

Przegląd najważniejszych metod DEA w ocenie efektywności procesów przemysłu spożywczego



Wojciech Moszczyński

Dawniej, gdy porównywano efektywność różnych zakładów lub jednostek, często opierano się na prostych wskaźnikach statystycznych, takich jak średnia wydajność, koszt na jednostkę produkcji czy wyniki KPI. Na pierwszy rzut oka wydawały się one przydatne i łatwe w użyciu. Jednak ich stosowanie miało poważne wady, które powodowały, że takie porównania były niesprawiedliwe i niedokładne. Porównując dwie fabryki na podstawie średnich wyników produkcji ignorowano fakt, że jedna mogła mieć dostęp do lepszej technologii, a druga korzystać z większej ilości surowców. W takich przypadkach proste liczby zacięły różnice w rzeczywistych warunkach pracy.

Posiadanie lepszej technologii nie oznacza bycie bardziej efektywnym. Pamiętajmy, że używanie technologii kosztuje. Jeżeli za wysokimi kosztami nie idą wysokie profity, proces jest nieefektywny. Jednym z głównych problemów była nieporównywalność jednostek. Jedna jednostka była mała, druga duża, jedna stosowała nowoczesną technologię, druga stare i powolne maszyny.

Wyobraźmy sobie dwa gospodarstwa mleczne: jedno duże, z setkami krów, a drugie małe, prowadzone przez jedną rodzinę. Prosta analiza na podstawie całkowitej produkcji mleka mogłaby wykazać, że większe gospodarstwo jest bardziej efektywne. Jednak takie podejście nie uwzględnia faktu, że mniejsze może lepiej wykorzystywać paszę i energię, uzyskując większą wydajność na jedną krowę. W tradycyjnych metodach opartych na bezmyślnym stosowaniu prostych wskaźników takie niuanse często są pomijane.

Czym jest metodologia DEA

Metody DEA powstały, aby rozwiązać problemy z porównywaniem procesów w istocie nieporównywalnych. Takich, które teoretycznie można porównać, ale porównywanie ich metodami tradycyjnymi będzie obciążone błędami. Ich celem jest porównywanie jednostek w sposób sprawiedliwy i dokładny, uwzględniając różnorodność zasobów, w tym przede wszystkim zasobów produkcyjnych i wyników, nie tylko finansowych, ale ogólnie wydajnościowych. DEA umożliwia analizę wielowymiarową, co oznacza, że bierze pod uwagę różne czynniki jednocześnie, takie jak zużycie energii, ilość surowców i końcowe wyniki produkcji. Dzięki temu możliwe jest nie tylko określenie, która jednostka jest bardziej efektywna, ale także wskazanie, gdzie konkretne zasoby są marnowane i jak można poprawić efektywność.



Przykłady z życia pokazują, dlaczego takie podejście jest potrzebne. W przemyśle spożywczym fabryka produkująca dżemy może zużywać znacznie więcej surowców i energii niż konkurencyjny zakład, mimo że obie osiągają podobne wyniki produkcyjne. DEA pozwoli nie tylko zidentyfikować mniej efektywny zakład, ale również wskaże konkretne obszary, w których można zmniejszyć marnotrawstwo, np. ograniczyć straty owoców podczas przetwarzania. Podobnie w przetwórstwie warzyw, gdzie fabryki często tracą część surowców, metody DEA pomagają znaleźć rozwiązania na minimalizację takich strat.

Innym ważnym aspektem jest to, że DEA nie tylko porównuje jednostki, ale również wskazuje liderów, czyli te jednostki, które osiągają najlepsze wyniki. Dzięki temu inne zakłady mogą wzorować się na ich działaniach i wdrażać sprawdzone metody poprawy efektywności. Na przykład w rolnictwie analiza DEA może wykazać, które gospodarstwa najlepiej radzą sobie z zarządzaniem zasobami wodnymi lub paszowymi.

Podsumowując, przed wynalezieniem DEA tradycyjne wskaźniki statystyczne często nie były w stanie uchwycić złożoności działania różnych jednostek. Metody DEA powstały z potrzeby bardziej sprawiedliwego i dokładnego podejścia do analizy efektywności. Dzięki nim możliwe jest nie tylko porównywanie jednostek w sposób uwzględniający ich różnorodność, ale także identyfikowanie liderów i obszarów do poprawy. To sprawia, że metody te są nieocenione w wielu branżach, od przetwórstwa spożywczego po rolnictwo i pomagają podejmować lepsze decyzje zarządcze.

Przegląd metod porównawczych DEA

Na przestrzeni lat powstało wiele metod DEA, czyli algorytmów opartych na optymalizacji krańcowej Danciga, czyli bazujących na algorytmie simplex. Oto najważniejsze z nich: CRR – Charnes, Cooper, Rhodes; BCC – Banker, Charnes, Cooper; CEM (*cross-efficiency model*) – Sexton, Silkman, Hogan; SE-CCR (*super-efficiency-CCR*) – Andersen, Petersen; NR-DEA (*non-radial DEA*) – Thanassoulis, Dyson, Zhu; CEP (*cross-efficiency profiling*) – Doyle, Green, Tofallis; SE-BCC (*super-efficiency BCC*) – Seiford, Zhu; SE-SBM (*super-efficiency-slack-based measure*) – Tone. Poniżej omówiłem każdą z nich.

CCR (Charnes, Cooper, Rhodes)

Metodę CCR w 1978 r. zaproponowali Abraham Charnes, William Cooper i Edward Rhodes. Była to pierwsza metoda analizy DEA (*Data Envelopment Analysis*) i stanowiła przełom w ocenie efektywności systemów, gdzie porównuje się różne jednostki decyzyjne (DMU – *Decision Making Units*), które przekształcają zasoby wejściowe (inputs) na wyniki wyjściowe (outputs). CCR umożliwia tworzenie macierzy porównań między jednostkami, co pozwala identyfikować jednostki peletonowe, czyli takie, które są liderami w swojej grupie pod względem efektywności.

CCR zakłada stały zwrot skali (*constant returns to scale*), co oznacza, że wydajność jednostki pozostaje niezmienna, niezależnie od jej wielkości. Metoda tworzy granicę efektywności, na podstawie której ocenia się wszystkie jednostki. Te, które leżą na granicy, nazywamy efektywnymi, a jednostki poza granicą mogą dążyć do poprawy poprzez wzorowanie się na jednostkach peletonowych.

Wyobraźmy sobie trzy zakłady przetwórcze:

- **Zakład A** produkuje 100 ton koncentratu jabłkowego, zużywając 200 ton jabłek i 5000 kWh energii.
- **Zakład B** produkuje 80 ton marmolady gruszkowej, zużywając 150 ton gruszek i 4000 kWh energii.
- **Zakład C** produkuje 120 ton soków owocowych, zużywając mieszankę 300 ton owoców i 6000 kWh energii.

CCR tworzy macierz porównań pomiędzy tymi zakładami, identyfikując jednostki peletonowe, które są najefektywniejsze oraz pokazuje, jak inne jednostki mogłyby poprawić swoją efektywność zmniejszając zużycie zasobów lub zwiększając produkcję.

BCC (Banker, Charnes, Cooper)

Metoda BCC została wprowadzona w 1984 roku przez Bankera, Charnesa i Coopera jako rozszerzenie CCR. Inspiracją do jej stworzenia była potrzeba uwzględnienia zmiennych zwrotów skali (*variable returns to scale*) w ocenie efektywności. Metoda ta znalazła szerokie zastosowanie w rolnictwie, gdzie małe gospodarstwa mogą być bardziej wydajne niż duże przy specyficznych rodzajach produkcji.

BCC wprowadza dodatkowy parametr, który uwzględnia zmienność efektywności w zależności od skali operacji. Pozwala to na bardziej sprawiedliwe porównania jednostek o różnych rozmiarach. Jest szczególnie przydatna, gdy jednostki mają odmienną wielkość, co wpływa na ich zdolność do przekształcania zasobów w wyniki.

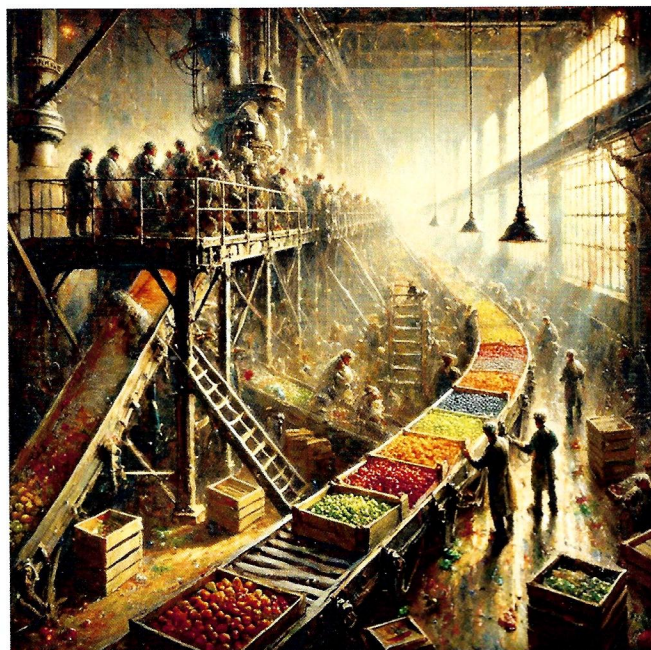
- **Zakład A:** mały zakład przetwórczy produkujący 50 ton suszonych owoców z 80 ton surowca. Zużywa 2000 kWh energii.

- **Zakład B:** duży zakład produkujący 300 ton syropów owocowych z 500 ton owoców. Zużywa 10000 kWh energii.

Mały zakład może być bardziej efektywny na małą skalę, podczas gdy duży zakład potrzebuje więcej zasobów na obsługę masowej produkcji. Metoda BCC pozwala uwzględnić te różnice i ocenić efektywność w sposób proporcjonalny do wielkości operacji.

CEM (Cross-Efficiency Model)

CEM został zaproponowany przez Sextona, Silkmana i Hogana w 1986 roku jako rozszerzenie klasycznej DEA. Motywacją było stworzenie narzędzia, które nie tylko analizuje





efektywność jednostki, ale również porównuje jej wyniki z wynikami innych jednostek, co pozwala uzyskać bardziej obiektywną ocenę.

Metoda CEM ocenia efektywność jednostek na podstawie wzajemnych porównań. Każda jednostka jest oceniana nie tylko na podstawie własnych danych, ale również przez pryzmat wyników innych jednostek. Powstaje w ten sposób macierz efektywności, która umożliwia szczegółowe analizy porównawcze. W CEM jednostki peletonowe są oceniane zarówno pod względem własnej efektywności, jak i wkładu w ogólną efektywność grupy.

Trzy zakłady produkujące różne produkty:

- **Zakład A:** produkuje 100 ton dżemu z owoców, zużywając 200 ton surowca i 5000 kWh energii.
- **Zakład B:** produkuje 120 ton koncentratu pomidorowego z 300 ton pomidorów i 4000 kWh energii.
- **Zakład C:** produkuje 80 ton marmolady cytrusowej z 150 ton owoców i 3000 kWh energii.

CEM pozwala stworzyć macierz wzajemnych porównań, w której jednostki są oceniane na podstawie efektywności w relacji do innych zakładów. Np. Zakład A może być oceniony wysoko w kontekście swojej efektywności energetycznej, ale niżej w kontekście zużycia surowca, co pozwala zidentyfikować jego potencjalne obszary do poprawy.

SE-CCR (*Super-Efficiency CCR*)

Metoda SE-CCR została wprowadzona przez Andersena i Petersena w 1993 roku jako rozszerzenie CCR. Umożliwia ocenę jednostek, które znajdują się na granicy efektywności, aby wskazać liderów, nawet w grupie uznawanej za efektywną.

Jest szczególnie przydatna w identyfikacji najlepszych praktyk w branżach o dużej konkurencji.

SE-CCR pozwala na ocenę jednostek super efektywnych, czyli takich, które nie tylko osiągają granicę efektywności, ale także przewyższają ją w porównaniu z innymi. Wprowadza możliwość precyzyjniejszego porównania jednostek peletonowych, identyfikując te, które są wzorcami do naśladowania.

- **Zakład A:** produkuje 200 ton mąki z 300 ton pszenicy i zużywa 8000 kWh energii.
- **Zakład B:** produkuje 220 ton mąki z 320 ton pszenicy i zużywa 7000 kWh energii.
- **Zakład C:** produkuje 180 ton mąki z 280 ton pszenicy i zużywa 9000 kWh energii.

SE-CCR pozwala wskazać, że Zakład B jest super efektywny, ponieważ nie tylko spełnia kryteria efektywności, ale również przewyższa inne jednostki pod względem zużycia energii w stosunku do produkcji.

NR-DEA (*Non-Radial DEA*)

NR-DEA zostało opracowane przez Thanassoulisa i Dysona w latach 90., aby uwzględnić różne stopnie wykorzystania zasobów wejściowych. Dzięki tej metodzie można analizować sytuacje, w których nie wszystkie zasoby są używane w pełni proporcjonalnie, co jest typowe dla zróżnicowanych procesów produkcji.

Metoda NR-DEA pozwala na ocenę efektywności jednostek z uwzględnieniem niewspółmiernego wykorzystania różnych zasobów. W przeciwieństwie do tradycyjnego DEA, skupia się na szczegółowym badaniu marnotrawstwa poszczególnych wejść, takich jak surowce, energia czy czas pracy.

- **Zakład A:** wykorzystuje 500 ton ziemniaków, produkując 300 ton chipsów, ale marnuje 50 ton surowca.
- **Zakład B:** przetwarza 400 ton ziemniaków na 280 ton chipsów, nie marnując surowca, ale zużywa więcej energii niż Zakład A.

NR-DEA wskazuje, że Zakład B efektywnie wykorzystuje surowiec, ale ma rezerwy w optymalizacji zużycia energii, podczas gdy Zakład A powinien skupić się na ograniczeniu strat surowca.

Metoda	Stabe strony
BCC (Banker, Charnes, Cooper)	Trudności w rozróżnianiu jednostek efektywnych przy dużych zbiorach danych; wymaga homogenicznych wejść i wyjść.
CEM (Cross-Efficiency Model)	Złożoność analizy wzrasta wraz z liczbą jednostek; wymaga zaawansowanego oprogramowania i większej ilości danych.
SE-CCR (Super-Efficiency CCR)	Wymaga bardzo szczegółowych danych wejściowych i wyjściowych; mniej skuteczna w analizie jednostek o niskiej efektywności.
NR-DEA (Non-Radial DEA)	Może być trudna w implementacji przy dużych zbiorach danych; analiza skupiona głównie na redukcji strat w zasobach.
CEP (Cross-Efficiency Profiling)	Skupia się bardziej na profilowaniu niż na rankingach; złożoność rośnie wraz z różnorodnością jednostek.
SE-BCC (Super-Efficiency BCC)	Najlepiej nadaje się do analizy jednostek efektywnych; mniej skuteczna w identyfikacji obszarów poprawy dla słabszych jednostek.
SE-SBM (Super-Efficiency Slack-Based Measure)	Wymaga szczegółowych danych o niewykorzystanych zasobach; trudna do zastosowania w sytuacjach z ograniczonymi danymi wejściowymi.

CEP (Cross-Efficiency Profiling)

CEP zostało zaproponowane przez Doyle’a i Greena w latach 90., a następnie rozwinięte przez Tofallisa. Metoda ta powstała w odpowiedzi na potrzebę bardziej kompleksowego podejścia do analizy efektywności w grupach zróżnicowanych jednostek. CEP nie tylko pozwala na identyfikację jednostek efektywnych, ale również ocenia ich wkład w poprawę efektywności całej grupy.

Metoda CEP opiera się na porównaniu efektywności jednostek względem siebie przy jednoczesnym uwzględnieniu ich indywidualnych wyników i wpływu na całość grupy. Wprowadza dodatkowy element profilowania, który pozwala wskazać, jak poszczególne jednostki wpływają na ogólną efektywność i jakie mają mocne oraz słabe strony. Dzięki temu CEP umożliwia tworzenie szczegółowych profili efektywnościowych każdej jednostki.

- **Zakład A:** przetwarza 600 ton marchwi na 350 ton soku i zużywa 10 000 kWh energii.
- **Zakład B:** produkuje 500 ton przecieru ziemniaczanego z 700 ton surowca, zużywając 12 000 kWh energii.
- **Zakład C:** przerabia 800 ton buraków na 400 ton cukru, zużywając 15 000 kWh energii.

CEP analizuje wkład każdej jednostki w ogólną efektywność. Np. Zakład A może być oceniony wysoko za efektywność energetyczną, ale nisko za wykorzystanie surowca, co pozwala wskazać konkretne obszary poprawy.

SE-BCC (Super-Efficiency BCC)

Metoda SE-BCC została wprowadzona przez Seiforda i Zhu w latach 90., jako rozszerzenie klasycznej metody BCC. Celem było umożliwienie bardziej precyzyjnego różnicowania pomiędzy jednostkami, które już osiągnęły granicę efektywności. SE-BCC pozwala na ocenę jednostek super efektywnych w sytuacjach, gdzie istnieje duże zróżnicowanie pod względem skali operacji.

SE-BCC łączy w sobie cechy metody BCC i super efektywności, pozwalając na identyfikację liderów nawet wśród jednostek uznawanych za efektywne. Uwzględnia zmienne

zwroty skali, co czyni ją bardziej elastyczną w ocenie zróżnicowanych procesów produkcyjnych. W przeciwieństwie do standardowego BCC, SE-BCC umożliwia porównanie między jednostkami efektywnymi, co jest szczególnie przydatne w wysoce konkurencyjnych branżach.

- **Zakład A:** produkuje 300 ton koncentratu pomidorowego z 400 ton pomidorów, zużywając 9 000 kWh energii.
- **Zakład B:** wytwarza 250 ton przecieru z 350 ton pomidorów, zużywając 8 000 kWh energii.
- **Zakład C:** przetwarza 280 ton pomidorów na 260 ton przecieru, zużywając 7 500 kWh energii.

SE-BCC wskazuje, że Zakład A jest super efektywny w porównaniu z pozostałymi jednostkami, dzięki lepszemu bilansowi surowca i energii względem produkcji. Jednocześnie metoda może wskazać obszary poprawy dla Zakładu C, mimo że działa na mniejszą skalę.

SE-SBM (Super-Efficiency Slack-Based Measure)

Metoda SE-SBM została opracowana przez Tone w latach 90., jako rozszerzenie klasycznych metod DEA. Celem jej stworzenia było uwzględnienie niewykorzystanych zasobów (tzw. *slack*) w ocenie efektywności jednostek, a także wprowadzenie mechanizmu pozwalającego na ocenę jednostek super efektywnych. SE-SBM znajduje zastosowanie w środowiskach, gdzie efektywność zależy nie tylko od ilości zasobów i wyników, ale także od ich niedoskonałego wykorzystania.

SE-SBM koncentruje się na szczegółowej analizie wykorzystania zasobów wejściowych i wyjściowych w jednostkach decyzyjnych (DMU). Umożliwia ocenę super efektywności, identyfikując, które jednostki efektywne mogą być wzorcami w minimalizacji marnotrawstwa zasobów. W tej metodzie kluczowym elementem jest uwzględnienie strat i rezerw w wykorzystaniu zasobów, co pozwala na bardziej precyzyjną ocenę efektywności.

- **Zakład A:** wytwarza 100 ton dżemu z owoców, zużywając 150 ton owoców i 5 000 kWh energii, pozostawiając 10% owoców niewykorzystanych.
- **Zakład B:** produkuje 120 ton koncentratu pomidorowego z 200 ton pomidorów i zużywa 8 000 kWh energii, marnując 5% surowca.

- **Zakład C:** przerabia 80 ton buraków na 60 ton cukru, zużywając 7 000 kWh energii i nie pozostawiając strat surowca.

Metoda SE-SBM pozwala wskazać, że Zakład C jest super efektywny, ponieważ nie generuje strat surowca, podczas gdy Zakład A i Zakład B mają rezerwy do poprawy w zakresie redukcji strat surowca i optymalizacji zużycia energii.

Podsumowanie

DEA to skrót od **Data Envelopment Analysis**, co w języku polskim można przetłumaczyć jako **Analiza Otoczek Danych**. Jest to metoda analizy efektywności, która pozwala porównywać

Metoda	Główny cel (specjalizacja)
BCC (Banker, Charnes, Cooper)	Porównywanie efektywności jednostek o różnej skali działania, uwzględniając zmienne zwroty skali.
CEM (Cross-Efficiency Model)	Tworzenie wzajemnych ocen efektywności między jednostkami oraz szczegółowy ranking jednostek.
SE-CCR (Super-Efficiency CCR)	Identyfikowanie liderów efektywności nawet w grupie jednostek uznanych za efektywne.
NR-DEA (Non-Radial DEA)	Analiza szczegółowa wykorzystania zasobów z uwzględnieniem marnotrawstwa i rezerw w zasobach.
CEP (Cross-Efficiency Profiling)	Profilowanie efektywności jednostek, wskazywanie ich wkładu w efektywność całej grupy.
SE-BCC (Super-Efficiency BCC)	Łączenie analizy super-efektywności z uwzględnieniem zmiennych zwrotów skali.
SE-SBM (Super-Efficiency Slack-Based Measure)	Uwzględnianie niewykorzystanych zasobów w ocenie efektywności oraz wskazywanie obszarów poprawy.