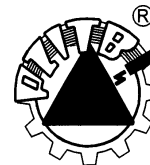
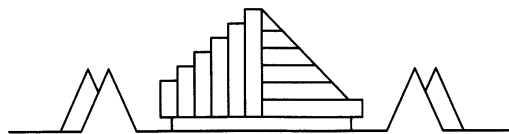




USTROŃ



GLIWICE

XVII OGÓLNOPOLSKA KONFERENCJA WARSZTAT PRACY PROJEKTANTA KONSTRUKCJI

Ustroń, 20 ÷ 23 lutego 2002 r.

Piotr Woyciechowski

Anna Chudan

METODY I ŚRODKI PIELĘGNACJI BETONU W FORMACH I "IN SITU"

WSTĘP - DEFINICJA I ZAKRES POJĘCIA PIELĘGNACJA BETONU

Ogólnie przyjęte w technologii betonu definicje pielęgnacji betonu [1],[2] określają ją jako zabiegi podejmowane od chwili ułożenia i zagęszczenia mieszanki betonowej, mające na celu zapewnienie prawidłowego przebiegu procesów hydratacji cementu i w efekcie uzyskanie w określonym czasie betonu o wymaganych właściwościach. Zabiegi te obejmują utrzymanie odpowiedniej temperatury i wilgotności betonu oraz jego ochronę przed szkodliwymi oddziaływaniami, takimi jak np. czynniki atmosferyczne.

Dla potrzeb tego opracowania rozszerzono pojęcie pielęgnacji o zagadnienia dotyczące innych oddziaływań na świeży beton:

- w okresie formowania (np. środki antyadhezyjne do urządzeń formujących)
- w okresie początkowego dojrzewania (wspomaganie dojrzewania betonu poprzez obróbkę cieplną lub domieszki chemiczne, schładzanie maszywów betonowych)

I. PRZYGOTOWANIE POWIERZCHNI DESKOWANIA/FORMY DO BETONOWANIA

1. Środki antyadhezyjne

1.1. Informacje ogólne

Środki antyadhezyjne stosuje się w celu umożliwienia łatwego rozformowania elementu bez uszkodzenia powierzchni licowej elementu lub konstrukcji, dzięki znacznemu zmniejszeniu sił przyczepności pomiędzy powierzchnią roboczą urządzeń formujących a betonem. Środki te chronią także powierzchnie robocze deskowań i form, przedłużając ich żywotność, a także ułatwiając ich konserwację.

Środek antyadhezyjny nie może zakłócać procesów wiązania i twardnienia betonu oraz nie może mieć wpływu na późniejszą kosmetykę powierzchni betonu. Dodatkowymi zaletami środka antyadhezyjnego powinny być: jego zdolność do szybkiej biodegradacji,

niepalność, a także brak szkodliwego działania na organizm ludzki.

Środki antyadhezyjne są наносzone na powierzchnie robocze deskowań i form, przy czym metoda наносzenia zależy od postaci środka jak i od wielkości pokrywanej powierzchni.

Środki antyadhezyjne produkowane są w postaci:

- olejów syntetycznych – czystych i z dodatkami
- emulsji wodno-olejowych i olejowo-wodnych
- preparatów naftowych i rozpuszczalnikowych
- past
- emulsji z udziałem surowców roślinnych

Większość dostępnych na rynku preparatów ma skład zastrzeżony patentami firm oferujących produkty chemii budowlanej.

Przy wyborze środka antyadhezyjnego pod uwagę należy brać wymagania w stosunku do jakości powierzchni betonu (np. wygląd, sposób wykończenia) oraz rodzaj materiału deskowania lub formy, na którą ma być on наносzony, a także wydajność środka, tzn. jego zużycie na 1 m² powierzchni pokrywanej.

Środki antyadhezyjne наносi się na powierzchnię deskowania lub formy poprzez natrysk lub ręcznie poprzez malowanie.

1.2. Środki antyadhezyjne do betonów zwykłych

Do betonów zwykłych mogą być stosowane praktycznie wszystkie środki antyadhezyjne w postaci płynnej, które zapewniają łatwe rozformowanie elementu i gwarantują jakość powierzchni betonu wymaganą do wykończenia

Producenci chemii budowlanej oferują szeroką gamę środków antyadhezyjnych ze wskazaniem ich przeznaczenia do określonego rodzaju deskowań i form (stalowych, drewnianych i z tworzyw sztucznych) w określonych warunkach (np. do deskowań podgrzewanych, do form poddawanych obróbce cieplnej, do deskowań formujących zbiorniki na wodę pitną, do formowań z mieszanek suchych itp.)

Preparaty наносi się zazwyczaj przez natrysk, przy czym ważne jest równomierne pokrycie powierzchni warstwą środka, w taki sposób aby nie następowało jego spływanie z powierzchni pionowych ani miejscowe nadmierne gromadzenie się środka na powierzchniach poziomych. Dopuszcza się ręczne наносzenie środka antyadhezyjnego, np. pędzlem, ale w tym przypadku należy się liczyć z możliwością niedochowania wymienionych wymagań oraz z nadmiernym zużyciem środka, co jest nieuzasadnione ekonomicznie.

Pojawiła się także ostatnio nowa grupa materiałów antyadhezyjnych w postaci tkaniny drenażowej. Są to specjalne arkusze nasiąkłej tkaniny o budowie włóknistej, umieszczone na wewnętrznej stronie deskowania. Powodują one powstawanie podciśnienia w przypowierzchniowej warstwie betonu – w pobliżu deskowania, które wynika z migracji wody z betonu do papieru. Razem z wodą wędrują cząstki cementu, co sprawia, że powierzchnia betonu przy deskowaniu jest bardziej wysycona cementem – a przez to szczelniejsza, odporniejsza na wpływy środowiska i praktycznie pozbawiona porów powierzchniowych. Jest to jednak rozwiązanie bardzo kosztowne ze względu na specjalne rodzaje materiałów przydatnych na tkaniny drenażowe, co sprawia, że zastosowanie tej nowości jest możliwe tylko do celów specjalnych.

1.3. Środki antyadhezyjne do betonów architektonicznych

Beton architektoniczny jest szczególnym rodzajem betonu, którego powierzchnia licowa powinna pełnić funkcję dekoracyjną bez dodatkowych zabiegów wykończeniowych. Powierzchnia takiego betonu może być gładka lub mieć rysunek nadany dzięki zastosowaniu odpowiednich matryc, może także w procesie wykonywania elementu być wykończona fakturą strukturalną nie betonową (np. z kruszywa, płytek ozdobnych lub innych elementów dekoracyjnych).

Jeżeli powierzchnia betonu architektonicznego ukształtowana jest przez powierzchnię formy lub matrycę, wówczas szczególnego znaczenia nabierają wymagania stawiane zastosowanym środkom antyadhezyjnym. Nie mogą one powodować zabrudzenia i przebarwienia powierzchni elementu, a także powinny sprzyjać wychodzenia powietrza po ściankach deskowania/formy. Wymagania te sprawiają, że do wykonywania betonu architektonicznego wykorzystuje się głównie preparaty woskowe w postaci płynnej lub w postaci pasty.

W przypadku wykonywania faktur strukturalnych niebetonowych funkcję środka antyadhezyjnego przejmują pośrednio inne materiały, ponieważ sposoby wykończenia tych faktur eliminują konieczność stosowania tradycyjnych środków antyadhezyjnych.

W przypadku faktur kruszywowych mieszanka betonowa może być oddzielona od formy środkiem opóźniającym wiązanie cementu, który może być w postaci pasty lub lakieru nanoszonego na formę/deskowanie, bądź w postaci arkuszy papieru nasączonego opóźniaczem umieszczanego na ściance lub dnie deskowania/formy. Głównym zadaniem opóźniacza jest spowolnienie lub uniemożliwienie wiązania powierzchniowej warstwy betonu, aby po rozformowaniu można było wyeksponować kruszywo ozdobne usuwając warstwę niezwiązanego zaczynu. O ilości opóźniacza decyduje maksymalne ziarno kruszywa, które ma zostać wyeksponowane. Dzięki zastosowaniu środka opóźniającego siły przyczepności pomiędzy deskowaniem/formą a betonem są bardzo małe, tak więc nie ma potrzeby stosowania dodatkowo środka antyadhezyjnego.

W przypadku powierzchni betonu wykańczanej w procesie formowania mozaiką lub kruszywem ozdobnym układanym w postaci dywaników papierowych zbędne jest stosowanie środka antyadhezyjnego, gdyż dywaniki uniemożliwiają kontakt betonu z formą.

1.4. Relacje cenowe środków antyadhezyjnych

Koszt jednostkowy przeciętnego środka antyadhezyjnego kształtuje się na poziomie 0,15 zł/m² powierzchni formy/deskowania. Środki antyadhezyjne pochodzenia roślinnego, łatwo biodegradowalne, a także środki na bazie wosku - do betonu architektonicznego, są o 20-40% droższe. Tkanina filtrująca jest znacznie droższa, około 50-krotnie, w stosunku do zwykłych środków antyadhezyjnych. Cena papieru opóźniającego jest zróżnicowana, w zależności od stopnia nasycenia go opóźniaczem, jest on droższy od zwykłych środków antyadhezyjnych 10-20 razy. Pasty opóźniające, nanoszone bezpośrednio na deskowanie, są tańsze od papierów 2-4 krotnie.

II PIELĘGNACJA BETONU

2. Charakterystyka warunków klimatycznych w Polsce

W Polsce ścierają się dwa klimaty:

- morski zachodni, z dużą ilością wilgoci i dużym zachmurzeniem oraz łagodnymi temperaturami zimą
- kontynentalny, o małej wilgotności powietrza i z dużymi mrozami

Występowanie tych klimatów powoduje dużą częstotliwość zmian pogody. W wyniku tego w krótkim okresie czasu mają miejsce duże zmiany temperatury. Na przykład w ciągu doby temperatura może zmieniać się od dodatniej do ujemnej.

Dla potrzeb budownictwa rok podzielono, ze względu na średnią temperaturę dobową, na sześć pór (tabela 1)

Tabela 1 Pory roku przyjęte w budownictwie [14]

Pory roku	Liczba dni	Czas trwania od - do	Średnia temperatura dobowa w °C
Przedwiośnie	32	21.III – 30.IV	0 – +5
Wiosna	54	1.V – 21. VI	+5 – + 15
Lato	96	22.VI – 21.IX	> +15
Jesień	62	22.IX – 21.XI	+15 – + 5
Przedzimą	32	22.XI – 21.XII	+5 – 0
Zima	89	22.XII – 20.III	0 – -30

Średnia temperatura dobowa (t_{sr}) definiowana jest przez normę PN-88/B-06250 [13] jako średnia ważona temperatur zmierzonych o godzinie 7, 13 i 21:

$$t_{sr} = (t_7 + t_{13} + 2 * t_{21}) / 4 \quad (1)$$

gdzie: t_7 - temperatura powietrza mierzona o godz. 7

t_{13} - temperatura powietrza mierzona o godz. 13

t_{21} - temperatura powietrza mierzona o godz. 21

Dlatego też, zgodnie z zaleceniami [14], szczególnie w okresie od 15 października do 15 kwietnia, należy temperaturę powietrza mierzyć codziennie o godzinie 7, 13 i 21. Pomierzoną temperaturę oraz informacje o towarzyszących jej zjawiskach atmosferycznych odnotowywać w dzienniku budowy.

Jeżeli z danych Biura Prognoz IMiGW wynika:

- brak zjawisk – oznacza to minimalne prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanych zjawisk meteorologicznych. W praktyce nie ma niebezpieczeństwa.
- małe prawdopodobieństwo wystąpienia zjawisk – zjawiska meteorologiczne niepożądane mogą wystąpić z prawdopodobieństwem do 40%. Należy liczyć się z możliwością ich pojawienia się, a tym samym podjąć zwiększoną obserwację.
- duże prawdopodobieństwo wystąpienia zjawisk – oznacza to możliwość wystąpienia zjawisk z prawdopodobieństwem powyżej 40%. W tym wypadku należy na budowie zarządzić stan pogotowia, a nawet rozpocząć działania profilaktyczne.

Stacje meteorologiczne opracowują charakterystyki pogody dla przeciętnych warunków klimatycznych większego rejonu. Odnoszenie tych wyników do warunków danego placu

budowy nie jest celowe, albowiem prognozy te są orientacyjne i nie charakteryzują specyficznego mikroklimatu na danej budowie. Badania atmosfery wykazały, że przyziemna jej warstwa (do 2 m nad powierzchnią terenu) ulega wpływom lokalnych warunków, do których zalicza się: topografię terenu, zabudowę, rodzaj gleby, roślinność itp. Przykładowo temperatura powietrza wielkich miast jest w zimie o około 3°C wyższa niż temperatura powietrza poza obrębem miasta.

Obowiązująca norma PN-88/B-06250 „Beton zwykły” [13] rozróżnia trzy podstawowe rodzaje warunków dojrzewania betonu:

- > **warunki naturalne**, gdy średnia temperatura dobowa nie jest niższa niż +10°C,
- > **warunki obniżonej temperatury**, gdy średnia temperatura dobowa wynosi od +5 do +10°C,
- > **warunki zimowe**, gdy średnia dobowa temperatura jest niższa od +5°C.

Tak duże zróżnicowanie warunków otoczenia w okresie roku powoduje, że zagadnienie pielęgnacji betonu musi być rozpatrywane niezależnie dla warunków zimowych i letnich. W dużym uproszczeniu można założyć, że z punktu widzenia pielęgnacji betonu jako okres letni przyjmuje się okres od kwietnia do października (warunki normalne), zaś jako okres zimowy – od października do kwietnia (warunki obniżonej temperatury i zimowe).

3. Pielęgnacja betonu w okresie letnim

3.1. Potrzeba pielęgnacji w okresie letnim

Pielęgnacja betonu w okresie letnim nosi nazwę pielęgnacji wilgotnościowej i ma na celu zapobieganie utracie wody z betonu na skutek parowania z jego powierzchni, a także dostarczanie wody do betonu niezbędnej do hydratacji cementu.

Jest to działanie, którego znaczenia dla jakości betonu często niedoceniają wykonawcy robót, zwłaszcza, że w zasadzie nie jest ono specyfikowane w kosztorysach jako osobna robota. Brak jest norm nakładów roboczych i rzeczowych na 1 m² pielęgnowanej powierzchni betonu, co komplikuje kwestie rozliczeniowe. Dlatego często zabieg ten jest pomijany w projekcie technologicznym robót betoniarskich. Często pielęgnacja jest podejmowana tylko o tyle, o ile pozwala uniknąć wystąpienia negatywnych zjawisk zauważalnych „na oko” na powierzchni betonu. Zdarza się, że negatywne zjawiska występujące w betonie w wyniku zaniedbania pielęgnacji są zrzucane na karb producenta betonu, od którego wymaga się podawania procedury pielęgnacji, czy wręcz jej prowadzenia podczas betonowania, co naturalnie jest błędnym rozumowaniem.

Ubytek wody spowodowany brakiem pielęgnacji wywołuje następujące negatywne skutki dla betonu:

- większy skurcz plastyczny i powstawanie rys,
- mniejszy przyrost wytrzymałości,
- większą przepuszczalność i nasiąkliwość,
- obniżoną odporność na ścieranie.

Tak więc, istotą pielęgnacji jest utrzymanie betonu w stanie nasyconym wodą lub na tyle nasyconym, na ile jest to możliwe, dopóki przestrzenie wypełnione pierwotnie wodą w świeżym zaczynie cementowym nie zostaną zapełnione do pożądanego stopnia przez produkty hydratacji cementu.

Jednocześnie hydratacja cementu znacznie zmniejsza się, jeżeli wilgotność względna wewnątrz porów kapilarnych obniża się poniżej 80%. Wynika z tego, że w celu kontynuacji procesu hydratacji wystarczy zapobiec utracie wilgoci z betonu. Jest tak w przypadku, gdy w mieszance betonowej ilość wody jest wystarczająca do kontynuowania hydratacji. Natomiast hydratacja cementu może zachodzić tylko w kapilarach wypełnionych wodą. Dlatego woda stracona wewnątrz betonu podczas „samowysychania” (spowodowanego reakcjami chemicznymi podczas hydratacji cementu) musi być zastąpiona wodą z zewnątrz. Ogólnie przyjmuje się, że tylko połowa wody zawartej w zaczynie może być wykorzystana do reakcji chemicznych. Jest tak nawet wtedy, gdy całkowita ilość wody w betonie jest mniejsza niż ilość wody koniecznej do reakcji chemicznych.

W związku z powyższym można odróżnić dwa przypadki potrzeby pielęgnacji: pierwszy w sytuacjach, kiedy trzeba zapobiec ubytkowi wody z betonu, i drugi, kiedy potrzebny jest dostęp wody z zewnątrz do kontynuowania hydratacji. Granicą pozwalającą na rozróżnienie wymienionych przypadków pielęgnacji jest w przybliżeniu stosunek wodno - cementowy wynoszący 0,5. Zwykle, gdy stosunek W/C jest wyższy niż 0,5 zachodzi przypadek pierwszy. Jednakże wiele obecnie stosowanych betonów ma stosunek wodno - cementowy poniżej 0,5, stąd pożądane jest ułatwienie hydratacji przez dostęp wody do wnętrza betonu (przypadek drugi).

Warunkiem koniecznym dla kontynuowania hydratacji jest zachowanie wilgotności względnej wewnątrz betonu wynoszącej min. 80%. Przy takiej i większej wilgotności względnej powietrza, ruch wody pomiędzy betonem i otoczeniem będzie minimalny. W takim przypadku, dla zapewnienia ciągłej hydratacji cementu żadna bieżąca pielęgnacja wilgotnościowa nie jest potrzebna, ale pod warunkiem, że inne czynniki nie mają wpływu, np. nie ma wiatru, nie ma różnicy temperatury między betonem i powietrzem i beton nie jest ekspozycyjny na promieniowanie słoneczne. Wynika stąd, że pielęgnacja staje się zbędna tylko w bardzo wilgotnym klimacie ze stałą temperaturą. Niestety, praktycznie zawsze wilgotność względna powietrza jest niższa od 80% - wilgotności minimalnej do prawidłowego przebiegu hydratacji. Dlatego niezbędna staje się pielęgnacja świeżego betonu bezpośrednio po ułożeniu w konstrukcji.

Należy zaznaczyć, że beton oddalony od powierzchni, tj. w głębi, nie podlega ruchowi wilgoci, który dotyczy tylko strefy zewnętrznej o typowej grubości wynoszącej 30 mm, a sporadycznie o grubości do 50 mm. W betonie zbrojonym głębokość ta odpowiada całej grubości otuliny zbrojenia lub większej jej części.

Przyrost lub spadek temperatury w świeżym betonie, wielkość zmian skurczowych oraz powstawanie ewentualnych rys wywołanych skurczem, uzależnione są w znacznym stopniu od prędkości odparowywania wody z tego tworzywa. Utrzymanie wymaganej ilości wody zarobowej oddziałuje na ilość i mikrostrukturę produktów hydratacji, a tym samym na wytrzymałość i w konsekwencji na trwałość betonu w różnych warunkach jego eksploatacji.

Brak pielęgnacji wilgotnościowej betonu w ciągu pierwszych dni dojrzwania lub jej niewłaściwy przebieg w warunkach podwyższonej temperatury otoczenia i betonu, jak również niskiej wilgotności względnej powietrza powoduje utratę nawet 50 % - 70 % wody zarobowej. Większość wody odparowuje ze świeżego betonu w ciągu pierwszych 6 -7 godzin jego twardnienia. Wynika stąd, że zarówno do prawidłowego rozwoju hydratacji cementu jak i właściwego ukształtowania struktury betonu, pozwalającej zminimalizować skutki skurczu, konieczna jest pielęgnacja wilgotnościowa, zwłaszcza w pierwszych dniach twardnienia betonu.

Wyróżnia się dwie podstawowe metody pielęgnacji wilgotnościowej, które mogą być

określone jako:

- pielęgnacja mokra
- pielęgnacja przy zastosowaniu powłoki.

Oprócz pielęgnacji wilgotnościowej może także zaistnieć potrzeba innego rodzaju pielęgnacji mającej na celu obniżenie temperatury betonu.

3.2. Metody pielęgnacji wilgotnościowej betonu

3.2.1. Pielęgnacja mokra

Pielęgnacja mokra polega na doprowadzeniu do powierzchni betonu wody, która może być wchłonięta przez beton. Wymaga to, aby powierzchnia betonu pozostawała w kontakcie z wodą w sposób ciągły przez określony czas, począwszy od chwili, gdy powierzchnia betonu nie jest podatna na zniszczenie. Takie warunki można uzyskać przez ciągłe spryskiwanie lub polewanie betonu wodą, a także przez przykrywanie betonu np. mokrym piaskiem, ziemią, trocinami lub słomą, jak również mokrą tkaniną jutową, konopną lub grubymi matami bawełnianymi i geowłókniną.

Woda użyta do pielęgnacji powinna być taka sama jaką użyto jako wodę zarobową. Nie zaleca się stosowania wody morskiej, która najczęściej powoduje korozję zbrojenia, a także wody żelazistej i zawierającej substancje organiczne gdyż mogą one powodować plamienie betonu.

Pomimo dużej efektywności pielęgnacji betonu poprzez polewanie go wodą, metoda ta nie zawsze daje dobre rezultaty np. podczas pielęgnacji elementów pionowych. Metoda ta jest najefektywniejsza podczas stosowania na powierzchniach poziomych. Jednak konieczne jest, aby powierzchnie te były bez spadków i wgłębień, do których mogłaby spływać woda pozostawiając resztę powierzchni bez zabezpieczenia przed nadmiernym parowaniem. Ogólnie przeważa pogląd, że najkorzystniejsze efekty pielęgnacyjne uzyskuje się poprzez zraszanie powierzchni pielęgnowanego betonu mgiełką wodną. W tym przypadku mogą jednak wystąpić problemy z nawilżaniem gdy zmianie ulegnie prędkość bądź kierunek wiatru.

Rozwiązaniem często stosowanym w praktyce jest stosowanie wykonanych z naturalnych surowców materiałów, najczęściej rolowanych, które po wcześniejszym nawilżeniu wodą oddają ją betonowi, zabezpieczając go przed wysuszeniem. Ten sposób pielęgnacji polega na przykryciu powierzchni betonu takim materiałem np. tkaniną jutową, konopną, bawełnianą lub geowłókniną i zwilżaniu ich tak, aby podczas zaplanowanego okresu pielęgnacji utrzymywać beton w stanie ciągłego nasycenia wodą. Nasączenie wodą tych tkanin, podobnie jak w przypadku bezpośredniego dostarczania wody do powierzchni betonu, może odbywać się poprzez polewanie ich dużym strumieniem wody, jak również poprzez okresowe zraszanie mgiełką wodną wytwarzaną przez zraszacze mechaniczne lub ręcznie jak ilustruje to rysunek 1.



Rys 1. Nakładanie mat i ich zraszanie

3.2.2. Pielęgnacja przy zastosowaniu powłoki

Metoda ta, zwana także metodą bariery wodnej, polega na zapobieganiu ubytkowi wody z powierzchni betonu bez wprowadzania wody z zewnątrz. Pielęgowaną tą metodą powierzchnię betonu pokrywa się:

- folią z tworzywa sztucznego,
- papierem wzmocnionym lepiszczem bitumicznym,
- preparatami błonkotwórczymi.

Folie stosowane do tego celu są bezbarwne lub koloru białego, co powoduje odbijanie promieniowania słonecznego albo koloru czarnego stosowanego podczas chłodniejszych dni. Zaletą stosowania folii jest, poza ich wysoką skutecznością, możliwość ponownego zastosowania, jednakże mogą one pozostawić na powierzchni stwardniałego betonu tzw. cętkowanie spowodowane niejednakową kondensacją wody na powierzchni folii przylegającej do betonu. Nałożoną folię najczęściej zabezpiecza się przed zerwaniem, spowodowanym nagłym wiatrem, poprzez posypywanie piaskiem co naraża beton na odciski spowodowane nierównomiernym rozłożeniem go na powierzchni folii. Doskonałe efekty pielęgnacji daje spryskanie powierzchni świeżego betonu mgłą wodną i natychmiastowe przykrycie pielęgnowanej powierzchni folią. (rys 2)



Rys 2. Zabezpieczenie powierzchni świeżego betonu poprzez przykrycie materiałami z tworzyw sztucznych

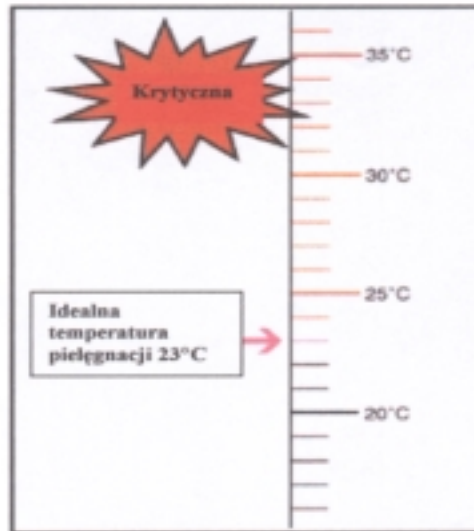
Inna technika pielęgnacji świeżego betonu polega na nanoszeniu natryskiem preparatów tworzących powłokę chroniącą beton przed nadmiernym wyparowaniem wody. Najczęściej stosowane preparaty są roztworami żywic syntetycznych; akrylowej, winylowej, lub styrenobutadienowej. Inne preparaty są emulsjami woskowymi i parafinowymi. O ile preparaty na bazie żywic mają małą przyczepność do betonu i rozkładają się pod wpływem promieniowania ultrafioletowego, to emulsje woskowe są trudne do usunięcia, a ich powierzchnia jest śliska. Preparaty te najczęściej zawierają biały barwnik (rzadziej w kolorze aluminium) lub są bezbarwne. Dodatek barwnika ułatwia równomierne ułożenie preparatu na powierzchni i tym samym uzyskanie jednorodnej, szczelnej powłoki. Jednocześnie zawartość barwnika białego lub o kolorze aluminium w preparacie, powoduje zmniejszenie absorpcji promieni słonecznych a w rezultacie obniżenie temperatury powierzchni betonu.

W przypadku pielęgnacji preparatami błonkotwórczymi, powłoka uzyskana po ich naniesieniu musi być ciągła i nieuszkodzona. Jednocześnie bardzo ważny jest czas natrysku. Preparat powinien zostać naniesiony natychmiast po stwierdzeniu braku występowania wody na powierzchni betonu ale przed jej całkowitym wyschnięciem. Preparaty mogą być nanoszone ręcznie poprzez malowanie lub rozpylane mechanicznie co zilustrowano na rys.3.

Ogólnie uznaje się, że najkorzystniejszą temperaturą dla przebiegu betonowania, a zatem i pielęgnacji, jest temperatura powietrza 23 °C. Jednocześnie nie zaleca się betonowania, gdy temperatura otoczenia przekracza 35 °C (rys. 4). W tym przypadku należy rozpatrzyć możliwość układania mieszanki betonowej w chłodniejszej porze dnia np. wieczorem lub wcześniej rano.



Rys 3. Mechaniczne natryskiwanie preparatu błonkotwórczego



Rys. 4. Maksymalna i idealna temperatura betonowania

3.2.3. Wybór metody pielęgnacji wilgotnościowej

Większość procesów decydujących o jakości stwardniałego betonu zachodzi w początkowym okresie jego dojrzewania i z tego względu właściwa pielęgnacja betonu w tym okresie jest szczególnie istotna. W wielu przypadkach wady ujawniające się zarówno tuż po rozformowaniu jak i po dłuższym czasie użytkowania konstrukcji (rysy, niewystarczająca wytrzymałość), są spowodowane niewłaściwą pielęgnacją betonu w początkowym okresie dojrzewania lub też jej brakiem.

Decydujący wpływ na dojrzewanie betonu ma przede wszystkim ilość wody będąca do dyspozycji uwadnianego cementu oraz temperatura dojrzewania. Stąd wynika konieczność zabezpieczenia świeżego betonu przed utratą wilgoci i ciepła, jak również przed przegrzaniem.

Ponadto świeży beton należy chronić przed tak szkodliwie działającymi czynnikami jak: wstrząsy, ruchy form, nadmierne obciążenie, a także strugi wody czy deszcz, które wypłukują cement ze świeżo zagęszczonej mieszanki oraz młodego betonu.

Określenie parametrów środowiska pielęgnacji betonu w dużym stopniu zależy od typu konstrukcji. Poniżej podano istotne parametry środowiska pielęgnacji dla różnych konstrukcji:

- dla elementów konstrukcyjnych o ogólnie spotykanych wymiarach, wykonywanych na placu budowy w deskowaniu nienasiąkliwym - temperatura oraz wilgotność dla powierzchni odkrytych
- dla elementów prefabrykowanych - wilgotność
- dla elementów o wielkich masach - ochrona przed nadmiernym nagraniem wewnętrznym w wyniku hydratacji cementu i zapewnienie dostatecznego nawilżenia od zewnątrz,

- dla elementów o dużych, odkrytych płaszczyznach - wilgotność, temperatura.

Zapewnienie niezbędnych warunków środowiska podczas dojrzewania betonu wymaga stosowania określonych zabiegów pielęgnacyjnych.

Przy wyborze metody pielęgnacji wilgotnościowej betonu celowe jest kierowanie się następującymi kryteriami:

- skład betonu, w tym: stosunek W/C, rodzaj i klasa cementu, rodzaj domieszki,
- rodzaj deskowania: nasiąkliwe, nienasiąkliwe,
- termin rozpoczęcia pielęgnacji wynikający z organizacji budowy
- łatwość stosowania,
- skuteczność (w/w ochrona przed wyparowywaniem wody),
- utrudnienia wynikające z zastosowania danej metody,
- koszt metody.

W tabeli 2. porównano trzy techniki pielęgnacji wilgotnościowej betonu. Jako kryteria porównawcze przyjęto: łatwość stosowania metody, czas rozpoczęcia pielęgnacji oraz zalety i wady metody.

Przydatnym przy podejmowaniu decyzji o pielęgnacji może być nomogram (rys. 5) do wyznaczania ilości wody odparowanej z betonu w zależności od warunków środowiska. Nomogram ten pozwala ocenić intensywność odwodnienia betonu w zależności od wilgotności i temperatury powietrza, temperatury betonu oraz prędkości wiatru.

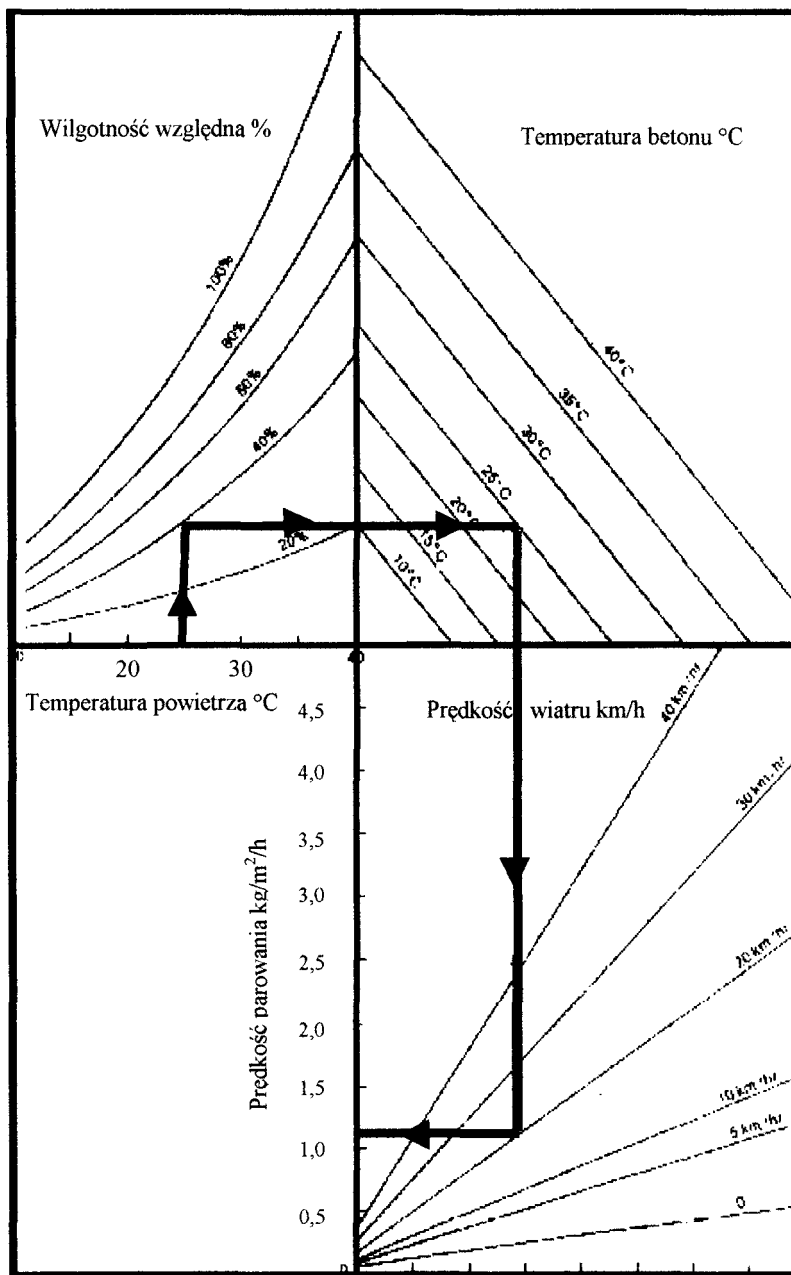
Wg. zaleceń ACI [3] i CCA [24] wielkość odparowania wody większa od:

- 1,0 kg/m²/h (wg.ACI)
- 0,5 kg/m²/h (wg CCA)

powinna zmuszać wykonawcę robót do natychmiastowego podjęcia pielęgnacji betonu.

Tabela 2. Porównanie technik pielęgnacji wilgotnościowej betonu

Kryteria porównawcze technik pielęgnacji	Technika pielęgnacji		
	Zraszanie lub polewanie wodą	Okładanie matami (folią)	Natrysk preparatu błonkotwórczego
Łatwość stosowania	- Łatwe na elementach poziomych - Trudne na elementach pionowych	- Łatwe na elementach poziomych - Trudne na elementach pionowych	- Łatwe na elementach poziomych i pionowych
Czas rozpoczęcia pielęgnacji	Po uzyskaniu twardości powierzchniowej uniemożliwiającej uszkodzenie betonu	Po uzyskaniu twardości powierzchniowej uniemożliwiającej uszkodzenie betonu	Natychmiast po betonowaniu
Zalety	-Ochrona prawie 100%	-Wykorzystanie ciepła hydratacji pod matami -Ochrona przed odparowaniem wody	-Nie wstrzymuje wykonania dalszych prac, działa natychmiast
Wady	- Zbyt późne nanoszenie. -Niebezpieczeństwo szoku temperaturowego. - Sprzyjanie wystąpieniu wykwitów.	- Utrudnianie prowadzenia innych prac. -Konieczność zabezpieczenia przed wiatrem -Trudność w mocowaniu przykrycia	-Utrudnienia gdy wymagane jest nałożenie dalszych powłok.



Rys. 5 Nomogram do wyznaczania ilości odparowanej wody zarobowej z betonu w zależności od temperatury powietrza i betonu, wilgotności względnej powietrza i prędkości wiatru [3]

3.3. Zalecenia dotyczące pielęgnacji wilgotnościowej betonu

3.3.1. Zalecenia dotyczące długości okresu pielęgnacji

Długość okresu pielęgnacji, wybór metody pielęgnacji jak również częstotliwość stosowania wybranej metody zależą od wielu czynników, między innymi od rodzaju konstrukcji, warunków atmosferycznych czy rodzaju betonu podlegającego pielęgnacji.

Czas rozpoczęcia i długość okresu pielęgnacji betonu wymagane w praktyce nie są łatwe do określenia w prosty sposób.

We wszystkich przypadkach pielęgnacja wilgotnościowa betonu powinna zaczynać się po początkowej fazie hydratacji, co zapobiegnie wchłanianiu wody z pielęgnacji przez świeżo ułożony beton. Miarą tego może być czas uzyskania przez beton wytrzymałości 0,3-0,5 MPa, który wynosi orientacyjnie 2-12 godzin, zależnie od składu mieszanki betonowej (W/C, cement), temperatury otoczenia itp. Taki czas rozpoczynania dotyczy nie tylko pielęgnacji mokrej, ale także ochrony betonu foliami, ze względu na techniczne możliwości rozłożenia folii.

Natomiast pielęgnacja z użyciem ciekłych materiałów błonkotwórczych powinna być rozpoczynana w zasadzie natychmiast po ułożeniu mieszanki i ustąpieniu odsączenia powierzchniowego. W przypadku betonów, w których bleeding jest nieznaczny, takich jak betony z mikrokrzemionką i innymi mikrowypełniaczami, powłoka powinna być naniesiona bezpośrednio po zabetonowaniu konstrukcji. Naniesienie powłoki na powierzchnię wyschniętą jest niecelowe, gdyż preparat wnika do betonu, hamując hydratację w wierzchniej warstwie.

Sposób i czas trwania pielęgnacji betonu w deskowaniu w warunkach podwyższonej temperatury podają wytyczne ACI 305R-99 [3]. Zalecają one natychmiastową po zabetonowaniu (o ile jest to możliwe) pielęgnację wilgotnościową betonu poprzez polewanie wodą - jest to szczególnie ważne przy stosunkach W/C mniejszych niż 0,4. Dokument ten zaleca usunięcie form najszybciej jak to możliwe (konieczna jest odpowiednia wytrzymałość) i dalszą kontynuację pielęgnacji wilgotnościowej. Po zakończeniu „właściwej pielęgnacji” wilgotnościowej, tj. polewania wodą, która powinna trwać ok. 7 -10 dni, należy przykryć beton wilgotnymi matami i pozostawić na ok. 4 dni, co pozwoli na powolne wysychanie betonu i zminimalizowanie skurczu. Efekt ten można uzyskać również poprzez delikatne spryskiwanie powierzchni betonu mgiełką wodną.

Jeszcze inaczej formułuje zalecenia odnośnie minimalnego czasu pielęgnacji betonu projekt normy ENV 206:1992 [26]. Minimalny czas pielęgnacji wg tej normy podano w tabeli 3. Czas ten uzależniono od tempa narastania wytrzymałości betonu, jego temperatury oraz warunków pogodowych podczas pielęgnacji betonu. Podana tabela nie została uwzględniona w ostatecznej wersji normy EN 206 [4] natomiast jej zmodyfikowana postać znajduje się w projekcie normy prENV 13670-1 [23]. Dane z tej normy przytoczono w tabeli 4.

Wytyczne ITB [14] dotyczące pielęgnacji betonu uzależniają długość okresu pielęgnacji od rodzaju cementu. Wg tych wytycznych należy utrzymywać beton w stałej wilgotności przez co najmniej:

- 7 dni - przy stosowaniu cementów portlandzkich (CEM I)
- 14 dni - przy stosowaniu cementów hutniczych i innych
(CEM II, CEM III, CEM IV)

Tabela 3. Minimalny czas pielęgnacji wg ENV 206:1992 [26]

Warunki pogodowe podczas pielęgnacji betonu	Minimalny czas pielęgnacji [dni]								
	Przyrost wytrzymałości betonu:								
	Szybki			Średni			Wolny		
	Temperatura betonu [°C]								
	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Bez słońca, $ww^1) > 80\%$	2	2	1	3	3	2	3	3	2
Średnie nasłonecznienie lub średni wiatr lub $ww^1) \geq 50\%$	4	3	2	6	4	3	8	5	4
Silne nasłonecznienie lub silny wiatr lub $ww^1) < 50\%$	4	3	2	8	6	5	10	9	5

1) - Wilgotność względna powietrza

Tabela 4 Minimalny czas pielęgnacji wg ENV 13670: 1999[23]

Temperatura powierzchni betonu, °C	Minimalny czas pielęgnacji, dni ¹⁾²⁾			
	Przyrost wytrzymałości betonu $r = f_{c2}/f_{c28}$ ⁴⁾			
	Szybki $r \geq 0,5$	Średni $r = 0,3$	Wolny $r = 0,15$	Bardzo wolny $r < 0,15$
$t \geq 25$	1	1,5	2	3
$25 > t \geq 15$	1	2	3	5
$15 > t \geq 10$	2	4	7	10
$10 > t \geq 5$ ³⁾	3	6	10	15

1) dodać czas wiązania o ile jest dłuższy od 5 godzin
 2) można stosować interpolację liniową między kolumnami
 3) przy temperaturze poniżej +5°C należy zastosować właściwą pielęgnację tak długo jak temperatura jest poniżej +5°C
 4) r jest stosunkiem wytrzymałości betonu na ściskanie po 2 i 28 dniach

Podobnie jak ENV-13670 [23] wytyczne Niemieckiego Komitetu ds. Betonu Zbrojonego (DAfStb) [6] z lutego 1984 roku uzależniają minimalny czas pielęgnacji betonu od warunków atmosferycznych i od szybkości narastania wytrzymałości betonu, jak również od rodzaju cementu i stosunku w/c. W tabeli 5 przedstawiono minimalny czas pielęgnacji betonu w zależności od wytrzymałości i od wymienionych czynników.

Ponadto DAfStb [6] różnicuje czas pielęgnacji betonu w elementach wewnętrznych i zewnętrznych. I tak, dla elementów zewnętrznych DAfStb zleca:

- przy temperaturach betonu poniżej 10 °C ustalony czas pielęgnacji wilgotnościowej należy podwoić,
- przy zastąpieniu części cementu popiołami lotnymi lub/i podwyższeniu wartości współczynnika wodno-cementowego W/C należy czas pielęgnacji wilgotnościowej betonu wydłużyć o dwa dni
- przy stosowaniu domieszek opóźniających wiązanie cementu należy czas pielęgnacji wilgotnościowej wydłużyć o czas opóźnienia wiązania.

Natomiast długość pielęgnacji dla elementów wewnątrz konstrukcji wg DAFStb wynosi:

- przy temperaturze betonu powyżej 10 °C czas pielęgnacji wilgotnościowej - co najmniej 1 dzień,
- przy temperaturze poniżej 10 °C ale nie mniejszej niż 5 °C czas pielęgnacji wilgotnościowej - co najmniej 2 dni,
- przy zastąpieniu części cementu popiołami lotnymi lub/i podwyższeniu wartości współczynnika wodno-cementowego W/C należy czas pielęgnacji wilgotnościowej betonu wydłużyć o 2 dni,
- przy stosowaniu do betonu domieszek opóźniających jego wiązanie należy czas pielęgnacji wilgotnościowej wydłużyć o czas opóźnienia wiązania,
- w elementach budowli o szczególnych wymaganiach odnośnie powierzchni betonu należy czas pielęgnacji wilgotnościowej wydłużyć do 2 dni dla temperatury 10 °C lub do 4 dni dla temperatur pomiędzy 5 °C a 10 °C .

Tabela 5. Określenie minimalnego czasu pielęgnacji wilgotnościowej betonu wg DAFStb [6]

Skład betonu		Narastanie wytrzymałości	Warunki atmosferyczne ^{1) 2)}			Minimalny czas pielęgnacji [dni]
Rodzaj cementu	W/C		Nasłonecznienie	Wiatr	Wilgotność względna	
Z 45 F, Z 55	<0,5	Szybkie	III	II	III	2
			II	I	II	1
			I		I	1
Z 35 F, Z 45, Z 55	0,5 -0,6	Średnie	III	II	III	4
			II	I	II	3
			I		I	2
Z 45 L	<0,5					
Z 25, Z 35 L	<0,5	Wolne	III	II	III	5
			II		II	4
			I		I	2
Z 35 L	0,5 -0,6					

¹⁾ Symbole I, II, III, oznaczają odpowiednio III- silne nasłonecznienie, silny wiatr, wilgotność względną poniżej 50 % II - średnie nasłonecznienie, średni wiatr, wilgotność względną powyżej 50 % I - słabe nasłonecznienie, słaby wiatr, wilgotność względną powyżej 80 %

²⁾ Najmniej korzystny parametr określa całość warunków atmosferycznych

3.3.2. Zasady prowadzenia pielęgnacji wilgotnościowej

a) Zasady prowadzenia pielęgnacji mokrej

Uzyskanie przez beton zaprojektowanych właściwości jest uzależnione w dużej mierze od pielęgnacji wilgotnościowej betonu - zastosowanej metody i sposobu jej prowadzenia. Prawidłowe przeprowadzenie pielęgnacji betonu, wbrew panującej opinii, nie należy do prostych czynności podczas procesu budowlanego. Istnieje wiele zmiennych determinujących zastosowanie konkretnej metody pielęgnacyjnej, jak również zasad jej prowadzenia i kontroli prawidłowości wykonania. Dla zapewnienia prawidłowego przebiegu dojrzewania betonu i wiążącej się z nim pielęgnacji, powstał szereg przepisów i zaleceń ułatwiających dostosowanie metody do warunków panujących na budowie.

Polewanie wodą, jak również zabezpieczanie powierzchni betonu matami nasączonymi wodą jest najczęściej stosowaną metodą pielęgnacyjną ze względu na łatwość procesu pielęgnacji, jak również niskie koszty w przypadku polewania wodą. Jednak pomimo tych zalet metoda ta nie jest tak uniwersalna i dla uzyskania dobrych rezultatów pielęgnacyjnych konieczna jest znajomość przepisów i zaleceń ułatwiających przeprowadzenie procesu pielęgnacji.

Wytyczne ITB [5] zalecają, aby: beton normalnie twardniejący polewać wodą, rozpoczynając polewanie po 24 godz. od chwili jego ułożenia. W zależności od temperatury otoczenia częstość polewań wg tych wytycznych powinna być następująca:

- przy temperaturze + 15°C i wyższej beton należy polewać w ciągu pierwszych 3 dni co 3 godz. w dzień i co najmniej jeden raz w nocy, a w następne dni co najmniej 3 razy na dobę,
- przy temperaturze poniżej +5°C betonu nie należy polewać.

Wartość, o jaką można bezpiecznie obniżyć temperaturę betonu, nie narażając go na skurcz termiczny precyzują przepisy ACI 305R-99 [3]. Według tych wytycznych, obniżenie temperatury betonu nie może wynosić więcej niż 4,5°C.

Jednocześnie różnica temperatur pomiędzy wodą a betonem nie może być większa niż 11°C wg ACI 308-98 [7], natomiast wg Concrete Society Report [8] różnica ta nie może być wyższa niż 5 °C do 8 °C przy temperaturze betonu przekraczającej 25°C.

Częstotliwość z jaką należy polewać beton reguluje ACI 308-98 [7]. Według tego dokumentu częstotliwość polewań w ciągu doby jest ściśle uzależniona od temperatury powietrza i długości okresu pielęgnacji. Zalecenia odnośnie częstotliwości polewania betonu wg wytycznych [7] podano w tabeli 6.

Tabela 6. Zalecenia do częstotliwości polewań w ciągu doby w zależności od temperatury powietrza

Temperatura powietrza	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C
Czas pielęgnacji, dni	20	17	14	11
Liczba polewań w ciągu doby	3	4	5	6

Podobnie jak w wytycznych ITB [5] i CSR [7] wytyczne ACI 305R-99 [3], zalecają

rozpoczęcie pielęgnacji wilgotnościowej następnego dnia po betonowaniu i jej kontynuację aż do momentu uzyskania przez beton odpowiedniej wytrzymałości, pozwalającej na podjęcie kolejnych czynności przewidzianych w harmonogramie robót budowlanych.

W w/w dokumentach zaleca się, aby woda użyta do pielęgnacji wilgotnościowej była, pod względem składu chemicznego taka sama, jak użyta do produkcji mieszanki betonowej i wolna od zanieczyszczeń organicznych i chemicznych powodujących zarówno korozję stali zbrojeniowej jak i betonu.

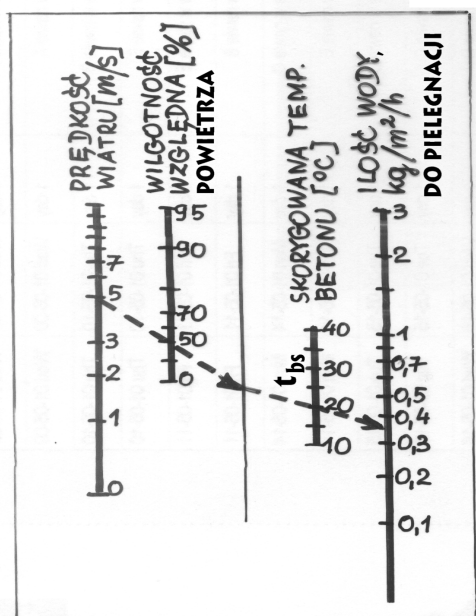
Właściwą ilość wody do pielęgnacji wodnej w różnych warunkach otoczenia można wyznaczyć z nomogramu (rys. 6) uwzględniającego wilgotność względną powietrza i prędkość wiatru oraz tzw. skorygowaną temperaturę betonu t_{bs} [25], wyrażoną jako:

$$t_{bs} = t_b + 0,5(t_b - t_p) \quad (2)$$

gdzie:

t_b - temperatura rzeczywista betonu

t_p - temperatura powietrza



Rys. 6 Nomogram do wyznaczania ilości wody do pielęgnacji [25]

Pielęgnacja wilgotnościowa poprzez zastosowanie mat nasączonych wodą wg ACI 308-98, podobnie jak w przypadku polewania wodą, powinna rozpocząć się następnego dnia po betonowaniu. Jednocześnie wytyczne zaznaczają możliwość wcześniejszego rozpoczęcia pielęgnacji za pomocą mat. W przypadku stosowania do pielęgnacji materiałów w postaci tkanin nierolowanych, należy je zabezpieczyć przed silnym wiatrem poprzez ułożenie arkuszy na tzw. zakład i obciążenie go piaskiem. Należy również zapewnić stałą wilgotność mat podczas pielęgnacji.

Zwraca się uwagę, że rozpoczęcie pielęgnacji wilgotnościowej betonu po upływie 1 doby od betonowania może być zbyt późne. Z praktyki inżynierskiej i doświadczenia autorów wynika, że przy stosowaniu cementów obecnie produkowanych (zwłaszcza z indeksem R)

oraz domieszek chemicznych należy pielęgnację mokrą rozpocząć tak szybko jak jest to możliwe ze względów technologicznych i technicznych. W niektórych przypadkach jest to możliwe nawet po 3 godzinach od betonowania (powierzchnia betonu miękka ale pod uciskiem dłoni nie powstaje ślad). W takim przypadku stosuje się zraszanie mgłą wodną i natychmiastowe przykrywanie powierzchni.

b) Zasady prowadzenia pielęgnacji przy zastosowaniu powłoki

Przy zastosowaniu powłoki zapobiega się ubytkowi wody z powierzchni betonu bez doprowadzania wody z zewnątrz. Do tego celu służą folie polietylenowe i z PCV, wzmocniony papier lub preparaty błonkotwórcze.

Wg ACI 308-98 [7] i ACI 305-99 [3], stosowane folie polietylenowe powinny mieć grubość 0,10 mm. Dla zróżnicowanych potrzeb pielęgnacji folie te występują w kolorach czarnym i białym. Folia czarna, jak zaleca ACI 308-98[7] i CSR [8], powinna być stosowana podczas chłodnych dni -czarny kolor absorbuje promieniowanie słoneczne, natomiast folia biała doskonale nadaje się podczas dni słonecznych i upalnych - odbija promieniowanie. Zasada układania jest podobna jak w przypadku mat absorpcyjnych — folię układa się na tzw. zakładkę i delikatnie przysypuje piaskiem. Rozpoczęcie pielęgnacji powinno nastąpić najpóźniej następnego dnia od wykonania elementu. Jednak zaleca się podjąć pielęgnację tak szybko, jak pozwoli na to stopień stwardnienia pielęgnowanej powierzchni.

Jednocześnie normy zalecają uprzednie spryskanie wodą pielęgnowanej powierzchni betonu, a następnie przykrycie jej folią polietylenową lub wzmocnionym papierem - kombinacja ta pozwoli uzyskać doskonałe efekty pielęgnacyjne.

Wytyczne ITB [5] zalecają, jako alternatywę dla polewania wodą i przykrywania foliami, powlekanie dużych poziomych powierzchni lub o niewielkim nachyleniu, środkami błonkotwórczymi zabezpieczającymi przed parowaniem wody. Wg tych wytycznych środki nanoszone na powierzchnię świeżego betonu powinny odpowiadać następującym wymaganiom:

- utworzenie się szczelnej powłoki powinno nastąpić nie później niż 24 godz. od chwili powleczenia nimi betonu,
- utworzona powłoka powinna być elastyczna i mieć dobrą przyczepność do betonu świeżego i stwardniałego oraz nie ulegać zmyciu pod wpływem deszczu,
- środek błonkotwórczy nie powinien przy nanoszeniu przenikać głębiej w świeży beton niż na 1 mm i nie powinien wywoływać korozji betonu oraz stali.

W odróżnieniu od wytycznych ITB, wytyczne ACI 305R-99 [3] i ACI 308-98 [7] oraz CSR [8] zalecają nanoszenie powłoki błonkotwórczej natychmiast po zakończeniu wydzielania się wody na powierzchni betonu ale zanim powierzchnia wyschnie. Podobnie jak wytyczne ITB, dokumenty ACI i CSR definiują odporność preparatu na zmywanie wodą podczas trwającej pielęgnacji. Dozowanie preparatu powinno się odbywać wg wskazań producenta. Na wypadek braku takich danych, norma ACI 308-98 [7] zaleca stosowanie preparatu w ilości od 0,20 l/m² do 0,25 l/m².

Powlekanie preparatami błonkotwórczymi najczęściej znajduje zastosowanie do pielęgnacji powierzchni, które nie będą niczym pokrywane po zakończeniu pielęgnacji jak np. nawierzchnie jezdne, stropy międzypiętrowe. Niejednokrotnie jednak zabezpieczone preparatami błonkotwórczymi powierzchnie są poddawane dalszej obróbce jak np. nakładanie drugiej warstwy betonu lub zaprawy, tynkowanie, wykonanie warstwy łączącej. W takich przypadkach należy usunąć film ochronny poprzez szczotkowanie lub mycie parą

wodną pod ciśnieniem. Problem ten dotyczy zwłaszcza preparatów na bazie emulsji woskowej, które powodują, że powierzchnia jest śliska i trudna do usunięcia. Inne preparaty oparte na żywicach mają małą przyczepność do betonu i rozkładają się pod wpływem promieniowania ultrafioletowego.

3.4.2. Charakterystyka materiałów ochronnych

3.4.2.1. Materiały błonkotwórcze

Preparaty błonkotwórcze są substancjami ciekłymi, służącymi do pokrywania powierzchni świeżego betonu w celu uzyskania powłoki chroniącej przed odparowaniem wody.

Preparaty te występują w postaci roztworów żywic oraz w postaci emulsji. Obecnie najczęściej stosowane są roztwory następujących żywic:

- akrylowej,
- winylowej,
- styrenobutadienowej.

Żyvice te są rozcieńczane rozpuszczalnikami o wysokiej lotności.

Preparaty błonkotwórcze w postaci emulsji wykonane są na bazie:

- wosku,
- parafiny.

W celu zapewnienia równomiernego pokrycia powierzchni betonu, do preparatów błonkotwórczych dodaje się biały barwnik, który po pewnym czasie zanika. Czas ten powinien wynosić wg ASTM C309-98 [9] ok. 4 godzin.

Preparaty błonkotwórcze można nanosić na powierzchnię pielęgnowanego betonu poprzez natrysk bądź malowanie. Jednak w przypadku malowania należy liczyć się z większym zużyciem preparatu. Jednocześnie ważne jest, aby nanosić preparat równomiernie, bowiem duże różnice w grubości warstwy ochronnej mogą doprowadzić do powstawania plam na powierzchni betonu.

W stosowaniu filmów ochronnych ważna jest łatwość ich usuwania w razie potrzeby dalszej obróbki powierzchni betonu. Stosowanie preparatów na bazie żywic organicznych nie stwarza problemów z ich usunięciem, gdyż rozkładają się one pod wpływem promieniowania ultrafioletowego po około 6 -8 tygodniach. W przeciwieństwie do żywic, emulsje woskowe i parafinowe po wyschnięciu tworzą śliską i trudną do usunięcia powłokę, którą usuwa się za pomocą piaskowania, szrotkowania lub mycia parą pod ciśnieniem.

Poza cechami użytkowymi, preparaty błonkotwórcze charakteryzuje się następującymi cechami fizycznymi:

- temperaturą zapłonu,
- gęstością,
- zawartością substancji lotnych.

Wymagania wg Instytutu Badawczego Dróg i Mostów (IBDiM) [10] dla preparatów powłokowych podano w tabeli 7.

W normie ASTM C309-98 [9] wprowadzono klasyfikację preparatów powłokowych ze

względem zawartości barwnika lub jego brak. Powyższa norma wyróżnia trzy typy preparatów:

- typ 1 - bezbarwny, przezroczysty,
- typ 1-D - bezbarwny lub przezroczysty z nietrwałym barwnikiem,
- typ 2 - z dodatkiem białego barwnika.

Podobnie jak IBDiM [30], ASTM C309-98 [9] precyzuje wymagania dla powłok pielęgnacyjnych, powstających w wyniku stosowania preparatów błonotwórczych. Wymagania te zestawiono w tabeli 8.

Preparaty powłokowe do pielęgnacji betonu stosuje się w temperaturach od 5 °C do 50 °C. Zarówno przemrożenie preparatu jak i jego przegrzanie jest równoznaczne z jego zniszczeniem.

Tabela 7. Wymagane własności fizyczne dla preparatów powłokowych wg IBDiM [30]

Cechy	Jednostka	Wymagania
Temperatura zapłonu	°C	Nie niższa niż 27
Gęstość	g/cm ³	0,90 ± 0,02
Zawartość substancji lotnych	%	Nie więcej niż 72

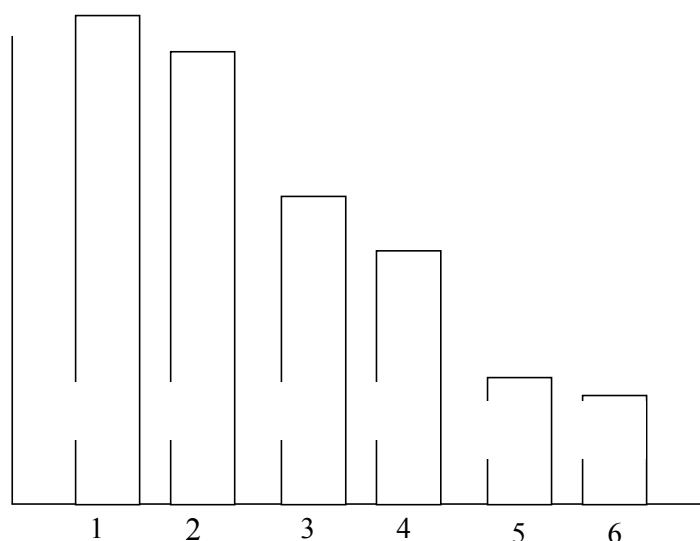
Tabela 8. Wymagane cechy użytkowe dla powłok pielęgnacyjnych wg IBDiM i ASTM C-309-98

Cecha powłoki	Jednostka	Wymagania wg IBDiM	Wymagania wg ASTM C-309
Szczelność powłoki	%	Szczelność nie mniejsza niż 50	Nie precyzuje
Strata masy po 72 godzinach	kg/m ²	Nie precyzuje	0,55
Czas wysychania	h	w temp. 20 ± 2 °C nie dłużej niż 4	w temp. 20 ± 2 °C nie dłużej niż 4
Wpływy szkodliwe	-	Twardość próbek spryskanych nie mniejsza niż nie pryskanych	Twardość próbek z powłoką nie mniejsza niż bez powłoki
Trwałość	-	W ciągu pierwszego tygodnia powłoka nie może ulegać degradacji, po 6-8 tygodniach powłoka powinna ulec samozłuszczeniu	W ciągu pierwszego tygodnia jak również przez następne 6 miesięcy powłoka powinna chronić beton bez pogorszenia się jej jakości
Szczepność	-	Na płaszczyznach spryskanych preparatem nie mniejsza niż na nie spryskanych	Nie precyzuje

c.d. tabeli 8

Współczynnik odbicia promieni świetlnych (dla preparatów z barwnikiem)	%	Nie precyzuje	Nie mniej niż 60
--	---	---------------	------------------

Na podstawie publikowanych wyników, a także badań własnych autorów zaprezentowano na rys. 7 szacunkowe porównanie kilku rozwiązań pielęgnacji, których efektywność oceniano poprzez ocenę zmniejszenia parowania wody z zabezpieczanych powierzchni betonowych. Jako 100% przyjęto ubytek wody z powierzchni niczym nie zabezpieczonej, dla poszczególnych kombinacji materiałów ubytek wyrażono jako % ubytku z powierzchni niezabezpieczonej.



Rys.7 Porównanie utraty wilgoci z powierzchni betonu przy jej zabezpieczeniu:
 1- bez zabezpieczenia (porównawczy); 2- środkiem błonkotwórczym przezroczystym; 3-jak 2 ale podwójną warstwą, 4 - środkiem błonkotwórczym z białym pigmentem, 5 - ciemną folią wodonieprzepuszczalną, 6 - białą folią wodonieprzepuszczalną

3.4.2.2. Materiały arkuszowe i rolowane

Materiały arkuszowe i rolowane są materiałami pochodzenia naturalnego np. papier, lub tworzywami sztucznymi np. folie. Rozróżnienie na materiały arkuszowe i rolowane wynika z ich wymiarów, a co się z tym wiąże i sposobu składowania. Materiały rolowane przechowywane są w formie zwiniętej tworzącej tzw. bele, natomiast materiały arkuszowe mają kształt kwadratu lub prostokąta i są dostępne w pojedynczych, stosunkowo niewielkich arkuszach.

Zarówno materiały rolowane jak i arkuszowe zawdzięczają swoją nazwę metodzie przechowywania i nazwa ta nie określa w żadnym stopniu właściwości fizycznych danego

materiału, który może występować zarówno w formie arkusza, jak i w postaci rolowanej.

Jednakże zróżnicowanie na materiały rolowane i arkuszowe pozwala na wybór odpowiedniej formy materiału w zależności od warunków panujących na budowie, jak również ze względu na zaprojektowaną jakość końcową pielęgnowanej powierzchni i energochłonność jej przygotowania. Zastosowanie materiału w formie rolowanej pozwala na uzyskanie jednolitej, ciągłej powłoki zabezpieczającej, wymaga jednak, w przypadku materiałów ciężkich znacznych nakładów pracy. Zabezpieczanie powierzchni betonu materiałami arkuszowymi jest łatwe w wykonaniu, jednak niesie ze sobą pewne zagrożenia związane z jakością wykonania połączeń na stykach dwóch arkuszy. Połączenia te wykonywane są na tzw. zakład i zabezpieczane piaskiem, którego nadmiar może spowodować odciski w świeżej powierzchni betonowej, a za mała jego ilość może doprowadzić do poderwania arkusza przez silny wiatr i w konsekwencji do nieszczelności powłoki ochronnej.

Wymagania techniczne dla materiałów arkuszowych i rolowanych, używanych do pielęgnacji betonu precyzuje norma amerykańska ASTM C 171-97 [11]. Wyróżnia ona następujące rodzaje tych materiałów:

- papiery do pielęgnacji betonu
 - w kolorze ugru
 - w kolorze białym
- folie polietylenowe
 - bezbarwne
 - nieprzezroczyste białe
- tkanina jutowa zabezpieczona z jednej strony folią polietylenową białą

Papier pielęgnacyjny składa się z dwóch warstw papieru połączonych ze sobą materiałem bitumicznym wzmocnionym włóknami biegnącymi po obu stronach arkusza nie dalej niż 32 mm od jego krawędzi. Papier nie powinien posiadać widocznych uszkodzeń i mieć jednolitą fakturę. Arkusze papieru pielęgnacyjnego białego posiadają tylko jedną stronę barwioną na biało. Norma ASTM C 171-97 [11] formułuje wymagania wytrzymałościowe jakim powinien odpowiadać papier do pielęgnacji betonu. Wg niej wytrzymałość arkusza papieru na rozciąganie powinna wynosić 5,25 kN na każdy metr szerokości i 2,26 kN na każdy metr szerokości w próbie rozciągania krzyżowego.

Podobnie jak papier, folie polietylenowe powinny być wolne od widocznych wad, które mogłyby obniżyć ich skuteczność np. pęknięcia, nierównomierne rozłożenie białego pigmentu. W wyniku tego mogą powstać obszary folii i jednocześnie betonu, absorbujące więcej promieniowania słonecznego i w konsekwencji o lokalnie wyższej temperaturze betonu. Folia nie powinna być pomarszczona i posiadać jednolitą, gładką powierzchnię tak, aby nie powodowała ona deformacji w pielęgnowanej powierzchni betonowej.

Wg ASTM C 171-97 [11] wytrzymałość folii polietylenowej na rozciąganie nie powinna być mniejsza niż 11,7 MPa. Jednocześnie norma określa minimalny stopień wydłużenia, który powinien wynosić nie mniej niż 225%. Nominalna grubość, stosowanych do pielęgnacji folii polietylenowych, powinna wynosić 0,10 mm i nie powinna być mniejsza niż 0,075 mm.

Kombinacja folii polietylenowej i maty jutowej powinna składać się z: maty jutowej o ciężarze nie mniejszym 305 g/m² i jednej warstwy białej folii polietylenowej o grubości 0,10 mm. Obydwie warstwy powinny być połączone ze sobą w sposób trwały,

pozwalający na swobodne „manewrowanie” podczas pielęgnacji.

Podobnie jak dla preparatów błonkotwórczych, tak i dla materiałów arkuszowych, określa się dopuszczalną stratę masy betonu pielęgnowanego tymi materiałami, jak również precyzuje się współczynnik odbicia promieni słonecznych dla materiałów barwionych na biało. Wg normy ASTM C 171-97[11] strata masy betonu pielęgnowanego materiałami arkuszowymi po 72 godzinach pielęgnacji betonu nie powinna być większa niż 0,55 kg/m², a współczynnik odbicia promieni świetlnych, w przypadku białego papieru, nie powinien być mniejszy niż 50% i w przypadku białej folii polietylenowej nie mniejszy niż 70%.

3.4.3. Relacje cenowe materiałów do pielęgnacji wilgotnościowej

Na koszt pielęgnacji wilgotnościowej składają się nakłady materiałowe i robocizna. Porównanie kosztów pielęgnacji różnymi technikami jest trudne, gdyż brak jest norm czasu pracy na pielęgnację betonu.

Porównanie kosztów materiałów przedstawia się następująco:

- pielęgnacja mokra poprzez polewanie wodą wymaga zużycia od 1 do nawet 40 litrów wody na 1 m² powierzchni (w całym okresie pielęgnacji), o ile nie stosuje się dodatkowej ochrony w postaci tkanin nasiąkliwych utrzymujących wilgoć - można zatem przyjąć, że koszt wody może być pomijalny; niezbędny sprzęt ogranicza się do węża gumowego z odpowiednią końcówką do rozpraszania wody
- stosowanie preparatów błonkotwórczych wymaga poniesienia nakładów finansowych na poziomie od 0,6 zł/m² przy emulsji woskowej do 1,3 zł/m² przy emulsjach żywicznych, przy założeniu nanoszenia w jednej warstwie; niezbędny sprzęt to rozpylacz różnej konstrukcji, zapewniające równomierne rozprowadzenie środka przy zachowaniu jego ekonomicznego zużycia
- stosowanie folii zabezpieczających wymaga poniesienia nakładów w wysokości od 1,0zł/m² przy folii technicznej grubości 0,1 mm z PCV do nawet 6 zł, przy folii grubej, rzadko stosowanej, ale trwalszej. Folie mogą być używane wielokrotnie, a krotność użycia zależy od grubości i rodzaju materiału folii

Ocena kosztów zastosowania poszczególnych rozwiązań powinna być rozpatrywana wraz z kosztami robocizny. Ogólnie można stwierdzić, że pielęgnacja wodna może być prowadzona przez jednego, niewykwalifikowanego robotnika, zatrudnianego przy tej czynności okresowo, ale przez cały czas trwania pielęgnacji.

Natryskiwanie preparatów błonkotwórczych wykonuje także jeden, ale przyuczony do tej czynności robotnik, przy czym czynność tę wykonuje się z zasady jednorazowo przy rozpoczęciu pielęgnacji, a preparat później nie musi być usuwany, o ile nie będą wykonywane inne działania na powierzchni betonu.

Ochrona powierzchniowa betonu folią musi być wykonywana przy udziale co najmniej dwóch robotników i czynność ta składa się z dwóch faz: przykrycia i zdjęcia folii, przy czym konieczne jest jej właściwe umocowanie.

3.5. Metody obniżania temperatury betonu

Z zagadnieniem konieczności obniżania temperatury betonu można się spotkać głównie w okresie letnim, a także w przypadku betonowania masywów betonowych.

Możliwe są dwa kierunki działań zmierzające do obniżenia temperatury, tj. regulacja składu mieszanki betonowej w zakresie opóźnienia i wydłużenia czasu wiązania oraz

chłodzenie betonu w konstrukcji. W określonych sytuacjach może być także konieczne zastosowanie łączne obu tych działań. Celem jest utrzymanie takiej temperatury w przekroju betonu, aby naprężenia termiczne nie powodowały powstawania rys i pęknięć.

Regulacja składu mieszanki betonowej obejmuje dobór odpowiedniego cementu (tj. o jak najniższym cieple hydratacji - np. CEM III) oraz zastosowanie domieszek opóźniających wiązanie i twardnienie cementu. Ma to szczególne znaczenie w okresie wysokich temperatur powietrza, a czas oddziaływania stosowanych domieszek opóźniających może dochodzić do 1 doby. Dodatkowo tego rodzaju zabiegi umożliwiają dochowanie konsystencji mieszanki betonowej w czasie jej transportu i układania, tak więc dotyczy to nie tylko konstrukcji masywnych.

Problem chłodzenia betonu dotyczy natomiast głównie konstrukcji masywnych, takich jak np. zapory wodne, fundamenty pylonów mostowych ale również grube płyty fundamentowe stosowane np. pod budynki wysokie. Ogólnie wyróżnia się trzy metody chłodzenia:

- chłodzenie mieszanki betonowej w fazie jej wytwarzania
- chłodzenie powierzchniowe betonu w konstrukcji
- chłodzenie z wykorzystaniem umieszczonej w betonie instalacji chłodzącej.

Obniżenie temperatury mieszanki betonowej można uzyskać poprzez chłodzenie składników mieszanki lub chłodzenie gotowej mieszanki.

Chłodzenie przy pomocy lodu lub poprzez płukanie zimną wodą może dotyczyć jedynie kruszywa.

W przypadku cementu problem chłodzenia może mieć szczególne znaczenie wobec częstej praktyki dostarczania z cementowni cementu o stosunkowo wysokiej temperaturze, dochodzącej nawet do 80⁰C. Możliwe jest jego chłodzenie przez aerację, ale jest ono mało efektywne. Ponieważ zaleca się jednak, aby temperatura cementu w chwili jego użycia do mieszanki nie była wyższa niż 30-35⁰C konieczne jest leżakowanie cementu w silosach do czasu naturalnego ostygnięcia. Niedochowanie warunku dotyczącego temperatury cementu może powodować nie tylko podwyższenie temperatury mieszanki, ale także być przyczyną problemów w fazie wykonywania mieszanki, np. z uzyskaniem konsystencji, nieodpowiednią współpracą domieszek i cementu itp.

Schłodzenie gotowej mieszanki można osiągnąć poprzez jej traktowanie ciekłym azotem (temperatura -196⁰C) przed wbudowaniem, w mieszarce samochodowej. Przykładowo zabieg ten pozwala obniżyć temperaturę mieszanki z 20-25⁰C do 10⁰C w czasie 10-15 minut przy ciągłym mieszaniu.

Możliwe jest także obniżanie temperatury mieszanki betonowej w procesie jej wytwarzania, dzięki częściowemu zastępowaniu wody zarobowej rozkruszonym lodem.

Chłodzenie powierzchniowe betonu w konstrukcji (np. w masywnej płycie fundamentowej) prowadzi się poprzez intensywne przelewanie wody po górnej powierzchni chłodzonego elementu. Ważne jest aby woda do tego celu nie powodowała szoku termicznego, tak więc jej temperatura nie powinna być niższa niż 12 -15⁰C. Woda po chłodzeniu powinna być odprowadzana z powierzchni.

Chłodzenie z wykorzystaniem umieszczonej w betonie instalacji chłodzącej stosuje się w konstrukcjach narażonych na wystąpienie szczególnie dużego gradientu temperatur, takich jak np. stopy podpór mostowych, w których temperatura może osiągnąć nawet 60⁰C.

Instalację chłodzącą wykonuje się z rur stalowych np. Φ 1" (traconych), przez które przepływa zimna woda chłodząc beton. Czas chłodzenia zwykle jest nie krótszy niż 7 dni, a miarą właściwego czasu jest różnica temperatury wody na wlocie i wylocie obiegu

chłodzącego nie większa niż 2°C. Długość jednego obiegu chłodzącego nie powinna być większa niż 100 mb.

4. Pielęgnacja w okresie zimowym

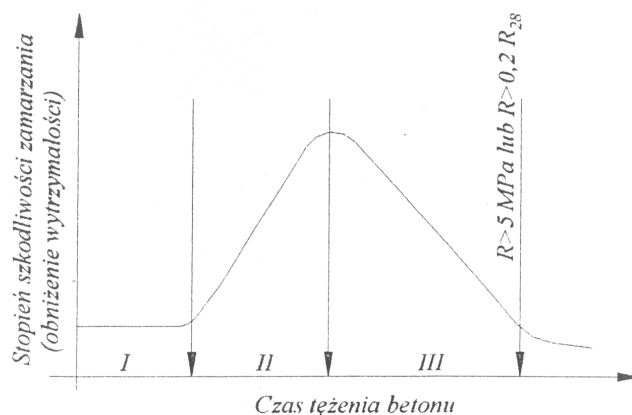
4.1. Wpływ obniżonej temperatury na dojrzewanie betonu

Obniżona temperatura otoczenia, charakterystyczna dla okresu zimowego (p.II 1.), oddziałuje zawsze w negatywny sposób na świeżo ułożony beton, a dokładniej na zawarty w nim zaczyn cementowy i powoduje:

- spowolnienie procesów chemicznych i fizycznych prowadzących do ostatecznego ukształtowania struktury materiału, a więc i uzyskania przez niego pożądanych właściwości, w tym także wytrzymałościowych,
- zamarznięcie części lub całości wody zarobowej, co niemal zupełnie hamuje proces wiązania oraz wywołuje powstanie naprężeń wewnętrznych w słabym jeszcze materiale w wyniku zwiększenia objętości wody przechodzącej w lód.

Na skutek istnienia gradientu temperatury następuje przepływ ciepła od wewnątrz mieszanki betonowej na zewnątrz. Jest to proces chłodzenia, który trwa aż do temperatury zamarzania betonu wynoszącej około -2 do -4 °C. Po zamarznięciu mieszanki betonowej następuje dalszy proces studzenia, aż do wyrównania temperatury mieszanki betonowej i otoczenia. Woda w mieszance betonowej zamarza w temperaturze niższej od 0 °C, ponieważ po zetknięciu się cementu z wodą rozpuszcza się w niej wiele składników, głównie alkaliów, które obniżają temperaturę zamarzania. Temperaturę zamarzania można obniżyć przez stosowanie różnych domieszek. Beton, który zaczął już wiązać, zamarza przy niższych temperaturach niż świeża mieszanka zaraz po zarobieniu wodą.

Według teorii destrukcji mrozowej dojrzewanie betonu dzieli się na trzy okresy niebezpieczeństwa spowodowanego zamarzaniem betonu. Okresy te pokazano na rysunku 8.



Rys. 8 Okresy niebezpieczeństwa spowodowanego zamarzaniem betonu [15]

Jeżeli beton zamarznie podczas okresu I, to jest przed początkiem wiązania, nastąpi prawie całkowite zahamowanie reakcji chemicznych między cementem i wodą. Ewentualne zamarznięcie w porach ziaren cementu spowoduje dodatkowe rozdrobnienie cementu, co

jest procesem pożądanym. Jednocześnie jednak nastąpi rozpychanie ziaren cementu i kruszywa przez lód, które albo wcale, albo tylko częściowo ustąpi po stopieniu lodu. Lód powiększa ogólną porowatość betonu o około 10% objętości wody, co w konsekwencji powoduje obniżenie wytrzymałości betonu. Zależność objętości zamarzającej wody i naprężeń jakie to wywołuje podano w tabeli 9.

Przy całkowitym zamarznięciu betonu przed początkiem wiązania długotrwałość mrozu nie ma znaczenia, a nasilenie mrozu tylko o tyle, o ile zwiększy się narastanie objętości wody. Obojętne również powinno być, czy zamarznięcie nastąpiło bliżej początku, czy też bliżej końca okresu I. Stąd stopień szkodliwości w tym okresie oznaczony jest jako stały. Z chwilą rozpoczęcia wiązania wchodzimy w okres II. Zamiana wody na lód powoduje, podobnie jak w okresie pierwszym, powiększenie porów w betonie. Ponadto reakcje między wodą i różnymi składnikami cementu nie odbywają się jednocześnie. Należy także przypuszczać, że tworzenie się kryształków lodu odbywać się będzie w ten sposób, że kiedy rzadsze roztwory soli cementowych już marzną, gęstsze roztwory przy ziarnach cementu będą jeszcze płynne. Lód zatem nie tylko rozluźnia beton, ale i zakłóca wiązanie.

Tabela 9. Zależność objętości i naprężeń wywołanych zamarzaniem wody od temperatury

Temperatura °C	Wzrost objętości V %	Naprężenia MPa
0	9,00	0
-5	10,16	61
-10	11,20	113
-15	12,18	159
-20	13,13	197
-22	13,25	211,5
>-22	zmniejsza się	zmniejsza się

Poza tym prawdopodobnie niszczy on świeżo powstałe produkty procesu hydratacji. Nie wiadomo w jakim punkcie okresu II lód jest najniebezpieczniejszy. Należy przypuszczać, że im później nastąpi zakłócenie wiązania cementu, to szkodliwość lodu będzie większa. W schemacie został przyjęty równomierny wzrost szkodliwości, osiągający swe maksimum z chwilą końca wiązania cementu. W tym okresie temperatura i czas jej trwania odgrywają pewną rolę. Jednak wpływ jest skomplikowany. Ostry mróz może na przykład przyspieszyć całkowite zamarznięcie betonu tak, że nastąpi ono zaraz na początku. W ten sposób może on być mniej szkodliwy od mrozu łagodnego, który procesom wiązania pozwolił daleko się rozwinąć. Z drugiej strony ostry mróz skuteczniej zniszczy słabe kryształy produktów hydratacji. Mróz długotrwały może spowodować, że po rozmrożeniu betonu może zabraknąć wolnego wapna do ukończenia procesów wiązania. W okresie III następuje krzepnięcie i zrastanie się nowych związków krystalicznych i koloidalnych. W betonie jest jeszcze dużo wolnej wody, szczególnie w koloidach, które powoli wysychając wpływają na zwiększenie wytrzymałości betonu. Im wcześniej w okresie III nastąpi zamrożenie, tym więcej wody zamieni się w lód i tym większe będzie niszczenie struktury betonu. Ponieważ beton tworzy już w całości lub poszczególnych cząsteczkach ciało stałe, stawiające pewien opór rozszerzaniu się lodu, działanie mrozu będzie tym bardziej niszczące, im niższa temperatura i większe ciśnienie na ścianki porów w betonie. Długotrwałość mrozu powinna odgrywać mniejszą rolę. Mróz będzie mniej szkodliwy, im później beton zamarza, stąd

spadanie krzywej dla okresu III.

W rzeczywistości beton zamarza nie skrośnie, lecz najpierw na powierzchni, podczas gdy w jądrze procesy wiązania trwają dalej. Ponieważ zamarzanie powoduje rozszerzanie się betonu, a wiązanie kurczenie się, między jądrem a powłoką powstają naprężenia ścinające. Mogą one zniszczyć powłokę, albo osłabić beton mimo braku widocznych uszkodzeń. Kilkakrotne zamrożenie i odmrożenie betonu może w okresie I wywołać uszkodzenia, a w okresach II i III powoduje zawsze prawie całkowite zniszczenie betonu.

4.2. Potrzeba pielęgnacji betonu w okresie zimowym

Prowadzenie robót betonowych w warunkach zimowych wymaga uwzględniania takich działań technologicznych, które pozwolą, aby świeżo ułożony beton [16]:

- dojrzewał w czasie 28 dni w warunkach zbliżonych do normalnych
- dojrzewał w temperaturze pozwalającej na, co prawda spowolniony, lecz stały przyrost jego wytrzymałości
- przed ewentualnym zamrażnięciem uzyskał odpowiednią wytrzymałość, a więc i odporność.

Wg [14] beton, przed pierwszym zamrażnięciem, musi uzyskać tzw. odporność mrozową pełną, definiowaną w sposób następujący:

- odporność mrozowa jest pełna - gdy beton, narażony na działanie czynników atmosferycznych, uzyskał wytrzymałość na ścislenie co najmniej 5 MPa przy użyciu cementów portlandzkich (CEM I) oraz 10 MPa przy użyciu cementów z dodatkami (CEM III, CEM II),

Celem ochrony betonu w okresie obniżonych temperatur jest zachowanie jego wymagań technicznych podanych w projekcie. Wiąże się to z pielęgnacją betonu do momentu w którym osiągnie on odporność pełną. Orientacyjny czas niezbędny do uzyskania odporności młodego betonu na zamrożenie podano w tabeli 10.

Tabela 10. Orientacyjny czas niezbędny do uzyskania odporności młodego betonu na zamrożenie [16]

Beton wykonany z cementu:	Temperatura dojrzewania, °C		
	+20	+10	+5
Portlandzkiego o dużej wytrzymałości wczesnej CEM I: 32,5R; 42,5R; 52,5R	12 godz.	12 godz.	18 godz.
Portlandzkiego zwykłego CEM I: 32,5; 42,5; 52,5 Hutniczego CEM III: 32,5; 42,5	24 godz.	36 godz.	48 godz.

4.3. Metody pielęgnacji betonu w okresie zimowym

W okresie zimowym pielęgnacja betonu obejmuje różne działania zmierzające do zminimalizowania szkodliwych skutków oddziaływania warunków atmosferycznych. Do działań tych zalicza się:

- dobór składników i składu mieszanki betonowej
- ochronę cieplną betonu w deskowaniu
- ochronę powierzchniową betonu przed parowaniem i bezpośrednim wpływem opadów
- dostarczanie ciepła do betonu

Dobór składników i składu betonu mieszanki ma na celu uzyskanie materiału jak najdłużej w czasie odpornego na ujemne temperatury.

Ochrona cieplna betonu umożliwia optymalne wykorzystanie ciepła hydratacji do utrzymania warunków odpowiednich dla wiązania i twardnienia poprzez odizolowanie betonu od środowiska zewnętrznego.

Ochrona powierzchniowa odkrytych powierzchni betonu ma na celu uniemożliwienie nadmiernego wysychania betonu, a także jego ochronę przed opadami.

Dostarczanie ciepła do betonu może pełnić podobną rolę jak ochrona cieplna (zwłaszcza w warunkach, w których sama ochrona jest niewystarczająca) lub może intensyfikować dojrzewanie betonu w konstrukcji.

W okresie zimowym niedopuszczalna jest natomiast pielęgnacja mokra betonu.

4.4. Zalecenia do składników i składu mieszanki betonowej

W okresie zimowym szczególną uwagę należy zwrócić na skład mieszanki betonowej, w tym głównie na dobór rodzaju i ilości cementu. W tym celu zaleca się:

- zapewnienie świeżemu betonowi możliwie jak najdłużej możliwie wysokiej temperatury; dlatego też cement powinien charakteryzować się wysokim ciepłem hydratacji,
- stosowanie cementów charakteryzujących się wysoką wytrzymałością wczesną, np. CEM I 32,5R; CEM 142,5R; CEM I 52,5R,
- zwiększenie ilości cementu w 1 m^3 betonu do :
 - * 350 - 400 kg przy temperaturze otoczenia 0°C i przewidywanej temperaturze w okresie dojrzewania betonu w ciągu 7 dni nie niższej niż -5°C ,
 - * 400 - 500 kg w przypadku, gdy w okresie dojrzewania betonu w ciągu 7 dni przewidywany jest spadek temperatury do -15°C przez dłuższy czas

Ponadto zaleca się:

- rozmrożenie kruszywa przed użyciem
- stosowanie mieszanek o wskaźniku W/C niższym od 0,5
- ograniczenie ilości wody zarobowej przez zastosowanie domieszek plastyfikujących lub upłynniających
- stosowanie domieszek przyspieszających wiązanie i twardnienie oraz domieszek przeciwmrozowych
- stosowanie tzw. ciepłej mieszanki

Do najczęściej stosowanych obecnie środków umożliwiających betonowanie w okresie zimowym należą domieszki umożliwiające wiązanie i twardnienie w ujemnych

temperaturach często nazywane domieszkami przeciwmrozowymi. Głównym zadaniem tych domieszek jest bądź przyspieszenie narastania początkowej wytrzymałości betonu i tym samym skrócenie czasu niezbędnego aby beton uzyskał wytrzymałość mrozową, bądź obniżenie temperatury zamarzania wody zarobowej, co umożliwi przebieg hydratacji i tym samym rozwój wytrzymałości w ujemnych temperaturach. Ponadto wymienione domieszki wykazują także działanie plastyfikujące, pozwalające na redukcję ilości wody zarobowej.

Inną możliwością prowadzenia betonowania w obniżonych temperaturach jest stosowanie tzw. ciepłych mieszanek. Podgrzewana może być mieszanka (parą wodną podczas mieszania) lub jej składniki (kruszywo, woda) Temperatura mieszanki nie powinna jednak przekraczać 35 °C [14].

Warunki temperaturowe betonowania zgodnie z normą niemiecką [18] podano w tabeli 11.

Tabela 11 Warunki temperaturowe betonowania wg DIN 1045

Temperatura powietrza	Minimalna temperatura świeżego betonu
+5°C do -3°C	Ogólnie +5°C +10°C gdy zawartość cementu < 240 kg/m ³
Poniżej -3°C	+10°C musi być utrzymana przez min. 3 dni

W tabeli 12 podano minimalne zalecane temperatury wbudowania mieszanki betonowej w okresie zimowym wg ACI 306R-97 [19].

Tabela 12. Minimalne zalecane temperatury wbudowania mieszanki betonowej wg ACI 306R -97

Temperatura powietrza	Minimalny wymiar elementu, cm			
	<30	30-90	90-180	>180
<5°C	13°C	10°C	7°C	5°C

Zapewnienie zgodności z wymaganiami podanymi w powyższych tabelach wymaga przy zamawianiu mieszanki uwzględnienia strat ciepła wstępujących w czasie jej transportu, wyładunku i układania.

4.5. Ochrona cieplna i powierzchniowa betonu dojrzewającego w deskowaniu

4.5.1. Rola deskowania w pielęgnacji betonu

Na mieszankę betonową i młody beton w deskowaniu ma wpływ zarówno rodzaj deskowania, a w szczególności materiał z którego zostało wykonane, jak i sposób przygotowania go przed ułożeniem mieszanki betonowej.

Materiał z którego zostało wykonane deskowanie chroni beton przed utratą ciepła, chociaż nie na tyle, żeby zapewnić mu odpowiednie warunki dojrzewania w okresie zimowym. Ponadto deskowanie może chronić beton przed utratą wilgoci. Przykładowo niektóre systemowe, małowymiarowe, płytowe, rozbieralno-przestawne deskowania wykonane są z obustronnie laminowanej, wodoodpornej sklejki przytwierdzonej do aluminiowej ramy, która stanowi konstrukcję deskowania. W celu zapewnienia odpowiednich warunków dojrzewania betonu można między innymi ocieplić deskowanie. O ile przytwierdzenie na stałe materiału ocieplającego do płyt wielkowymiarowych deskowania (nierzadko swoimi wymiarami obejmujące całą kondygnację lub jej dużą część) ma uzasadnienie ekonomiczne, to stosowanie takiego rozwiązania przy elementach małowymiarowych deskowania systemowego jest nieuzasadnione. Ale w istniejących systemach deskowań małowymiarowych możliwe jest kształtowanie powierzchni w zależności od rodzaju betonowanego elementu. Jednak łączenie elementów deskowania stanowi doskonale miejsce, przez które beton traci ciepło. Rozwiązaniem mogłoby być w tym przypadku przytwierdzenie materiału ocieplającego do deskowania wcześniej ukształtowanego. Niestety żadna z firm oferujących deskowania systemowe na polskim rynku nie przewiduje możliwości mocowania ocieplenia.

Przed przystąpieniem do układania mieszanki betonowej deskowanie należy dokładnie oczyścić z lodu i ze śniegu. Zabrania się czyszczenia deskowania za pomocą otwartego płomienia oraz ciepłym powietrzem zmieszonym ze spalinami. W miarę możliwości można ogrzewać deskowanie przed ułożeniem mieszanki betonowej. Gdyby istniała możliwość mocowania ocieplenia do deskowania jeszcze przed betonowaniem wówczas deskowanie nie ulegałoby nadmiernemu oziębieniu.

4.5.2. Charakterystyka materiałów do ochrony cieplnej i powierzchniowej betonu w deskowaniu

Materiały stosowane do osłaniania betonu zimą pełnią z zasady podwójną funkcję, tj. ochrony cieplnej i ochrony powierzchniowej. Dlatego przy doborze osłon ocieplających należy kierować się zarówno współczynnikiem przewodności cieplnej jak i przenikliwością osłony na wiatr. Ma to decydujący wpływ na ochładzanie mieszanki betonowej. Do osłon trudnoprzenikliwych zalicza się papę, płyty pilśniowe twarde, dyktę, styropian, maty z wełny mineralnej w osłonie z folii itp., a do osłon łatwoprzenikliwych zalicza się maty i płyty słomiane, płyty trzciniowe, płyty pilśniowe porowate itp. Przy działaniu wiatru należy uwzględnić przenikliwość osłony na wiatr w ten sposób, że wartość współczynnika przewodności cieplnej należy pomnożyć przez współczynnik szczelności osłony.

Ważne jest, aby chronić osłonę przed zawilgoceniem, gdyż wilgoć pogarsza właściwości izolacyjne materiału. Materiał powinien być izolowany zarówno od strony betonu, gdzie działa woda zawarta w betonie, jak i od wpływu warunków atmosferycznych.

W tabeli 13 podano współczynniki przewodzenia ciepła dla niektórych rodzajów osłon, a w tabeli 14 podano współczynniki szczelności osłony na wiatr.

Dobór rodzaju i jakości ocieplenia w określonych warunkach otoczenia powinien być wynikiem przeprowadzonego bilansu cieplnego dla układu: deskowanie – beton – osłona.

Jeżeli z bilansu cieplnego wynika niecelowość stosowania osłony cieplnej to na powierzchniach odkrytych betonu i tak niezbędna jest ochrona przed wysychaniem i opadami atmosferycznymi, np. poprzez przykrycie powierzchni betonu brezentem lub folią.

Tabela 13. Współczynniki przewodności cieplnej k dla niektórych rodzajów osłon cieplnych deskowania i przykryć stropów [14].

Rodzaj osłony	Współczynnik przewodności cieplnej, k $W/m^2 K$
Deskowanie zewnętrzne bez okrycia	6,40
Deskowanie + mata słomiana o grubości 5 cm	1,60
Deskowanie + mata słomiana o grubości 10 cm	0,90
Deskowanie + płyta styropianowa o grubości 2,0 cm	1,50
Deskowanie + płyta styropianowa o grubości 5,0 cm	0,80
Warstwa powietrza o grubości ok. 1,0 cm + plandeka	6,20
Warstwa powietrza o grubości ok. 8,0 cm + plandeka	4,60
Warstwa powietrza o grubości ok. 15,0 cm + plandeka	4,00
Mata słomiana o grubości 5 cm	2,00
Mata słomiana o grubości 10 cm	1,00
Mata słomiana o grubości 15 cm	0,70
Mata z wełny mineralnej w osłonie z folii o gr. 2 cm	2,00
Mata z wełny mineralnej w osłonie z folii o gr. 3 cm	1,40
Mata z wełny mineralnej w osłonie z folii o gr. 5 cm	0,90

Tabela 14. Wartości liczbowe współczynnika szczelności osłony [14]

Rodzaj osłony	Współczynnik
Osłona wykonana wyłącznie z materiałów przenikliwych, np. mat słomianych	2,5
Osłona zabezpieczona przed wilgocią przenikającą z betonu, np. deskowanie od zewnątrz	2,0
Osłona zabezpieczona przed wilgocią przenikającą z zewnątrz, np. plandeka i warstwa powietrza	1,2
Osłona zabezpieczona przed wilgocią obustronnie, np. deskowanie i plandeka	1,3

4.6. Dostarczanie ciepła do betonu

4.6.1. Metody dostarczania ciepła do betonu

Dostarczanie ciepła do betonu może odbywać się poprzez powierzchnię betonu lub od wewnątrz poprzez instalacje umieszczone bezpośrednio w betonie. Podstawową metodą stosowaną obecnie jest obróbka cieplna z wykorzystaniem prądu elektrycznego. Stosowane bywają również starsze metody podgrzewania betonu, takie jak np. koksowniki czy podgrzewanie parą.

Jako urządzenie grzewcze stosuje się również ogrzewane deskowania. Metoda ta polega na wykorzystaniu deskowania do zainstalowania przewodów grzejnych. Ponadto stosowane są urządzenia wykorzystujące promieniowanie podczerwone. Przy zastosowaniu urządzeń

na podczerwień beton podgrzewa się w strefie przypowierzchniowej. Stosuje się je do miejscowego przyspieszenia dojrzewania betonu, na przykład płyt i biegów klatek schodowych. Po zabezpieczeniu i uszczelnieniu otworów w klatce schodowej ustawia się promienniki po jednym lub dwa na każdym spoczniku. Liczbę zainstalowanych promienników dostosowuje się do temperatury zewnętrznej, tak aby temperatura wewnątrz pomieszczenia nie spadła poniżej $+5^{\circ}\text{C}$. Należy przy tym mieć na uwadze to, iż promienniki podczerwień dają silne nagrzanie powierzchni betonu, a ciepło nie przenika zbyt głęboko w beton. Powoduje to często powstawanie rys powierzchniowych. Ze względu na nadmierne odparowanie wilgoci z betonu, podczas nagrzewania takimi urządzeniami, beton należy okrywać materiałami nie przepuszczającymi wilgoci.

Można także stosować podgrzewanie betonu przez wywołanie indukcji, w kraju jak dotąd nie spotykane.

Ideą tej metody jest nagrzewanie betonu w polu elektromagnetycznym, ciepło pochodzi od rozgrzewających się elementów stalowych, na przykład zbrojenia. W ferromagnetycznym metalu indukują się prądy wirowe i wydziela się ciepło. Metodę tą stosuje się w przypadku elementu prętowego o dużym stopniu zbrojenia lub gdy inne metody nie odniosły oczekiwanego skutku. Wadą tej metody jest pracochłonny proces przygotowania urządzenia do nagrzewu, polegający na dokładnym rozmieszczeniu przewodów wokół nagrzewanego elementu.

Metoda ta polecana jest przy ogrzewaniu węzłów łączących prefabrykaty oraz przy betonowaniu metoda ślizgową. Cewki indukcyjne zakładane są wtedy na zewnętrznej stronie deskowania. W metodzie tej stosuje się prąd o napięciu od 36 do 120 V.

4.6.2. Obróbka cieplna betonu z wykorzystaniem prądu elektrycznego

Obróbka cieplna betonu z wykorzystaniem prądu elektrycznego polega na wykorzystaniu ciepła pochodzącego z przemiany energii elektrycznej w ciepłą [20], [21].

W zależności od sposobu przekształcania energii elektrycznej w ciepłą wyróżnia się następujące metody obróbki cieplnej betonu:

- z wykorzystaniem oporności elektrycznej betonu (tzw. metoda elektrodowa),
- z wykorzystaniem oporności elektrycznej zbrojenia,
- podgrzewania za pomocą specjalnych urządzeń:
 - * niskotemperaturowych
 - izolowany rdzeń grzejny
 - maty grzejne
 - * wysokotemperaturowych
 - urządzenia na podczerwień
- nagrzewanie w polu elektromagnetycznym.

Wybór metody zależy od typu i rozmiarów nagrzewanych elementów, konstrukcji deskowania oraz dostępnej mocy.

A) Wykorzystanie oporności elektrycznej betonu

Metoda ta polega na tym, że energia elektryczna zamieniana jest w ciepło bezpośrednio w samym betonie włączonym w sieć elektryczną w charakterze oporu. Istotą tego sposobu jest przepuszczanie przez beton prądu przemiennego za pomocą elektrod umieszczonych wewnątrz lub na powierzchni betonu.

Opór betonu zależy od:

- ilości wydzielanego ciepła,
- składu mieszanki,
- ilości fazy ciekłej,
- zawartości alkaliów w cemencie,
- zawartości domieszek.

W metodzie tej wykorzystuje się następujące elektrody:

Płytkowe

Elektrody płytowe mogą być wykorzystywane do podgrzewania płyt stropowych. Najczęściej jednak stosowane są w prefabrykacji, przy czym rolę elektrod spełniają ścianki działowe w formach bateryjnych, a w formach poziomych dno formy i specjalna płyta metalowa przyłożona od góry. Płyty powinny dobrze przylegać do betonu. Powierzchnię betonu należy chronić przed odparowaniem wody w czasie podgrzewania. Elektrody płytowe są bardzo korzystne, ponieważ gwarantują równomierny rozkład pola elektrycznego, a co za tym idzie równomierny rozkład temperatury w całej objętości betonu. Ten typ elektrod może być stosowany przy elementach o grubości 15-30 cm z niedużą ilością zbrojenia.

Taśmowe

Składają się z równoległych taśm metalowych przykładanych od zewnątrz do betonu (podobnie jak elektrody płytowe). Wykonywane są z blachy o szerokości od 20 do 100 mm i grubości minimum 1 mm. Im mniejszy jest rozstaw elektrod, tym przepływ prądu jest bardziej równomierny. Zwykle elektrody układane są obustronnie co 15 cm. W ścianach taśmy mocowane są do tarczy drewnianej, co ułatwia ich rozłożenie. Elektrody taśmowe wykorzystywane są także do jednostronnego podgrzewania elementów. Sąsiadujące taśmy podłączane są wtedy do różnych faz i prąd przepływa między nimi tylko przez górne warstwy betonu. Warstwy dolne podgrzewane są przez przewodzenie.

Prętowe

Ten rodzaj elektrod stosowany jest bardzo rzadko, gdyż wiąże się z dużą ilością utraconej stali. Elektrody w postaci odcinków prętów stalowych zatapia się w mieszance betonowej. Pozostawia się je tam na stałe, ucina się tylko końcówki. Ten typ elektrod jest bardzo korzystny w przypadku podgrzewania elementów o skomplikowanym kształcie, w miejscach trudno dostępnych oraz w przypadku elementów, w których występują duże ilości zbrojenia blisko powierzchni elementu. Takich elementów nie nagrzewa się elektrodami płytowymi i taśmowymi, gdyż silnie rozgrzewające się zbrojenie może doprowadzić do zniszczenia otuliny. Elektrody rozmieszczane są tak, aby zapewniały równomierne ogrzanie całego masywu. Ustawiane są z reguły prostopadle do większej powierzchni elementu i stąd noszą też nazwę elektrod iglicowych. Elektrody prętowe wykonywane są ze stali zbrojeniowej okrągłej o średnicy 4-12 mm i są instalowane przed ułożeniem mieszanki betonowej. W tym celu elektrody umieszczane są w otworach wykonanych w deskowaniu, tak aby wystawały minimum 5 cm. Końce podłączane są na przemian do sieci elektrycznej z przewodami różnych faz. Przy układaniu mieszanki betonowej należy uważać, by elektrody nie uległy przemieszczeniu, gdyż mogłoby one spowodować, w momencie zetknięcia się elektrody ze zbrojeniem, zwarcie i co za tym idzie przepalenie elektrod lub transformatora.

Strunowe

Stosowane są przy elementach wydłużonych takich jak słupy i belki. Elektrody strunowe układa się wewnątrz elementu równoległe do jego osi. Jedną elektrodę stanowi pręt lub wiązka prętów o długości nie przekraczającej 3 m. Elektrody strunowe wykonywane są ze

stali zbrojeniowej okrągłej o średnicy 8-16 mm. Struny nie mogą stykać się ze zbrojeniem i muszą być od niego odpowiednio oddalone. Na przykład przy zastosowaniu prądu o napięciu 50 V, odległość ta powinna wynosić co najmniej 5 cm.

Przy stosowaniu podgrzewania przy wykorzystaniu elektrod należy zachować ostrożność, gdyż betonowany element znajduje się pod napięciem.

B) Wykorzystanie oporności elektrycznej zbrojenia

Metoda polega na przepuszczeniu prądu przez pręty zbrojenia, które nagrzewają się na skutek stawianego oporu i ogrzewają mieszankę betonową.

Metoda ta wykorzystywana jest przy nagrzewaniu elementów strunobetonowych, gdyż cienkie struny stawiają większy opór i szybciej się nagrzewają, a ich rozłożenie w betonie powoduje jego równomierne nagrzewanie.

C) Wykorzystanie izolowanego rdzenia grzejnego

Przy wykonywaniu konstrukcji monolitycznych do obróbki cieplnej betonu zaleca się wykorzystanie izolowanego rdzenia grzejnego.

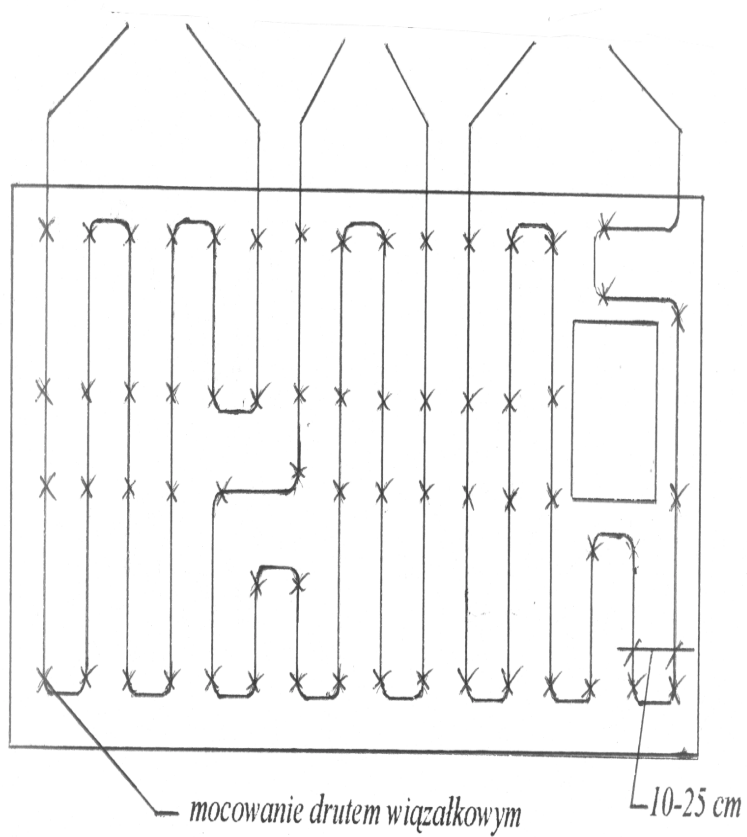
Jako rdzenie grzejne wykorzystuje się celowo założone, izolowane przewody grzewcze: stalowe, miedziane lub aluminiowe, których średnica wraz z izolacją wynosi 1-4 mm. Przewody takie, nazywane grzałkami, mocuje się do deskowania lub zbrojenia elementu (wtedy tracone są w betonie) przed rozpoczęciem betonowania.

Rozmieszczenie grzałek zależy od grubości elementu i temperatury zewnętrznej. W przypadku słupa lub ściany zakładanie grzałki rozpoczyna się od przywiązania drutem wiązkowym jej końca do pręta zbrojeniowego lub do deskowania. Koniec grzałki powinien wystawać około 50 cm ponad poziom betonu. Następnie układa się drut grzewczy od góry ku dołowi mocując go drutem wiązkowym co ok. 1 m i zwraca się do góry. Drugi koniec powinien również wystawać ok. 50 cm ponad powierzchnię betonu. Podczas układania grzałki szczególną uwagę należy zwrócić na izolację. Każde jej uszkodzenie prowadzi do uszkodzenia drutu. Grzałki na strop zakłada się na dolną siatkę zbrojenia, tak aby końce drutu wystawały ok. 30 cm nad powierzchnię betonu w stropie. Formuje się ją w kształcie litery „U”. Kolejne druty grzałki układa się w odległości od 10 do 25 cm.

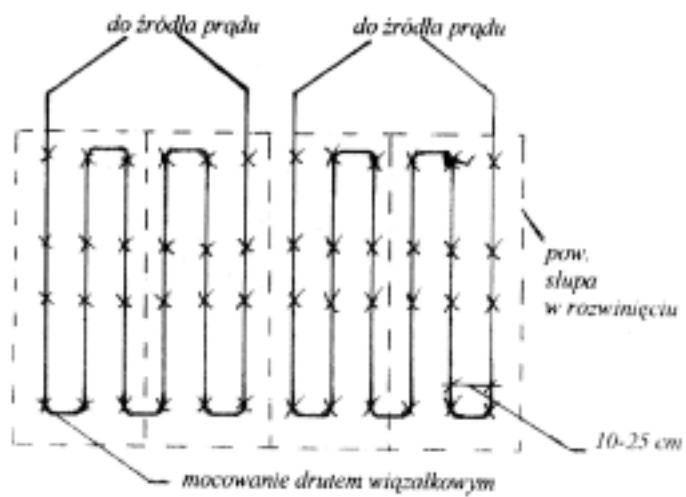
Przykład ułożenia grzałek w ścianie z otworem pokazano na rysunku 9, w słupie na rysunku 10, a w stropie na rysunku 11.

Zaletą tej metody jest całkowite wykorzystanie ciepła. Ilość wydzielonego ciepła zależy od natężenia prądu, oporu przewodu i od czasu nagrzewu. Drut oporowy jest urządzeniem z grupy nagrzewaczy niskotemperaturowych. W metodzie tej stosuje się transformator trójfazowy. W celu utrzymania stałej temperatury w betonie w czasie podgrzewania transformator wyposaża się w płynną regulację lub włącza się i wyłącza okresowo prąd. Do nagrzewu wykorzystuje się prąd o napięciu 24 lub 42V. Metoda ta pozwala na betonowanie w temperaturze do -20°C.

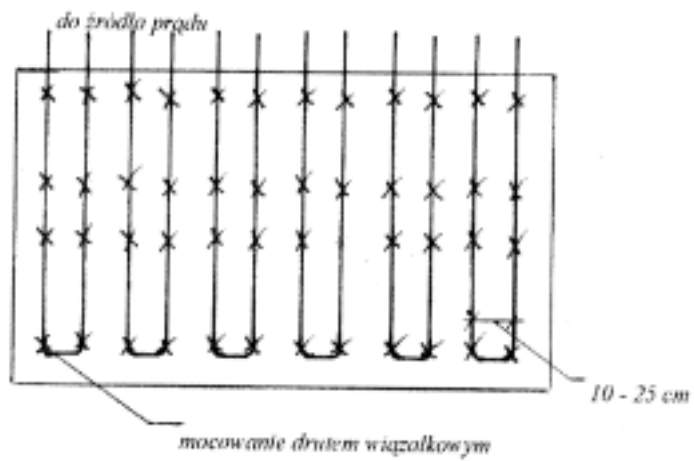
Czas nagrzewu zależy od grubości elementu i temperatury zewnętrznej. Trzy reżimy podgrzewania przy użyciu drutu oporowego [22] zaprezentowano na rysunkach: 12 - w przypadku, gdy moduł powierzchniowy $M > 15 \text{ m}^{-1}$, 13 ~ w przypadku, gdy moduł powierzchniowy $15 > M > 6 \text{ m}^{-1}$, 14 - w przypadku, gdy moduł powierzchniowy $M < 6 \text{ m}^{-1}$.



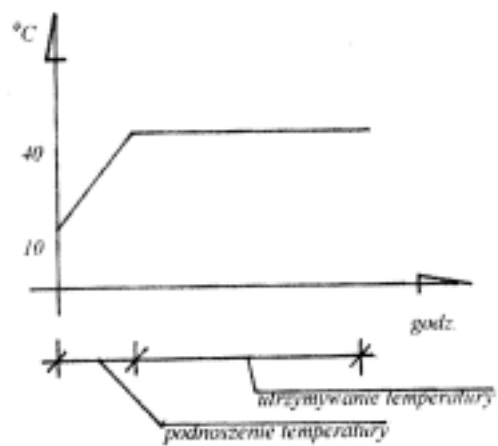
Rys. 9 Przykład układania grzałek w ścianie z otworem



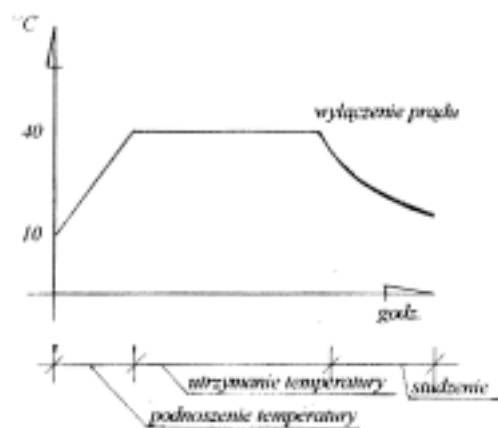
Rys.10 Przykład układania grzałek w słupie



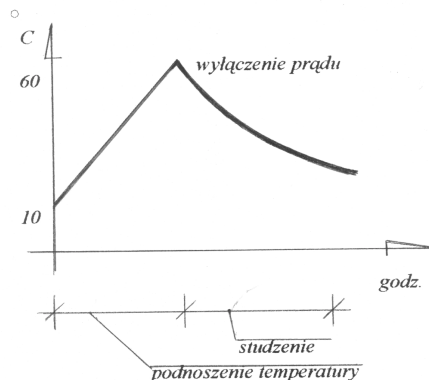
Rys.11 Przykład układania grzałek w stropie



Rys.12 Przykład cyklu cieplnego przy podgrzewaniu elementu o module powierzchniowym $M > 15 \text{ m}^{-2}$



Rys.13 Przykład cyklu cieplnego przy podgrzewaniu elementu o module powierzchniowym $15 > M > 6 \text{ m}^{-2}$



Rys. 14 Przykład cyklu cieplnego przy podgrzewaniu elementu o module powierzchniowym $M < 6 \text{ m}^{-1}$

Przy stosowaniu obróbki cieplnej betonu z wykorzystaniem prądu elektrycznego muszą być spełnione następujące wymagania:

- Projekt podgrzewania powinien obejmować: ustalenie czasu i temperatury podgrzewania, nagrzewania i studzenia, napięcia roboczego prądu, mocy i zużycia energii elektrycznej, rozkładu elektrod i organizacji robót.
- W przypadku braku szczegółowych wytycznych nagrzewanie należy przeprowadzać tak, aby podgrzewanie betonu odbywało się nie szybciej niż $20^\circ\text{C}/\text{h}$, a studzenie - nie szybciej niż $5\text{-}10^\circ\text{C}/\text{h}$.
- Ogranicza się następująco szybkość podnoszenia temperatury betonu:
 - ◆ maksymalnie 15°C na godzinę dla prętowych i cienkościennych konstrukcji o module powierzchniowym większym od dziesięciu,
 - ◆ maksymalnie 10°C na godzinę dla konstrukcji o module powierzchniowym 6-9,
 - ◆ maksymalnie 8°C na godzinę dla konstrukcji o module powierzchniowym 3-5,
 - ◆ maksymalnie 20°C na godzinę przy dwustopniowym nagrzewie,
- Ogranicza się następująco szybkość schładzania betonu;
 - ◆ maksymalnie 12°C na godzinę dla konstrukcji betonowych i konstrukcji o niskim stopniu zbrojenia i module powierzchniowym 10-15,
 - ◆ maksymalnie 5°C na godzinę przy module powierzchniowym 6-9,
 - ◆ maksymalnie $2\text{-}3^\circ\text{C}$ na godzinę przy module powierzchniowym 3-5,
 - ◆ maksymalnie 15°C na godzinę w przypadku konstrukcji o większym stopniu zbrojenia i module powierzchniowym 8-15.
- Zaleca się, aby metodę z wykorzystaniem oporu mieszanki betonowej stosować w konstrukcjach w których moduł powierzchniowy nie przekracza 20. Gdy moduł powierzchniowy jest mniejszy od 10 bardziej ekonomiczne jest stosowanie elektrycznych urządzeń nagrzewających.
- W przypadku wykorzystania do nagrzewania drutu oporowego, szybkość podnoszenia temperatury nie powinna przekraczać $2\text{-}5^\circ\text{C}$ na godzinę. Szybkość studzenia nie powinna przekraczać 5°C na godzinę.
- Różnica temperatury w przekroju nie powinna przekraczać 15°C na długości elementu i 10°C na szerokości elementu.

- Maksymalna temperatura betonu, gdy moduł wynosi $10-15 \text{ m}^{-1}$, nie powinna przekraczać 50°C . Warunek ten powinien być dochowany szczególnie w przypadku elementów konstrukcji, w których znaczenie mają naprężenia termiczne.
- Po zakończeniu studzenia, różnica temperatury betonu i otoczenia nie powinna przekraczać $10-15^{\circ}\text{C}$.
- Ze względów ekonomicznych cykl obróbki cieplnej należy tak zaprogramować, aby beton po obróbce miał wytrzymałość co najmniej równą $50-70\%$ wytrzymałości projektowanej.
- Mieszanke betonową i beton należy chronić przed utratą wilgoci.

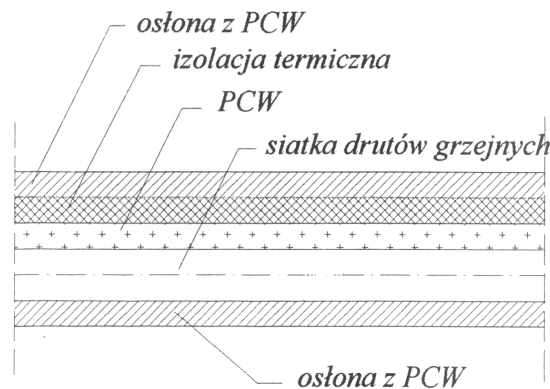
D) Wykorzystanie mat grzejnych

Są to elastyczne przykrycia składające się z kilku warstw różnych materiałów. Przykładowy układ warstw maty grzejnej pokazano na rysunku 15

Ze względu na wymiary, maty mogą mieć kształt poduszek, dywanów, taśm itp.

Idea mat polega na tym, że rozgrzewają się one w wyniku przepuszczania prądu przez siatkę drutów umieszczonych w macie. Dla ochrony przed nadmiernymi stratami ciepła maty są jednostronnie izolowane termicznie. Stronę nie izolowaną przykłada się bezpośrednio do podgrzewanego betonu lub jego deskowania.

Odmianę mat stanowią przewodzące prąd płyty gumowe. Składają się one z trzech warstw. Warstwy zewnętrzne z gumy nie przewodzącej prądu, a warstwa wewnętrzna z gumy przewodzącej prąd. Warstwa wewnętrzna przewodzi prąd dzięki dużej zawartości sadzy w gumie. Ponadto w tej warstwie wprowadzone są elektrody. Zaletą tego typu maty jest to, że nie pozwala na parowanie wody z betonu.



Rys. 15 Schemat przekroju maty grzejnej [15]

Piśmiennictwo

- [1] Jamróży Z. Beton i jego technologie. PWN, Warszawa - Kraków 2000
- [2] Neville A.M. Właściwości betonu. Polski Cement, Kraków 2000
- [3] ACI 305R -1999 Hot weather concrete, ACI Committee, 2000
- [4] EN 206: 2000 Concrete: Performance, production, placing and conformity

- [5] Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlano-montażowych, ITB Warszawa 1989
- [6] Richtlinien für Nachbehandlung von Beton, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 1994
- [7] ACI 308.1-1998 Standard Practice for Curing Concrete
- [8] Techniques of Curing Concrete, Concrete Society Report, www.csr.com.au, 2000
- [9] ASTM C309 - 1998 Standard specification for Liquid Membrane - Forming Compounds for Curing Concrete
- [10] Wstępne wytyczne oceny przydatności preparatów powłokowych oraz powłok do pielęgnacji nawierzchni z betonu cementowego, IBDiM Ośrodek informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej Drogownictwa, Zeszyt nr 16, Warszawa 1983
- [11] ASTM C171 - 1997 Standard Specification for Sheet Materials for Curing Concrete
- [12] Kowalski R. Korus M. warunki techniczne wykonywania elementów z betonu architektonicznego, CEBET, Warszawa 1985
- [13] PN-88/B-06250 Beton zwykły
- [14] Wytyczne wykonywania robót budowlano-montażowych w okresie obniżonych temperatur, Instrukcja ITB 282, Warszawa 1988
- [15] Budownictwo betonowe t VI, Arkady, Warszawa 1973
- [16] Śliwiński J. Betonowanie zimą Polski Cement 1/2000
- [17] Osiecka E. Wybrane zagadnienia z technologii mineralnych kompozytów budowlanych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000
- [18] DIN 1045 Beton und Stahlbeton 1991
- [19] ACI 306 R - 1997 Cold weather concreting
- [20] Bażenow M. Komar A.G. Technologia betonnych i żelazobetonnych izdzielij, Strojizdat, Moskwa 1984
- [21] Sowałow I.G. Mogilewskij G. Ostromogilskij W. Bietonnyje i żeliezobietonnyje raboty, Strojizdat, Moskwa 1988
- [22] Jasek J. Elektroohrev betonu monolitické železobetonove konstrukce ztracenym izolovanym vodice, Inżenierskije Stavby 9/1992
- [23] prENV 13670-1: 1999 Execution of concrete structures. Part 1: Common
- [24] Shirley D.E. Concreting in hot weather. Construction Guide. Cement and Concrete Association (CCA) Wexham Spring, Slough, 1980
- [25] Jasiczak J. Technologia monolitycznych robót betonowych wykonywanych w krajach o klimacie suchym i gorącym. Politechnika Poznańska. Poznań 1987
- [26] ENV206: 1992 Concrete: Performance production, placing and compliance criteria.