TRANSIENCE

PRZEJŚCIE NA WYDAJNY, NEUTRALNY POD WZGLĘDEM EMISJI DWUTLENKU WĘGLA EUROPEJSKI PRZEMYSŁ O OBIEGU ZAMKNIĘTYM

Październik 2026

Technologie dla przemysłu neutralnego klimatycznie i cyrkularnego na Śląsku: wkład w aktualizację Programu Rozwoju Technologii województwa śląskiego

POLICY BRIEF



Euro - Centrum
Park Naukowo-Technologiczny

Streszczenie wykonawcze

Program Rozwoju Technologii Województwa Śląskiego na lata 2019–2030 (PRT) został przyjęty w sierpniu 2019 roku, przed kryzysem energetycznym, a faza diagnostyczna aktualizacji zaplanowana jest na styczeń 2027 roku. Biorąc pod uwagę ciągłe poleganie regionu na energochłonnych branżach, ta aktualizacja daje możliwość lepszego dostosowania Programu do wyzwań związanych z dekarbonizacją przemysłu i obiegiem o cyrkularności. W 2022 roku metale i wyroby metalowe stanowiły ponad 25% sprzedanej produkcji przemysłu, a przemysł motoryzacyjny 17,4%. Wówczas w kopalniach węgla pracowało 79,5 tysiąca osób. Wyniki z dwóch regionalnych warsztatów organizowanych przez projekt TRANSIENCE oraz modelowania sektora cementowego wskazują na cztery luki w katalogu technologii PRT. i) wychwytywanie CO_2 jest uwzględniane wyłącznie w połączeniu z czystym węglem i bez zabezpieczeń transportowych; ii) wodór jest uwzględniany wyłącznie w celach energetycznych, iii) katalog nie rozróżnia produkcji klinkieru; oraz iv) pomija się recykling baterii i paneli fotowoltaicznych. Ponadto wskaźniki programu nie mierzą odpowiednio emisji przemysłowych ani wydajności cyrkularności.

Aby wypełnić te luki i wzmocnić zdolności PRT do wspierania transformacji przemysłowej regionu, niniejszy policy brief rekomenduje siedem zmian: (1) oddzielenie wychwytu, transportu i magazynowania CO2 od emisji procesowych jako nowa grupa technologiczna; (2) uzupełnienie grupy 5.3 o cementy niskoklinkierowe i paliwa alternatywne; (3) uzupełnienie grupy 5.1 o produkcję stali niskoemisyjnej, w tym redukcję rudy i wodoru; (4) uzupełnienie grupy 3.3 o recykling baterii, paneli fotowoltaicznych i turbin wiatrowych; (5) integrację analiz scenariuszy i warsztatów Three Horizons w proces przedsiębiorczego odkrywania; (6) dodanie wskaźników karbonizacji, wydajności cyrkularności i przeszkolenia; (7) rozważenie dostępu do infrastruktury CO2, sieci energetycznej i wodoru jako warunku wstępnego do realizacji zaleceń 1–3.

Kontekst strategiczny

Program Rozwoju Technologii Województwa Śląskiego na lata 2019–2030 (PRT) oraz Regionalna Strategia Innowacji Województwa Śląskiego 2030 (RIS) sygnalizują ambicję transformacji energochłonnej gospodarki regionu. Jednak ta ambicja nie jest odzwierciedlona w katalogu technologii PRT.

PRT zostało przyjęte w sierpniu 2019 roku (Zarząd Województwa Śląskiego 2019). Uzasadnia swój cel transformacją "wysokoenergooszczędnego" regionu, opartego między innymi na górnictwie i metalurgii, w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym. RIS podobnie uznaje tę transformację za priorytet regionalny (Województwo Śląskie 2021). Spośród pięciu inteligentnych specjalizacji wyróżnia "zieloną gospodarkę", a także energię, medycynę, technologie informacyjno-komunikacyjne oraz rozwijające się branże. W ramach tego systemu polityki PRT organizuje technologie w obszary i grupy technologiczne, oceniając każdą grupę poprzez macierz potencjalnego znaczenia i nadając jej strategiczną orientację. Katalog Technologii PRT — monitorowany przez Sieć Regionalnych Obserwatoriów Specjalistycznych — jest otwarty na aktualizacje dotyczące procesu odkryć przedsiębiorczych.

Katalog PRT (Województwo Śląskie 2019) wykazuje cztery kluczowe luki w odniesieniu do potrzeb dekarbonizacji przemysłowej, co jasno omówiono na warsztatach badawczych projektu TRANSIENCE oraz dedykowanych ćwiczeniach modelowych. Po pierwsze, wychwytywanie i magazynowanie CO2 odbywa się wyłącznie razem z technologiami czystego węgla (2.1.1), a transport CO2 nie jest uwzględniony w katalogu. Po drugie, wodór jest uwzględniony wyłącznie jako "Wykorzystanie wodoru do celów energetycznych" (2.1.7), bez roli reduktora w metalurgii; tymczasem technologie produkcji stali (5.1.1) mają wysoką kategorię w Programie: grupa C, technologia węzłowa i endogenna. Po trzecie, technologia 5.3.5 obejmuje produkty wykonane z betonu, cementu i gipsu, ale nie rozdziela produkcji klinkieru ani spoiw niskoemisyjnych. Po czwarte, technologia 3.3.2 "Technologie odzysku i recyklingu" nie rozdziela recyklingu baterii ani paneli fotowoltaicznych.

Ponadto wskaźniki monitoringu programu mierzą innowacje i zasoby ludzkie, a mianowicie udział przychodów z technologii wysokich i średnio-wysokich, patentów, pracowników oraz wydatków na działania innowacyjne. Żaden z nich jednak nie mierzy emisji, intensywności energetycznej ani wyników cyrkularności przemysłu.

Od momentu przyjęcia PRT w 2019 roku warunki kształtujące transformację przemysłową i energetyczną regionu uległy znacznym zmianom. W latach 2019–2024 emisje z polskiego sektora energetycznego spadły o 24%, a z przemysłu o 6%, głównie w wyniku cięć produkcji podczas kryzysu energetycznego (Fundacja Instrat, 2025). Jednocześnie Krajowy Plan Energii i Klimatu (NECP) przewiduje redukcję emisji gazów cieplarnianych o 43,3% (scenariusz WEM) do 52,7% (scenariusz WAM) do 2030 roku w porównaniu z 1990 rokiem, w porównaniu do ogólnounijnego celu co najmniej 55%, oraz udział odnawialnych źródeł energii w sektorze energetycznym na poziomie 51,6–53,2% w 2030 roku (Ministerstwo Energii 2026, 7, 31, 40–42). Scenariusze sektora cementowego TRANSIENCE (opracowane przy użyciu modelu ITOM-Cement) zakładają ceny pozwoleń UE ETS na poziomie 176 €/t CO_2 w 2030 roku oraz 311 €/t CO_2 w 2050 roku. Wartości te wynikają z szeroko rozpowszechnionych ścieżek opracowanych w modelu GCAM, opracowanych w innym projekcie Horizon Europe, IAM COMPACT (Holtz i in. 2025; Lotz i in. 2026). Ponieważ początkowa diagnoza PRT opierała się na danych sprzed 2019 roku, nie mogła uwzględnić tych późniejszych zmian ani ich konsekwencji.

Wniosek dla PRT: aktualizacja powinna uzupełnić katalog o brakujące technologie i zawierać wskaźniki mierzące transformację przemysłową (zalecenia 1-4 i 6).

Wyzwania dla transformacji przemysłu śląskiego

Uczestnicy warsztatów TRANSIENCE uznali, że trajektoria "business as usual" szybko podważy konkurencyjność przemysłu regionu, wskazując na scenariusz modernizacji systemu (Lotz i in. 2026), który zakłada najpierw poprawę efektywności energetycznej, a następnie etapowe wdrażanie technologii głębokiej dekarbonizacji. Przyczyną są rosnące koszty zezwoleń na emisje w ramach ETS UE.

Modelowanie ujawnia tę samą presję w sektorze cementowym. Model ITOM-Cement projektu został opracowany w dwóch scenariuszach (Lotz i in. 2026) — które nie odpowiadają bezpośrednio scenariuszom omawianym na warsztatach interesariuszy w Śląsku w marcu 2026 roku. Bazowy punkt *Ambitnej Transformacji* zakłada, że infrastruktura transportu i magazynowania CO_2 oraz łańcuchy dostaw biomasy zostaną wdrożone zgodnie z harmonogramem. Scenariusz *Opóźnionej Infrastruktury Regionalnej* odzwierciedla sceptycyzm interesariuszy: wyklucza lądowe magazynowanie CO_2 w Polsce i zastępuje rurociągi droższym transportem kolejowym i barkowym. Oba scenariusze wykorzystują tę samą ścieżkę cen zezwoleń ETS UE, zaczerpniętą z projektu Horizon Europe IAM COMPACT: 176 € za tonę CO_2 (€/t CO_2) w 2030 roku, rosnąc do 311/t CO_2 w 2050 roku. W obu scenariuszach krańcowy koszt produkcji cementu w Polsce wzrasta z około 80 € za tonę cementu (cement €/t) w 2025 roku do około 220 €/t cementu w 2035 roku. Obie ścieżki rozchodzą się dopiero po 2035 roku: w scenariuszu Ambitnej Transformacji koszty cementu spadną do około 110 €/t do 2050 roku, podczas gdy scenariusz opóźniony pozostawia Polskę z trwałą karą kosztową. W żadnym z tych scenariuszy model nie inwestuje w nowe piece ani instalacje wychwytywania CO_2 w Polsce przed 2035 rokiem. Są to wyniki dla całej Polski, która w modelu jest jednym regionem; województwo śląskie posiada tylko jedną zintegrowaną cementownię, a kilka innych znajduje się w sąsiednich regionach. Dane historyczne wskazują na ten sam scenariusz: w latach 2019–2024 emisje z polskiego przemysłu spadły zaledwie o 6%, w porównaniu do 24% w sektorze energetycznym, głównie w wyniku cięć produkcji podczas kryzysu energetycznego, a nie modernizacji (Fundacja Instrat 2025).

Struktura przemysłu wzmacnia tę presję (Hermwille i in. 2024). Produkcja metali i wyrobów metalowych stanowi ponad 25% sprzedaży przemysłu województwa, a przemysłu motoryzacyjnego 17,4% (2022). Uczestnicy pierwszego warsztatu TRANSIENCE wskazywali na powiązanie metalurgii z koksem, a motoryzacji do łańcuchów wartości silników spalinowych; wskazano chemię i cement jako sektory, które bez nowych technologii ograniczą ich działalność lub przeniosą ją za granicę. Wskazano także cztery bariery mogące decydować o tempie zmian. Pierwszą jest ograniczony dostęp do wydajnych technologii i infrastruktury zeroemisyjnej; region nie posiada infrastruktury produkcyjnej, magazynowej i dystrybucyjnej wodoru. Drugą jest niepewność polityczna i regulacyjna: brak spójnej strategii wycofywania węgla oraz niestabilne regulacje dotyczące odnawialnych źródeł energii hamują decyzje inwestycyjne. Trzecią jest niski poziom finansowania badań i rozwoju, biurokracja oraz długie okresy zwrotu. Czwartym jest brak rynku dla zielonych materiałów: brak ich certyfikacji ani hurtowej dostępności.

Diagnoza ta również oferuje możliwości. Uczestnicy warsztatów postrzegają region jako przyszłe centrum zarządzania odpadami transformacyjnymi: panelami fotowoltaicznymi, turbinami wiatrowymi, bateriami i elektroniką. Warunkiem wstępnym są inwestycje w technologie recyklingu i infrastrukturę. Uczestnicy warsztatów podkreślali również zasoby ludzkie, ponieważ uważają doświadczenie pracowników górnictwa i przemysłu ciężkiego za kapitał dla nowych gałęzi przemysłu. Obszary postindustrialne są atutem regionu, choć ich rekultywacja jest kosztowna.

Wnioski dotyczące PRT: Bariery zidentyfikowane przez uczestników dotyczą dostępu do technologii, infrastruktury i rynku. Program może je rozwiązać poprzez katalog technologii oraz proces odkrycia przedsiębiorczości (rekomendacje 1-5).

Ograniczenia strukturalne

Wykorzystanie technologii dekarbonizacji w regionie będzie zależało od trzech ograniczeń: dostępności infrastruktury, dostępu do zasobów energetycznych i biomasy oraz zdolności do pracy i akceptacji społecznej.

Infrastruktura CO2, sieć i H2. Uczestnicy drugiego warsztatu TRANSIENCE wskazali, że infrastruktura transportowa i magazynowa CO2 jest priorytetową inwestycją: bez sieci logistycznych CO2 głęboka dekarbonizacja cementu i chemii nie jest możliwa. Wskazali na krajowe, a nie specyficzne dla konkretnych lokalizacji wąskie gardła, w tym brak scentralizowanej strategii transportu CO_2, bariery regulacyjne dla magazynowania na lądzie oraz konkurencję o krajową biomasę. Te ograniczenia wpłynęły na założenia leżące u podstaw opóźnionego scenariusza. W całej UE infrastruktura magazynowania H2 i CO2 jest zablokowana przez współzależność popytu i podaży, a ramy odpowiedzialności i pozwoleń są nadal opracowywane (Baka i in. 2025). Wyniki modeli wskazują, że w przypadku braku rurociągów i magazynowania na lądzie koszty produkcji cementu w Polsce będą o około 23 €/t wyższe w 2050 roku, co jest różnicą spodziewaną po 2035 roku (Lotz i in. 2026). Wyniki należy odczytywać jako analizę możliwości rozwoju, a nie prognozę, przy jednoczesnym uwzględnieniu ograniczeń technicznych: popyt na cement jest stały zewnętrznie, więc wyższe koszty produkcji nie przekładają się na niższy popyt; testowano tylko dwie ekstremalne konfiguracje infrastruktury, z opóźnieniami dotyczącymi wyłącznie Polski; a wyniki są bardzo wrażliwe na ścieżki cen węgla i energii wybrane z projektu IAM COMPACT.

Wniosek PRT: wdrożenie grup technologicznych ds. dekarbonizacji musi być powiązane z dostępem do infrastruktury (Zalecenie 7).

Energia elektryczna i zasoby biomasy. Dekarbonizacja przemysłu zwiększa zapotrzebowanie na energię elektryczną. Wyniki modelowania sugerują, że zużycie energii elektrycznej w europejskim przemyśle cementowym w bazowym okresie Ambitnej Transformacji ponad dwukrotnie wzrasta – z 80 PJ w 2025 roku do 192 PJ w 2050 roku, napędzane głównie zapotrzebowaniem na energię wynikającą z wychwytywania CO_2 (jak w przypadku wszystkich wyników modelowania, ilustruje to możliwą ścieżkę, a nie prognozę). Jednocześnie Polska ma ograniczoną elastyczność sieci i brak trwałej nadwyżki taniej energii elektrycznej o zerowej emisji. Uczestnicy warsztatów ostrzegali, że zrównoważony potencjał biomasy jest często przeceniany w dokumentach politycznych na poziomie makro i że biomasa powinna być traktowana jako zasób deporyczny, a nie jako podstawowe rozwiązanie dekarbonizacyjne.

Wniosek PRT: paliwa alternatywne dla cementowni powinny opierać się na odpadach (Rekomendacja 2), a wybory technologiczne testowane w analizach scenariuszy (Rekomendacja 5). Kluczowi konkurenci spoza UE, tacy jak Chiny, Stany Zjednoczone, Indie i Turcja, mają koszty energii co najmniej o 20% niższe niż UE. Jednak ceny energii wykraczają poza kompetencje województwa i pozostają kwestią polityki narodowej.

Zasoby ludzkie i akceptacja społeczna. W 2022 roku w kopalniach węgla w regionie pracowało 79,5 tysiąca osób. Uczestnicy warsztatów wskazali, że brak planu dla tych pracowników zagraża wzrostem bezrobocia i niepokojem społecznym (Hermwille i in. 2024), podkreślając największą potrzebę publicznych programów rekwalifikacyjnych we wszystkich regionach projektów. Nowe technologie wymagają nowych kompetencji: produkcja niskoemisyjnej stali wymaga innych umiejętności niż obsługa wielkich pieców (Baka i in. 2025). Jednak uczestnicy postrzegają doświadczenie górników jako zasób dla nowych branż. Akceptacja społeczna również zawęża wybór technologii: nie uważają magazynowania CO2 na lądzie za politycznie i społecznie wykonalną opcję (Lotz i in. 2026). Wskazuje to na napięcie z wynikami modelu, które wskazują, że składowiska CO2 obniżają koszty produkcji cementu.

Wniosek dla PRT: monitorowanie Programu powinno mierzyć przekwalifikowanie personelu wraz z śladem węglowym branży (Rekomendacja 6), a wybór technologii magazynowania wymaga konsultacji w procesie odkrywania przedsiębiorczości (Rekomendacja 5).

Ścieżki sektorowe

Trzy sektory przemysłu istotne dla regionu wymagają różnych wpisów interwencyjnych w PRT, odzwierciedlających ich odrębne punkty początkowe, tempo zmian i dojrzałość dowodów. Cement znajduje odzwierciedlenie w wynikach modelu, metalurgii i przemyśle metalowym w warsztatach interesariuszy, strategiach korporacyjnych i literaturze oraz recyklingu w warsztatach i pierwszej rundzie inwestycji regionalnych. Chociaż sektor motoryzacyjny ma najwyższą wartość produkcyjną w regionie, dowody zebrane w TRANSIENCE nie wskazują na konkretną technologię w katalogu PRT.

Cement. Cement odpowiada za około 13% emisji przemysłowych Polski. W województwie działa jedna zintegrowana cementownia, a inne w sąsiednich regionach (Lotz i in. 2026). W krótkim terminie modelowanie pokazuje spadek udziału klinkierowi w polskim cemencie z około 69% w 2025 roku do około 62% w 2035 roku. Przekształcenie sektora stalowego i cementowego jest ściśle powiązane. Zmielony granulowany żużel z wielkich pieców, historycznie główny materiał uzupełniający cement, jest stopniowo wycofywany z receptur cementowych, gdy sektor stalowy się dekarbonizuje, a tradycyjne wielkie piece są wycofywane. Przemysł cementowy potrzebuje więc nowych substytutów: w modelowanej ścieżce żużel jest zastępowany głównie wapieniem i gliną kalcynowaną, z niewielkim udziałem nowych spoiw w późniejszych latach. Dla Śląska ten związek jest bezpośredni: stopniowe zamykanie huty ArcelorMittal w Dąbrowie Górniczej, największego przemysłowego emitenta CO_2 w kraju w 2024 roku (Fundacja Instrat 2025), zmniejszy krajową podaż żużla z wielkich pieców. Europejska mapa drogowa przemysłu zakłada spadek udziału klinkieru z około 77% do 60% w 2050 roku (Bachorz i in. 2026, 16, 636-637). Drugą dźwignią są paliwa alternatywne na bazie odpadów. W średnim terminie, między 2035 a 2040 rokiem, model uruchamia nowe instalacje wychwytywania CO2 oraz piece tlenowopaliwowe. Pojemność wychwytywania wzrasta w scenariuszu wyjściowym do około 4 Mt CO2 rocznie w 2050 roku. Z powodu zapóźnień infrastrukturalnych w Polsce nie instaluje się pieców tlenowopaliwowych z zintegrowanym wychwytywaniem CO_2. Zamiast tego przemysł cementowy wcześniej modernizuje istniejące piece o wychwytywanie po spalaniu i musi transportować wychwycony CO_2 koleją i barką do magazynów poza Polską, co kosztuje znacznie wyższe wydatki. W bazowym modelu Ambitnej Transformacji natomiast piece tlenowe instalowane są dopiero po uruchomieniu sieci rurociągów CO_2 i magazynów na lądzie. Część produkcji klinkieru może również zostać przeniesiona do innych regionów UE: w bazowym okresie Polska tymczasowo staje się importerem netto klinkieru w latach 2035–2045 (w Kraju Basków model nie znajduje wystarczającego rozwiązania dla cementu). Cyrkularność w budownictwie zmniejsza potrzebę cementu, a wraz z nią potrzebę wychwytywania CO2. *Miejsce w PRT: technologie 5.3.5 i 2.7.2 (Rekomendacja 2) oraz 2.1.1 i 3.5.3 (Rekomendacja 1).*

Metale i stal. Produkcja metali stanowi ponad 25% wartości sprzedanej produkcji przemysłowej regionu (2022). Uczestnicy wskazywali, że przemysł metalurgiczny stosuje koks jako barierę, a metalurgię wodoru jako aspirację (Hermwille i in. 2024). W krótkim terminie główną technologią jest wytapianie złomu w piecu łukowym, co stanowi o 79–86% mniej węgla niż produkcja pierwotna. Jednak ilość złomu po amortyzacji jest ograniczona (Sütő i in. 2025). W średnim terminie potrzebna jest bezpośrednia redukcja rudy wodorem, co wymaga dużych nakładów i napotyka ograniczenia surowcowe (Baka i in. 2025). Termin ich wdrożenia zależy od remontu pieca: w Europie 36% instalacji stali podstawowej i chemikaliów podstawowych musi zostać reinwestowanych przed 2030 rokiem (Neuwirth i in. 2024). Biorąc pod uwagę, że każda instalacja ma tylko jedną dużą okazję inwestycyjną przed 2050 rokiem, decyzje podjęte w nadchodzących latach będą miały długoterminowe konsekwencje dla dekarbonizacji przemysłu. Jest to szczególnie istotne w świetle istniejących i planowanych globalnych emisji CO2 hut węglowych, szacowanych na około 60 miliardów ton CO2 do 2070 roku (Bachorz i in. 2026). *Miejsce w PRT: technologie 5.1.1 i 2.1.7 (rekomendacja 3) oraz 5.1.10 (rekomendacja 4).*

Recykling odpadów z instalacji OZE. Uczestnicy warsztatów wskazali, że zakład recyklingu baterii litowo-jonowych i katalizatorów, prowadzony przez Elemental Strategic Metals (należący do Elemental Group i realizowany we współpracy jako AE Elemental), jest początkiem rynku surowców wtórnych w regionie (Hermwille i in. 2024). W krótkim terminie priorytetem jest zatem rozwój technologii recyklingu baterii, równolegle z rozwojem produkcji baterii. W średnim terminie recykling powinien obejmować także panele fotowoltaiczne i turbiny wiatrowe, choć zebrane dowody wskazują na wolniejszy rozwój niezbędnej infrastruktury. Uczestnicy podkreślili, że rola regionu jako centrum zarządzania tymi strumieniami odpadów zależy od dalszych inwestycji w technologie i infrastrukturę. Modelowanie na poziomie UE pokazuje, że strategie obiegu obiegu zamkniętego zmieniają przepływy handlowe, ale ich wpływ na zależność od importu zależy od kontekstu (Lotz i in. 2026). Recykling jest również powiązany z innymi sektorami: odzysk metalu napędza piece łukowe, a cyrkularność konstrukcji zmniejsza zapotrzebowanie na surowce nowe (Sütő i in. 2025; Lotz i in. 2025). *Umieszczenie w PRT: technologie 3.3.2, 5.1.10, 5.2.4 i 2.6.6 (rekomendacja 4).*

Rekomendacje dotyczące aktualizacji PRT

Aktualizacja Programu powinna dodać do katalogu technologie, od których zależy dekarbonizacja przemysłu regionu, i powiązać ich wdrożenie z infrastrukturą, procesem przedsiębiorczego odkrywania i monitoringiem. Zalecamy siedem zmian, od najbardziej szczegółowych do najbardziej systemowych. Każda z nich wskazuje element PRT, wykonawcę, dowody oraz cel operacyjny.

1. **Oddzielenie wychwytu, transportu i magazynowania CO2 od emisji procesów przemysłowych jako nowa grupa technologii w obszarze "technologii ochrony środowiska".** Obecnie wychwytywanie CO2 jest uwzględnione w katalogu wyłącznie razem z technologiami czystego węgla (2.1.1), a transport CO2 nie jest uwzględniony w katalogu (Śląska Rada Województwa 2019). Uczestnicy warsztatów uznali logistykę CO2 za warunek wstępny głębokiej dekarbonizacji cementu i chemii (Lotz i in. 2026). *Proponowana orientacja strategiczna: III. Wykonawca: Biuro Marszałka oraz odpowiednie obserwatorium SO RIS. Cel operacyjny 1.*
2. **Uzupełnienie grupy 5.3 technologiami cementów niskoklinkierowych i alternatywnych paliw dla pieców klinkierowych**. Technologia 5.3.5 nie rozdziela produkcji klinkiru ani niskoemisyjnych spoiw (Zarząd Województwa Śląskiego 2019). Uczestnicy warsztatów wskazali cementownie jako sektor, który bez nowych technologii ograniczy działalność lub przeniesie je za granicę (Hermwille i in. 2024). Przemysł europejski zakłada spadek udziału klinkieru z około 77% do 60% w 2050 roku (Sütő i in. 2025). *Proponowana orientacja strategiczna: III. Wykonawca: Biuro Marszałka oraz odpowiednie obserwatorium SO RIS. Cel operacyjny 1.*
3. **Uzupełnienie grupy 5.1 o technologie produkcji stali niskowęglowej, w tym redukcję rudy za pomocą wodoru**. Katalog przewiduje wykorzystanie wodoru wyłącznie do celów energetycznych (2.1.7) (Rada Województwa Śląskiego 2019). Uczestnicy warsztatów wskazywali na powiązanie metalurgii z koksem jako bariery oraz metalurgii wodoru jako aspirację (Hermwille i in. 2024). Decyzja dotycząca technologii podejmowana jest podczas renowacji wielkiego pieca, raz na kilka dekad (Bachorz i in. 2026). *Proponowana orientacja strategiczna: III. Wykonawca: Biuro Marszałka oraz odpowiednie obserwatorium SO RIS. Cel operacyjny 1.*

4. **Uzupełnienie grupy 3.3 technologiami recyklingu baterii, paneli fotowoltaicznych i turbin wiatrowych**. Technologia 3.3.2 "Technologie odzysku i recyklingu" nie oddzielają tych strumieni odpadów (Śląska Rada Województwa 2019). Uczestnicy warsztatów postrzegają region jako przyszłe centrum gospodarki odpadami do transformacji, a początkiem rynku jest zakład recyklingu baterii w Zawierciu (Hermwille i in. 2024). *Proponowana orientacja strategiczna: III. Wykonawca: Biuro Marszałka oraz odpowiednie obserwatorium SO RIS. Cel operacyjny 1.*
5. **Uwzględnić analizy scenariuszy i warsztaty z wykorzystaniem metody Three Horizons w procesie przedsiębiorczego odkrywania**. Uczestnicy wskazywali niepewność regulacyjną jako powód powstrzymywania decyzji inwestycyjnych (Hermwille i in. 2024). Warsztat w 2026 roku prowadził Scenariusz Modernizacji Systemu, na którym oparto scenariusze modelu TRANSIENCE (Lotz i in. 2026). *Wykonawca: SO RIS. Częstotliwość: na każdym etapie konfrontacji i weryfikacji aktualizacji Programu. Cel operacyjny 3.*
6. **Dodaj trzy wskaźniki transformacji przemysłowej do wskaźników monitoringu Programu (Rozdział 4, Tabela 18).** Po pierwsze: emisje z instalacji objętych ETS UE w województwie (Mt CO2, KOBiZE). Po drugie: procent odzyskiwanych odpadów przemysłowych (%, GUS). Po trzecie: liczba osób przekwalifikowanych z sektorów spadających (osoby, monitoring JTF). Obecny zestaw nie mierzy emisji ani cyrkularności przemysłu (Śląska Rada Województwa 2019). *Wykonawca: SO RIS, rocznie. Cel operacyjny 3.*
7. **Należy rozważyć dostęp do infrastruktury CO2, sieci energetycznej i wodoru jako warunek wdrożenia grup technologii z rekomendacji 1–3 w systemowych zaleceniach Programu.** Uczestnicy warsztatów uznali logistykę CO2 za twarde krajowe ograniczenie (Lotz i in. 2026, 90). Modelowanie pokazuje, że opóźnienie tej infrastruktury zwiększa koszt cementu w Polsce po 2035 roku (scenariusz opóźnionej infrastruktury regionalnej). *Odbiorca: Rada Województwa we współpracy z operatorami sieci. Cel operacyjny 2.*

Obniżanie cen energii dla przemysłu wykracza poza kompetencje samorządu województwa. Rozdział 6 przedstawia to jako jedyny postulat na poziomie krajowym.

Proponowany program wdrożenia

Rekomendacje można formułować w pięciu krokach, synchronizowanych z etapami aktualizacji PRT: od briefu w 2026 roku do monitorowania w 2030 roku. Kolejność wynika z zasady działania bez wyrzutów sumienia. Najpierw są zmiany, które są uzasadnione niezależnie od końcowych wyników modelowania, a następnie te, które wymagają nowych danych.

1. **Przekazanie i prezentacja policy brief (do grudnia 2026).** TRANSIENCE (za pośrednictwem PNTEC) przekazuje polską wersję tego briefu do Urzędu Marszałkowskiego i przedstawia ją forum SO RIS. Celem jest uwzględnienie briefu w materiałach źródłowych diagnozy. PNTEC zgadza się również z Biurem co do formy wkładu.
2. **Diagnostyka i analiza (od stycznia 2027):** przegląd katalogowy. Urząd Marszałkowski wraz z partnerami/ właściwymi obserwatoriami SO RIS ocenia proponowane grupy technologii (zalecenia 1–4). Stosuje kryteria Programu: macierz potencjalnej istotności oraz kryteria współzależności i wpływu. Efektem jest lista grup do weryfikacji w kroku 3.
3. **Konfrontacja i weryfikacja**: przedsiębiorcze odkrywanie. SO RIS przeprowadza analizy scenariuszy oraz warsztaty z wykorzystaniem metody Three Horizons z przedsiębiorstwami energochłonnymi (rekomendacja 5). W warsztatach biorą udział także uczelnie, instytuty badawcze oraz instytucje środowiska biznesowego. Wyniki potwierdzają ocenę grup od etapu 2.
4. **Synteza i definicja**: wskaźniki i warunki systemowe. Urząd Marszałkowski dodaje wskaźniki transformacji przemysłowej do rozdziału 4 (rekomendacja 6). Do rekomendacji systemu dodaje warunek dostępu do infrastruktury (rekomendacja 7). Zarząd Województwa przyjmuje zaktualizowany Program w drodze uchwały.
5. **Monitorowanie i przegląd (do 2030 roku).** SO RIS co roku raportuje nowe wskaźniki. Po publikacji pełnych wyników modelowania TRANSIENCE dla Polski, PNTEC z SO RIS przegląda ocenę grup technologicznych na podstawie rekomendacji 1–3.

Kroki 1, 2 i 4 nie zależą od liczb z modelu i mogą rozpocząć się od razu. Krok 5 przedstawia rezultaty, które projekt dostarczy Programowi.

Wnioski dla decydentów

Wpływ aktualizacji PRT na przemysł regionu nie będzie określany przez samą listę nowych technologii, lecz przez to, czy Program powiąże je z warunkami ich wdrożenia. Uczestnicy warsztatów wskazali, a modelowanie cementu potwierdza, że bez infrastruktury CO2, głęboka dekarbonizacja nie przejdzie od deklaracji do decyzji inwestycyjnych. Bez sieci energetycznej i przekwalifikowanego personelu nowe grupy technologiczne pozostaną wpisem w katalogu. Czas na podjęcie tych decyzji jest ograniczony, ponieważ instalacje przemysłowe są modernizowane co kilka dekad. Większość rekomendacji nie wymaga oczekiwania na pełne wyniki modelowania. Uzupełnienie katalogu, nowe wskaźniki oraz stan dostępu do infrastruktury mogą być wprowadzane już na etapie diagnostycznym, który rozpoczyna się w styczniu 2027 roku.

Bibliografia

Bachorz, Clara *i in.* (2026), *Okno na uniknięcie dekad emisji stali szybko się zamyka,* "Nature Climate Change", t. 16, s. 636–637. DOI: https://doi.org/10.1038/s41558-026-02634-9

Baka, Maro *i in.* (2025), *D3.7 – Konkurencyjność przemysłowa i transformacja bliźniaków UE*, raport projektu TRANSIENCE, s. iv, 15–16, 42–43, [online] https://www.transience.eu/sites/default/files/2025-07/D3.7_Industrial%20competitiveness%20and%20the%20EU%20twin%20transition_v1.00_SUBMITTED.pdf [dostęp: 13.10.2026].

Fundacja Instrat. (2025, 27 listopada). *Dekarbonizacja przemysłu daleko w tyle za energetyką*. https://instrat.pl/dekarbonizacja-przemyslu-daleko-w-tyle-za-energetyka/ [dostęp: 26.10.2026]

Hermwille, Lukas *i in.* (2024), *D2.2 – Ocena potrzeb dla zastosowań modelowych*, raport projektu TRANSIENCE, s. 15, 18–20, 66, 71–83, [online] https://www.transience.eu/sites/default/files/2025-01/D2.2%20Assessing%20needs%20for%20model%20applications_v1.00_UPD.pdf [dostęp: 13.10.2026].

Holtz, G., Mittal, S., Hawkes, A., van de Ven, D.-J., Horowitz, R., Ghezzi, D., Rinaldi, L., & Jülich, A. (2025). *IAM COMPACT D4.8: Analiza sektorowa i międzysektorowa – aktualizacja*. Projekt IAM COMPACT. https://doi.org/10.5281/zenodo.16902658

Lotz, Meta Thurid *i in.* (2025), *Ilościowe określenie wpływu gospodarki o obiegu zamkniętym w budynkach na dekarbonizację przemysłu: integracja przepływu materiałów i modelowania przemysłowego*, "Zasoby, ochrona i recykling", t. 219, art. 108306. DOI: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2025.108306

Lotz, Meta Thurid *i in.* (2026), *D8.1 – Analiza scenariuszy z użyciem poszczególnych modułów*, raport projektu TRANSIENCE, s. iv, 13, 89–90, 93–95, 100–104, [online] transience.eu/sites/default/files/2026-09/D8.1 Analiza scenariuszy z użyciem indywidualnych modules_v1.00_SUBMITTED.pdf [dostęp: 13.10.2026].

Ministry of Energy. (2026). *Krajowy plan w dziedzinie energii i klimatu do 2030 r. z perspektywą do 2040 r.* [National energy and climate plan to 2030 with an outlook to 2040]. Adopted by the Council of Ministers on 8 June 2026. https://www.gov.pl/web/energia/krajowy-plan-w-dziedzinie-energii-i-klimatu-do-2030-r-z-perspektywa-do-2040-r---przyjety-przez-rade-ministrow

Neuwirth, Marius, Fleiter, Tobias, Hofmann, René (2024), *Modelowanie dyfuzji rynku produkcji stali i podstawowych chemikaliów na bazie wodoru w Europie – podejście site-specific,* "Energy Conversion and Management", t. 322, art. 119117. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.119117

Sütő, Gergő *i in.* (2025), *D3.6 – Zwiększone zrozumienie potencjalnego wkładu CE w dekarbonizację*, raport projektu TRANSIENCE, s. 10–11, 17, 20, [online] https://www.transience.eu/sites/default/files/2025-07/D3.6%20Potential%20contribution%20of%20CE%20to%20decarbonisation_v1.00_SUBMITTED.pdf [dostęp: 13.10.2026].

Województwo Śląskie (2021), *Regionalna Strategia Innowacji Województwa Śląskiego 2030*, dokument przyjęty uchwałą Zarządu Województwa Śląskiego nr 1554/246/VI/2021 z dnia 30 czerwca 2021, s. 37, 77, [online] https://ris.slaskie.pl/pl/dokumenty/regionalna-strategia-innowacji-wojewodztwa-slaskiego-2030.html [dostęp: 13.10.2026].

Zarząd Województwa Śląskiego (2019), *Program Rozwoju Technologii Województwa Śląskiego na lata 2019–2030*, dokument przyjęty Rezolucją nr 1902/63/VI/2019 z dnia 21 sierpnia 2019 r.; Załącznik 1 "Mapa połączeń technologicznych", [online] https://ris.slaskie.pl/pl/dokumenty/program-rozwoju-technologii-wojewodztwa-slaskiego-na-lata-2019--2030.html [dostęp: 13.10.2026].

Policy Brief

Technologie dla neutralnego, klimatycznie zamkniętego przemysłu na Śląsku

Wkład w aktualizację Programu Rozwoju Technologii województwa śląskiego

Autor(i) korespondent:	Koordynacja projektów
Patryk Białas	**Alexandros Nikas**
Patryk.bialas@euro-centrum.com.pl	anikas@epu.ntua.gr
Arkadiusz Kocaj, Stanisław Grygierczyk, David Kawałko i Patryk Muller	TRANSIENCE

Partnerzy

Śledź nas

transience.project

transience_eu

Transience_project

Projekt transiencji

Transienceproject.bsky.social

To dzieło jest licencjonowane na licencji Creative Commons Attributions 4.0 International (CC O 4,0). Licencja jest dostępna pod adresem: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/