

Inwentaryzacja Cyklu Życia (LCI) Mieszanek Mineralno-Asfaltowych (MMA) w Polsce

Dataset z danymi domyślnymi (default data) zgodny z EN 15804+A2 Zakres:
Moduły A1–A3 (cradle-to-gate)

Jednostka funkcjonalna: 1 tona (1 000 kg) mieszanki mineralno-asfaltowej [t MMA]
Wskaźnik środowiskowy główny: GWP-total [kg CO₂ eq / t MMA] **Norma: EN 15804:2012+A2:2019 (PN-EN 15804:2022)**

1. Zakres analizy i granice systemu

Niniejszy dataset obejmuje fazę wytwarzania (product stage) mieszanek mineralno-asfaltowych zgodnie z modularną strukturą EN 15804+A2. Granica systemu jest zdefiniowana jako **cradle-to-gate** i obejmuje trzy moduły:

Moduł	Nazwa	Zawartość
A1	Surowce	Wydobycie i przetwarzanie kruszywa, produkcja bitumenu, produkcja filleru, włókna celulozowego i dodatków
A2	Transport surowców	Transport wszystkich składników od miejsca wydobycia/produkcji do wytwórni MMA
A3	Produkcja	Procesy w wytwórni MMA: suszenie i podgrzewanie kruszywa, podgrzewanie bitumenu, mieszanie, zużycie energii elektrycznej

Moduły B (użytkowanie), C (koniec życia) i D (korzyści poza granicami systemu) **nie są objęte** niniejszym datasetem.

1.1 Kryterium odcięcia (cut-off)

Zgodnie z EN 15804+A2 pkt 6.3.5, uwzględniono wszystkie procesy odpowiadające za co najmniej **1% masy** i **1% energii** na każdy moduł. Łącznie pokryto ponad **99%** masy i energii dla każdej mieszanki.

1.2 Zasada cut-off dla granulatu asfaltowego (RA)

Granulat asfaltowy (reclaimed asphalt, RA) traktowany jest jako **odpad o zerowym obciążeniu środowiskowym** w module A1, zgodnie z zasadą cut-off EN 15804+A2. Emisje związane z pierwotną produkcją asfaltu zawartego w RA są alokowane do pierwotnego produktu. Jedynym obciążeniem RA w systemie jest transport (A2) i ewentualne dodatkowe podgrzewanie (A3).

2. Modele i typy wytwórni MMA w Polsce

2.1 Charakterystyka rynku

Na podstawie danych branżowych (Ammann 2022, PSAW) w Polsce funkcjonuje około **350–400 wytwórni MMA**, z czego:

- **70%** to wytwórnie **cykliczne (batch plant)** – dominujący typ, charakteryzujący się precyzyjnym dozowaniem składników i elastycznością produkcji różnych receptur
- **30%** to wytwórnie **ciągłe (drum-mix plant)** – stosowane głównie do produkcji masowej jednorodnych mieszanek

Łączna zdolność produkcyjna polskiego rynku wynosi szacunkowo **30–35 mln ton MMA/rok**, przy rzeczywistej produkcji ok. **20–25 mln ton/rok**.

2.2 Zasilanie wytwórni – mix paliwowy

Rodzaj paliwa	Udział [%]	Uwagi
Olej opałowy lekki (LOO)	55%	Dominujące paliwo, szczególnie w starszych instalacjach
Gaz ziemny	35%	Rosnący udział, niższe emisje CO ₂ i NO _x
Inne (LPG, biomasa, mieszane)	10%	Marginalne zastosowanie

Zródło: Ammann (2022), szacunki branżowe PSAW.

2.3 Typowe parametry techniczne wytwórni

Parametr	Wytwórnia cykliczna	Wytwórnia ciągła
Wydajność	80–320 t/h	100–400 t/h
Zużycie paliwa (HMA)	7–12 L/t	8–14 L/t
Energia elektryczna	2–4 kWh/t	2–3 kWh/t
Temperatura produkcji HMA	155–185°C	155–175°C
Temperatura produkcji WMA	120–145°C	120–145°C

3. Wskazniki emisji surowców – Moduł A1

3.1 Bitumen drogowy

Kluczowym parametrem wpływającym na emisyjność MMA jest **wskaznik GWP bitumenu**. W niniejszym datasetcie zastosowano wartości z raportu **Eurobitume LCA 4.0 (2025)**, który uwzględnia potencjał globalnego ocieplenia zgodny z AR6 IPCC:

Rodzaj bitumenu	GWP A1-A3 [kg CO ₂ eq/t]	Zródło
Bitumen drogowy ^{35/50, 50/70,} ^{70/100}	530	Eurobitume LCA 4.0 (2025)
Bitumen modyfikowany PMB	560	Eurobitume LCA 4.0 (2025) + polimer
Bitumen (stara wartość LCI 3.1)	216	Eurobitume LCI 3.1 (2012, AR5)

Uwaga metodologiczna: Wzrost GWP bitumenu z 216 do 530 kg CO₂ eq/t wynika z aktualizacji metodologii (przejsście z AR5 na AR6, uwzględnienie emisji metanu z wydobywania ropy naftowej oraz rozszerzenie granic systemu). Użytkownicy porównujący wyniki z wcześniejszymi EPD powinni uwzględnić tę różnicę.

3.2 Kruszywa mineralne

Rodzaj kruszywa	GWP A1-A3 [kg CO ₂ eq/t]	Zródło
Kruszywo bazaltowe (łamane)	3.99	ITB EPD ^{706/2024} (Truskawica S.A.)
Kruszywo granitowe (łamane)	4.50	Ecoinvent 3.10, Gruber et al. 2023
Kruszywo wapienne (łamane)	3.20	Gruber et al. 2023
Kruszywo naturalne (piasek, żwir)	1.80	Gruber et al. 2023, Ecoinvent 3.10
Kruszywo – średnia wazóna PL	3.80	Szacunek regionalny (mix bazalt+granit+wapień)
Filler wapienny	5.50	Ecoinvent 3.10

3.3 Pozostałe składniki

Składnik	GWP A1-A3 [kg CO ₂ eq/t]	Zródło
Włókno celulozowe (stabilizator SMA)	800	Ecoinvent 3.10
Granulat asfaltowy RA	0	EN 15804+A2 zasada cut-off
Dodatek WMA chemiczny (np. Sasobit)	1 200	Szacunek (środki chemiczne)

4. Wskazniki transportu – Moduł A2

4.1 Środek transportu i wskaźnik emisji

Środek transportu	EF [kg CO ₂ eq / (t × km)]	Zródło
Ciężarówka 16–32t, EURO6	0.096	Ecoinvent 3.10
Ciężarówka 16–32t, EURO5	0.110	Ecoinvent 3.10
Ciężarówka – średnia PL (mix EURO5/6)	0.100	Wartość domyślna dla Polski

4.2 Domysne odlegosci transportu

Surowiec	Odleglosc domyslana [km]	Uzasadnienie
Bitumen (cysterna)	150	Rafineria Plock/Gdansk → wytwornia
Kruszywo (ciężarówka)	50	Kamieniołom → wytwornia (typowe w PL)
Filler wapienny	80	Zakład mielenia → wytwornia
Granulat asfaltowy RA	30	Miejsce rozbiórki → wytwornia
Włókno celulozowe	200	Producent → wytwornia
Dodatek WMA	300	Producent → wytwornia

5. Zuzycie energii i emisje – Moduł A3

5.1 Zuzycie paliwa w wytworni

Technologia	Zuzycie paliwa [L/t]	Temperatura [°C]	Emisja z paliwa [kg CO ₂ /t]
HMA (olej opalowy)	9.0	155–185	24.1
HMA (gaz ziemny)	7.5 L_eq	155–185	17.0
WMA (olej opalowy)	6.5	120–145	17.4
WMA (gaz ziemny)	5.5 L_eq	120–145	12.5
HMA – srednia wazona PL	9.0	160	22.3

Korekta temperatury: **+5% zuzycia paliwa na kazde 10°C powyzej 160°C** (Schönauer & Gruber 2024).

5.2 Energia elektryczna

Parametr	Wartość	Zródło
Zużycie energii elektrycznej	2.5 kWh/t MMA	Schönauer & Gruber 2024
Wskaźnik emisji energii el. PL	0.715 kg CO ₂ /kWh	KOBiZE 2023
Emisja z energii elektrycznej	1.79 kg CO₂/t MMA	Obliczenie własne

6. Dataset – Wyniki LCI dla poszczególnych mieszanek MMA

6.1 Składy normatywne i wyniki GWP A1–A3

Ponizsza tabela przedstawia kompletny dataset z danymi domyślnymi dla 11 rodzajów mieszanek MMA stosowanych w Polsce, zgodnie z PN-EN 13108 i WT-2 2014 GDDKiA.

Mieszanka MMA	Norma	Tech.	Temp. [°C]	Bitumen [%]	GWP A1	GWP A2	GWP A3	GWP A1-A3
AC 11 S (ścieralna)	PN-EN 13108-1	HMA	165	15.0%	82.14	6.65	23.67	112.45
AC 16 W (wiążąca)	PN-EN 13108-1	HMA	160	8.0%	45.34	5.95	23.14	74.43
AC 22 P (podbudowa)	PN-EN 13108-1	HMA	155	3.5%	21.49	5.49	23.14	50.12
SMA 11 S (ścieralna)	PN-EN 13108-5	HMA	170	14.0%	89.47	6.79	24.20	120.46
SMA 16 S (ścieralna)	PN-EN 13108-5	HMA	170	15.0%	95.05	6.89	24.20	126.14
BBTM 11 A (ścieralna)	PN-EN 13108-2	HMA	170	19.0%	109.18	7.08	24.20	140.46
PA 11 (ścieralna)	PN-EN 13108-7	HMA	175	15.0%	87.11	6.65	24.74	118.50
MA 11 (ścieralna)	PN-EN 13108-6	HMA	230	25.0%	135.19	8.10	30.61	173.90
AC 16 W-WMA (wiążąca)	PN-EN 13108-1	WMA	130	7.0%	52.04	6.10	17.27	75.41
AC 16 W-RA30 (wiążąca)	PN-EN 13108-1	HMA+RA	165	5.6%	31.74	5.07	24.76	61.57
SMA 11 S-WMA (ścieralna)	PN-EN 13108-5	WMA	140	13.5%	98.65	6.99	17.27	122.91

Jednostka: kg CO₂ eq / tona MMA

6.2 Udział modułów w emisji A1-A3

Mieszanka MMA	Udział A1 [%]	Udział A2 [%]	Udział A3 [%]
AC 11 S (ścieralna)	73.0%	5.9%	21.1%
AC 16 W (wiążąca)	60.9%	8.0%	31.1%
AC 22 P (podbudowa)	42.9%	11.0%	46.2%
SMA 11 S (ścieralna)	74.3%	5.6%	20.1%
SMA 16 S (ścieralna)	75.3%	5.5%	19.2%
BBTM 11 A (ścieralna)	77.7%	5.0%	17.2%
PA 11 (ścieralna)	73.5%	5.6%	20.9%
MA 11 (ścieralna)	77.7%	4.7%	17.6%
AC 16 W-WMA (wiążąca)	69.0%	8.1%	22.9%
AC 16 W-RA30 (wiążąca)	51.6%	8.2%	40.2%
SMA 11 S-WMA (ścieralna)	80.3%	5.7%	14.1%

6.3 Rozbicie emisji A1 według składników (przykład AC 16 W)

Składnik	Masa [kg/t]	GWP surowca [kg CO ₂ /t]	Emisja A1 [kg CO ₂ /t MMA]	Udział [%]
Kruszywo grube 11 ₁₆	250	3.80	0.95	2.1%
Kruszywo grube 8 ₁₁	150	3.80	0.57	1.3%
Kruszywo grube 4 ₈	150	3.80	0.57	1.3%
Kruszywo drobne 0/4	320	1.80	0.58	1.3%
Filler wapienny	50	5.50	0.28	0.6%
Bitumen 50₇₀	80	530	42.40	93.5%
SUMA A1	1 000	—	45.34	100%

*Kluczowy wniosek: Bitumen odpowiada za **ponad 90%** emisji w module A1 dla mieszanek AC o standardowej zawartości spoiwa. Dla mieszanek SMA i BBTM z wyższą zawartością bitumenu udział ten jest jeszcze wyższy.*

7. Średnia emisyjność A1-A3 dla polskiego rynku MMA

7.1 Metodologia obliczenia średniej wazonej

Średnia emisyjność została obliczona jako **średnia wazona** z udziałem poszczególnych typów mieszanek w produkcji polskiego rynku MMA, na podstawie danych GDDKiA i PSAW:

Typ mieszanki	Udział w produkcji PL [%]	GWP A1-A3 [kg CO ₂ /t]	Wkład wazony
AC 11 S (ścieralna)	20%	112.45	22.49
AC 16 W (wiążąca)	20%	74.43	14.89
AC 22 P (podbudowa)	15%	50.12	7.52
SMA 11 S (ścieralna)	10%	120.46	12.05
SMA 16 S (ścieralna)	10%	126.14	12.61
BBTM 11 A (ścieralna)	5%	140.46	7.02
PA 11 (ścieralna)	2%	118.50	2.37
MA 11 (ścieralna)	3%	173.90	5.22
AC 16 W-WMA (wiążąca)	5%	75.41	3.77
AC 16 W-RA30 (wiążąca)	5%	61.57	3.08
SMA 11 S-WMA (ścieralna)	5%	122.91	6.15
SUMA / SREDNIA WAZONA	100%	—	97.16

7.2 Wynik końcowy

Srednia emisyjność A1-A3 dla mieszanek MMA w Polsce (dane domyslnie, Eurobitume LCA 4.0):

GWP A1-A3 = 97.2 kg CO₂ eq / tona MMA (zakres: 50.1 – 173.9 kg CO₂ eq/t)

Rozbicie na moduly:

- **A1 (surowce):** ~72.5 kg CO₂ eq/t (74.6%)
- **A2 (transport):** ~6.3 kg CO₂ eq/t (6.5%)
- **A3 (produkcja):** ~18.4 kg CO₂ eq/t (18.9%)

8. Walidacja wyników

8.1 Porównanie z referencyjnymi EPD

Zródło EPD / Badanie	Typ mieszanki	GWP A1-A3 [kg CO ₂ /t]	GWP bitumenu zastosowany
EPD Ireland EPDIE-25-242 (2025)	AC 14 close surf 70/100	52.1	~530 (Ecoinvent 3.8)
EPD Denmark MD-25061-EN (2025)	Mieszanka bitumiczna	101.0	530
BRRC Belgia (2024)	AC z 50% RAP	25.3	~216 (stara wartość)
Gruber et al. (2023, Austria)	AC wiążąca	35–55	216
Schönauer et al. (2024, Austria)	AC różne	40–80	216–530
Niniejszy dataset – AC 16 W	AC 16 wiążąca	74.43	530 (Eurobitume LCA 4.0)
Niniejszy dataset – AC 22 P	AC 22 podbudowa	50.12	530 (Eurobitume LCA 4.0)

8.2 Analiza wrażliwości – wpływ GWP bitumenu

Zmiana wskaźnika GWP bitumenu z wartości historycznej (216 kg CO₂/t, LCI 3.1) na aktualną (530 kg CO₂/t, LCA 4.0) powoduje następujące zmiany emisyjności:

Mieszanka	GWP A1-A3 przy 216 kg CO ₂ /t bitumenu	GWP A1-A3 przy 530 kg CO ₂ /t bitumenu	Zmiana
AC 16 W (8% bitumenu)	~29.1 kg CO ₂ /t	74.4 kg CO ₂ /t	+156%
SMA 11 S (14% bitumenu)	~43.4 kg CO ₂ /t	120.5 kg CO ₂ /t	+178%
BBTM 11 A (19% bitumenu)	~55.0 kg CO ₂ /t	140.5 kg CO ₂ /t	+155%

8.3 Ocena jakości danych

Kryterium	Ocena	Uzasadnienie
Reprezentatywność czasowa	Bardzo dobra	Dane z lat 2023–2025 (Eurobitume LCA 4.0, Ecoinvent 3.10)
Reprezentatywność geograficzna	Dobra	Dane europejskie, z korektą dla Polski (KOBiZE, odległości PL)
Reprezentatywność technologiczna	Dobra	Dane z polskich wytwórni (GDDKiA 2011) i europejskich (TU Wien 2024)
Kompletność	Dobra	Pokryto >99% masy i energii dla każdego modułu
Niepewność GWP bitumenu	Wysoka	Dużo rozbieżności między wersjami Eurobitume LCI/LCA

9. Wnioski i rekomendacje

9.1 Kluczowe wnioski

Analiza wykazała, że **bitumen jest dominującym źródłem emisji** w module A1, odpowiadając za 60–93% emisji surowcowych w zależności od zawartości spoiwa w mieszance. Dla mieszanek podbudowy (AC 22 P) z niską zawartością bitumenu (3.5%)

dominującym modulem staje się A3 (produkcja), co wskazuje na potrzebę optymalizacji procesu suszenia kruszywa.

Technologia **WMA (Warm Mix Asphalt)** pozwala na redukcję emisji A3 o 25–30% dzięki obniżeniu temperatury produkcji o 30°C, jednak korzyść ta jest częściowo niwelowana przez konieczność stosowania chemicznych dodatków WMA o wysokiej emisyjności.

Zastosowanie **granulatu asfaltowego (RA)** w ilości 30% pozwala na redukcję emisji A1 o 30% (zasada cut-off EN 15804+A2), co czyni tę technologię najbardziej efektywną metodą redukcji śladu węglowego MMA.

9.2 Rekomendacje dla producentów MMA

Priorytetem powinno być **przejsie z oleju opałowego na gaz ziemny** w wytwórniach, co pozwala na redukcję emisji A3 o ~27% (Schönauer & Gruber 2024). Równolegle należy zwiększać udział granulatu asfaltowego RA w recepturach oraz rozwijać technologię WMA. Dla uzyskania wiarygodnych, zakładowo-specyficznych EPD konieczne jest prowadzenie pomiarów zużycia paliwa i energii elektrycznej w trybie ciągłym.

10. Metodologia obliczeniowa – schemat przepływu

MODUŁ A1 - SUROWCE

- |— Kruszywo mineralne (GWP: 1.8–5.5 kg CO₂/t kruszywa)
 - | |— Kruszywo grube łamane (bazalt/granit): 3.80 kg CO₂/t
 - | |— Kruszywo drobne naturalne: 1.80 kg CO₂/t
 - | |— Filler wapienny: 5.50 kg CO₂/t
- |— Bitumen (GWP: 530–560 kg CO₂/t bitumenu)
 - | |— Bitumen drogowy 35/50, 50/70: 530 kg CO₂/t
 - | |— Bitumen PMB: 560 kg CO₂/t
- |— Dodatki (włókno celulozowe, WMA, RA=0)

MODUŁ A2 - TRANSPORT

- |— Kruszywo: 50 km × 0.100 kg CO₂/tkm
- |— Bitumen: 150 km × 0.100 kg CO₂/tkm
- |— Filler/dodatki: 80–300 km × 0.100 kg CO₂/tkm

MODUŁ A3 - PRODUKCJA

- |— Paliwo do suszenia kruszywa:
 - | |— HMA: 9.0 L/t × 2.68 kg CO₂/L × mix paliw PL
 - | |— WMA: 6.5 L/t × 2.68 kg CO₂/L × mix paliw PL
- |— Energia elektryczna: 2.5 kWh/t × 0.715 kg CO₂/kWh

11. Źródła danych

Nr	Źródło	Zastosowanie
[1]	Eurobitume LCA 4.0 (2025)	GWP bitumenu = 530 kg CO ₂ eq/t
[2]	ITB EPD ⁷⁰⁶ / ₂₀₂₄ (Truskawica S.A.)	GWP kruszywa bazaltowego = 3.99 kg CO ₂ eq/t
[3]	Schönauer & Gruber (2024), TU Wien	Zużycie paliwa w wytwórni, korekta temperatury
[4]	Gruber et al. (2023), MDPI Sustainability	GWP kruszyw, LCA mieszanek asfaltowych
[5]	GDDKiA / Politechnika Gdańska (2011)	Dane o wytwórniach polskich, WMA
[6]	KOBiZE (2024)	Wskaźniki emisji paliw i energii elektrycznej PL
[7]	Ecoinvent 3.10 (2023)	Dane tła (transport, filler, włókno)
[8]	EPD Ireland EPDIE-25-242 (2025)	Walidacja – AC 14 = 52.1 kg CO ₂ /t
[9]	EPD Denmark MD-25061-EN (2025)	Walidacja – mieszanka = 101 kg CO ₂ /t
[10]	PN-EN 13108-1 do -9 (2016)	Składy normatywne mieszanek MMA
[11]	WT-2 2014 (GDDKiA)	Wymagania techniczne dla MMA w Polsce
[12]	Milad et al. (2022), PMC 9690159	Porównanie HMA vs WMA
[13]	BRRC Dossier 22 EN (2024)	Walidacja – mieszanka z RAP
[14]	Ammann (2022), Kongres Drogowy	Dane o rynku wytwórni MMA w Polsce

Raport opracowany zgodnie z EN 15804:2012+A2:2019 oraz c-PCR dla mieszanek bitumicznych (DN-PAV-03077, 2024). Data opracowania: marzec 2026