

Ograniczanie emisji CO₂ w produkcji cementu dzięki alternatywnym źródłom paliw

Reducing CO₂ emissions in cement manufacturing through alternative fuel sources

Selin Yaşar¹, Başak Kılıç Taşeli^{2,*}

¹Department of Environmental Engineering, Giresun University, Giresun, Turkey, ORCID ID: 0000-0001-7619-6781

²Department of Environmental Engineering, Giresun University, Giresun, Turkey, ORCID ID: 0000-0003-4421-8290

*Corresponding author: B.K. Taşeli, e-mail: basak.taseli@giresun.edu.tr

Streszczenie

Badanie to ocenia dane dotyczące produkcji i zużycia cementowni, która obecnie produkuje cement i klinkier, oraz prowadzi obliczenia emisji CO₂. Łączne emisje z paliw i odpadów w latach 2017-2021 oblicza się odpowiednio na 0,3786 Mt CO₂e/rok, 0,4359 Mt CO₂e/rok, 0,3168 Mt CO₂e/rok, 0,3924 Mt CO₂e/rok i 0,3340 Mt CO₂e/rok. Biorąc pod uwagę, że wielkość emisji wynikająca ze zużycia paliwa wyniosła 392 366 ton CO₂e/rok w 2020 r., a emisja wynikająca ze zużycia energii elektrycznej wyniosła 70 307 ton CO₂e rocznie w tym samym roku, znaczenie emisji wynikających ze zużycia energii elektrycznej staje się oczywiste. Emisje cementowni wynikające ze zużycia energii elektrycznej spadły z 79 220 ton CO₂e rocznie w 2017 r. do 61 695 ton CO₂e rocznie w 2019 r. dzięki zwiększonemu wykorzystaniu paliw alternatywnych i mniejszej ilości węgla brunatnego. Ponieważ oczekuje się, że rosnący popyt klientów na cement doprowadzi do wzrostu zużycia koksu naftowego na przestrzeni lat, ustalono, że zużycie koksu naftowego spadło o 25% w porównaniu z rokiem poprzednim, a fabryka zaczęła używać zużytych opon jako paliwa alternatywnego w 2019 r. Preferencja ta spowodowała, że całkowita wartość emisji w 2019 r. zmniejszyła się o około 27% w porównaniu z wartością emisji w roku poprzednim. Podobnie, przy zużyciu 26 355 ton paliwa pochodzącego z recyklingu w 2021 r., ilość koksu naftowego zużytego w tym samym roku zmniejszyła się o 26% w porównaniu z rokiem poprzednim i zmniejszyła się do 78 225 ton. Zbadano również kwestię, jakie byłyby wielkości emisji, gdyby do uzyskania sprawności spalania uzyskanej przy użyciu paliwa zużywanego z pieca OPB użyto określonej ilości węgla brunatnego. Obliczono, że wybór koksu naftowego zamiast RDF w 2017 r. spowoduje wzrost emisji o ok. 38 proc., a wybór węgla brunatnego o ok. 43 proc.

Summary

This study evaluates the production and consumption data of a cement plant that currently produces cement and clinker and calculates CO₂ emissions. The total emissions from fuel and waste between 2017 and 2021 are calculated as 0.3786 Mt CO₂e/year, 0.4359 Mt CO₂e/year, 0.3168 Mt CO₂e/year, 0.3924 Mt CO₂e/year, and 0.3340 Mt CO₂e/year, respectively. Considering that the emission amount due to fuel consumption is 392 366 tons CO₂e/year in 2020 and the emission due to electricity use is 70 307 tons CO₂e/year for the same year, the significance of emissions from electricity use becomes evident. The factory's emissions from electricity usage decreased from 79 220 tons CO₂e/year in 2017 to 61 695 tons CO₂e/year in 2019 due to the increased use of alternative fuels and less lignite. Since the increasing customer demand of the factory is expected to lead an increase in petroleum coke consumption over the years, it has been determined that there has been a 25 % decrease in petroleum coke consumption compared to the previous year, with the factory starting to use End-of-Life Tires as an alternative fuel in 2019. This preference caused the total emission value for 2019 to decrease by approximately 27 % compared to the emission value of the previous year. Likewise, with the usage of 26 355 tons of Refused-Derived Fuel in 2021, the amount of petroleum coke used in the same year decreased by 26 % compared to the previous year, and decreased to 78 225 tons. The question of what the emission amounts would be if a certain amount of lignite was used to obtain the combustion efficiency obtained with the fuel consumed from RDF was also examined. It has been calculated that choosing petroleum coke instead of RDF in 2017 will cause an increase in emissions by approximately 38 %, and choosing lignite by approximately 43 %.

Słowa kluczowe: ślad węglowy, przemysł cementowy, emisja CO₂, emisje z produkcji cementu, efekt cieplarniany, gazy cieplarniane

Keywords: carbon footprint, cement industry, CO₂ emission, cement production emissions, greenhouse effect, greenhouse gases

1. Wprowadzenie

Chociaż problemy środowiskowe były obecne w całej historii ludzkości, dopiero w połowie XIX wieku zaczęto je dostrzegać jako problem. Składowe zanieczyszczenia środowiska, które osiągnęło widoczne natężenie wraz z rewolucją przemysłową, z dnia na dzień zwiększają negatywne sprzężenie zwrotne na środowisko ze względu na szybki wzrost liczby ludności na świecie, migrację do miast, a w rezultacie wzrost produkcji i konsumpcji. Spowodowało to wzrost problemów środowiskowych, takich jak zmiany klimatyczne i pustoszczenie, które stanowią zagrożenia dla środowiska, a także niszczenie zasobów naturalnych. Najważniejszym z tych problemów jest zmiana klimatu, a działania samych ludzi przyczyniają się ich powstawaniu.

Jeśli chodzi o wpływ instytucji na wzrost śladu węglowego, jako przyczyny wzrostu śladu węglowego wskazywane są takie czynniki jak stosowane paliwa i ich rodzaje, użytkowanie gruntów, działalność rolnicza i hodowlana, transport, potrzeby energetyczne oraz gospodarka odpadami. Wraz z Europejskim Zielonym Ładem wprowadzono regulacje podatkowe, a regulacje dotyczące emisji dwutlenku węgla na granicy zostały ogłoszone jako rozporządzenie unijne. Rozporządzenie to jest odpowiedzialne za opracowanie strategii ograniczania emisji dwutlenku węgla w imporcie i eksporcie dla pięciu energochłonnych sektorów: żelaza i stali, aluminium, cementu, nawozów i elektryczności.

Cement jest spoiwem hydraulicznym otrzymywanym przez wypalenie mieszaniny naturalnego wapienia i gliny w wysokich temperaturach, a następnie jej zmielenie. Jak można wywnioskować z definicji, produkcja cementu jest procesem, który wymaga bardzo dużych nakładów w zakresie surowców, dodatków i energii, a w tych energochłonnych procesach wykorzystuje się dużą ilość paliw kopalnych. Według wielu badaczy sektor cementowy, który jest jedną z najważniejszych przyczyn globalnych zmian klimatycznych i emituje dużo gazów cieplarnianych powodujących zmiany klimatyczne w procesie produkcyjnym, jest przedstawiany jako trzecia branża pod względem udziału gazów cieplarnianych wśród wszystkich gałęzi przemysłu (1).

Podczas produkcji cementu powstaje wiele zanieczyszczeń, które mają poważny wpływ na środowisko. Najważniejsze i najbardziej godne uwagi z nich to zanieczyszczenia atmosferyczne powstające w piecach cementowych. Zgodnie z wynikami przedstawionymi w poprzednich badaniach, po zbadaniu źródeł emisji pochodzących z procesu produkcji cementu przyjmuje się, że mają one udział w około 5-8% całkowitego CO₂ (2). Przemysł cementowy zajmuje trzecie miejsce wśród branż energochłonnych. W dzisiejszych warunkach wzrost aktywności takiej jak urbanizacja, projekty infrastrukturalne i uprzemysłowienie znacznie zwiększa emisję dwutlenku węgla. Ponieważ wydłużenie czasu życia i większa intensywność działalności człowieka powodują wzrost sektora

1. Introduction

Although environmental problems have been present throughout the history of humanity, it was only in the middle of the 19th century that they began to be recognized as a problem. Components of environmental pollution, which reached a visible density with the industrial revolution, have been increasing the negative feedback on the environment day by day due to the rapid increase in the world's population, migration to cities, and the increase in production and consumption as a result. This has caused an increase in environmental problems such as climate change and desertification, which threatens the environment as well as the destruction of natural resources. The most important of these problems is climate change, and the activities of people themselves contributes in its formation.

In terms of the effects of institutions on the increase in carbon footprint, parameters such as fuels and types used in facilities, land uses, agricultural and livestock activities, transportation, energy needs, and waste management are shown as reasons for an increase in carbon footprint. Along with the European Green Deal, tax regulations have been introduced, and carbon regulation at the border has been announced as an EU regulation. This regulation is responsible for developing strategies to reduce carbon emissions in imports and exports for five energy-intensive sectors: iron and steel, aluminum, cement, fertilizer, and electric.

Cement is a hydraulic binder material obtained by heating a mixture of natural limestone and clay at high temperatures and then grinding it. As can be understood from the definition, cement production is a process that requires very high inputs in terms of raw materials, additives, and energy, and a high amount of fossil fuel is used in these energy-intensive processes. According to many researchers, the cement sector, which is among the most important causes of global climate change and contains a lot of greenhouse gases that cause climate change in the production process, is shown as the third most risky industry in terms of greenhouse gas contribution among all industries (1).

During cement production, many pollutants are formed in different fractions and have serious effects on the environment. The most important and notable of these are atmospheric pollutants formed in cement kilns. According to the results reported in previous studies, when the emission sources resulting from the cement production process are examined, it is understood that they have a share of approximately 5-8 % of total CO₂ (2). The cement industry ranks third among the energy-intensive industries. In today's conditions, the increase in activities such as urbanization, infrastructure projects, and industrialization significantly increases carbon emissions. Since the development of the age and the increase in human activities cause an increase in the cement sector, it will not be possible to give up this product, which is a raw material.

cementowego, nie będzie można zrezygnować z tego produktu. W związku z tym emisja dwutlenku węgla wynikająca z działalności produkcyjnej powinna zostać znacznie zmniejszona poprzez modernizację zakładu, odnawianie wyposażenia maszyn, regularną konserwację oraz stosowanie paliw alternatywnych zamiast paliw kopalnych.

W badaniu przeprowadzonym w 2019 r. oceniono zmianę ilości CO₂ powstającego przy alternatywnych scenariuszach w prywatnej cementowni w celu oceny emisji dwutlenku węgla podczas produkcji cementu. W obliczeniach śladu węglowego wykorzystano metodologię IPCC Scope 1. Potwierdzono, że produkcja klinkieru stanowi około 65 % całkowitej wielkości emisji w produkcji cementu, jak podaje literatura. W związku z tym w 2017 r. i 2018 r. odnotowano emisje CO₂ na tonę produkcji klinkieru odpowiednio 860 kg i 838 kg (3).

W badaniu przeprowadzonym przez Gülera (4) przeanalizowano dwa różne scenariusze. Scenariusz 1 zakładał, że badania modernizacyjne nie zostały przeprowadzone w zakładzie produkcji cementu w Turcji, a produkcja była prowadzona przy zachowaniu istniejących warunków. Scenariusz 2 zakładał, że wszystkie niezbędne prace modernizacyjne zostały wykonane, zastosowano najlepsze dostępne techniki w produkcji cementu i wapna oraz zachowano normalny przebieg wzrostu produkcji klinkieru. Dla scenariusza 2 całkowita emisja CO₂ w 2020 r. wyniosła 43,2 mln ton CO₂e/rok z klinkieru, 24,8 mln ton CO₂e/rok ze zużycia paliw i 7,5 mln ton CO₂e/rok z produkcji energii elektrycznej. W przypadku scenariusza 1 całkowita wielkość emisji w 2020 r. wyniosła 54,5 mln ton CO₂e/rok, przy czym emisje wyniosły 43,2 mln ton CO₂e/rok z klinkieru, 6,8 mln ton CO₂e/rok ze zużycia paliwa i 4,5 mln ton CO₂e/rok ze zużycia energii elektrycznej. Badanie to wykazało, że emisje można zmniejszyć o 38,5% dzięki zastosowaniu najlepszych dostępnych technik.

W badaniu przeprowadzonym w Malezji przedstawiono różne techniki ograniczania emisji CO₂ z przemysłu cementowego. Emisje CO₂ oceniano poprzez zmniejszenie stosunku klinkieru do cementu poprzez zmiany dodatków stosowanych w produkcji klinkieru oraz poprzez stosowanie paliw alternatywnych zamiast paliw kopalnych. Oprócz tych technik różne środki oszczędzania energii, takie jak wysokowydajne silniki, napędy o regulowanej prędkości, wysokowydajne klasyfikatory, wydajne technologie mielenia oraz przejście z procesu mokrego na suchy w przemyśle cementowym, miały na celu zmniejszenie pośrednich emisji do atmosfery (5). W przemyśle cementowym emisje pochodzą również z procesu kalcynacji. Dlatego należy zwrócić szczególną uwagę na produkcję klinkieru w celu ograniczenia emisji CO₂. W jednym z badań stwierdzono, że mieszanie cementu z dodatkami zastępującymi klinkier najbardziej przyczynia się do zmniejszenia emisji CO₂. W cemencie z dodatkami część klinkieru została zastąpiona dodatkami, takimi jak popiół lotny, a stosunek klinkieru do cementu został zmniejszony. Zaobserwowano, że dodanie około 10% popiołu lotnego do cementu znacznie zmniejsza roczną emisję CO₂. Zgodnie z wynikami badania stwierdzono, że znaczną ilość emisji można ograniczyć poprzez zastosowanie różnych technik i metod oszczędzania (5).

Therefore, carbon emissions resulting from production activities will be significantly reduced by improving the facility, renewing machine equipment, regular maintenance, and using alternative fuels instead of fossil fuels.

In a study carried out in 2019, the change in the amount of CO₂ formed with alternative scenarios in a private cement plant was evaluated in order to evaluate the carbon emissions during cement production. The IPCC methodology Scope 1 method was used in the calculation of carbon footprint. It was confirmed that clinker production constitutes approximately 65 % of the total emission amount in cement production, as reported in the literature. Accordingly, 860 kg and 838 kg CO₂ emissions were reported per ton of clinker production in 2017 and 2018, respectively (3).

In the study conducted by Güler (4), two different scenarios were examined. Scenario 1 assumed that modernization studies were not carried out in a cement production facility in Turkey, and production was carried out by preserving the existing conditions. Scenario 2 assumed that all necessary modernization works were carried out, the best available techniques were applied in cement and lime production, and the normal growth course of clinker production was followed. For Scenario 2, total CO₂ emissions in 2020 were 43.2 million tons of CO₂e/year from clinker, 24.8 million tons of CO₂e/year from fuel consumption, and 7.5 million tons of CO₂e/year from electricity generation. For Scenario 1, the total emission amount in 2020 was 54.5 million tons of CO₂e/year, with emissions of 43.2 million tons of CO₂e/year from clinker, 6.8 million tons of CO₂e/year from fuel consumption, and 4.5 million tons of CO₂e/year from electricity consumption. This study showed that emissions could be reduced by 38.5 % by implementing the best available techniques.

A study in Malaysia presented different techniques to reduce CO₂ emissions from the cement manufacturing industries. CO₂ emissions were evaluated by reducing the clinker/cement ratio through changes in additives used in clinker production and by using alternative fuels instead of fossil fuels. In addition to these techniques, various energy-saving measures such as high-efficiency motors, adjustable speed drives, high-efficiency classifiers, efficient grinding technologies, and transitioning from the wet to the dry process in cement industries were aimed at reducing indirect emissions to the atmosphere (5). In the cement industry, emissions also originate from the calcination process. Therefore, special attention should be paid to clinker production in order to reduce CO₂ emissions. In a study, it was found that mixing cement with additives to replace clinker makes the most remarkable contribution to reducing CO₂ emissions. In cement with additives, some of the clinker has been replaced by additives such as fly ash, and the clinker/cement ratio has been reduced. It has been observed that adding approximately 10% fly ash to cement significantly reduces annual CO₂ emissions. According to the results of the investigation, it was found that a considerable amount of emissions can be reduced by using different techniques and savings methods (5).

In a study conducted in 2019, carbon dioxide emissions from China were seen as a global concern, and it was argued that

W badaniu przeprowadzonym w 2019 r. emisje dwutlenku węgla z Chin były postrzegane jako problem globalny i argumentowano, że Chiny są największym producentem cementu i zarazem emitentem CO₂ na świecie (7). Z tego powodu modelowanie przeprowadzono w oparciu o rzeczywisty i przewidywany współczynnik emisji CO₂ z perspektywy rozwoju technologicznego na okres 1949-2050. Analizie poddano procesy produkcji cementu, a emisję CO₂ obliczono za pomocą modelu powstałego poprzez podzielenie badania na trzy okresy [1949–1979, 1980–2015 i 2016–2050]. Model oszacował wielkość emisji CO₂ związanych z cementem w Chinach, w tym kompleksowe wskaźniki emisji CO₂ cementu, rodzaj i zawartość procesu, spalanie, energię elektryczną i emisje związane z transportem. W badaniu podkreślono, że wykorzystanie alternatywnych surowców i paliw alternatywnych, a także innowacje technologiczne i ulepszenia w zakresie redukcji emisji CO₂ w Chinach będą miały ogromny wpływ na ten proces. Dzięki temu modelowi stwierdzono, że całkowita emisja CO₂ z cementu w Chinach wynosiła około 1694 kg CO₂ na tonę cementu w 1949 r. i spadła do 737 kg CO₂ w 2015 r. Emisje CO₂ w chińskim przemyśle cementowym wzrosły z około 1,1 mln ton w 1949 r. do 1730,5 mln ton w 2015 r., podczas których produkcja cementu w Chinach wzrosła 3558 razy (2).

Inne badanie przeprowadzone w Chinach wykazało, że kraj ten przyczynia się do około 8 % globalnych i spowodowanych przez człowieka emisji CO₂. W 2011 roku Chiny wyprodukowały 2,085 Gt cementu (7). W przeglądzie wykorzystano metodę oceny cyklu życia w celu kompleksowego oszacowania emisji CO₂ z chińskiego przemysłu cementowego. W 2011 r. wskaźnik bezpośredniej emisji CO₂ w Chinach i wskaźnik emisji CO₂ w produkcji zostały wyrażone odpowiednio jako 0,477 t/t i 0,545 t/t. Zgodnie z wynikami całego cyklu życia, emisja dwutlenku węgla przez przemysł cementowy wyniosła 0,855 Gt.

W naszym badaniu obliczyliśmy emisję CO₂ na podstawie danych dotyczących produkcji i zużycia surowców prywatnej cementowni zarejestrowanej w Tureckim Stowarzyszeniu Producentów Cementu, która obecnie produkuje cement i klinkier. Obliczenia emisji zostały przeprowadzone w latach 2017-2021 zgodnie z normami i wytycznymi zawartymi w wytycznych Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu [IPCC]. Niniejszy artykuł ma na celu:

1. obliczanie emisji paliwowych i emisji związanych z procesem [Zakres 1],
2. oszacować emisję dwutlenku węgla w związku ze zużyciem energii elektrycznej [Zakres 2],
3. odpowiedzieć na pytanie, jakie byłyby wielkości emisji, gdyby do uzyskania odpowiedniej sprawności spalania paliwa z odpadów [RDF] użyto określonej ilości węgla brunatnego.

2. Materiały i metody

Proces produkcji cementu można rozpatrywać w trzech głównych etapach: przygotowanie mączki surowej, kalcynacja klinkieru i mienienie cementu. Po zmieleniu wapienia, gliny i rudy żelaza i przekształceniu w surową mączkę, są one wprowadzane do pieców i

China is the largest cement producer and emitter of CO₂ in the world (7). For this reason, modeling was carried out based on the actual and predicted CO₂ emission factor from the perspective of technological development for the period 1949-2050. Cement production processes were analyzed, and CO₂ emissions were calculated with a model created by dividing the study into three time periods [1949–1979, 1980–2015, and 2016–2050]. The model estimated the amount of China's cement-related CO₂ emissions, including comprehensive cement CO₂ emission factors, process type and content, combustion, electricity, and transportation-related emissions. The study emphasized that the use of alternative raw materials and alternative fuels, as well as technological innovation and improvements for China's CO₂ emission reduction, will have a great impact in this process. With this model, it was found that China's overall cement CO₂ emissions were approximately 1694 kg of CO₂ per tonne of cement in 1949 and decreased to 737 kg of CO₂ in 2015. China's cement industry CO₂ emissions have increased from approximately 1.1 Mt in 1949 to 1730.5 Mt in 2015, during which China's cement production increased by 3558 times (2).

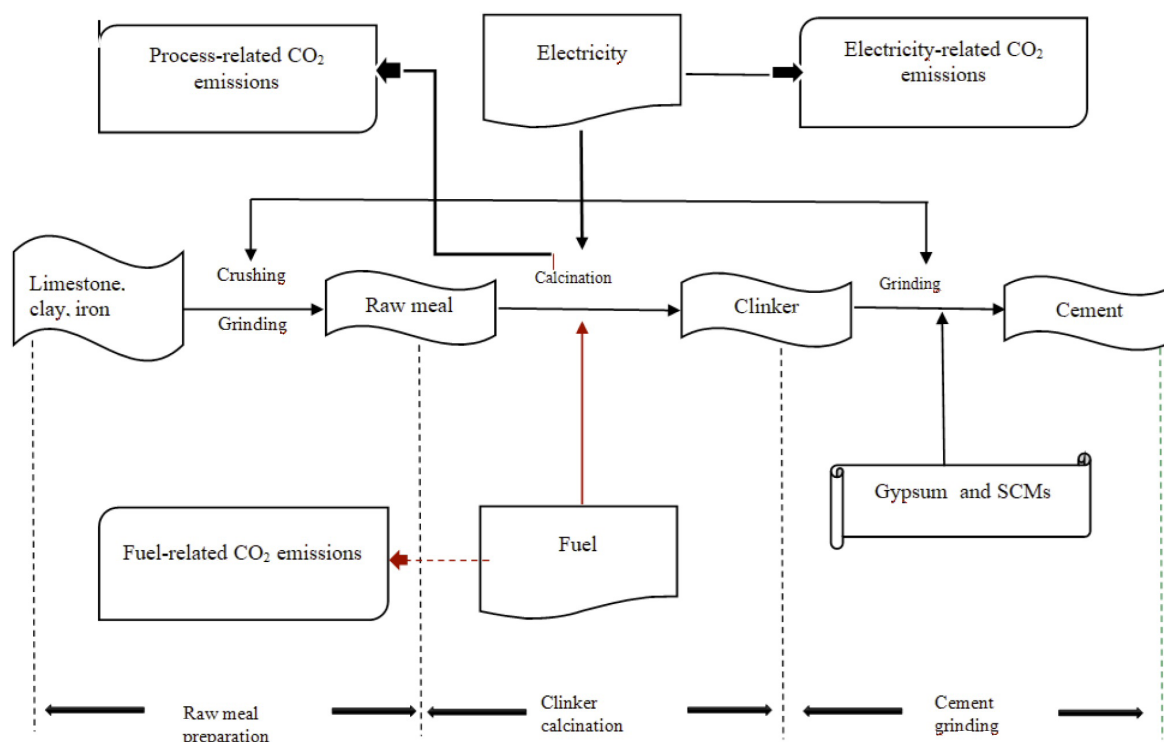
Another study conducted in China stated that the country contributes approximately 8 % to global and human-induced CO₂ emissions. In 2011, China produced 2.085 Gt of cement (7). The Life Cycle Assessment method was used in the review to comprehensively estimate CO₂ emissions from China's cement industry. In 2011, China's direct CO₂ emission factor and produced CO₂ emission factor were expressed as 0.477 t/t and 0.545 t/t, respectively. According to the whole life cycle results, the carbon emission of the cement industry was 0.855 Gt.

In our study, we calculated CO₂ emissions using the production and consumption data of a private cement factory registered with the Turkish Cement Manufacturers' Association, which currently produces cement and clinker. Emission calculations were carried out between 2017 and 2021 in accordance with the standards and guidelines in the Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] guidelines. This paper aims to:

1. calculate fuel-related emissions and process-related emissions [Scope 1],
2. estimate the carbon dioxide emissions due to electricity usage [Scope 2],
3. answer the question of what the emission amounts would be if a certain amount of lignite were used to obtain the combustion efficiency obtained with the fuel consumed from the Refused-Derived Fuel [RDF].

2. Materials and methods

It is possible to examine the cement production process in three main stages: raw meal preparation, clinker calcination, and cement grinding. After the limestone, clay, and iron ore are ground and turned into raw meal, they are fed into the kilns and become clinker. The intermediate product of cement is clinker. The cooled clinker is ground together with cementitious materials [SCM] to become cement [Fig. 1]. Emissions can be divided into three categories.



Rys. 1. Schemat blokowy produkcji cementu.

Fig. 1. Flowchart of cement production.

stają się klinkierem. Produktem pośrednim w wytwarzaniu cementu jest klinkier. Schłodzony klinkier jest mielony razem z materiałami cementowymi [SCM] w celu uzyskania cementu [rys. 1]. Emisje można podzielić na trzy kategorie.

1. Emisje CO₂ związane z procesem, które są spowodowane rozkładem surowców, takich jak wapień, zawierający węglany wapnia i magnezu.
2. Emisje CO₂ związane z paliwami, które są spowodowane spalaniem paliw, takich jak konwencjonalne paliwa kopalne [węgiel, koks naftowy, węgiel brunatny, gaz ziemny itp.] oraz paliwa alternatywne [RDF, zużyte opony [ang. End of Life Tyres – ELT], osady ściekowe itp.].
3. Emisje CO₂ związane z energią elektryczną, które wynikają ze zużycia energii elektrycznej w cementowniach, młynach, wentylatorach i innych urządzeniach elektrycznych zasilanych energią elektryczną.

2.1. Szacowanie emisji CO₂ związanych z paliwem

Do oszacowania emisji ze spalania paliw wykorzystano drzewo decyzyjne [rys. 2]. Pierwszym krokiem jest sprawdzenie, czy dostępne są pomiary emisji z zadowalającą kontrolą jakości oraz czy oceniana kategoria jest kluczowa. Następnie należy ustalić, czy istnieją właściwe dla danego kraju współczynniki emisji [EF] i czy zużycie paliwa oszacowane za pomocą modelu można pogodzić z krajowymi statystykami dotyczącymi paliwa lub zweryfikować przez niezależne źródła. Jeżeli dostępny jest szczegółowy model estymacji, należy go zastosować. Jeżeli emisje nie są mierzone i należą do kluczowej kategorii, należy stosować ślad środowiskowy właściwy dla danego kraju. Ważne jest również, aby sprawdzić,

1. Process-related CO₂ emissions, which are due to the decomposition of raw materials like limestone, containing calcium and magnesium carbonates.
2. Fuel-related CO₂ emissions, which are due to the combustion of fuel like conventional fossil fuels [coal, petroleum coke, lignite, natural gas, etc.] and alternative fuels [RDF, End of Life Tyres - ELT, sewage sludge, etc.].
3. Electricity-related CO₂ emissions, which are due to the consumption of electricity in cement plants, mills, fans, and other electrical equipment that are powered by electricity.

2.1. Estimation of fuel-related CO₂ emissions

To estimate emissions from fuel combustion, a decision tree was used [Fig. 2]. The first step is to check whether emissions measurements with satisfactory quality control are available, and whether the category being assessed is a key one. Next, it should be determined whether country-specific emissions factors [EFs] exist and if the fuel consumption estimated by the model can be reconciled with national fuel statistics or verified by independent sources. If a detailed estimation model is available, it should be used. If the emissions are unmeasured and belong to a key category, country-specific EFs should be applied. It is also important to verify if specific fuel use is available for the category and if all single sources in the category are measured. Depending on the data available, different approaches can be taken, such as using Scope 3 approach with measurements combined with activity data [AD] and default EFs for Scope 1 approach, or Scope 3 approach with measurements combined with AD and country-specific EFs for Scope 2 approach, or using country-specific EFs and suitable

Tablica 1 / Table 1

ILOŚĆ PALIWA ZUŻYTEGO W LATACH 2017-2021.

AMOUNT OF FUEL USED BETWEEN 2017-2021.

Typ paliwa / Fuel type	2017	2018	2019	2020	2021
	tonnes				
Węgiel brunatny / Lignite	28 104	8 855	957	19 877	37 931
Koks naftowy / Petroleum-coke	107 307	128 041	89 995	105 237	78 225
Olej opałowy / Fuel oil	458	323	307	253	373
Paliwo pochodzące z odpadów / Refused-Derived Fuel [RDF]	2 697	12 472	18 819	22 784	26 355
Zużyte opony / End-of-Life Tire [ELT]	-	-	1416	439	366
Osady ściekowe / Sewage sludge	-	395	1369	223	20

czy dla danej kategorii dostępne jest konkretne zużycie paliwa i czy mierzone są wszystkie pojedyncze źródła w danej kategorii. W zależności od dostępnych danych można przyjąć różne podejścia, takie jak zastosowanie podejścia z zakresu 3 z pomiarami połączonymi z danymi dotyczącymi działalności [AD] i domyślnymi śladami środowiskowymi dla podejścia z zakresu 1 lub podejście z zakresu 3 z pomiarami połączonymi z AD i specyficznymi dla danego kraju śladami środowiskowymi dla podejścia z zakresu 2 lub zastosowanie specyficznego dla danego kraju śladu środowiskowego i odpowiedniego podejścia AD dla podejścia zakresu 2, lub przy użyciu domyślnych EF i odpowiedniego podejścia AD dla zakresu 1. We wszystkich przypadkach niezbędne jest uzyskanie danych specyficznych dla danego kraju.

W obliczeniach emisji gazów cieplarnianych [GHG] wynikających ze zużycia paliwa wykorzystano roczną wielkość zużycia dla każdego paliwa oraz wartości współczynników emisji określone dla tego rodzaju paliwa. Emisje gazów cieplarnianych uzyskano poprzez pomnożenie tych dwóch wartości dla każdego paliwa. Ilość paliwa zużytego w cementowni w latach 2017-2021 podano w tablicy 1.

Zakres 1: Metoda „Zakres 1” wymaga najmniejszej ilości danych. Ilość paliwa zużytego w cementowni oraz współczynnik emisji „wartości domyślnej” określony w podręczniku IPCC są wystarczające do obliczenia emisji tą metodą. W wytycznych IPCC dla każdego rodzaju paliwa określono różne współczynniki emisji. Współczynnik emisji [kg/TJ] dla rodzaju stosowanego paliwa został wybrany spośród wartości domyślnych określonych dla tego paliwa przez IPCC [2006]. Obliczanie emisji z paliwa uzyskuje się przez pomnożenie współczynnika emisji [EF] paliwa i ilości zużytego paliwa, jak pokazano w równaniu [1].

$$E_{GHG,paliwo} = \text{Zużycie paliwa}_{paliwo} \cdot \text{Współczynnik emisji}_{GHG,paliwo} \quad [1]$$

gdzie

$E_{GHG,paliwo}$ – emisje danego gazu cieplarnianego według rodzaju paliwa, kg_{GHG} ,

Zużycie paliwa_{paliwo} – ilość spalonego paliwa, TJ,

Współczynnik emisji_{GHG,paliwo} – współczynnik emisji danego GHG według paliwa, kg_{GHG}/TJ .

AD for Scope 2 approach, or using default EFs and suitable AD for Scope 1 approach. Obtaining country-specific data is essential in all cases.

In the calculation of greenhouse gas emissions [GHG] due to fuel consumption, the annual consumption amount for each fuel and the emission factor values determined for that fuel type were used. GHG emissions were obtained by multiplying these two values for each fuel. The amount of fuel used in the cement factory between 2017 and 2021 is given in Table 1.

Scope 1: The Scope 1 method requires the least data. The amount of fuel used in the factory and the “default value” emission factor defined in the IPCC manual are sufficient to calculate emissions with this method. Different emission factors have been determined for each fuel type in the IPCC guideline. The emission factor [kg/TJ] for the type of fuel used was selected from the default values defined for that fuel by the IPCC [2006]. The calculation of fuel emissions is obtained by multiplying the emission factor [EF] of the fuel and the amount of fuel consumed, as shown in Eq. [1].

$$E_{GHG,fuel} = \text{Fuel Consumption}_{fuel} \cdot \text{Emission Factor}_{GHG,fuel} \quad [1]$$

where

$E_{GHG,fuel}$ – emissions of a given GHG by fuel type, kg_{GHG} ,

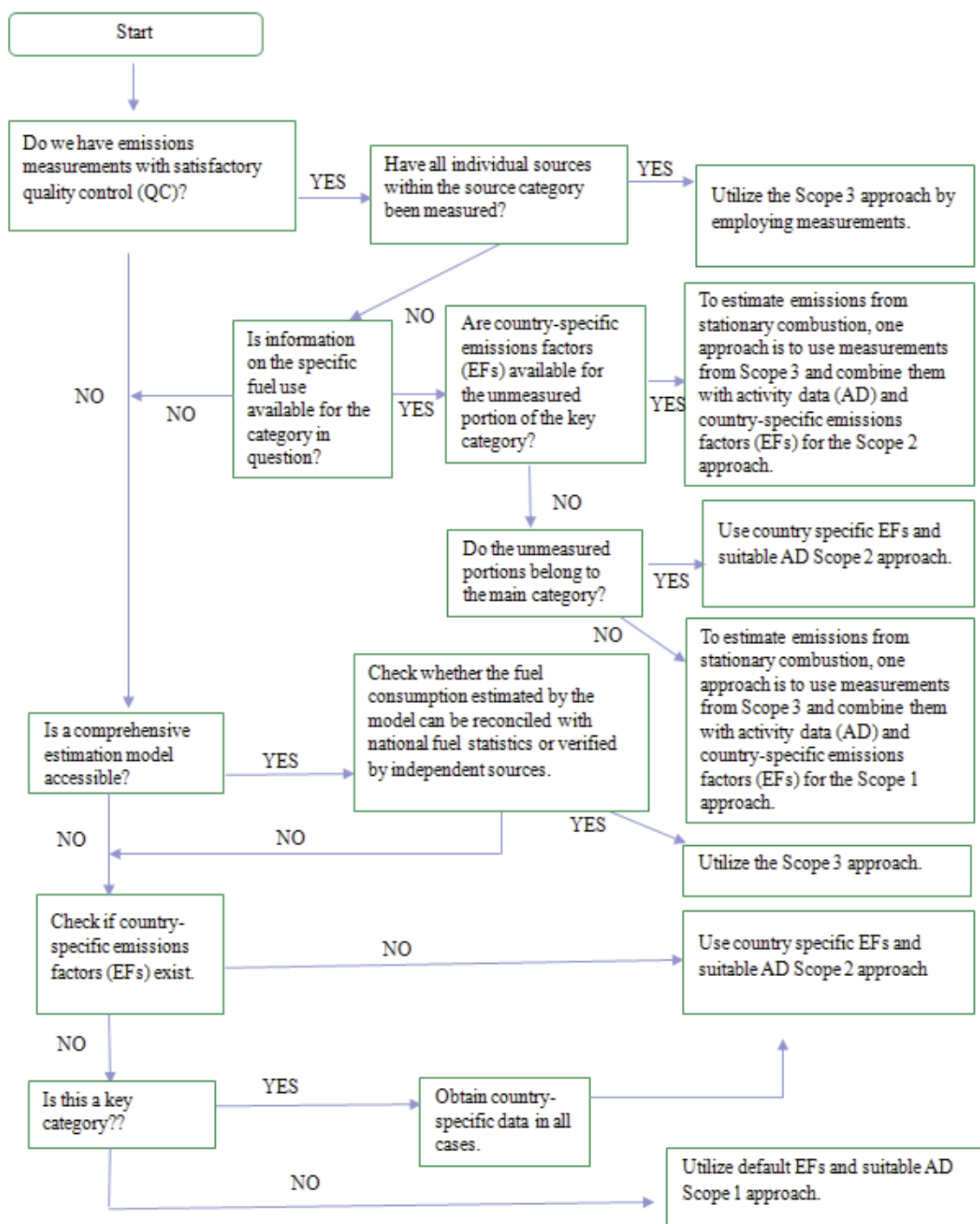
Fuel Consumption_{fuel} – amount of fuel combusted, TJ,

Emission Factor_{GHG,fuel} – emission factor of a given GHG by fuel, kg_{GHG}/TJ .

Scope 2: The most important feature that distinguishes Scope 2 from Scope 1 is the calculation using country-specific emissions. The emission factors used in the calculations are taken from the CRF [common reporting format] tables, which are a common reporting format for all countries reporting to the UNFCCC. Net Calorific Values [NCV] and selected Emission Factors [EF] used in this study are given in Table 2.

Scope 3: Unlike Scope 1 and Scope 2, in the Scope 3 approach, emission factors are used depending on possible differences by considering different possibilities in combustion statistics. Eq. [2] was used in the calculations as there may be technology-dependent variables:

$$E_{GHG,fuel} = \sum \text{technology}(\text{fuel consumption}_{techn} \cdot EF_{GHG,fuel,techn}) \quad [2]$$



Rys. 2. Drzewo decyzyjne do szacowania emisji ze stacjonarnego spalania paliwa (8).

Fig. 2. Decision tree for estimating emissions from stationary fuel combustion (8).

Zakres 2: Najważniejszą cechą, która odróżnia Zakres 2 od Zakresu 1, jest obliczanie przy użyciu emisji specyficznych dla danego kraju. Współczynniki emisji stosowane w obliczeniach pochodzą z tabel CRF [Wspólny Format Sprawozdawczości, z ang. Common Reporting Format], które są wspólnym formatem sprawozdawczym dla wszystkich krajów składających sprawozdania do UNFCCC. Wartości opałowe netto [NCV] oraz wybrane współczynniki emisji [EF] stosowane w tym badaniu podano w tablicy 2.

Zakres 3: W przeciwieństwie do Zakresu 1 i Zakresu 2, w podejściu Zakresu 3 współczynniki emisji są stosowane w zależności od możliwych różnic poprzez uwzględnienie różnych możliwości

where:

$E_{GHG, fuel}$ – emissions of a given GHG by fuel type and technology, kg_{GHG} ,

$fuel\ consumption_{techn}$ – amount of fuel combusted per type of technology, TJ,

$EF_{GHG, fuel, techn}$ – emission factor of a given GHG by fuel and technology type, kg_{GHG}/TJ .

Tablica 2 / Table 2

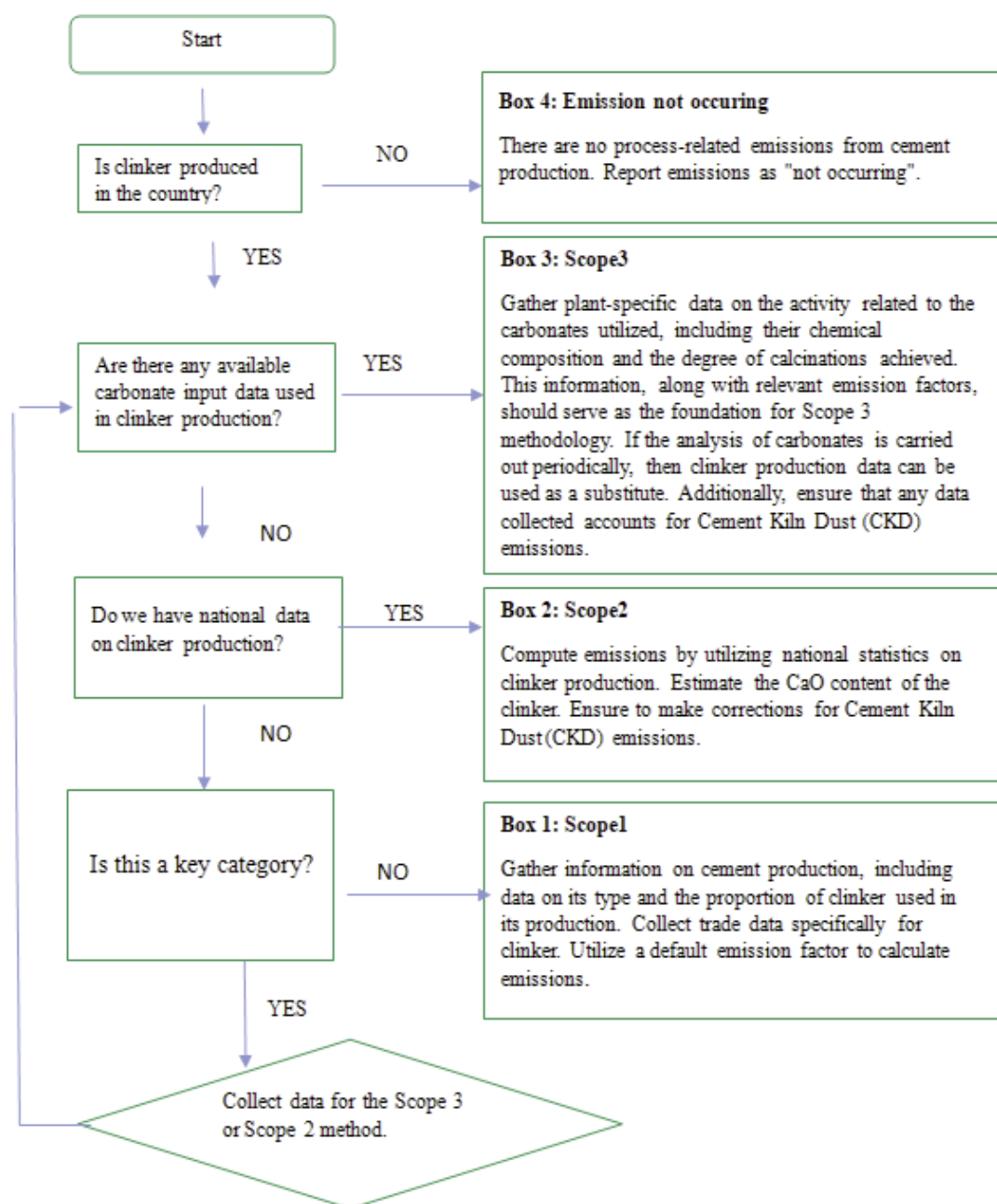
WARTOŚCI EF I NCV DLA PALIW (9).

EF AND NCV VALUES FOR FUELS (9).

Typ paliwa / Fuel type	EF, kg/TJ			NCV, TJ/Gg
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
Węgiel kamienny / Coal	98 300	10	1.5	26.7
Węgiel brunatny / Lignite	101 000	10	1.5	11.9
Koks naftowy / Petroleum-coke	97 500	3	0.6	32.5
Zużyte opony / End-of-Life Tires [ELT]	85 000	-	-	31.5
Paliwo z odpadów / Refused Derived Fuel [RDF]	83 000	-	-	10.0
Olej opałowy / Fuel oil	73 300	30	4.0	40.2
Gaz ziemny / Natural gas	56 100	1	0.1	48.0
Olej napędowy / Diesel	74 100	3	0.6	43.0

2.2. Estimation of process-related CO₂ emissions

Certain minerals such as CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ must be present in certain amounts in cement production. After limestone, clay and iron ore are ground and turned into raw meal, they are fed into the kilns and become clinker. The intermediate product of cement is clinker. Combustion of clinker is shown as a source of emission in the production process because it is exposed to high heat treatment. Lime is transformed into CaO and CO₂ as per Eq. [3] with the heat in the limestone rotary kiln. The decision tree given in Fig. 3 was used as a guide in determining

Rys. 3. Drzewo decyzyjne do szacowania emisji CO₂ z produkcji cementu (10).Fig. 3. A decision tree for estimating CO₂ emissions from cement production (10).

w statystykach spalania. W obliczeniach użyto równania [2], ponieważ mogą występować zmienne zależne od technologii:

$$E_{\text{GHG,paliwo}} = \sum \text{technologia}(\text{zużycie paliwa}_{\text{techn}} \cdot EF_{\text{GHG,paliwo,techn}}) \quad [2]$$

gdzie:

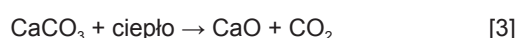
$E_{\text{GHG,paliwo}}$ – emisje danego GHG w podziale na rodzaj paliwa i technologię, kgGHG,

$\text{zużycie paliwa}_{\text{techn}}$ – ilość spalonego paliwa w podziale na rodzaj technologii, TJ,

$EF_{\text{GHG,paliwo,techn}}$ – współczynnik emisji danego GHG w podziale na rodzaj paliwa i technologii, kgGHG/TJ.

2.2. Szacowanie emisji CO₂ związanych z procesem

Niektóre minerały, takie jak CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Fe₂O₃ muszą być obecne w określonych ilościach w namiarze surowcowym do produkcji cementu. Po zmieleniu wapienia, gliny oraz rudy żelaza i przekształceniu w mączkę surowcową, są one wprowadzane do pieców i stają się klinkierem. Produktem pośrednim cementu jest klinkier. Spalanie klinkieru jest ukazywane jako źródło emisji w procesie produkcji, ponieważ jest ono poddawane wysokiej obróbce cieplnej. Wapno jest przekształcane w CaO i CO₂ zgodnie z równaniem [3] pod wpływem ciepła w wapiennym piecu obrotowym. Drzewo decyzyjne przedstawione na rys. 3 posłużyło jako wskazówka przy określaniu metod, które mają być stosowane w obliczaniu emisji procesowych oraz przy wyborze metody obliczeniowej odpowiedniej dla warunków panujących w danym kraju.



2.3. Szacowanie emisji CO₂ związanej z energią elektryczną

Dane dotyczące zużycia energii elektrycznej w latach 2017-2021 uzyskano z cementowni. Dla emisji z tytułu zużycia energii elektrycznej (Zakres 2) przeprowadzono obliczenia równania 4.

$$E \text{ tCO}_{2/\text{rok}} = (\text{FV}_{\text{kWh/rok}} \cdot \text{EF}_{\text{kgCO}_2/\text{kWh}} - \text{T\&DL}\%) + (\text{FV}_{\text{kWh/rok}} \cdot \text{EF}_{\text{kgCO}_2/\text{kWh}}) \cdot 10^{-3} \quad [4]$$

gdzie:

$E \text{ tCO}_2$ – wielkość emisji, t

FV – całkowita ilość energii elektrycznej zużywanej rocznie, kWh/rok,

EF – współczynnik emisji, kgCO₂/kWh, [dla Turcji 0,437 kg CO₂/kWh (sprawozdanie TEİAŞ, 2020)]

T&DL – wartość strat przesyłowych i dystrybucyjnych, %, dla Turcji 13,3% (sprawozdanie TEİAŞ, 2020)

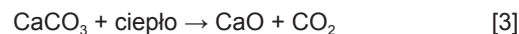
Tablica 3 / Table 3

PRODUKCJA KLINKIERU PRZEZ CEMENTOWANIĘ NA PRZESTRZENI LAT.

THE CLINKER AMOUNT OF THE COMPANY OVER THE YEARS.

Produkcja / Production	Jednostka / Unit	2017	2018	2019	2020	2021
Klinkier / Clinker	Tony / Tonnes	1 339 566	1 418 066	1 067 164	1 324 521	1 198 894

the methods to be used in the calculation of process emissions and in the selection of the calculation method suitable for the country conditions.



2.3. Estimation of electricity-related CO₂ emissions

Data on electricity usage between 2017-2021 were obtained from the cement factory. For emissions from electricity use (Scope 2) calculations Equation 4 were performed.

$$E \text{ tCO}_{2/\text{rok}} = (\text{FV}_{\text{kWh/rok}} \cdot \text{EF}_{\text{kgCO}_2/\text{kWh}} - \text{T\&DL}\%) + (\text{FV}_{\text{kWh/rok}} \cdot \text{EF}_{\text{kgCO}_2/\text{kWh}}) \cdot 10^{-3} \quad [4]$$

where:

$E \text{ tCO}_2$ – emission amount, t

FV – the total amount of electricity consumed annually, kWh/year,

EF – emission factor, kgCO₂/kWh, [for Turkey 0.437 kgCO₂/kWh (TEİAŞ Report, 2020)]

T&DL – transmission and distribution loss value, %, for Turkey 13.3 % (TEİAŞ Report, 2020)

3. Results

3.1. Emissions from clinker production

The amount of clinker produced by the cement plant between the years 2017 and 2021 is presented in Table 3. Emissions from clinker were calculated using indicators such as the clinker produced, the emission factor specific to the enterprise, and the conversion factor.

The data from Table 3 and Eq. 5 were used to calculate clinker-induced CO₂ emissions, and the emission values from clinker between the years 2017 and 2021 are given in Table 4.

$$\text{Annual average emission amount} = \text{Production} \cdot \text{Emission Factor} \cdot \text{Conversion Ratio} \quad [5]$$

The clinker emission amounts for the years 2017, 2018, 2019, 2020, and 2021 were 703 272 tons CO₂e/year, 744 485 tons CO₂e/year, 560 261 tons CO₂e/year, 695 374 tons CO₂e/year, and 629 420 tons CO₂e/year, respectively. When the CO₂ equivalent emission amounts in Table 4 are examined, there was a 32 % decrease in 2019 compared to the previous year and an approximately 11 % decrease compared to 2017.

Tablica 4 / Table 4

DANE DOTYCZĄCE PRODUKCJI KLINKIERU I EMISJI ZA LATA 2017-2021.

CLINKER PRODUCTION AND EMISSIONS DATA FOR 2017-2021.

Rok / Year	Produkcja klinkieru, tony Clinker production, tonnes	Współczynnik emisji, CO ₂ /tona Emission factor, tonnes CO ₂ /tonne	Współczynnik konwersji Conversion factor, %	Wielkość emisji, tony CO ₂ e/rok Emission amount, tonnes CO ₂ e/year
2017	1 339 566	0.525	100	703 272
2018	1 418 066	0.525	100	744 485
2019	1 067 164	0.525	100	560 261
2020	1 324 521	0.525	100	695 374
2021	1 198 894	0.525	100	629 420

Tablica 5 / Table 5

ILOŚĆ ZUŻYTEGO PALIWA I ODPADÓW W LATACH 2017-2021.

AMOUNT OF FUEL AND WASTE USED BETWEEN 2017-2021.

Typ paliwa / Fuel type	2017	2018	2019	2020	2021
	Tony / Tonnes				
Węgiel brunatny / Lignite	28 104	8 855	957	19 877	37 931
Koks naftowy / Petroleum-coke	107 307	128 041	89 995	105 237	78 225
Olej opałowy / Fuel oil	458	323	307	253	373
Paliwo pochodzące z odpadów / Refused-Derived Fuel [RDF]	2 697	12 472	18 819	22 784	26 355
Zużyte opony / End-of-Life Tire [ELT]	-	-	1 416	439	366
Osady ściekowe / Sewage sludge	-	395	1 369	223	20

3. Wyniki

3.1. Emisje z produkcji klinkieru

Ilość klinkieru wyprodukowanego przez cementownię w latach 2017-2021 przedstawiono w tablicy 3. Emisje z klinkieru obliczono na podstawie takich wskaźników, jak wyprodukowany klinkier, współczynnik emisji właściwy dla danego przedsiębiorstwa oraz współczynnik konwersji.

The data from Table 3 and Equation 5 were used to calculate clinker-induced CO₂ emissions, and the emission values from clinker between the years 2017 and 2021 are given in Table 4.

Średnia roczna wielkość emisji =

Produkcja · Współczynnik emisji · Współczynnik konwersji [5]

Emisje klinkieru za lata 2017, 2018, 2019, 2020 i 2021 wyniosły odpowiednio: 703 272 ton CO₂e/rok, 744 485 ton CO₂e/rok, 560 261 ton CO₂e/rok, 695 374 ton CO₂e/rok i 629 420 ton CO₂e/rok. Po przeanalizowaniu wielkości emisji ekwiwalentu CO₂ w tabeli 4 stwierdzono, że w 2019 r. nastąpił spadek o 32% w porównaniu z rokiem poprzednim i o około 11% w porównaniu z 2017 r.

3.2. Obliczanie emisji CO₂ z paliw i odpadów

Równanie 6 wykorzystano do obliczenia emisji wynikających z użytkowania węgla brunatnego w latach 2017-2021. Ilości zużytego paliwa przedstawiono w tablicy 5 i uzyskano z wybranej cementowni. Wartość opałową i wartości współczynnika emisji w zależności od rodzaju paliwa zaczerpnięto z wytycznych IPCC z 2006 r. (9).

3.2. Calculation of CO₂ emissions from fuel and wastes

Eq. 6 was used to calculate emissions from lignite use between the years 2017 and 2021. The amounts of fuel used are presented in Table 5 and were obtained from the selected cement plant. Net calorific value and emission factor values according to fuel type were taken from the IPCC 2006 Guidelines (9).

Fuel emission amount =

Fuel · Emission Factor · Net Calorific Value (1 - Biomass Ratio) [6]

3.2.1. Emissions from lignite

The lignite-sourced emission amounts used in the factory between the years 2017 and 2021 were calculated using the data obtained from the IPCC Guide [net calorific value, emission factor values by fuel. type], Eq. 6, and the fuel amounts supplied from the factory [Table 5], and are presented in Table 6.

Emissions from lignite used between 2017 and 2021 were calculated as 33 778 tons of CO₂e/year, 10 678 tons of CO₂e/year, 1 150 tons of CO₂e/year, 23 890 tons of CO₂e/year, and 45 589 tons of CO₂e/year, respectively.

3.2.2. Emissions from petroleum coke

The amount of emissions originating from petroleum coke used in the factory between 2017 and 2021 was calculated using data obtained from the IPCC Guide [net calorific value, emission factor values by fuel type], Eq. 6, and the fuel amounts supplied by the factory (Table 5). The results are given in Table 7.

Tablica 6 / Table 6

EMISJE Z WĘGLA BRUNATNEGO WYKORZYSTYWANEGO W LATACH 2017-2021.

EMISSIONS FROM LIGNITE USED BETWEEN 2017-2021.

Rok / Year	Ilość zużytego paliwa, tony Amount of fuel used, tonnes	Współczynnik emisji, tony CO ₂ / TJ Emission factor, tonnes CO ₂ / TJ	Kaloryczność netto Net calorific Value, TJ/Gg	Udział biomasy Biomass ratio [BR], %	Wielkość emisji z węgla brunatnego, ton CO ₂ e/rok Lignite emission amount, tonnes CO ₂ e/year
2017	28 104	101	11.9	0	33 778
2018	8 885	101	11.9	0	10 679
2019	957	101	11.9	0	1 150
2020	19 877	101	11.9	0	23 890
2021	37 931	101	11.9	0	45 589

$$\text{Emisja paliwowa} = \text{Paliwo} \cdot \text{Współczynnik emisji} \cdot \text{Wartość opałowa netto} \\ (1 - \text{Udział biomasy}) \quad [6]$$

3.2.1. Emisje z węgla brunatnego

Wielkości emisji z węgla brunatnego wykorzystanego w cementowni w latach 2017-2021 zostały obliczone na podstawie danych uzyskanych z Przewodnika IPCC [wartość opałowa, wartości współczynników emisji według rodzaju paliwa], równania 6 oraz ilości paliwa dostarczonego do cementowni [Tabela 5], które przedstawiono w tablicy 6.

Emisje z węgla brunatnego wykorzystywanego w latach 2017-2021 obliczono odpowiednio na 33 778 ton CO₂e/rok, 10 678 ton CO₂e/rok, 1 150 ton CO₂e/rok, 23 890 ton CO₂e/rok i 45 589 ton CO₂e/rok.

3.2.2. Emisje z koksu naftowego

Ilość emisji pochodzących z koksu naftowego wykorzystywanego w cementowni w latach 2017-2021 została obliczona na podstawie danych uzyskanych z przewodnika IPCC [wartość opałowa, wartości współczynników emisji według rodzaju paliwa], równania 6 oraz ilości paliwa dostarczonego do cementowni [tablica 5]. Wyniki przedstawiono w tablicy 7.

Emisje wynikające ze zużycia koksu naftowego w latach 2017-2021 obliczono odpowiednio na 340 029 ton CO₂e/rok, 405 730 ton CO₂e/rok, 285 172 ton CO₂e/rok, 333 470 ton CO₂e/rok i 247 875 ton CO₂e/rok. W 2019 r. emisje zmniejszyły się o 42% w porównaniu z rokiem poprzednim.

Tablica 7 / Table 7

EMISJE Z KOKSU NAFTOWEGO WYKORZYSTYWANEGO W LATACH 2017-2021.

EMISSIONS FROM PETROLEUM COKE USED BETWEEN 2017-2021.

Rok / Year	Ilość zużytego paliwa, tony Amount of fuel used, tonnes	Współczynnik emisji, tony CO ₂ / TJ Emission factor, tonnes CO ₂ / TJ	Kaloryczność netto Net calorific value, TJ/Gg	Udział biomasy Biomass ratio [BR], %	Wielkość emisji z koksu naftowego, ton CO ₂ e/rok / Petroleum coke emission amount, tonnes CO ₂ e/year
2017	107 307	97.5	32.5	0	340 029
2018	128 041	97.5	32.5	0	405 730
2019	89 995	97.5	32.5	0	285 172
2020	105 237	97.5	32.5	0	333 470
2021	78 225	97.5	32.5	0	247 875

Emissions from petroleum coke use between 2017 and 2021 were calculated as 340 029 tonnes CO₂e/year, 405 730 tonnes CO₂e/year, 285 172 tonnes CO₂e/year, 333 470 tonnes CO₂e/year, and 247 875 tons CO₂e/year, respectively. In 2019, emissions decreased by 42 % compared to the previous year.

3.2.3. Emissions from fuel oil

The emission amounts from fuel oil used in the cement plant between 2017 and 2021 were calculated using data obtained from the IPCC Guide [net calorific value, emission factor values by fuel type], Eq. 6, and the fuel amounts supplied by the factory [Table 5]. The results are given in Table 8.

Emissions arising from the use of fuel oil between 2017 and 2021 were calculated as 14 328 tons CO₂e/year, 1 010 tons CO₂e/year, 960 tons CO₂e/year, 791 tons CO₂e/year, and 1 166 tons CO₂e/year, respectively. In 2019, emissions decreased by 5 % compared to the previous year.

3.2.4. Emissions from Refuse-Derived Fuel

The emission amounts from Refuse-Derived Fuel [RDF] used in the factory between 2017 and 2021 were calculated using data obtained from the IPCC Guide [net calorific value, emission factor values by fuel type], Eq. 6, and the fuel amounts supplied by the factory [Table 5]. The results are given in Table 9.

Tablica 8 / Table 8

EMISJE Z OLEJU OPAŁOWEGO WYKORZYSTYWANEGO W LATACH 2017-2021.

EMISSIONS FROM FUEL OIL USED BETWEEN 2017-2021.

Rok / Year	Ilość zużytego paliwa, tony Amount of fuel used, tonnes	Współczynnik emisji, tony CO ₂ / TJ Emission factor, tonnes CO ₂ / TJ	Kaloryczność netto Net calorific value, TJ/Gg	Udział biomasy Biomass ratio [BR], %	Wielkość emisji z oleju opałowego, ton CO ₂ e/rok / Fuel oil emission amount, tonnes CO ₂ e/year
2017	458	77.4	40.4	0	1 432
2018	323	77.4	40.4	0	1 010
2019	307	77.4	40.4	0	960
2020	253	77.4	40.4	0	791
2021	373	77.4	40.4	0	1 166

Tablica 9 / Table 9

ILOŚĆ EMISJI POCHODZĄCYCH Z PALIW Z ODPADÓW WYKORZYSTANYCH W LATACH 2017-2021.

AMOUNT OF EMISSIONS DERIVED FROM WASTE USED BETWEEN 2017-2021.

Rok / Year	Ilość zużytego paliwa, tony Amount of fuel used, tonnes	Współczynnik emisji, tony CO ₂ /TJ Emission factor, tonnes CO ₂ / TJ	Kaloryczność netto Net calorific value, TJ/Gg	Udział biomasy Biomass ratio [BR], %	Wielkość emisji z paliwa z odpadów, ton CO ₂ e/rok RDF emission amount, tonnes CO ₂ e/year
2017	2,697	83	17.83	0	3,391
2018	12,472	83	17.83	0	18,457
2019	18,819	83	17.83	0	27,850
2020	22,784	83	17.83	0	33,718
2021	26,355	83	17.83	0	39,003

3.2.3. Emisje z oleju opałowego

Wielkości emisji z oleju opałowego zużytego w cementowni w latach 2017-2021 obliczono na podstawie danych uzyskanych z Przewodnika IPCC [wartość opałowa, wartości współczynników emisji według rodzaju paliwa], równania 6 oraz ilości paliwa dostarczonego do cementowni [tablica 5]. Wyniki przedstawiono w tablicy 8.

Emisje wynikające ze stosowania oleju opałowego w latach 2017-2021 zostały obliczone odpowiednio na 14 328 ton CO₂e/rok, 1 010 ton CO₂e/rok, 960 ton CO₂e/rok, 791 ton CO₂e/rok i 1 166 ton CO₂e/rok. W 2019 r. emisje spadły o 5% w porównaniu z rokiem poprzednim.

3.2.4. Emisje z paliwa odpadowego

Ilości emisji z paliwa odpadowego [RDF] stosowanego w fabryce w latach 2017-2021 obliczono na podstawie danych uzyskanych z przewodnika IPCC [wartość opałowa, wartości współczynników emisji według rodzaju paliwa], równania 6 oraz ilości paliwa dostarczonego przez fabrykę [tablica 5]. Wyniki przedstawiono w tablicy 9.

Emisje wynikające z użytkowania RDF w latach 2017-2021 wynosiły odpowiednio: 3 391 ton CO₂e/rok, 18 457 ton CO₂e/rok, 27 850 ton CO₂e/rok, 33 718 ton CO₂e/rok oraz 39 003 ton CO₂e/rok.

Emissions arising from the use of RDF between 2017 and 2021 were calculated as 3 391 tons CO₂e/year, 18 457 tons CO₂e/year, 27 850 tons CO₂e/year, 33 718 tons CO₂e/year, and 39 003 tons CO₂e/year, respectively.

3.2.5. Emissions from End-of-Life Tires

The emission amounts from End-of-Life Tires [ELT] used in the factory between 2019 and 2021 were calculated using data obtained from the IPCC Guide [net calorific value, emission factor values by fuel type], Eq. 6, and the fuel amounts supplied by the factory [Table 5]. The results are given in Table 10.

Emissions arising from the use of ELT between 2019 and 2021 were calculated as 1 559 tons CO₂e/year, 483 tons CO₂e/year, and 403 tons CO₂e/year, respectively.

3.2.6. Emissions from sewage sludge

Emission amounts from fuel oil used in the factory between 2018-2021 were calculated using the data obtained from the IPCC Guide [net calorific value, emission factor values by fuel type], Eq. 6, and the fuel amounts supplied from the factory [Table 5] and are given in Table 11. Emissions from the use of sewage sludge between 2018 and 2021 were calculated as 24 tons CO₂e/year, 84 tons CO₂e/year, 14 tons CO₂e/year, and 1 ton CO₂e/year, respectively.

Emission values from fuel and waste calculated for the years 2017-2021 are summarized in Table 12. Total emissions from fuel and waste [Scope 1] between 2017 and 2021 were calculated as

Tablica 10 / Tablica 10

WIELKOŚCI EMISJI WYNIKAJĄCE Z UŻYTKOWANIA ZUŻYTYCH OPON W LATACH 2019-2021.

EMISSION AMOUNTS FROM THE USE OF END-OF-LIFE TIRES USED BETWEEN 2019-2021.

Rok Year	Ilość zużytego paliwa, tony Amount of fuel used, tonnes	Współczynnik emisji, tony CO ₂ /TJ Emission factor, tonnes CO ₂ / TJ	Kaloryczność netto Net calorific value, TJ/Gg	Udział biomasy Biomass ratio [BR], %	Wielkość emisji ze zużytych opon, ton CO ₂ e/rok ELT emission amount, tonnes CO ₂ e/year
2019	1 416	51	28.3	23.7	1 559
2020	439	51	28.3	23.7	483
2021	366	51	28.3	23.7	403

Tablica 11 / Tablica 11

WIELKOŚCI EMISJI WYNIKAJĄCE Z UŻYTKOWANIA OSADÓW ŚCIEKOWYCH W LATACH 2018-2021.

EMISSION AMOUNTS FROM THE USE OF SEWAGE SLUDGE USED BETWEEN 2018-2021

Rok Year	Ilość zużytego paliwa, tony / Amount of fuel used, tonnes	Współczynnik emisji, tony CO ₂ /TJ Emission factor, tonnes CO ₂ / TJ	Kaloryczność netto Net calorific value, TJ/Gg	Udział biomasy Biomass ratio [BR], %	Wielkość emisji ze spalania osadów ściekowych, ton CO ₂ e/rok Sewage sludge emission amount, tonnes CO ₂ e/year
2018	395	110	11.18	95	24
2019	1 369	110	11.18	95	84
2020	223	110	11.18	95	14
2021	20	110	11.18	95	1

3.2.5. Emisje ze zużytych opon

Emisja ze zużytych opon [ELT] używanych w cementowni w latach 2019-2021 została obliczona na podstawie danych uzyskanych z przewodnika IPCC [wartość opałowa, wartości współczynników emisji według rodzaju paliwa], równania 6 oraz ilości paliwa dostarczonego do cementowni [tablica 5]. Wyniki przedstawiono w tablicy 10.

Emisje wynikające z użytkowania ELT w latach 2019-2021 obliczono odpowiednio na 1 559 ton CO₂e/rok, 483 tony CO₂e/rok i 403 tony CO₂e/rok.

3.2.6. Emisje z osadów ściekowych

Wielkości emisji z oleju opałowego wykorzystywanego w fabryce w latach 2018-2021 zostały obliczone na podstawie danych uzyskanych z Przewodnika IPCC [wartość opałowa, wartości współczynników emisji według rodzaju paliwa], równania 6 oraz ilości paliwa dostarczonego z fabryki [tablica 5] i są podane w tablicy 11. Emisje z wykorzystania osadów ściekowych w latach 2018-2021 obliczono odpowiednio na 24 tony CO₂e/rok, 84 tony CO₂e/rok, 14 ton CO₂e/rok i 1 tonę CO₂e/rok.

Wartości emisji z paliw i odpadów obliczone dla lat 2017-2021 zestawiono w tabeli 12. Łączna emisja z paliw i odpadów [Zakres 1] w latach 2017-2021 została obliczona od-

0.3786 MtCO₂e/year, 0.4359 MtCO₂e/year, 0.3168 MtCO₂e/year, 0.3924 MtCO₂e/year, and 0.3340 MtCO₂e/year, respectively.

3.2.7. Substitute fuel use carbon emission calculations

The current status of the factory's use of alternative fuels and the calculated emission values are summarized in Table 5 and Table 12. In order to obtain the combustion efficiency obtained with the fuel consumed from waste, the emission amounts that occur when a certain amount of lignite is used are calculated and given in Table 13. While preparing this table, as seen in Eq. 6, the preferred alternative fuel is multiplied by the net calorific value of this fuel, the obtained combustion efficiency is divided by the net calorific value of the conventional fuel, and the amount of conventional fuel

Tablica 12 / Table 12

DANE DOTYCZĄCE EMISJI Z PALIW I ODPADÓW W LATACH 2017-2021.

EMISSION DATA FROM FUEL AND WASTE BETWEEN 2017 AND 2021.

Rodzaj paliwa / Fuel Type	Emisja, tony CO ₂ e/rok Emission amount, tonne CO ₂ e/year				
	2017	2018	2019	2020	2021
Węgiel brunatny / Lignite	33 778	10 679	1 150	23 890	45 589
Koks naftowy / Petroleum-coke	340 029	405 730	285 172	333 470	247 875
Olej opałowy / Fuel oil	1 432	1 010	960	791	1 166
Paliwo pochodzące z odpadów Refused-Derived Fuel [RDF]	3 391	18 457	27 850	33 718	39 003
Zużyte opony / End-of-Life Tire [ELT]	-	-	1,559	483	403
Osady ściekowe / Sewage sludge	-	24	84	14	1
Total (Mt CO ₂ e/yil)	0.37863	0.4359	0.3168	0.3924	0.3340

Tablica 13 / Table 13

DANE DOTYCZĄCE KONWENCJONALNEGO PALIWA, KTÓRE MOŻNA ZASTĄPIĆ PALIWAMI ALTERNATYWNYMI 2017-2021
CONVENTIONAL FUEL DATA THAT CAN BE SUBSTITUTED FOR ALTERNATIVE FUELS USED BETWEEN 2017 AND 2021.

Dostępne paliwo alternatywne Available alternative fuel	Zastępowane paliwa konwencjonalne Substituted conventional fuels		2017	2018	2019	2020	2021
RDF	Węgiel brunatny Lignite	Zużycie / Amount, t	4 041	18 687	28 197	34 138	39 488
		Emisja, tCO ₂ e/rok / Emission, tCO ₂ e/year	4 857	22 460	33 890	41 030	47 461
	Koks naftowy Petroleum coke	Zużycie / Amount, t	1 480	6 842	10 324	12 500	14 459
		Emisja, tCO ₂ e/rok / Emission, tCO ₂ e/year	4 689	21 682	32 715	39 608	45 816
Zużyte opony End-of-Life Tires	Węgiel brunatny Lignite	Zużycie / Amount, t	-	-	3 367	1 044	870
		Emisja, tCO ₂ e/rok / Emission, tCO ₂ e/year	-	-	4 047	1 255	1 046
	Koks naftowy Petroleum coke	Zużycie / Amount, t	-	-	1 233	382	319
		Emisja, tCO ₂ e/rok / Emission, tCO ₂ e/year	-	-	3 907	1 211	1 010
Osady ściekowe Sewage sludge	Węgiel brunatny Lignite	Zużycie / Amount, t	-	371	1 286	210	19
		Emisja, tCO ₂ e/rok / Emission, tCO ₂ e/year	-	446	1 546	252	23
	Koks naftowy Petroleum coke	Zużycie / Amount, t	-	136	471	77	7
		Emisja, tCO ₂ e/rok / Emission, tCO ₂ e/year	-	167	579	94	8

powiednio na 0,3786 Mt CO₂e/rok, 0,4359 Mt CO₂e/rok, 0,3168 MtCO₂e/rok, 0,3924 MtCO₂e/rok i 0,3340 MtCO₂e/rok.

3.2.7. Obliczenia emisji dwutlenku węgla w odniesieniu do zużycia paliwa zastępczego

Aktualny stan wykorzystania paliw alternatywnych przez cementownię oraz obliczone wartości emisji podsumowano w tablicach 5 i 12. W celu uzyskania sprawności spalania uzyskanej przy użyciu paliwa zużytego z odpadów, wielkości emisji, które występują przy wykorzystaniu określonej ilości węgla brunatnego, obliczono i podano w tablicy 13. Przygotowując tę tabelę, jak widać w równaniu 6, preferowane paliwo alternatywne mnoży się przez wartość opałową tego paliwa, uzyskaną sprawność spalania dzieli się przez wartość opałową paliwa konwencjonalnego i ustala się ilość paliwa konwencjonalnego, która zapewni taką samą sprawność spalania. Następnie możliwe wielkości emisji są obliczane za pomocą równania 7.

$$\frac{\text{Ilość paliwa alternatywnego} \cdot \text{NCV}_1}{\text{Ilość paliwa konwencjonalnego} \cdot \text{NCV}_2} = 1 \quad [7]$$

gdzie:

NCV₁ – wartość opałowa paliwa alternatywnego, TJ/tonę,

NCV₂ – wartość opałowa paliwa konwencjonalnego, TJ/tonę.

Analizując obecne i zastępcze wartości emisji wybranej cementowni, stwierdzono, że gdyby zamiast 2 697 ton RDF w 2017 r. zastosować konwencjonalne paliwo o tej samej sprawności

Tablica 14 / Table 14

EMISJE WYNIKAJĄCE ZE ZUŻYCIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ W LATACH 2017-2021.

EMISSIONS FROM ELECTRICITY USE BETWEEN 2017-2021.

Rok / Year	2017	2018	2019	2020	2021
	tonCO ₂ e/rok / tonneCO ₂ e/year				
Emisja / Emission	79 220	78 724	61 695	70 307	69 812

that will provide the same combustion efficiency is found. Then, the possible emission amounts are calculated with Eq. 7.

$$\frac{\text{Alternative Fuel Amount} \cdot \text{NCV}_1}{\text{Conventional Fuel Amount} \cdot \text{NCV}_2} = 1 \quad [7]$$

where:

NCV₁ – Alternative Fuel Net Calorific Value, TJ/tonne,

NCV₂ – Conventional Fuel Net Calorific Value, TJ/tonne.

When examining the current and substitute emission values of the selected cement factory, it is found that if conventional fuel with the same combustion efficiency is used instead of 2 697 tons of RDF for 2017, the fuel amounts would be 4 041 tons for lignite and 1 480 tons for petroleum coke. The possible emission values of lignite and petroleum coke are calculated as 4 857 tons CO₂e/year and 4 689 tons CO₂e/year, respectively. However, for the same year, the amount of emissions due to RDF is below both values with 3 391 tons of CO₂e/year. In other words, it is evident that the preference for petroleum coke instead of fuel consumed from waste in 2017 resulted in an increase in emissions of approximately 38 %, while the preference for lignite caused an increase in emissions of approximately 43 %.

3.3. Emissions from electricity use

Data on electricity usage between 2017-2021 were obtained from the cement plant. Emissions [Scope 2] due to electricity use were calculated using Eq. 4 and given in Table 14.

While the emission from electricity use was 79 220 tonsCO₂e/year in 2017, it was calculated as 69 812 tonsCO₂e/year in 2021. In Fig. 4, the emission values calculated from fuel and electricity use are compared.

In 2017, the emission amount from fuel and waste [Scope 1] was 378 630 tonsCO₂e/year, while the emission amount from electricity [Scope 2] was 79 220 tonsCO₂e/year. While the 2019 Scope 1

spalania, to ilość paliwa wyniosłaby 4 041 ton dla węgla brunatnego i 1 480 ton dla koksu naftowego. Możliwe wartości emisji węgla brunatnego i koksu naftowego wynoszą odpowiednio 4 857 ton CO₂e/rok i 4 689 ton CO₂e/rok. Jednak w tym samym roku wielkość emisji należnych RDF jest niższa od obu wartości i wynosi 3 391 ton CO₂e/rok. Innymi słowy, oczywiste jest, że preferencja dla koksu naftowego zamiast paliwa z odpadów w 2017 r. doprowadziła do wzrostu emisji o około 38%, podczas gdy preferencja dla węgla brunatnego spowodowała wzrost emisji o około 43%.

3.3. Emisje wynikające ze zużycia energii elektrycznej

Dane dotyczące zużycia energii elektrycznej w latach 2017-2021 uzyskano z cementowni. Emisje [Zakres 2] wynikające ze zużycia energii elektrycznej zostały obliczone przy użyciu równania 4 i podane w tablicy 14.

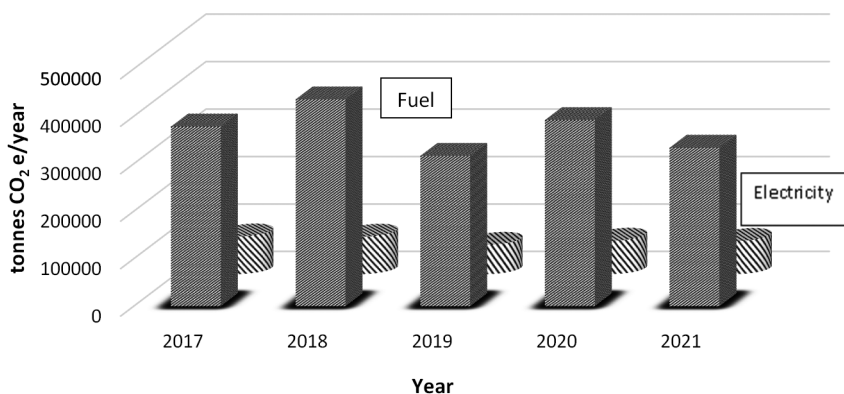
Podczas gdy w 2017 r. emisja wynikająca ze zużycia energii elektrycznej wyniosła 79 220 ton CO₂e/rok, w 2021 r. obliczono ją na poziomie 69 812 ton CO₂e/rok. Na rys. 4 porównano wartości emisji obliczone na podstawie zużycia paliwa i energii elektrycznej.

W 2017 r. wielkość emisji z paliw i odpadów [Zakres 1] wyniosła 378 630 ton CO₂e/rok, natomiast wielkość emisji z energii elektrycznej [Zakres 2] wyniosła 79 220 ton CO₂e/rok. Podczas gdy emisja z zakresu 1 w 2019 r. wyniosła 316 775 ton CO₂e/rok, emisja z zakresu 2 wyniosła 61 695 ton CO₂e/rok.

4. Dyskusja i wnioski

W niniejszym opracowaniu obliczono dane dotyczące produkcji i zużycia z prywatnej cementowni, obecnie produkującej cement i klinkier oraz zarejestrowanej w Tureckim Stowarzyszeniu Producentów Cementu, za lata 2017-2021, w zakresie wytycznych i norm Międzypaństwowego Zespołu ds. Zmian Klimatu [IPCC]. Obliczono emisje paliwowe i procesowe [Zakres 1] oraz emisje dwutlenku węgla wynikające ze zużycia energii elektrycznej [Zakres 2]. Ponadto w badaniu przeanalizowano kwestię, jakie byłyby wielkości emisji, gdyby do uzyskania odpowiedniej sprawności spalania paliwa pochodzącego z recyklingu [RDF] wykorzystano określoną ilość węgla brunatnego.

Bezpośrednie emisje CO₂ w przemyśle cementowym pochodzą głównie ze spalania paliw kopalnych i kalcynacji wapienia na tlenek wapnia. Emisje bezpośrednie to emisje emitowane ze źródeł będących własnością lub kontrolowanych przez organizację raportującą. Po przeanalizowaniu danych dotyczących emisji pochodzących z paliw i odpadów w wybranej cementowni, największy udział w wartościach emisji w latach 2017-2021 ma koks naftowy. Koks naftowy jest najchętniej wybieranym paliwem zarówno pod względem wartości opałowej, jak i dostępności, a przy tym wytwarza trzy razy więcej emisji niż węgiel brunatny.



Rys. 4. Porównanie wartości emisji pochodzących ze zużycia paliwa i energii elektrycznej.

Fig. 4. Comparison of emission values from fuel and electricity use.

emission was 316 775 tonsCO₂e/year, the Scope 2 emission was 61 695 tonsCO₂e/year.

4. Discussion and conclusion

In this study, production and consumption data from a private cement plant, currently producing cement and clinker, and registered with the Turkish Cement Manufacturers' Association, were calculated for the years 2017-2021, within the scope of the Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] guidelines and standards. Fuel-related emissions and process-related emissions [Scope 1] and carbon dioxide emissions resulting from electricity usage [Scope 2] were calculated. In addition, the study examined the question of what the emission amounts would be if a certain amount of lignite were used to obtain the combustion efficiency obtained with the fuel consumed from the Refused-Derived Fuel [RDF].

Direct CO₂ emissions in a cement industry mainly come from the combustion of fossil fuels and the calcination of limestone into calcium oxide. Direct emissions are those emitted from sources owned or controlled by the reporting organization. When the emission data arising from fuel and waste in the selected cement plant are examined, the largest share in the emission values between 2017 and 2021 belongs to petroleum coke. Petroleum coke is the most preferred fuel in terms of both its net calorific value and accessibility, and it has three times more emissions than lignite at the same rate.

Despite the expected increase in petroleum coke consumption due to rising customer demand, the factory managed to decrease its petroleum coke consumption by 25 % compared to the previous year by adopting ELT as an alternative fuel in 2019. As a result of this shift, the total emission value in 2019 decreased by 27 % compared to the previous year. Similarly, in 2021, the amount of petroleum coke used decreased by 26 % compared to the previous year, down to 78 225 tons, thanks to the use of 26 355 tons of RDF. Although the amount of lignite used almost doubled in 2021 compared to the previous year, the increase did not result in a total emission value increase. Notably, a significant decrease in lignite

Pomimo spodziewanego wzrostu zużycia koksu naftowego ze względu na rosnący popyt ze strony klientów, cementownia zdołała zmniejszyć zużycie koksu naftowego o 25% w porównaniu z rokiem poprzednim, przyjmując zużyte opony jako paliwo alternatywne w 2019 roku. W wyniku tej zmiany łączna wartość emisji w 2019 r. zmniejszyła się o 27% w porównaniu z rokiem poprzednim. Podobnie w 2021 r. ilość zużytego koksu naftowego zmniejszyła się o 26% w porównaniu z rokiem poprzednim, do 78 225 ton, dzięki wykorzystaniu 26 355 ton paliwa RDF. Choć ilość wykorzystywanego węgla brunatnego w 2021 r. niemal się podwoiła w porównaniu z rokiem poprzednim, wzrost ten nie spowodował wzrostu całkowitej wartości emisji. Warto zauważyć, że w 2019 r. zaobserwowano znaczny spadek zużycia węgla brunatnego, co wybrana fabryka przypisała pracom remontowym i zwiększonemu wykorzystaniu alternatywnych źródeł od tego czasu z powodu COVID 19.

Emisje wynikające ze zużycia koksu naftowego w wybranej cementowni w latach 2017-2021 obliczono odpowiednio na 340 029 ton CO₂e/rok, 405 730 ton CO₂e/rok, 285 172 ton CO₂e/rok, 333 470 ton CO₂e/rok oraz 247 875 ton CO₂e/rok. Emisje związane ze zużyciem koksu naftowego zmniejszyły się w 2019 r. o 42% w porównaniu z rokiem poprzednim, przy wzroście wykorzystania paliw alternatywnych w zakładzie.

Emisje wynikające z zastosowania oleju opałowego w latach 2017-2021 zostały obliczone odpowiednio na 14 328 ton CO₂e/rok, 1 010 ton CO₂e/rok, 960 ton CO₂e/rok, 791 ton CO₂e/rok i 1 166 ton CO₂e/rok. Emisje wynikające ze stosowania oleju opałowego zmniejszyły się w 2019 r. o 5% w porównaniu z rokiem poprzednim, przy wzroście wykorzystania paliw alternatywnych w zakładzie.

Emisje wynikające ze spalania zużytych opon w latach 2019-2021 obliczono odpowiednio na 1 559 ton CO₂e/rok, 483 tony CO₂e/rok i 403 tony CO₂e/rok. Opony wycofane z eksploatacji, które są używane jako paliwo od 2019 roku, powodują mniejsze emisje niż paliwa kopalne.

Emisje z wykorzystania osadów ściekowych w latach 2018-2021 obliczono odpowiednio na 24 tony CO₂e/rok, 84 tony CO₂e/rok, 14 CO₂e/rok i 1 tona CO₂e/rok. Osady ściekowe, które są wykorzystywane jako paliwo od 2018 roku, powodują znacznie mniejsze emisje niż paliwa kopalne.

Łączna emisja z paliw i odpadów [Zakres 1] w latach 2017, 2018, 2019, 2020 i 2021 w wybranej cementowni wynosiła odpowiednio 0,3786 Mt CO₂e/rok, 0,4359 Mt CO₂e/rok, 0,3168 Mt CO₂e/rok, 0,3924 Mt CO₂e/rok i 0,3340 Mt CO₂e/rok.

Znaczenie stosowania paliw alternatywnych jest po raz kolejny podkreślone, gdy weźmie się pod uwagę wielkości emisji, które wynikałyby ze stosowania paliw konwencjonalnych, takich jak węgiel brunatny i koks naftowy, zamiast paliw alternatywnych, takich jak RDF, zużyte opony i osady ściekowe. Gdyby do osiągnięcia sprawności spalania uzyskanej za pomocą RDF użyto pewnej ilości węgla brunatnego, a nie zastosowano paliw alternatywnych, uzyskane wielkości emisji byłyby znacznie wyższe. Na przykład, gdyby w 2017 r. zastąpić 2 697 ton paliwa OPB paliwami konwen-

consumption was observed in 2019, which the selected factory attributed to renovation works and increased use of alternative sources since then due to COVID 19.

Emissions arising from the use of petroleum coke in the selected cement factory between 2017 and 2021 were calculated as 340 029 tons CO₂e/year, 405 730 tons CO₂e/year, 285 172 tons CO₂e/year, 333 470 tons CO₂e/year and 247 875 tons CO₂e/year, respectively. Emissions from petroleum coke use decreased by 42 % in 2019 compared to the previous year, with the increase in the use of alternative fuels at the facility.

Emissions arising from the use of fuel oil between 2017-2021 were calculated as 14 328 tons CO₂e/year, 1 010 tons CO₂e/year, 960 tons CO₂e/year, 791 tons CO₂e/year and 1 166 tons CO₂e/year, respectively. Emissions from fuel oil use decreased by 5 % in 2019 compared to the previous year, with the increase in the use of alternative fuels at the facility.

Emissions arising from the use of ELT between 2019-2021 were calculated as 1 559 tons CO₂e/year, 483 tons CO₂e/year and 403 tons CO₂e/year, respectively. End-of-life tires, which have been used as fuel since 2019, have caused less emissions than fossil fuels.

Emissions from the use of sewage sludge between 2018 and 2021 were calculated as 24 tons CO₂e/year, 84 tons CO₂e/year, 14 CO₂e/year and 1 ton CO₂e/year, respectively. Sewage sludge, which has been used as a fuel since 2018, has caused much less emissions than fossil fuels.

Total emissions from fuel and waste [Scope 1] between 2017, 2018, 2019, 2020 and 2021 in the selected cement plant are 0.3786 MtCO₂e/year, 0.4359 MtCO₂e/year, 0.3168 MtCO₂e/year, 0.3924 MtCO₂e/year and 0.3340 MtCO₂e/year, respectively.

The importance of using alternative fuels is once again highlighted when considering the emission amounts that would result from using conventional fuels such as lignite and petroleum coke instead of alternative fuels like RDF, ELT and sewage sludge. If a certain amount of lignite were used to achieve the combustion efficiency obtained with RDF and alternative fuels were not used, the resulting emission amounts would be much higher. For example, if 2 697 tons of RDF were replaced with conventional fuels for 2017, the fuel amounts required would be 4 041 tons of lignite and 1,480 tons of petroleum coke, which would lead to significantly higher emission values. The possible emission values of lignite and petroleum coke are calculated as 4 857 tons CO₂e/year and 4 689 tons CO₂e/year, respectively. In contrast, the amount of emissions due to RDF for the same year is below both values, with only 3 391 tons of CO₂e/year. In other words, if petroleum coke or lignite were preferred over RDF in 2017, it would have caused an increase in emissions by approximately 38 % or 43 %, respectively. This highlights the crucial role of alternative fuels in reducing emissions and promoting sustainability in cement industry.

cjonalnymi, wymagane ilości paliwa wyniosłyby 4 041 ton węgla brunatnego i 1 480 ton koksu naftowego, co doprowadziłoby do znacznie wyższych wartości emisji. Możliwe wartości emisji węgla brunatnego i koksu naftowego wynoszą odpowiednio 4 857 ton CO₂e/rok i 4 689 ton CO₂e/rok. Dla porównania, ilość emisji spowodowanych powstaniem OPB w tym samym roku jest niższa od obu tych wartości i wynosi zaledwie 3 391 ton CO₂e/rok. Innymi słowy, gdyby w 2017 r. koks naftowy lub węgiel brunatny były preferowane zamiast RDF, spowodowałoby to wzrost emisji odpowiednio o około 38% lub 43%. Podkreśla to kluczową rolę paliw alternatywnych w ograniczaniu emisji i promowaniu zrównoważonego rozwoju w przemyśle cementowym.

Emisje pośrednie odnoszą się do emisji, które wynikają z działalności firmy sprawozdającej, ale które występują w źródłach będących własnością innej organizacji lub przez nią kontrolowanych. Na przykład emisje z wytwarzania energii elektrycznej z sieci wykorzystywanej przez przedsiębiorstwo cementowe do zasilania silników elektrycznych, które dostarczają energię mechaniczną wymaganą do mielenia wapienia lub mieszania mąki surowcowej, są uważane za pośrednie. Ponieważ produkcja cementu jest procesem energochłonnym, energia niezmiennie stanowi znaczną część całkowitych kosztów produkcji, wahając się od 20 do 40%. Dużo energii elektrycznej zużywa się do przygotowania surowca, mielenia cementu i zasilania innych urządzeń elektrycznych. W związku z tym emisje CO₂ związane z mieleniem są w większości pośrednie i związane ze zużyciem energii elektrycznej. Emisje wynikające ze zużycia energii elektrycznej w wybranej fabryce znacznie się jednak zmniejszyły z 79 220 ton CO₂e rocznie w 2017 r. do 61 695 ton CO₂e rocznie w 2019 r. Emisje w 2021 r. szacuje się na 69 812 ton CO₂e/rok.

Biorąc pod uwagę przykładowy rok 2020, emisje wynikające ze zużycia paliwa wyniosły 392 366 ton CO₂e rocznie, podczas gdy emisje wynikające ze zużycia energii elektrycznej przez fabrykę wyniosły 70 307 ton CO₂e rocznie, co podkreśla znaczenie rozwiązania problemu emisji energii elektrycznej.

Cement jest kamieniem węgielnym betonu i niezbędnym produktem w życiu codziennym, służąc jako budulec wszystkiego, od domów po tamy. Produkcja cementu ma jednak znaczący wpływ na globalną emisję CO₂. O ile rezygnacja z użycia cementu nie wchodzi w grę, o tyle minimalizacja emisji podczas produkcji powinna być jej głównym celem. Wykorzystanie mniejszej ilości paliw kopalnych i większej ilości paliw alternatywnych w procesach produkcyjnych może znacznie zmniejszyć wpływ na klimat, atmosferę i Ziemię spowodowany przez gazy szklarniowe. Odpady są często preferowane ze względów ekonomicznych i są uważane za bardziej przyjazne dla środowiska alternatywne źródło paliwa w porównaniu z paliwami konwencjonalnymi ze względu na niższe emisje. Wykorzystanie odpadów powinno być jedną z preferowanych metod ograniczania emisji w sektorze produkcji cementu, na wzór innych krajów rozwiniętych.

Indirect emissions refer to the emissions that result from the activities of the reporting company, but that occur at sources owned or controlled by another organization. For instance, emissions from the grid electricity generation used by a cement company to power the electric motors that provide the mechanical energy required to grind the limestone or mix the mixture are considered indirect. As cement production is an energy-increasing process, energy consistently accounts for a significant portion of total production costs, ranging from 20-40%. A lot of electricity is used for raw material preparation, cement grinding and powering other electrical appliances. Consequently, the CO₂ emissions associated with grinding are mostly indirect and related to electricity use. However, emissions from electricity usage of the selected factory have decreased significantly from 79 220 tons CO₂e/year in 2017 to 61 695 tons CO₂e/year in 2019. The emission for 2021 is estimated as 69 812 tons CO₂e/year.

Considering the example year of 2020, the emissions resulting from fuel consumption were 392 366 tons CO₂e/year, while the emissions from the factory's electricity usage were 70 307 tons CO₂e/year, highlighting the importance of addressing electricity emissions.

Cement is a cornerstone of concrete and an indispensable product in daily life, serving as the building block for everything from houses to dams. However, cement production has a significant impact on global CO₂ emissions. While abandoning the use of cement is not an option, minimizing emissions during production should be a primary goal. Utilizing fewer fossil fuels and more alternative fuels in production processes can greatly reduce the stress on the climate, atmosphere, and Earth caused by pollutant gases. Waste is often preferred for economic reasons and is considered a more environmentally friendly alternative fuel source when compared to conventional fuels due to its lower emissions. The use of waste should be one of the preferred methods for reducing emissions in the cement production sector, following the example set by other developed countries.

Declarations

The authors have no relevant financial or non-financial interests to disclose. The authors have no competing interests to declare that are relevant to the content of this paper.

Deklaracje

Autorzy nie mają żadnych istotnych interesów finansowych ani niefinansowych, które mogliby ujawnić. Autorzy nie mają sprzecznych interesów do stwierdzenia, które byłyby istotne dla treści niniejszego artykułu.

Literatura / References

1. A. Sel, Z.G Göktolga, Projection of sectoral CO₂ emission values within the framework of the 11th Development Plan. *J. Mediterranean Facul. Econ. Adm. Sci.* **20**(2), 158-168 (2020).
2. J. Wei, K. Cen, Empirical assessing cement CO₂ emissions based on China's economic and social development during 2001–2030. *Sci. Total Env.* **653**, 200-211 (2019a). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.371>
3. M. T. Şahin, Carbon footprint applications: cement factory example. Gebze Technical University, Institute of Science and Technology, Department of Environmental Engineering, Master Thesis. (2019).
4. Y. Güler, Carbon dioxide emissions originating from the cement sector in Turkey. Kocaeli University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Environmental Engineering, Master's Thesis (2018).
5. M. B. Ali, M.B. Saidur R, M.S Hossain. A Review on Emission Analysis in Cement Industries. *Renew. Sust. Ener. Rev.* **15**(5), 2252-2261 (2011). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.014>
6. J. Wei, K.A. Cen, A preliminary calculation of cement carbon dioxide in China from 1949 to 2050. *Mitig. Adapt. Strat. Glob. Change* **24**, 1343–1362 (2019b). <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09848-7>
7. W. Shen, L. Cao, Q Li, W. Zhang, G. Wang, C. Li, Quantifying CO₂ emissions from China's cement Industry. *Renew. Sust. Ener. Rev.* **50**, 1004-1012 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.031>
8. D. R. Gómez, J. D. Watterson, B. B. Americano, C. Ha, G. Marland, E. Matsika, L. N. Namayanga, B. O. Elasha, J. D. K. Saka, K. Treanton, Chapter 2: Stationary Combustion, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Vol. 2 Energy, (2007).
9. IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>, (2006).
10. L. Hanle, P. Maldonado, E. Onuma, M. Tichy, H. G. Oss. Chapter 2: Mineral Industry Emissions, IPCC Chapter 2: Mineral Industry Emissions, (2006).