

CE4CE „Public Transport Infrastructure in Central Europe – facilitate transitioning to circular economy”

CE4CE

Projekt CE4CE otrzymał dofinansowanie z programu Unii Europejskiej
Interreg Europa Środkowa

Ocena stosowanych analiz efektywności ekonomicznej transportu zeroemisyjnego w świetle koncepcji gospodarki obiegu zamkniętego

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna – PublicTrans 2023

Wydział Ekonomiczny

Dr Aleksander Jagiello

Katedra Rynku Transportowego



Zapraszam do kontaktu:

aleksander.jagiello@ug.edu.pl

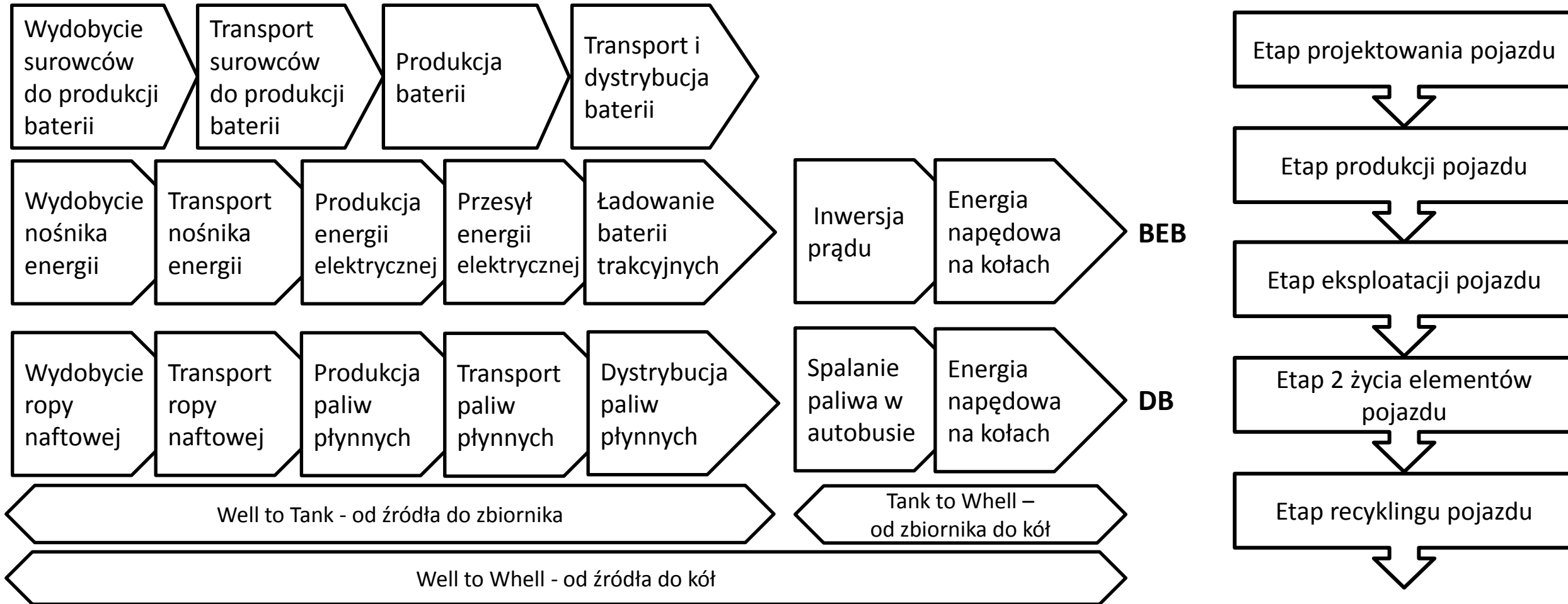
tel: 792071119

Istnieje wiele analiz umożliwiających ocenę efektywności ekonomicznej transportu zeroemisyjnego

Analiza	Główny cel analizy	Wynik analizy
Analiza kosztów i korzyści Cost-benefit analysis (CBA)	Maksymalizacja efektywności projektów biorąca pod uwagę całość przewidywanych korzyści i kosztów	Wartość bieżąca netto projektu Net present value (NPV)
Analiza wielokryterialna Multi-criteria analysis (MCA)	Uogólnienie ocen ilościowych oraz jakościowych kryteriów i parametrów różnych projektów	Wskazanie optymalnej wersji projektu pod względem realizacji przyjętych kryteriów
Analiza kosztów-efektywności Cost-effectiveness analysis (CEA)	Minimalizowanie kosztu uzyskania jednostkowego efektu wyrażanego w jednostkach naturalnych (w projektach transportowych np. pasażerokilometra)	Koszt na jednostkę efektu wyrażanego w jednostkach naturalnych (w przypadku projektów transportowych np. wozokilometr)
Środowiskowa ocena cyklu życia Life-cycle assessment (LCA)	Minimalizacja wpływu projektu na środowisko naturalne	Ocena konsekwencji środowiskowych każdego etapu cyklu życia projektu oraz projektu jako całości
Analiza kosztów cyklu życia Life-cycle cost analysis (LCCA)	Minimalizacja kosztów projektu uwzględniając wszystkie fazy cyklu życia	Wartość całkowitych kosztów w całym cyklu życia projektu
Całkowity koszt posiadania The total cost of ownership (TCO)	Uwzględnienie kosztów zakupu, eksploatacji, kapitałowych i utylizacji w celu zidentyfikowania najbardziej efektywnego kosztowo wariantu projektu	Wartość całkowitych kosztów posiadania danego projektu

Ze względu na to, że poszczególne analizy służą różnym celom dają zróżnicowane wyniki
Należy je zatem traktować jako narzędzia **komplementarne, a nie substytucyjne**

Poszczególne analizy oraz autorzy analiz stosują zróżnicowane podejście co do zasadności/konieczności uwzględniania poszczególnych etapów wpływających na efektywność ekonomiczną transportu zbiorowego, a zwłaszcza jego emisyjność



Szczególnie problematyczne jest precyzyjne wskazanie poszczególnych etapów w przypadku autobusów wodorowych ze względu na zróżnicowane źródła wodoru oraz sposoby jego magazynowania i przesyłu

Obecnie ze względów prawnych w Polsce najczęściej bada się efektywność ekonomiczną transportu zeroemisyjnego z wykorzystaniem metodyki analizy kosztów i korzyści (AKK)

Ustawa o elektromobilności zawiera wymóg sporządzania, co 36 miesięcy, analizy kosztów i korzyści związanych z wykorzystaniem autobusów zeroemisyjnych oraz innych środków transportu w świadczeniu usług komunikacji miejskiej

Analizy te obejmują w szczególności:

- **analizę finansowo-ekonomiczną**
- **oszacowanie efektów środowiskowych związanych z emisją szkodliwych substancji dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi**
- **analizę społeczno-ekonomiczną uwzględniającą wycenę kosztów związanych z emisją szkodliwych substancji**

W przeprowadzanych analizach można uwzględnić korzyści z nowo powstających linii tramwajowych, linii metra lub zelektryfikowanej kolei miejskiej, których utworzenie spowoduje wycofanie z tej samej trasy autobusów napędzanych silnikiem spalinowym

Jeżeli wyniki analizy, wskazują na brak korzyści z wykorzystywania autobusów zeroemisyjnych, jednostka samorządu terytorialnego, może nie realizować obowiązku osiągnięcia poziomu udziału autobusów zeroemisyjnych

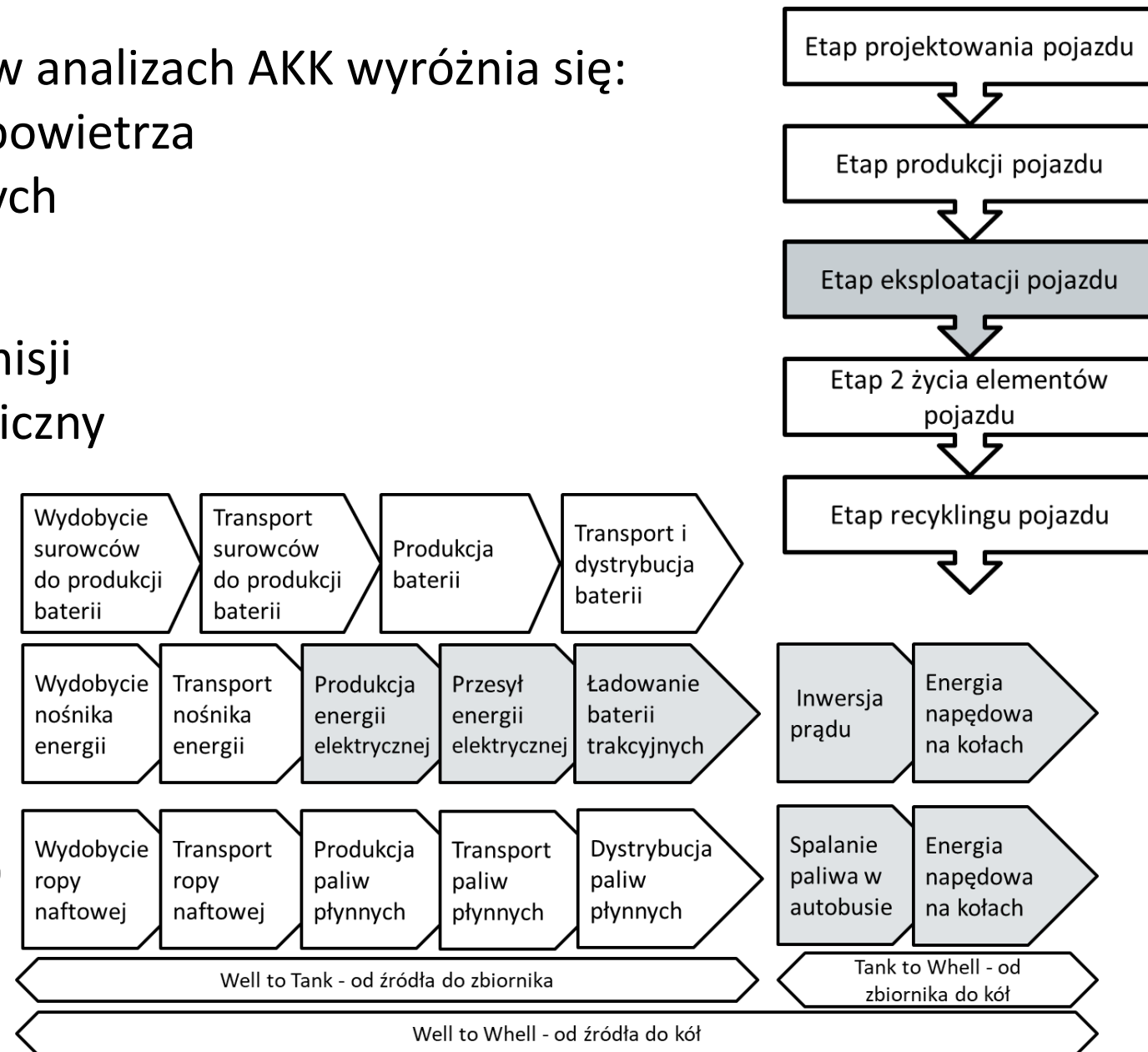
Analizy AKK uwzględniają tylko wybrane etapy wpływające na emisyjność transportu

Wśród kosztów i korzyści ekonomicznych w analizach AKK wyróżnia się:

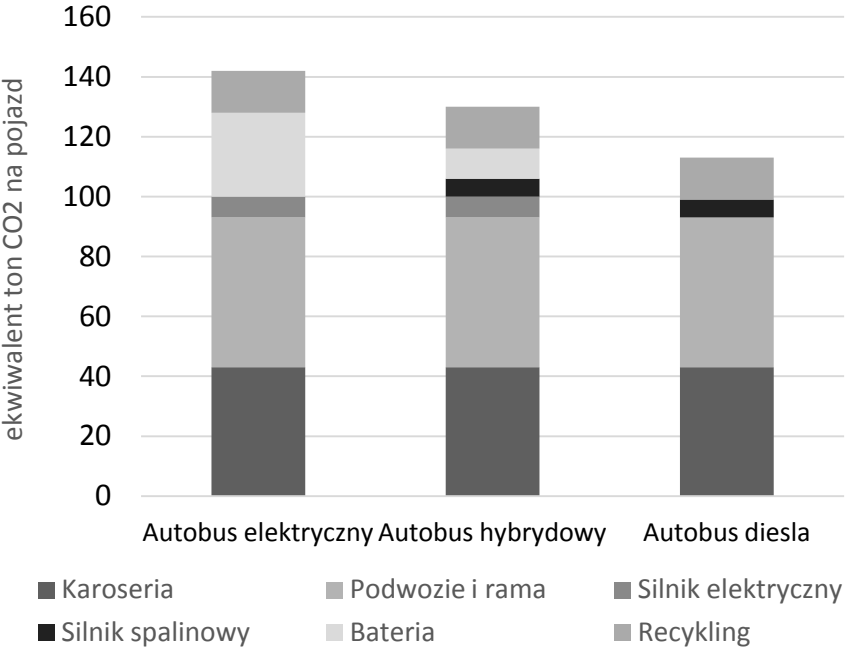
- oszczędność lub koszt zanieczyszczenia powietrza
- oszczędność lub koszt zmian klimatycznych
- oszczędność lub koszt hałasu

Dane służące do oszacowania wielkości emisji gazów cieplarnianych przez transport publiczny w analizach AKK to:

- wykonana praca przewozowa;
- przeciętne spalanie ON lub zużycie energii elektrycznej przez dany pojazd;
- wskaźnik emisji ON lub EE (kg CO₂/l ON lub Mg/MWh);
- koszt emisji jednej tony CO₂ (PLN/t CO₂)

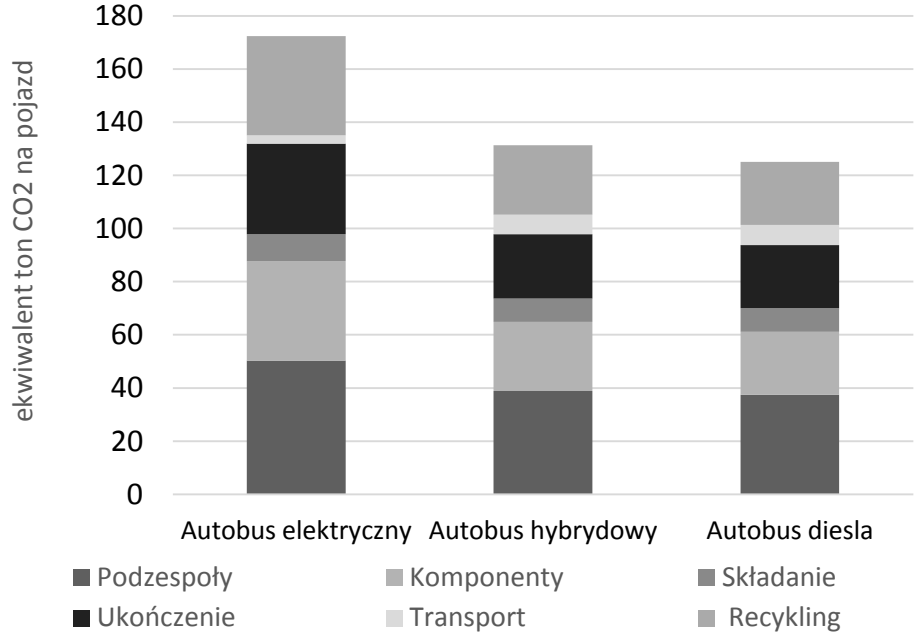


Czy pozostałe (nie uwzględniane w AKK) etapy wpływające na całkowitą/globalną emisyjność transportu realizowanego autobusami są istotne, czy może pomijalne?



Wpływ produkcji poszczególnych części autobusów na zmianę klimatu

Źródło: A. Nordelöf, M. Romare, J. Tivander, Life cycle assessment of city buses powered by electricity, hydrogenated vegetable oil or diesel, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 75, 2019, Pages 211-222,



Wpływ poszczególnych etapów produkcji autobusów na zmianę klimatu

Źródło: Zhao E, Walker PD, Surawski NC. Emissions life cycle assessment of diesel, hybrid and electric buses. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. 2022;236(6):1233-1245.

Emisyjność GHG [kg CO ₂ (e)/ poj-km]	
Teren płaski	
Nawierzchnia nowa	
km/h	HGV
0-10	1,64
11-20	0,91
21-30	0,69
31-40	0,58
41-50	0,52
51-60	0,49
61-70	0,47

CO2 ze spalania: 2,52 kg/dm3 ON (spalanie + produkcja 3,17 kg/dm3).

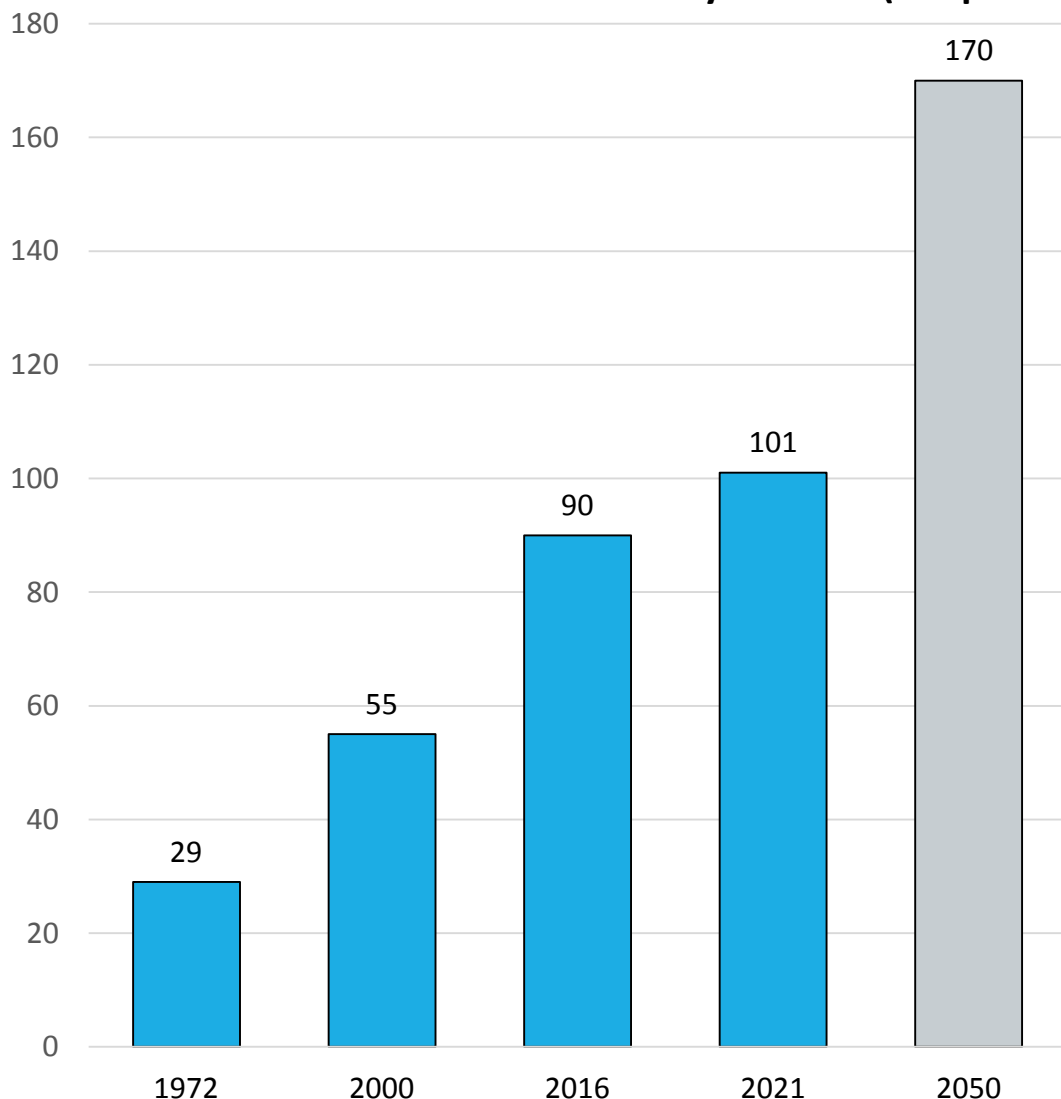
Ekwiwalent CO2 z produkcji BEB = 140-200 tys. km autobusu ON

Na podstawie wyników analiz środowiskowej oceny cyklu życia [Life-cycle assessment (LCA)] można stwierdzić, że różnica w emisyjności związanej z produkcją i recyklingiem autobusów poszczególnych typów (z pominięciem etapu ich eksploatacji) wynosi około **30-35%**

Czy różnice te powinny być brane pod uwagę przez zamawiających? (perspektywa lokalna czy globalna?)

Dlaczego sama emisyjność produkcji i eksploatacji autobusów to nie wszystko w kontekście wpływu poszczególnych rodzajów autobusów miejskich na środowisko?

Ekonomia cyrkularna (Gospodarka o obiegu zamkniętym) a transport zeroemisyjny



W zaledwie 50 lat globalne zużycie surowców i materiałów **wzrosło prawie czterokrotnie**, przewyższając tempo wzrostu liczby ludności

W **1972 r.**, gdy opublikowany został raport Klubu Rzymskiego "Granice wzrostu", świat zużywał **28,6 miliarda ton** surowców i materiałów. W **2000 r.** wartość ta wzrosła do **54,9 miliarda ton**, a w **2019 r. globalne zużycie surowców i materiałów przekroczyło 100 miliardów ton**

W Polsce przeciętne zużycie materiałów wynosi **13,8 t na osobę** (średnia globalna **11,9 t**) jednocześnie zaledwie **10,2 %** wykorzystywanych w naszym kraju surowców wraca do obiegu gospodarczego po ich pierwotnym wykorzystaniu

Źródła: <https://www.circularity-gap.world/poland>, The Circularity Gap Report 2022, PACE

Jedną z potencjalnych korzyści z trwającej rewolucji związanej z elektromobilnością ma być częściowe uniezależnienie UE od rynku ropy naftowej

W 2020 r. uzależnienie Polski od ropy naftowej wyniosło 96,9% (przy średniej dla UE wynoszącej 97,0%)

UE jest obecnie silnie uzależniona od importu surowców niezbędnych do produkcji baterii trakcyjnych. Szacuje się, że ponad **50%** niklu, **86%** kobaltu oraz **100%** litu wykorzystywanego do produkcji baterii trakcyjnych w państwach UE pochodzi z importu

Źródła: L. Mathieu, C. Mattea, From dirty oil to clean batteries. Batteries vs. oil: a systemic comparison of material requirements, Transport & Environment, Brussels 2021, s. 7.

Obecnie istnieją dwa główne sposoby umożliwiające częściowe uniezależnienie europejskiego rynku baterii trakcyjnych od importu surowców niezbędnych do ich produkcji:

- **Wzrost efektywności surowcowej procesów produkcyjnych baterii trakcyjnych.** Szacuje się, że w latach 2020-2030 przeciętne zapotrzebowanie na lit w przeliczeniu na jednostkę pojemności energetycznej zmaleje o **50%** (z 0.10 kg/kWh do 0.05 kg/kWh) na kobalt o **75%** (z 0.13 kg/kWh do 0.03 kg/kWh), a na nikiel o około **20%** (z 0.48 kg/kWh do 0.39 kg/kWh). Przewidywana skala wzrostu popytu na baterie trakcyjne nie pozwoli jednak, aby sam rozwój technologiczny pozwolił ograniczyć uzależnienie państw UE od importu surowców
- **Recykling wyeksploatowanych baterii.** Od 2024 r. w UE stopniowo wprowadzane będzie nowe prawo i wymagania dotyczące zrównoważonego poziomu śladu węglowego, zawartości surowców wtórnych oraz wydajności i trwałości procesów produkcyjnych baterii trakcyjnych. W 2025 r. obowiązywać zaczną również regulacja dotycząca Rozszerzonej Odpowiedzialności Producenta za ostatnie fazy cyklu życia baterii trakcyjnych

Ekonomia cyrkularna i zarządzanie efektywnością zużycia surowców jest szczególnie ważne z punktu widzenia Polski, jako obecnego europejskiego lidera w zakresie produkcji baterii trakcyjnych

Ranking państw pod względem mocy wytwórczych baterii trakcyjnych w 2022 r.

Lp.	Państwo	Moce wytwórcze [GWh]	Udział [%]
1	Chiny	893	77
2	<u>Polska</u>	<u>73</u>	<u>6</u>
3	USA	70	6
4	Węgry	38	3
5	Niemcy	31	3
6	Szwecja	16	1
7	Korea Płn	15	1
8	Japonia	12	1
9	Francja	6	1
10	Indie	3	0,2
-	Pozostałe	7	1
Ogółem		1 163	100

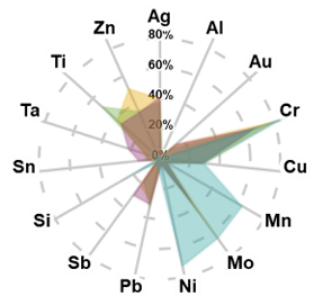
M. Majewski, J. Kania, A. Kania, J. Misiewicz, Ł. Witkowski, Europe runs on Polish lithium-ion batteries The potential of the battery sector in Poland and the CEE Region, The Polish Association of Alternative Fuels, Warsaw 2023, s. 9

Miejsce Polski w światowym rankingu udziału państw w łańcuchach produkcji baterii trakcyjnych (2022)

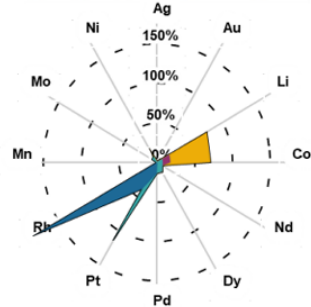
Kraj	Posiadane złoża surowców	Posiadane moce produkcyjne	ESG produkcji	Rozwój przemysłu, infrastruktury i innowacji	Popyt na produkt końcowy	Miejsce w rankingu
China	1	1	17	9	1	1
Canada	3	8	6	4	10	2
USA	6	4	16	5	2	3
Finland	9	15	2	1	11	4
Norway	18	10	1	3	7	5
Germany	21	6	4	7	2	6
South Korea	17	2	10	6	5	7
Sweden	21	9	3	2	8	8
Japan	13	3	8	12	8	9
Australia	2	15	9	13	11	10
<u>Polska</u>	<u>24</u>	<u>5</u>	<u>15</u>	<u>16</u>	<u>15</u>	<u>14</u>

Źródło: China Dominates the Lithium-ion Battery Supply Chain, but Europe is on the Rise, <https://about.bnef.com/blog/china-dominates-the-lithium-ion-battery-supply-chain-but-europe-is-on-the-rise/>

Na budowie Kowalski lata w te i z powrotem z pustą taczka. Widząc to kierownik pyta: Co tak z tą pustą taczka latacie? Panie kierowniku - mówi Kowalski – tyle pracy, że nie ma kiedy załadować



(a)



(b)

% of Total CSP [in kg Si eq]					% Total Metal Requirements [in kt]				
2.4e14	2.8e13	1.9e13	2.2e13	6.3e13	8057	8661	7421	7898	9612
ICE Rh 88%	BEV Au 25%	CONDERS Pd 31%	INDUERS Cu 30%	H2FC Pt 59%	ICE Fe 82%	BEV Fe 66%	CONDERS Fe 74%	INDUERS Fe 70%	H2FC Fe 75%
	Cu 23%	Au 28%	Pd 27%						
	Pd 22%	Cu 22%							
	Mo 8%	Ni 5%				Al 18%			
Pt 6%	Ag 5%	Mo 6%	Li 2%	Mo 6%	Al 12%		Al 16%	Al 17%	Al 11%
Pd 2%	Co 4%	Ni 2%	Sn 1%	Ni 2%	Cu 7%	Ni 4%			
Pt 2%	Li 4%	Co 5%	Ag 5%	Sn 1%	Mn 2%	Si 2%	Cu 6%	Cu 8%	Cu 4%
Au 1%	Sn 2%	Sn 1%	Co 1%	Co 1%	Cr 3%	Li 1%	Mn 1%	Ni 1%	Cr 2%

Zródła: Seshadri Srinivasa Raghavan, Anders Nordelot, Maria Ljunggren, Rickard Arvidsson, Metal requirements for road-based electromobility transitions in Sweden, Resources, Conservation and Recycling, Volume 190, 2023, oraz <https://zielonagospodarka.pl/niedobor-metali-moze-zahamowac-rozwoj-pojazdow-elektrycznych-12710>

Brak dostępności do surowców jest dla UE problemem zarówno gospodarczym, jak i środowiskowym. **Grozi to opóźnieniem przejścia na samochody elektryczne i technologie przyjazne dla środowiska.** Ponadto, ponieważ wielu z tych metali jest mało, ryzykujemy również, że **utrudnimy dostęp do nich przyszłym pokoleniom**, jeśli nie będziemy w stanie wykorzystać tego, co już jest w obiegu” prof.. Maria Ljunggren

„Ważny problem stanowi niewielki stopień **odzyskiwania metali krytycznych z pojazdów wycofanych z użytku**. Materiały te, występujące w bardzo małych stężeniach w każdym samochodzie, są ekonomicznie trudne do recyklingu” prof.. Maria Ljunggren

„Jeśli recykling ma wzrosnąć, pojazdy muszą być projektowane tak, aby umożliwić odzysk tych metali. Jednocześnie należy również wprowadzić różnego rodzaju zachęty do większego recyklingu”
prof. Maria Ljunggren

Podobnie jak w przypadku autobusów konwencjonalnych obecny sposób konstrukcji autobusów elektrycznych oraz baterii trakcyjnych utrudnia ich recykling, a tym samym ogranicza efekty środowiskowe trwającej rewolucji związanej z elektromobilnością

Wyniki analiz ekonomicznej efektywności w przypadku zróżnicowanych, zewnętrznych źródeł finansowania mają niewielkie znaczenie w procesie decyzyjnym

Efektywność ekonomiczna - maksymalizowanie efektów przy danych nakładach i/lub minimalizowanie nakładów przy danych efektach

Do źródeł zewnętrznych umożliwiających zakup autobusów elektrycznych należały, m.in.:

- Fundusz Niskoemisyjnego Transportu podlegający Ministrowi Energii,
- Narodowy Fundusz Ochrony Środowiskai Gospodarki Wodnej,
- Program Bezemisyjny Transport Publiczny,
- Fundusze unijne:
- POLiŚ
- POPW
- RPO

Wpływ poszczególnych czynników na motywacje wymiany taboru na zeroemisyjny wśród samorządów podlegających pod ustawę o elektromobilności	
Wymogi prawne UoE	39,4%
Ochrona środowiska	26,1%
Niższe koszty eksploatacji	14,9%
Poprawa komfortu podróży	10,3%
Przyciągnięcie nowych pasażerów	6,9%
Inne	2,3%

Źródło: Transport zbiorowy w polskich samorządach –stan obecny i plany na przyszłość
Departament Badań i Analiz Kwiecień 2023r.

Miasto	ENPV (autobusy konwencjonalne)	ENPV (autobusy elektryczne)	Różnica pomiędzy ENPV inwestycji w autobusy konwencjonalne a elektryczne
Bełchatów	b.d.	-2 101 060	b.d.
Biała Podlaska	b.d.	-9 422 355*	b.d.
Bydgoszcz	b.d.	-41 544 117 [MZK]* -16 559 586 [REX-Trans]*	b.d.
Częstochowa	-7 592 914	-14 279 806	-6 686 892
Elk	-52 478 902	-57 883 930	-5 405 028
Gdańsk	b.d.	b.d.	b.d.
Gdynia	b.d.	-80 045 671*	b.d.
Gniezno	b.d.	-7 930 935	b.d.
Gorzów Wielkopolski	b.d.	10 208 234,30	b.d.
Grudziądz	-13 357 600	-25 938 500	-12 580 900
Inowrocław	b.d.	- 7 333 300	b.d.
Jaworzno	b.d.	1 606 497*	b.d.
Jelenia Góra	b.d.	-29 210 048	b.d.
Kalisz	b.d.	- 20 028 910	b.d.
Kielce	-11 256 375	- 23 745 553	-12 489 178
Konin	-17 405 100	-25 611 800	-8 206 700
Kraków	b.d.	1 110 224	b.d.
Legnica	b.d.	- 6 877 672	b.d.
Lublin	b.d.	b.d.	b.d.
Łomża	b.d.	-7 546 247	b.d.
Łódź	b.d.	b.d.	b.d.
Ostrów Wielkopolski	b.d.	-12 246 825	b.d.
Pabianice	-40 270 900	-57 611 600	-17 340 700
Piła	-9 711 800	-15 898 700	-6 186 900
Piotrków Trybunalski	-9 895 700	-21 514 100	-11 618 400
Płock	b.d.	- 9 018 524	b.d.
Poznań	b.d.	-93 363 560	b.d.
Rzeszów	-18 507 400	-64 118 800	-45 611 400
Siedlce	b.d.	- 13 815 807	b.d.
Stalowa Wola	b.d.	-7 615 600	b.d.
Suwałki	-13 962 000	-27 050 200	-13 088 200
Świdnica	b.d.	- 4 352 803	b.d.
Tarnowskie Góry	b.d.	b.d.	b.d.
Toruń	b.d.	-33 740 320	b.d.
Tychy	b.d.	-56 073 155	b.d.
Wałbrzych	b.d.	-234 290 000	b.d.
Warszawa	94 875 000	b.d.	b.d.
Wrocław	-19 871 600	-33 623 700	-13 752 100
Wrocław	b.d.	b.d.	b.d.
Zielona Góra	-12 867 000	-51 694 000	-38 827 000

*wskaźnik NPV

Ze względu na uwarunkowania prawno-ekonomiczne znaczenie efektywności ekonomicznej i finansowej systemów transportu zbiorowego w warunkach krajowych wzrasta (perspektywa lokalna czy globalna?)

Wskaźnik odpłatności usług transportu zbiorowego w wybranych polskich miastach

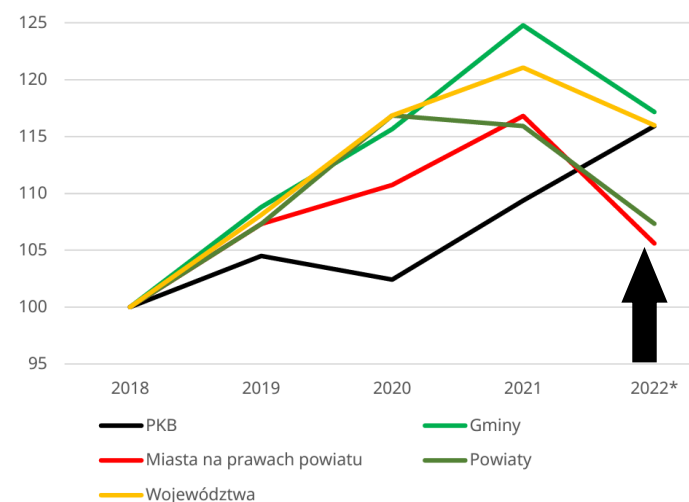
Miasto	2017	2018
Słupsk	43,5	46,5
Elbląg	39,0	b.d.
Piotrków Trybunalski	35,0	34,0
Ełk	39,8	35,8
Gdynia	43,5	46,5

Źródło: A. Jagiełło, Elektromobilność w kształtowaniu rozwoju drogowego transportu miejskiego w Polsce, Wydawnictwo UG, 2021

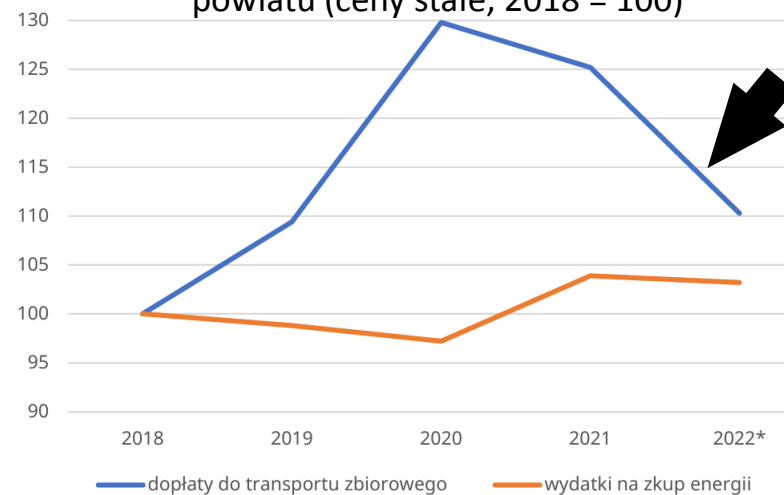
Spadek wskaźnika odpłatności prowadzić musi do realizacji jednego z trzech scenariuszy:

- wzrostu cen biletów komunikacji miejskiej,
- wzrostu dofinansowania publicznego**,
- ograniczenia w podaży komunikacji miejskiej (np. poprzez likwidację linii autobusowych, ograniczenie godzin kursowania komunikacji miejskiej czy zmniejszenie częstotliwości kursowania autobusów na danej linii).

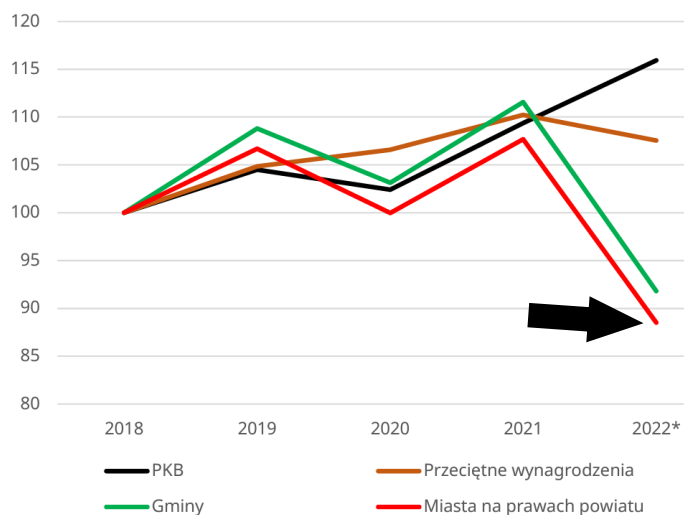
Zmiany **dochodów ogółem** (ceny stałe, 2018 = 100)



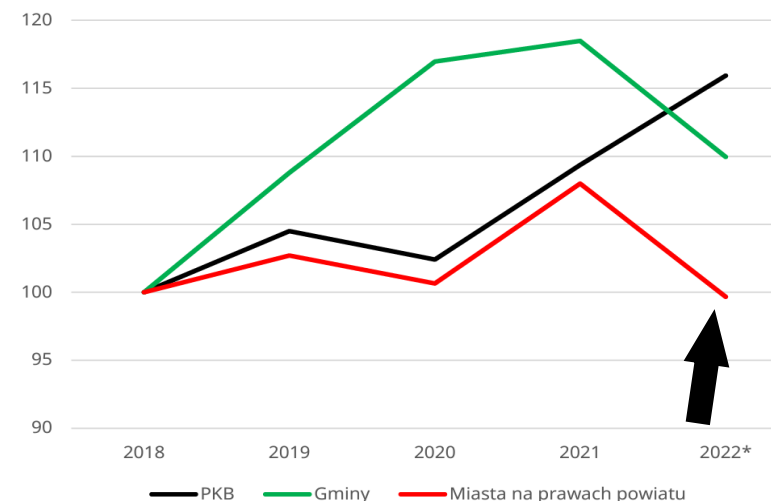
Dynamika wydatków w miastach na prawach powiatu (ceny stałe, 2018 = 100)



Wpływy z **udziału w PIT** (ceny stałe, 2018 = 100)



Dochody własne (ceny stałe, 2018 = 100)



Źródło: Fundacja Batorego, Sytuacja finansowa samorządów po III kwartale 2022 roku – stabilizacja czy o krok od katastrofy?

Podsumowanie

- Większość przeprowadzanych analiz efektywności ekonomicznej transportu zeroemisyjnego koncentruje się na ocenie efektów i kosztów powstających w fazie eksploatacji autobusów, pomijając efekty i koszty związane z pozostałymi fazami cyklu życia pojazdów (wydobycia surowców, produkcji komponentów, produkcji pojazdów, dystrybucji, wycofania z użytku, recyklingu)
- Ze względu na koncentrację na fazie eksploatacji obecnie większość przeprowadzanych analiz efektywności ekonomicznej transportu zeroemisyjnego koncentruje się na lokalnych efektach środowiskowych wdrażania autobusów zeroemisyjnych
- Obecnie przeprowadzane analizy efektywności ekonomicznej transportu zeroemisyjnego wcale lub w niewielkim stopniu uwzględniają efekty możliwe do uzyskania dzięki wdrażaniu założeń gospodarki obiegu zamkniętego
- Ze względu na uwarunkowania europejskie i krajowe, zwłaszcza w zakresie posiadanych złóż surowców niezbędnych do rewolucji związanej z elektromobilnością (przy obecnych rozwiązaniach technologicznych) konieczne są dalsze badania i wdrożenia rozwiązań związanych z gospodarką o obiegu zamkniętym



Interreg
CENTRAL EUROPE



Co-funded by
the European Union

CE4CE

Dziękuję za uwagę

Zapraszam do kontaktu i dyskusji:

aleksander.jagiello@ug.edu.pl

tel: 792 071 119