

Cement jest to spoiwo hydrauliczne, tj. drobno zmielony materiał nieorganiczny, który po zmieszaniu z wodą wiąże i twardnieje w wyniku reakcji i procesów hydratacji, a po stwardnieniu pozostaje wytrzymały i trwały, zarówno w powietrzu, jak i w wodzie. Jest najpowszechniej stosowanym spoiwem w produkcji betonu – podstawowym materiałem budowlanym w światowym budownictwie.

Produkcja cementu to złożony proces przemysłowy (rys. 1), na który składa się 5 głównych operacji technologicznych:

- wydobycie surowców (rozkruszanie i transport),
- obróbka surowców (składowanie, homogenizacja, suszenie, mielenie),
- wypalanie klinkieru,
- mielenie cementu,
- przechowywanie, pakowanie i wysyłka cementu.

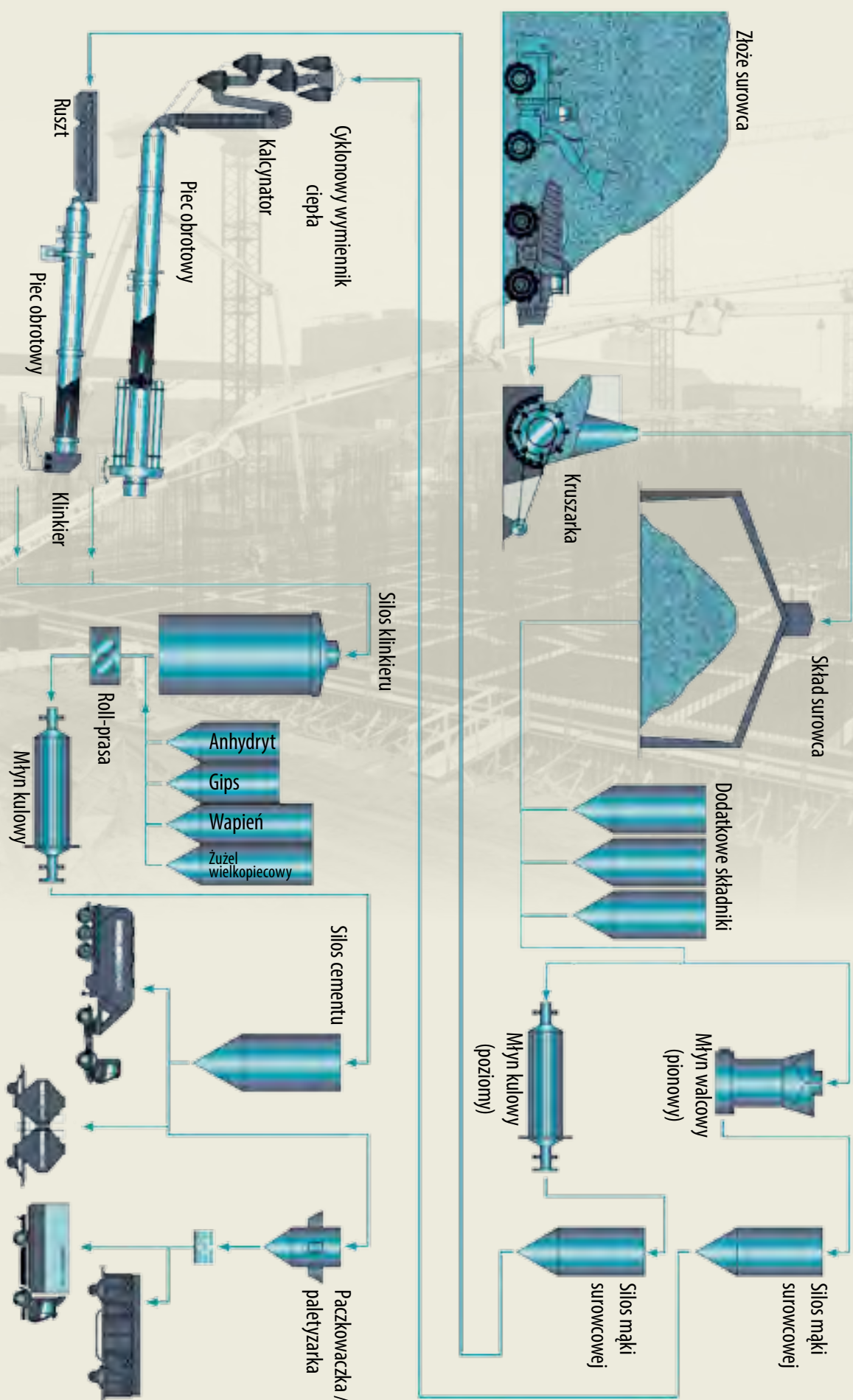
Współcześnie dominuje sucha metoda produkcji klinkieru cementowego – podstawowego składnika cementu. W metodzie tej, homogenizacja surowca następuje w specjalnym mieszalniku, ruchem wymuszonym pod wpływem sprężonego powietrza.

Surowcami do produkcji klinkieru cementowego są kopaliny naturalne, takie jak:

- wapień,
- wapień marglisty,
- margiel,
- glina.

Są to surowce zasobne w nośniki tlenków  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  oraz zawierające znaczne ilości  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Do korekcji składu surowcowego wykorzystuje się także łupek, pucolany, surowce żelazonośne, piasek, a także surowce odpadowe z innych gałęzi przemysłu: żużel hutniczy, popioły lotne, pyły wielkopiecowe, wysiewki sydereytowe.

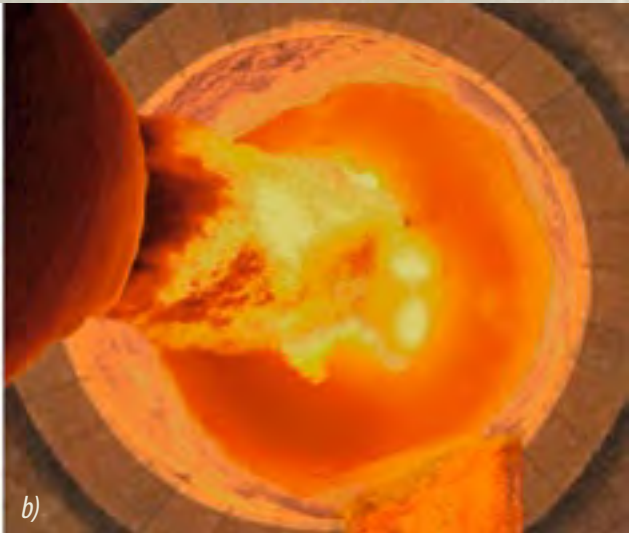




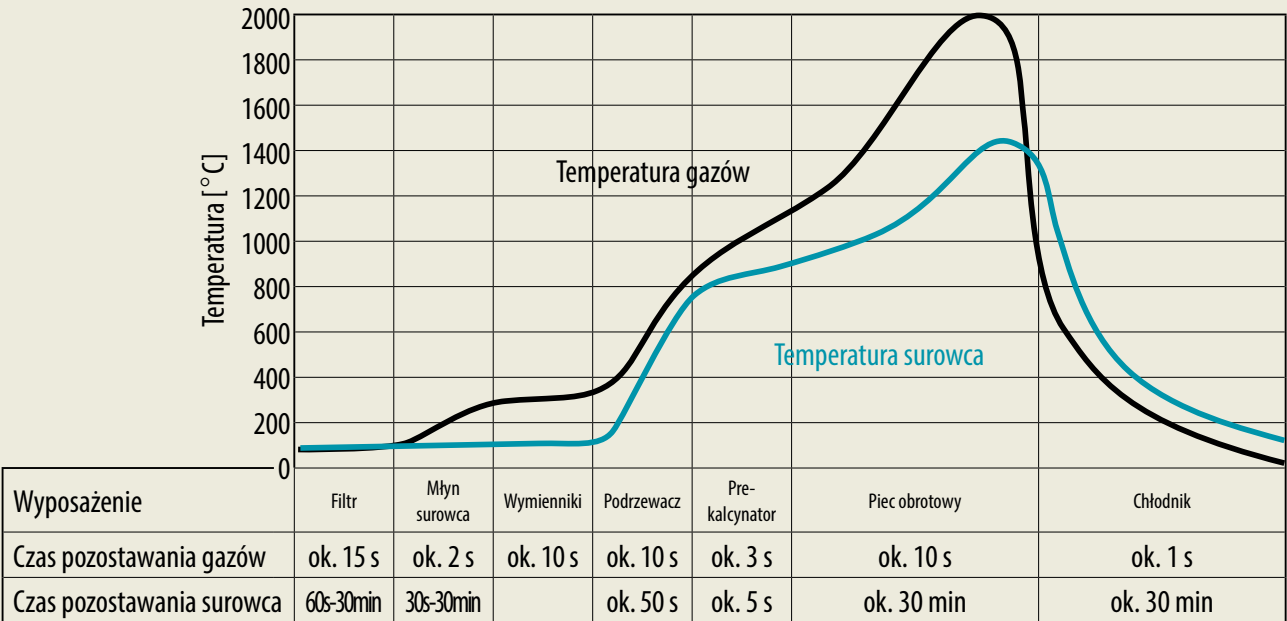
Rys. 1. Schemat produkcji cementu



Przygotowanie zestawu surowcowego do wypału klinkieru portlandzkiego jest jedną z ważniejszych operacji w całym procesie technologicznym produkcji cementu. Utrzymanie zadanego, stałego składu mąki surowcowej jest podstawą otrzymania dobrego półproduktu - klinkieru portlandzkiego. W pierwszej kolejności należy zestawić w odpowiednich proporcjach surowce, które po bardzo drobnym zmieleniu i uśrednieniu (homogenizacji), przechodzą przez układ pogrzewaczy (cyklonowych wymienników ciepła), po czym trafiają do pieca, gdzie następuje spiekanie, w efekcie uzyskuje się klinkier cementowy (w postaci twardych spieczonych grudek). Proces wypału mąki surowcowej prowadzi się w piecu obrotowym. W strefie spiekania temperatura surowca osiąga 1450°C (rys. 2a), temperatura płomienia i gazów sięga blisko 2000°C (rys. 2b). Materiał w strefie wysokich temperatur (powyżej 800°C) przebywa, w zależności od konstrukcji pieca, ok. 30 minut (rys. 3). Klinkier cementowy na wyjściu z pieca ma temperaturę ok. 900÷1300°C. Następnie poddawany jest intensywnemu chłodzeniu do temperatury ok. 100°C.

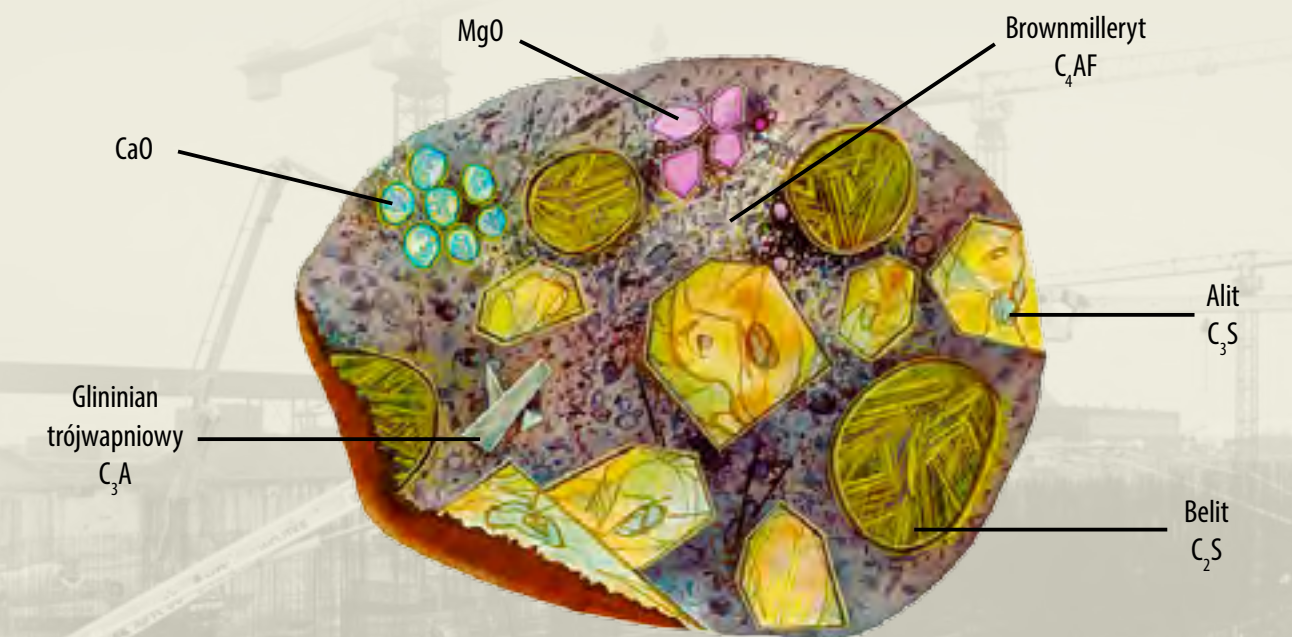


Rys. 2. Widok wnętrza pieca cementowego a) widok na surowiec, b) widok na palnik

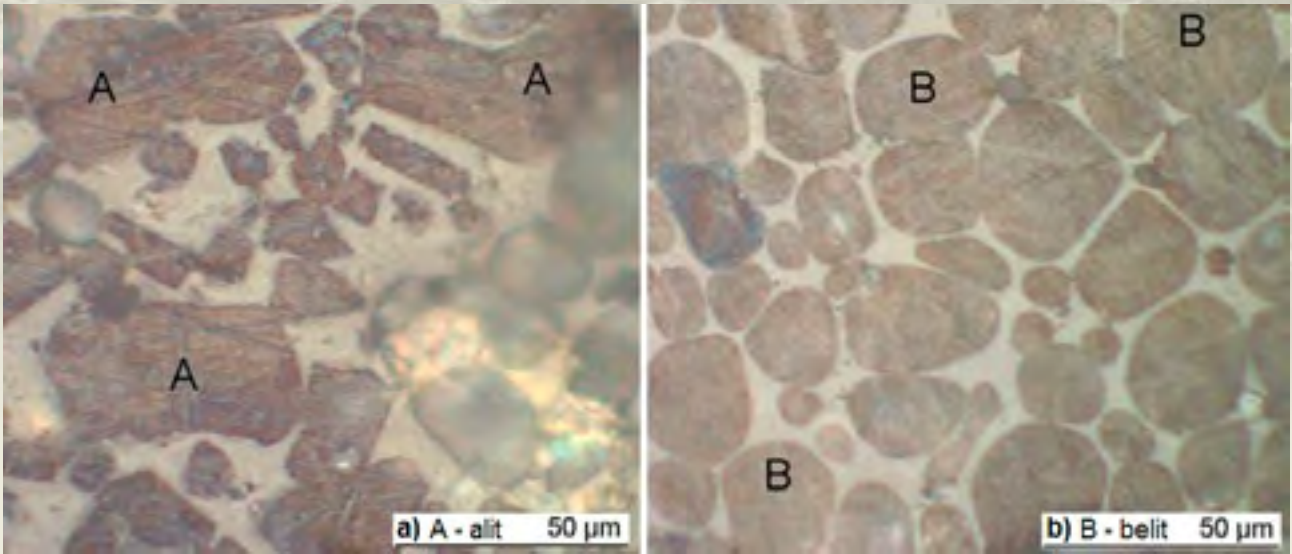


Rys. 3. Temperatura gazów i czas przebywania materiału i gazów w piecu cementowym

Wypalony klinkier portlandzki, zawierający cztery podstawowe fazy klinkierowe (rys. 4, 5), nazwy i wzory chemiczne zamieszczono w tabeli 1.



Rys. 4. Obrazowe przedstawienie przekroju poprzecznego ziarna klinkieru portlandzkiego



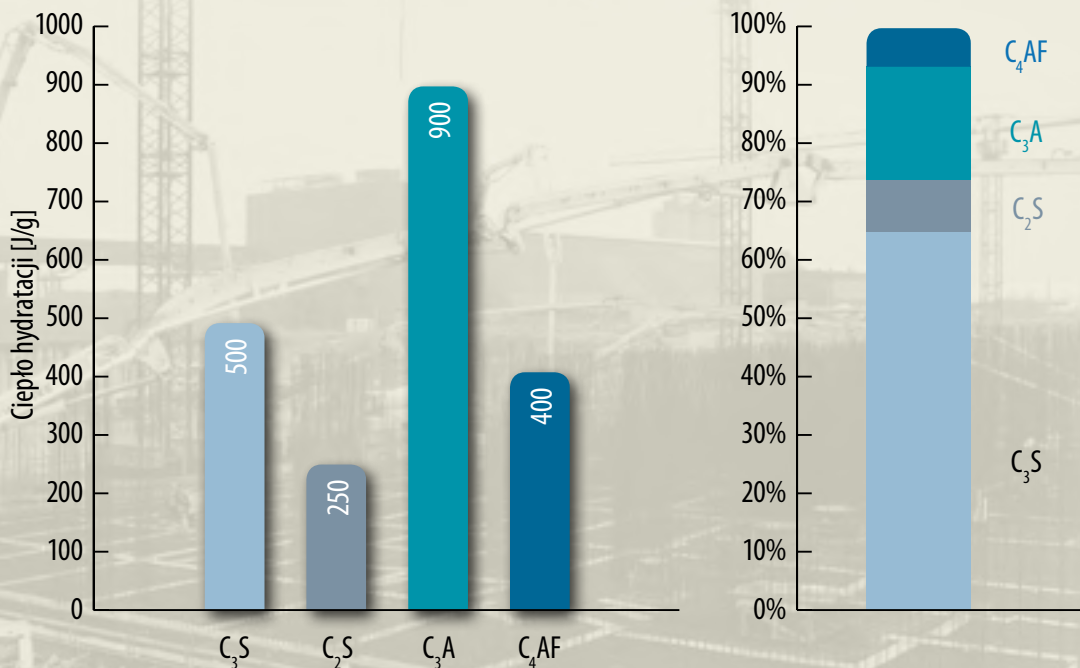
Rys. 5. Mikrostruktura ziarna klinkieru portlandzkiego a) wyraźnie ukształtowane kryształy alitu, b) zaokrąglone kryształy belitu (zdjęcia z mikroskopu optycznego)

Tabela 1. Główne składniki mineralne (fazowe) klinkieru portlandzkiego.

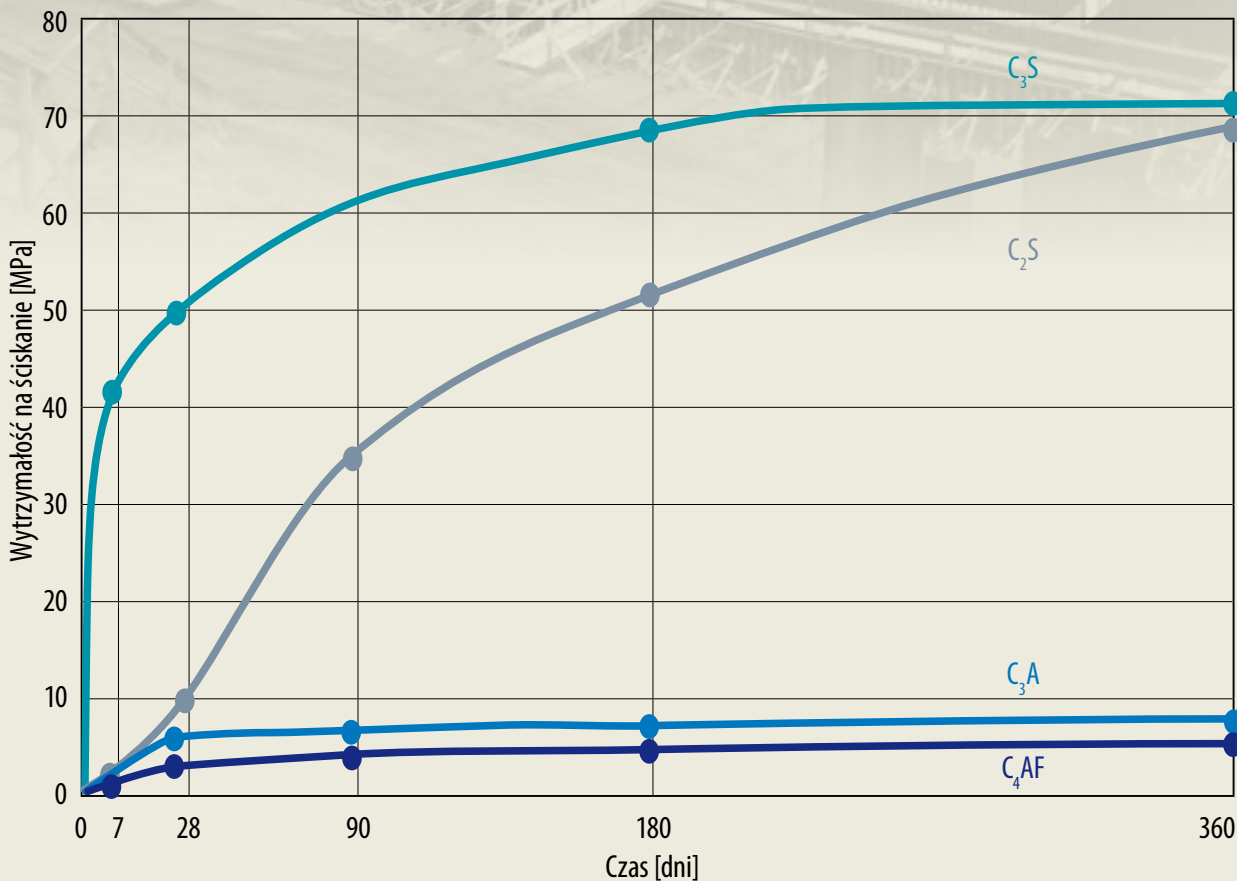
Nazwa	Wzór chemiczny	Zapis skrótowy
Alit (krzemian trójwapniowy)	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Belit (krzemian dwuwapniowy)	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Glinian trójwapniowy	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Brownmilleryt (żelazoglinian czterowapniowy)	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$
$\text{CaO} - \text{C}, \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{A}, \text{SiO}_2 - \text{S}, \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{F}$		



Zawartość poszczególnych faz klinkierowych ma wpływ na przebieg procesu hydratacji. Reakcja cementu (klinkieru) z wodą ma charakter egzotermiczny, tzn. przebiega z wydzieleniem znacznych ilości ciepła. O wielkości sumarycznego efektu cieplnego decyduje udział alitu i glinianu trójwapniowego (rys. 6). Alit i belit są fazami odpowiadającymi za narastanie wytrzymałości (rys. 7). We wczesnym okresie hydratacji, z uwagi na wytrzymałość, kluczowa jest obecność alitu, o wytrzymałości w dłuższym okresie czasu decyduje z kolei zawartość belitu. W składzie klinkieru, w ilościach niewielkich lub śladowych, obecne mogą być także składniki mineralne, tj.: wolne wapno ( $\text{CaO}_w$ ), peryklaz ( $\text{MgO}$ ), siarczany alkaliczne ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ).



Rys. 6. Wpływ poszczególnych faz klinkierowych na ciepło hydratacji



Rys. 7. Wpływ poszczególnych faz klinkierowych na wytrzymałość na ściskanie

Klinkier, po ostudzeniu, mieli się w młynie kulowym lub pionowym, z dodatkiem, najczęściej gipsu ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), jako regulatora czasu wiązania, na bardzo drobny proszek. Produktem jest cement portlandzki CEM I.

Możliwe jest również wprowadzenie do składu cementu innych składników głównych, poza klinkierem portlandzkim, tj.:

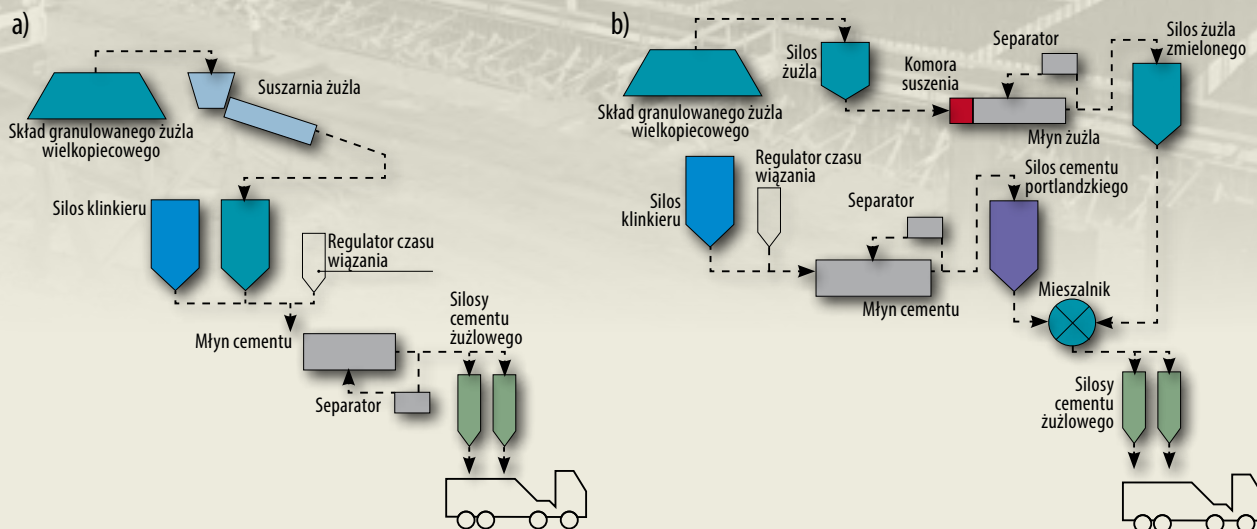
- granulowanego żużla wielkopiecowego,
- pucolany (naturalnej, naturalnej wypalanej),
- popiołów lotnych (krzemionkowych, wapiennych),
- łupka palonego,
- wapienia,
- pyłu krzemionkowego.

Produktem są cementy: portlandzkie wieloskładnikowe CEM II, hutnicze CEM IV, pucolanowe CEM IV lub wieloskładnikowe CEM V.

Cementy wieloskładnikowe można produkować dwiema metodami, przez wspólny przemiał lub mieszanie składników. Na rys. 8 przedstawiono schemat produkcji cementu na przykładzie cementu zawierającego granulowany żużel wielkopiecowy jako składnik główny.



Końcowy produkt – cement – jest magazynowany w silosach cementowych, a następnie transportowany na stanowisko pakowania (do worków) lub wysyłany luzem (cementowozy, wagony kolejowe) do odbiorców końcowych.



Rys. 8. Schemat produkcji cementu żużlowego a) metoda wspólnego przemiału składników, b) w układzie susząco-mielącym z mieszalnikiem



Rys. 9. Cementy workowane w ofercie Góraźde Cement S.A.