

dr inż. Łukasz Machniak^{1*)}

0000-0001-9014-9922

dr. inż. Dorota Łochańska¹⁾

0000-0002-0518-3067

Geospatial analysis of the sand market as a factor in selecting the location of a plant producing dry mortar mixtures

Geoprzestrzenna analiza rynku piasku jako czynnik wyboru lokalizacji zakładu produkcji suchych mieszanek mineralnych

DOI: 10.15199/33.2025.08.11

Abstract: The purpose of the study was to apply GIS to analyze sand availability in selecting the location of a dry mix plant. Geospatial analysis showed that only 18% of the country's area met the minimum assumed location criteria. This proves that the sand availability factor can be important in site selection together with other factors, i.e.: availability of transportation infrastructure, demand for final products, competitive analysis, as well as land use, regulatory and environmental aspects.

Keywords: sand market; mining of sand; spatial analysis; optimisation; geographic information systems (GIS).

Streszczenie: Artykuł dotyczy zastosowania GIS do analizy dostępności piasku przy wyborze lokalizacji zakładu produkcji suchych mieszanek. Analiza geoprzestrzenna wykazała, że tylko 18% powierzchni kraju spełnia minimalne założone kryteria lokalizacyjne. Dowodzi to, że czynnik dostępności piasku może mieć istotne znaczenie w doborze lokalizacji wspólnie z innymi czynnikami, tj. dostępność infrastruktury transportowej, popyt na produkty końcowe, analiza konkurencji, a także aspekty związane z zagospodarowaniem przestrzennym, regulacjami prawnymi oraz ochroną środowiska.

Słowa kluczowe: rynek piasku; wydobywanie piasku; analiza przestrzenna; optymalizacja; system informacji geograficznej (GIS).

The implementation of investment plans always requires a wide range of analyses to support sound decision-making on various aspects of the project, including location, technical and economic/financial assumptions. Such measures are necessary to reduce the risk of wrong decisions and to ensure that the project is optimally adapted to the specific characteristics of the region and the market in which it is to be implemented. The process of planning the location of a development involves a number of factors that significantly influence the final choice of where the project will be realised.

The most important elements requiring detailed assessment include factors such as: availability of raw materials, transport and technical infrastructure, labour costs, legal regulations and taxes, market, environmental aspects, availability of technology and market competition [1÷6]. Each of these determinants can play an important role in the success of an investment, and their mutual relationships can vary depending on the characteristics of a particular project. Thus, the investment site should be chosen on the basis of a detailed analysis and consideration of the mutual dependencies between the various factors. The choice of location in which to carry out a project is a strategic decision, requiring consideration of both the technological requirements and the specific conditions of the region in question [7].

One of the key factors in investment location planning is the availability of raw materials. This is a particularly important ele-

Realizacja planów inwestycyjnych każdorazowo wymaga przeprowadzenia analiz, które wspierają proces podejmowania trafnych decyzji dotyczących różnych aspektów projektu, w tym założeń lokalizacyjnych, technicznych oraz ekonomiczno-finansowych. Tego typu działania są niezbędne, aby zminimalizować ryzyko błędnych decyzji oraz zapewnić optymalne dopasowanie projektu do specyfiki regionu oraz rynku, na którym ma być realizowany. Proces planowania lokalizacji inwestycji obejmuje wiele czynników, które w istotny sposób wpływają na ostateczny wybór miejsca, w którym zrealizowany zostanie projekt.

Do najważniejszych elementów wymagających szczegółowej oceny należy zaliczyć takie czynniki, jak: dostępność surowców; infrastruktura transportowa i techniczna; koszty pracy; regulacje prawne i podatki; rynek zbytu; aspekty środowiskowo-ekologiczne; dostępność technologii oraz konkurencja na rynku [1÷6]. Każde z tych uwarunkowań może odgrywać istotną rolę w powodzeniu inwestycji, a ich wzajemne relacje mogą się różnić w zależności od charakterystyki konkretnego przedsięwzięcia. Miejsce realizacji inwestycji powinno być zatem wybrane na podstawie szczegółowej analizy oraz uwzględnienia wzajemnych zależności między różnymi czynnikami. Wybór lokalizacji, w której ma zostać zrealizowany projekt, jest decyzją strategiczną, wymagającą uwzględnienia wymagań technologicznych i specyficznych uwarunkowań danego regionu [7].

Jednym z kluczowych czynników w planowaniu lokalizacji inwestycji jest dostępność surowców. Jest to element szcze-

¹⁾ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami;

^{*)} Correspondence address: machniak@agh.edu.pl

ment for manufacturing projects, where the availability of basic materials has a direct impact on production costs and the efficiency of the manufacturing process. Raw materials should be readily available, of adequate quality and at an attractive price. A specific case in this context is the production of dry mortar mixtures, which contain cement and fine aggregates such as sand in their composition. Sand is an essential ingredient in these materials (mortars: plastering, adhesive, masonry) and can range from 60 to 90 per cent by weight in the finished products, depending on the type of finished product. Therefore, the availability of sand in the area of the planned development is a key factor to be taken into account when selecting the location of the production facility. An analysis of the sand market is essential to understand its fundamental characteristics. Surveys may include: availability of raw material (resources), stability of supply, price levels, quality of raw material, and identification of potential suppliers. This kind of analysis makes it possible to identify several potential locations for the construction of a new dry mortar mixture production plant, and then compare them and select the right one that provides a regular and stable supply of sand to maintain continuous production.

With the increasing complexity of the problem of investment site selection, there is a need for modern IT tools that enable more precise and comprehensive analyses. These technologies allow the integration of different problem areas that are key to making sound location decisions. Such tools include geographic information systems (GIS), which allow different layers of data to be overlaid, greatly facilitating the assessment of potential locations [8÷13].

This paper presents a methodology for using a spatial information system to assess one of the key areas influencing the location choice for the investment – a new dry mortar mixture production plant, i.e. the availability of the primary raw material, sand. In particular, it discusses how sand market analysis can support the investment decision-making process.

General characteristics of sand deposits

Sand is considered to be a common mineral in Poland, which means that it is one of the most common mineral resources. The reserves are relatively large and cover a major part of the country's surface.

In Poland, sand is found in various forms and types, depending on its mineral composition and origin. Sand is deposited in deposits (tab. 1): sands and gravels (sg), moulding sands (ms), backfill sands (bs), quartz sands for the production of lime-sand bricks and cellular concrete (qs) and glass raw materials (grm) [14].

Sand and gravel deposits are of greatest market importance. They are by far the most numerous (97%) and relatively evenly distributed throughout Poland. In addition, the sand and gravel deposits are also the most developed (98%) and have the dominant volume of anticipated economic resources in total in all deposits (78%), as well as in developed deposits – where the share rises to 85%.

The sand and gravel deposits are mainly of Quaternary origin and only to a lesser extent belong to older formations, from the Pliocene, Miocene and Lias. The quality of these minerals, and

gólnie ważny w przypadku projektów produkcyjnych, gdzie dostępność podstawowych materiałów ma bezpośredni wpływ na koszty produkcji oraz wydajność procesu wytwórczego. Surowce powinny być łatwo dostępne, o odpowiedniej jakości i w atrakcyjnej cenie. Specyficznym przypadkiem w tym kontekście jest produkcja suchych mieszanek mineralnych, które w swoim składzie zawierają cement oraz kruszywa drobne, takie jak piasek. Piasek jest zasadniczym składnikiem tych materiałów (zaprawy tynkarskie, klejące, murarskie), a jego zawartość w gotowych produktach może wynosić 60–90% masy, w zależności od rodzaju wyrobu gotowego. Z tego względu dostępność piasku w obszarze planowanej inwestycji stanowi kluczowy czynnik, który należy uwzględnić przy wyborze lokalizacji zakładu produkcyjnego. Badania mogą obejmować: dostępność (zasobów) surowca, stabilność dostaw, poziom cen, jakość surowca, a także identyfikację potencjalnych dostawców. Tego rodzaju analiza pozwala na wskazanie kilku potencjalnych lokalizacji pod budowę nowego zakładu produkcji suchych mieszanek mineralnych, a następnie porównania ich i wybór właściwej, zapewniającej regularne i stabilne dostawy piasku, aby utrzymać ciągłość produkcji.

Wraz z coraz większą złożonością problemu wyboru lokalizacji inwestycji, pojawia się potrzeba zastosowania nowoczesnych narzędzi informatycznych, które umożliwiają przeprowadzanie bardziej precyzyjnych i kompleksowych analiz. Technologie te pozwalają na integrację różnych obszarów problemowych, które są kluczowe dla podejmowania trafnych decyzji lokalizacyjnych. Do takich narzędzi należą systemy informacji geograficznej (GIS), dzięki którym możliwe jest nałożenie na siebie różnych warstw danych, co znacznie ułatwia ocenę potencjalnych lokalizacji [8÷13].

W artykule przedstawiono metodę wykorzystania systemu informacji przestrzennej do oceny jednego z kluczowych obszarów wpływających na wybór lokalizacji nowego zakładu produkcji suchych mieszanek, tj. dostępności podstawowego surowca – piasku. W szczególności omówiono, jak analiza rynku piasku może wspierać proces podejmowania decyzji inwestycyjnych.

Ogólna charakterystyka złóż piasku

Piasek uznawany jest za kopalinę pospolicie występującą w naszym kraju, co oznacza, że jest jednym z najpowszechniej występujących surowców mineralnych. Jego zasoby są stosunkowo duże i obejmują dużą część powierzchni kraju. W Polsce piasek występuje w różnych postaciach i rodzajach, w zależności od jego składu mineralnego oraz pochodzenia. Zalegają one w złożach (tabela 1): piasków i żwirów (piż); piasków formierskich (pf); piasków podsadzkowych (pp); piasków kwarcowych do produkcji cegły wapienno-piaskowej i betonów komórkowych (pkcwpibk) oraz surowców szklarskich (sk) [14]. Największe znaczenie rynkowe mają złoża piasków i żwirów, które stanowią 97% wszystkich złóż i występują równomiernie na terenie całej Polski. Są one zagospodarowane w 98% oraz ich wielkość jest dominująca w bilansowych zasobach geologicznych łącznie we wszystkich złożach (78%), jak również w złożach zagospodarowanych do 85%.

especially the homogeneity of the deposits, depends largely on their genetic type.

In the southern part of the country, the Carpathian-Sudetic zone is dominated by deposits of fluvial genesis. The Sudetic part is dominated by sand and gravel deposits of the higher Pleistocene terraces, which are dominated by crystalline rocks and sandstones. In

the Carpathian area, the main raw material base is made up of gravel and sand-gravel deposits, occurring within the low floodplains and alluvial terraces, dominated by flysch rocks. The exception is the Dunajec valley, where there are significant amounts of Tatra crystalline rocks. In northern and central Poland, on the Polish Lowlands, the most important deposits are those of glacial (accumulation moraines), water-glacial (sandurs, eskers) and fluvial origin. The northern part of the area is dominated by gravel and sand deposits, containing mainly Scandinavian rocks – crystalline formations and limestone with admixtures of quartz and sandstone. In the central and southern parts, sandy sediments, containing large amounts of local rocks, make up a significant proportion of the water-glacial formations [14÷16].

It should be noted that the values presented in Table 1, for the sand and gravel (sg) deposits, refer collectively to the sand and gravel resources present therein. Due to the partial occurrence of sand in this type of deposit, data defining this share – i.e. the sand point – should be used to determine the size of sand resources. The average sand point of exploited (developed) deposits in Poland is 76.5% (calculation based on MIDAS data) [17]. Table 2 summarises the average sand point values in sand and gravel deposits for each province.

The current resource potential should be assessed by considering the economic resources in place, i.e. those that can be exploited under the concessions granted. An estimate of these resources is shown in Table 2, recalculating the information on the total sand and gravel reserves identifiable from the Mineral Deposit Resources Balance [14] and using average sand point data. The status of these resources is approximately 3.2 billion tonnes, representing 22% of the anticipated economic resources of sand in all proven sand and gravel deposits.

The level of sand production over the last few years has been around 160–170 million tonnes, and has increased by more than 100% over the past 30 years [18]. This is an apparent value that should not be equated with production volume. This discrepancy is due to an excess of sandy fraction (the deposits are a resource of gravel fraction – a material more desirable in the market) in the central and northern provinces. After sifting out the gravels, sand is returned to the pit. It is estimated that this could be as high as around 30–35 million tonnes per year.

Table 1. Deposit characteristics with sand resources, as at 31.12.2023 [14]
Tabela 1. Charakterystyka złóż z zasobami piasku, stan na 31.12.2023 r. [14]

Deposit/ Złoże	Number of deposits/Liczba złóż		Anticipated economic resources, million tonnes/ Geologiczne zasoby bilansowe [mln t]		Output, million tonnes/ Wydobycie [mln t]
	Total/ łącznie	Developed/ zagospodarowanych	Total/ łącznie	Developed/ zagospodarowanych	
sg/piż	11 117	3 569	21 131	6 153	167,1
ms/pf	72	4	295	43,8	0,79
bs/pp	30	5	4 251	717	3,64
qs/ pkcwpibk	164	27	721	121,5	0,87
grm/sk	38	8	652	174,4	3,21
Total/ Razem	11 421	3 613	27 050	7 209,7	175,61

Złóża piasków i żwirów są głównie pochodzenia czwartorzędowego, a tylko w mniejszym stopniu należą do starszych formacji, takich jak plioceńska, mioceńska i liasowa. Jakość tych kopalni, a szczególnie jednorodność złóż, zależy w dużym stopniu od ich typu genetycznego. W południowej części kraju,

w strefie karpacko-sudeckiej, dominują złoża genezy rzecznej. W części sudeckiej przeważają złoża piaszczysto-żwirowe wyższych tarasów plejstocenijskich, w których dominują skały krystaliczne i piaskowce. W obszarze karpackim główną bazę surowcową stanowią złoża żwirowe i piaszkowo-żwirowe, znajdujące się w obrębie niskich tarasów zalewowych i nadzalewowych, gdzie dominują skały fliszowe. Wyjątek stanowi dolina Dunajca, gdzie występują znaczne ilości tatrzańskich skał krystalicznych. W północnej i centralnej Polsce, na Niżu Polskim, najważniejsze są złoża o genezie lodowcowej (akumulacyjne moreny czołowe), wodnolodowcowej (sandry, ozy) oraz rzecznej. W północnej części tego obszaru dominują złoża żwirowo-piaskowe, zawierające głównie skały skandynawskie – utwory krystaliczne i wapienie z domieszką kwarcu i piaskowców. W części centralnej i południowej znaczny udział w utworach wodnolodowcowych mają osady piaszczyste, zawierające duże ilości skał lokalnych [14÷16].

Należy podkreślić, że przedstawione w tabeli 1 wartości dotyczą złóż piasku i żwiru (piż) i odnoszą się łącznie do zasobów piasku i żwiru. Ze względu na częściowe występowanie piasku w tego rodzaju złożach, do określenia jego zasobów należy wykorzystać dane określające ten udział, tj. punkt piaskowy. Średni punkt piaskowy złóż eksploatowanych (zagospodarowanych) w Polsce wynosi 76,5% (obliczenia na podstawie danych pochodzących z systemu MIDAS) [17]. W tabeli 2 zestawiono średnie wartości punktu piaskowego w złożach piasku i żwiru w poszczególnych województwach.

Obecny potencjał zasobów należy ocenić, biorąc pod uwagę zasoby przemysłowe, a więc te, które mogą być przedmiotem eksploatacji w ramach udzielonych koncesji. Oszacowaną ilość tych zasobów przedstawiono w tabeli 2, przeliczając dane o łącznych zasobach złóż piasku i żwiru możliwych do określenia na podstawie „Bilansu zasobów złóż kopalni” [14] oraz wykorzystując dane dotyczące średniego punktu piaskowego. Stan tych zasobów wynosi ok. 3,2 mld ton, co stanowi 22% zasobów bilansowych piasku we wszystkich udokumentowanych złożach piasku i żwiru.

Poziom wydobycia piasku na przestrzeni ostatnich lat kształtował się na poziomie 160–170 mln ton rocznie [18]. Jest to pozorna wartość, której nie należy utożsamiać z wielkością

Methodology and assumptions for the analysis

An essential step in the analysis process was the preparation of spatial data on sand deposits, including their geographical location. This information has been integrated with descriptive attributes that detail the anticipated economic resources of sand, economic resources in place, mining volume and sand point, which is an important indicator for assessing deposit quality. As the integration of spatial data with descriptive data on the basis of deposit name was characterised by a very high error rate, it was required to assign each deposit an individual attribute, i.e. a system number (deposit ID). This data was obtained from the Infogeoskarp system. Combining the data provided a complete picture of the available resources, which became the foundation for further localisation analysis. In the process of preparing the data, a selection was made, excluding deposits considered to be exploited on the basis of the so-called “district governor concession”, which are characterised by specific legal and technical conditions. Deposits marked as “abandoned mining” were also excluded, as their use is not currently pos-

produkcji. Rozbieżność ta wynika z nadmiaru frakcji piaszczystej (złoża stanowią zasób frakcji żwirowej – materiał bardziej pożądany na rynku) w województwach centralnych i północnych. Piasek po odsianiu żwirów jest zawracany z powrotem do wyrobiska. Szacuje się, że może to być nawet ok. 30–35 mln ton rocznie.

Metoda i założenia do analizy

Zasadniczym krokiem w procesie analizy było przygotowanie danych przestrzennych dotyczących złóż piasku, w tym ich położenia geograficznego. Informacje te zostały zintegrowane z atrybutami opisowymi, które szczegółowo określają zasoby bilansowe piasku, zasoby przemysłowe, wielkość wydobycia oraz punkt piaskowy, stanowiący istotny wskaźnik oceny jakości złóż. W związku z tym, że integracja danych przestrzennych z danymi opisowymi na podstawie nazwy złóż charakteryzowała się bardzo dużą liczbą błędów, wymagane było przypisanie indywidualnego atrybutu każdemu ze złóż, tj. numeru systemowego (Id złoża). Dane te pozyskano z systemu

Table 2. Estimated resources and production of sand from sand and gravel deposits, as at the end of 2023

Source: own study based on [14, 17]

Tabela 2. Szacunkowe zasoby i wydobycie piasku ze złóż piasku i żwiru, stan na koniec 2023 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [14, 17]

Province/ Województwo	Data on sand and gravel deposits/ Dane o złożach piasku i żwiru			Average sand point/ Średni punkt piaskowy [%]	Data pertaining to sand in sand and gravel deposits/ Dane o piasku w złożach piasku i żwiru		
	Anticipated economic resources/ zasoby bilansowe [thousand tonnes/tys.t]	Economic resources in place/ zasoby przemysłowe [thousand tonnes/tys.t]	Output/ wydobycie [thousand tonnes/tys.t]		Anticipated economic resources/ zasoby bilansowe [thousand tonnes/tys.t]	Economic resources in place/ zasoby przemysłowe [thousand tonnes/tys.t]	Output/ wydobycie [thousand tonnes/tys.t]
Dolnośląskie	2 336 962	364 185	12 250	60	1 402 177	218 511	7 350
Kujawsko-pomorskie	475 284	153 935	6 062	90,7	431 083	139 619	5 498
Lubelskie	1 123 085	121 941	5 798	93,5	1 050 084	114 015	5 421
Lubuskie	1 134 021	183 603	4 581	83,1	942 371	152 574	3 807
Łódzkie	718 103	235 185	8 399	90,2	647 729	212 137	7 576
Małopolskie	1 830 147	141 551	11 011	53,5	979 129	75 730	5 891
Mazowieckie	1 464 588	327 731	11 722	86,4	1 265 404	283 160	10 128
Opolskie	1 500 944	114 290	7 084	60,8	912 574	69 488	4 307
Podkarpackie	1 396 689	137 069	8 531	71,4	997 236	97 867	6 091
Podlaskie	1 853 408	661 974	28 338	68,3	1 265 878	452 128	19 355
Pomorskie*	1 768 612	518 678	19 643	74,9	1 324 690	388 489	14 712
Śląskie	901 782	96 600	5 271	64,7	583 453	62 500	3 410
Świętokrzyskie	648 259	50 412	2 060	92,3	598 343	46 530	1 901
Warmińsko-mazurskie	1 334 104	396 428	13 686	66,8	89 181	264 814	9 142
Wielkopolskie	1 185 959	379 218	11 149	89,3	1 059 061	338 642	9 956
Zachodniopomorskie	1 459 971	447 115	11 520	78,1	1 140 237	349 197	8 997
Suma:	21 131 918	4 329 915	167 105	76,5**	15 490 630	3 265 401	123 542

* deposits exploited in the Baltic Sea are included/uwzględniono złoża eksploatowane na Morzu Bałtyckim

** average value/wartość średnia

sible due to a lack of mining activity or problems with access to the resource. It has been accepted that these deposits cannot be a major source of sand supply, which limits their potential use in the context of investment planning. All this information formed the supply side, underpinning the analysis of the resources available in the market [19].

The second important part of the process was the preparation of a second spatial layer, the demand side, on which information from the “supply” layer was aggregated. In a final step, these data were used to select potential locations for dry mortar mixture production plants, according to specific boundary conditions on selected sand market characteristics. This layer covered the entire area of Poland’s borders and was based on a 5 km square grid, creating a set of 12,848 grid meshes (boxes). For ease of location, descriptive attributes have been assigned to each mesh in the grid: “municipality”, “district” and “province”.

The third step was to determine the condition of mutual dependencies between the layers. This was achieved by determining the size of the buffer (radius of the circle) around each deposit, which defines the extent of data aggregation in the demand layer (mesh). It has been assumed that the adopted radius should ensure that at least 95% of the country’s area will be covered by at least one deposit. This condition was met for a radius of 20 km, achieving a coverage of 95.2%. It is worth mentioning that 100% country coverage was achieved with a radius of 67 km.

The value of 20 km corresponds approximately to 28 km of the actual transport route on public roads, taking into account the typical conditions of the transport network [20]. It is worth noting that the result obtained is in line with market practice, for which typical sand transport distances are in the range of 25–35 km. Such a range provides a compromise between transport costs and the profitability of exploiting the deposits. It was therefore considered that a study of sand availability within a 20 km radius was the optimal solution for analysing logistics costs and distribution efficiency. The data aggregation scheme, taking into account the buffer coverage adopted, is shown in Figure 1.

Geospatial analysis was performed in a GIS environment using MapInfo software. It is a program that allows for the creation, management, and updating of spatial data. With its help, users can visualize and analyze data on maps, as well as successfully build advanced geographic information systems. Aggregation was performed using the “intersect” option, i.e. when the mesh is fully or only partially within the circle defined from the deposit contour.

Characteristics and analysis of selected sand market criteria

Number of deposits available. The number of available deposits can be considered as an indicator describing the possible diversification of sand supply. Diversifying suppliers reduces the risk of dependence on a single supplier, which can be crucial in crisis situations such as technical failures, financial problems of the supplier, natural or catastrophic disasters, logistical

Infogeoskarp. Połączenie danych umożliwiło uzyskanie pełnego obrazu dostępnych zasobów, co stało się fundamentem do dalszej analizy lokalizacyjnej. W procesie przygotowania danych dokonano ich selekcji, wykluczając złoża uznane za eksploatowane na podstawie tzw. koncesji starościańskiej, które charakteryzują się określonymi uwarunkowaniami prawnymi i technicznymi. Wykluczono również złoża oznaczone jako „eksploatacja zaniechana”, ponieważ ich wykorzystanie nie jest obecnie możliwe z powodu braku aktywności wydobywczej lub problemów z dostępem do surowca. Przyjęto, że złoża te nie mogą stanowić głównego źródła dostaw piasku, co ogranicza ich potencjalne wykorzystanie w kontekście planowania inwestycji. Wszystkie informacje tworzyły stronę podażową, stanowiąc fundament analizy zasobów dostępnych na rynku [19].

Drugą istotną częścią analizy było przygotowanie strony popytowej, na której agregowano informacje pochodzące z warstwy „podaży”. W finalnym kroku dane te wykorzystano do wytypowania potencjalnych lokalizacji zakładów produkcji suchych mieszanek mineralnych, zgodnie z określonymi warunkami brzegowymi dotyczącymi wybranych cech rynku piasku. Warstwa ta obejmowała cały obszar granic Polski, a jej struktura opierała się na siatce kwadratowej o boku 5 km, tworząc zestaw 12 848 oczek siatki (pól). W celu ułatwienia lokalizacji, każdemu oczku w siatce przypisano atrybuty opisowe: „gmina”, „powiat” oraz „województwo”.

Trzecim etapem analizy było określenie warunku wzajemnej zależności pomiędzy stroną podażową i popytową. Uzyskano to przez wyznaczenie wielkości bufora (promienia okręgu) wokół każdego złoża, który definiuje zasięg agregacji danych w warstwie popytu (oczkach siatki). Założono, że przyjęty promień powinien zapewnić pokrycie co najmniej 95% powierzchni kraju, która będzie w zasięgu oddziaływania przynajmniej jednego złoża. Warunek ten został spełniony w przypadku promienia wynoszącego 20 km, co pozwoliło osiągnąć pokrycie na poziomie 95,2%. Warto dodać, że pokrycie 100% kraju uzyskano przy promieniu wynoszącym 67 km.

Wartość 20 km odpowiada w przybliżeniu 28 km rzeczywistej trasy transportowej po drogach publicznych, uwzględniając typowe warunki sieci komunikacyjnej [20]. Należy podkreślić, że uzyskany wynik jest zgodny z praktyką rynkową, w przypadku której typowe odległości transportu piasku mieszczą się w przedziale 25–35 km. Taki zakres zapewnia kompromis pomiędzy kosztami transportu a opłacalnością eksploatacji złóż. Uznano zatem, że badanie dostępności piasku w promieniu 20 km stanowi optymalne rozwiązanie analizy kosztów logistycznych i efektywności dystrybucji. Schemat agregowania danych, uwzględniający przyjęty zasięg bufora, przedstawiono na rysunku 1.

Analizę geoprzestrzenną wykonano w środowisku GIS z wykorzystaniem oprogramowania MapInfo. Jest to program pozwalający na tworzenie, zarządzanie oraz aktualizację danych przestrzennych. Za jego pomocą można wizualizować i analizować dane na mapach, a także z powodzeniem budować zaawansowane systemy informacji przestrzennej. Agregacji dokonano z wykorzystaniem opcji „intersect”, tzn., gdy oczko siatki znajduje się w pełni lub tylko częściowo w okręgu wyznaczonym od konturu złoża.

disruptions. In addition, a larger number of suppliers promotes market competition, which can lead to a stabilisation or even reduction in raw material prices. Increased competition also motivates suppliers to maintain high service quality, on-time delivery and price flexibility. In turn, a limited number of suppliers can result in higher prices and a greater vulnerability of the market to monopolisation. A graphical visualisation of the data is shown in Figure 2.

By far the largest part of the country (45.1%), according to the adopted ranges, is characterised by the presence of between 3 and 10 deposits. More than 20 deposits, which can be con-

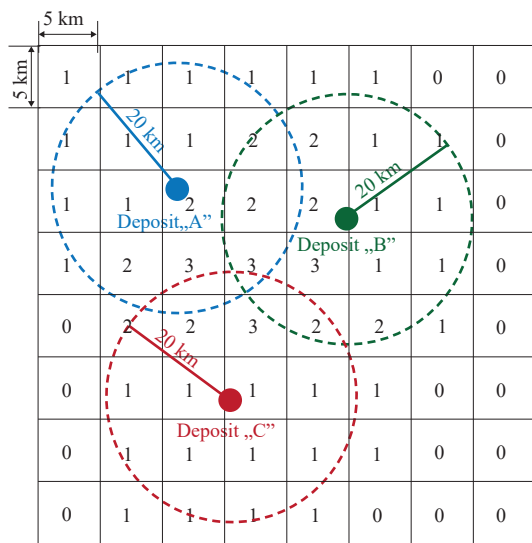


Fig. 1. Scheme for aggregating data from the supply layer to the demand layer using the number of deposits as an example

Rys. 1. Schemat agregowania danych z warstwy podaży do warstwy popytu na przykładzie liczby złóż

sidered very high availability, are found in 13% of the country. The maximum number, 56 deposits, have been identified within the borders of Suwałki district in Podlaskie province.

Quantity of economic resources in place and their sufficiency. The location of the production plant in a location that provides a multi-year perspective for the availability of sand resources is an important factor in securing a stable supply of raw material in the long term, as well as continuity of production and optimisation of operating costs. A graphical visualisation of the data regarding the economic resources in place is shown in Figure 3a.

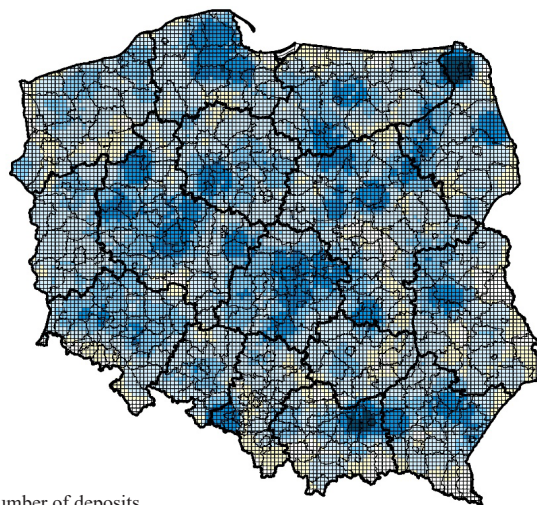
The assessment of available resources should not be made in isolation from another important factor which is – the static resource sufficiency index, which reflects the expected life of the deposits, at the current rate of production. It is possible for a region to have a high volume of resources but a high level of production. In such cases, the sufficiency index may be low, meaning that, despite the apparent abundance of raw material resources, exploitation times will be limited.

Figure 3b shows the sufficiency of the recoverable reserves, assuming that it represents 75% of the economic resources in place.

The case described can be seen in two regions in the Podlaskie province, which have resources in the highest range (Figure 3a), but resource sufficiency is not in the highest

Charakterystyka i analiza wybranych kryteriów rynku piasku

Liczba dostępnych złóż. Liczbę dostępnych złóż można uznać za wskaźnik opisujący możliwą dywersyfikację dostaw piasku. Dywersyfikacja dostawców zmniejsza ryzyko uzależnienia od jednego dostawcy, co może być kluczowe w sytuacjach kryzysowych, takich jak: awarie techniczne, problemy finansowe dostawcy, klęski żywiołowe lub katastrofy, zakłócenia logistyczne. Ponadto większa liczba dostawców sprzyja konkurencji rynkowej, co może prowadzić do stabilizacji lub nawet obniżki cen surowca. Duża konkurencja motywuje rów-



Number of deposits

0 to 1 1 to 3 3 to 10 10 to 20 20 to 40 40 to 60

Fig. 2. Cumulative number of sand deposits within the assumed radius of influence

Rys. 2. Skumulowana liczba złóż piasku w przyjętym promieniu oddziaływania

nież dostawców do utrzymania bardzo dobrej jakości usług, terminowości dostaw oraz elastyczności cenowej. Z kolei ograniczona liczba dostawców może skutkować zwiększeniem cen oraz dużą podatnością rynku na monopolizację. Graficzną wizualizację danych przedstawiono na rysunku 2.

Zgodnie z przyjętymi przedziałami, zdecydowanie największa część kraju (45,1%), charakteryzuje się występowaniem 3 do 10 złóż. Więcej niż 20 złóż, co można uznać za bardzo dużą dostępność, występuje na obszarze 13% kraju. Maksymalną liczbę (56 złóż), zidentyfikowano w granicach powiatu suwalskiego w województwie podlaskim.

Ilość zasobów przemysłowych oraz ich wystarczalność. Umiejscowienie zakładu produkcyjnego w lokalizacji, która zapewnia wieloletnią perspektywę dostępności zasobu piasku stanowi ważny czynnik zabezpieczenia stabilnych dostaw surowca w perspektywie długoterminowej, jak również ciągłości produkcji oraz optymalizacji kosztów operacyjnych. Graficzną wizualizację danych o zasobach przemysłowych przedstawiono na rysunku 3a.

Ocena dostępnych zasobów nie powinna być dokonywana w oderwaniu od innego istotnego czynnika, jakim jest statyczny wskaźnik wystarczalności zasobów, który odzwierciedla przewidywany czas eksploatacji złóż przy aktualnym tempie wydobycia. Możliwe są sytuacje, w których region charakteryzuje

range (Figure 3b). Such a situation increases the risk of early depletion of resources and may lead to the need to seek alternative sources of supply from regions much further away, which will undoubtedly have a negative impact on transport costs.

Share of new demand in current production. Planning the construction of a new dry mortar mixture production plant requires a detailed analysis of the impact of the additionally generated demand on the current level of sand production in the region. A key aspect of this analysis is to assess whether the existing mines will be able to meet new demand, given certain identified constraints on the ability to increase output. Many mines are currently operating close to maximum capacity due to constraints of various origins: environmental, technological

się dużą wielkością zasobów, ale jednocześnie wysokim poziomem wydobycia. W takich przypadkach wskaźnik wystarczalności może okazać się mały, co oznacza, że mimo pozornie dużych zasobów surowca, czas eksploatacji będzie ograniczony. Na rysunku 3b przedstawiono wystarczalność zasobów operacyjnych, przyjmując, że stanowią 75% zasobów przemysłowych. Jest to przypadek dwóch rejonów w województwie podlaskim, które charakteryzują się zasobami z największego przedziału (rysunek 3a), natomiast wystarczalność zasobów nie znajduje się w najwyższym przedziale (rysunek 3b). Taka sytuacja zwiększa ryzyko szybkiego wyczerpania zasobów i może prowadzić do konieczności poszukiwania alternatywnych źródeł dostaw z regionów znacznie bardziej oddalonych, co wpłynie negatywnie na koszty transportu.

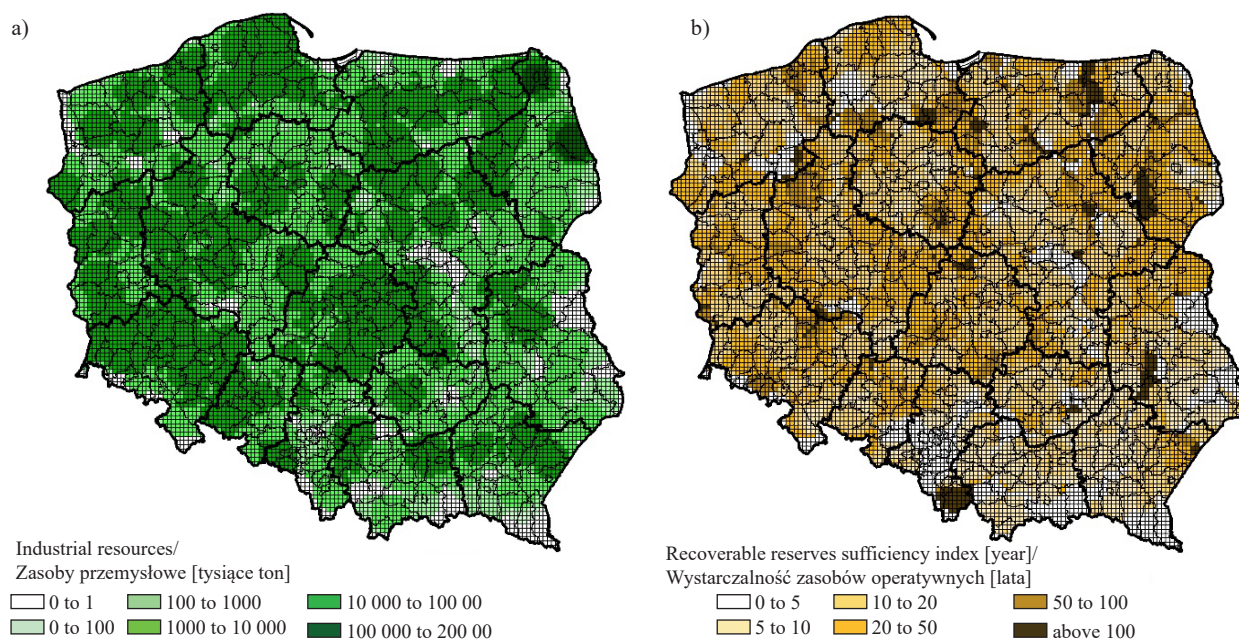


Fig. 3. Available economic sand resources in place (a) and recoverable reserves sufficiency index (b)
 Rys. 3. Dostępne zasoby przemysłowe piasku (a) oraz wskaźnik wystarczalności zasobów operacyjnych (b)

and social. In addition, the additional demand for sand, can significantly affect the balance of supply and demand. With existing mines operating at the limit of their capacity, even a small increase in demand can lead to:

- price pressure due to the limited availability of raw material,
- the risk of shortages, especially during periods of peak demand (e.g. construction season),
- an increase in logistical costs if raw material has to be sourced from more distant locations.

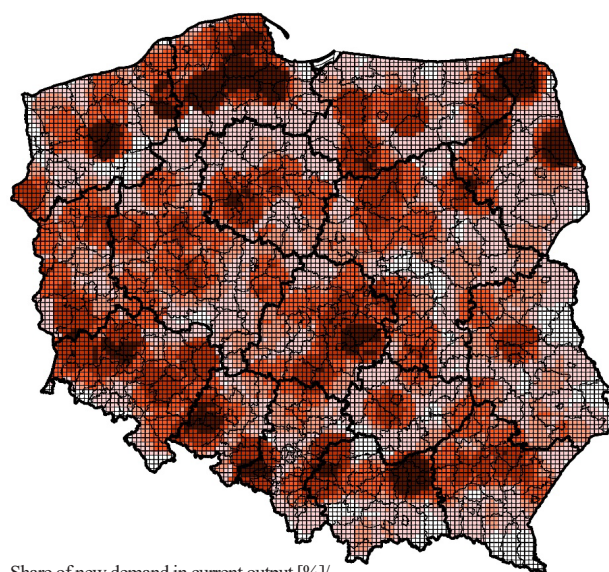
For this analysis, the annual sand requirement of the proposed dry mortar mixture production plant was assumed to be 200,000 tonnes. The share of new demand in current sand production is shown graphically in Figure 4.

The analysis shows that in an area of almost 30% of the country, new demand exceeds current production. Increasing production by 100% or more will therefore most likely be impossible or severely hampered. The location of the plant should therefore include areas where this proportion is possibly the smallest.

Udział nowego popytu w aktualnym wydobyciu. Planowanie budowy nowego zakładu produkcji suchych mieszanek mineralnych wymaga szczegółowej analizy wpływu dodatkowo wygenerowanego zapotrzebowania na aktualny poziom wydobycia piasku w regionie. Kluczowym aspektem tej analizy jest ocena, czy istniejące kopalnie będą w stanie zaspokoić nowy popyt, biorąc pod uwagę pewne identyfikowane ograniczenia możliwości zwiększenia wydobycia. Wiele kopalni działa obecnie na poziomie zbliżonym do maksymalnych zdolności produkcyjnych, wynikających z ograniczeń o różnej genezie: środowiskowych, technologicznych oraz społecznych. Ponadto dodatkowe zapotrzebowanie na piasek może istotnie wpłynąć na równowagę podaży i popytu.

W sytuacji, gdy istniejące kopalnie działają na granicy możliwości, nawet niewielki wzrost zapotrzebowania może prowadzić do:

- presji cenowej, wynikającej z ograniczonej dostępności surowca;
- ryzyka niedoboru, szczególnie w okresach wzmożonego zapotrzebowania (np. sezon budowlany);



Share of new demand in current output [%]
Udział nowego popytu w aktualnym wydobyciu [%]

above 100 50 to 100 20 to 50 10 to 20 1 to 10
brak wydobywania

Fig. 4. Share of new demand in current production volume
Rys. 4. Udział nowego popytu w wielkości aktualnego wydobycia

Share of sand in the deposit – sand point. Sand and gravel deposits are mainly exploited to produce fractions larger than 2 mm, i.e. gravels. It can generally be said that sand in many cases is a by-product. The main and stable customers for both the gravel and sand fractions are companies in the concrete industry, in particular ready-mixed concrete producers and light and heavy prefabrication companies. It is estimated that around 40–45 million tonnes of gravel and around 25–30 million tonnes of sand enter the market each year.

In cases of regions where the sand point in the deposits is low and there is a high demand for aggregates for concrete production, there can be a significant barrier for new entrants planning to enter the market. Indeed, new players will have to compete intensely for access to the sand. These types of regions also tend to have a higher sand price, and the differences can be up to 300% compared to areas where deposits with a high or total share of sand predominate.

Regions with a high proportion of sand in the deposits may therefore be a more optimal location for plants that mainly need sand in their operations. A map with the calculated mean sand point is shown in Figure 5.

The reference point should be a typical concrete mix formulation with an average of 1.9 tonnes of aggregate per 1 m³ of concrete. Of this, 65% is the gravel fraction and the remaining 35% is sand. Thus, regions where the sand point of the deposits is 35% or less will not be recommended for the location of plants needing mainly sand, as covering the demand for sand will involve overproduction of gravel, which in turn may lead to problems of gravel disposal. Regions where this value is less than 35% represent only 3% of the country's area. It can be concluded that the quality of the deposits, as expressed by the

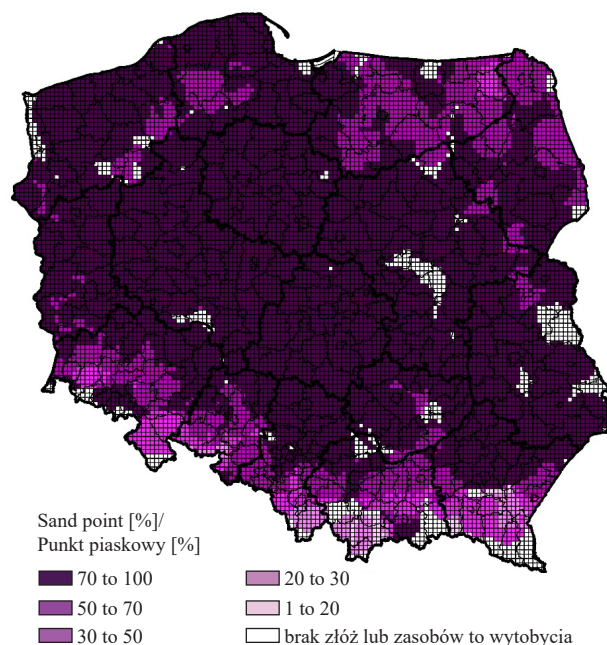
• zwiększeniem kosztów logistycznych, jeśli konieczne będzie pozyskiwanie surowca z bardziej oddalonych lokalizacji.

Do analizy przyjęto, że roczne zapotrzebowanie na piasek projektowanego zakładu produkcji suchych mieszanek wynosi 200 tys. ton. Udział nowego popytu w aktualnym wydobyciu piasku przedstawiono na rysunku 4. Z analizy wynika, że na obszarze prawie 30% kraju, nowe zapotrzebowanie przewyższa aktualne wydobycie. Zwiększenie wydobycia o 100% lub więcej będzie najprawdopodobniej niemożliwe lub mocno utrudnione. Lokalizacja zakładu powinna zatem obejmować rejony, gdzie ten udział jest możliwie najmniejszy.

Udział piasku w złożu – punkt piaskowy. Złoża piasku i żwiru są eksploatowane przede wszystkim w celu produkcji frakcji o wielkości powyżej 2 mm, czyli żwirów, a więc piasek w wielu przypadkach jest produktem ubocznym. Głównymi i stabilnymi odbiorcami zarówno frakcji żwirowej, jak i piaskowej są przedsiębiorstwa z branży betonów, szczególnie producenci betonu towarowego oraz firmy zajmujące się prefabrykacją lekką i ciężką. Szacuje się, że na rynek trafia 40–45 mln ton żwiru oraz 25–30 mln ton piasku rocznie.

W przypadkach regionów, w których punkt piaskowy w złożach jest niski, a jednocześnie występuje duży popyt na kruszywa do produkcji betonu, może pojawić się istotna bariera w przypadku nowych podmiotów, które planują wejście na rynek. Nowi gracze będą bowiem musieli intensywnie konkurować o dostęp do piasku. Takie regiony zwykle charakteryzują się wyższą ceną piasku, nawet do 300% w porównaniu z obszarami, gdzie dominują złoże z dużym udziałem piasku.

Regiony o dużym udziale piasku w złożach mogą zatem stanowić bardziej korzystną lokalizację dla zakładów, które w swojej działalności potrzebują przede wszystkim piasku. Mapę z obliczonym średnim punktem piaskowym przedstawiono na rysunku 5.



Sand point [%]/
Punkt piaskowy [%]

70 to 100 50 to 70 30 to 50 20 to 30 1 to 20
brak złóż lub zasobów do wydobycia

Fig. 5. Average sand point
Rys. 5. Średni punkt piaskowy

sand point, will not be crucial for site selection. Over 75% of the country's area has an average sand point above 70%. And regions with a sand point of more than 50% already account for 90% of the area.

An example of building a new plant

To illustrate the full functionality of the geospatial analysis presented, the theoretical requirements that sites for a new dry mortar mixture production plant should have were identified:

- number of deposits: minimum 15,
- economic resources in place: minimum 10 million tonnes,
- share of new demand in current production: up to 50%,
- static sufficiency of recoverable reserves: minimum 10 years,
- average sand point: minimum 50%.

Table 3 shows the individual assessment of the influence of each parameter on site selection.

The condition of the number of deposits available within a radius of 20 km has a decisive influence when making a location decision. Only 20% of the country's area met the requirement. The least influential by far is the sand point value, here as much as 90% of the country meets the condition. In the cumulative rating, i.e. the verification of the fulfilment of all assumed requirements, only 18% of the country can be recommended as a potential location for a dry mortar mixture production plant. Regions (mesh) where boundary conditions are met (Table 3) are shown in Figure 6.

The largest number of potential areas for the location of a production facility meeting the conditions set is in the Wielkopolskie province (16.1%), followed by the Łódzkie province (14.7%) and the Mazowieckie province (14.1%). The least in the Lubuskie (0.7%), Opolskie (0.7%) and Świętokrzyskie (1.5%) provinces. Relating the area of the selected areas to the area of the provinces, the Łódzkie province has the best share with 47.6%.

From the developed database, it is possible to generate any summary that can be used for more detailed analyses and com-

Punktem odniesienia powinna być typowa receptura mieszanki betonowej, w której na 1 m³ betonu przypada średnio 1,9 tony kruszywa. W tej ilości 65% stanowi frakcja żwirowa, a pozostałe 35% to piasek. Zatem regiony, w których punkt piaskowy złoży wynosi 35% lub mniej, nie będą rekomendowane do lokalizacji zakładów potrzebujących przede wszystkim piasku, ponieważ pokrycie popytu będzie wiązało się z nadprodukcją żwiru, co z kolei może prowadzić do problemów związanych z jego zbytem. Regiony, gdzie wartość ta jest mniejsza od 35%, stanowią tylko 3% powierzchni kraju. Jakość złoży, wyrażona punktem piaskowym, nie będzie więc kluczowa do wyboru lokalizacji. Na ponad 75% powierzchni kraju średni punkt piaskowy jest większy niż 70%, a regiony o punkcie piaskowym powyżej 50% stanowią 90% powierzchni.

Przykład budowy nowego zakładu

W celu zobrazowania pełnej funkcjonalności przedstawionej geoprzestrzennej analizy, określono teoretyczne wymagania, jakimi powinny charakteryzować się miejsca budowy nowego zakładu produkcji suchych mieszanek:

- liczba złoży – minimum 15;
- zasoby przemysłowe – minimum 10 mln ton;
- udział nowego popytu w aktualnym wydobyciu – do 50%;
- wystarczalność zasobów operatywnych – minimum 10 lat;
- średni punkt piaskowy – minimum 50%.

W tabeli 3 przedstawiono indywidualną ocenę wpływu poszczególnych parametrów na wybór lokalizacji.

Decydujący wpływ przy podejmowaniu decyzji lokalizacyjnej ma warunek liczby złoży dostępnych w promieniu 20 km. Tylko 20% powierzchni kraju spełnia to wymaganie. Najmniej wpływu ma wartość punktu piaskowego i aż 90% kraju spełnia ten warunek. W ocenie skumulowanej, tj. kiedy spełnione są wszystkie założone wymagania, tylko 18% kraju można rekomendować jako miejsce potencjalnej lokalizacji zakładu produkcji suchych mieszanek. Regiony (oczka siatki), w których spełnione są warunki brzegowe (tabela 3), zostały przedstawione na rysunku 6.

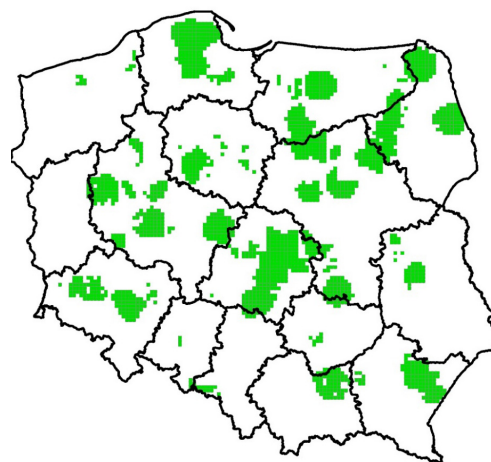


Fig. 6. Recommended sites for the production facility for the assumed requirements

Rys. 6. Rekomendowane miejsca lokalizacji zakładu produkcji dla założonych wymagań

Table 3. Influence of individual country characteristics on site selection

Tabela 3. Wpływ poszczególnych parametrów na wybór lokalizacji

Parameter/Parametr	Condition/Warunki	Percentage of the country's area meeting the condition/ Powierzchnia kraju spełniająca warunek [%]
Number of deposits/ Liczba złoży	Minimum 15	20
Economic resources in place/ Zasoby przemysłowe	Minimum 10 million tonnes	57
Share of new demand in current production/ Udział nowego popytu w aktualnym wydobyciu	Maximum 50%	54
Static sufficiency of recoverable reserves/ Wystarczalność statyczna zasobów operatywnych	Minimum 10 years/ minimum 10 lat	75
Average sand point/ Średni punkt piaskowy	Minimum 50%	90

parisons. An example comparison with the rating of the selected sites is shown in Table 4.

In assessing individual locations, it was assumed that the most favourable value (marked in green) for each assessed parameter is rated 3 points, the next two values (marked in orange) are rated 2 points, while the two most unfavourable values (marked in red) are rated 1 point. The location with the highest sum of partial ratings, assuming equal weights for the assessed parameters, was considered the most favourable, i.e. location “D” with a rating of 15 points. It is the location for which, three parameters out of the seven studied, are the most favourable.

From the perspective of the adopted assumptions, all the indicated locations meet the criteria, and the ranking serves as

Najwięcej potencjalnych obszarów pod lokalizację zakładu produkcji, spełniających postawione warunki, znajduje się w województwie wielkopolskim (16,1%), a następnie w województwie łódzkim (14,7%) i mazowieckim (14,1%), a najmniej w województwach lubuskim (0,7%), opolskim (0,7%) oraz świętokrzyskim (1,5%). Odnosząc powierzchnię wytypowanych obszarów do powierzchni województwa, największym udziałem obszaru pod budowę zakładu produkcji suchych mieszanek charakteryzuje się województwo łódzkie – 47,6%.

Z opracowanej bazy danych możliwe jest generowanie dowolnych zestawień, które można wykorzystywać do bardziej szczegółowych analiz oraz porównań. Przykładowe porównanie wraz z oceną wybranych lokalizacji przedstawiono w tabeli 4.

Table 4. Synthetic comparison of sample plant locations

Tabela 4. Syntetyczne porównanie przykładowych lokalizacji zakładu

Parameter/Parametry	Location/Lokalizacja									
	A	Rating/ Ocena	B	Rating/ Ocena	C	Rating/ Ocena	D	Rating/ Ocena	E	Rating/ Ocena
Number of deposits/Liczba złóż	13	1	30	2	20	1	45	3	25	2
Economic resources in place, million tonnes/ Zasoby przemysłowe [mln ton]	18	1	36	2	20	1	46	3	27	2
Share of new demand [%] Udział nowego popytu [%]	14	1	11	2	16	1	6	3	10	2
Static sufficiency, years/ Wystarczalność statyczna, lata	9	1	15	1	12	2	10	2	8	1
Average sand point [%] Średni punkt piaskowy [%]	81	2	89	1	85	2	59	1	56	1
Sum of partial ratings/ Suma ocen cząstkowych	---	6	---	8	---	7	---	12	---	8
Ranking	4		2		3		1		2	

a preliminary comparison. The final stage of selecting a location should involve an additional analysis of the cost-generating parameters for the recipient (sand purchase and transport costs). Significant differences in these parameters can be observed in the sample locations – see Table 5.

Taking into account the purchase price of sand and the cost of transport moves location “A” in particular, but also “B” and “C” in the ranking. The final cost of purchasing and transporting sand at location “A”, is PLN 22 net per tonne (for a transport rate of PLN 0.35 per tonne per 1 km), while at location “D”, it is PLN 37 net per tonne. With an annual demand of 200,000 tonnes, the difference is 3,1 million net PLN in favour of location “A”.

Conclusion

There are more than 3,600 sand mining sites in the domestic market, mainly from sand and gravel deposits (photography).

After excluding the deposits covered by the concession granted by the district governor, less than 1,900 deposits re-

Dokonując oceny poszczególnych lokalizacji, przyjęto, że najkorzystniejsza wartość (oznaczona w tabeli kolorem zielonym), w przypadku każdego ocenianego parametru, uzyskuje 3 punkty, dwie kolejne wartości (oznaczone kolorem pomarańczowym) – 2 punkty, natomiast dwie najniekorzystniejsze (oznaczone kolorem czerwonym) – 1 punkt. Lokalizacja o największej sumie ocen cząstkowych, przy założeniu równych wag ocenianych parametrów, uznana została za najkorzystniejszą. Jest to lokalizacja „D” z wynikiem 12 punktów, w przypadku której trzy parametry, z badanych pięciu, są najkorzystniejsze. Z punktu widzenia przyjętych założeń, wszystkie wskazane lokalizacje je spełniają, a ranking stanowi wstępne porównanie.

Ostatecznym etapem wyboru lokalizacji powinna być dodatkowa analiza parametrów generujących koszty odbiorcy (zakup piasku oraz koszt transportu). W przykładowych lokalizacjach zauważalne są znaczne różnice tych parametrów (tabela 5). Uwzględnienie ceny zakupu piasku oraz kosztu transportu, w przypadku przyjętej stałej stawki transportowej, przesunęła w rankingu lokalizację „A”, ale również „B” i „C”. Finalny koszt zakupu oraz transportu piasku w lokalizacji „A”, wynosi

mained in the database used for the survey. Despite the significant reduction in numbers, it would be impossible or very labour- and time-intensive to perform the spatial analysis in a “drafting” (manual) manner, given the size of the data and the complexity of the analyses. The use of GIS (Geographical Information System) software in this case becomes crucial as it significantly simplifies the process of analysing large data sets.

The use of GIS tools in the site selection process for a plant whose production relies on sand provides the opportunity for accurate spatial analysis in the context of a number of parameters. These parameters included: number of deposits, available resources, impact of new demand on current supply, static sufficiency of resources, as well as average sand point. Thanks to the advanced analytical functions, the process of

selecting a plant location can become more precise, based on objective data and taking full account of the assumed boundary values of the parameters characterising the sand market.

Although sand is recognised as a common and widely occurring mineral, the analysis carried out for the adopted boundary conditions (minimum criteria) shows that only 18% of the country’s area is predisposed to the location of the plant. The assumed minimum number of deposits (15), within an assumed range of 20 km, was the criterion that most influenced this selection. Only 20% of the area met this criterion.

Once all potential sites were selected that meet the established criteria additional, the second stage involved characteristics such as the average purchase price of sand and the transport distance (cost of transport) were assigned to them, allowing these locations to be compared in terms of actual costs of sand acquisition. As shown in the example, these parameters can significantly affect the final cost of obtaining an intermediate in the production process. The 3,1 million net PLN cost difference that can be achieved between a lower-priced sand supply location and a higher-priced location should undoubtedly be taken into account when mak-

Table 5. Average transport distance and sand purchase in selected locations
Tabela 5. Średnia odległość transportu oraz zakupu piasku w wybranych lokalizacjach

Parameter/Parametr	Location/Lokalizacja				
	A	B	C	D	E
Average transport distance [km]/ Średnia odległość transportu [km]	25	23	20	15	12
Average net price [PLN]/ Średnia cena [zł netto]	13	18	22	32	36
Net purchase and transport cost of 1 ton [PLN*]/ Koszt zakupu i transportu 1 tony [zł netto*]	21.75	26.05	29	37.25	40.2
Ranking	1	2	3	4	5

*) at a transport rate of 0.35 PLN/tkm/
w przypadku stawki transportowej 0,35 zł/tkm



Typical sand processing plant
Typowa wytwórnia piasku

Source: SKSM S.A.
Źródło: SKSM S.A.

21,75 zł netto za tonę, natomiast w lokalizacji „D” jest to 37,25 zł netto za tonę. Przy rocznym zapotrzebowaniu w ilości 200 000 ton, różnica wynosi 3,1 mln zł netto na korzyść lokalizacji „A”.

Podsumowanie

Na krajowym rynku funkcjonuje ponad 3 600 miejsc wydobycia piasku (fotografia), głównie ze złóż piaskowo-żwirowych. Po wykluczeniu złóż objętych koncesją udzieloną przez starostę, w bazie danych wykorzystanej do przeprowadzenia badań, pozostało niespełna 1 900 złóż. Pomimo znacznego ograniczenia liczby, wykonanie analizy przestrzennej w sposób „kreślarski” (manualny) byłoby niemożliwe lub bardzo pracochłonne i czasochłonne, biorąc pod uwagę wielkość danych oraz złożoność analiz. W tym przypadku wykorzystanie oprogramowania GIS (Systemu Informacji Geograficznej) staje

się kluczowe, ponieważ w znaczny sposób upraszcza proces analizy dużych zbiorów danych.

Zastosowanie narzędzi GIS w procesie wyboru lokalizacji zakładu, którego produkcja bazuje na piasku, umożliwia wykonanie dokładnej analizy przestrzennej w kontekście wielu parametrów. Do tych parametrów zaliczono: liczbę złóż; dostępne zasoby; wpływ nowego popytu na obecną podaż; wystarczalność statyczną zasobów, jak również średni punkt piaskowy. Dzięki zaawansowanym funkcjom analitycznym, proces wyboru lokalizacji zakładu może stać się bardziej precyzyjny, bazujący na obiektywnych danych oraz uwzględniający założone brzegowe wartości parametrów charakteryzujących rynek piasku.

Pomimo że piasek uznaje się za kopalinę pospolitą i powszechnie występującą, z przeprowadzonej analizy wynika, że jedynie 18% powierzchni kraju nadaje się do lokalizacji zakładu. Założona minimalna liczba złóż (15), w przyjętym zasięgu 20 km, była kryterium, które miało największy wpływ na tę selekcję. Tylko 20% powierzchni kraju spełnia to kryterium.

Po wytypowaniu wszystkich potencjalnych miejsc lokalizacji, które spełniają przyjęte założenia, w drugim etapie przypisano im dodatkowe cechy, takie jak średnia cena zakupu piasku oraz odległość transportu (koszt transportu). Pozwala to porównać wy-

ing a final location recommendation. The cost comparison should be preceded by a study of the transportation market in the selected locations in order to identify regional differences in transportation service prices.

However, it should be emphasised that, in addition to the sand market assessment, many other factors influence the final location decision. These factors include, among others, the availability of transport infrastructure, end-product demand, competition analysis, as well as land-use, regulatory and environmental aspects. The final decision should be the result of a complex analysis that takes all these elements into account, while ensuring the long-term viability and operational efficiency of the plant.

Figures: authors

Financing. The article presents the results of research no. 16.16.100.215 conducted at the AGH University of Science and Technology in Krakow.

brane lokalizacje pod kątem rzeczywistych kosztów pozyskania piasku. Jak pokazano na przykładzie, parametry te mogą w sposób istotny wpływać na finalne koszty pozyskania półproduktu w procesie produkcji. Różnica w kosztach na poziomie 3,1 mln zł netto, jaką można uzyskać między lokalizacją o niższej cenie piasku a lokalizacją o wyższej cenie, powinna zostać uwzględniona przy dokonywaniu ostatecznej rekomendacji lokalizacyjnej. Porównanie kosztów należy poprzedzić badaniem rynku transportowego w wybranych lokalizacjach w celu zidentyfikowania różnicowania regionalnego cen usług transportowych.

Należy podkreślić, że poza oceną rynku piasku, na finalną decyzję lokalizacyjną wpływa wiele innych czynników, takich jak: dostępność infrastruktury transportowej, popyt na produkty końcowe, analiza konkurencji, a także aspekty związane z zagospodarowaniem przestrzennym, regulacjami prawnymi oraz ochroną środowiska. Ostateczna decyzja powinna być wynikiem złożonej analizy, która uwzględni wszystkie te elementy, zapewniając jednocześnie długoterminową opłacalność i efektywność operacyjną zakładu.

Rysunki: autorzy

Finansowanie. W artykule przedstawiono wyniki badań nr 16.16.100.215 przeprowadzonych w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Received: 14.02.2025
Revised: 17.03.2025
Published: 21.08.2025

Artykuł wpłynął do redakcji: 14.02.2025 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 17.03.2025 r.
Opublikowano: 08.2025 r.

Literature

- [1] Turczak A, Zwiech P. Optymalizacja lokalizacji dla nowo powstałego obiektu, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania. Metody ilościowe w ekonomii no. 36, Vol. 1; 2014. pp. 447–461.
- [2] Wachowiak K. Procesy decyzyjne w inwestycjach budowlanych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej; 2017.
- [3] Kremer H, Schütz C, Wiemer H. Strategische Unternehmensplanung und Investitionsentscheidungen. Gabler Verlag; 2020.
- [4] Pichór J (Ed.). Analizy przedinwestycyjne i oceny efektywności projektów inwestycyjnych. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie; 2019.
- [5] Sierpińska M, Jachna T. Ocena efektywności inwestycji w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN; 2017.
- [6] Stadnicki J, Terebukh A. Rationale of the optimal location of production: a system approach. Management and Production Engineering Review, no. 3, Vol. 13; 2022. pp. 110–117; <https://doi.org/10.24425/mper.2022.142388>
- [7] Glatte T. Location Strategies: Methods and their methodological limitations. Journal for Engineering, Design and Technology, Vol. 13, Issue 3; 2015. pp. 435–462; <https://doi.org/10.1108/jedt-01-2013-0004>.
- [8] Michałek K. Analiza ryzyka w projektach inwestycyjnych. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej; 2019.
- [9] Czajkowski M, Kaczmarek T. Analiza przestrzenna z wykorzystaniem GIS w planowaniu inwestycji. Wydawnictwo Akademickie; 2020.
- [10] Bojar J, Stachowiak M. Systemy informacyjne w procesach zarządzania inwestycjami. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej; 2019.
- [11] Pavani P, Komatireddy S, Yarasuri V, Police V, Tanneru S, Al-Jawahry H. Geographic information systems applications in business decision-making. E3S Web of Conferences 529, 04006; 2024; <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452904006>
- [12] Weber P, Chapman D. Location intelligence: an innovative approach to business location decision-making. Transactions in GIS 15 (3); 2011. pp. 309–328; <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2011.01253.x>
- [13] Rybak A, Włodarczyk E. Narzędzia GIS wspomagające analizy przestrzenne sieci dystrybucji przedsiębiorstwa górniczego. Zeszyty naukowe IGSMiE PAN, nr 103; 2018. pp. 65–74; <https://doi.org/10.24425/123703>
- [14] Szuflicki M (Ed.), Malon A (Ed.), Tymiński M (Ed.). Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2023 r. PIG-PIB, ISSN 2299–4459; 2024.
- [15] Piotrowska A, Złóża naturalnych piasków i żwirów zasoby, wydobywanie, obrót międzynarodowy. Surowce i Maszyny Budowlane 4; 2009. pp. 8–12.
- [16] Ney R (Ed.). Surowce skalne: kruszywa mineralne. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN; 2007.
- [17] MIDAS, <https://midas-app.pgi.gov.pl/ords/r/public/midas/zl-wyszukiwanie?clear=100,101>, dostęp: 10.01.2025
- [18] Baic I, Kozioł W, Miros A. 30 years of extraction of construction aggregates in Poland – analysis of changes and forecasts. Materiały Budowlane, no. 7; 2024. pp. 30–37; <https://doi.org/10.15199/33.2024.07.05>
- [19] Infogeoskarp, <https://igs-app.pgi.gov.pl/ords/r/public/igs/home>, dostęp: 10.01.2025
- [20] Strykowski M, Łochańska D. Optymalizacja bilansowania podaży z popytem na kruszywa naturalne. Przegląd Górniczy, no. 10, vol. 70; 2014. pp. 36–40.