

dr hab. Roman Dolata, prof. UW

Uniwersytet Warszawski

Czy nieuwzględnienie korelacji geny–środowisko może obciążać oszacowania odziedziczalności osiągnięć szkolnych?

**Pośrednie dowody z 20 studiów przypadku największych miast Polski
w domenie osiągnięć matematyczno-przyrodniczych**

Tekst nieprzeznaczony do cytowania. Wersja w procesie redakcyjnym.

Streszczenie

Artykuł analizuje, czy segregacja uczniów między szkołami ze względu na wcześniejsze osiągnięcia może wzmacniać różnice edukacyjne i pośrednio wpływać na interpretację oszacowań odziedziczalności osiągnięć szkolnych. Na podstawie danych z 20 największych miast Polski autor pokazuje, że w wielu lokalnych systemach edukacyjnych środowisko szkolne może nasilać wcześniej istniejące różnice między uczniami. Wyniki wskazują na potrzebę uwzględniania zależności między predyspozycjami uczniów a środowiskiem szkolnym w badaniach nierówności edukacyjnych.

Słowa kluczowe: odziedziczalność osiągnięć szkolnych, korelacja geny–środowisko (rGE), segregacja szkolna, nierówności edukacyjne, osiągnięcia matematyczno-przyrodnicze, edukacyjna wartość dodana

Problem badawczy

W klasycznych badaniach genetyki zachowania odziedziczalność (h^2) osiągnięć szkolnych szacowano przez dekompozycję wariancji miary osiągnięć na komponent genetyczny oraz komponenty środowiska wspólnego i specyficznego. Wielkość h^2 informuje, jaka część wariancji osiągnięć jest statystycznie powiązana ze zróżnicowaniem genetycznym. Wysokie h^2 bywało interpretowane jako dowód silnego i względnie niezależnego od instytucji szkolnych wpływu predyspozycji genetycznych (Jensen, 1969). Taka interpretacja była wątpliwa z wielu względów. Na przykład, choć wzrost jest w populacjach europejskich wysoce odziedziczalny, a klasyczne oszacowania h^2 mieszczą się w przedziale 0,8–0,9 (Visscher i in., 2006; Yang i in., 2010; Yengo i in., 2022), w Norwegii akceleracja wzrostu doprowadziła w latach 1878–2010 do zwiększenia średniej wysokości ciała poborowych o 10,9 cm. Zjawisko to miało charakter skokowy, a po 1996 r. trend uległ wyhamowaniu (Rybak i in., 2020).

Wątpliwości dotyczące interpretacji wysokich oszacowań h^2 osiągnięć szkolnych jako dowodu ich niepodatności na modyfikację mogą wynikać także z innego powodu. Jeżeli genetyczne predyspozycje do szkolnego uczenia się są powiązane ze środowiskiem, do którego trafia uczeń, obserwujemy korelację geny–środowisko (*gene–environment correlation*, rGE; Plomin i in., 1977).

Takie nielosowe rozmieszczenie predyspozycji do uczenia się względem środowisk szkolnych może obciążać oszacowania odziedziczalności osiągnięć.

W przedstawionym badaniu przeanalizowałem segregację szkolną – przybierającą czasami formę jawnej, choć niezgodnej z prawem selekcji – opartą na wcześniejszych osiągnięciach uczniów na progu gimnazjum, a więc na cesze fenotypowej. Nie analizowałem natomiast korelacji genotyp–środowisko *sensu stricto*. Aby nazwać ten proces rGE, należy przyjąć, że cechy wpływające na przydział do szkoły są częściowo uwarunkowane genetycznie oraz że ekspozycja szkolna rzeczywiście współzmienia się z genotypem. Choć jest to teza wysoce prawdopodobna – nie kwestionuje się istnienia komponentu genetycznego osiągnięć, lecz dyskutuje jego siłę – trzeba pamiętać, że gdy piszę w tym tekście o wpływie rGE na oszacowania h^2 , posługuję się skrótem myślowym.

W edukacji rGE może mieć postać pasywną, gdy rodzice przekazują dziecku zarówno predyspozycje, jak i środowisko odpowiadające własnym zasobom, ewokatywną, gdy cechy i wcześniejsze wyniki ucznia wywołują zróżnicowane reakcje nauczycieli i otoczenia, oraz aktywną, gdy rodziny i uczniowie wybierają szkoły, klasy oraz ścieżki kształcenia zgodne z wcześniejszymi osiągnięciami i aspiracjami. Selekcja szkolna może wzmacniać to sprzężenie: wcześniejsze wyniki wpływają na wybór środowiska, a środowisko następnie różnicuje dalszą trajektorię osiągnięć.

Jeżeli modele służące do szacowania h^2 nie uwzględniają rGE, część wariancji osiągnięć wynikająca z wpływu środowiska szkolnego skorelowanego z wcześniejszymi predyspozycjami może zostać przypisana komponentowi genetycznemu. W takim sensie nieuwzględnienie rGE może prowadzić do zawyżenia oszacowania bezpośredniego wpływu genetycznego. Nie musi natomiast oznaczać błędu, jeżeli h^2 rozumie się szerzej, jako parametr opisujący całkowitą wariancję związaną z podobieństwem genetycznym w konkretnej populacji i danym układzie instytucjonalnym. Rozróżnienie to jest kluczowe dla interpretacji wysokich oszacowań odziedziczalności osiągnięć egzaminacyjnych, także w Polsce (Pokropek i Sikora, 2015).

Należy pamiętać, że odziedziczalność szacowana w genetyce zachowania jest parametrem populacyjnym, zależnym od wieku badanych, zakresu zróżnicowania środowiska i organizacji instytucji. Nie określa udziału genów w wyniku konkretnej osoby i nie jest miarą niezmienności cechy. W edukacji zastrzeżenie to ma szczególną wagę, ponieważ poziom osiągnięć jest końcowym produktem wieloletniej sekwencji decyzji rodzinnych, reakcji nauczycieli, doboru rówieśników i progów selekcyjnych, a nie właściwością rozwijającą się poza instytucjami. Z drugiej strony taka interpretacja h^2 *implicite* zakłada, że warunki środowiskowe, w tym zróżnicowanie jakości pracy szkół, są niemodyfikowalne, co może prowadzić do akceptacji *status quo*. Od interpretacji wysokiego h^2 jako dowodu nieuchronności nierówności można wówczas przejść do tezy o bezcelowości programów wyrównywania szans. Warto pamiętać, że wyniki Jensena rozpały amerykański spór o programy kompensacyjne Head Start. Jeżeli skuteczne polityki edukacyjne nastawione na wyrównywanie szans są możliwe i rGE faktycznie zawyża oszacowania odziedziczalności, ich skuteczne wprowadzenie powinno oszacowania h^2 obniżać. Natomiast działania nasilające rGE powinny je podwyższać.

Wyniki różnych badań genetycznych pokazują, że pojęcie „wpływu genetycznego” nie jest metodologicznie jednorodne, ponieważ jego wielkość zależy od zastosowanego schematu badawczego. Badania bliźniąt przypisują różnicom genetycznym zwykle większą część wariancji osiągnięć niż metody oparte bezpośrednio na DNA. Natomiast trafność predykcji za pomocą wyników poligenicznych – zagregowanych wskaźników wielu wariantów genetycznych statystycznie powiązanych z daną cechą – słabnie w analizach wewnątrzrodzinnych, opartych na porównaniach rodzeństwa wychowującego się w tej samej rodzinie. W porównaniach między rodzinami wynik poligeniczny ucznia może bowiem częściowo przejmować wpływ pochodzenia społecznego, kojarzenia asortatywnego – czyli skłonności osób o podobnym wykształceniu, statusie społecznym lub cechach poznawczych do tworzenia par – oraz środowiska kształtowanego przez rodziców, określanego czasem jako *genetic nurture*, czyli pośredni wpływ genów rodziców realizujący się przez tworzone przez nich warunki wychowania. Starr i współpracownicy (2026) wykazali, że wielkość różnicy między efektami *within-family* – szacowanymi na podstawie porównań wewnątrz tej samej rodziny – a efektami *between-family* – opartymi na porównaniach między różnymi rodzinami – zależy także od kraju i wieku badanych, co może wskazywać na znaczenie kontekstu społecznego i instytucjonalnego.

Jednocześnie wyniki klasycznych badań bliźniąt wskazują, że wysoka odziedziczalność osiągnięć edukacyjnych nie jest wyłącznie pochodną inteligencji ogólnej. Krapohl i współpracownicy (2014) wykazali, że odzwierciedla ona łączne oddziaływanie wielu częściowo uwarunkowanych genetycznie cech, obejmujących zarówno zdolności poznawcze, jak i motywację, osobowość, poczucie własnej skuteczności oraz inne właściwości istotne dla uczenia się. Natomiast Rimfeld i współpracownicy (2018) pokazali, że znaczna część stabilności osiągnięć między kolejnymi latami nauki może być przypisana czynnikom genetycznym. Wyniki te nie rozstrzygają jednak, czy obserwowana stabilność jest skutkiem wyłącznie bezpośredniego działania predyspozycji czy również ich systematycznego sprzęgania z coraz bardziej dopasowanymi środowiskami edukacyjnymi.

Nowsze badania przesuwają uwagę z samej wielkości h^2 na procesy, poprzez które genetyczne predyspozycje są przekładane na osiągnięcia. Zhou i współpracownicy (2025) pokazali, że cechy środowiska rodzinnego pośredniczą w związku wyników poligenicznych z osiągnięciami w kolejnych fazach rozwoju, przy czym pośrednictwo dotyczyło głównie różnic między rodzinami. Najnowsza analiza Zhou i współpracowników (2026) wykazała natomiast, że motywacja, zainteresowania szkolne i szkolna samoocena pośredniczą w predykcji osiągnięć przez czynniki poligeniczne, a część tych ścieżek utrzymuje się również w porównaniach między rodzeństwem. Autorzy interpretują ten wzorzec w kategoriach aktywnej i ewokatywnej rGE: uczniowie współtworzą własne doświadczenia edukacyjne, a znaczenie tych procesów narasta w toku nauki.

Procesowe ujęcie predyktorów osiągnięć wymaga włączenia szkoły jako aktywnego ogniwa. Uczeń z wysokim wynikiem może otrzymywać trudniejsze zadania, silniejsze wsparcie i wyższe oczekiwania, następnie trafić do bardziej selektywnej klasy lub szkoły, a tam znaleźć się wśród rówieśników o podobnych

aspiracjach i w faktycznym programie realizowanym w szybszym tempie. Analogicznie – początkowe trudności mogą uruchamiać obniżenie oczekiwań i ekspozycję na mniej stymulujące środowisko szkolne. Instytucja nie tylko reaguje więc na wcześniejszy fenotyp, ale może zwiększać jego stabilność. Im bardziej system rozdziela uczniów według osiągnięć, tym większa przestrzeń dla takiej kumulacyjnej amplifikacji.

Nowe badania środowiska szkolnego wskazują również, że instytucje mogą nie tylko wzmacniać, lecz także kompensować różnice związane z predyspozycjami. Stienstra i współpracownicy (2024), wykorzystując holenderskie dane bliźniacze, stwierdzili, że jakość szkoły nie moderowała wariacji genetycznej po uwzględnieniu SES, natomiast spadek wariacji genetycznej wiązał się ze składem SES szkoły. Cheesman i współpracownicy (2025), łącząc wewnątrzrodzinny wskaźnik poligeniczny (PGI) z miarą szkolnej wartości dodanej, wykazali, że lepsze szkoły osłabiały związek PGI z wynikiem czytania, ale nie z matematyką. Wyniki te pokazują, że kierunek działania szkoły jest empirycznie otwarty i zależy od domeny oraz właściwości systemu.

Z perspektywy socjologii edukacji opisany mechanizm stanowi część szerszego procesu segregacji szkolnej. Uczniowie nie są rozdzielani między szkoły wyłącznie na podstawie formalnych decyzji administracyjnych, lecz również w wyniku wyborów rodzin, migracji poza obwód szkolny, selekcyjnych praktyk placówek oraz społecznego i osiągnięciowego różnicowania się lokalnej sieci szkół. Procesy te mogą prowadzić do kumulowania w tych samych placówkach uczniów podobnych pod względem wcześniejszych osiągnięć, statusu społecznego i zasobów rodzinnych, a następnie do utrwalania różnic przez odmienne warunki nauczania i skład rówieśniczy (Dolata, 2008, 2021). Działające w latach 1999–2019 polskie gimnazja stworzyły użyteczny układ do zbadania tych mechanizmów i pośredniego oświetlenia problemu znaczenia nieuwzględniania rGE w modelach szacowania h^2 . Formalnie szkoły tego szczebla miały być drugim etapem programowo i organizacyjnie jednolitego kształcenia – po sześcioletniej szkole podstawowej – lecz w rzeczywistości w miastach stopniowo różnicowały się pod względem składu uczniowskiego i wyników (Dolata, 2010). Próg przejścia po szkole podstawowej otwierał możliwość wyboru placówki, selektywnej rekrutacji i migracji poza obwód. Dzięki wspólnym egzaminom można obserwować zarówno osiągnięcia kohorty przed wejściem do gimnazjum – sprawdzian po klasie VI – jak i rezultat po trzech latach, mierzony egzaminem gimnazjalnym. Pozwala to sprawdzić, czy lokalna segregacja poprzedza narastanie różnic między uczniami o podobnym wyniku początkowym, bez utożsamiania selekcji według osiągnięć z selekcją genetyczną.

Związek segregacji uczniów według uprzednich osiągnięć z późniejszymi rezultatami pracy gimnazjów analizowano już w polskich badaniach wykorzystujących metodę edukacyjnej wartości dodanej (Dolata, 2009). Niniejsze badanie rozwija ten kierunek, przenosząc uwagę z przeciętnej efektywności nauczania na heterogeniczność różnic między segmentami gimnazjów wysoko i nisko selektywnych oraz na to, czy zależność ta zmienia się w różnych częściach rozkładu osiągnięć.

Główne pytanie badawcze brzmi zatem: czy lokalne systemy szkolne ujawniają wzorzec selekcji fenotypowej i późniejszego różnicowania się osiągnięć zgodny z jednym z instytucjonalnych mechanizmów, w wyniku których modele nieuwzględniające rGE mogą przeszacowywać bezpośredni wpływ genotypu? Badanie nie zawiera danych genetycznych i nie estymuje h^2 . Testuje pośrednią przesłankę: czy silniejsza segregacja uczniów między gimnazjami według wcześniejszych osiągnięć wiąże się z większym zróżnicowaniem wyników tej lokalnej populacji po trzech latach nauki przy statystycznej kontroli wyniku na wejściu.

W analizach skupiłem się na osiągnięciach po gimnazjum z matematyki i przedmiotów przyrodniczych. Taki wybór uzasadniają zarówno względy teoretyczne, jak i metodologiczne. Badania z zakresu genetyki zachowania wskazują, że osiągnięcia szkolne w zakresie matematyczno-przyrodniczym cechują się wysoką odziedziczalnością i znaczną stabilnością w toku edukacji, choć nie ma podstaw, by twierdzić, że obszar ten zawsze wykazuje wyższe h^2 niż wszystkie domeny humanistyczne (de Zeeuw i in., 2015; Rimfeld i in., 2018). Z perspektywy pomiaru edukacyjnego domena ta stanowi szczególnie użyteczny wskaźnik osiągnięć, ponieważ trafność modeli analizy zależy od jakości psychometrycznej testów, a właściwości testów matematyczno-przyrodniczych są korzystne (Dolata i in., 2013). Ponadto osiągnięcia matematyczne są silnym predyktorem dalszych wyników edukacyjnych, co wzmacnia zasadność ich wyboru jako centralnej zmiennej (ten Braak i in., 2022).

Problem badawczy i hipotezy

Główne pytanie badawcze dotyczy tego, czy różnicowanie się lokalnych sieci gimnazjów ze względu na uprzednie osiągnięcia uczniów prowadzi jedynie do ich nielosowego rozmieszczenia między szkołami, czy też wiąże się z dodatkowym różnicowaniem późniejszych osiągnięć wskutek ekspozycji na środowiska szkolne o różnej jakości.

W pierwszym przypadku, po uwzględnieniu poziomu uprzednich osiągnięć i innych charakterystyk uczniów związanych z efektywnością szkolnego uczenia się, uzyskiwaliby oni podobne wyniki końcowe niezależnie od tego, do którego gimnazjum trafili. Segregacja nie stanowiłaby wówczas źródła dalszego różnicowania trajektorii osiągnięć, lecz – statystycznie rzecz biorąc – odzwierciedlałaby różnice między uczniami.

W drugim przypadku pozycja gimnazjum w lokalnej hierarchii selekcyjnej byłaby związana ze zróżnicowaniem warunków dalszego uczenia się. Gimnazja przyciągające uczniów o wysokich wynikach początkowych mogłyby różnić się od szkół o mniej korzystnym składzie uczniowskim pod względem oczekiwań nauczycieli, tempa realizacji programu, dostępu do bardziej wymagających zadań, klimatu osiągnięć oraz innych elementów środowiska szkolnego. Jeżeli różnice te prowadziłyby do narastania pierwotnego zróżnicowania, oznaczałoby to instytucjonalną amplifikację wcześniejszych różnic.

Potwierdzenie drugiego scenariusza nie stanowiłoby bezpośredniego dowodu działania korelacji geny–środowisko, ponieważ w badaniu nie obserwuje się genotypu, pokrewieństwa biologicznego ani wskaźników poligenicznych.

Wynik na wejściu jest fenotypem współkształtowanym zarówno przez predyspozycje ucznia, jak i przez jego wcześniejsze środowisko rodzinne i szkolne. Można jednak przyjąć, że cechy związane z osiągnięciami szkolnymi są częściowo uwarunkowane genetycznie, a selekcja według wcześniejszych wyników zwiększa prawdopodobieństwo systematycznego powiązania tych cech z określonym typem środowiska szkolnego. W takim sensie segregacja osiągnięciowa może być traktowana jako instytucjonalny mechanizm zgodny z aktywną i ewokatywną postacią rGE.

Jeżeli wcześniejsze osiągnięcia korelują z wyborem lub przydziałem do danej szkoły, a środowisko tej szkoły następnie przyczynia się do powiększania różnic wyników, część wariancji osiągnięć przypisywanej w modelach genetyki zachowania podobieństwu genetycznemu może być współtworzona przez środowisko skorelowane z wcześniejszymi predyspozycjami. Nieuwzględnienie tego mechanizmu nie musi oznaczać, że klasyczne oszacowanie h^2 jest formalnie błędne jako parametr opisujący konkretną populację funkcjonującą w określonym układzie instytucjonalnym. Może jednak prowadzić do nadinterpretacji h^2 jako miary bezpośredniego i niezależnego od środowiska wpływu genotypu: część zróżnicowania osiągnięć współtworzonego przez selekcję oraz środowiskową amplifikację mogłaby zostać przypisana bezpośredniemu wpływowi genetycznemu. Pośrednia weryfikacja tej hipotezy wymaga przejścia przez dwa warunki wstępne oraz sprawdzenia właściwych hipotez dotyczących współzmienności segregacji i luki osiągnięć związanej ze zróżnicowaniem szkół na nisko i wysoko selektywne.

W1. W analizowanych subpopulacjach występuje wyraźna, zróżnicowana między miastami i zmienna w czasie segregacja międzyszkolna ze względu na wcześniejsze osiągnięcia

W analizowanych miastach występuje wyraźna segregacja międzyszkolna ze względu na osiągnięcia uczniów na wejściu do gimnazjum, a lokalne systemy edukacyjne różnią się zarówno jej poziomem, jak i dynamiką w kolejnych latach. Występowanie segregacji oraz jej zróżnicowanie w czasie i między analizowanymi subpopulacjami stanowią pierwszy warunek testowania związku między segregacją a wzmacnianiem różnic w osiągnięciach wskutek ekspozycji na odmienne środowiska szkolne. Gdyby wszystkie miasta charakteryzowały się zbliżonym i stałym w czasie poziomem segregacji, zmienność byłaby niewystarczająca do oceny, czy jej nasilenie wiąże się z siłą amplifikacji różnic w trakcie nauki w gimnazjum.

W2. Efekt amplifikacji początkowych różnic między uczniami, związany z ekspozycją na zróżnicowane środowiska szkolne, występuje i różni się między subpopulacjami oraz rocznikami

Przy statystycznej kontroli uprzednich osiągnięć i innych indywidualnych charakterystyk uczniów występuje luka w wynikach końcowych między uczniami gimnazjów wysoko i nisko selekcyjnych, a miasta różnią się jej wielkością oraz dynamiką w kolejnych rocznikach. Jej występowanie i zmienność stanowią drugi warunek testowania związku segregacji z późniejszym różnicowaniem osiągnięć.

H1. Współmienność zmian segregacji i wielkości luki

Wzrostowi segregacji osiągnięciowej między kolejnymi rocznikami w obrębie danego miasta towarzyszy wzrost luki w wynikach końcowych tej samej kohorty, obserwowanych po trzech latach nauki.

Hipoteza ta odnosi się do zmian zachodzących wewnątrz lokalnych systemów edukacyjnych, a nie do porównań między miastami. Oczekuje się, że w okresach, w których w danym mieście silniej różnicował się skład osiągnięciowy gimnazjów, zwiększała się również różnica w końcowych wynikach absolwentów szkół wysoko i nisko selekcyjnych, a trendy te były dodatnio skorelowane.

H2. Heterogeniczność dystrybucyjna luki: siła amplifikacji różnic zależy od pozycji w warunkowym rozkładzie osiągnięć końcowych

Po kontroli wyniku na wejściu luka jest większa w górnej niż w dolnej części warunkowego rozkładu osiągnięć końcowych. Oczekuje się również, że związek między nasileniem segregacji a wielkością luki będzie silniejszy w wyższych kwantylach tego rozkładu. Taki wzorec byłby zgodny z mechanizmem selektywnej amplifikacji: środowiska szkolne zajmujące wysoką pozycję w lokalnej hierarchii selekcyjnej mogą przede wszystkim zwiększać prawdopodobieństwo uzyskiwania bardzo wysokich wyników, niekoniecznie zaś w takim samym stopniu kompensować trudności uczniów znajdujących się w dolnej części rozkładu.

H3. Odroczone skutki nasilania się segregacji na wejściu

Segregacja może prowadzić do znaczącego różnicowania się jakości środowisk szkolnych z pewnym opóźnieniem. Jest to hipoteza dodatkowa, niemająca kluczowego znaczenia dla wsparcia hipotezy kierunkowej. Wraz z utrwalaniem się pozycji gimnazjum w lokalnej hierarchii mogą zmieniać się praktyki rekrutacyjne, oczekiwania nauczycieli, tempo nauczania, oferta zajęć dodatkowych i skład kadry. Dostosowanie instytucji do coraz korzystniejszego składu uczniowskiego może wymagać czasu, dlatego wcześniejszy poziom segregacji może przewidywać wielkość luki nie tylko w tej samej kohorcie, lecz także w rocznikach rozpoczynających naukę w latach następnych. Hipoteza ta ma charakter eksploracyjny. Jej test wymaga sprawdzenia, czy wzrost segregacji powiększa lukę dopiero po pewnym czasie. Uzyskany związek nie byłby jeszcze dowodem przyczynowym, lecz mógłby wskazywać na stopniowe utrwalanie instytucjonalnych konsekwencji segregacji.

Kryteria wsparcia hipotezy głównej

Hipoteza o występowaniu instytucjonalnego mechanizmu zgodnego z rGE uzyska pośrednie wsparcie, jeżeli spełnione zostaną warunki opisane w W1 i W2, a następnie zostanie potwierdzona dodatnia współmienność zmian segregacji i zmian luki przewidywana w H1. Argument zostanie dodatkowo wzmocniony, jeżeli luka okaże się większa w górnej części warunkowego rozkładu osiągnięć końcowych, zgodnie z H2. Potwierdzenie H3 nie jest warunkiem koniecznym głównego wniosku. Dostarczałoby natomiast bardziej szczegółowej przesłanki, że segregacja prowadzi do stopniowego i trwałego

dostosowywania środowisk szkolnych do pozycji zajmowanej przez szkołę w lokalnej hierarchii osiągnięć. Spełnienie W1 i W2 oraz potwierdzenie H1 i H2 nie pozwoliłyby stwierdzić, że rGE bezpośrednio zawyża oszacowania h^2 . Dostarczyłyby jednak pośrednich argumentów, że w lokalnych systemach szkolnych istnieje empirycznie obserwowalny mechanizm, przez który wcześniejsze cechy uczniów zostają skorelowane ze zróżnicowanymi środowiskami szkolnymi, a środowiska te wiążą się z dalszym narastaniem różnic osiągnięć. Nieuwzględnienie tego procesu w badaniach genetyki edukacyjnej może prowadzić do nadmiernego przypisywania bezpośredniemu wpływowi genotypu stabilności i zróżnicowania wyników współtworzonych przez selekcję oraz instytucjonalne warunki uczenia się.

Metoda

Schemat badawczy obejmuje zbiór 20 ilościowych studiów przypadku największych – pod względem liczby mieszkańców – miast Polski. Każde miasto potraktowałem jako odrębny lokalny system edukacyjny obserwowany dla 12 roczników rozpoczynających naukę w gimnazjum w latach 2003–2014. Ponieważ gimnazjum trwało trzy lata, wynik końcowy kohorty rozpoczynającej naukę w roku t pochodził z egzaminu gimnazjalnego przeprowadzonego w roku $t + 3$. Ostatni punkt czasowy, oznaczony jako 2014, dotyczy zatem uczniów rozpoczynających gimnazjum w 2014 r. i zdających egzamin końcowy w 2017 r.

W analizach wykorzystano dane archiwalne z programów badawczych dotyczących rozwoju metody edukacyjnej wartości dodanej, realizowanych w latach 2007–2017 w CKE i IBE. Wyniki surowe egzaminów skalowano metodą IRT z wykorzystaniem modeli 2PL. Średnie w populacjach krajowych były bliskie 0, a odchylenia standardowe – 1. Rozkłady wyników sprawdzianu zbliżone były do normalnego, z niewielkimi efektami pułapu, natomiast rozkłady wyników egzaminu gimnazjalnego w zakresie matematyczno-przyrodniczej były lekko prawoskośne. Wynik sprawdzianu po klasie VI każdego ucznia połączono z jego wynikiem egzaminu gimnazjalnego. Wyniki egzaminów między rocznikami nie były w procedurach systemu egzaminacyjnego zrównywane, nie było też procedur zrównywania wzdłużnego sprawdzianu w klasie IV i GMP.

Analizy ograniczono do populacji gimnazjów publicznych, w których do egzaminu przystąpiło co najmniej 10 uczniów. Analiza gimnazjów niepublicznych byłaby ważnym uzupełnieniem, lecz wymagałaby innego podejścia ze względu na małe liczebności.

Łącznie w badaniu uwzględniono wyniki egzaminacyjne 723 394 uczniów. Największą liczebność miała subpopulacja Warszawy, w której liczba uczniów w poszczególnych rocznikach wahała się od 9 381 w roczniku rozpoczynającym gimnazjum w 2012 r. do 12 832 w roczniku 2003. W zależności od rocznika uczniowie ci kształcili się w 128–130 gimnazjach. Najmniejszą liczebność miała subpopulacja Gliwic, gdzie liczba uczniów wynosiła od 673 w roczniku 2012 do 1 332 w roczniku 2003. We wszystkich analizowanych rocznikach uczniowie ci uczęszczali do 12 gimnazjów.

Analizy przeprowadzono w programach SPSS 29 i Stata 19 BE.

W każdym analizowanym mieście, osobno dla każdego rocznika, gimnazja uporządkowano według przeciętnego poziomu osiągnięć uczniów na wejściu, mierzonego sprawdzianem po klasie VI. Segment TOP 20 obejmował szkoły o najwyższych średnich wynikach wejściowych, do których uczęszczało łącznie 20% uczniów miasta w danym roczniku, a segment DOWN 20 – analogiczny odsetek uczniów w szkołach z dolnego krańca rozkładu średnich wyników na wejściu.

Zmienną niezależną była miara segregacji na wejściu do gimnazjum. Jej wskaźnikiem był dystans dzielący dwa wyróżnione segmenty szkół pod względem średniego wyniku sprawdzianu po klasie VI. Wyższa wartość oznaczała silniejsze rozdzielanie uczniów o różnych wynikach początkowych między gimnazja w danym mieście.

Zmienną zależną była skorygowana luka w wynikach końcowych (GMP) między segmentami gimnazjów TOP 20 i DOWN 20. Do jej oszacowania zastosowano regresję kwantylową. Pozwoliła ona obliczyć – po kontroli wyniku wejściowego, jego kwadratu oraz zmiennych kontrolnych: płci, wieku, dysleksji i statusu laureata – różnice między segmentami TOP 20 i DOWN 20 a szkołami referencyjnymi, czyli gimnazjami należącymi do środkowych 60% lokalnego rozkładu, w 25., 50. i 75. kwantylu warunkowego rozkładu GMP. Regresja kwantylowa pozwala modelować warunkowe kwantyle zmiennej zależnej, a zatem sprawdzać, czy związek przynależności do wyróżnionych segmentów gimnazjów z wynikiem końcowym jest podobny w dolnej, środkowej i górnej części warunkowego rozkładu GMP (Koenker & Bassett, 1978; Koenker, 2005). Efekty oszacowane dla TOP 20 i DOWN 20 porównywano w każdym z trzech kwantyli, a ich różnica stanowiła miarę luki TOP 20–DOWN 20. Podstawowe parametry rozkładów dla głównych zmiennych przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Statystyki opisowe wskaźnika segregacji oraz luk TOP 20–DOWN 20

Zmienna	Minimum	Maksimum	M	SD	Skośność
Segregacja TOP 20–DOWN 20	0,446	2,193	1,119	0,323	0,304
Luka Q25	–0,174	0,560	0,238	0,136	–0,530
Luka Q50	–0,170	0,677	0,287	0,151	–0,527
Luka Q75	–0,143	0,732	0,349	0,173	–0,414

Uwaga. N = 240 dla każdej zmiennej. Segregację zdefiniowano jako różnicę średnich wyników wejściowych uczniów gimnazjów TOP 20 i DOWN 20. Q25, Q50 i Q75 oznaczają odpowiednio 25., 50. i 75. kwantyl warunkowego rozkładu wyniku GMP.

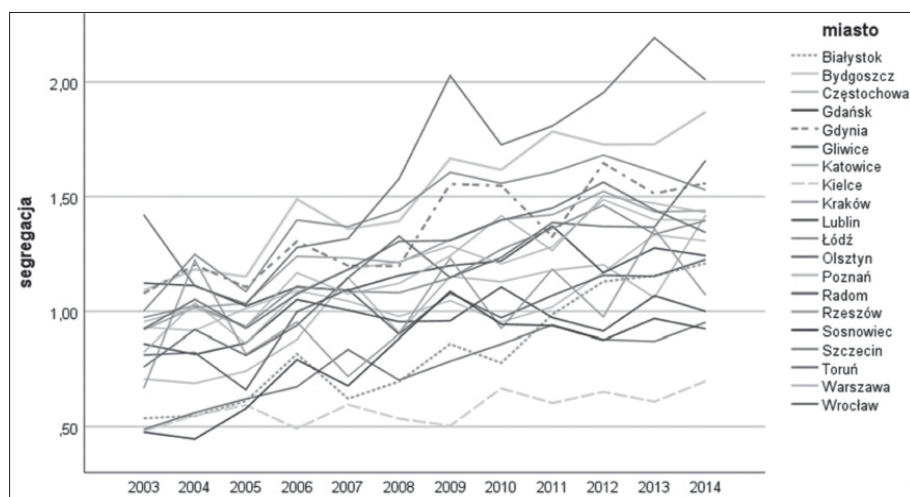
Wyniki

Analizę danych podporządkowano sprawdzeniu spełnienia warunków W1 i W2 oraz weryfikacji hipotez H1, H2 i H3.

Zaczynam od sprawdzenia spełniania warunków W1 i W2: czy obserwujemy wyraźną, zróżnicowaną między subpopulacjami i zmienną w czasie segregację międzyszkolną ze względu na wcześniejsze osiągnięcia?

Wykres (rys. 1) potwierdza spełnienie W1: obserwujemy wyraźną segregację ze względu na uprzednie osiągnięcia, a jej nasilenie i dynamika są silnie zróżnicowane w analizowanej kolekcji przypadków.

Tabela 2 przedstawia średni poziom wskaźnika segregacji w kolejnych rocznikach oraz współczynniki liniowego trendu segregacji i luk Q25 i Q75.



Rysunek 1. Nasilenie segregacji międzyszkolnej (TOP 20-DOWN 20) i jej zróżnicowanie między miastami i rocznikami

Tabela 2. Średni poziom i roczny trend segregacji oraz luk TOP 20-DOWN 20 w latach 2003–2014

Miasto	Segregacja		Luka Q25		Luka Q75	
	M	b roczny	M	b roczny	M	b roczny
Kielce	0,582	0,014	-0,032	-0,005	-0,005	0,004
Gliwice	0,764	0,039	0,188	0,020	0,246	0,035
Sosnowiec	0,799	0,047	0,048	0,023	0,142	0,025
Białystok	0,829	0,063	0,220	0,023	0,260	0,034
Gdańsk	0,964	0,014	0,268	-0,012	0,396	0,005
Radom	0,996	0,039	0,175	0,006	0,279	0,025
Rzeszów	1,002	0,031	0,287	0,026	0,381	0,035
Częstochowa	1,018	0,056	0,160	0,013	0,345	0,028
Katowice	1,067	0,029	0,133	-0,003	0,255	0,012
Olsztyn	1,172	0,070	0,296	-0,016	0,446	0,007
Lublin	1,174	0,019	0,260	0,004	0,359	0,022
Łódź	1,182	0,045	0,336	-0,002	0,506	0,021
Poznań	1,189	0,053	0,305	0,010	0,404	0,029
Warszawa	1,216	0,052	0,327	0,004	0,430	0,030
Wrocław	1,247	0,053	0,281	-0,004	0,405	0,023

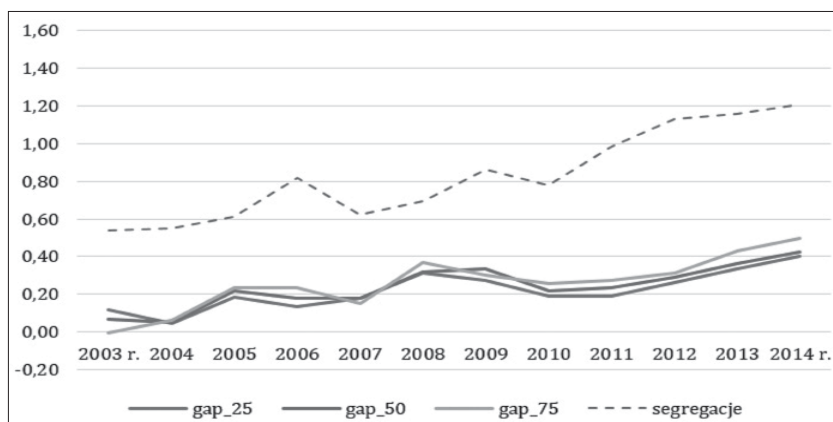
Miasto	Segregacja		Luka Q25		Luka Q75	
	M	b roczny	M	b roczny	M	b roczny
Kraków	1,266	0,050	0,311	0,002	0,439	0,026
Gdynia	1,353	0,047	0,309	0,008	0,423	0,023
Szczecin	1,428	0,052	0,358	0,018	0,521	0,034
Bydgoszcz	1,505	0,070	0,310	-0,011	0,422	0,013
Toruń	1,621	0,094	0,231	-0,005	0,331	0,024

Uwaga. M oznacza średnią z 12 kohort rozpoczynających naukę w gimnazjum w latach 2003–2014. Współczynnik b roczny jest niestandardyzowanym nachyleniem liniowego trendu względem roku rozpoczęcia nauki. Wszystkie wartości podano do trzech miejsc po przecinku. Segregację zdefiniowano jako różnicę średnich wyników wejściowych s_{2pl} między segmentami TOP 20 i DOWN 20. Luki Q25 i Q75 oznaczają skorygowane o wynik wejściowy różnice TOP 20–DOWN 20 odpowiednio dla 25. i 75. kwantyla warunkowego rozkładu wyniku GMP.

Tabela dostarcza dodatkowego potwierdzenia W1 oraz wstępnego potwierdzenia W2. Można zatem przejść do głównej fazy analiz.

Weryfikacja hipotez H1, H2 i H3

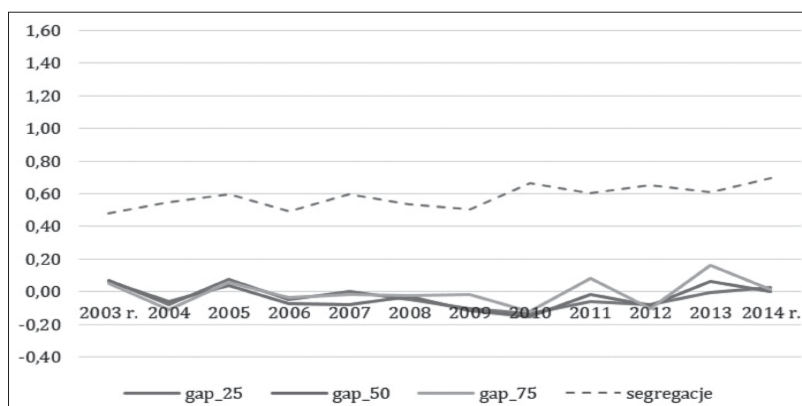
Analizę rozpocznę od hipotezy H1: wzrostowi segregacji ze względu na uprzednie osiągnięcia między kolejnymi rocznikami w obrębie danego miasta towarzyszy, po trzech latach nauki, wzrost luki w wynikach końcowych tej samej kohorty. Przykładową subpopulacją zgodną z H1 jest Białystok. Poniższy wykres (rys. 2) przedstawia trendy segregacji oraz luk dla 25., 50. i 75. kwantyla.



Rysunek 2. Białystok: dynamika segregacji międzyszkolnej oraz skorygowanej luki w wynikach GMP między absolwentami gimnazjów z segmentów TOP 20 i DOWN 20, oszacowanej dla 25., 50. i 75. kwantyla warunkowego rozkładu wyniku GMP. Oś pozioma przedstawia rok rozpoczęcia nauki w gimnazjum

W Białymstoku obserwujemy dość niski wyjściowy poziom segregacji, lecz w kolejnych rocznikach trend wzrostowy jest wyraźny i silnie skorelowany ze wzrostem luk (odpowiednio $r = 0,75$; $r = 0,80$; $r = 0,82$).

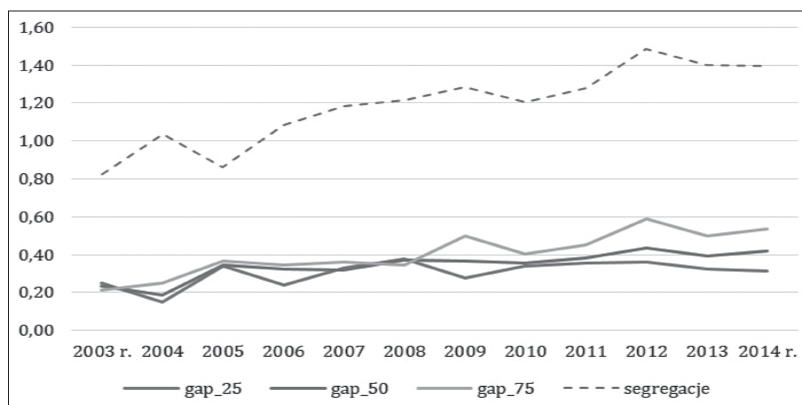
Choć na pierwszy rzut oka może się to wydawać zaskakujące, również subpopulacja Kielc jest zgodna z przewidywaniem H1 (rys. 3).



Rysunek 3. Kielce: dynamika segregacji międzyszkolnej oraz skorygowanej luki w wynikach GMP między absolwentami gimnazjów z segmentów TOP 20 i DOWN 20, oszacowanej dla 25., 50. i 75. kwantyla warunkowego rozkładu wyniku GMP. Oś pozioma przedstawia rok rozpoczęcia nauki w gimnazjum

W mieście tym obserwujemy dość niski poziom segregacji, brak wyraźnego trendu tego parametru oraz brak zmian wielkości luk. Minimalne wahania segregacji i luk nie są ze sobą skorelowane (odpowiednio $r = -0,09$; $r = -0,11$; $r = -0,09$). Gdy segregacja się nie nasila, luki pozostają zatem względnie niezmiennie. Czyli obserwowany wzorzec wskazuje, że brak impulsów segregacyjnych współwystępuje ze stabilnością luk i to na poziomie bliskim zeru.

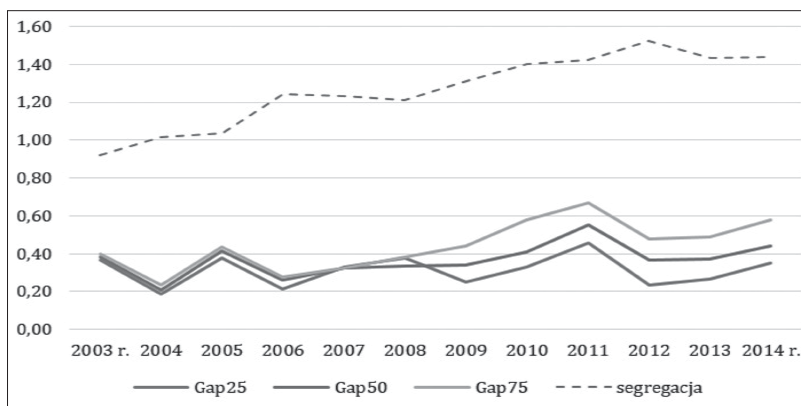
Przytoczmy w kontekście H1 wynik analiz dla jeszcze jednej subpopulacji: Poznań (rys. 4).



Rysunek 4. Poznań: dynamika segregacji międzyszkolnej oraz skorygowanej luki w wynikach GMP między absolwentami gimnazjów z segmentów TOP 20 i DOWN 20, oszacowanej dla 25., 50. i 75. kwantyla warunkowego rozkładu wyniku GMP. Oś pozioma przedstawia rok rozpoczęcia nauki w gimnazjum

W tym przypadku obserwujemy wzorzec zgodny zarówno z H1, jak i H2: wzrost segregacji jest powiązany ze wzrostem luki, a siła tego związku różni się między kwantylami warunkowego rozkładu GMP. Korelacje wynoszą odpowiednio $r = 0,46$; $r = 0,77$; $r = 0,88$. Luka Q75 rośnie wyraźnie wraz z nasilaniem się segregacji, natomiast dla Q25 trend jest znacznie słabszy ($b = 0,03$ wobec $b = 0,01$; zob. tab. 2).

Przejdźmy do H2, zgodnie z którą wielkość luki, czyli siła amplifikacji różnic, zależy od pozycji w warunkowym rozkładzie osiągnięć końcowych GMP. Oczekuje się zatem, że związek segregacji z wielkością luki będzie się różnił między Q25, Q50 i Q75. Klarownym przykładem takiego wzorca jest subpopulacja Krakowa (rys. 5).

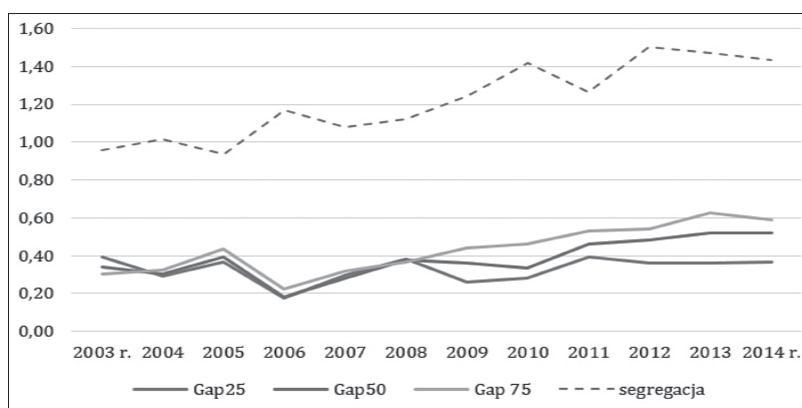


Rysunek 5. Kraków: dynamika segregacji międzyszkolnej oraz skorygowanej luki w wynikach GMP między absolwentami gimnazjów z segmentów TOP 20 i DOWN 20, oszacowanej dla 25., 50. i 75. kwantyla warunkowego rozkładu wyniku GMP. Oś pozioma przedstawia rok rozpoczęcia nauki w gimnazjum

Obserwujemy wyraźny wzrost segregacji powiązany ze zmianami luki Q75 ($r = 0,64$) oraz brak czytelnego wzrostu luki Q25 i korelacji jej wahań z segregacją ($r = -0,01$). Widzimy zatem wyraźną heterogeniczność dystrybucyjną, choć ogólny obraz zaciera spadek wielkości luki dla wszystkich kwantyli w 2012 r.

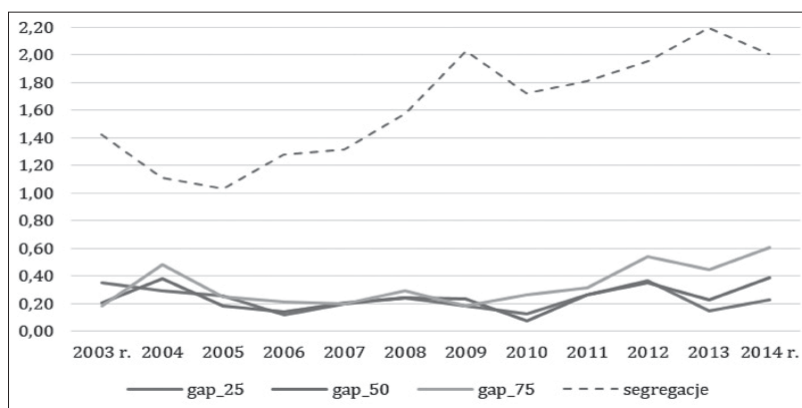
Innym przypadkiem zgodnym z H2 jest Warszawa (rys. 6).

W Warszawie wzrost segregacji jest powiązany z wielkością luki w sposób zróżnicowany między kwantylami warunkowego rozkładu GMP. Korelacje między segregacją a lukami wynoszą odpowiednio $r = 0,02$; $r = 0,60$; $r = 0,76$. Wzorzec wyników dostarcza również przesłanki zgodnej z H3: selektywny wzrost luki staje się widoczny dopiero od 2009 r., podczas gdy wysoka i lekko rosnąca segregacja w rocznikach 2003–2008 nie współwystępowała ze zmianami wielkości luk.



Rysunek 6. Warszawa: dynamika segregacji międzyszkolnej oraz skorygowanej luki w wynikach GMP między absolwentami gimnazjów z segmentów TOP 20 i DOWN 20, oszacowanej dla 25., 50. i 75. kwantyla warunkowego rozkładu wyniku GMP. Oś pozioma przedstawia rok rozpoczęcia nauki w gimnazjum

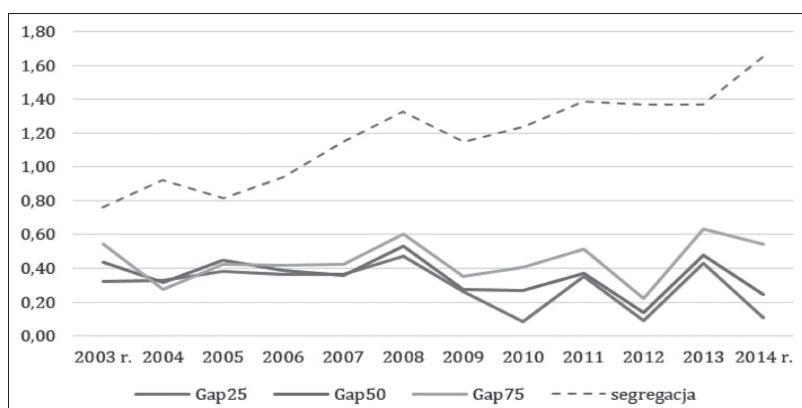
Przechodząc do hipotezy H3, warto przytoczyć wyniki dla Torunia (rys. 7).



Rysunek 7. Toruń: dynamika segregacji międzyszkolnej oraz skorygowanej luki w wynikach GMP między absolwentami gimnazjów z segmentów TOP 20 i DOWN 20, oszacowanej dla 25., 50. i 75. kwantyla warunkowego rozkładu wyniku GMP. Oś pozioma przedstawia rok rozpoczęcia nauki w gimnazjum

W tej subpopulacji wzrostowy trend segregacji staje się widoczny od 2006 r., natomiast zróżnicowany między kwantylami wzrost luki rozpoczyna się w 2010 r. To oczywiście tylko przesłanka do dalszych analiz a nie mocny wniosek.

Na koniec przedstawiono wzorzec wyników wyraźnie niezgodny z kluczowymi hipotezami H1 i H2 – subpopulację Bydgoszczy (rys. 8).



Rysunek 8. Bydgoszcz: dynamika segregacji międzyszkolnej oraz skorygowanej luki w wynikach GMP między absolwentami gimnazjów z segmentów TOP 20 i DOWN 20, oszacowanej dla 25., 50. i 75. kwantyla warunkowego rozkładu wyniku GMP. Oś pozioma przedstawia rok rozpoczęcia nauki w gimnazjum

W tej subpopulacji gimnazjów obserwujemy wzrost segregacji, któremu nie towarzyszy ogólny wzrost luki. Korelacje wynoszą odpowiednio $r = -0,57$; $r = -0,37$; $r = 0,23$. Warto zauważyć, że w trzech rocznikach – 2010, 2013 i 2014 – występują wyraźne różnice między lukami w poszczególnych kwantylach. To jednak zbyt mało, by uznać wzorzec za zgodny z H1 i H2.

Tabela 3 przedstawia konfrontację wzorców wyników w analizowanej kolekcji przypadków z hipotezami H1, H2 i H3. W ostatniej kolumnie podano opisową kategoryzację wzorców wyników.

Tabela 3. Podsumowanie weryfikacji hipotez H1–H3 oraz kategoryzacja miast

Miasto	H1	H2	H3	Typ
Białystok	tak	nie	nie	1
Gliwice	tak	nie	nie	1
Gdańsk	tak	nie	nie	1
Kielce	tak	nie	nie	1
Poznań	tak	tak	nie	1
Rzeszów	nie	tak	nie	2
Gdynia	nie	tak	nie	2
Szczecin	nie	tak	nie	2
Łódź	nie	tak	nie	2
Częstochowa	nie	tak	tak	3
Warszawa	nie	tak	tak	3
Katowice	nie	tak	tak	3
Kraków	nie	tak	tak	3
Wrocław	nie	tak	tak	3
Toruń	nie	tak	tak	3

Miasto	H1	H2	H3	Typ
Lublin	nie	nie	nie	4
Bydgoszcz	nie	nie	nie	4
Olsztyn	nie	nie	nie	4
Radom	?	?	nie	5
Sosnowiec	?	nie	nie	5

Typy 1 i 2, czyli wzorce wyników zgodnych z H1 lub z H1 i H2, wspierają hipotezę kierunkową. Jeżeli wcześniejsze osiągnięcia korelują z wyborem lub przydziałem do szkoły, a jej środowisko następnie przyczynia się do powiększania różnic wyników, część wariancji osiągnięć przypisywanej w modelach genetyki zachowania podobieństwu genetycznemu może być współtworzona przez środowisko skorelowane z wcześniejszymi predyspozycjami. Do tych dwóch typów należy dziewięć przypadków. Typ 3 dostarcza słabszego wsparcia hipotezie kierunkowej i obejmuje sześć przypadków. Typ 4, obejmujący trzy miasta, w mniejszym lub większym stopniu falsyfikuje H1. W dwóch subpopulacjach wzorce wyników są na tyle niejednoznaczne, że nie pozwalają na ściśle określone odniesienie do hipotez.

Podsumowując, w 15 z 20 przypadków obserwujemy wzorce wyników zgodne z hipotezą kierunkową, że w lokalnych systemach szkolnych istnieje empirycznie obserwowalny mechanizm, przez który wcześniejsze cechy uczniów zostają skorelowane ze zróżnicowanymi środowiskami szkolnymi, a środowiska te wiążą się z dalszym narastaniem różnic osiągnięć.

Dyskusja: czy wyniki wskazują, że rGE zawyża h^2 ?

Najkrótsza odpowiedź brzmi: wyniki nie dowodzą, że rGE obciąża oszacowania h^2 , ale dostarczają pośrednich, warunkowych przesłanek, że taki mechanizm może działać w części lokalnych systemów szkolnych. W badaniu nie obserwuje się genotypu, nie wykorzystuje porównań bliźniąt lub rodzeństwa i nie oddziela bezpośrednich efektów genetycznych od wpływu rodziny, selekcji oraz szkoły. Wynik na wejściu jest fenotypem ukształtowanym zarówno przez predyspozycje, jak i wcześniejsze środowisko. Segregacji według wyniku wejściowego nie można więc utożsamiać z segregacją genetyczną.

Najmocniejszymi przesłankami zgodnymi z hipotezami H1 i H2 są następstwo czasowe oraz gradient Q25–Q75. Jednocześnie subpopulacje typu 4 stanowią ważne kontrprzykłady.

Wyniki najmocniej wspierają więc nie tezę „rGE zawsze zawyża oszacowania h^2 ”, lecz tezę warunkową: modele nieuwzględniające rGE mogą zawyżać oszacowanie bezpośredniego komponentu genetycznego tam, gdzie wcześniejsze osiągnięcia wpływają na przydział do zróżnicowanych środowisk szkolnych, a środowiska te następnie zwiększają różnice wyników.

Jeżeli h^2 definiuje się jako parametr konkretnej populacji funkcjonującej w istniejącym systemie instytucjonalnym, rGE jest częścią realnego procesu reprodukcji różnic, a nie wyłącznie artefaktem. Bezpośredni test wymagałby połączenia danych egzaminacyjnych i szkolnych z projektami bliźniaczymi,

rodzinnymi lub poligenicznymi. Szczególnie informacyjny byłby model badający, czy oszacowania h^2 albo predykcja wyniku przez wynik poligeniczny (*polygenic score*) są większe w lokalnych systemach typu 1, 2 i 3 niż w typie 4 oraz czy różnice te słabną w analizach wewnątrzrodzinnych (*within-family*) i po kontroli środowiska szkolnego. Pozwoliłoby to odróżnić bezpośredni efekt genetyczny od efektu selekcji i środowiskowej amplifikacji.

Z perspektywy diagnostyki edukacyjnej wynik ma znaczenie niezależnie od rozstrzygnięcia genetycznego. Pokazuje, że relacja wejście–wyjście nie jest wyłącznie właściwością ucznia; może zależeć od sposobu, w jaki lokalny system rozdziela uczniów między szkoły i różnicuje ich dalsze możliwości. Klasyczne modele edukacyjnej wartości dodanej powinny być uzupełniane analizą heterogeniczności efektów, zwłaszcza w dolnej i górnej części rozkładu osiągnięć.

Ograniczenia

Wnioskowanie ma charakter pośredni. Nie mierzono genotypu ani rodzinnych mechanizmów rGE, a dane zagregowane nie pozwalają oddzielić efektu składu szkół, selektywnej mobilności, zmian sieci placówek i różnic w praktykach nauczania. Korelacje w każdym mieście opierają się na 12 rocznikach, dlatego ich wartości należy traktować jako opis profilu przypadku, a nie precyzyjne oszacowanie parametru populacyjnego. Wspólne trendy czasowe mogą także zwiększać korelacje między wskaźnikiem segregacji a lukami, choć obecność typów odwrotnych i słabych wzorców pokazuje, że nie wyjaśniają całego obrazu.

Ograniczeniem jest też brak procedur zrównywania wyników między latami i zrównywania podłużnego wyników sprawdzianu w klasie VI i egzaminu gimnazjalnego.

Choć gradient Q25–Q75 może odzwierciedlać większe korzyści związane z programem, tempem nauczania, składem rówieśniczym i oczekiwaniami w górnej części warunkowego rozkładu wyników końcowych, to może jednak powstać także wskutek resztkowej selekcji ze względu na motywację, aspirację, SES, wsparcie rodziców lub zdrowie, a także nieliniowości, heteroskedastyczności, efektów podłogi i sufitu, błędu pomiaru oraz niewystarczającego nakładania się rozkładów wyników wejściowych w segmentach TOP 20 i DOWN 20. Szczególnie oszacowanie Q75 w DOWN 20 i Q25 w TOP 20 może opierać się na niewielu obserwacjach lub ekstrapolacji.

Wskaźniki segregacji i luki dotyczą osiągnięć, a nie genotypu. Wysokie wyniki wejściowe mogą odzwierciedlać zarówno predyspozycje poznawcze, jak i wcześniejsze zasoby rodzinne, jakość szkoły podstawowej oraz kapitał kulturowy. Dlatego przedstawione wyniki nie pozwalają oszacować skali ewentualnego obciążenia h^2 , lecz jedynie wskazać instytucjonalny mechanizm, który powinien zostać uwzględniony w przyszłych badaniach genetyki edukacyjnej.

W końcu ostatnim ograniczeniem, na które pragnę zwrócić uwagę, jest wykluczenie z analizy uczniów szkół niepublicznych. Z pewnością znaczenie tego segmentu szkół wymagać będzie w przyszłości odrębnych analiz.

Konkluzje

Zbiór 20 podłużnych studiów przypadku nie dowiódł jednoznacznego związku między segregacją na wejściu a luką wyników po trzech latach w domenie osiągnięć matematyczno-przyrodniczych.

Najbardziej powtarzalnym wynikiem był gradient dystrybucyjny: luka TOP 20–DOWN 20 była przeciętnie większa w górnej niż w dolnej części warunkowego rozkładu wyników końcowych, a w wielu miastach również korelacja segregacji z luką nasilała się ku Q75. Wynik ten jest zgodny z mechanizmem instytucjonalnego wzmacniania wcześniejszych przewag.

Nie można na tej podstawie stwierdzić, że rGE faktycznie zawyża h^2 . Można jednak wnioskować, że w części lokalnych systemów istnieją warunki, w których nieuwzględnienie rGE prowadziłoby do nadmiernego przypisania komponentowi genetycznemu stabilności współtworzonej przez selekcję i środowisko szkolne.

Literatura

- Cheesman, R., Borgen, N. T., Sandsør, A. M. J., & Hufe, P. (2025). The genetic lottery goes to school: Better schools compensate for the effects of students' genetic differences. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 122(43), Article e2511715122. <https://doi.org/10.1073/pnas.2511715122>
- de Zeeuw, E. L., de Geus, E. J. C., & Boomsma, D. I. (2015). Meta-analysis of twin studies highlights the importance of genetic variation in primary school educational achievement. *Trends in Neuroscience and Education*, 4(3), 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2015.06.001>
- Dolata, R. (2008). *Szkola – segregacje – nierówności*. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego.
- Dolata, R. (2009). Czy segregacja uczniów ze względu na uprzednie osiągnięcia szkolne zwiększa efektywność nauczania mierzoną metodą EWD? *Edukacja*, 1(105), 60–67.
- Dolata, R. (2010). Cicha rewolucja w oświacie – proces różnicowania się gimnazjów w dużych miastach. *Edukacja*, 1(109), 51–60.
- Dolata, R., Hawrot, A., Humenny, G., Jasińska, A., Koniewski, M., Majkut, P., & Żółtak, T. (2013). *Trafność metody edukacyjnej wartości dodanej dla gimnazjów*. Instytut Badań Edukacyjnych.
- Dolata, R. (2021). Nierówności edukacyjne i szkolne segregacje, czyli szkoła publiczna wobec wyzwań spójności społecznej w lokalnym systemie edukacji. *Kwartalnik Pedagogiczny*, 66(1), 31–50. <https://doi.org/10.31338/2657-6007.KP2021-1.2>
- Jensen, A. R. (1969). How much can we boost IQ and scholastic achievement? *Harvard Educational Review*, 39(1), 1–123. <https://doi.org/10.17763/haer.39.1.l3u15956627424k7>
- Koenker, R. (2005). *Quantile regression*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511754098>
- Koenker, R., & Bassett, G., Jr. (1978). Regression quantiles. *Econometrica*, 46(1), 33–50. <https://doi.org/10.2307/1913643>

- Krapohl, E., Rimfeld, K., Shakeshaft, N. G., Trzaskowski, M., McMillan, A., Pingault, J.-B., Asbury, K., Harlaar, N., Kovas, Y., Dale, P. S., & Plomin, R. (2014). The high heritability of educational achievement reflects many genetically influenced traits, not just intelligence. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(42), 15273–15278. <https://doi.org/10.1073/pnas.1408777111>
- Plomin, R., DeFries, J. C., & Loehlin, J. C. (1977). Genotype–environment interaction and correlation in the analysis of human behavior. *Psychological Bulletin*, 84(2), 309–322. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.84.2.309>
- Pokropek, A., & Sikora, J. (2015). Heritability, family, school and academic achievement in adolescence. *Social Science Research*, 53, 73–88. <https://doi.org/10.1016/j.ssresearch.2015.05.003>
- Rimfeld, K., Malanchini, M., Krapohl, E., Hannigan, L. J., Dale, P. S., & Plomin, R. (2018). The stability of educational achievement across school years is largely explained by genetic factors. *npj Science of Learning*, 3, Article 16. <https://doi.org/10.1038/s41539-018-0030-0>
- Rybak, A., Bents, D., Krüger, J., & Groth, D. (2020). The end of the secular trend in Norway: Spatial trends in body height of Norwegian conscripts in the 19th, 20th and 21st century. *Anthropologischer Anzeiger*, 77(5), 415–421. <https://doi.org/10.1127/anthranz/2020/1254>
- Starr, A., Ruks, M., Giannelis, A., Willoughby, E., Pettersson, O., Pahnke, C. K. L., Maj, C., Andreas, A., Ahlskog, R., Arseneault, L., Fisher, H. L., Forstner, A. J., Kandler, C., McGue, M., Nöthen, M. M., Oskarsson, S., Spinath, F. M., Vrieze, S., Wertz, J., & von Stumm, S. (2026). Within- and between-family genetic effects on educational achievement vary across countries and ages. *Molecular Psychiatry*, 31, 2029–2037. <https://doi.org/10.1038/s41380-025-03342-0>
- Stienstra, K., Knigge, A., & Maas, I. (2024). Gene-environment interaction analysis of school quality and educational inequality. *npj Science of Learning*, 9, Article 14. <https://doi.org/10.1038/s41539-024-00225-x>
- ten Braak, D., Lenes, R., Purpura, D. J., Schmitt, S. A., & Størksen, I. (2022). Why do early mathematics skills predict later mathematics and reading achievement? The role of executive function. *Journal of Experimental Child Psychology*, 214, Article 105306. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2021.105306>
- Visscher, P. M., Medland, S. E., Ferreira, M. A. R., Morley, K. I., Zhu, G., Cornes, B. K., Montgomery, G. W., & Martin, N. G. (2006). Assumption-free estimation of heritability from genome-wide identity-by-descent sharing between full siblings. *PLoS Genetics*, 2(3), Article e41. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.0020041>
- Yang, J., Benyamin, B., McEvoy, B. P., Gordon, S., Henders, A. K., Nyholt, D. R., Madden, P. A., Heath, A. C., Martin, N. G., Montgomery, G. W., Goddard, M. E., & Visscher, P. M. (2010). Common SNPs explain a large proportion of the heritability for human height. *Nature Genetics*, 42(7), 565–569. <https://doi.org/10.1038/ng.608>
- Yengo, L., Vedantam, S., Marouli, E., Sidorenko, J., Bartell, E., Sakaue, S., Graff, M., Eliassen, A. U., Jiang, Y., Raghavan, S., Miao, J., Arias, J. D., Graham, S. E., Mukamel, R. E., Spracklen, C. N., Yin, X., Chen, S.-H., Ferreira, T., Highland, H. H., ... Hirschhorn, J. N. (2022). A saturated map of common genetic variants associated with human height. *Nature*, 610(7933), 704–712. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05275-y>
- Zhou, Q., Gidziela, A., Allegrini, A. G., Cheesman, R., Wertz, J., Maxwell, J., Plomin, R., Rimfeld, K., & Malanchini, M. (2025). Gene–environment correlation: The role of family environment in academic development. *Molecular Psychiatry*, 30, 999–1008. <https://doi.org/10.1038/s41380-024-02716-0>
- Zhou, Q., Liao, W., Allegrini, A. G., Rimfeld, K., Wertz, J., Morris, T. T., Raffington, L., Plomin, R., & Malanchini, M. (2026). Non-cognitive skills mediate education-related polygenic score associations with academic achievement across development. *Nature Communications*, 17, Article 5133. <https://doi.org/10.1038/s41467-026-72838-2>