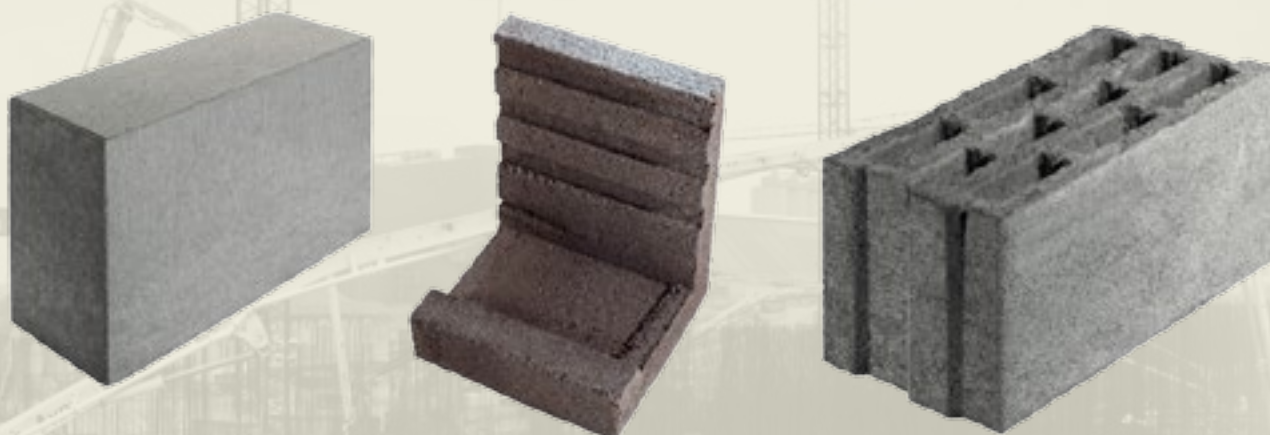
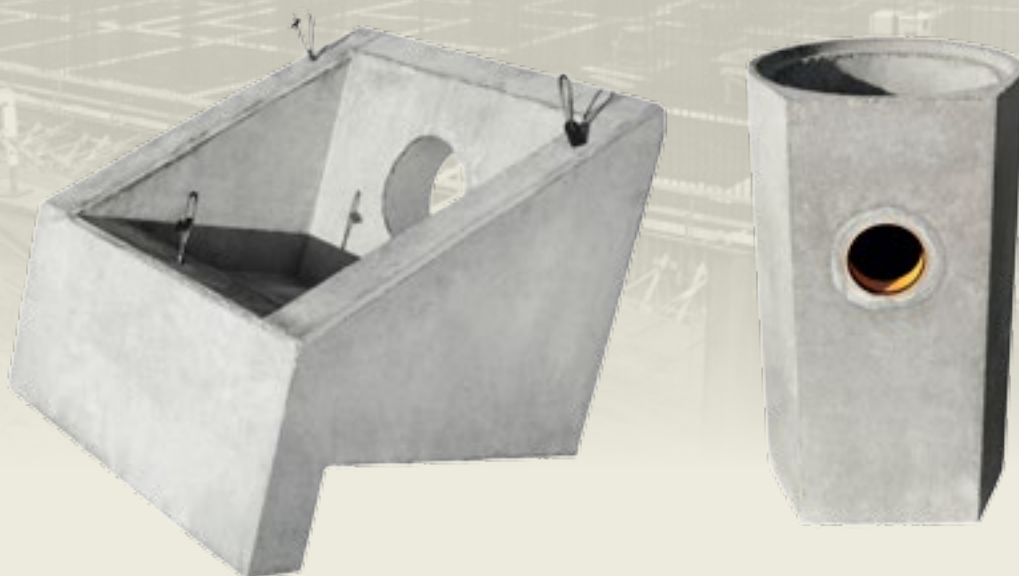


Technologia produkcji betonowych elementów prefabrykowanych, ze względu na możliwość wyspecjalizowania się zakładów w określonym typie wyrobów, pozwala na powtarzalność i wysoką jakość produkowanych elementów. Produkcja elementów prefabrykowanych wieloseryjnych pozwala na jednoczesne obniżenie kosztów produkcji. Prefabrykacja obejmuje wiele kategorii wyrobów, w zależności od zastosowania w budownictwie, stopnia wykończenia, rodzaju rozwiązania konstrukcyjnego lub materiałowego. Według rozmiarów i masy elementów można wyróżnić prefabrykaty:

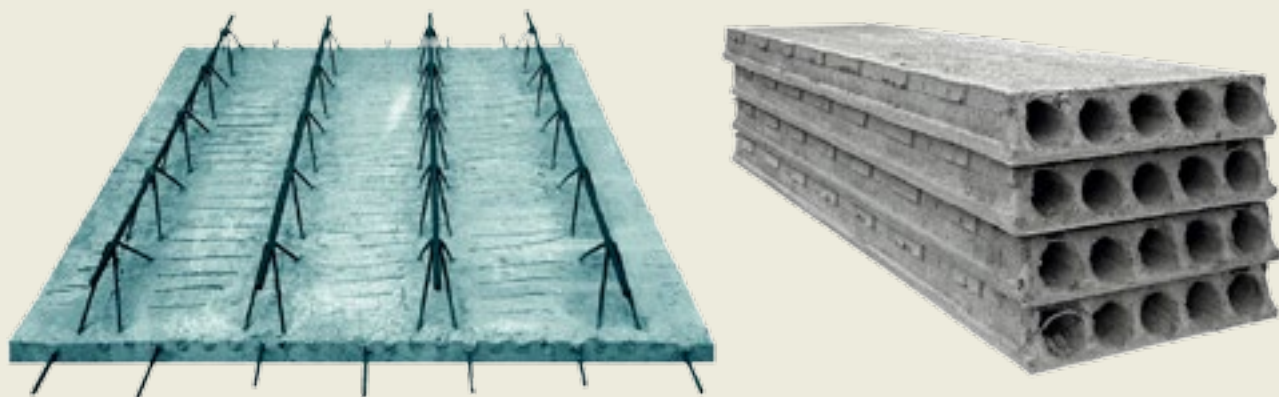
- drobnowymiarowe (rys. 1),
- średniowymiarowe (rys. 2),
- wielkowymiarowe (rys. 3, 4).



Rys. 1. Przykłady prefabrykatów drobnowymiarowych



Rys. 2. Przykłady prefabrykatów średniowymiarowych



Rys. 3. Przykłady prefabrykatów wielkowymiarowych



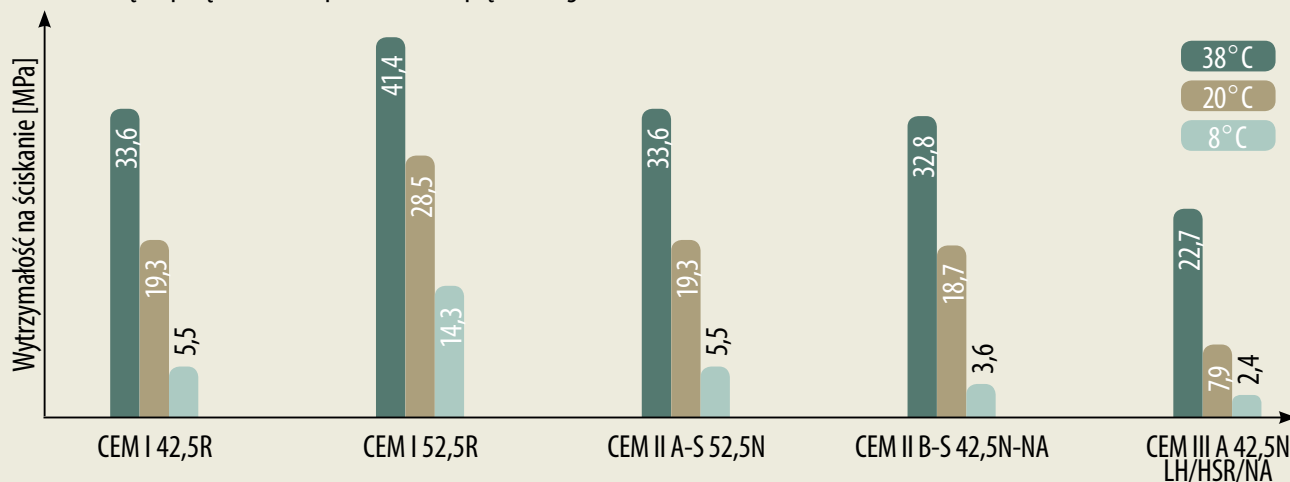
Rys. 4. Produkcja prefabrykatów wielkowymiarowych

Prefabrykacja obejmuje również wiele rodzajów betonu (samozagęszczalny, wibroprasowany, wysokich wytrzymałości, itp.), w zależności od technologii, którą dysponuje zakład produkcyjny oraz od rodzaju elementów. Elementy prefabrykowane są to elementy formowane i dojrzewające poza miejscem ostatecznego wbudowania. Zwykle w halach produkcyjnych lub specjalnie przygotowanych do tego celu pomieszczeniach, tzw. dojrzewalniach. Dzięki temu możliwe jest betonowanie bez względu na warunki atmosferyczne, a rozwój wytrzymałości betonu nie zależy od pory roku.

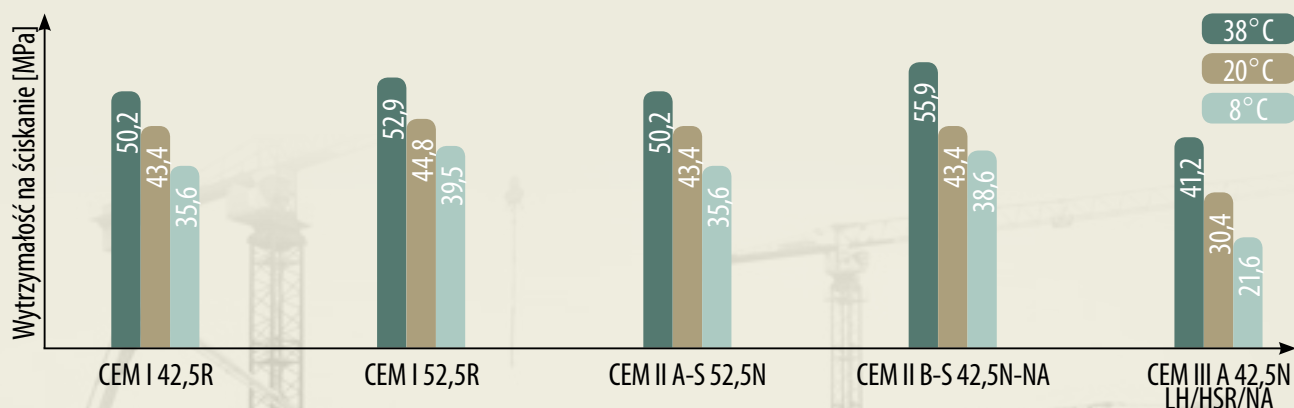
Podniesienie wydajności produkcji przy minimalizacji kosztów wymaga dużej rotacji form, podkładów, możliwości szybkiego ustawiania, zwolnienia naciągu strun (w przypadku prefabrykatów sprężanych), paletyzowania oraz dystrybucji do klienta wyprodukowanych elementów. Związana z tym technologia prefabrykacji dąży do jak najszybszego uzyskania wytrzymałości pozwalających na bezpieczne operacje z wyprodukowanymi elementami.

W tym celu stosuje się:

- cementy o wysokiej wytrzymałości wczesnej (R) i normowej (klas 42,5 lub 52,5)– rys. 5, 6,
- domieszki przyspieszające twardnienie betonu,
- obróbkę cieplną betonu (naparzenie niskoprężne, nagrzewanie),



Rys. 5. Wytrzymałość na ściskanie zapraw cementowych po 24 godzinach, w zależności od temperatury dojrzewania.



Rys. 6. Wytrzymałość na ściskanie zapraw cementowych po 7 dniach, w zależności od temperatury dojrzewania.

Wykorzystuje się powszechnie efekt samoistnego wydzielania ciepła przez dojrzewający beton, związany z egzotermiczną reakcją hydratacji cementu. Zgrupowanie form z dojrzewającymi elementami w ograniczonej przestrzeni (np. spiętrzenie) pozwala w wyniku samoociepnięcia betonu podnieść lokalnie temperaturę otocznia, co przyspiesza dojrzewanie prefabrykatów.

Warunki techniczne, jakim muszą sprostać elementy prefabrykowane ujęte są w normie PN-EN 13369 Wspólne wymagania dla prefabrykatów z betonu, powiązaną w zakresie wymagań materiałowych dla betonu z normą PN-EN 206. Norma PN-EN 13369 ma zastosowanie, przede wszystkim, przy projektowaniu i wytwarzaniu elementów prefabrykowanych, dla których nie ustanowiono do tej pory normy wyrobu (tabela 1) lub też nie przewiduje się dla nich takich norm (np. jednostkowe stosowanie).

Tabela 1. Normy wyrobu dla prefabrykatów i wyrobów betonowych

Prefabrykaty i wyroby betonowe	
PN-EN 13369	Wspólne wymagania dla prefabrykatów
PN-EN 1338	Betonowe kostki brukowe
PN-EN 1339	Betonowe płyty brukowe
PN-EN 1340	Krawężniki betonowe
PN-EN 12839	Elementy ogrodzeń
PN-EN 13198	Elementy małej architektury i ogrodów
PN-EN 1917	Studzienki wążowe i niewążowe
PN-EN 771-3	Elementy murowe z betonu kruszywowego
PN-EN 845-2	Wyroby dodatkowe dla murów. Nadproża
PN-EN 19503 PN-EN 19504	Stropy gęstożebrowe zespolone. Belki. Pustaki

Zakłady prefabrykacji w dużej części wyposażone są we własne, zlokalizowane w pobliżu hali produkcyjnej węzły betonarskie. Nowoczesne, sterowane komputerowo systemy dozowania i mieszania składników, umożliwiają precyzyjne naważanie oraz kontrolę konsystencji mieszanki w trakcie wytwarzania. W wielu węzłach stosowane są elektroniczne mierniki wilgotności dozowanego kruszywa, co umożliwia uzyskiwanie mieszanki o wysokim stopniu powtarzalności. Instalacja podgrzewania kruszywa umożliwia wykonywanie mieszanki betonowej w warunkach zimowych. Dlatego w produkcji prefabrykatów możliwe jest wykorzystanie szczególnie szerokiego zakresu odmian betonów od zwykłych do specjalnych. Wynika to ze stałych warunków produkcji, krótkiego wymaganego czasu utrzymania właściwości roboczych mieszanki betonowej oraz dogodnych warunków betonowania.

Stosowane w prefabrykacji rodzaje betonów:

- **betonokonsystencjiplastycznejcieklej** - do wykonania nieskomplikowanych elementów zwykle średnio i wielkogabarytowych,
- **beton samozagęszczalny** – mieszanka betonowa zagęszcza się samoistnie po zabudowaniu w formie pod wpływem siły grawitacji, wykazuje zdolność do łatwego wypełniania przestrzeni, szczelnego otulenia zbrojenia bez konieczności wibrowania, jest często wykorzystywana w elementach o skomplikowanym kształcie oraz od dużym stopniu zbrojenia, uzyskana powierzchnia jest gładka, wolna od pęcherzów powietrza i „raków”,

- **beton architektoniczny** – powierzchnia o bardzo wysokiej jakości spełniająca nawet najbardziej wymagające standardy estetyczne, w technologii prefabrykacji daje także możliwość uzyskania różnorodnych faktur dzięki zastosowaniu elastycznych tworzyw sztucznych lub drewnianych matryc, płukania (usunięcia wierzchniej warstwy betonu/zaczynu poprzez splukanie i dekoracyjne odsłonięcie kruszywa) czy też obróbki mechanicznej, jak np. szlifowanie lub piaskowanie, beton barwiony w masie uzyskiwany jest przez dodanie nieorganicznych dodatków barwiących do mieszanki betonowej, przy stosowaniu cementów z dodatkiem nanometrycznego TiO_2 otrzymuje się powierzchnie betonu samoczyszczące i redukujące zanieczyszczenia gazowe w środowisku,
- **beton ze zbrojeniem rozproszonym** – zbrojony włóknami syntetycznymi lub stalowymi, stosowany najczęściej w elementach cienkościennych oraz w elementach eksploatowanych w środowisku agresywnym,
- **beton GRC** – (ang. glass fibre reinforced concrete – rys. 7) rodzaj betonu architektonicznego, stosowany zwykle w formie płyt elewacyjnych, dzięki wysokiej zawartości włókien szklanych możliwe jest wykonanie płyt o grubości kilkunastu milimetrów i powierzchni do ok. 8 m^2 ,
- **beton o konsystencji wilgotnej** - stosowany zwykle w prefabrykacji drobno i średniowymiarowej, w elementach wibroprasowanych.



Rys. 7. Produkcja prefabrykowanych płyt GRC

W przypadku mieszanek do betonów prefabrykowanych istotne jest szybkie uzyskanie płynnej konsystencji, a z racji niewielkich odległości pomiędzy mieszalnikiem a miejscem formowania, również sam czas utrzymania konsystencji nie jest tak istotny, jak w przypadku betonu towarowego. Dlatego do mieszanek płynnych stosowane są zwykle domieszki dające szybko duży efekt upłynnienia, z krótkim utrzymaniem konsystencji. Domieszki upłynniające dyspergują ziarna cementu, zwiększając tym samym ich efektywność w przyroście wytrzymałości wczesnej. Poza domieszkami upłynniającymi i plastyfikatorami stosowane są również domieszki napowietrzające, poprawiające mrozoodporność, w przypadku kostki brukowej i elementów z betonu wibroprasowanego stosowane są również w celu poprawienia zdolności do zagęszczenia, np. domieszki na bazie tensydów, pęcherzyki powietrza obecne w mieszance betonowej poza zwiększeniem mrozoodporności poprawiają urabialność i ułatwiają zagęszczenie. Stosowanie domieszek chemicznych ma istotny wpływ na skrócenie czasu zagęszczenia mieszanek betonowych (tabela 1), co zwiększa wydajność maszyny oraz korzystnie wpływa na żywotność urządzeń. W okresach obniżonych temperatur mogą być również stosowane domieszki przyspieszające twardnienie. Zwiększając intensywność wydzielania ciepła hydratacji umożliwiają samoistne podwyższenie temperatury zgrupowanych elementów.

Tabela 1. Metody zagęszczania mieszanek betonowych w prefabrykacji

Metody zagęszczania betonów w prefabrykacji	
Wibratory pogrążalne (buławowe)	Urządzenia przenośne wytwarzające drgania, zagłębiane w mieszance betonowej, powodują jej lokalne zagęszczenie, o zasięgu zależnym od amplitudy i częstotliwości drgań buławowy. Drgania nie są przenoszone na formę, co wpływa na efektywność wykorzystania energii, a ponadto nie powoduje dodatkowego zużycia formy.
Wibrowanie zewnętrzne	Źródłem drgań są wibratory przyczepne mocowane najczęściej do elementów form: podkładu, boków lub szczytów formy, przegród form kasetowych, obejm. Drgania przekazywane są pośrednio na mieszankę betonową, poprzez elementy formy.
Wibrowanie objętościowe na stołach wibracyjnych	Zagęszczenie całej objętości wyrobu w jednym krótkim cyklu wibrowania, przy czym konieczne jest wprowadzenie w drgania całej formy z mieszanką betonową, co czyni proces mniej efektywnym energetycznie oraz wymusza stosowanie bardziej odpornych i masywnych form. Zaletą jest krótki czas operacji zagęszczania i możliwość wykorzystania w potokowej organizacji produkcji. Zalecana konsystencja mieszanki - gęstoplastyczna, plastyczna, ew. półciekła.
Wirowanie	Metoda polega na wprowadzeniu w ruch wirowy urządzenia formującego co powoduje, iż mieszanka betonowa w wyniku działania sił odśrodkowych, układa się po obwodzie formy i zostaje silnie zagęszczona. Zbędna, nie związana woda zarobowa zostaje odprowadzona na zewnątrz urządzenia. Stosowane w produkcji elementów koncentrycznych - rur, słupów itp.
Próżniowanie	Polega na odwodnieniu próżniowym ułożonej mieszanki betonowej za pomocą specjalnych mat filtracyjnych i przenośnych pomp próżniowych z oprzyrządowaniem. Efektem jest wyraźny wzrost wytrzymałości przypowierzchniowych warstw betonu, ich ścieralności i szczelności. Podciśnienie nad powierzchnią mieszanki betonowej powoduje ruch wody ku górze i odprowadzanie jej z powierzchni, po zakończeniu (czas kilka, kilkanaście minut) beton ma wytrzymałość rzędu 0,3 MPa, co pozwala natychmiast przystąpić do robót wykończeniowych.
Wibrobijanie lub wibrowałowanie	Metoda stosowana do mieszanek „suchych”. Składniki mieszanki betonowej znajdują się w stanie trwałego ugniatania, w wyniku którego zbliżają się do siebie wypełniając wolne przestrzenie. Duża częstotliwość ubijaka lub wałowarki wywołuje zjawisko zbliżone do wibrowania w efekcie siły tarcia, kapilarne oraz spójności ulegają zmniejszeniu, w wyniku czego ruch poszczególnych cząstek jest znacznie ułatwiony.
Wibroprasowanie	Proces ma przebieg dwufazowy. Wibroprasowanie polega na poddaniu mieszanki betonowej, umieszczonej na paletach produkcyjnych, oddziaływaniu dwóch procesów: <ul style="list-style-type: none"> wibrowania (wstrząsanie) – elementy mieszanki rozkładają się w sposób jednorodny na palecie, Wibracja zmniejsza również lepkość mieszanki oraz siłę tarcia pomiędzy jej cząsteczkami, prasowania (ściskanie) – przyłożenie siły ściskającej (za pomocą stempla), dzięki przewyciężeniu siły tarcia wewnętrznego mieszanki, skutkuje usunięciem z niej nadmiaru powietrza, w efekcie czego otrzymuje się właściwe zagęszczenie i spistość całej masy.

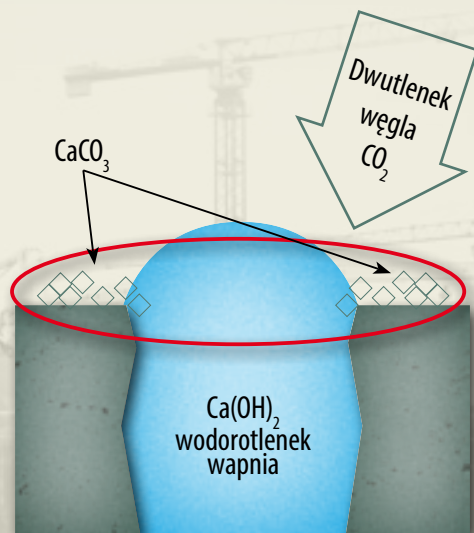
Problemem dotyczącym producentów prefabrykatów betonowych są powstające na powierzchni prefabrykatów wykwit – tabela 2. Szczególnie często powstają one na kostce brukowej (rys. 8) z racji technologii wytwarzania i warunków dojrzewania, natomiast niekorzystne jest ich powstawanie na elementach barwionych, licowych. Powstanie wykwitów nie jest groźne ze względu na trwałość produkowanych elementów, jednak w znaczący sposób obniża jakość produktu ze względów estetycznych.



Rys. 8. Kostka brukowa a) bez wykwitów, b) z widocznymi wykwitami na powierzchni

Główną przyczyną powstawania wykwitów jest proces karbonatyzacji wodorotlenku wapniowego. Proces rozpoczyna się od ujść porów kapilarnych, zamykając je i powstrzymując migrację jonów wodorotlenku na powierzchnię elementu, natomiast jeżeli na świeżym betonie wkropli się wilgoć kondensacyjna lub rosa, wówczas karbonizacja $\text{Ca}(\text{OH})_2$ wystąpi na całej powierzchni (rys. 9), im później powierzchnia świeżego betonu pokryje się warstwą wody, tym słabiej zaznaczą się wykwit pierwotne.

Oprócz wykwitów pierwotnych mogą występować wykwit wtórne, tworzące się zwykle podczas eksploatacji betonu w późniejszym czasie – najlepszym antidotum na powstanie takich wykwitów jest stosowanie dodatków mineralnych (hydrauliczno-pucolanowych) które mogą być również składnikiem cementu. Ich stosowanie przyczynia się do obniżenia porowatości ogólnej oraz przepuszczalności, a także obniża ilość portlandytu $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Innym sposobem eliminacji wykwitów, jest stosowanie domieszek chemicznych o działaniu hydrofobizującym, które zapobiegają podciąganiu kapilarnemu soli rozpuszczalnych na powierzchnię betonu.



Rys. 9. Schemat powstawania wykwitów węglanowych na powierzchni betonu

Tabela 2. Przyczyny powstawania wykwitów na powierzchni elementów prefabrykowanych

Czynniki nasilające powstanie wykwitów	Czynniki zmniejszające prawdopodobieństwo postania wykwitów
Beton pokryty warstwą wilgoci po zagęszczeniu	Opóźnienie zwilżenia powierzchni betonu
Beton poddany działaniom opadów atmosferycznych (deszcz lub śnieg) lub beton intensywnie pielęgnowany wodą	Dojrzewanie w ogrzewanych halach w normalnej temperaturze
Składowanie elementów na palecie w wielu warstwach	Składowanie elementów w jednej warstwie
Wykroplenie wilgoci kondensacyjnej na powierzchni betonu	Czas dojrzewania nie krótszy niż 2 doby
Zbyt duża zawartość zaczynu w mieszance betonowej	Stosowanie dodatków mineralnych do betonu

Zalety stosowania prefabrykowanych elementów betonowych w budownictwie:

- szybkość wznoszenia obiektów z prefabrykatów (dominacja montażu nad robotami „mokrymi” na budowie),
- możliwości optymalizacji jakości i zapotrzebowania materiałowego i energochłonności wytwarzania w warunkach powtarzalnej, certyfikowanej produkcji fabrycznej wobec znacznie bardziej podlegających wpływom losowym, itp. technologii monolitycznych,
- znaczne uniezależnienie prowadzenia robót od warunków pogodowych,
- wyeliminowanie najślabszych stron „starej” prefabrykacji – nowoczesne, trwałe złącza, elastyczne systemy uwzględniające wysokie wymagania estetyczne,
- kształtowanie indywidualne bryły budynku o zróżnicowanym charakterze i programie funkcjonalnym.