

dr hab. inż. Ireneusz Baic, prof. SBŁ-WIT<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0001-9495-6510

prof. dr hab. inż. Wiesław Koziol<sup>1)\*)</sup>

ORCID: 0000-0002-6855-0514

dr Artur Miros<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0001-6060-4875

# 30 years of extraction of construction aggregates in Poland – analysis of changes and forecasts

## 30 lat wydobywania kruszyw budowlanych w Polsce – analiza zmian i prognozy

DOI: 10.15199/33.2024.07.05

**Abstract.** The development of construction aggregate extraction in the years 1993 – 2022 is presented. In order to estimate the volume of production of aggregates, econometric dependencies of aggregate extraction on three macroeconomic indicators, published on a monthly basis by the GUS, i.e.: GDP, cement consumption and the business index in the construction industry. The significant econometric relationships found for the analysed variables allow for the development of forecasts of aggregate extraction, which is an important advantage of the analysis.

**Keywords:** construction aggregates; extraction; econometric dependencies; forecasts.

Aggregates – play a very important role in construction. In the world, aggregate extraction is estimated (there are no exact data) at about 50 billion Mg/year [1], which means that the statistical inhabitant of our globe consumes about 6.5 Mg/year, and over 500 Mg of aggregates during their lifetime. According to UEPG data [1], in 2021 in Europe (including Russia and the former CIS countries) aggregate production was 4.3 billion Mg, including over 3.0 billion Mg in the EU+EFTA countries.

In Poland, the extraction of natural aggregates according to the PIG – PIB [2] in 2002 amounted to 250.7 million Mg, including crushed aggregates – 79.9 million Mg and sands and gravels – 170.8 million Mg.

The article presents the trends of changes in the extraction of construction aggregate resources over a period of 30 years, and then the dependence of aggregate extraction on some indicators of the country's economic development and the production forecasts for the coming years developed on this basis.

### Trends in mining exploration changes in 1993–2022

In 2023, the Polish Association of Aggregate Producers celebrated its 30th anniversary. This organization brings together over 40 largest producers of natural aggregates, producing over 50% of crushed aggregates and about 20% of sand and gravel aggregates in Poland. The Association also includes the SBŁ-Warsaw Institute of Technology (until 2023 – the Institute of Mechanized Construction and Rock Mining), which, among other things, was the impulse to prepare the article.

<sup>1)</sup> Łukasiewicz Research Network – Warsaw Institute of Technology

<sup>\*)</sup> Correspondence address: wieslaw.koziol@wit.lukasiewicz.gov.pl

**Streszczenie.** Przedstawiono rozwój wydobywania kruszyw budowlanych w latach 1993 – 2022. W celu oszacowania wielkości produkcji kruszyw opracowano ekonometryczne zależności wydobywania kruszyw od trzech makroekonomicznych wskaźników, publikowanych w okresach miesięcznych przez GUS, takich jak: PKB; zużycie cementu i wskaźnik koniunktury w budownictwie. Stwierdzone istotne zależności ekonometryczne w przypadku analizowanych zmiennych pozwalają na opracowanie prognoz wydobywania kruszyw, co jest ważną zaletą analizy.

**Słowa kluczowe:** kruszywa budowlane; wydobywanie; ekonometryczne zależności; prognozy.

Kruszywa odgrywają bardzo ważną rolę w budownictwie. W świecie produkcję kruszyw szacuje się na ok. 50 mld Mg/r. [1, 2], co oznacza, że na statystycznego mieszkańca naszego globu przypada ok. 6,5 Mg/r., a w ciągu całego życia ponad 500 Mg kruszyw. Z danych UEPG [1] wynika, że w 2021 r. w Europie (z Rosją i byłymi krajami WNP) produkcja kruszyw wyniosła 4,3 mld Mg, w tym w krajach EU+EFTA – ponad 3,0 mld Mg.

W Polsce wydobywanie kruszyw naturalnych, wg zestawień PIG-PIB [2], wyniosło 250,7 mln Mg w 2002 r., w tym kruszyw łamanych 79,9 mln Mg oraz piasków i żwirów – 170,8 mln Mg.

W artykule przedstawiono tendencje zmian wydobywania, zasobów kruszyw budowlanych w okresie 30 lat, a następnie zależność wydobywania kruszyw od niektórych wskaźników rozwoju gospodarczego kraju i opracowane na tej podstawie prognozy na najbliższe lata.

### Tendencje zmian wydobywania w latach 1993 – 2022

W 2023 r. jubileusz 30-lecia działalności obchodził Polski Związek Producentów Kruszyw. Organizacja ta zrzesza ponad czterdzieści największych producentów kruszyw naturalnych, wytwarzających ponad 50% kruszyw łamanych i ok. 20% kruszyw piaskowo-żwirowych w Polsce. Do związku tego należy także SBŁ-Warszawski Instytut Technologiczny (do 2023 r. – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego), co m.in. było impulsem do przygotowania artykułu.

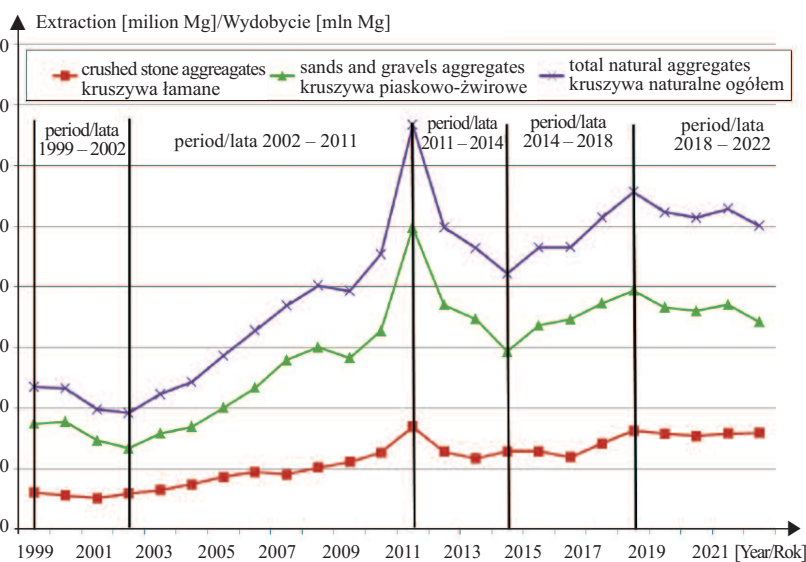
W tabeli 1 przedstawiono wielkość wydobywania kruszyw, w tym piasków ze żwirami i kruszyw tzw. łamanych produkowanych ze skał litych, w latach 1993 – 2022. W tym

Table 1 presents the volumes of extraction of aggregates, including sands with gravels and the so-called crushed aggregates produced from solid rocks, in the years 1993 – 2022 are presented. During this period, the extraction of aggregates increased threefold from 84.8 to 250.7 million Mg. The extraction of crushed aggregates increased 5.6 times, and the extraction of sand and gravel – approx. 2.4 times. A large increase in the extraction and production of crushed aggregates resulted in an increase in their share in the total extraction of construction aggregates from approx. 17 to almost 32%. In the 1990s, the extraction and production of aggregates were at a very low level of 80 – 100 million Mg/year, and the dynamic growth began in 2003 and already in 2011 the extraction reached its maximum level – over 330 million Mg/year [2, 3].

The impulse for the rapid increase in demand for aggregates was the development of cubature and infrastructure construction (especially the construction of roads and motorways) and Polish's accession to the European Union. The development of aggregate extraction in the 21st century is shown in Figure 1. It shows that after 2011 the demand for aggregates initially increased, and then stabilized at a level slightly above 250 million Mg/y. [5, 6]. Table 2 presents changes in the lithological structure (types of rocks) of mined crushed aggregates. Over a period of thirty years, the share of aggregates from igneous rocks decreased significantly from 51.7

**Table 1. Aggregate extraction in Poland in the years 1993 – 2022**  
Tabela 1. Wydobycie kruszyw w Polsce w latach 1993 – 2022

Aggregates/ Kruszywa	Years/Rok							
	1993		2003		2013		2022	
	[mln Mg]	[%]	[mln Mg]	[%]	[mln Mg]	[%]	[mln Mg]	[%]
Crushed-stone Łamane	14,3	16,9	25,7	25,3	58,4	25,2	79,9	31,9
Sand and gravels Piaski i żwiry	70,5	83,1	78,6	74,7	173,3	74,8	170,8	68,1
Together Razem	84,8	100	101,3	100	231,7	100	250,7	100



**Fig. 1. Extraction of aggregates in the years 1999 – 2022**

Rys. 1. Wydobycie kruszyw w latach 1999 – 2022

**Table 2. Lithological structure of the excavated resources of broken stones and block stones**

Tabela 2. Struktura litologiczna wydobytych zasobów kamieni łamanych i blocznych

Extracted resources/ Zasoby wydobyte	Production in the year [mln t]/Wydobycie							
	1993 r.		2003 r.		2013 r.		2022 r.	
<b>Total, including/Ogółem, w tym</b>	<b>14,3</b>	<b>100</b>	<b>25,7</b>	<b>100</b>	<b>58,4</b>	<b>100</b>	<b>79,9</b>	<b>100</b>
<b>Igneous/Magmowe</b>	<b>7,4</b>	<b>51,7</b>	<b>13,4</b>	<b>52,1</b>	<b>24,1</b>	<b>41,3</b>	<b>27,9</b>	<b>34,9</b>
basalt/bazalt	4,6	32,1	5,7	22,2	7,0	12,0	7,5	9,4
granite/granit i gran.	0,8	5,6	2,4	9,3	8,9	15,2	11,4	13,9
melafir	1,3	9,1	2,8	10,9	4,1	7,0	3,8	4,8
gabbro/gabro	0,1	0,7	1,2	4,7	2,1	3,6	2,6	3,3
porfir i diabaz	0,6	4,2	0,9	3,5	1,6	2,7	1,5	1,9
syenite/sjenit	–	–	0,4	1,5	0,4	0,8	1,1	1,4
<b>Sedimentary/Osadowe</b>	<b>5,9</b>	<b>41,3</b>	<b>11,3</b>	<b>44</b>	<b>30,1</b>	<b>51,5</b>	<b>44,3</b>	<b>55,4</b>
dolomite/dolomit	2,4	16,8	4,4	17,1	9,0	15,4	15,6	19,5
limestone/wapień	2,1	14,7	3,5	13,6	11,4	19,5	12,4	15,5
lim.-dol./wap-dol.	–	–	0,8	3,1	2,9	5,0	6,5	8,1
sandstone and quar./piaskowiec i p.kw.	1,2	8,4	2,4	9,3	6,5	11,1	9,4	11,8
<b>Metamorphic/Metamorficzne</b>	<b>1,0</b>	<b>7,0</b>	<b>1,0</b>	<b>3,9</b>	<b>4,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,7</b>	<b>9,6</b>
amphibolite/amfibolit	0,1	0,7	0,4	1,5	0,7	1,2	2,4	3,0
migmatite/migmatyt	–	–	–	–	1,7	2,9	2,8	3,5
gneiss/gnejs	0,1	0,7	–	–	0,7	1,2	1,1	1,4
serpentine/serpentyt	0,2	1,4	0,2	0,8	0,4	0,7	0,7	0,9
marm. and mar.dol.	0,6	4,2	0,4	1,6	0,6	1,0	0,8	1,0

okresie wydobycie kruszyw zwiększyło się trzykrotnie z 84,8 do 250,7 mln Mg. Wydobycie kruszyw łamanych zwiększyło się 5,6 razy, a piasków i żwirów ok. 2,4-krotnie. Duży wzrost wydobycia i produkcji kruszyw łamanych spowodował, że zwiększył się ich udział w łącznym wydobyciu kruszyw budowlanych z ok. 17 do prawie 32%. W latach dziewięćdziesiątych XX w. wydobycie i produkcja kruszyw kształtowały się na bardzo niskim poziomie (80 – 100 mln Mg/r.), a dynamiczny wzrost rozpoczął się w 2003 r. i już w 2011 r. wydobycie osiągnęło maksymalną dotychczas wielkość – ponad 330 mln Mg/r. [2, 3].

Impulsem szybkiego wzrostu zapotrzebowania na kruszywa był rozwój budownictwa kubaturowego i infrastrukturalnego (w tym szczególnie budowa dróg i autostrad) oraz akces Polski do Unii Europejskiej. Kształtowanie się wydobycia kruszyw w XXI wieku przedstawiono na rysunku 1. Wynika z niego, że po 2011 r. zapotrzebowanie na kruszywa ulegało początkowo znacznym wahaniom, a następnie ustabilizowało się na wielkości nieco powyżej 250 mln Mg/r. [5, 6]. W tabeli 2 przedstawiono zmiany w strukturze litologicznej (rodzaje skał) wydobywanych kruszyw łamanych. W okresie trzydziestu lat znacznie zmniejszył się udział kruszyw ze skał magmowych (z 51,7 do 34,9%), a zwiększył kruszyw ze skał osadowych (z 41,3 do 55,4%) i skał metamorficznych (rysunek 2). Największy spadek udziału w wy-

to 34.9%, and the share of aggregates from sedimentary rocks (from 41.3 to 55.4%) and metamorphic rocks increased (Figure 2). The largest decrease in the share in production concerns: basalts (from 32.1 to 9.4%), melaphyres (from 9.1 to 4.8%), diabase and porphyry. On the other hand, the share of extraction of granite aggregates [4] and granodiorite aggregates increased. In sedimentary aggregates, there was an increase in the share of virtually all types of rocks (dolomite, calcareous, sandstone, etc.), and in metamorphic rocks, especially aggregates of amphibolite, migmatite and gneiss.

In the regional structure [2], the largest share in the extraction of rocks and the production of crushed aggregates is held by the Lower Silesian Voivodeship (42.3%), the level of 40 – 49% has been maintained in this voivodeship throughout the analysed period (Figure 3). On the other hand, a large increase in the share was recorded in the Świętokrzyskie Voivodeship (from 18 to 32%), and a decrease in the Opolskie Voivodeship (from approx. 16 to 4%) and Śląskie Voivodeship (from 7.7 to 4.9%). The share of production in the Małopolskie Voivodeship has remained at a similar level of approx. 12% throughout the period, recently with a slight increase in the Małopolskie Voivodeship (in 2022 – 12.7%). Sands and gravels are mined in all voivodeships and in the Baltic Sea area [2]. There are major changes in the volume of extraction. In 2022, the largest amount of sand and gravel was extracted in the following voivodeships: Podlaskie, Pomorskie and Warmińsko-Mazurskie, i.e. in the north-eastern region of the country. In the use of sands and gravels

in construction, their grain size is important. Fractions above 2 mm are most sought after for the production of concrete, while the share of these fractions in resources and extraction is steadily decreasing [3]. In documented sand and gravel deposits, the share of fine fractions is determined by the so-called sand point (PP), which takes into account the percentage share of fractions below 2 mm in the deposit. On this basis, in the mineral resources balances published by the PIG – PIB [2], sand and gravel deposits have been divided into three basic subtypes:

- sands – PP > 75%,
- sands with gravel – PP 30 – 75%,
- gravels – PP < 30 %

Assuming the average content of fine fractions in individual groups of deposits, the average hypothetical sand points of balance deposits, industrial deposits and resources extracted in the years 2007 – 2022 were calculated, which is shown in Figure 4. The presented systematic increase in sand points means an increase in

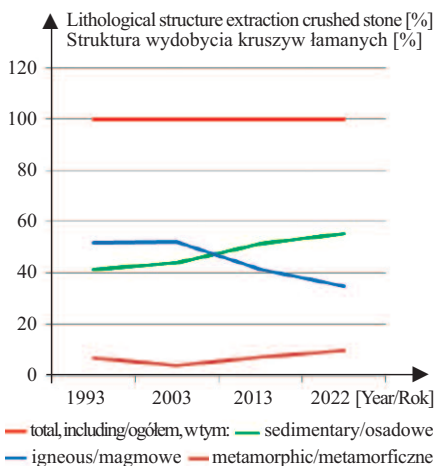


Fig. 2. Lithological structure of the extraction of crushed and block stone resources

Rys. 2. Struktura litologiczna wydobycia zasobów kamieni łamanych i blocznych

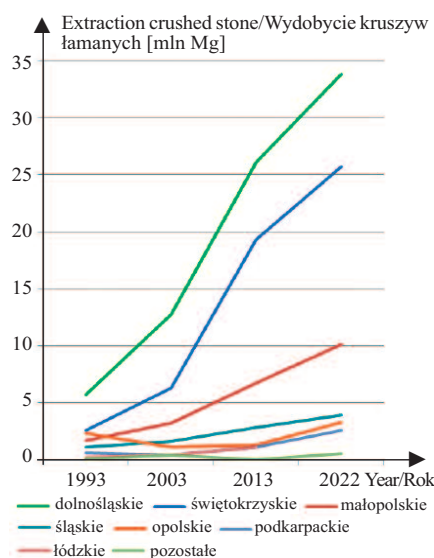


Fig. 3. Regional changes in the extraction of crushed aggregates in the years 1993 – 2022

Rys. 3. Zmiany regionalne wydobycia kruszyw łamanych w latach 1993 – 2022

dobyciu dotyczy: bazaltów (z 32,1 do 9,4%); melafirów (z 9,1 do 4,8%) oraz diabazu i porfirów. Zwiększył się natomiast udział wydobycia kruszyw granitowych [4] i granodiorytowych. W kruszywach osadowych nastąpił wzrost udziału praktycznie wszystkich typów skał (dolomitowych, wapiennych, piaskowcowych itp.), a w skałach metamorficznych szczególnie kruszyw z amfibolitu, migmatytu oraz gnejsu.

W strukturze regionalnej [2] największy udział w wydobyciu skał i produkcji kruszyw łamanych ma województwo dolnośląskie (42,3%); poziom 40 – 49% utrzymuje się w tym regionie przez cały analizowany okres (rysunek 3). Duży wzrost udziału kruszyw w wydobyciu nastąpił natomiast w woj. świętokrzyskim (z 18 do 32%), a spadek w woj. opolskim (z ok. 16 do 4%) i śląskim (z 7,7 do 4,9%). Udział wydobycia w woj. małopolskim przez cały okres utrzymuje się na poziomie ok. 12%, ostatnio z tendencją do niewielkiego wzrostu (w 2022 r. – 12,7%). Piaski i żwiry wydobywane są we wszystkich województwach oraz w obszarze Bałtyku [2]. W wielkości wydobycia zachodzą duże zmiany. W 2022 r. najwięcej piasków i żwirów wydobyto w województwach: podlaskim; pomorskim i warmińsko-mazurskim, czyli w północno-wschodnim regionie kraju.

W przypadku zastosowania piasków i żwirów w budownictwie ważne jest ich uziarnienie. Do produkcji betonu najbardziej poszukiwane są frakcje powyżej 2 mm, gdy tymczasem udział tych frakcji w zasobach i wydobyciu systematycznie się zmniejsza [3]. W udokumentowanych zasobach złóż piasków i żwirów udział frakcji drobnych określany jest za pomocą tzw. punktu piaskowego (PP) uwzględniającego procentowy udział frakcji poniżej 2 mm w złożu. Na tej podstawie, w publikowanych przez PIG PIB bilansach zasobów kopalin [2] złoża piasków i żwirów podzielono na trzy podstawowe podtypy:

• piaski – PP > 75%;

• piaski ze żwirem – PP 30 – 75%;

• żwiry – PP < 30%.

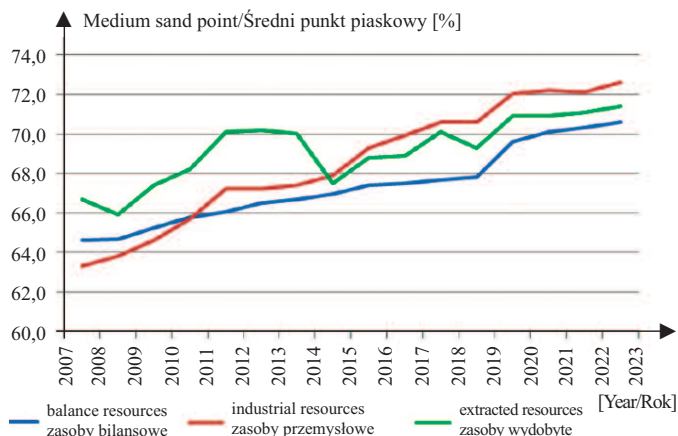
Przyjmując przeciętną zawartość frakcji drobnych w poszczególnych grupach złóż, obliczono średnie hipotetyczne punkty piaskowe złóż bilansowych, przemysłowych i zasobów wydobytych w latach 2007 – 2022, co przedstawiono na rysunku 4. Wynika z niego systematyczny wzrost punktów piaskowych, oznaczający zwiększenie udziału frakcji drobnych kruszyw piaskowo-żwirowych. W okresie 2007 – 2022

the fraction of aggregates, fine sand and gravel. In the period 2007-2022, the share in the extracted PP resources increased from 66.7 to 71.4%, and in the industrial resources exploited and planned for exploitation (mining concessions held) this increase is higher (from 63.3 to 72.6%), which indicates that this trend will continue in the future.

**Econometric dependencies of extraction**

One of the problems of the aggregates industry is the lack of current information on their extraction, production and consumption [5, 6, 7]. This is mainly due to the large scale of production, including a large number of mines, most of them small, which makes it difficult to collect relevant information. This applies to most countries, e.g. in Poland we have about 2000 producers, exploiting aggregates from over 3000 deposits [2]; there are around 15,000 producers in the EU and more than 25,000 mines [1]. The lack of regional and national information on the volume of production and consumption of aggregates significantly hinders the preparation of appropriate balances and up-to-date market analyses [5, 7]. In Poland, information on the extraction of minerals, including gravel and sand, as well as crushed stone resources (crushed aggregates) appears in the middle of the following years, in the annual mineral resources balances published by PGI-NRI [2]. In order to estimate the current volume of extraction and to develop forecasts of aggregate production and consumption, attempts are made to use other available indicators of economic development, on which the domestic demand and extraction (production) of aggregates depends [5, 6, 7] The article presents the current dependencies of construction aggregate extraction on three macroeconomic indicators studied and published by the Central Statistical Office [8, 12], namely: **the dynamics of GDP changes, the volume of domestic cement consumption and the general indicator of the business climate in the construction industry.**

Figure 5 shows the statistical dependence of the increase in construction aggregate production on the dynamics of GDP changes in Poland in the years 1991 – 2022. In the case of this relationship, the coefficient of determination of  $R^2$  was obtained in the amount of 0,4301, which confirms that the relationship is significant at a high level of significance  $\alpha = 0.001$ . This



**Fig. 4. Average hypothetical sand points in sand and gravel resources**  
Rys. 4. Średnie hipotetyczne punkty piaskowe w zasobach piasków i żwirów

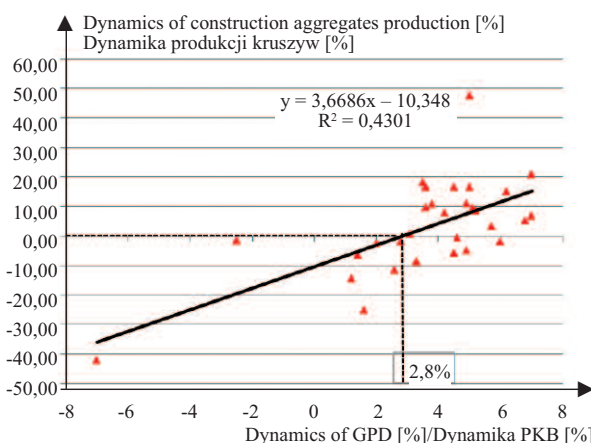
zwiększył się on z 66,7 do 71,4%. W zasobach przemysłowych eksploatowanych i planowanych do eksploatacji (posiadane koncesje na wydobycie) wzrost ten jest większy (z 63,3 do 72,6%) co wskazuje, że również w przyszłości tendencja ta się utrzyma.

**Zależności ekonometryczne wydobycia**

Jednym z problemów branży kruszywo jest brak bieżących informacji o ich wydobyciu, produkcji i zużyciu [5, 6, 7]. Przyczyną tego jest przede wszystkim duża skala produkcji, w tym duża liczba kopalń małych, co utrudnia gromadzenie odpowiednich informacji. Dotyczy to większości krajów, np. w Polsce mamy ok. 2000 producentów, eksploatujących kruszywo z ponad 3000 złóż [2]; w UE producentów jest ok. 15 000, a kopalń ponad 25 000 [1]. Brak regionalnych i krajowych informacji o wielkości produkcji i zużyciu kruszywo istotnie utrudnia przygotowanie odpowiednich bilansów i aktualnych analiz rynku [5, 7]. W Polsce informacje o wydobyciu kopalni, w tym żwirów i piasków, oraz zasobów kamieni łamanych (kruszywo łamanych) ukazują się w połowie kolejnych lat, w corocznie publikowanych przez PIG-PIB bilansach zasobów złóż kopalni [2]. Natomiast w celu oszacowania w miarę aktualnej wielkości wydobycia i opracowania prognoz produkcji i zużycia kruszywo próbuje się wykorzystać pomocniczo inne dostępne wskaźniki rozwoju gospodarczego, od których uzależnione jest krajowe zapotrzebowanie i wydobycie kruszywo [5, 6, 7].

W artykule przedstawiono aktualne zależności wydobycia kruszywo budowlanych od trzech makroekonomicznych wskaźników badanych i publikowanych przez GUS [8, 12]: **dynamiki zmian PKB; wielkości krajowego zużycia cementu i wskaźnika ogólnego klimatu koniunktury w budownictwie.**

Na rysunku 5 przedstawiono statystyczną zależność wzrostu wydobycia kruszywo budowlanych od dynamiki PKB w Polsce w latach 1991 – 2022. W przypadku tej zależności uzyskano współczynnik determinacji  $R^2$  w wysokości 0,4301, co potwierdza, że zależność jest na wysokim poziomie istotności  $\alpha = 0.001$ . Z modelu tego wynika, że w skali kraju barierą wzrostu zapotrzebowania i produkcji kruszywo mineralnych był wzrost PKB w badanym okresie wynoszący ok 2,8%, ponieważ przy małej dynamice rozwoju na ogół



**Fig. 5. Dependence of aggregate production on GDP growth in Poland in the years 1991 – 2022**

Rys. 5. Zależność produkcji kruszywo od dynamiki PKB w Polsce w latach 1991 – 2022

model shows that on a national scale, the barrier to the increase in demand and production of mineral aggregates was the increase in GDP in the analysed period by about 2.8%, because with low growth dynamics, expenditures on infrastructure investments are usually reduced in the first place.

One of the indicators on which the consumption and extraction of construction aggregates depends is the consumption of cement, the production of which is generally quite accurately identified in statistics in Poland and other countries [5]. In the world, the use of mineral aggregates for concrete and prefabricated products is estimated at 28.7 to 32.8 billion Mg [9], i.e. about 2/3 of aggregate production is used together with cement for the production of concrete, precast concrete elements, etc. Depending on the class of concrete, 5 – 7 Mg of aggregates per 1 Mg of cement are used for its production, including approx. 65% of coarse aggregate (gravel, grits) and 35% of sands [3]. In Poland, cement production in 2018 – 2022 amounted to 18 – 19 million tonnes, and consumption was slightly higher due to the predominance of imports over exports [10, 11]. For this relationship, linear regression parameters and determination coefficients were calculated (Figure 6). The obtained value of the coefficient of determination  $R^2$  (0.8596) is significant at the level of  $\alpha = 0.001$ , which indicates a high dependence, despite the fact that both some aggregates and cement are also used for other products, e. g. aggregates for asphalts, cement for mortars, etc. A similar value of the coefficient of determination  $R^2$  was also obtained in the case of the dependence of sand and gravel extraction on cement consumption (0.8374).

Among many data on industry and construction, the Central Statistical Office (GUS) reports, every month, business sentiment indicators in the construction industry [12, 13], are determined on the basis of surveys of 4 – 5 thousand companies with different numbers of employees. Figure 7 shows the dependence of the dynamics of changes in aggregate production (gravel-sand and crushed) on the average annual business climate index of construction companies in the years 2000 – 2022. In the case of this relationship, the coefficient of determination  $R^2$  is 0.2183, which means the average degree of linear correlation, satisfying its significance at the level of  $\alpha = 0.05$ . Therefore, this is the weakest relationship among the analyzed. Despite this, the estimated econometric model will be used to forecast aggregate extraction.

w pierwszej kolejności ogranicza się nakłady na inwestycje infrastrukturalne.

Jednym ze wskaźników, od których zależy zużycie i wydobycie kruszyw budowlanych, jest zużycie cementu, którego produkcja na ogół jest dość dokładnie identyfikowana w statystykach w Polsce i innych krajach [5]. W świecie wykorzystanie kruszyw mineralnych do betonu i wyrobów prefabrykowanych szacuje się na 28,7 – 32,8 mld Mg [9], czyli ok. 2/3 produkcji kruszyw stosuje się razem z cementem do produkcji betonów, prefabrykatów betonowych itp. W zależności od klasy betonu do jego produkcji zużywa się 5 – 7 Mg kruszyw na 1 Mg cementu, w tym ok. 65% kruszywa grubego (żwir, grysy) i 35% piasków [3]. W Polsce produkcja cementu w latach 2018 – 2022 wyniosła 18 – 19 mln ton, a jego zużycie było nieco większe ze względu na przewagę importu nad eksportem [10, 11]. W przypadku tej zależności obliczono parametry regresji liniowych i współczynniki determinacji (rysunek 6). Uzyskana wartość współczynnika determinacji  $R^2$  (0,8596) jest istotna na poziomie  $\alpha = 0,001$ , co wskazuje na wysoką zależność, pomimo że zarówno część kruszyw, jak i cementu stosowana jest także do innych produktów, np. kruszywa do asfaltów, cement do zapraw itd. Zbliżoną wartość współczynnika determinacji  $R^2$  uzyskano także w przypadku zależności wydobycia piasków i żwirów od zużycia cementu (0,8374).

GUS, wśród wielu danych dotyczących przemysłu i budownictwa, podaje m.in. co miesiąc wskaźniki koniunktury w budownictwie [12, 13], ustalane na podstawie badań ankietowych 4 – 5 tys. firm o różnej liczbie pracowników. Na rysunku 7 przedstawiono zależność dynamiki zmian produkcji kruszyw (żwirowo-piaskowe i łamane) od uśrednionego rocznego wskaźnika koniunktury przedsiębiorstw budowlanych w latach 2000 – 2022. W przypadku tej zależności współczynnik determinacji  $R^2$  wynosi 0,2183, co oznacza średni stopień korelacji liniowej, spełniający jej istotność na poziomie  $\alpha = 0,05$ . Jest to zatem zależność najslabsza spośród analizowanych. Pomimo tego oszacowany model ekonometryczny wykorzystany będzie do prognozy wydobycia kruszyw.

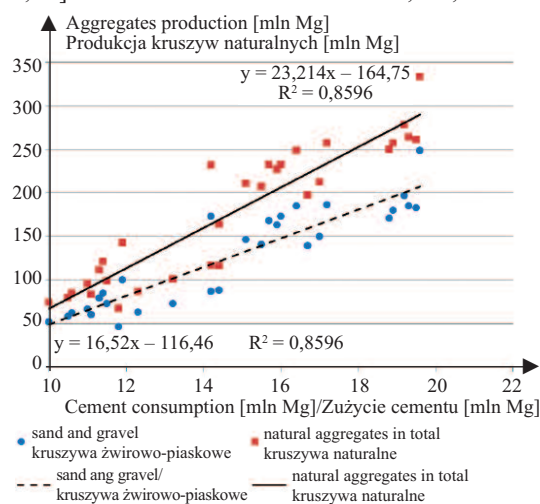


Fig. 6. Dependence of aggregate production on cement consumption in Poland in the years 1992 – 2022

Rys. 6. Zależność produkcji kruszyw od zużycia cementu w Polsce w latach 1992 – 2022

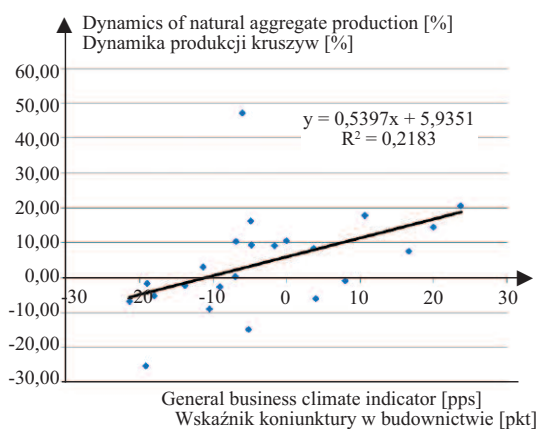


Fig. 7. Dependence of natural aggregate production on the general business sentiment indicator in the construction industry in the years 2000 – 2022

Rys. 7. Zależność produkcji kruszyw naturalnych od wskaźnika ogólnej koniunktury w budownictwie w latach 2000 – 2022

### Prognozy produkcji

W pierwszym etapie, wykorzystując obliczone zależności ekonometryczne, przeprowadzo-

### Production forecasts

In the first stage, using calculated econometric relationships, the so-called ex-post forecast of construction aggregate extraction in 2020-2022 was carried out and the results of this forecast were compared with the volume of production obtained according to [2] (Table 3). The comparison of these values shows that the smallest differences (respectively in subsequent years: -2.5, -5.4 and -4.1%, the sign – means underestimation, and + overestimation of the forecast) were obtained in the case of the forecast according to the general business climate indicator in the construction industry, despite the fact that the coefficient of determination  $R^2$  for this relationship is the lowest (0.2183) among the studied relationships. In the case of the forecast of extraction according to the volume of cement consumption, the error of the forecast was greater and amounted to: +6.3, +7.2 and +8.3%, and the largest errors were obtained in the case of the forecast according to GDP: -16.2; -16.3 and +7.7.1%. It follows that coefficients of determination do not have an exclusive impact on the accuracy of forecasts, and the errors in forecasts by GDP are quite large. However, this is a preliminary comparison of forecasts and achieved extraction.

However, we are primarily interested in determining forecasts for the future, e. g. aggregate extraction forecasts for 2023 (the actual figures will be known only in the second half of 2024) and 2024 – 2026. However, this is where the problems begin. The basic problem is what values of independent variables: GDP, cement consumption and economic situation in the construction industry should be used in the calculations. Depending on the size of these indicators, different forecast values will be obtained. It is quite simple with GDP forecasts, because they are developed by banks and other institutions, but they are varied and change from month to month, and sometimes even from week to week [14, 16]. Taking into account the average forecasts from the beginning of 2024, the calculations assume the following GDP growth values in 2023, 2024, 2025 and 2026: +0.3%; 3,0%; 3,4%; 3,5%. According to the data of the Central Statistical Office [8,] and SPC [11], cement consumption (million Mg/yr) in 2020-2023 was: 2020 – 18,9; 2021 – 19,3; 2022 – 18,8 and in 2023 – 16,9 million Mg. In 2023, cement production in Poland was lower by about 12% compared to 2022. This was due to lower consumption as well as increasing imports of cement from Ukraine and other countries [8, 15, 17] and the forecasts for the near future are not optimistic. Taking this fact into account, the forecast assumes the following domestic cement consumption 2024 – 17,5; 2025 – 18,5 and 2026 – 18,8 million Mg/yr.

There is a big problem with the forecast of business sentiment indicators in the construction industry, because they are not published, they can take values from -100 to +100 points. In 2020-23 years, they were as follows: -11,3; -18,0; -12,6, and

no tzw. prognozę ex-post wydobycia kruszyw budowlanych w latach 2020 – 2022 i wyniki tej prognozy porównano z wielkością uzyskanego wydobycia wg [2] (tabela 3). Z porównania tych wielkości wynika, że najmniejsze różnice (odpowiednio w kolejnych latach: -2,5, -5,4 i -4,1%, znak – oznacza niedoszacowanie, a + przeszacowanie prognozy) uzyskano w przypadku prognozy wg wskaźnika ogólnego klimatu koniunktury w budownictwie, pomimo że współczynnik determinacji  $R^2$  dla tej zależności jest najmniejszy (0,2183)

**Table 3. Ex-post comparison of construction aggregate extraction forecasts**

Tabela 3. Porównanie ex-post prognoz wydobycia kruszyw budowlanych

Forecast according to/ Wskaźnik	Production (mining)/ [mln Mg]/Wydobycie [mln Mg]			Production forecast (forecast error ± [%]) [mln Mg]/Prognoza wydobycia [mln Mg] (błąd prognozy +/-[%])		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
GDP/PKB [%]	256,8	264,2	250,7	215,2 (-16,2)	247,5 (-16,3)	270,0 (+7,7)
Cement consumpt [mln Mg]/ Zużycie cementu [mln Mg]	256,8	264,2	250,7	272,9 (+6,3)	283,2 (+7,2)	271,6 (+8,3)
Business climate in the construction industry [pps.]/Koniunktura w budownictwie [pkt]	256,8	264,2	250,7	250,3 (-2,5)	249,9 (-5,4)	240,4 (-4,1)

spośród badanych zależności. W przypadku prognozy wydobycia wg wielkości zużycia cementu błąd prognozy był większy i wyniósł: + 6,3, + 7,2 i +8,3%, a największe błędy uzyskano w przypadku prognozy wg PKB: -16,2; -16,3 i +7,7%. Wynika z tego, że współczynniki determinacji nie mają wyłącznego wpływu na dokładność prognoz, a błędy prognoz wg PKB są dość duże. Jest to jednak wstępne porównanie prognoz i osiągniętego wydobycia.

Interesuje nas jednak przede wszystkim określenie prognoz na przyszłość, np. prognoz wydobycia kruszyw na 2023 r. (rzeczywiste wielkości będą znane dopiero w II połowie 2024 r.) i lata 2024 – 2026. Tu jednak zaczynają się problemy. Podstawowy, to jakie wartości zmiennych niezależnych: PKB; zużycia cementu i koniunktury w budownictwie należy przyjąć w obliczeniach. W zależności od wielkości tych wskaźników uzyskane zostaną różne wielkości prognoz. Dostyc prosto jest z prognozami PKB, ponieważ są one opracowywane przez banki i inne instytucje, ale są jednak zróżnicowane i zmieniają się z miesiąca na miesiąc, a czasami nawet z tygodnia na tydzień [14, 16]. Uwzględniając średnie prognozy z początku 2024 r. w obliczeniach przyjęto następujące wielkości wzrostu PKB w latach 2023, 2024, 2025 i 2026: +0,3%; 3,0%; 3,4%; 3,5%. Zużycie cementu [mln Mg/r.] wg danych GUS [8,] i SPC [11] w latach 2020 – 2023 wynosiło: 2020 r. – 18,9; 2021 r. – 19,3; 2022 r. – 18,8 i w 2023 r. – 16,9 mln Mg. W 2023 r. produkcja cementu w Polsce była mniejsza w porównaniu z 2022 r. o ok. 12%. Było to spowodowane mniejszym zużyciem, jak również zwiększającym się importem cementu z Ukrainy i innych krajów [8, 15, 17] i przewidywania na najbliższy okres nie są optymistyczne. Uwzględniając ten fakt, w prognozie przyjęto następujące krajowe zużycie cementu: 2024 r. – 17,5; 2025 r. – 18,5 i 2026 r. – 18,8 mln Mg/r.

Duży problem jest z wskaźnikiem koniunktury w budownictwie, ponieważ nie jest on publikowany, a może przyjmować wartości od -100 do +100 pkt. W latach 2020 – 2023 kształtował się następująco (kolejno w latach): -18,9; -11,3; -18,0; -12,6, a na początku 2024 r. wynosił [8]: styczeń – minus 7,1; luty – minus 5,5; marzec – minus 4,0. Oznacza to poprawę koniunktury w budownictwie w porównaniu z la-

at the beginning of 2024 they were [8]: January – minus 7.1; February – minus 5.5; March – minus 4.0. This means an improvement in the economic situation in the construction industry compared to previous years [12, 13]. The analysis assumes that the business climate in the construction industry will improve in the current and in the next two years, and therefore the following values were assumed: 2024 – -5.0; 2025 – +4.0; 2026 – +5.0. In the case of all three parameters (independent variables), fairly safe indicator values were assumed.

The forecast for 2023–26 is presented in Table 4. The most favourable forecast for aggregate production is the forecast according to the business climate indicator in the construction industry. In this forecast, the total extraction (production) of aggregates in 2025–2026 should reach the level of 277–301 million Mg, which means an increase of 10–20% compared to the extraction from 2022 (known reference level). In the forecast according to cement consumption (sales), this increase is slightly smaller and amounts to 265–272 million Mg, i.e. 5.5–8.3% compared to 2022. The forecast according to GDP is the least favourable in terms of production volume. It shows a reduction in production in the years 2024–2026 from approx. 18 (2024) to 7.6 (2026) million Mg/year until 2022.

## Applications

1. The development of the construction industry has caused that in the period 1993–2023, the demand and extraction of construction aggregates increased about three times, from about 85 to over 250 million Mg/y. The lithological and regional structure of construction aggregate production has also changed.

2. The current dependencies of aggregate extraction (production) on three macroeconomic indicators published by the Central Statistical Office, the dynamics of GDP changes, the volume of domestic cement consumption and the general indicator of the business climate in the construction industry and the obtained determination coefficients  $R^2$  are the most favorable for the dependence of aggregate extraction (production) on cement consumption. A comparison of the forecast values with the obtained aggregate extraction in the years 2020–2022 (ex-post forecasts) shows that the smallest differences (-2.5%; -5.4% and -4.1%) were obtained according to the general business climate indicator in the construction industry, despite the fact that the coefficient of determination in the case of this relationship was the lowest ( $R^2 = 0.2183$ ) among the studied relationships. In the forecasts of extraction by the volume of cement consumption and GDP, the forecast errors are much greater (6–16%). When choosing independent variables, in forecasting should not always be guided by the size of the coefficients of determination.

3. In terms of the volume of aggregate extraction in the years 2024–2026, the most favourable forecast is forecast according

tami ubiegłymi [12, 13]. W analizie założono, że koniunktura w budownictwie w obecnym i w następnych dwóch latach będzie się poprawiać i w związku z tym przyjęto następujące wartości: 2024 r. – minus 5,0; 2025 r. – plus 4,0; 2026 r. – plus 5,0. W przypadku wszystkich trzech parametrów (zmiennych niezależnych) założono dosyć bezpieczne wielkości wskaźników, uśrednione z różnych prognoz.

Prognozę na lata 2023–2026 podano w tabeli 4. Najkorzystniejsza w przypadku produkcji kruszyw jest prognoza wg wskaźnika koniunktury w budownictwie. W tej prognozie łączne wydobycie (produkcja) kruszyw w latach 2025–2026 powinno osiągnąć poziom 277–301 mln Mg, co oznacza wzrost o 10–20% w porównaniu z wydobyciem w 2022 r.

(znany poziom odniesienia). W prognozie wg zużycia (sprzedaży) cementu ten wzrost jest nieco mniejszy i wynosi 265–272 mln Mg, czyli 5,5–8,3% w porównaniu z 2022 r. Najmniej korzystna pod względem wielkości wydobycia (produkcji) jest prognoza

za wg PKB. Wynika z niej zmniejszenie wydobycia w latach 2024–2026 od ok. 18 (2024 r.) do 7,6 (2026 r.) mln Mg/r, licząc do 2022 r.

## Wnioski

1. Rozwój budownictwa spowodował, że w okresie 1993–2022 zapotrzebowanie i wydobycie kruszyw budowlanych zwiększyło się ok. trzykrotnie, z ok. 85 do ponad 250 mln Mg/r. Zmieniła się też litologiczna i regionalna struktura produkcji kruszyw budowlanych.

2. Aktualne zależności wydobycia (produkcji) kruszyw od trzech makroekonomicznych wskaźników publikowanych przez GUS, dynamiki zmian PKB, wielkości krajowego zużycia cementu i wskaźnika ogólnego klimatu koniunktury w budownictwie i uzyskane współczynniki determinacji  $R^2$  są najkorzystniejsze w przypadku zależności wydobycia (produkcji) kruszyw od zużycia cementu. Z porównania wielkości prognozowanych z uzyskanym wydobyciem kruszyw w latach 2020–2022 r. (prognozy ex-post) wynika, że najmniejsze różnice (-2,5%; -5,4% i -4,1%) uzyskano wg wskaźnika ogólnego klimatu koniunktury w budownictwie, pomimo że współczynnik determinacji w przypadku tej zależności był najmniejszy ( $R^2 = 0,2183$ ) spośród badanych zależności. W prognozach wydobycia wg wielkości zużycia cementu i PKB błędy są znacznie większe (6–16%). W prognozowaniu przy wyborze zmiennych niezależnych nie zawsze należy się więc sugerować wielkością współczynników determinacji.

3. Pod względem wielkości wydobycia kruszyw w latach 2024–2026 najkorzystniejsza jest prognoza wg wskaźnika koniunktury w budownictwie, wskazująca na możliwość przekroczenia w 2026 r. poziomu wydobycia 300 mln Mg/r.

**Table 4. Construction aggregates extraction forecasts for 2023–2026**

Tabela 4. Prognozy wydobycia kruszyw budowlanych na lata 2023–2026

Pointer (independent variable)/ Wskaźnik (zmienna niezależna)	Production in 2022/ Wydobycie w 2022 r. [mln Mg] [2]	Production forecast [mln Mg] (± to the previous year [%]/Prognoza wydobycia [mln Mg] (+/- do roku poprzedniego [%]))			
		2023	2024	2025	2026
PKB [%]	250,7	227,6 (-9,2)	232,3 (+2,1)	237,2 (+2,1)	243,1 (+2,5)
Cement consumption [mln Mg]/ Zużycie cementu [mln Mg]	250,7	227,5 (-9,3)	241,4 (+6,1)	264,6 (+9,6)	271,6 (+2,6)
Business climate in the construction industry [pts]/ Koniunktura w budownictwie [pkt]	250,7	248,5 (-0,9)	256,5 (+2,3)	277,3 (+8,1)	301,1 (+8,6)

to the business climate indicator in the construction industry, indicating the possibility of exceeding the level of extraction in 2026 of 300 million Mg/y. However, the forecasts of cement consumption and GDP are less favourable. However, there is a high probability that the demand and production for construction aggregates will be above 250 million Mg/y, which is higher than a level above the extraction from 2020 – 2022.

4. Despite the diversity of forecasts taking into account three indicators (variables), their advantage is that the indicators are identified in the balances of industrial production in Poland, as well as in most countries, as opposed to the lack of such data (in Poland and many countries abroad [9]) in the case of construction aggregate production.

Received: 06.03.2024

Revised: 16.05.2024

Prognozy wg zużycia cementu i PKB są mniej korzystne. Jest duże prawdopodobieństwo, że zapotrzebowanie na kruszywa budowlane będzie się kształtować na poziomie powyżej 250 mln Mg/r., czyli powyżej wydobycia z lat 2020 – 2022.

4. Pomimo zróżnicowania prognoz z uwzględnieniem trzech zmiennych, ich zaletą jest to, że zastosowane wskaźniki są identyfikowane w bilansach produkcji przemysłowej w Polsce, a także większości krajów, w odróżnieniu od braku takich danych (w Polsce i wielu krajach [9]) w przypadku produkcji kruszyw budowlanych.

Wpłynął do redakcji: 06.03.2024 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 16.05.2024 r.

## Literature

[1] Annual Review, UEPG. Brussels, Belgium, 2009 – 2 023.

[2] Bilanse zasobów kopalin w Polsce z lat 1993 – 2022), PIG-PIB Warszawa, 1993 – 2023.

[3] Kozioł W, Baic I, Stankiewicz J. Wydobycie i produkcja drobnych frakcji kruszyw naturalnych oraz technologie ich zagospodarowania, Monografia IMBiGS, 2018, Warszawa, str. 212.

[4] Woźniak Z, Chajec A. Wpływ mączki granitowej na wybrane właściwości zapraw cementowych. Materiały Budowlane. 2022; DOI: 10.15199/33.2022.04.11.

[5] Baic IR, Kozioł W, Miros A. Dependence of construction aggregates extraction and production on selected indicators of economic development in Poland. Archives of Civil Engineering; 2021; <https://DOI: 10.24425/ace. 2021.138064>.

[6] Kozioł W, Baic I, Miros A. Zależność wydobycia kruszyw mineralnych od wybranych wskaźników rozwoju gospodarczego. Kruszywa Mineralne. 2023; t. 6, Politechnika Wroclawska, str. 5-14.

[7] Kawalec P. Analiza produkcji i zużycia kruszyw w zależności od wybranych wskaźników wzrostu gospodarczego w Polsce i innych krajach UE, Praca doktorska AGH, 2007.

[8] Główny Urząd Statystyczny/Wskaźniki makroekonomiczne, <https://stat.gov.pl/wskazniki-makroekonomiczne/>.

[9] Sand and Sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources. Geneva Switzerland, p. 31, UNEP, 2019.

[10] Cement na świecie. Budownictwo – technologie – architektura. 2019; 8: 76 – 77.

[11] Produkcja cementu spadnie w 2022 r. do 19 mln ton. Spadnie też sprzedaż, <https://www.muratorplus.pl/biznes/raporty-i-prognozy/produkcja-cementu-w-polsce-spadnie-do-19-mln-ton-aa-XpCa-eZ4R-Y7vW.html>.

[12] Koniunktura w przetwórstwie przemysłowym, budownictwie, handlu i usługach 2000 – 2023. GUS, Warszawa 2023.

[13] Wskaźniki koniunktury w budownictwie-General business climate indicator, GUS. 2023, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/koniunktura/>.

[14] Wstępny szacunek produktu krajowego brutto 31.08.2023 r. w 2 kwartale 2023 r., <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rachunki-narodowe/kwartalne-rachunki-Narodowe/szybki-szacunek-produktu-krajowego-brutto-za-ii-kwarta-2023-roku, 1,42.html>.

[15] Kowalska M. Produkcja materiałów budowlanych w 2023 roku. Materiały Budowlane.2024; 2: 91-93, [www.materiałybudowlane.info.pl](http://www.materiałybudowlane.info.pl).

[16] Ile wyniesie PKB Polski w 2024 roku? Bank Światowy podał najnowszą prognozę, <https://forsal.pl/gospodarka/pkb/artyku-ly/9485129, ile-wyniesie-pkb-polski-w-2024-roku-bank-swiatowy-podal-najnowsza-pro.html>.

[17] Ważna branża znalazła się w dołku. Spada produkcja, lawinowo rośnie import z Ukrainy, [https://www.wnp.pl/budownictwo/branza-w-dolku-spada-produkcja-lawinowo-rosnie-import-z-ukrainy,820657.html?utm\\_source=newsletter&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=wnp03-04-2024](https://www.wnp.pl/budownictwo/branza-w-dolku-spada-produkcja-lawinowo-rosnie-import-z-ukrainy,820657.html?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=wnp03-04-2024).