

**Politechnika
Warszawska**

**XXV KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA
RYNEK ENERGII ELEKTRYCZNEJ:
25 LAT DOŚWIADCZEŃ – NOWE OTWARCIE**

Koszty przerw i ograniczeń w zasilaniu energią elektryczną i ich wyznaczanie



prof. dr hab. inż. Józef Paska
mgr inż. Piotr Marchel
mgr inż. Łukasz Michalski

Kazimierz Dolny, 9 października 2019



Agenda prezentacji

1. Wstęp
2. Ogólne sformułowanie zagadnienia optymalizacji niezawodności zasilania energią elektryczną
3. Koszty zawodności i ich wyznaczanie
4. Wskaźnik wartości niedostarczonej energii
5. Podsumowanie

Uwagi Recenzenta



1. Wstęp

Ocena strat ekonomicznych powodowanych niedostatecznym poziomem bezpieczeństwa elektroenergetycznego, zawodnością systemu elektroenergetycznego, jest w szczególności niezbędna dla analizy alternatywnych planów rozwoju elektroenergetycznych systemów sieciowych.

Celowość podejmowania inwestycji podnoszących niezawodność systemu elektroenergetycznego można ocenić na podstawie relacji kosztów i spodziewanych korzyści. Narzędziem w tak rozumianym planowaniu rozwoju systemu jest analiza koszty – korzyści, znana jako wartościowanie niezawodności (VBRA - value-based reliability approach).

Jednym z elementów wartościowania niezawodności zasilania, niezawodności systemu elektroenergetycznego, bezpieczeństwa elektroenergetycznego, jest ocena kosztów strat wywołanych przerwami i ograniczeniami w dostawie energii elektrycznej.

2. Ogólne sformułowanie zagadnienia optymalizacji niezawodności zasilania energią elektryczną

Dla systemu elektroenergetycznego lub układu zasilania energią elektryczną można zapisać:

$$(1) \quad Z(A, R) = WS(A, R) - K_{\text{zap}}(A, R) \rightarrow \max$$

$$(2) \quad K(A, R) = K_{\text{zap}}(A, R) + K_{\text{str}}(A, R) \rightarrow \min$$

gdzie:

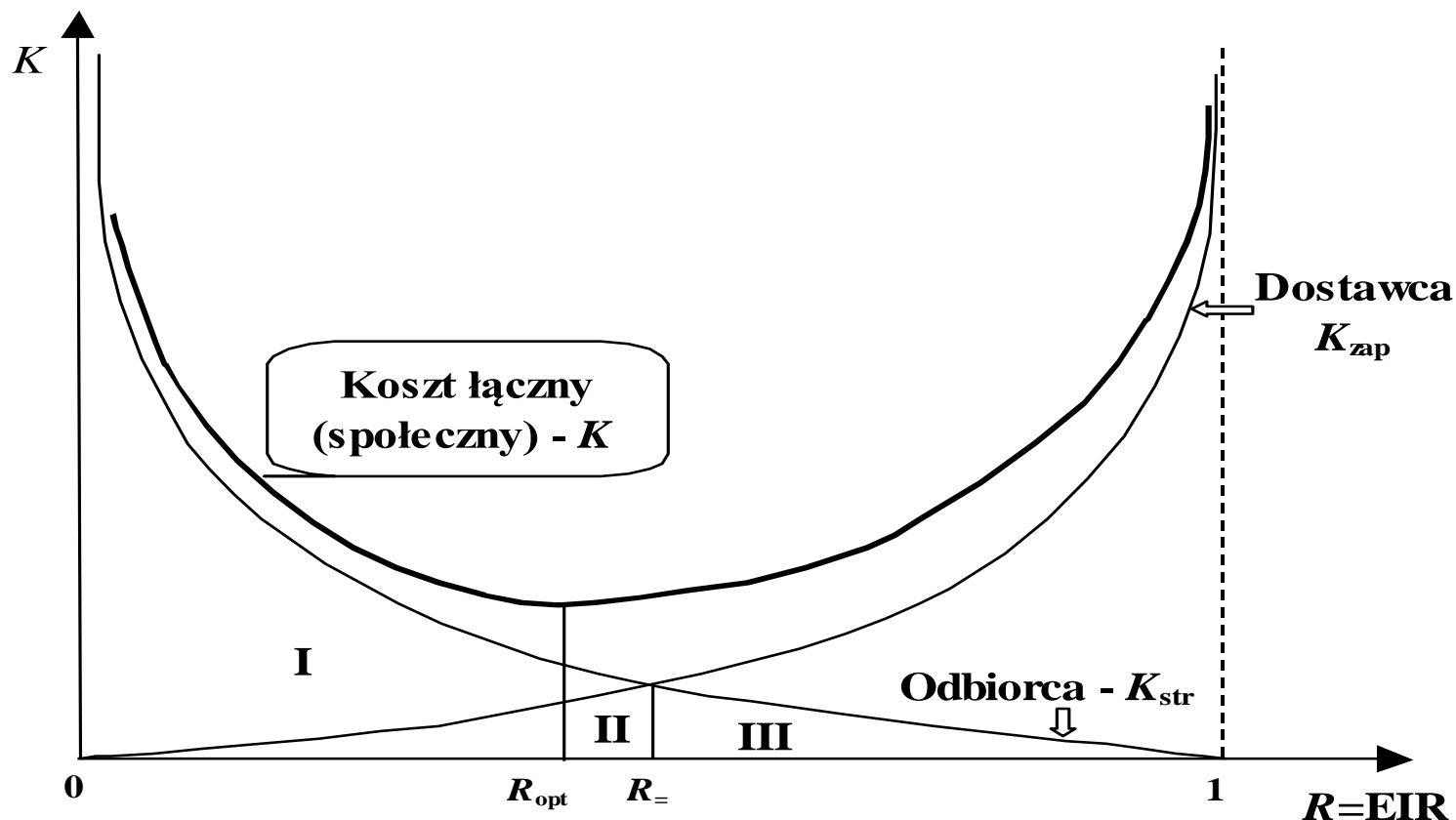
$Z(A, R)$ – wartość społeczną (zysk) pokrywania zapotrzebowania (popytu) na energię elektryczną A z niezawodnością R ,

$WS(A, R)$ – wartość sprzedaży energii w ilości A przy niezawodności R (jest to wyraz skłonności odbiorcy do zapłaty by zużyć A energii przy niezawodności jej dostawy R),

$K_{\text{zap}}(A, R)$ – koszty pokrywania popytu A z niezawodnością R ,

$K_{\text{str}}(A, R)$ – koszty strat wynikających z niedostatecznej niezawodności R ,

$K(A, R)$ – łączny (społeczny) koszt pokrywania popytu A z niezawodnością R .



Rys. 1. Całkowite (społeczne) koszty niezawodności:
 K – koszt; R – poziom niezawodności reprezentowany przez wskaźnik EIR;

R_{opt} – optymalny poziom niezawodności;
 $R_{=}$ – poziom niezawodności, przy którym następuje zrównanie kosztu zapewnienia niezawodności z kosztem strat wynikających z niedostatecznego jej poziomu; I – obszar efektywności działań dla poprawy niezawodności; II – obszar pośredni; III – obszar nieefektywności działań dla poprawy niezawodności

Do uszeregowania wariantów rozwoju lub eksploatacji systemu (układu zasilania) używa się kosztów całkowitych.

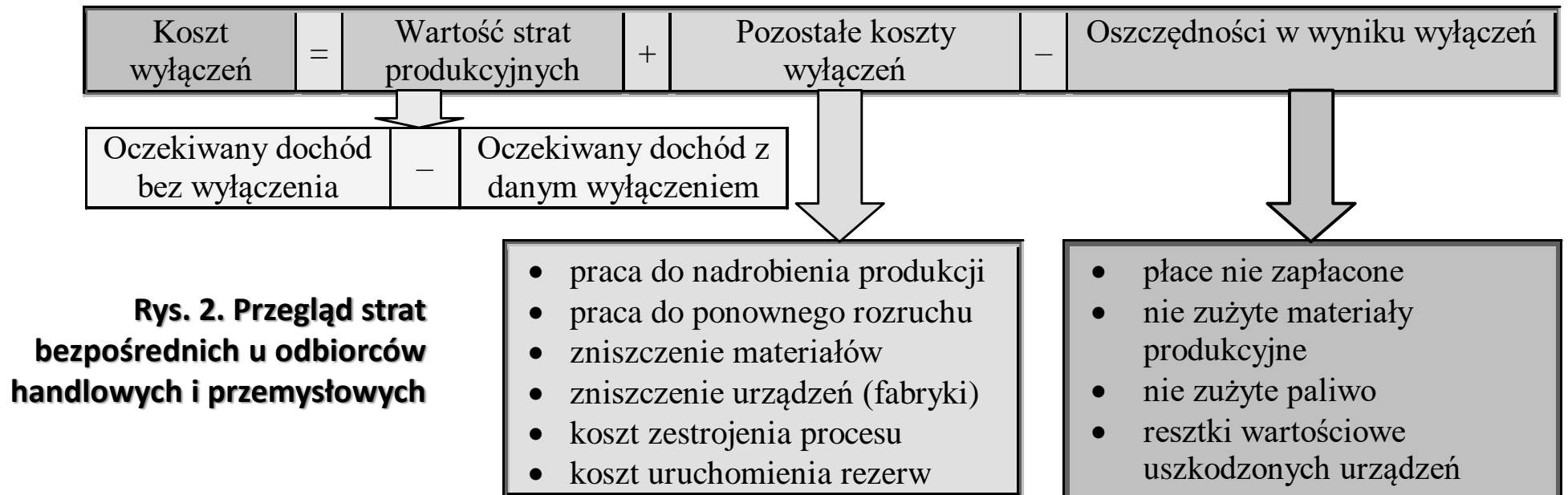
Całkowity koszt (zdyskontowany) jest określony zależnością: $K = K_{\text{zap}} + K_{\text{str}} = K_{\text{i}} + K_{\text{e}} + K_{\text{ne}}$,

gdzie: K – całkowity koszt wariantu, K_{i} – nakłady inwestycyjne wariantu, K_{e} – koszty operacyjne (eksploatacyjne), K_{ne} – koszt niedostarczonej energii.

Poszukuje się zatem wariantu, który ma minimalne koszty, składające się z kosztów strat u odbiorców w wyniku przerw i ograniczeń oraz niezbędnych nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacyjnych w całym wieloletnim okresie eksploatacji.

3. Koszty zawodności i ich wyznaczanie

Istotnym elementem, który wartościuje warianty rozbudowy, modernizacji i eksploatacji systemu elektroenergetycznego (układu zasilania), są straty wynikające z przerw i ograniczeń dostawy energii elektrycznej do odbiorców. Ta sama ilość niedostarczonej energii w różnych okresach działania przedsiębiorstwa może wywoływać różne straty gospodarcze. Te straty powinny reprezentować wartość niedostarczonej energii elektrycznej, oszacowana przez odbiorcę w szeroko zakrojonych badaniach ankietowych. Odbiorca udziela w nich odpowiedzi na wiele pytań, w tym na pytanie: jaką kwotę miałby ochotę zapłacić, żeby w danych warunkach uniknąć przerwy zasilania? Zwykle ustalana w ten sposób wartość energii niedostarczonej stanowi jej wartość krańcową dla przerwy o określonym czasie trwania, w danych warunkach pracy i sytuacji przedsiębiorstwa; w innych warunkach straty przy tej samej energii niedostarczonej mogą być zupełnie inne.



Rys. 2. Przegląd strat bezpośrednich u odbiorców handlowych i przemysłowych

- W badaniach przeprowadzonych w latach 80. XX wieku przez University of Saskatchewan dla Kanady wyróżniono 7 grup odbiorców: wielcy odbiorcy, przemysł, handel i usługi, rolnictwo, gospodarstwa domowe, instytucje rządowe i użyteczności publicznej, biura i budynki; oraz 5 charakterystycznych wartości czasu trwania przerwy w zasilaniu: 1 min, 20 min, 1 h, 4 h, 8 h. Otrzymane wartości określają tzw. sektorową funkcję kosztu strat odbiorcy (SCDF – Sector Customer Damage Function) i mogą być wykorzystane do analiz na trzecim poziomie hierarchicznym SEE - HL III.
- Nowsze badania, wykonane w Wielkiej Brytanii, dotyczyły trzech spółek dystrybucyjnych (Manweb, MEB, Norweb) w okresie od października 1992 do marca 1993. W ich efekcie określono SCDF dla czterech wyróżnionych grup odbiorców: gospodarstwa domowe, handel i usługi, przemysł, wielcy odbiorcy (powyżej 8 MW) oraz siedmiu charakterystycznych wartości czasu trwania przerwy: przerwa chwilowa, 1 min., 20 min., 1 h, 4 h, 8 h, 24 h.
- Szeroko zakrojone badania, finansowane przez Departament Energetyki zostały wykonane w Stanach Zjednoczonych AP w latach 1989-2005. Ich syntetyczne wyniki stanowią oszacowanie otrzymane z analizy wyników 28 badań ankietowych wykonanych przez 10 głównych amerykańskich przedsiębiorstw energetycznych, którymi objęto 11 970 firm i 7 963 gospodarstwa domowe. Wartości są uśrednione, niezależne od momentu wystąpienia przerwy (pora roku, dzień roboczy czy świąteczny, pora dnia).

4. Wskaźnik wartości niedostarczonej energii

Mimo pewnych zastrzeżeń odczuwa się potrzebę takiej przybliżonej miary, jaką jest wskaźnik wartości niedostarczonej energii (niepokrytego zapotrzebowania) (Interrupted Energy Assessment Rate – IEAR, Value of Lost Load – VoLL) w literaturze polskiej nazwany równoważnikiem gospodarczym niedostarczonej energii elektrycznej i oznaczony k_a , który pomnożony przez energię niedostarczoną daje oszacowanie strat gospodarczych.

Możliwą do wykorzystania wartością orientacyjną jest stosunek produktu krajowego brutto (PKB) do zużycia energii elektrycznej ogółem (EE) – w „Statystyce elektroenergetyki polskiej” podawana jest odwrotność tej relacji (EE/PKB). Tak wyznaczone wartości gospodarczego równoważnika – wskaźnika wartości niedostarczonej energii elektrycznej / niepokrytego zapotrzebowania (k_a – IEAR, VoLL) podano w tablicy 2 (w PLN/MWh i cenach 2005 r.).

Tablica 2. Oszacowanie wartości niedostarczonej energii elektrycznej / niepokrytego zapotrzebowania na podstawie PKB i EE

Rok	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010
k_a	4770	6090	6729	6925	7220	7570	7968	7918
Rok	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
k_a	8157	8258	8375	8592	8703	8834	9036	

Podobne oszacowanie zastosowano przy tworzeniu rynku mocy w Polsce. Wartości PKB, EE i VoLL dla Wielkiej Brytanii, Francji i Polski podano w tablicy 3.

Tablica 3. Wartości PKB, EE i VoLL na potrzeby rynku mocy

Kraj	Wielka Brytania	Francja	Polska
PKB, mld USD	2 858	2 418,8	477,1
EE (netto), TWh	347,184	476,122	150
VoLL, USD/MWh	8232	5 080	3 181
VoLL _{RM} , EUR/MWh	19 000	26 000	12÷18 tys.

VoLL_{RM} – VoLL na potrzeby rynku mocy.

Oszacowanie VoLL dla Unii Europejskiej

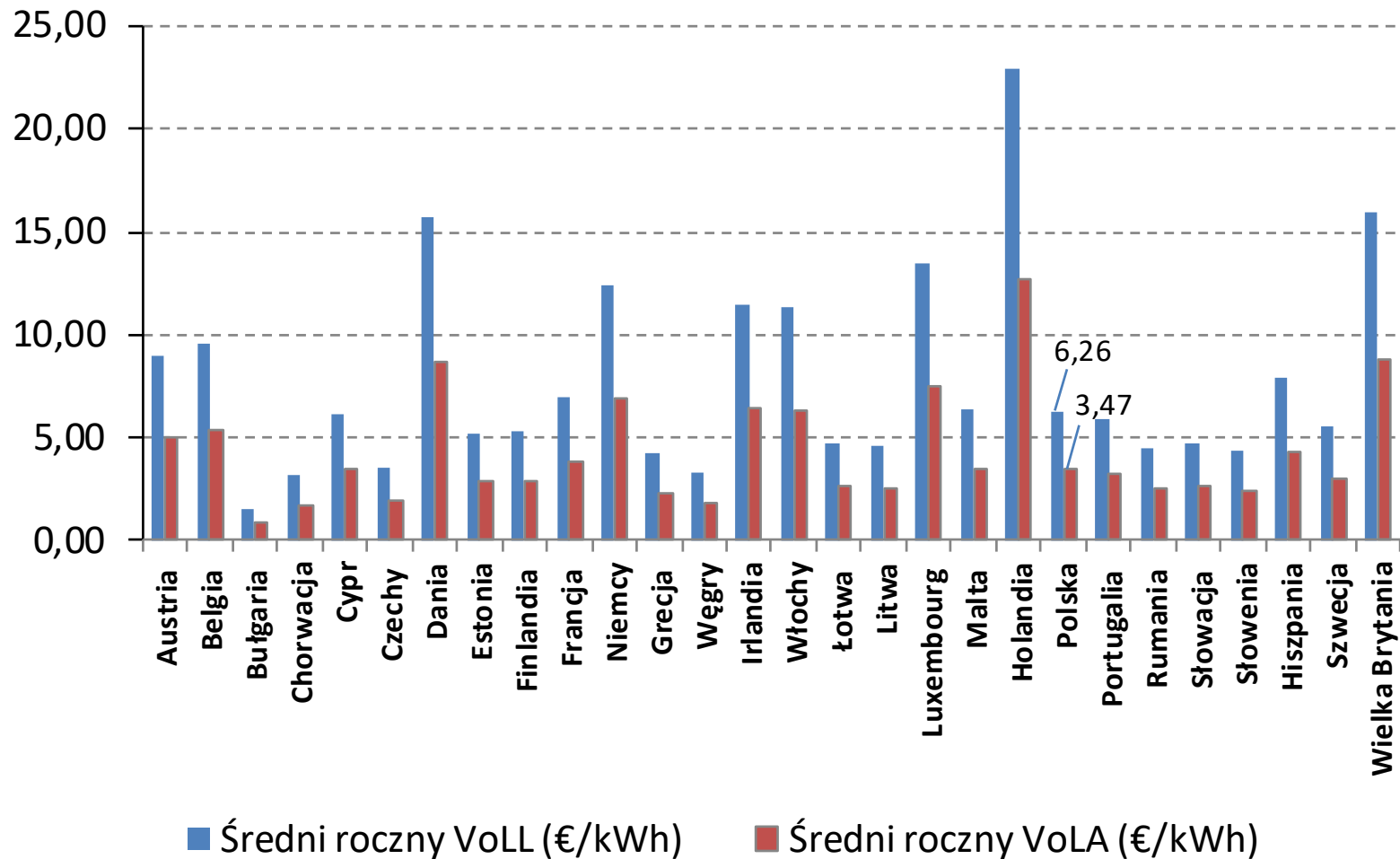
Pakiet Zimowy Unii Europejskiej nakazał również wycenę wartości niedostarczonej energii (VoLL)*. ACER (Agency for the Cooperation of Energy Regulators) podał w 2018 roku wstępne wyniki oszacowania wartości niedostarczonej energii elektrycznej, które przedstawiono na rys. 3 i 4.**

* - 'value of lost load' means an estimation in euro/MWh, of the maximum electricity price that customers are willing to pay to avoid an outage.

** - "By 5 July 2020 where required for the purpose of setting a reliability standard in accordance with Article 25 regulatory authorities or, where a Member State has designated another competent authority for that purpose, such designated competent authorities shall determine a single estimate of the value of lost load for their territory. That estimate shall be made publically available". Art. 11.

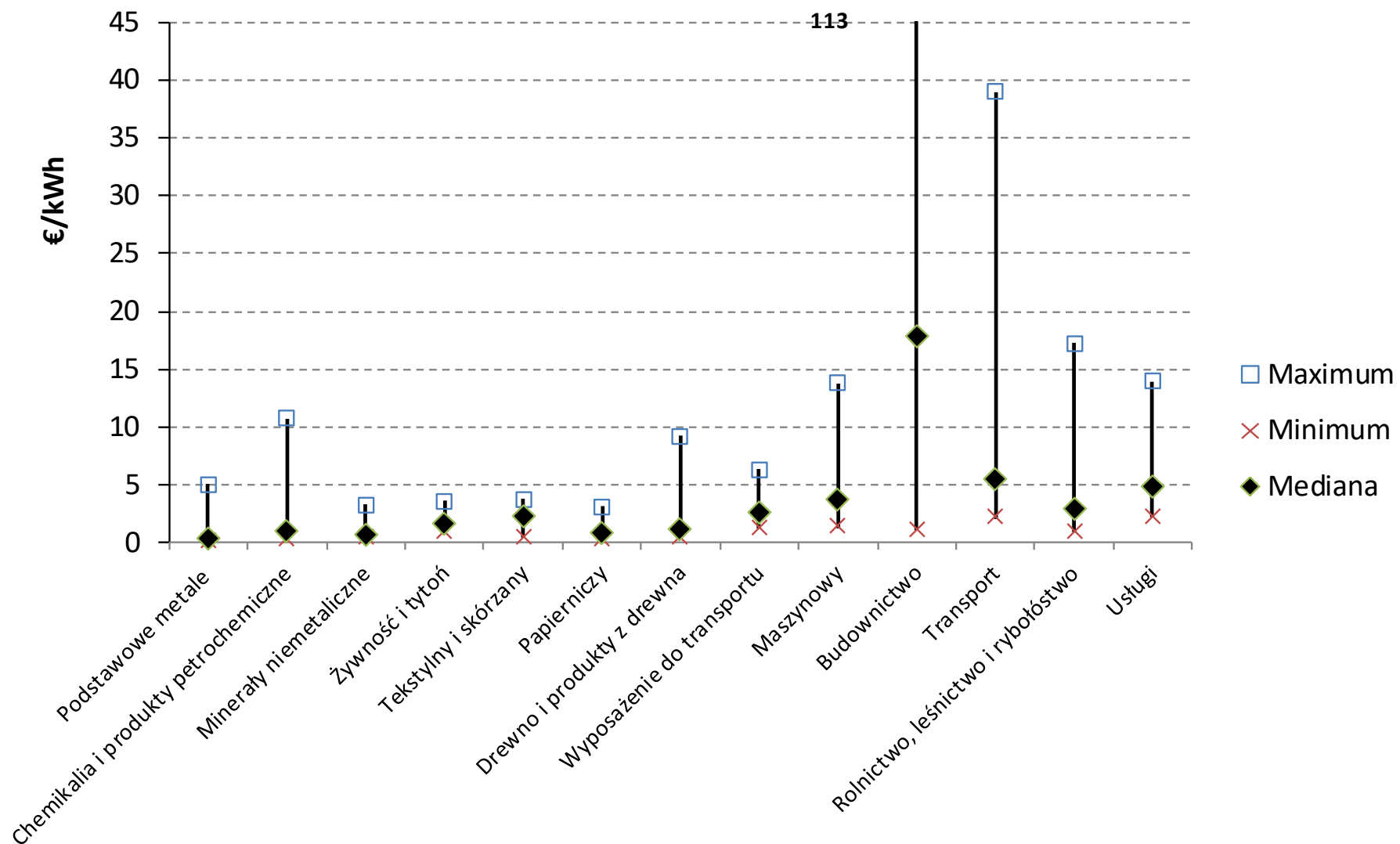
1. Study on the Value of Lost Load of electricity supply in Europe – ACER. Cambridge Economic Policy Associates, Presentation of Findings - Brussels, 18.06.2018.
2. Study on the Value of Lost Load of electricity supply in Europe. Cambridge Economic Policy Associates, Final report. 6 July 2018.

Oszacowanie VoLL dla Unii Europejskiej



Rys. 3. Wartość niedostarczonej energii elektrycznej dla gospodarstw domowych w krajach członkowskich Unii Europejskiej: VoLL (Value of Lost Load) – wartość niepokrytego zapotrzebowania na energię (oceniona przez odbiorców), VoLA (Value of Lack of Adequacy) – wartość braku wystarczalności w przypadku zapowiadanych przerw w dostawie (z uprzedzeniem jednodniowym), także oceniona przez odbiorców

Oszacowanie VoLL dla Unii Europejskiej



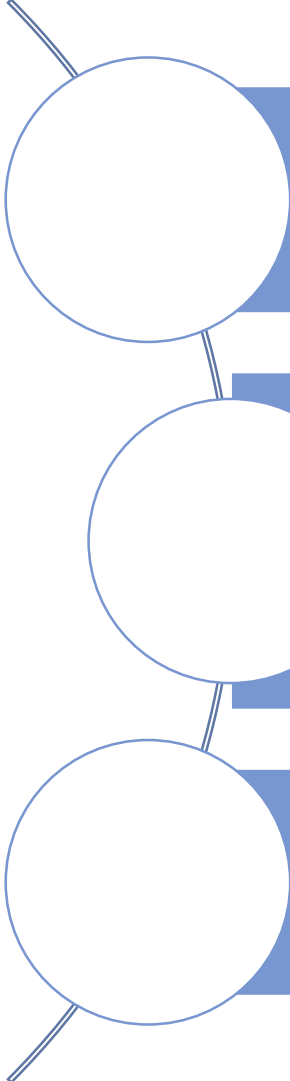
Rys. 4. Wartość niedostarczonej energii elektrycznej dla przemysłu i usług w krajach członkowskich Unii Europejskiej

Oszacowanie VoLL dla Komisji Europejskiej

Oszacowań dokonano na podstawie badań ankietowych, przy czym:

- gospodarstwa domowe były traktowane jako jednorodna grupa;
- przemysł i usługi podzielono na sektory na podstawie badań literaturowych i klasyfikacji Eurostatu;
- ankieta dla gospodarstw domowych zawierała 14 pytań, zaś dla przemysłu i usług – 13 pytań;
- uzyskano 609 odpowiedzi od gospodarstw domowych (59,4%) oraz 103 odpowiedzi z przemysłu i usług (75,2%).

Podsumowanie



Straty występujące u odbiorcy, wynikające z przerw i ograniczeń dostawy energii elektrycznej są trudne do oszacowania z powodu braku stałego modelu zależności pomiędzy niedostarczoną energią a stratami poniesionymi przez odbiorcę.

Najlepszą ze stosowanych metod są badania ankietowe, które pozwalają na oszacowanie strat spowodowanych niedostarczeniem energii elektrycznej do odbiorcy i na uzyskanie informacji o wartości niezawodności dostawy energii dla odbiorcy. W Polsce niestety nie znalazła ona jeszcze szerszego zastosowania z uwagi na jej czasochłonność (a zatem i koszty).

Podmioty, które powinny być zainteresowane rzeczywistą wartością kosztów przerw i ograniczeń w zasilaniu (np. Ministerstwo Energii, Urząd Regulacji Energetyki) wolą korzystać z danych zagranicznych lub oszacowań, nie zawsze uzasadnionych merytorycznie.

Uwagi Recenzenta

Bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej odbiorcom jest jednym z głównych zadań stojących przed operatorami systemów sieciowych. Każda przerwa w zasilaniu pociąga za sobą bardziej lub mniej wymierne straty u odbiorców. Referat poświęcony jest niezwykle ważnemu zagadnieniu wyznaczania kosztów tych strat. Autorzy przedstawili przykłady oszacowania kosztów strat w różnych krajach dla różnych grup odbiorców i różnych czasów przerw w zasilaniu przy wykorzystaniu, między innymi, współzależności między wartością produktu krajowego brutto (PKB) a zużyciem energii ogółem. Różnorodność odbiorców powoduje znaczące różnice w kosztach strat. W podsumowaniu referatu podkreślono wagę problemu oraz zasugerowano prowadzenie badań ankietowych, które pozwolą na wydzielenie grup o podobnym poziomie niezawodności.

Uwagi Recenzenta

Pytania do Autorów:

1. W referacie Autorzy przedstawili możliwości wyznaczenia kosztów przerw w zasilaniu dla różnych grup odbiorców. Grupą odbiorców, która często silnie odczuwa przerwy w zasilaniu, są gospodarstwa domowe i rolne (GDİR). Rodzi się pytanie - czy wartość bonifikaty określona w taryfie jest satysfakcjonująca odbiorców tej grupy?
2. Do grupy GDİR zaliczani są odbiorcy o bardzo zróżnicowanych potrzebach w zakresie energii elektrycznej. Stąd drugie pytanie - czy w szacowaniu kosztów awarii nie należałoby wydzielić odbiorców wykorzystujących wyłącznie energię elektryczną, u których brak zasilania pociąga znacznie większe niedogodności niż u odbiorców, którzy mają dostawę innych nośników energii (ciepła z elektrociepłowni, gazu)?
3. Badania ankietowe grupy GDİR - liczbowo jaka grupa reprezentatywna winna być bazą do wyznaczenia kosztów przerw w zasilaniu?
4. Czy Autorzy mają rozeznanie w sprawie gotowości odbiorców do ponoszenia zwiększonych kosztów dla zagwarantowania wyższej pewności zasilania?
5. W ostatnich latach 2010 - 2016 znacząco zmalał systemowy wskaźnik średniego rocznego czasu trwania przerw SAIDI od 515,3 do 272,0 min/odb. Wartości średnie - jak wiadomo - są wypadkową bardzo różnych wartości. Czy Autorzy mają pogląd jaki maksymalny czas rocznego trwania przerw zasilania występował u odbiorców różnych grup taryfowych?

Politechnika Warszawska

Dziękuję za uwagę!

