

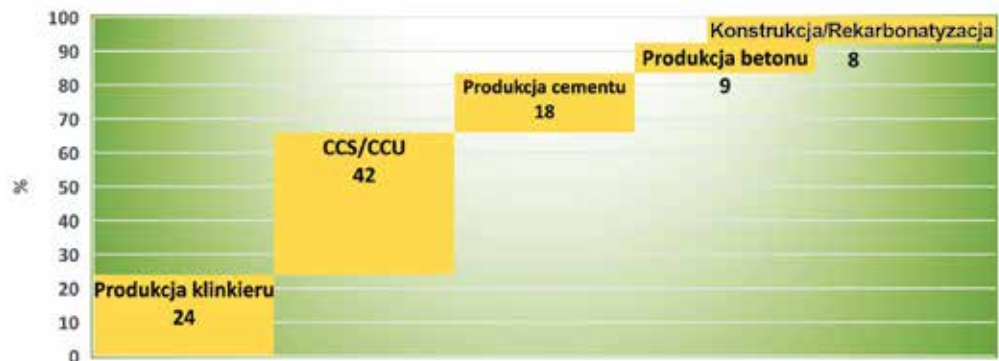
Nowa norma 197-5 krokiem w kierunku dekarbonizacji

Nowa norma EN 197-5 wprowadza kilka dodatkowych rodzajów cementu, umożliwiając większą substytucję klinkieru portlandzkiego w cemencie, co z pewnością wpisuje się w działania na rzecz ochrony klimatu i dekarbonizacji materiałów budowlanych.

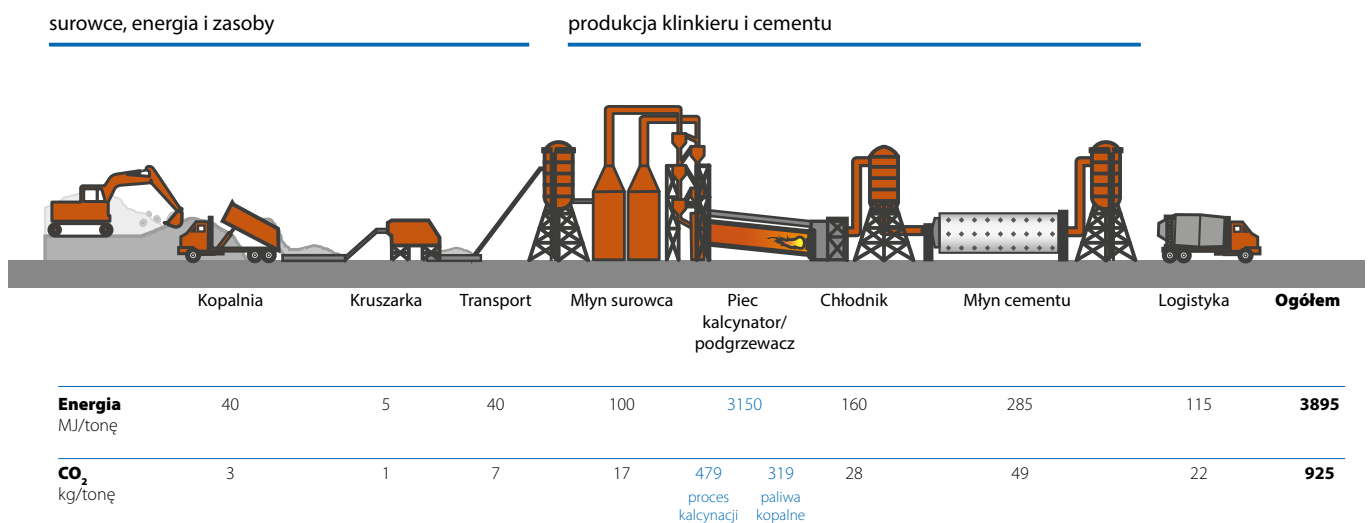
Ukazanie się nowej normy EN 197-5 Część 5: Cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/C-M i cement wieloskładnikowy CEM VI jest warunkiem wstępnym do wprowadzenia na rynek nowych, niskoemisyjnych rodzajów cementu o obniżonej zawartości klinkieru portlandzkiego i siłą napędową zwiększonego popytu na bardziej ekologiczne spoiwa. Norma ta ma charakter uzupełniający w zakresie asortymentu cementów zdefiniowanych w zharmonizowanej normie EN 197-1 i dotyczy cementów nieobjętych tą normą. Nie jest to norma zharmonizowana, co oznacza, że pozwala na wprowadzanie do obrotu wyłącznie w krajowym systemie poprzez znakowanie znakiem budowlanym. Norma EN 197-5 wprowadza kilka dodatkowych rodzajów cementu, umożliwiając większą substytucję klinkieru portlandzkiego w cemencie, co z pewnością wpisuje się w działania na rzecz ochrony klimatu i dekarbonizacji materiałów budowlanych.

Historia cementu portlandzkiego to historia sukcesu materiału, którego pojawienie się na rynku wpłynęło na rozwój cywilizacji. Realizacja imponujących projektów mostów, drapaczy chmur, wieżowców, dróg, linii kolejowych czy zapór wodnych nie miałyby miejsca bez betonu, którego produkcja była możliwa dzięki wynalezieniu ponad 200 lat temu cementu portlandzkiego. Od lat siedemdziesiątych produkcja cementu na świecie wzrosła z poziomu 500 mln ton rocznie do ponad 4 mld i wzrost ten był znacznie wyższy niż w przypadku innych materiałów konstrukcyjnych. Przewiduje się, że do roku 2050, wraz z rosnącą liczbą ludności na świecie i urbanizacją, produkcja cementu może wzrosnąć o kolejne 20%. W dzisiejszych czasach beton jest zdecydowanie najpowszechniej stosowanym materiałem budowlanym na świecie (drugim po wodzie) i prawdopodobnie nadal pozostanie najbardziej preferowanym materiałem konstrukcyjnym na świecie – ponieważ jest tani, łatwy w użyciu, o wszechstronnym zastosowaniu i dostępny lokalnie, a dodatkowo ma niską emisyjność. Ponadto, obecnie nadal nie ma konkurencji w wielu kluczowych zastosowaniach, np. w infrastrukturze, takiej jak mosty czy tamy. Niezależnie od rosnącego zapotrzebowania na cement, coraz mocniejsza presja na dekarboni-

Rys. 1. Potencjał redukcyjny w całym łańcuchu wartości cementu i betonu do roku 2050 (źródło: Cembureau)



Rys. 2. Schemat poglądowy procesu produkcji cementu

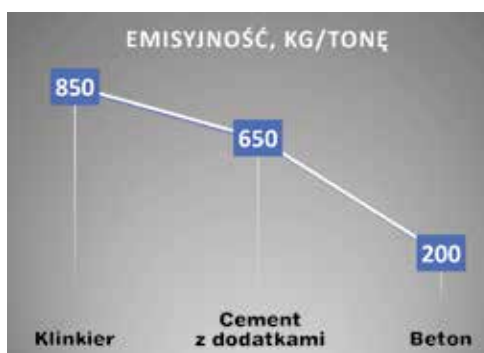


zaczę produkcję cementu zmusza producentów do poszukiwania różnych, innowacyjnych rozwiązań w całym łańcuchu dostaw, aby sprostać temu wyzwaniu. Produkcja cementu jest odpowiedzialna za około 5% emisji CO₂ na świecie. Nowoczesne, efektywne energetycznie technologie produkcji cementu nie pozostawiają zbyt dużo możliwości poprawy parametrów emisyjnych, stąd przeważająca część redukcji będzie musiała pochodzić z innowacji technologicznych i produktowych.

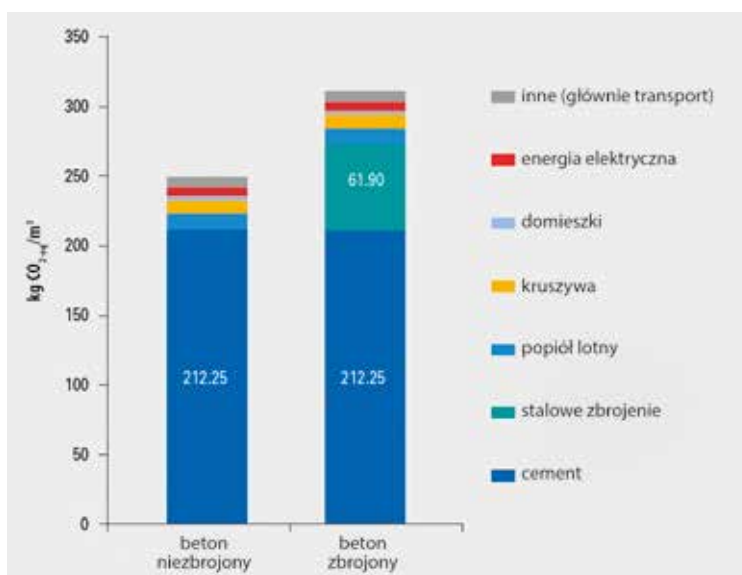
Wychodząc naprzeciw wyzwaniom wynikającym z Europejskiego Zielonego Ładu w maju ubiegłego roku Europejskie Stowarzyszenie Cementowe Cembureau opublikowało Mapę Drogową do 2050 pt. Spajamy Europejski Zielony Ład, analizując możliwości redukcyjne w całym łańcuchu dostaw. Analiza ta obejmuje kilka etapów – od wydobycia surowców, produkcji klinkieru portlandzkiego, cementu i mieszanki betonowej, po powstanie konstrukcji, jej eksploatację i następnie rozbiórkę, przy czym rozbiórka konstrukcji stanowi koniec pierwszego cyklu życia, drugie życie zaczyna się, gdy całe elementy ze starej konstrukcji lub w postaci kruszywa są ponownie użyte. Ślad węglowy powinien także uwzględniać szczególną zdolność betonu do pochłaniania CO₂ (rekarbonatyzacja), które ma miejsce podczas użytkowania konstrukcji betonowej lub przez pokruszony beton.

Analiza śladu węglowego w całym cyklu życia betonu wskazuje, że największa ilość CO₂ powstaje przy produkcji klinkieru portlandzkiego. Typowy klinkier portlandzki wypalony w temperaturze 1450°C zawiera w swoim składzie przeważający udział (>60%) krzemianu trójwapniowego (C₃S, alitu), który charakteryzuje się najwyższą energochłonnością i jego synteza wymaga zwiększonego udziału wapienia w zestawie surowcowym. Najprostszym sposobem zmniejszenia śladu węglowego klinkieru byłaby oczywiście redukcja ilości C₃S w jego składzie. Jednakże to właśnie ten związek jest odpowiedzialny za uzyskiwanie wczesnej wytrzymałości mieszanki betonowej. W pewnych zastosowaniach betonu (np. konstrukcjach maszynowych, jak np. tamy) możliwe jest zastąpienie w klinkierze fazy C₃S mniej energochłonną fazą krzemianu dwuwapniowego (C₂S, belitu), co przynosi ponad 10% redukcję emisji CO₂.

Znaczący efekt redukcji emisji CO₂ występuje także przy ograniczeniu ilości klinkieru portlandzkiego w cemencie. Niższa emisja w przypadku redukcji wskaźnika klinkier/cement wynika z jednej strony z mniejszej emisji procesowej pochodzącej z kalcynacji surowców i jednocześnie z niższego zapotrzebowania ciepła do wytworzenia minerałów klinkierowych. Tradycyjny cement portlandzki bez dodatków zawiera w swoim składzie > 90% klinkieru portlandzkiego i jest głównie wytwarzany z kamienia wapiennego, który występuje w dużych ilościach w przyrodzie. Obecnie, wyprodukowanie 1 tony klinkieru wymaga średnio 3,7 GJ ciepła i powoduje emisję około 850 kg CO₂, tak więc zastąpienie każdej tony klinkieru w cemencie może stanowić istotny efekt środowiskowy. Z drugiej strony trzeba pamiętać, że redukcja udziału klinkieru w cemencie pociąga za sobą zmianę parametrów cementu i ostatecznie wpływa na właściwości końcowego wyrobu konstrukcyjnego – betonu.



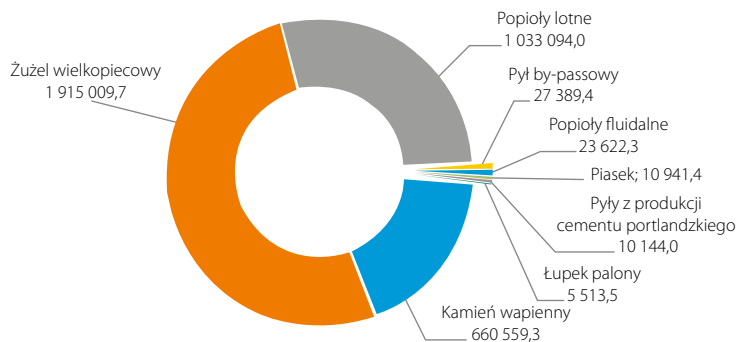
Rys. 3. Zmiana emisyjności w cyklu produkcyjnym



Rys. 4. Wpływ produkcji betonu na efekt cieplarniany

Ilość klinkieru portlandzkiego, który może być zastąpiony w cemencie innymi dodatkami, zależy od rodzaju tych dodatków, klasy betonu i jego zastosowania w danej konstrukcji.

W Mapie Drogowej Cembureau jedną z wielu rozpatrywanych możliwości redukcyjnych w całym łańcuchu wartości jest redukcja wskaźnika klinkier/cement do poziomu 0,65 w 2050 r. To oznacza, że uwzględniając przewidywany wzrost produkcji cementu na świecie o około 20% – z obecnych 4 mld ton do około 4,8 mld – potrzebne będzie około 1,7 mld ton materiałów zastępujących klinkier. Warto sobie uświadomić, że przemysł cementowy już od kilkudziesięciu lat wykorzystuje zdekarbonizowane surowce odpadowe z innych branż, jak energetyka (popioły lotne) czy hutnictwo (żużel wielkopiecowy), zastępując nimi klinkier portlandzki w cemencie. Obecnie w Europie sytuacja w zakresie dostępności tego typu dodatków zaczyna się jednak komplikować z uwagi na fakt, że równolegle z dekarbonizacją materiałów budowlanych również inne sektory przemysłowe, jak energetyczny czy hutniczy, będą realizować cele neutralności emisyjnej. Jest oczywiste, że zamykanie elektrowni opalanych węglem ograniczy podaż popiołu. Co prawda przewiduje się, że produkcja stali będzie rosła, ale coraz wyższe poziomy recyklingu i zmiany w technologii produkcji wpłyną negatywnie na dostępność żużla wielkopiecowego. Żużel wielkopiecowy, który ma aktywność hydrauliczną i ogólny skład podobny do składników klinkieru, od kilkudziesięciu lat jest najlepszym dodatkiem do cementu, porównywalnym pod względem właściwości do klinkieru portlandzkiego. W latach siedemdziesiątych w Polsce, gdy



Rys. 5. Zużycie dodatków odpadowych w produkcji cementu w 2018 r.

produkcja cementu przekraczała 20 mln ton, zużycie żużla wynosiło blisko 4 mln ton rocznie. Obecnie przy produkcji cementu na poziomie 19 mln ton zużycie tego materiału jest dwukrotnie niższe. Zawartość tego składnika cementu zgodnie z normą cementową 197-1 może wynosić w cemencie hutniczym CEM III/A do 65%, w CEM III/B do 80% i w CEM -III/C do 95%. Popiół lotny można dodawać do cementu w ilości do 35%.

Badania nad innymi, alternatywnymi materiałami, które mogłyby efektywnie zastąpić część klinkieru portlandzkiego w cemencie, przy uwzględnieniu ograniczeń co do średniego poziomu tej substytucji w cemencie prowadzone są na świecie od wielu lat. Poszukiwania możliwości zastąpienia klinkieru portlandzkiego w cemencie obejmują szeroki zakres badań. Są to badania:

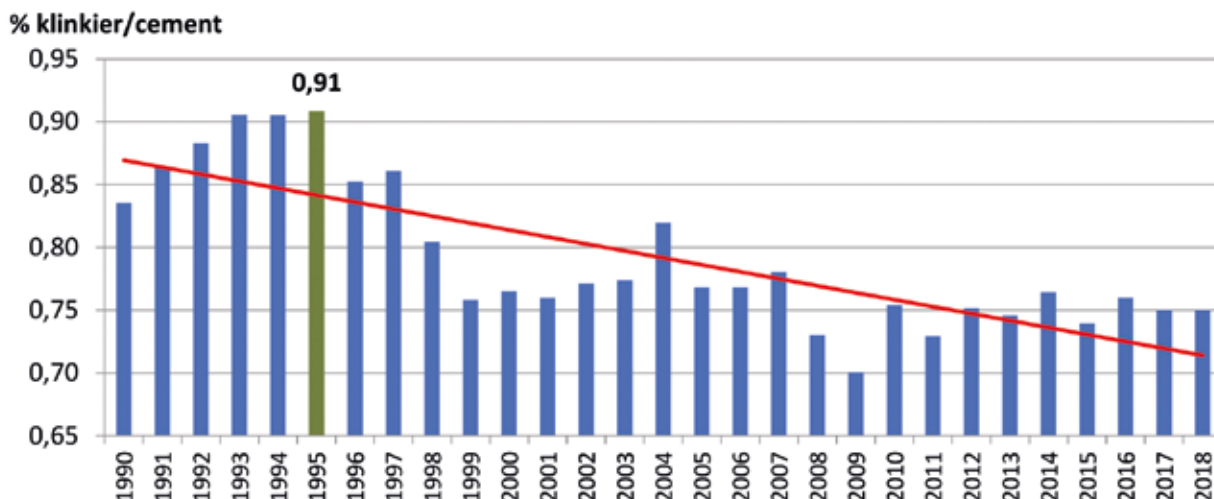
- cementów z udziałem alternatywnych klinkierów, jak np.: klinkier belitowy, klinkier magnezowy czy klinkier zawierający wstępnie uwodnione krzemiany wapnia
- zamienników klinkieru portlandzkiego w cemencie: różnych dodatków odpadowych, żużla granulowanego, popiołów lotnych, osadów przemysłowych, skalcynowanej gliny, gipsu, szkła odpadowego, pyłów krzemionkowych, wapienia, skał wulkanicznych czy łusek ryżowych
- aktywowanych spoiw alkalicznych: aktywowane gliny, geopolimery
- domieszek chemicznych: redukujących ilość wody w zaczynie oraz różnych środków chemicznych działających przyspieszająco/opóźniająco czy napowietrzających.

Oprócz opracowania receptur nowych cementów o obniżonej zawartości klinkieru portlandzkiego, warunkiem wstępnym szerokiego ich wejścia na

rynek jest wprowadzenie odpowiednich przepisów. I właśnie nowa norma EN 197-5 Część 5: Cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/C-M i cement wieloskładnikowy CEM VI jest takim krokiem. Norma określa skład wyszczególnionych rodzajów cementu, i tak dla CEM II/C-M – zawartość klinkieru wynosi 50-64%, a w pozostałej sumie składników głównych [żużel (S), pył krzemionkowy (D), pucolany naturalne (P) i sztuczne (Q), popiół lotny krzemionkowy (V) i wapienny (W), łupek palony (T) i wapień (L, LL)] udział pyłu krzemionkowego jest ograniczony do 6-10%, a udział wapienia (jako suma L i LL) do 6-20%. W grupie CEM VI wymieniono cztery rodzaje cementu – CEM VI (S-P), CEM VI (S-V), CEM VI (S-L) i CEM VI (S-LL), w których zawartość klinkieru ma wynosić 35-49%, zawartość granulowanego żużla 31-59% i pozostałe 6-20% mają stanowić inne oprócz żużla składniki główne, zgodnie z oznaczeniem danego rodzaju cementu. Zawartość wapienia we wszystkich wymienionych w normie rodzajach cementu może dochodzić do 20% masowych. Norma określa również dodatkowe wymagania, w tym wartości graniczne dotyczące zawartości siarczanów (jako SO₃) i chlorków dla poszczególnych klas wytrzymałości cementu.

Możliwość zastosowania w cemencie wapienia w ilości do 35% w CEM II/B czy w cementach z nowej normy w ilości do 20% wynika z poglądu, że wapień ma potencjał do dalszego zastępowania klinkieru w cemencie, stosowanym w zoptymalizowanych recepturach betonu. Produkcja cementów wysokowapiennych w cementowniach może być wdrożona stosunkowo szybko. Wapień ma niewątpliwie zalety jako materiał łatwo dostępny dla większości producentów cementu na całym świecie w wystarczającej ilości i jakości, praktycznie bezpośrednio na terenie zakładu, bez konieczności intensywnego przetwarzania. Istotnym uwarunkowaniem wykorzystania wapienia – tak jak przy stosowaniu innych dodatków jest trwałość betonu, jako kluczowa cecha jego jakości i ważny wymóg dla zrównoważonych konstrukcji. Badania wykazały, że cementy zawierające wapień zwykle wykazują mniejsze zapotrzebowanie na wodę, co prowadzi do lepszej urabialności betonu przy stałym stosunku w/c i wynika to głównie z niższej reaktywności początkowej tych cementów. W doniesieniach literaturowych można znaleźć wyniki badań cementów zawierających nawet do 55% wapienia. Badania prowadzone w różnych ośrodkach badawczych wykazują,

Rys. 6. Zmiana wskaźnika klinkier/cement w przemyśle cementowym w Polsce



45
LAT
1975-2020

ZM
ROPCZYCE S.A.

NOWEJ GENERACJI ROZWIĄZANIA OGNIOTRWAŁE

Optymalne w zakresie jakościowym
i kosztowym dla przemysłu CEMENTOWEGO

STREFY

WYŁOŻONE WYROBAMI NOWEJ GENERACJI

- Niska gazo przepuszczalność - odporność na agresywną korozję chemiczną w piecach obrotowych opalanych dużą ilością paliw alternatywnych
- Podwyższona wytrzymałość na zginanie w wysokich temperaturach - piece o obciążeniu mechanicznym.



ISO 9001:2015 | ISO 14001:2015 | PN-N 18001:2004

Więcej informacji na stronie
www.ropczyce.com.pl

Zakłady Magnezytowe
"ROPCZYCE" S.A.
Postępu 15c
02-676 Warszawa, Polska

Rys. 7. Trendy patentowe w głównych obszarach niskoemisyjnych technologii w sektorze cementowym. Obecnie, ponad połowa tych patentów jest zarejestrowana w Chinach (źródło: Chatham House Report)



że negatywny wpływ wysokiego udziału wapienia w cemencie na trwałość betonu, można w dużym stopniu skompensować gęstszą mikrostrukturą poprzez zmniejszenie współczynnika w/c. Wnioski płynące z tych badań wskazują, że mając odpowiednią wiedzę na temat produkcji betonów nisko-, wysoko- i ultrawysokowytrzymałych przy użyciu dostępnych od wielu dziesięcioleci odpowiednich środków chemicznych, nie powinno być przeszkód dla produkcji na większą skalę betonów bogatych w wapień. Większość dzisiejszych betonów, z których produkuje się np. pewne elementy konstrukcyjne, mogłyby być produkowane z cementów bogatych w wapień w połączeniu z niskim stosunkiem w/c.

Inną możliwość produkcji cementów niskoklinkierowych, która była przedmiotem intensywnych badań w ostatnich latach, jest użycie kalcynowanej gliny jako składnika cementu. Minerale ilaste muszą być poddane obróbce termicznej, ale w znacznie niższej temperaturze (ok. 700°C), aby przekształcić je w materiał pucolanowy. Ten proces wymaga znacznie mniej energii niż produkcja klinkieru portlandzkiego, a ponadto praktycznie nie ma emisji CO₂ z surowców. Na całym świecie dostępność tego typu materiałów jest duża. W połączeniu z wapieniem mogą zastępować klinkier nawet do 50% w cemencie.

Istotną kwestią, którą należy rozważyć, oprócz warunków technologicznych, jest wprowadzenie do praktyki budowlanej tego typu cementów o obniżonej zawartości klinkieru. Nawet jeśli producenci mogliby z łatwością dostarczać niskoemisyjne cementy czy betony, to należy wziąć pod uwagę, że mogą

się pojawić bariery związane z popytem na tego typu cementy, ponieważ klienci mogą postrzegać nowe produkty jako bardziej ryzykowne, trudniejsze w użyciu czy droższe rozwiązanie.

Jedną z takich barier po stronie popytu jest wpływ obniżonej zawartości klinkieru na właściwości betonu, w szczególności na dłuższy czas wiązania takiego cementu niż w przypadku typowego cementu portlandzkiego, co może przysparzać problemów na budowie. Obawy dotyczące wpływu nowych materiałów na parametry betonu, zwłaszcza na tempo narastania wytrzymałości i wymagania dotyczące trwałości, stanowią problem, który wymaga rozwiązania.

Biorąc pod uwagę szeroki zakres różnych zastosowań betonu, jak zaprawy, bloczki betonowe czy beton zbrojony, uzasadnione byłoby dopasowywanie odpowiednich cementów do odpowiednich zastosowań – od cementów niskoemisyjnych po cementy wysokoemisyjne, które byłyby zarezerwowane tylko dla tych zastosowań, w których ich specyficzne parametry są niezbędne. Realizacja takiego podejścia wymaga wdrożenia na dużą skalę cyfrowych systemów produkcji, dzięki którym będzie możliwe bardziej efektywne pod względem zużycia materiałów projektowanie i wykonywanie elementów konstrukcji budowlanej.

Odejście od dominacji cementu portlandzkiego, jako podstawowego składnika we wszystkich rodzajach betonu w kierunku dywersyfikacji cementów w zależności od zastosowań betonu w konstrukcji jest obecnie jedną z najważniejszych dźwigni znaczącej poprawy śladu węglowego przemysłu cementowo-betonowego.

dr inż. Bożena Środa

Stowarzyszenie Producentów Cementu

Literatura:

1. Mapa Drogowa do 2050 pt. Spajamy Europejski Zielony Ład, Europejskie Stowarzyszenie Cementowe Cembureau, maj 2020.
2. ECRA Newsletters, nr 1/2020; 1-2/2021.
3. Nowa norma 197-5 a rynek, D.Bocheńczyk, Budownictwo-Technologie-Architektura nr 2/2020.
4. Mckinsey.com
5. Making concrete change. Innovation in low-carbon cement and concrete, Chatham House Report, 2018.
6. Biuletyn Statystyczny Stowarzyszenia Producentów Cementu, 2021.

Rys. 8. Rodzaje cementów wyprodukowanych w Polsce w 2019 r.

