu produktów energetycznych, tj. paliw kopalnych, energii elektrycznej i ciepła, w całkowitych wydatkach gospodarstw domowych oraz rządu: odpowiednio od 0,08 pp. i około zera w 2020 r. do 0,39 pp. i 0,01 pp. w 2050 r. Co więcej, wskutek wzrostu ogólnego poziomu aktywności gospodarczej i związanego z nim powiększenia dochodów prywatnych i publicznych bezwzględna wartość wydatków prywatnych i publicznych na tego typu dobra ulega jednak zwiększeniu: maksymalnie odpowiednio od 3,67% i 1,60% w 2020 r. do 12,36% i 7,97% w 2050 r. Wzrastają ponadto wydatki na dobra i usługi nieenergetyczne – od 2,28% w 2020 r. do 10,00% w 2050 r. w przypadku gospodarstw domowych oraz maksymalnie od 3,25% w 2020 r. do 30,70% w 2050 r. w przypadku rządu. Otrzymane wyniki nie potwierdzają więc w pełni hipotezy badawczej nr 4.

Po piąte, poprawa efektywności energetycznej prowadzi do obniżenia dochodów sektora finansów publicznych z tytułu opodatkowania produktów energetycznych, tj. paliw kopalnych, energii elektrycznej, ciepła i pochodnych. W efekcie całkowitemu zmniejszeniu ulegają dochody z akcyzy (od 0,08 mld PLN w 2020 r. do 1,92 mld PLN w 2050 r.) oraz z pozostałych podatków od produktów (od 0,09 mld PLN w 2020 r. do 1,43 mld PLN w 2050 r.), których kluczową część stanowi opłata paliwowa. Ubytek ten zostaje jednak z dużą nawiązką zrekompensowany przez wyższe dochody z innych źródeł, wynikające ze wzrostu ogólnego poziomu aktywności gospodarczej: wynagrodzenia kapitału publicznego (od 8,06 mld PLN w 2020 r. do 165,04 mld PLN w 2050 r.), opodatkowania kapitału (od 1,80 mld PLN w 2020 r. do 36,86 mld PLN w 2050 r.) i pracy (od 5,08 mld PLN w 2020 r. do 22,46 mld PLN w 2050 r.) oraz podatku VAT (od 1,22 mld PLN w 2020 r. do 16,62 mld PLN w 2050 r.). W rezultacie możliwe jest zwiększenie wydatków rządowych – zarówno konsumpcyjnych (od 13,64 mld PLN w 2020 r. do 190,12 mld PLN w 2050 r.), jak i inwestycyjnych (od 2,30 mld PLN w 2020 r. do 44,26 mld PLN w 2050 r.). Otrzymane wyniki potwierdzają zatem hipotezę badawczą nr 5.

Po szóste, następuje spadek całkowitego zużycia energii w gospodarce (od 2,95% w 2020 r. do 11,94% w 2050 r.). Na wynik ten składają się ograniczenie zużycia pośredniego (od 4,02% w 2020 r. do 17,60% w 2050 r.) oraz wzrost zużycia finalnego (od 3,94% w 2020 r. do 20,60% w 2050 r.). W ujęciu względnym łączny spadek zużycia energii jest jednak mniejszy niż spadek energochłonności (od 10,81% w 2020 r. do 42,26% w 2050 r.). Oznacza to wystąpienie efektu odbicia (*rebound effect*) w zużyciu energii, wynoszącego ok. 71-73% w zależności od rozpatrywanego okresu. Otrzymane wyniki potwierdzają zatem hipotezę badawczą nr 6.

Przeprowadzona analiza wrażliwości uwypukla dodatnią zależność rozmiaru oczekiwanych, ekonomicznych skutków poprawy efektywności energetycznej w Polsce od zakładanej skali tego rodzaju postępu technologicznego. Z tego względu otrzymane wyniki należy traktować jako warunkowe względem przyjętych projekcji zmian jednostkowego zużycia energii w polskiej gospodarce w horyzoncie do 2050 r. Co szczególnie istotne, ogólnogospodarcze konsekwencje tego zjawiska są wyraźnie pozytywne nawet w przypadku konieczności poniesienia dodatkowych nakładów inwestycyjnych, zmierzających do zmniejszenia jednostkowego zużycia energii. Sugeruje to, że działania w zakresie polityki gospodarczej zmierzające do poprawy efektywności energetycznej należy uznać za pożądane.

Symulacje kontrfaktyczne przeprowadzone w ramach niniejszej rozprawy mogą przyczynić się do wzrostu świadomości w zakresie roli długookresowych konsekwencji postępującego zmniejszania się jednostkowego zużycia energii dla poszczególnych sfer polskiej gospodarki. Bezpośrednia ocena ekonomicznych skutków tego zjawiska jest bowiem niezwykle trudna

ze względu na niemożność obserwacji alternatywnej rzeczywistości, w której energochłonność produkcji i konsumpcji pozostałaby niezmienna w czasie. Otrzymane wyniki wskazują także na konieczność podjęcia określonych działań dostosowawczych przez sektor prywatny oraz publiczny. Właściciele oraz zarządzający przedsiębiorstwami w poszczególnych branżach powinni być przygotowani na zachodzące wskutek poprawy efektywności energetycznej oraz mające charakter ciągły zmiany strukturalne w gospodarce, które nie wiążą się bezpośrednio z bieżącymi wahaniami koniunkturalnymi. W szczególności, zmiany te będą wymagać elastycznych reakcji - w zakresie kształtowania wolumenu produkcji, wykorzystania czynników produkcji czy zaangażowania na rynkach zagranicznych - w odpowiedzi na różnokierunkowe zmiany popytu krajowego na wytwarzane produkty. Gospodarstwa domowe powinny uświadomić sobie fakt, iż udział wydatków na nośniki energii w ich budżetach będzie ulegać obniżeniu wraz z upływem czasu, uwalniając tym samym dodatkowe środki finansowe na zakup dóbr i usług nieenergetycznych. Wiedza ta umożliwi bardziej efektywne planowanie wydatków w ramach budżetów domowych. W przypadku sektora finansów publicznych szczególnie istotna powinna być świadomość zmian zachodzących nie tylko w wysokości, lecz także w strukturze dochodów podatkowych. Dynamiki zmian wartości bazy dla poszczególnych rodzajów podatków nie będą bowiem równe dynamice zmian ogólnego poziomu aktywności gospodarczej. Rodzi to rzecz jasna konieczność realistycznego planowania budżetowego w zakresie dochodów podatkowych. Podejście wielorakich korzyści (*multiple benefits*) oraz otrzymane wyniki uwiadamiają rolę efektywności energetycznej jako jednego z ważniejszych czynników rozwoju gospodarczego. Przeprowadzone badanie może zatem ułatwić pełne zrozumienie przez polskich decydentów szeroko definiowanych konsekwencji spadku energochłonności rodzimej gospodarki, a także stanowić podstawę do zmiany priorytetów polityki gospodarczej - w kierunku zwiększeniu roli działań nakierowanych na poprawę efektywności energetycznej. Co warte podkreślenia, podobne badania i analizy będą pożądaną dopóty, dopóki wciąż zachodzić będzie poprawa efektywności energetycznej w gospodarce Polski. W chwili obecnej nic nie wskazuje jednak na rychłe zakończenie tego procesu.

## 6) Bibliografia

1. Allan G., Hanley N., McGregor P., Swales J., Turner K. (2006), *The Macroeconomic Rebound Effect and the UK Economy*, Final Report to the Department of Environment Food and Rural Affairs, London.
2. Allan G., Gilmartin M., Turner K., McGregor P., Swales K. (2007a), *UKERC Review of Evidence for the Rebound Effect. Technical Report 4: Computable general equilibrium modelling studies*, Research Report, REF UKERC/WP/TPA/2007/012, UK Energy Research Centre, London.
3. Allan G., Gilmartin M., Turner K., McGregor P., Swales K. (2007b), *UKERC Review of Evidence for the Rebound Effect. Technical Report 5: Energy, productivity and economic growth studies*, Research Report, REF UKERC/WP/TPA/2007/013, UK Energy Research Centre, London.
4. Allcott H., Greenstone M. (2012). Is There an Energy Efficiency Gap?, *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 26, No. 1, s. 3-28.
5. Antosiewicz M., Lewandowski P., Witajewski-Baltvilks J. (2016), Input vs. Output taxation – a DSGE approach to modelling resource decoupling, *Sustainability*, Vol. 8, Iss. 4, No. 352.
6. Antoszewski M. (2017), *Panel estimation of sectoral substitution elasticities for CES production functions*, MF Working Papers, No. 26-2017, Ministerstwo Finansów, Warszawa.
7. Barker T., Foxon T. (2008), *The Macroeconomic Rebound Effect and the UK Economy*, Research Report, REF UKERC/WP/ESM/2008/001, UK Energy Research Centre, London.
8. Brookes L. (1990), The greenhouse effect: The fallacies in the energy efficiency solution, *Energy Policy*, Vol. 18, No. 2, s. 199–201.
9. Bukowski M., Gąska J., Jackl F., Kassenberg A., Pankowicz A., Śniegocki A., Śpionek A., Karaczun Z., Szpor A. (2013), *Niskoemisyjna Polska 2050. Podróż do niskoemisyjnej przyszłości*, WISE, Warszawa.
10. de Gregorio J. (2012). *Commodity Prices, Monetary Policy and Inflation*, Working Paper, No. 359, Department of Economics, University of Chile, Santiago.
11. Ecofys (2013), *Saving energy: bringing down Europe's energy prices for 2020 and beyond*, Report for Friends of the Earth Europe and Climate Action Network Europe, Ecofys, Utrecht.
12. Environment Northeast (2012), *Energy Efficiency: Engine of Economic Growth in Eastern Canada*, ENE, Ottawa.
13. Gillingham K., Rapson D., Wagner G. (2016), The Rebound Effect and Energy Efficiency Policy, *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 10, No. 1, s. 68-88.
14. Główny Urząd Statystyczny (2014), *Rachunek podaży i wykorzystania towarów i usług w 2010 r.*, GUS, Warszawa.
15. Greening L., Greene D., Difiglio C. (2000), Energy Efficiency and Consumption – The Rebound Effect – a Survey, *Energy Policy*, Vol. 28, No. 6-7, s. 389-401.
16. Heffner G., Campbell N. (2011), *Evaluating the Co-benefits of Low-Income Energy Efficiency Programmes*, Workshop Report, Paris.
17. International Energy Agency (2014), *Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency*, Staff Paper, OECD/IEA, Paris.
18. Jevons W. (1865), *The coal question: an inquiry concerning the progress of the nation, and the probable exhaustion of our coal-mines*, Macmillan, New York.
19. Khazzoom J. (1980), Economic Implications of Mandated Efficiency in Standards for Household Appliances, *The Energy Journal*, Vol. 1, No. 4, s. 21-40.
20. Komisja Europejska (2016), *EU Reference Scenario 2016 – Energy, transport and GHG emissions – Trends to 2050*, EC, Brussels.
21. Malone L., Howland J., Gobeil B., Langille B., Dunsky P., Petraglia L. (2009), *Energy Efficiency: Engine of Economic Growth – a Macroeconomic Modelling Assessment*, Research Report, ENE, Ottawa.

22. Matheny A. P. (2010), *Reducing the impact of price shocks in energy-intensive economies*, Discussion Paper, No. 10-16, John F. Kennedy School of Government, Harvard University, Cambridge.
23. Metcalf G. (2008), An Empirical Analysis of Energy Intensity and Its Determinants at the State Level, *The Energy Journal*, Vol. 29, No. 3, s. 1-26.
24. Mulder P., de Groot H. (2004), *Decoupling Economic Growth and Energy Use*, Discussion Paper, No. 2004-005/3, Tinbergen Institute, Amsterdam.
25. Olmos L., Paziienza M., Ruester S., Sartori M., Galeotti M., Glachant J. (2011), *The Impact of Climate and Energy Policies on the Public Budget of EU Member States*, Policy brief, No. 2011/05, EUI, Firenze.
26. Plich M., Skrzypek J. (2016), Trendy energochłonności polskiej gospodarki, *Wiadomości Statystyczne*, nr 7/2016, s. 16-38.
27. Ryan L., Campbell N. (2012), *Spreading the Net: The Multiple Benefits of Energy Efficiency Improvements*, Insights Paper, OECD/IEA, Paris.
28. Saunders H. (1992), The Khazzoom-Brookes postulate and neoclassical growth, *The Energy Journal*, Vol. 13, No. 4, s. 131-149.
29. Saunders H. (2000), A View from the Macro Side: Rebound, Backfire and Khazzoom-Brookes, *Energy Policy*, Vol. 28, No. 6-7, s. 439-449.
30. Sorrell S. (2007), *The Rebound Effect: an Assessment of the Evidence for Economy-wide Energy Savings from Improved Energy Efficiency*, Research Report for UKERC, Sussex Energy Group, Falmer.
31. Timmer M. P., Dietzenbacher E., Los B., Stehrer R., de Vries G. J. (2015), An Illustrated User Guide to the World Input-Output Database: the Case of Global Automotive Production, *Review of International Economics*, Vol. 23, No. 3, s. 575-605.
32. Worrell E., Laitnerb J. A., Rutha M., Finmanb H. (2003), Productivity benefits of industrial energy efficiency measures, *Energy*, Vol. 28, No. 11, s. 1081-1098.

*Michał Antoszewski*