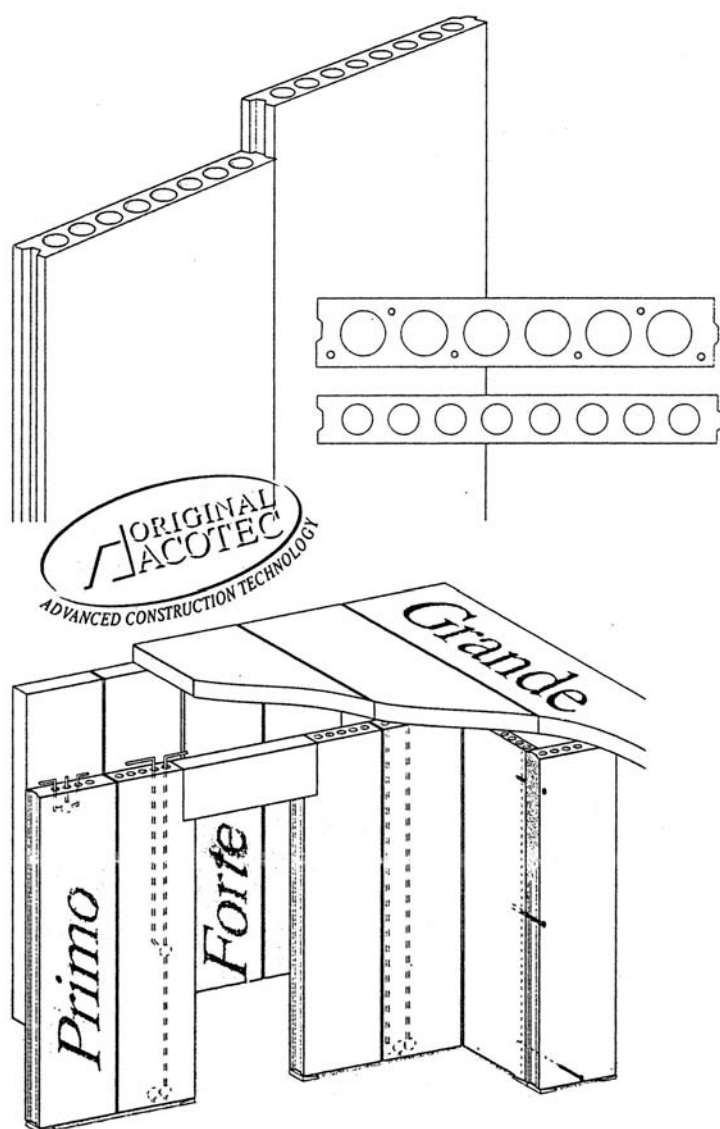


Współczesne możliwości wysoko zautomatyzowanej produkcji prefabrykatów

1. Ustalenia ogólne

Za granicą, w krajach wysoko uprzemysłowionych obserwujemy obecnie zdecydowany rozwój prefabrykacji betonowej – i to odniesiony do różnych rodzajów budownictwa. Dotyczy to zarówno prefabrykatów betonowych, żelbetonowych, jak też sprężonych – głównie strunobetonowych. W odniesieniu do pewnych grup rodzajowych takich prefabrykatów zaobserwować można wyraźne tendencje stosowania produkcji tych wyrobów (często o znacznej nawet masie) bazujących na wysoko zautomatyzowanych rozwiązaniach linii produkcyjnych.

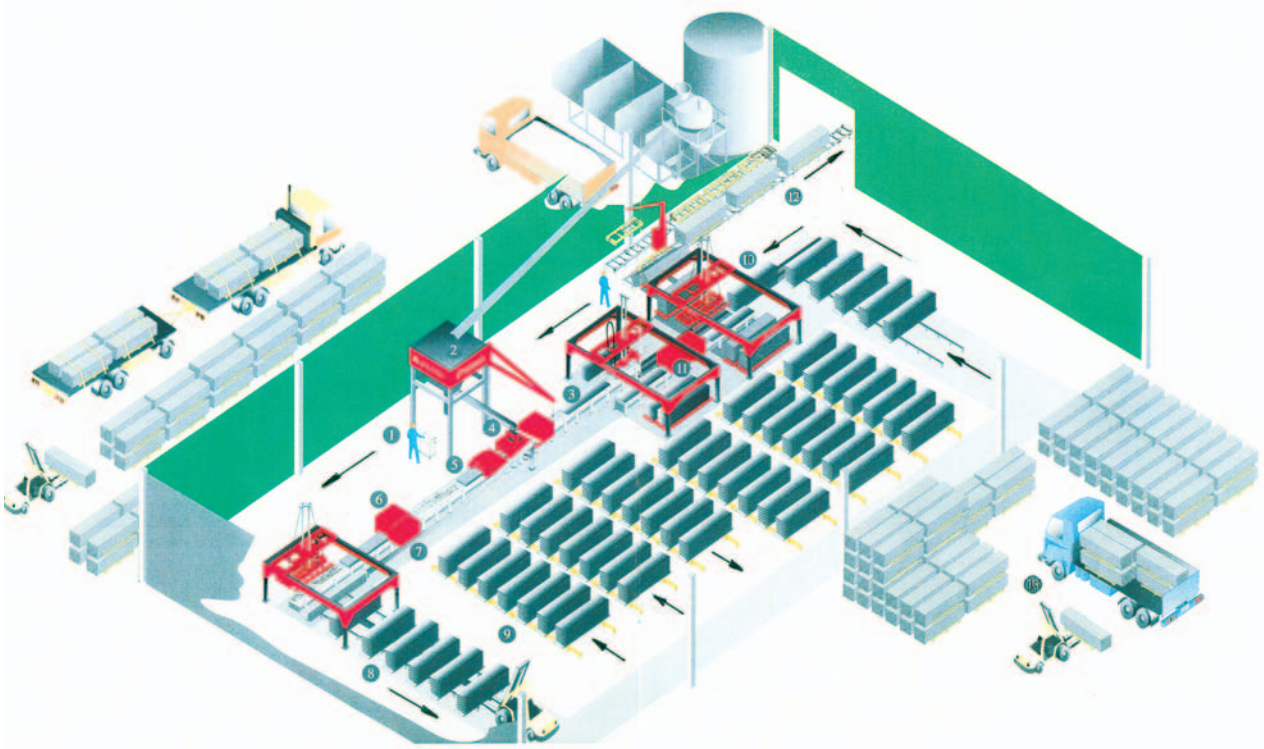
Rys. 1. Rodzaje płyt produkowanych w technologii ACOTEC



W takich przypadkach często bezpośredni udział w procesie produkcyjnym pracowników jest całkowicie wyeliminowany. Stosowane jest jedynie sterowanie przebiegiem takiego procesu przy zastosowaniu komputera lub komputerów. Stąd pełna produkcja przebiega np. przy udziale jednej czy też dwóch osób obsługujących te komputery. W fabrycznej produkcji określonych prefabrykatów z betonu zawsze wyodrębnić można kilka procesów częściowych, z których jeden – podstawowa produkcja tych prefabrykatów – jest procesem głównym. Pozostałe procesy częściowe muszą być w odpowiedni sposób zsynchronizowane z procesem głównym [1]. Proces główny, to proces przyporządkowany: działaniom odnoszącym się do przygotowania form, podkładów lub stanowisk produkcyjnych (wraz z rozmieszczeniem w nich stosownego zbrojenia), działaniom odnoszącym się do zaformowania prefabrykatu (czy też prefabrykatów), działaniom odnoszącym się do zabiegów początkowego dojrzewania betonu (dla osiągnięcia wytrzymałości manipulacyjnej) oraz działaniom dotyczącym rozformowania produkowanych wyrobów dla przekazania ich do magazynu wyrobów gotowych. Wszystkie te działania muszą być odniesione do określonych sposobów ich przebiegu i czasu ich realizacji.

Przy założeniu, że proces główny prowadzony jest w ściśle określonych godzinowo okresach zmian produkcyjnych (pomniejszonych naturalnie o regulaminowe przerwy produkcyjne), praktycznie wyodrębnić można trzy, w istotny sposób różniące się od siebie, przypadki organizacji produkcji:

- **przypadek I**, dla którego obowiązuje zachowanie w ciągu każdej doby – na (z założenia zawsze występujących) trzech ośmiogodzinnych zmianach produkcyjnych – pełnej ciągłości pracy brygad roboczych (czy też stosownych automatów eliminujących bezpośredni udział pracowników) oraz pełnej ciągłości wykorzystania w tych okresach form, podkładów czy też stanowisk produkcyjnych
- **przypadek II**, dla którego obowiązuje ogólny układ jak dla przypadku I, z założenia jednak wprowadza się pewną nieciągłość pracy brygad roboczych (czy też stosownych automatów jw.) na początku i na końcu jednej zmiany lub zestawu dwu zmian produkcyjnych oraz w okresie nieprodukcyjnym każdej doby (dla tego przypadku produkcja może odbywać się na jednej lub na dwóch zmianach) oraz
- **przypadek III**, dla którego obowiązuje wprowadzenie na zmianach produkcyjnych występujących



w ciągu doby ciągłość wykorzystania form, podkładów czy też stanowisk produkcyjnych, lecz jednocześnie dopuszczana jest w różnych częściach tych zmian nieciągłość pracy brygad roboczych (ten przypadek dotyczy produkcji jedno- lub dwuzmianowej).

Przypadki I i II są aktualne przy założeniu, że kolejne działania związane z produkcją (techniczne, transportowe) – poprzedzające dojrzewanie początkowe betonu – wymagane dla osiągnięcia wytrzymałości manipulacyjnej – wykonywane są z zastosowaniem stałego rytmu produkcyjnego (praktycznie przy zmianach 8 h , $1,0 < r \leq 210\text{ min}$). Przypadki te dotyczą jednak rozwiązań, w których asortyment produkcji składa się wyłącznie z prefabrykatów (przedmiotów produkcji) identycznych lub technologicznie podobnych. Pewna zmiana asortymentu produkcji dla różnych okresów jej realizacji jest jednak możliwa – naturalnie bez zmian podstawowego zamaszynowania linii czy też oddziału produkcyjnego.

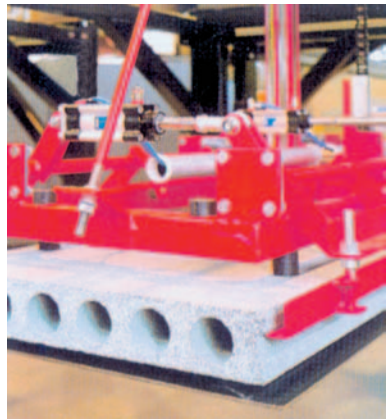
Przypadek III jest aktualny dla rozwiązań, w których asortyment produkcji danej jednostki organizacyjnej może składać się zarówno z technologicznie podobnych, jak też jednocześnie z technologicznie podobnych i odmiennych przedmiotów produkcji. Zmiana asortymentu produkcji jest tu możliwa poprzez przebrojenie form, podkładów czy też stanowisk produkcyjnych lub wprowadzenie nowych form, np. dla pewnych niewielkich serii zamówionych elementów.

Każda produkcja prefabrykatów z betonu ma za zadanie zapewnienie uzyskania w odniesieniu do określonego czasu jej realizacji założonej liczby wyrobów o wymaganych cechach technicznych. Stąd powinna być prowadzona zgodnie z zasadą technologiczną, organizacyjną, ekonomiczną i ergonomiczną. Dla spełnienia tych założeń nie-

odpowiednie jest zapewnienie m.in. odpowiedniej liczby form, podkładów czy też stanowisk produkcyjnych oraz odpowiedniej pojemności urządzeń związanych z początkowym dojrzewaniem betonu (czy też dla pewnych rozwiązań przy dojrzewaniu naturalnym betonu – niezbędnej dla tego celu określonej powierzchni do pakietowania form lub podkładów).

Istotne jest, że przypadki I i II powodują występowanie ścisłych powiązań funkcyjnych [2, 3]. Umożliwiają one np. przy projektowaniu lub modernizacji linii czy oddziałów produkcyjnych m.in. jednoznaczne wyznaczenie liczby form, podkładów lub stanowisk produkcyjnych oraz jednocześnie odpowiedniej pojemności urządzeń dla początkowego dojrzewania betonu (czy też niezbędnej dla tego celu powierzchni hali produkcyjnej). Dla tych przypadków dobową moc i zdolność produkcyjną określonych jednostek organizacyjnych wynika z wielkości (czasu trwania) zastosowanego rytmu produkcyjnego (który w wielu przypadkach zależy od rodzaju prefabrykatów) oraz z długości czasu produkcyjnego na każdej zmianie (w ciągu każdej doby). Czas początkowego dojrzewania betonu (np. poprzez zastosowanie stosownej jego obróbki cieplnej czy też dojrzewania naturalnego) odgrywa w tej produkcji również bardzo istotną rolę. Skrócenie tego czasu (np. poprzez zastosowanie odpowiednich rodzajów cementu oraz stosownych domieszek i dodatków) może również przyczynić się do uzyskania istotnych efektów ekonomicznych. Dotyczy to zarówno projektowania nowych linii czy oddziałów produkcyjnych, jak też modernizacji istniejących już takich jednostek organizacyjnych. Skrócenie czasu początkowego dojrzewania betonu powoduje przede wszystkim możliwość przy projektowaniu zmniejszenia liczby wymaganych form, podkładów lub stanowisk produkcyjnych, a przy modernizacji

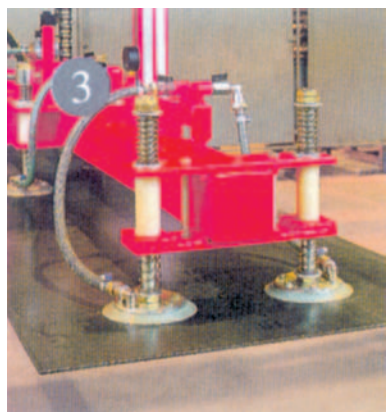
Rys. 2. Schemat linii produkcyjnej ACOTEC Primo



Rys. 3. Zdejmowanie płyt z podkładów stalowych

polegającej np. na skróceniu rytmu produkcyjnego – może spowodować uzyskanie większej mocy i zdolności produkcyjnej bez zwiększania liczby tych urządzeń oraz bez zwiększania pojemności urządzeń (czy też powierzchni) wymaganej dla dotychczasowej produkcji.

Dla przypadków I i II aktualne mogą być różne metody organizacji produkcji [1]. Obecnie rozwiązania dotyczące wysoko zautomatyzowanej produkcji prefabrykatów przy zastosowaniu wyłącznie dojrzewania naturalnego betonu dotyczą zwykle przypadku II i metody organizacji, która polega na wykonywaniu wszystkich operacji poprzedzających początkowe dojrzewanie betonu na wyodrębnionych stanowiskach w czasie stałego rytmu produkcyjnego. Operacje te wykonywane są kolejno na przedmiocie produkcji przy zastosowaniu stosownych wysoko zautomatyzowanych urządzeń bez bezpośredniego udziału człowieka. Po zakończeniu czasu trwania każdego rytmu formy lub podkłady przemieszczane zostają na kolejne stanowiska dla realizacji dalszych operacji związanych z produkcją. Po zakończeniu działań związanych z formowaniem prefabrykatu forma lub podkład automatycznie przekazywany jest do urządzeń o pracy okresowej, przygotowanych na przyjęcie określonej ich liczby. Do takich urządzeń (np. komór dołowych czy też poziomych) są one wprowadzane kolejno, indywidualnie lub w pewnych zestawach. W urządzeniach tych prowadzone jest najczęściej dojrzewanie naturalne betonu. W pewnych rozwiązaniach formy lub podkłady w pakietach (stosach) rozmieszczone są na otwartej specjalnie przygotowanej powierzchni hali produkcyjnej. Niekiedy w produkcji takiej dla początkowego naturalnego dojrzewania betonu stosowane są urządzenia o pracy ciągłej, w których forma z wyrobem (lub zestaw form) przemieszcza się w rytmie



Rys. 4. Przenoszenie podkładów z zastosowaniem zawieszającego działającego na zasadzie obniżonego ciśnienia

$$r_{oc} = n \cdot r,$$

gdzie $n = 1, 2, 3, \dots, k$.

Obecnie za granicą zautomatyzowana produkcja dotyczy przede wszystkim betonowych i żelbetonowych płyt wielokanałowych dla budownictwa mieszkaniowego, betonowych i żelbetonowych różnych prefabrykatów dla budownictwa rolniczego oraz do budowy sieci uzbrojenia terenu, prefabrykatów sprężonych znajdujących zastosowanie w budownictwie komunikacyjnym itp.

Rys. 5. Agregat formujący płyty



2. Przykład oddziały produkcji płyt wielokanałowych według technologii ACOTEC (Finlandia)

Rozwiązania linii produkcyjnych są w tym przypadku przystosowane do wytwarzania płyt, z których możliwe jest wykonywanie pełnego szkieletu budynku jedno- lub dwukondygnacyjnego. Są to żelbetonowe ściany nośne (Forte), żelbetonowe płyty stropowe (Grande) oraz betonowe lub żelbetonowe płyty do ścian działowych (Primo) (vide rys. 1). Płyty te mogą być wykonywane z różnych rodzajów betonów (zarówno zwykłych, jak też lekkich). Płyty do ścian działowych (Primo) znajdują również bardzo szerokie zastosowanie w wielokondygnacyjnym budownictwie mieszkaniowym.

W technologii produkcji tych płyt zagęszczanie mieszanki (o zdecydowanie bardzo niskim stopniu ciekłości) dokonywane jest z zastosowaniem prasowania wywołanego w wyniku ruchu układowych ślimaków komprymujących tworzywo w ustniku agregatu formującego przemieszczającego się na pewnym odcinku linii produkcyjnej. W trakcie tej operacji w wykonywanych w ten sposób płytach formowane są również kanały. W tej technologii płyty formowane są na stalowych podkładach o długości 3,3 m i szerokości 0,6 m. Podkłady te o grubości 5 mm są przemieszczane w ciągu formowania w określonym rytmie produkcyjnym. Bezpośrednio po zakończeniu formowania płyty po przemieszczeniu na kolejne stanowisko są automatycznie przycinane piłą tarczową na wymagane długości. Płyty na podkładach przekazywane są do dojrzewania naturalnego, które odbywa się w pakietach (stosach po kilka sztuk) na specjalnie przystosowanej do tego celu odkrytej powierzchni hali produkcyjnej. Po ~23,5 godzinach dojrzewania naturalnego pakiety te przestawiane są w początkową strefę ciągu produkcyjnego, gdzie przy zastosowaniu odpowiednich automatów są zdejmowane ze stalowych podkładów, ustawiane na dłuższych bokach na paletach drewnianych po kilka sztuk i ofoliowywane, a następnie wywożone do magazynu na placu składowym.

Dla każdego rodzaju płyt występuje różne wyposażenie agregatów formujących. Agregaty te dla określonych okresów produkcji są przezbierane w czasie pozaprodukcyjnym. Przebrojenie stanowiska formowania jest prostym zabiegiem trwającym ~2 godz.

Produkcja płyt według omawianej technologii prowadzona jest zwykle na jedną lub dwie zmiany. Często są to zmiany przedłużone, trwające > 8 h. Istnieją praktycznie trzy rozwiązania takich linii produkcyjnych. Przy rozwiązaniu pierwszym (ACOTEC Combi) możliwa jest produkcja wszystkich rodzajów płyt, także przy różnych grubościach dla każdego z tych rodzajów. Rozwiązanie drugie (ACOTEC Grande) przystosowane jest wyłącznie do produkcji płyt stropowych – również o różnych grubościach. Wreszcie rozwiązanie trzecie (ACOTEC Primo) przystosowane jest do produkcji płyt dla nienośnych ścian działowych. Są to elementy o grubości 68 do 140 mm. Przy produkcji płyt żelbetonowych zagęszczanie mieszanki betonowej następuje przy odpowiednio usytuowanym (i utrzymanym w tej fazie w agregacie formującym) zbrojeniu. Każda z takich linii może uzyskiwać

roczną zdolność produkcyjną ~150.000 m² płyt. Obecnie w różnych krajach świata pracuje już kilkanaście tego rodzaju linii produkcyjnych.

W roku 2003 wraz ze współpracownikami miałem możliwość zapoznania się z rozwiązaniem linii ACO-TEC Primo w Finlandii. Schemat takiej linii produkcyjnej zaprezentowano na rys. 2.

Linia produkcyjna jest obsługiwana przez dwóch pracowników. Jeden z nich pracuje przy komputerze sterując przebiegiem całego procesu (ozn. 1). Drugi zaś przy wykorzystaniu akumulatorowego wózka widłowego dokonuje przemieszczania pakietów (z zaformowanymi płytami znajdującymi się na stalowych podkładach). Początkowo z końca ciągu produkcyjnego do strefy dojrzewania naturalnego betonu i po zakończeniu tego procesu – w stosownej kolejności – do stanowiska rozformowania i pakowania tych wyrobów (ofoliowania po kilka sztuk) – na początek ciągu produkcyjnego.

Na linię produkcyjną dostarczana jest – w sposób ciągły – z zastosowaniem transportu taśmowego mieszanka betonowa z betonowni obsługującej bezpośrednio tylko tę linię. Sterowanie pracą betonowni prowadzone jest również przez pracownika sterującego pracą linii produkcyjnej. Skład mieszanki zapewnia uzyskanie betonu klasy 30. W wizytowanej wytwórni produkowane są płyty o szerokości 0,6 m i grubościach 68, 75 i 85 mm. Maksymalna ich długość może wynosić 3,3 m.

Ogólnie można przyjąć, że produkcja tych płyt przebiega zgodnie z kierunkami wskazanymi strzałkami na rys. 2. Na linii w ciągu produkcyjnym wyodrębnić można 7 stanowisk produkcyjnych, przez które przemieszczane są w rytmie $t = 1,4$ min podkłady początkowo puste, a następnie z zaformowanymi na nich płytami. Są to (rys. 2):

- stanowisko (ozn. 10) rozformowywania płyt wyposażone w automat zdejmujący prefabrykaty ze stalowych podkładów (rys. 3); na to stanowisko pakiety płyt transportowane są ciągiem łańcuchowym ze strefy naturalnego dojrzewania betonu; na ciągu tym ustawiane są przy wykorzystaniu wózka widłowego; płyty – ofoliowane na drewnianych paletach po kilka sztuk – kierowane są następnie do magazynu na placu składowym (ozn. 12)
- stanowisko (ozn. 11) czyszczenia oraz smarowania podkładów dostarczonych ze stanowiska ozn. 10 oraz magazynowania podkładów dodatkowych niezbędnych w przypadku chwilowego wstrzymania rozformowywania pakietów i pakowania gotowych płyt
- stanowisko (ozn. 3), na które przenoszone są na podstawowy ciąg rolkowy podkłady ze stanowiska ozn. 11 (rys. 4); na stanowisku tym nie są wykonywane żadne działania techniczne
- stanowisko (ozn. 4) – na które w kolejnym rytmie przekazywany jest ciągiem rolkowym podkład stalowy – to agregat formujący płyty wielokanałowe (rys. 5 i 6); w przypadku produkcji płyt zbrojonych jest on wyposażony w specjalne uchwyty utrzymujące we właściwym położeniu odpowiednio pocięte pręty proste w czasie pracy ślimaków stalowych w procesie zagęszczania mieszanki; na stanowisko to mieszanka betonowa podawana jest z pojem-

nika (ozn. 2), do którego dostarczana jest z betonowni; w trakcie procesu formowania agregat przemieszcza się wzdłuż podkładu, na którym formowana jest płyta w kierunku odwrotnym do kierunku przemieszczania się podkładów ze stanowiska na stanowisko

- stanowisko (ozn. 5), na którym przebywająca na nim w czasie kolejnego rytmu zaformowana płyta na podkładzie zostaje przycięta na odpowiednią wymaganą długość (rys. 7)
- stanowisko (ozn. 6), na którym dokonywane jest usunięcie odciętych części zagęszczanej mieszanki z uformowanej płyty i przekazanie tej mieszanki ponownie do pojemnika (ozn. 2)
- stanowisko (ozn. 7), na które podkład z płytą zostaje przekazany ze stanowiska ozn. 6; na tym stanowisku następuje tworzenie odpowiednich pakietów płyt, które przekazywane są następnie na ciąg łańcuchowy (ozn. 8); z tego ciągu pakiety są następnie – przy zastosowaniu wózka widłowego – ustawiane w strefie naturalnego dojrzewania betonu (ozn. 9) (rys. 8).

Według uzyskanych informacji, w produkcji mieszanki betonowej nie są stosowane żadne domieszki czy też dodatki. Płyty pozostają w magazynie na placu składowym przez okres 14-21 dni (ozn. 13).

3. Podsumowanie

Należy oczekiwać, iż w produkcji pewnych rodzajów prefabrykatów zastosowanie rozwiązań wysoko zautomatyzowanych linii będzie coraz powszechniejsze. Przemawiają za tymi rozwiązaniami względy ekonomiczne, co w pełni potwierdzają producenci takich wyrobów. Istotne może okazać się (szczególnie w produkcji prefabrykatów strunobetonowych) dysponowanie dla takiej produkcji cementami o możliwie szybkim narastaniu wytrzymałości. Umożliwi to bowiem ograniczenie czasu początkowego dojrzewania betonu bez konieczności obróbki cieplnej i tym samym ograniczenie wymaganej liczby form, co przy produkcji elementów sprężonych będzie rzutowało w istotny sposób na koszty produkcji tych elementów.

prof. dr hab. inż. Grzegorz Chrabczyński
Instytut Inżynierii Procesów
Budowlanych i Zarządzania
Politechnika Warszawska

Bibliografia

- 1 G. Chrabczyński, *Przemysłowa produkcja prefabrykatów. Technologia betonów w prefabrykacji*, PWN, Warszawa 1990
- 2 G. Chrabczyński, A. Minasowicz, *The methods of calculating the required number of forms or beds as well the proper capacity of technological devices of concrete curing in the precast concrete elements production, The Second Internationale Symposium on Prefabrication 16-17 May 2000. Helsinki Finland, Proceedings (page 260-267)*
- 3 G. Chrabczyński, *Wybrane problemy technologiczno-organizacyjne w produkcji prefabrykatów i innych wyrobów budowlanych z betonu, Konferencja Naukowo-Techniczna Budownictwa „Na progu XXI wieku” – Puławy, 21-24.06.2001 r.*



foto: Archiwum

Rys. 6. Widok ślimaków zagęszczających mieszankę w procesie formowania płyt

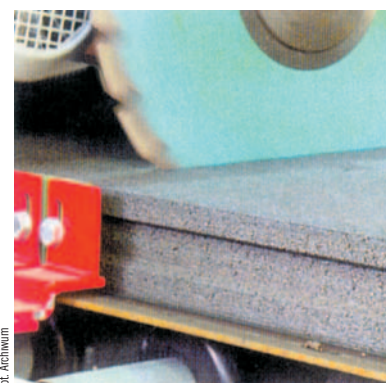


foto: Archiwum

Rys. 7. Widok przecinania świeżo zaformowanej płyty

Rys. 8. Widok płyt w fazie dojrzewania betonu



foto: Archiwum