

## Innowacyjne technologie w przemyśle cementowym

### Innovative technologies in the cement industry

**Dr inż. Bożena Środa**

Polish Cement Association

e-mail: [bozena.sroda@polskicement.pl](mailto:bozena.sroda@polskicement.pl)

#### Streszczenie

W artykule omówiono kilka projektów badawczych, dotyczących technologii wychwytywania, składowania lub zagospodarowania CO<sub>2</sub> [CCS/U – Carbon Capture and Storage/Usage] w przemyśle cementowym. Technologia redukcji emisji CO<sub>2</sub> poprzez jego wychwylenie z gazów odlotowych w instalacji pieca cementowego ma największy potencjał do zmniejszenia emisji, ale jednocześnie wymaga dużych nakładów inwestycyjnych i dodatkowej infrastruktury do przesyłu wychwyconego CO<sub>2</sub> oraz wiąże się ze zwiększonym zapotrzebowaniem na energię elektryczną w cementowni. W artykule przedstawiono realizowane projekty badawcze, w których wykorzystano różne rozwiązania zarówno wychwytywania CO<sub>2</sub>, jak i dalszego jego zagospodarowania.

**Słowa kluczowe:** zmniejszanie emisji CO<sub>2</sub>, wychwytywanie i składowanie CO<sub>2</sub>, CCS, wychwytywanie i zagospodarowanie CO<sub>2</sub>, produkcja cementu

#### Summary

The paper discusses several research projects on CO<sub>2</sub> capture, storage or usage [CCS/U] technologies in the cement industry. The technology of reducing CO<sub>2</sub> emissions by capturing it from flue gases in a cement kiln installation has the greatest reduction potential, but at the same time requires large investments and additional infrastructure for the transfer of captured CO<sub>2</sub>, and is associated with an increased demand for electricity in the cement plant. The article presents the research projects carried out in which various solutions for both CO<sub>2</sub> capture and its further usage were used.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> emission reduction, carbon capture and storage, CCS, carbon capture and usage, CCU, cement production

#### 1. Wprowadzenie

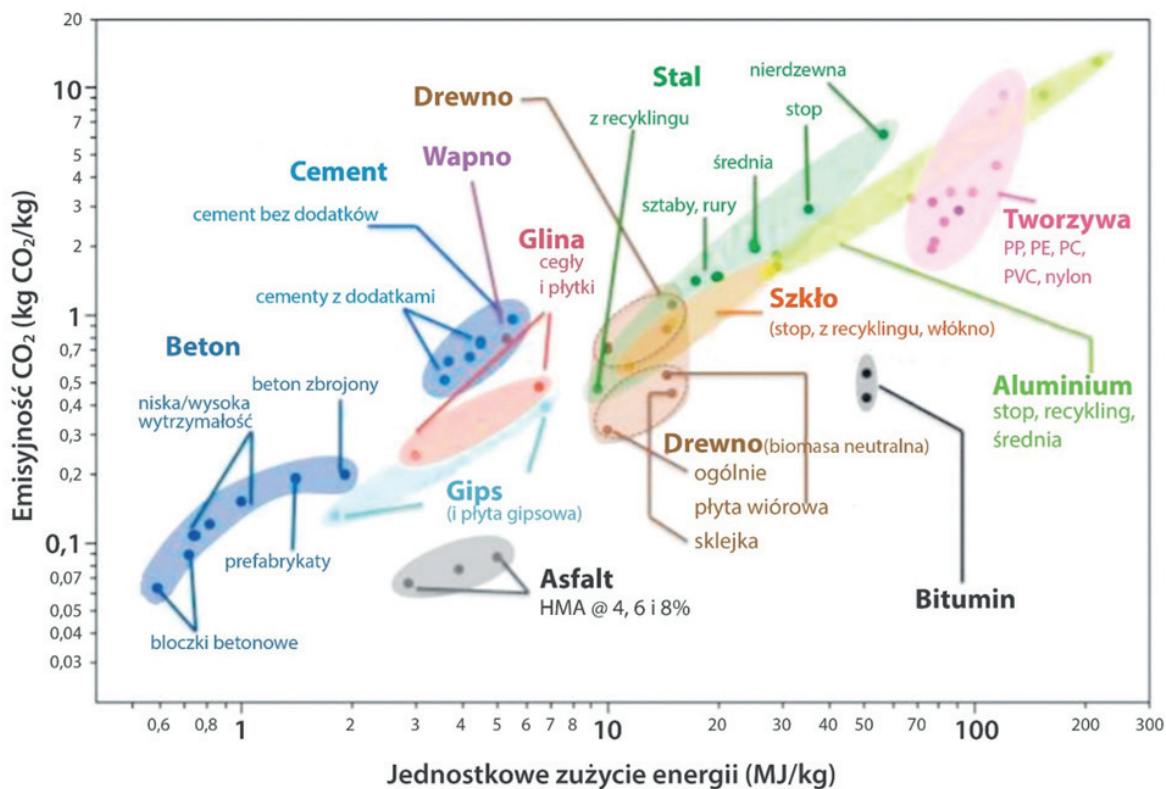
Beton jest materiałem konstrukcyjnym, zużywanym w największych po wodzie ilościach na świecie. W tym stuleciu spodziewany jest dalszy wzrost jego produkcji z uwagi na rosnącą populację ludności i postępującą urbanizację - przewiduje się, że w 2050 r. liczba ludności na świecie wyniesie 9,8 mld i 68% z nich będzie mieszkać w miastach. W roku 2020 wyprodukowano na świecie 14 mld m<sup>3</sup> betonu, z czego 40% wykorzystano w budownictwie mieszkaniowym. Produkcja cementu w tym czasie wyniosła 4,2 mld ton. Pomimo tego, że beton w porównaniu do innych materiałów budowlanych z uwagi na swój skład wyróżnia się małą emisyjnością [Rys. 1], to jednak około 5-7% antropogenicznej emisji CO<sub>2</sub> na świecie, pochodzi z produkcji cementu.

Powstawanie CO<sub>2</sub> jest nieodłączną częścią procesu produkcji cementu, ze względu na kalcynację najważniejszego surowca używanego do jego produkcji – wapienia. Około 60% emisji CO<sub>2</sub>

#### 1. Introduction

Concrete is the construction material, applied in the largest quantity after water in the world. In this century, a further increase of its production is expected, caused by the increasing population and urbanization. It is expected that in the year 2050 the number of people in the world will increase to 9.8 billion and 68% will live in town. In the year 2020, 14 billion m<sup>3</sup> of concrete was produced, of which 40% was used in buildings. Cement production at that time was 4.2 billion tonnes. Despite this that concrete, compared to other building materials, taking into account its composition, is singled out by the low emission [Fig. 1], however, about 5-7% of the anthropogenic emission of CO<sub>2</sub> in the world is coming from cement production.

CO<sub>2</sub> formation is the inseparable part of the cement production process, because of the decarbonization of the most important raw material used for its production – limestone. About 60% of



Rys. 1. Emisyjność materiałów budowlanych (1).

Fig. 1. Emission connected with manufacturing of building materials (1).

z produkcji cementu pochodzi z tej reakcji, podczas gdy 40% pochodzi ze spalania paliwa w instalacji pieca cementowego. Co prawda, od roku 1990 w przemyśle cementowym w Europie obniżono średnią jednostkową emisję CO<sub>2</sub> o około 15%, a w Polsce, dzięki gruntownej modernizacji i przebudowie zakładów, poziom tej redukcji wyniósł aż 40%, to jednak dalsze ograniczanie tej emisji będzie stanowić poważne wyzwanie dla przemysłu. Po publikacji przez Komisję Europejską w grudniu 2019 r. założeń Europejskiego Zielonego Ładu, w którym wyznaczono cele osiągnięcia neutralności emisyjnej do roku 2050 Europejskie Stowarzyszenie Przemysłu Cementowego CEMBUREAU, którego Stowarzyszenie Producentów Cementu jest pełnoprawnym członkiem, opublikowało w maju 2020 r. Mapę Drogową do 2050 pt. Spajamy Europejski Zielony Ład [Rys. 2]. Z tego dokumentu wynika, że bez kosztownych, przełomowych technologii w przemyśle cementowym nie będzie możliwa realizacja celów neutralności emisyjnej.

Największy potencjał pod względem redukcji emisji CO<sub>2</sub> z produkcji cementu ma technologia wychwytywania, składowania/ zagospodarowania CO<sub>2</sub> [CCS/U – Carbon Capture and Storage/ Usage]. W tej metodzie podstawowe znaczenie ma oddzielenie i wychwycenie CO<sub>2</sub> z gazów odlotowych, który następnie może być transportowany w celu składowania lub wykorzystania, np. w przemyśle chemicznym.

## 2. Technologie wychwytywania CO<sub>2</sub>

Jedną z technologii wychwytywania CO<sub>2</sub>, możliwą do zastosowania w przemyśle cementowym, jest wychwytywanie CO<sub>2</sub> po

CO<sub>2</sub> emission of cement production is coming from this reaction, whereas 40% is linked with fuel burning, in the cement kiln. Although, from the year 1990 in the cement industry the CO<sub>2</sub> average emission was reduced by about 15%. In Poland, due to thoroughly modernization and redevelopment of the plants, the level of this reduction had achieved up to 40%. However, further reduction will be the serious challenge for the industry.

After the publication by the European Commission in the December 2019 year the assumption of European Green Order, in which the goals to achieve the emission neutrality to the year 2050 European Association of Cement Industry CEMBUREAU, of which the Association of Cement Producers is the full member, has published in May 2020 year The Route Map to the year 2050, under the title: Cementing the European Green Deal – fig. 2. From this document is resulting that without the expensive, landmark technologies in cement industry, the accomplishment of the goal of emission neutrality will not be possible.

The highest potential for the CO<sub>2</sub> emission, linked with the cement production, has the technology of capture and storage/recycling of CO<sub>2</sub> – CCS/U Carbon Capture and Storage/Use. In this reduction method the basic importance has the separation and caught of CO<sub>2</sub> from the exhaust gases, which next can be transported for storage or applying, for example in chemistry industry.

## 2. The technologies of CO<sub>2</sub> capturing

One of the technologies of CO<sub>2</sub> capture, which can be applied in the cement industry, is the capture of CO<sub>2</sub> post-burning, which did

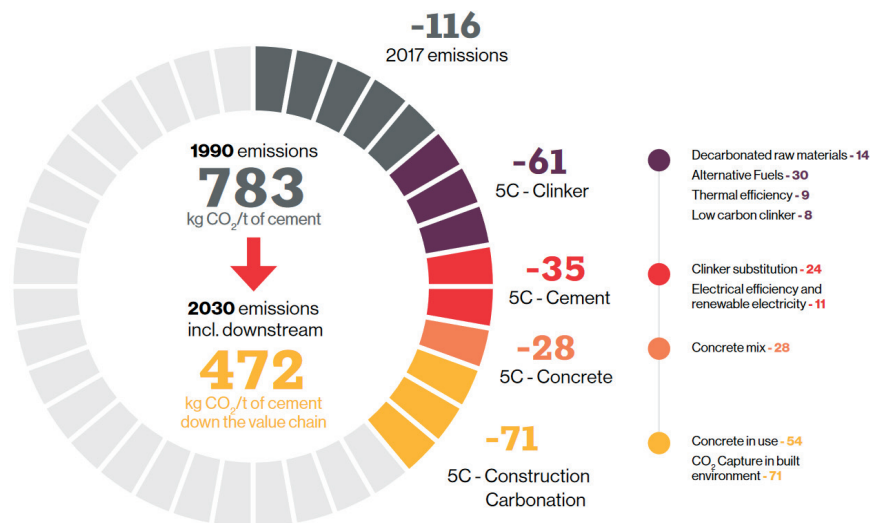
procesie spalania [post-combustion], która nie wymaga większych przeróbek w układzie pieca i może być zastosowana zarówno w nowych, jak i istniejących systemach piecowych. Wychwytywanie CO<sub>2</sub> może się odbywać w procesie chemicznej absorpcji, metodą membranową lub poprzez absorpcję fizyczną czy mineralną karbonatyzację. W ostatnich latach prowadzono ważne badania w skali pilotażowej w celu optymalizacji sorbentowych i membranowych technik wychwytywania. Aktualnie, najbardziej zaawansowane są badania nad chemiczną absorpcją – badania pilotażowe prowadzone są w kilku sektorach przemysłowych. Najbardziej zaawansowaną metodą jest absorpcja chemiczna w wodnym roztworze monoetanoloaminy, co już zostało zademonstrowane na skalę przemysłową. Z tych prac wynika, że metoda chemiczna ma dużą skuteczność w usuwaniu CO<sub>2</sub> ze strumienia spalin. Rozwój metody membranowej zależy od tego, czy uda się opracować membrany o dobrej skuteczności separacji gazów. Proces mineralnej karbonatyzacji może być ciekawym rozwiązaniem w przypadku przemysłu cementowego, ze względu na możliwość zawrócenia do układu pieca cementowego zużytego sorbentu, jako materiału surowcowego. Dopracowania wymaga szybkość przebiegu reakcji poprzez odpowiednie przygotowanie materiałów, stosowanych w tej metodzie. Trwają prace nad zmodyfikowaną wersją tego procesu, który mógłby się odbywać w podgrzewaczu cyklonowym obrotowego pieca cementowego.

Innym rozwiązaniem wychwytywania CO<sub>2</sub> jest spalanie paliwa w tlenie. Zamiast powietrza do spalania paliwa dostarczany jest tlen, co zdecydowanie ułatwia oddzielenie strumienia CO<sub>2</sub> z gazów odlotowych. Dotychczasowe wyniki badań tej technologii pod kątem jej wykorzystania w przemyśle cementowym zakładają modyfikację polegającą na ulokowaniu procesu spalania w tlenie tylko w dekarbonizatorze. Jednak wydajność wychwytywania w tym przypadku jest niższa i wynosi około 60-70% w porównaniu do 85-95% skuteczności przy spalaniu w tlenie, w całym układzie pieca.

Z kolei wychwytywanie CO<sub>2</sub> przed procesem spalania (pre-combustion) ma bardzo ograniczone zastosowanie w przemyśle cementowym, gdyż obejmuje jedynie część CO<sub>2</sub> pochodzącą ze spalania paliwa, a jak wiadomo przy produkcji cementu większa emisja CO<sub>2</sub> pochodzi z surowców.

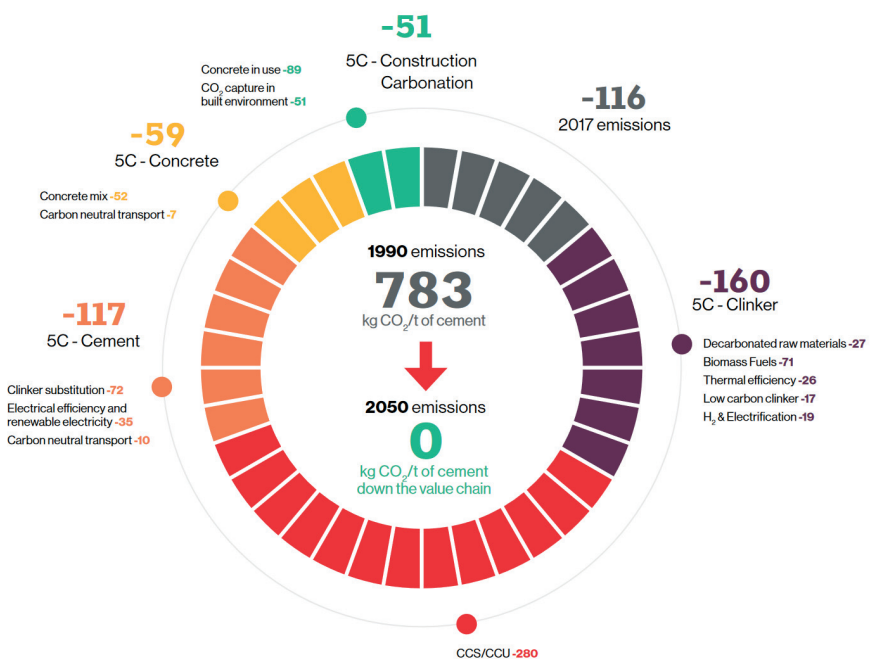
## CEMBUREAU 2030 roadmap

CO<sub>2</sub> reductions along the cement value chain (5Cs: clinker, cement, concrete, construction, re-carbonation)



## CEMBUREAU 2050 roadmap

CO<sub>2</sub> reductions along the cement value chain (5Cs: clinker, cement, concrete, construction, re-carbonation)



Rys. 2. Mapa drogowa Europejskiego Stowarzyszenia Cementowego Cembureau „Spajamy Europejski Zielony Ład”

Fig. 2. Roadmap of the European Cement Association Cembureau “Cementing the European Green Deal”

not require the large processing of the kiln and can be applied, as well as in new and existing kilns. CO<sub>2</sub> capture can be realized using the chemical absorption with membranes method, physical absorption, and finally mineral carbonization. In recent years, important studies have been conducted in the pilot scale, in order to optimize sorbents and membranes capturing technics.



Obecnie, w Europie realizowanych jest kilka projektów badawczych, których celem jest opracowanie efektywnej pod względem wydajności i kosztów technologii wychwytywania CO<sub>2</sub> z gazów odlotowych z produkcji cementu. W tych projektach uwzględnia się różne podejścia do rozwiązywanego problemu.

W ramach projektu **LEILAC1** [Low Emissions Intensity Lime and Cement] uruchomionego w 2016 r. opracowano, zbudowano i eksploatowano zakład pilotażowy w zakładzie HeidelbergCement w Lixhe w Belgii. Projekt ten opiera się na technologii opracowanej przez firmę Calix, której celem jest umożliwienie wydajnego wychwytywania CO<sub>2</sub> z gazów odlotowych, pochodzących z procesu kalcynacji surowców wapiennych. Proces kalcynacji surowców odbywa się w zbiorniku odrębnym od pieca cementowego z wykorzystaniem energii elektrycznej, przez co powstaje strumień gazów odlotowych zawierający ponad 95% CO<sub>2</sub>. Wśród partnerów projektu są producenci cementu HeidelbergCement i CEMEX. Wykorzystanie tego typu reaktora może stanowić także rodzaj magazynu energii elektrycznej, w którym nadwyżki energii w sieci mogą być zużywane do rozkładu surowców.

Zastosowanie tej technologii w skali przemysłowej będzie badane w ramach projektu **LEILAC2**. Celem badań będzie zwiększenie skali technologii bezpośredniej separacji opracowanej i przetestowanej w LEILAC1 oraz zbudowanie zakładu demonstracyjnego, w którym będzie można oddzielić 20% emisji procesowej w cementowni – około 100 tys. ton rocznie CO<sub>2</sub>. Projekt LEILAC2 jest współfinansowany w ramach unijnego programu Horyzont 2020.

W słonecznej Grecji uruchomiono projekt **SOLCEMENT**, który ma na celu opracowanie i analizę zintegrowanego systemu opartego na wykorzystaniu skoncentrowanego promieniowania słonecznego do procesu rozkładu kamienia wapienia (CaCO<sub>3</sub>), służącego głównie potrzebom przemysłu cementowego. Firma SOLCEMENT planuje zaprojektowanie i wykonanie pieca solarnego, który ma stanowić dekarbonizator do produkcji CaO. Celem projektu jest ocena zapotrzebowania energetycznego dla tego procesu. Do oceny tego systemu w warunkach rzeczywistych zostanie wykorzystana platforma pieca słonecznego o mocy 50 kW. W drugim etapie projektu planuje się opracowanie systemu magazynowania nadwyżek wyprodukowanej energii, w celu jej wykorzystania w warunkach niedostępności promieniowania słonecznego. System magazynowania energii cieplnej będzie powiązany z systemem magazynowym o określonej pojemności dla materiałów skalcyonowanych i surowego wapienia, poprzez odpowiednie przeskalowanie całego obiektu.

Na północy kontynentu w Szwecji, we wspólnym projekcie **CEM-Zero** firmy Vattenfall i Cementa, przy współfinansowaniu przez Szwedzką Agencję Energii, prowadzą badania nad wykorzystaniem odnawialnej energii elektrycznej w procesie produkcji cementu w Szwecji. Celem pierwszego etapu tych badań jest zbudowanie zakładu pilotażowego. Uzyskane wyniki pokazują, że należy zakładać w przybliżeniu podwojenie kosztów produkcji cementu w tej technologii, przy czym wpływ tego wzrostu kosztów na ostateczny koszt konstrukcji będzie kilkuprocentowy. W

Actually, the most advanced are the chemical absorption – pilot studies, in some industrial sectors. The most advanced method is the chemical absorption in a water solution of monoethanolamine, which has already been shown in industrial scale. From these experiments, it is evident that the chemical method is very effective in removing CO<sub>2</sub> from the gaseous stream. The development of the membrane method depends on the possibility of membrane elaboration, with the high effectiveness of gases separation. The process of mineral carbonization can be an interesting method in the case of the cement industry because of the possibility to return the used up sorbents, as the raw material to the kiln. It is necessary to refine the velocity of the reaction by appropriate preparation of the materials, applied in this method. The modified version of this process could be realized in the cyclone heat exchanger of the rotary cement kiln.

Another solution of CO<sub>2</sub> capture is the burning of fuel in oxygen. Instead of the air to the burning of the fuel, the oxygen is provided, which definitely facilitates the separation of CO<sub>2</sub> from the stream of gases in the kiln. The research results of this technology so far in terms of its use in the cement industry assume, a modification consisting in placing the combustion process in oxygen only in the calciner. However, the capture efficiency in this case is lower, about 60-70% compared to the 85-95% efficiency with oxygen combustion within the entire kiln system.

The sequence of CO<sub>2</sub> capturing before the combustion process – so called "pre-combustion" has very limited application in the cement industry because it covers only the part of CO<sub>2</sub>, coming from the fuel burning. As it is known, in the cement production the higher emission is linked with the raw materials.

Several research projects are currently underway in Europe to develop a performance-effective and cost-effective technology to capture CO<sub>2</sub> from cement kiln flue gases. These projects take into account different approaches to the problem being solved.

In the framework of **LEILAC1** – Low Emission Intensity Lime and Cement, beginning in the 2016 year, it was developed, built, and exploited the pilot plant in Heidelberg Cement in Lixhe, Belgium. In the project, the technology developed by the company Calix, whose goal is to use a high efficiency method of CO<sub>2</sub> capture, from the flue gases from the calcareous raw materials calcination process. The calcination process is realized in the calciner, installed before the cement kiln and producing gases containing over 95% of CO<sub>2</sub>. Among the partners of the project there are the producers of cement Heidelberg Cement and CEMEX.

The application of this technology on an industrial scale will be examined in the project **LEILAC2**. The goal of these studies will be the scale magnification of the technology of the direct separation elaborated and tested in the LEILAC1 project and the construction of the research plant, in which it will be possible to separate 20% of production emission in the cement plant – about 100 thousand tonnes of CO<sub>2</sub> annually. The LEILAC2 project is co-financed in the framework of the EU program Horizon 2020.

symulacjach sprawdzono, że przyszła elektryfikacja cementowni Cementa na Gotlandii będzie dobrze współgrała z planowaną ekspansją energetyki wiatrowej w tym regionie, pozwalając na zmniejszenie nadwyżki mocy.

Kolejny program badawczy wychwytywania CO<sub>2</sub> z produkcji cementu to projekt **CLEANKER**. Głównym celem projektu jest zaprojektowanie, budowa i eksploatacja systemu demonstracyjnego, który pozwoli na wychwytywanie CO<sub>2</sub> z gazów odlotowych w cementowni w Vernasca we Włoszech, należącej do Buzzi Unicem. Sorbentem do wychwytywania CO<sub>2</sub> w tym przypadku będzie mąka surowcowa, używana w tej cementowni do produkcji klinkieru. Projekt rozpoczął się w 2017 z udziałem 13 partnerów z 7 krajów (m.in. uczelnia chińska), a środki na jego realizację praktycznie w całości pochodzą z programu Horyzont 2020. W skład konsorcjum weszły m.in. cementownie Buzzi Unicem i Italcementi Heidelberg Group.

### 3. Składowanie CO<sub>2</sub> po wychwyceniu – CCS

Wychwycony CO<sub>2</sub> można przesyłać do formacji geologicznych, takich jak wyeksploatowane pola gazowe, i tam składować na stałe. Warunkiem koniecznym jest istnienie odpowiedniej infrastruktury do transportu wychwyconego CO<sub>2</sub> w cementowni.

Na początku 2018 r. norweski rząd wybrał cementownię Brevik należącą do grupy Heidelberg Cement, do przeprowadzenia badań wychwytywania CO<sub>2</sub> na skalę przemysłową. We wrześniu 2019 r. HeidelbergCement i państwowa norweska grupa energetyczna Equinor podpisały protokół ustaleń w sprawie wychwytywania i składowania CO<sub>2</sub>. Projekt wychwytywania i składowania dwutlenku węgla [CCS] w Brevik umożliwi wychwytywanie 400 tys. ton CO<sub>2</sub> rocznie i transport w celu stałego składowania. Jest to pierwszy projekt CCS na skalę przemysłową, w zakładzie produkującym cement na świecie. Finansowanie projektu jest w dużej mierze wspierane przez rząd norweski w ramach norweskiego projektu inwestycyjnego „Longship”, który obejmuje wychwytywanie, transport i składowanie CO<sub>2</sub>. Rozpoczęcie pracy instalacji separacji CO<sub>2</sub> z procesu produkcji cementu planuje się do 2024 roku. Efektem końcowym będzie zmniejszenie o 50% emisji z cementu produkowanego w zakładzie.

Bazując na doświadczeniu zdobytym w cementowni Brevik HeidelbergCement w połowie 2021 r. ogłosił zamiar modernizacji swojego zakładu na Gotlandii, która miałaby się stać pierwszą na świecie neutralną pod względem emisji CO<sub>2</sub> cementownią. Instalacja w zakładzie Slite, należącym do spółki Cementa, zostanie przebudowana, aby wychwytywać do 1,8 miliona ton CO<sub>2</sub> rocznie, co odpowiada całkowitej emisji zakładu. Dodatkowo, planuje się zwiększenie wykorzystania biomasy w miksie paliwowym w zakładzie w Slite. Uruchomienie instalacji do wychwytywania CO<sub>2</sub> na pełną skalę jest planowane do 2030 roku. Wychwycony CO<sub>2</sub> będzie transportowany do stałego miejsca składowania na morzu, kilka kilometrów pod dnem morskim.

We wrześniu 2021 r. firma Sintef Energy AS z Norwegii zaprezen-

In sunny Greece, the project **SOLCEMENT** was started, with the goal of elaborating and analysing the integrated system, supported by the cumulative sun's radiation in the decomposition of calcium carbonate, which can be applied in cement industry. The company SOLCEMENT is planning to prepare the project and realize the sun kiln, which should be the calciner for CaO production. The goal of this project is to evaluate the energy demand for this process. For the evaluation of this system in the real conditions, the platform of a sun kiln 50 kW of power will be developed. In the second stage of the project, elaboration of the system of the surplus produced energy storage, in the goal of its use in the condition of the inaccessible of sun radiation is planned. The storage system of heat energy will be linked with the storage system of the definite capacity of the calcined and raw limestone, by the suitable preparation of all the structures.

In the north of the continent - in Sweden, in the common project **CEMZero** of the company Vattenfall and Cementa, with the co-financing by Swedish Agency of Energy, they conduct the studies by making use of the utilizing of the renewable electric energy in the process of cement production in Sweden. The goal of the first stage of these studies is to build a pilot plant. The obtained results are showing that it is necessary to suppose approximately of the double cost of cement production in this technology, wherein the influence of this increase of the cost on the final cost of the construction, will be few times per cent. It was verified in the simulation, that the future electrification of cement plant Cementa in Gotland will be well co-operate with the planned expansion of wind energetic in this region, permitting of the diminishment of the surplus of the power.

The next CO<sub>2</sub> capture research program from cement production is the **CLEANKER** project. The main goal of this project is to design, build and exploit the object system which will be able to capture CO<sub>2</sub> from flue gases in cement plant Vernasca in Italy, of the Company Buzzi Unicem. The sorbent for capturing CO<sub>2</sub> in this case will be the raw meal used in this cement plant for the production of clinker. The project started in 2017 with the participation of 13 partners, from 7 countries – among others, with Chinese University and the financial resources for its realization, practically are in the program Horizon 2020. The consortium included, among others cement plants Buzzi Unicem and Italcementi Heidelberg Group.

### 3. CO<sub>2</sub> storage after capture – CCS

The captured CO<sub>2</sub> can be sent to geological formations, such as exhausted gas fields, for permanent storage. A prerequisite is the existence of an appropriate infrastructure for the transport of captured CO<sub>2</sub> in a cement plant.

In early 2018, the Norwegian government selected the Brevik cement plant, part of the Heidelberg Cement group, to conduct industrial-scale CO<sub>2</sub> capture studies. In September 2019, Heidelberg Cement and the Norwegian state-owned energy group Equinor signed a Memorandum of Understanding on CO<sub>2</sub> Capture

towała projekt **ACCESS**. Projekt obejmuje utworzenie konsorcjum 18 partnerów przemysłowych i organizacji badawczych, którego celem będzie stworzenie sieci połączeń pomiędzy emitentami CO<sub>2</sub> z Europy kontynentalnej, z miejscami składowania CO<sub>2</sub> na Morzu Północnym. Łączna wartość projektu wyniosła 18 mln EUR. W ramach tego projektu w cementowni Góraździe zostanie przetestowana niskotemperaturowa technologia wychwytywania CO<sub>2</sub> po procesie spalania, z zastosowaniem enzymów i przy wykorzystaniu ciepła odpadowego. Sprawdzanie tej pilotażowej instalacji będzie się odbywać przez 6 miesięcy i prawdopodobnie rozpocznie się w 2023 r. Celem tych badań jest sprawdzenie możliwości obniżenia kosztów procesu wychwytywania i w przypadku korzystnych wyników testów będzie wdrożona instalacja na skalę przemysłową. Kwestią do rozwiązania pozostaje dalsze postępowanie z CO<sub>2</sub> po jego wychwyceniu w instalacji, biorąc pod uwagę infrastrukturę przesyłową, jego składowanie lub zagospodarowanie.

W ramach projektu **Catch4climate** na terenie cementowni w Mergelstetten w południowych Niemczech, są plany wybudowania i eksploatacji instalacji badanej w skali półprzemysłowej, wykorzystującej tzw. proces tlenowo-paliwowy do separacji CO<sub>2</sub>. Do pieca cementowego zamiast powietrza wprowadzany jest czysty tlen, dzięki czemu powstaje wysoko stężony CO<sub>2</sub>, co ułatwia jego wychwycenie z gazów odlotowych. CO<sub>2</sub> pozyskiwany w Mergelstetten ma być w przyszłości wykorzystany do produkcji tzw. „reFuels”, czyli neutralnych dla klimatu paliw syntetycznych, takich jak paliwo lotnicze, przy wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii.

#### 4. Zagospodarowanie CO<sub>2</sub> po wychwyceniu – CCU

Wykorzystanie CO<sub>2</sub> w różnych procesach chemicznych, np. produkcja polimerów poprzez reakcję z wodorem, rozpuszczalników, synteza metanolu, hodowla glonów, czy zużycie niewielkich ilości w przemyśle spożywczym są bardziej preferowanymi rozwiązaniami w porównaniu do jego składowania w strukturach geologicznych lub pod dnem morskim.

W ramach projektu **WestKüste 100** wychwycony CO<sub>2</sub> może być użyty do wytworzenia nowych produktów, takich jak paliwo lotnicze. W Niemczech w Szlezwiku-Holsztynie między firmą energetyczną EDF Germany, grupą Holcim Germany, OGE, Ørsted, Raffinerie Heide, Stadtwerke Heide, Thyssenkrupp Industrial Solutions i Thüga wraz z agencją rozwoju Region Heide i Uniwersytetem Nauk Stosowanych Westküste, utworzono międzybranżowe partnerstwo „Westküste 100”. Na początku kwietnia 2019 r. koncepcja „Westküste 100” została zgłoszona, jako propozycja w konkursie pomysłów zorganizowanym przez Federalne Ministerstwo Gospodarki zatytułowanym „Laboratoria w świecie rzeczywistym wspierające transformację energetyczną”. W ciągu pięciu lat projektu ma zostać wstępnie zastosowana instalacja do elektrolizy wody o mocy 30 MW. Ta instalacja będzie podstawą do opracowania większej instalacji do elektrolizy - rzędu 700 MW, dla której prąd będzie wytwarzany przez morską farmę wiatrową. Dwutlenek węgla z cementowni ma być wykorzystany, jako surowiec wraz z zielonym

and Storage. The Brevik Carbon Capture and Storage [CCS] project will enable the capture of 400,000 tonnes of CO<sub>2</sub> per year and transport for permanent storage. It is the first industrial-scale CCS project in a cement manufacturing facility in the world. Project funding is largely supported by the Norwegian government through the Norwegian investment project “Longship”, which includes CO<sub>2</sub> capture, transport, and storage. The start of the operation of the CO<sub>2</sub> separation installation from the cement production process is planned for 2024. The end result will be a 50% reduction in emissions from the cement produced in the plant.

Based on the experience gained at the cement plant, Brevik HeidelbergCement announced in mid-2021 its intention to upgrade its Gotland plant to become the world's first CO<sub>2</sub>-neutral cement plant. The installation at Cementa's Slite plant will be rebuilt to capture up to 1.8 million tonnes of CO<sub>2</sub> per year, which is equivalent to the plant's total emissions. Additionally, there are plans to increase the use of biomass in the fuel mix at the Slite plant. The full-scale CO<sub>2</sub> capture installation is scheduled to be operational by 2030. The captured CO<sub>2</sub> will be transported to a permanent offshore storage facility, a few kilometers below the seabed.

In September 2021, Sintef Energy AS from Norway presented the **ACCESS** project. The project involves the creation of a consortium of 18 industrial partners and research organizations to establish a network of connections between CO<sub>2</sub> emitters from continental Europe and CO<sub>2</sub> storage sites in the North Sea. The total value of the project was EUR 18 million. As part of this project, a low temperature technology will be tested to capture CO<sub>2</sub> after the combustion process, with the use of enzymes and waste heat at the Góraźde cement plant. The testing of this pilot will take place over 6 months and is likely to start in 2023. The aim of this research is to test the possibilities of reducing the costs of the capture process and, if the test results are favorable, an industrial scale installation will be implemented. What remains to be solved is the further treatment of CO<sub>2</sub> after its capture in the installation, taking into account the transmission infrastructure, its storage, or management.

As part of the **Catch4climate** project at the cement plant in Mergelstetten in southern Germany, there are plans to build and operate a test installation on a semi-industrial scale, using the so-called oxy-fuel process for CO<sub>2</sub> separation. Pure oxygen is injected into the cement kiln instead of air, resulting in a highly concentrated CO<sub>2</sub>, which facilitates its capture from the exhaust gas. CO<sub>2</sub> obtained in Mergelstetten is to be used in the future for the production of the so-called “ReFuels”, i.e. climate-neutral synthetic fuels such as aviation fuel, using renewable energy sources.

#### 4. Post-capture CO<sub>2</sub> management – CCU

The use of CO<sub>2</sub> in various chemical processes, e.g. the production of polymers by reaction with hydrogen, solvents, methanol synthesis, algae cultivation, or the use of small amounts in the food industry, are more preferred solutions compared to its storage in geological structures or under the seabed.



wodorem w rafinerii do produkcji węglowodorów syntetycznych (np. jako paliwo lotnicze lub metanol). Planuje się, że wodór może być także wykorzystany w sieciach gazowych. W projekcie analizuje się również, wykorzystanie tlenu pochodzącego z elektrolizy wody, do procesu spalania w piecu cementowym.

Do absorpcji CO<sub>2</sub> można również wykorzystywać hodowlę glonów, a powstałą biomasę odpowiednio zagospodarować. W ramach przemysłowego projektu badawczego **CimentAlgue** francuska grupa Vicat współpracuje z AlgoSource Technologies, TotalEnergies i Uniwersytetem w Nantes, który ma na celu wykorzystanie CO<sub>2</sub> i ciepła odpadowego z produkcji cementu do fotokatalitycznej produkcji mikroalg. Projekt otrzymał wsparcie finansowe od Francuskiej Agencji ds. Środowiska i Zarządzania Energią w 2014 r. Badania wykazują, że mikroalgi zużywają od 5 do 10 razy więcej CO<sub>2</sub> na metr kwadratowy niż rośliny lądowe. Uprawy mikroalg są prowadzone w szklarniach, które zapewniają regulację temperatury i ochronę przed zanieczyszczeniami. Ciepło odpadowe z pieca cementowego jest wykorzystywane do podgrzewania wody, do systemów ogrzewania stawów. W projekcie zastosowano kilka technologii upraw alg: otwarte i zamknięte stawy przepływowe, fotobioreaktor rurowy i fotobioreaktor cienkowarstwowy.

Technologia zastosowana w tych badaniach została wcześniej zweryfikowana na mniejszą skalę w ramach prób z platformą AlgoSolis, prowadzoną przez Uniwersytet w Nantes i francuskie Narodowe Centrum Badań Naukowych [CNRS]. Instalację demonstracyjną o powierzchni 800 m<sup>2</sup> zainstalowano w cementowni Vicat Montalieu-Vercieu. Badanie różnych szczepów mikroalg, takich jak np. spirulina, ma doprowadzić do opracowania produktów rynkowych. Lipidy, białka i cukry, które można z nich wyekstrahować, można wykorzystać w paszach dla zwierząt, jako biostymulatory roślin lub do produkcji materiałów pochodzenia biologicznego itp. Szczepy mikroalg oleistych o potencjalnie wysokim tempie wzrostu, będą również badane pod kątem produkujących biopaliwa trzeciej generacji.

W projekcie **Recode** [Recycling carbon dioxide in the cement industry to produce added-value additives: a step towards a CO<sub>2</sub> circular economy] bada się możliwości wykorzystania CO<sub>2</sub> wychwyconego ze spalin z obrotowego pieca cementowego do syntezy takich produktów, jak kwas mrówkowy, kwas szczawiowy i glicynę. Mogą one być stosowane odpowiednio jako substancje przyspieszające hydratację cementu, środki pomocnicze do mielenia lub dodatki do cieczy jonowych. W tym projekcie przewiduje się także produkcję CaCO<sub>3</sub> w postaci nanoproszków, które można zastosować jako wypełniacze w betonie, poprawiając jego wytrzymałość przy mniejszym udziale cementu. Konsorcjum RECODE składa się z 13 partnerów zarówno z przemysłu, jak i ośrodków badawczych i wyższych uczelni z 6 różnych krajów Unii Europejskiej [Belgia, Niemcy, Grecja, Włochy, Litwa, Holandia].

Kolejny projekt **FastCarb**, który rozpoczął się w 2018 roku, to wspólny projekt badawczo-rozwojowy sponsorowany przez rząd francuski z 22 podmiotami przemysłowymi i akademickimi, w którym uczestniczy grupa LafargeHolcim i Cemex. Jego celem jest

In the **WestKüste 100** project, the captured CO<sub>2</sub> can be used to make new products, such as aviation fuel. In Schleswig-Holstein, Germany, the energy company EDF Germany, the Holcim Germany group, OGE, Ørsted, Raffinerie Heide, Stadtwerke Heide, Thyssenkrupp Industrial Solutions and Thüga, together with the Region Heide development agency and the Westküste University of Applied Sciences, created the cross-industry partnership "Westküste 100". In early April 2019, the concept "Westküste 100" was submitted as a proposal in an idea competition organized by the Federal Ministry of Economy entitled "Real-world laboratories supporting the energy transition". A 30 MW water electrolysis plant is to be pre-installed over the five years of the project. This installation will be the basis for the development of a larger electrolysis installation - in the order of 700 MW, for which electricity will be generated by an offshore wind farm. Carbon dioxide from the cement plant is to be used as a feedstock along with green hydrogen in a refinery for the production of synthetic hydrocarbons, e.g. as aviation fuel or methanol. It is planned that hydrogen can also be used in gas networks. The project also analyzes the use of oxygen from water electrolysis, for the combustion process in a cement kiln.

Algae cultivation can also be used to absorb CO<sub>2</sub>, and the resulting biomass can be properly managed. As part of the industrial research project CimentAlgue, the French group Vicat is working with AlgoSource Technologies, TotalEnergies and the University of Nantes to use CO<sub>2</sub> and waste heat from cement production for the photocatalytic production of microalgae. The project received financial support from the French Agency for Environment and Energy Management in 2014. Research shows that microalgae use 5 to 10 times more CO<sub>2</sub> per square meter than terrestrial plants. The cultivation of microalgae is carried out in greenhouses that provide temperature regulation and protection against pollution. Waste heat from the cement kiln is used to heat water for pond heating systems. Several technologies of algae cultivation were used in the project: open and closed flow ponds, a tubular photobioreactor and a thin-film photobioreactor.

The technology used in this research has previously been validated on a smaller scale in trials with the AlgoSolis platform, run by the University of Nantes and the French National Center for Scientific Research [CNRS]. An 800 m<sup>2</sup> demonstration plant was installed at the Vicat Montalieu-Vercieu cement plant. Testing different strains of microalgae, such as, for example, spirulina, is expected to lead to the development of market products. Extractable lipids, proteins and sugars can be used in animal feed, as plant biostimulants or for the production of bio-based materials etc. Strains of oilseed microalgae with potentially high growth rates will also be tested for the production of third-generation biofuels.

The **RECODE** project [Recycling carbon dioxide in the cement industry to produce added-value additives: a step towards a CO<sub>2</sub> circular economy] is investigating the possibility of using CO<sub>2</sub> captured from exhaust gases from a rotary cement kiln to synthesize products such as formic acid, oxalic acid and glycine, which can be used as cement hydration accelerators, grinding aids or

magazynowanie CO<sub>2</sub> w kruszywie betonowym z recyklingu, które ma zdolność karbonatyzacji lepszą niż elementy betonowe w konstrukcjach, ze względu na stopień rozdrobnienia. Do tego celu wykorzystuje się odpowiedni reaktor, w którym spaliny z pieca cementowego przepływają nad rozdrobnionym betonem z recyklingu. Dzięki procesowi karbonatyzacji następuje poprawa jakości tego kruszywa, pod kątem jego ponownego wykorzystania w betonie.

## 5. Podsumowanie

Przedstawione powyżej projekty badawcze są kilkoma wybranymi przykładami z Europy, w których uczestniczą grupy cementowe, ale również partnerzy z innych części świata. W opublikowanej w ubiegłym roku przez Global Cement and Concrete Association – GCCA Mapie Drogowej – „The GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Future” zakłada się, że już w 2030 r. w 10 cementowniach na świecie powinny działać na skalę przemysłową instalacje CCS/U. Zastosowanie tych rozwiązań w przemyśle cementowym pociągnie za sobą w większości przypadków wzrost zużycia energii, ale można założyć, że w przyszłości ta energia będzie głównie pochodzić ze źródeł odnawialnych, a dodatkowo wodór jako paliwo będzie coraz powszechniej stosowany. Zaprezentowane przykłady realizowanych projektów uświadamiają, że dążenie do neutralności emisyjnej w przemyśle cementowym nie zależy wyłącznie od działań podjętych przez sam sektor, np. sieci rurociągów CO<sub>2</sub> nie powstaną z dnia na dzień. Konieczna jest współpraca międzynarodowa, współpraca ośrodków badawczych i naukowych z przemysłem oraz odpowiednie finansowanie badań i wdrożeń, a także przyjazne otoczenie prawne.

## Literatura / References

1. <https://www.chathamhouse.org>
2. [www.cembureau.eu](http://www.cembureau.eu)
3. [www.gccassociation.org](http://www.gccassociation.org)
4. <https://ecra-online.org>
5. <https://www.project-leilac.eu/>
6. <http://www.solcement.certh.gr/>
7. [www.cementa.se](http://www.cementa.se)
8. [www.cleanker.eu](http://www.cleanker.eu)
9. [www.heidelbergcement.com](http://www.heidelbergcement.com)
10. <https://www.worldcement.com/>
11. [www.westkueste100.de](http://www.westkueste100.de)
12. [www.vicat.com](http://www.vicat.com)
13. <https://recodeh2020.eu/>
14. [www.fastcarb.fr](http://www.fastcarb.fr)

additives for ionic liquids, respectively. This project also provides for the production of CaCO<sub>3</sub> in the form of nanopowders that can be used as fillers in concrete, improving its strength parameters with a lower cement share. The RECODE consortium consists of 13 partners from industry, research centers and universities from 6 different countries of the European Union [Belgium, Germany, Greece, Italy, Lithuania, the Netherlands].

Another FastCarb project, which started in 2018, is a joint research and development project sponsored by the French government with 22 industrial and academic entities, in which the Lafarge-Holcim group and Cemex participate. Its purpose is to store CO<sub>2</sub> in recycled concrete aggregate, which has a better carbonation capacity than concrete elements in structures, due to the degree of fragmentation. A suitable reactor is used for this purpose, in which the flue gases from the cement kiln flow over the fragmented recycled concrete. Due to the carbonation process, the quality of this aggregate is improved in terms of its reuse in concrete.

## 5. Conclusion

The research projects presented above are a few selected examples from Europe involving cement groups, but also partners from other parts of the world. In the Roadmap for Net Zero Future published last year by the Global Cement and Concrete Association – GCCA – “The GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Future”, it is assumed that in 2030, 10 cement plants in the world should operate on an industrial scale CCS/U. The use of these solutions in the cement industry will in most cases entail an increase in energy consumption, but it can be assumed that in the future this energy will mainly come from renewable sources and, additionally, hydrogen as a fuel will be more and more commonly used. The presented examples of implemented projects show that the pursuit of emission neutrality in the cement industry does not depend solely on actions taken by the sector itself, e.g. CO<sub>2</sub> pipeline networks will not be built overnight. It is necessary to have international cooperation, cooperation of research and scientific centers with the industry as well as appropriate financing of research and implementation, also a friendly legal environment.