

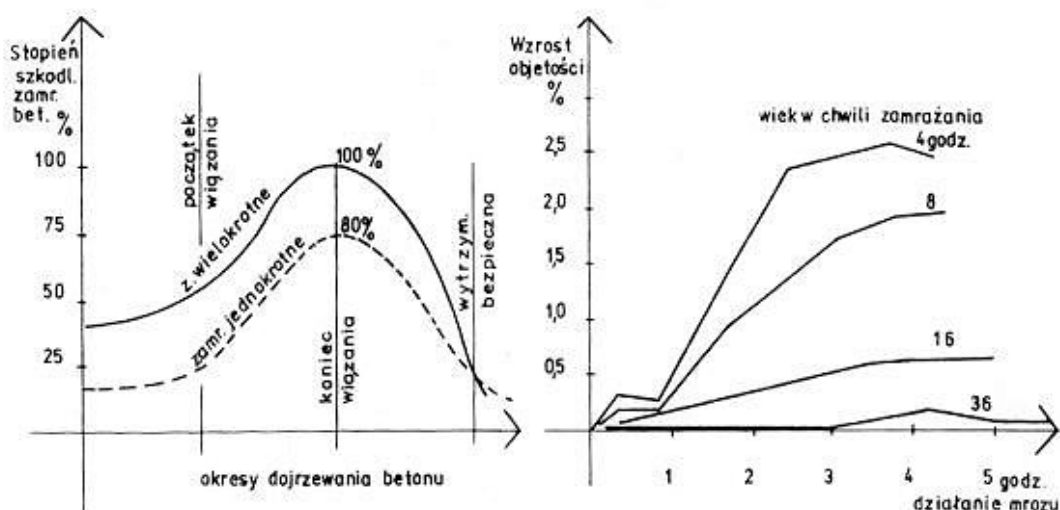
7. ← ↑ → WYKONYWANIE MONOLITYCZNYCH ROBÓT BETONOWYCH W WARUNKACH NISKICH TEMPERATUR

7.1. Zjawiska powstające w betonie w wyniku obniżania się temperatur

7.1.1 Charakterystyka procesów wiązania w obniżonych temperaturach

Przyjmuje się, iż temperatura dojrzewającego betonu powinna mieścić się w zakresie $15+20^{\circ}\text{C}$. Przy temperaturach niższych następuje spowolnienie wiązania betonu, przy czym proces ten jest wyraźnie widoczny, jeśli temperatura tężenia jest niższa od 10°C . Dlatego też okres, podczas którego średnie dobowe temperatury są niższe od $+10^{\circ}\text{C}$, uznano w wielu państwach za okres zimowy, wymagający specjalnej troski przy wytwarzaniu i układaniu betonu. Przy dalszym obniżaniu się temp. do 0°C procesy tężenia są coraz wolniejsze, a poniżej 0°C proces twardnienia praktycznie zanika, jeśli nie dodaje się soli obniżających punkt zamarzania wody. Jeśli dopuści się do zamarznięcia betonu, który jeszcze nie związał, działanie mrozu da efekt podobny do zjawiska wysadzin w nasączonym wodą gruncie – woda zarobowa zamarza, czemu towarzyszy wzrost całkowitej objętości betonu oraz opóźnienie wiązania. Beton, który zamarzł bezpośrednio po ułożeniu nie będzie wiązał i w związku z tym nie nastąpi rozrywanie struktury zaczynu przez formujący się lód. Przy utrzymującej się niskiej temp. proces wiązania zostanie zatrzymany. W przypadku, gdy w okresie późniejszym nastąpi odmrożenie, beto należy ponownie zawibrować, po czym zwiąże on bez spadku wytrzymałości. Brak zawibrowania prowadzi do pojawienia się w betonie porów (na skutek topienia się zamarzniętej wody zarobowej, która ma mniejszą objętość niż lód), w wyniku czego nastąpi obniżenie wytrzymałości.

Zamarznięcie po związaniu betonu lecz przed osiągnięciem znacznej wytrzymałości, wywołuje zjawiska pęcznienia i naruszenie struktury oraz nieodwracalny spadek wytrzymałości. Zamarznięcia w tym okresie działają wybitnie niekorzystnie na późniejszą wytrzymałość betonu, a stopień szkodliwości może wynosić 100% (rys. 7.1a). Wzrost objętości betonu jest w tym okresie stosunkowo duży, o czym świadczą wyniki doświadczeń przedstawione na rys. 7.1b. Jeśli jednak beton uzyska dostateczną wytrzymałość może znieść temp. zamarzania bez uszkodzenia, a to dlatego, że większość wody wejdzie w związki ze składnikami cementu i nie będzie mogła ulec zamarznięciu.



Rys. 7.1

Zamrożenie świeżego betonu : a) wpływ zamarznięcia betonu na wytrzymałość późniejszą, b) wzrost objętości betonu w czasie zamrażania, w zależności od wieku, w którym rozpoczęto zamrażanie

7.1.2 Mrozoodporność betonu

Przyjmuje się, że wytrzymałość bezpieczna dla betonów produkowanych przy użyciu polskich cementów wynosi:

- 2Mpa dla betonu z cementem portlandzkim przy odporności warunkowej
- 5Mpa dla betonu jw. przy wymaganej odporności pełnej
- 8Mpa dla betonu z cementem hutniczym przy odporności warunkowej
- 10Mpa dla betonu jw. przy wymaganej odporności pełnej
- 7.5Mpa dla betonu z dowolnym cementem przy wytwarzaniu w zakładzie prefabrykacji
- 15Mpa dla betonu jw. przy możliwym cyklicznym nawilżaniu i zamrażaniu.

Praktyka wykazała, że czas potrzebny do uzyskania odporności mrozowej można ocenić również wg. trwania temp. dojrzewania ułożonego gruntu. Według wskazań A.M.Neville'a czasy trwania dojrzewania do momentu uzyskania mrozoodporności są dodatkowo zależne od W/C oraz rodzaju cementu. Informacje na ten temat zawarto w tab. 7.1

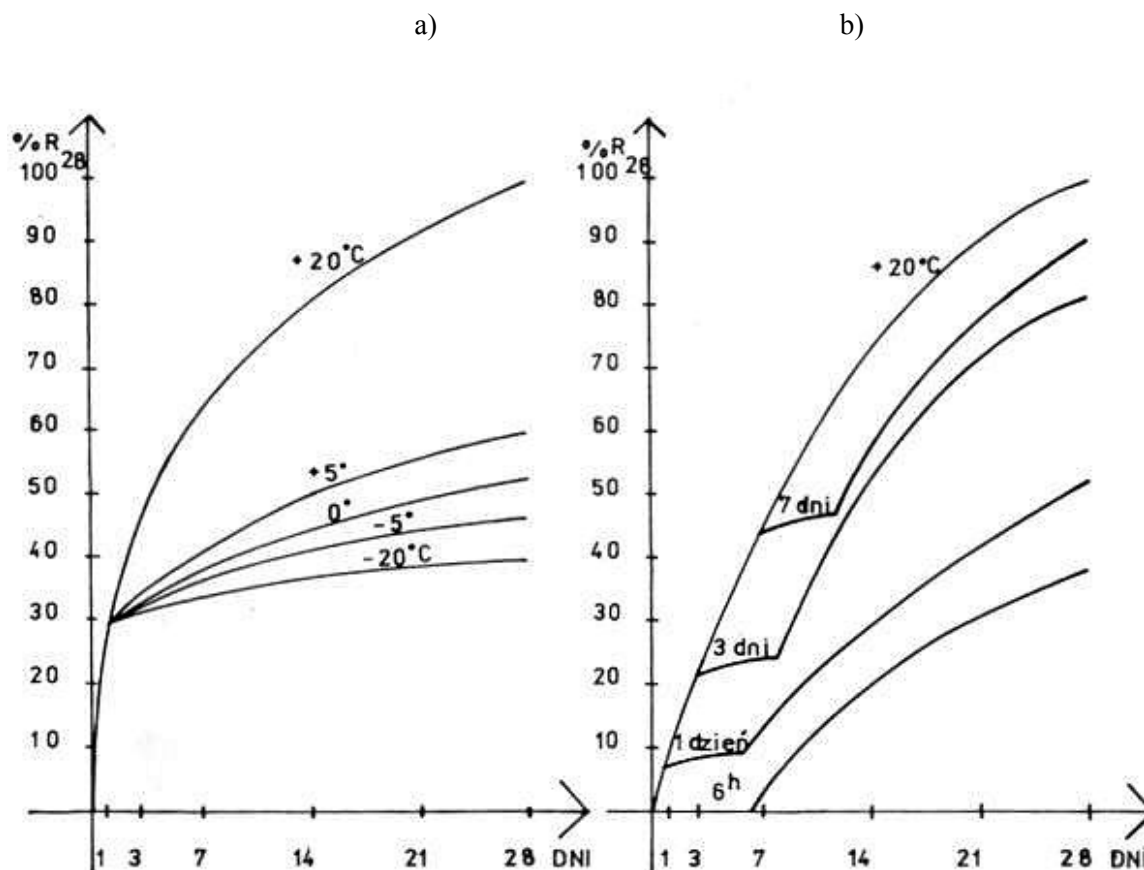
Tablica 7.1

Rodzaj cementu	1.1.1	Wiek, godz. w momencie oddziaływania mrozu, przy uprzednim dojrzewaniu w temperaturach			
		5 ⁰ C	10 ⁰ C	15 ⁰ C	20 ⁰ C
Portlandzki zwykły	0,4	35	25	15	12
	0,5	50	35	25	17
	0,6	70	45	35	25
Portlandzki szybkotwardniejący	0,4	20	15	10	7
	0,5	30	20	15	10
	0,6	40	30	20	15

7.1.3 Wpływ zamrożenia betonu na wytrzymałość późniejszą.

Beton, który po 1 dniu tężenia uzyskał już pełną wytrzymałość, a następnie został zamrożony, wykazuje nieznaczne przyrosty wytrzymałości po 28 dniach w stosunku do dojrzewającego w warunkach normalnych. Ewentualne przyrosty wytrzymałości są zależne od temp. zamrożenia o czym świadczą wyniki doświadczeń przedstawione na rys. 7.2a.

Efekty wytrzymałościowe zamrożenia betonów, które osiągnęły pewną wytrzymałość, a następnie dojrzewały w temp. dodatnich, porównano na rys. 7.2b. Zamrożenie betonu na okres 3 dni po 6 godz. dojrzewania w temp. dodatnich powoduje po 28 dniach zaniżenie wytrzymałości o 65% w stosunku do betonu tężącego w warunkach normalnych. Im później nastąpi zamrożenie, tym niższy jest spadek wytrzymałości. Zamrożenie po 7 dniach tężenia (również na okres 3 dni) oraz ponowne dojrzewanie w temp. dodatnich wywołuje nieznaczne (około 10%) zaniżenie wytrzymałości. Spostrzeżenia są te istotne dla praktyki, wskazują bowiem na konieczność ochrony betonu w początkowej fazie dojrzewania.



Rys. 7.2

Przyrosty wytrzymałości betonów : a) betony, które uzyskały już pewną wytrzymałość a następnie dojrzewały w różnych temperaturach, b) wpływ zamrożenia na przyrosty wytrzymałości w okresie późniejszym

7.2 Klasyfikacja i wariantowanie metod umożliwiających dojrzewanie betonu w obniżonych temperaturach

7.2.1 Zakres stosowania metod w zależności od temperatury otoczenia

Warianty działań przy zmiennych zakresach temp. wg. W.N.Sizowa przedstawiają się następująco:

- temp. pow. od 10⁰C do 5⁰C: stosowanie cementu portlandzkiego 350, stosowanie mieszanki betonowej o temp. wyższej od 10⁰C, obniżenie wskaźnika W/C do wartości co najmniej 0.55 z ewentualnym wykorzystaniem plastyfikatora, stosowanie CaCl₂ w ilości do 2% w przypadku stosowania cementu 250.
- temp. pow. od 5⁰C do 0⁰C: stosowanie cementu portlandzkiego 350 w ilości co najmniej 270 kg/m³ oraz dodatku CaCl₂ w ilości do 2%. Zastosowanie mieszanki betonowej o temp. nie niższej niż 20⁰C, ale wykonanej z cementu portlandzkiego.
- temp. pow. od 0⁰C do około -3⁰C: zastosowanie ciepłej mieszanki betonowej z dodatkami chemicznymi,
- temp. pow. od -3⁰C do -10⁰C: zastosowanie ciepłej mieszanki betonowej z jednoczesną izolacją cieplną, zastosowanie ciepłej mieszanki betonowej układanej w cieplakach,
- temp. pow. od -10⁰C do -20⁰C: połączenie zastosowania ciepłej mieszanki z jednoczesnym ogrzaniem zabetonowanych konstrukcji i stosowaniem osłon utrudniających odpływ ciepła,

- temp. pow. poniżej -20°C : zastosowanie nagrzewania elektrycznego, zastosowanie ciepłej mieszanki, ogrzewanie i osłanianie konstrukcji zastosowanie betonu zimnego z dodatkami, przerwanie betonowania, gdy ilość koniecznych zabiegów podnosi nadmierne koszty realizacji.

Wymienione zabieg umożliwiają wykonywanie robót w obniżonych temp. można sklasyfikować w 3 grupach:

- metody umożliwiające tężenie betonu bez dostarczania ciepła z zewnątrz
- metody obróbki wymagające dostarczania ciepła z zewnątrz
- kombinacje wymienionych metod.

7.2.2. Metody nie wymagające dostarczania ciepła

Zwiększenie klas betonu może mieć miejsce w zmieniających się warunkach klimatycznych, gdy występuje potrzeba utrzymania na przykład stałego rytmu rozformowania konstrukcji.

Dodatki chemiczne obniżają temp. zamarzania wody oraz powodują przyspieszenie procesów wiązania. Do dodatkowych obniżających temp. zamarzania wody zalicza się chlorki sodu, potasu, glinu oraz wapnia, azotyny sodu i potasu oraz azotan sodu. Do domieszek przyspieszających wiązania należą także chlorki wapnia i magnezu, węglany sodu i potasu oraz siarczan potasu.

Tablica 7.2 Procentowa zawartość dodatków w stosunku do masy cementu dla różnych przedziałów temperatur.

Domieszka	Przedział temperatur, $^{\circ}\text{C}$				
	0 do -5	-6 do -10	-11 do -15	-16 do -20	-21 do -25
NaNO_2	4 – 6	6 – 8	8 – 10	-	-
$\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$	0,0 + 3,0	3,3 + 3,5	4,5 + 3,0	6,0 + 3,0	-
	3,0 + 0	4,0 + 3,5	5,0 + 3,5	7,0 + 3,0	-
	1,0 + 2,0	2,5 + 3,5	3,5 + 4,5	4,5 + 5,5	-
$\text{CaCl}_2 + \text{NaNO}_2$	2,0 + 3,0	3,0 + 4,5	4,0 + 5,0	5,0 + 6,5	-
K_2CO_3	5,0 – 6,0	6,0 – 8,0	8,0 – 10,0	10,0 – 12,0	12,0 – 15,0
$\text{Ca}(\text{NO}_2)_2 + \text{Ca}(\text{NH}_2)_2$	2,0 + 2,0	3,0 + 2,0	5,0 + 2,0	-	-
	3,0 + 3,0	5,0 + 5,0	7,0 + 3,0	-	-
NKM	3,0 – 5,0	6,0 – 9,0	7,0 – 10,0	-	-
NNK + M	3,0 + 1,0	5,0 + 1,5	6,0 + 2,0	-	-
	4,0 + 1,5	7,0 + 2,5	9,0 + 3,0	-	-
NNHK	3,0 – 5,0	6,0 – 9,0	7,0 – 10,0	8,0 – 12,0	-
NNHK + M	2,0 + 1,0	4,5 + 1,5	6,0 + 2,0	8,0 + 3,0	-
	4,0 + 1,0	7,0 + 2,5	8,0 + 3,0	9,0 + 4,0	-

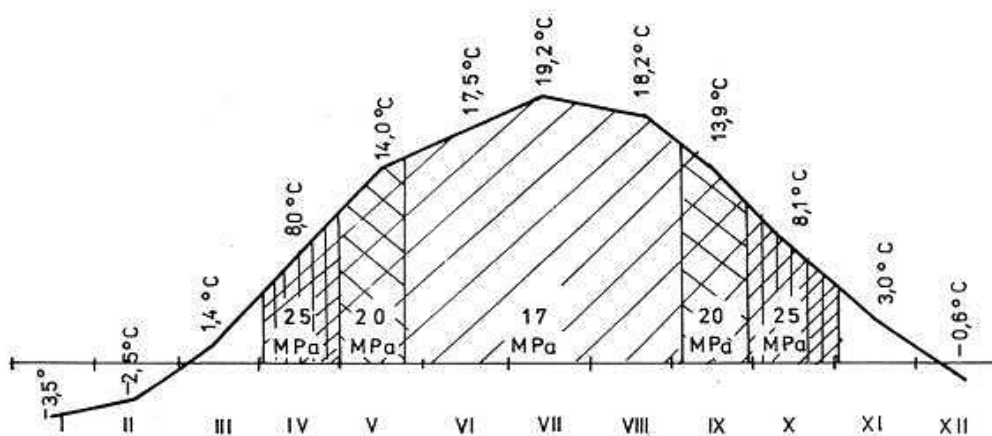
Uwaga:

przy dodatkach kompleksowych pozostawiono pisownię rosyjską :

NKM – nitrit kalcija z moczewiną (tj. azotyn wapnia i mocznik);

NNK +M – azotyn wapnia, azotan wapnia i mocznik;

NNHK – azotyn wapnia, azotan wapnia i chlorek wapnia.



Rys. 7.3

Wymagane w różnych miesiącach średnie 28 – dniowe wytrzymałości betonu przy założonym trzydniowym okresie rozformowania konstrukcji (dla miasta Warszawy)

Tablica 7.3 Procentowe przyrosty wytrzymałości betonu z dodatkami chemicznymi w stosunku do wytrzymałości 28 – dniowej betonu dojrzewającego w warunkach naturalnych

Domieszka	Zalecany przedział temperatur, °C	Procentowy przyrost wytrzymałości po			
		7 dniach	14 dniach	28 dniach	90 dniach
NaNO ₂	- 5	30	50	70	90
	- 10	20	35	55	70
	- 15	10	25	35	70
CaCl ₂ + NaCl	- 5	35	65	80	100
	- 10	25	35	45	70
	- 15	15	25	35	50
	- 20	10	15	20	40
K ₂ CO ₃	- 5	50	65	80	100
	- 10	30	50	75	90
	- 15	25	40	65	80
	- 20	25	40	55	70
	- 25	20	30	50	60
NKM	- 5	30	50	70	90
	- 10	20	35	50	70
	- 15	15	25	35	60
NNHK NNHK + M CaCl ₂ + NaNO ₂	- 5	40	60	75	100
	- 10	25	40	50	80
	- 15	20	35	45	70
	- 20	15	30	40	60
Brak domieszki	- 20	70	88	100	-

DOMIESZKI PRODUKOWANE FABRYCZNIE

Przedstawia się właściwości domieszki przeciwmrozowej Zimobet (oznaczenie Z) komponowanej z plastyfikatorem i superplastyfikatorem.

Badania przeprowadzono na mieszankach betonowych o następującej wyjściowej recepturze (na 1m³ mieszanki):

- cement CP 35	350 kg,
- piasek 0-2 mm	833 kg,
- żwir 2-16 mm	1017 kg,
- woda	175 kg
- w/c	0,5

Użyty do badań cement posiadał następujący skład fazowy: C₃S - 66,8%, C₂S - 11,1%, C₃A - 10,2%, C₄AF - 9,5%. Początek i koniec wiązania zaczynu wynosił odpowiednio 110 min i 235 min a wytrzymałości zapraw normowych (po 3 i 28 dniach) 22,2 MPa i 40,2 MPa. Cement zalecany jest przez jego producenta jako nadający się do wykonywania wyrobów o dobrej mrozoodporności.

Traktując tę mieszankę jako podstawową sporządzono 7 kolejnych mieszanek betonowych z domieszkami:

- Z - domieszka przeciwmrozowa, wodny roztwór trójetanoloaminy oraz azotanu wapnia,
- L - domieszka plastyfikująca, wodny roztwór amin alifatycznych oraz soli kwasów organicznych i nieorganicznych o składzie objętym patentem,
- S - domieszka upłynniająca, wodny roztwór żywic melaminowo-formaldehydowych

Domieszki, zgodnie z zaleceniami ich producenta dozowano (w stosunku do masy cementu) w następujących ilościach: Z - 1% m.c., L - 0,5% m.c., S - 2% m.c. Przy wspólnym dozowaniu dwóch domieszek przyjmowano albo ich równe ilości albo zakładano dominację jednej z nich.

Przyjęto receptury mieszanek o ilościach domieszek jak w tabelicy 1 przyjmując każdorazowo stałą ilość wody. Dozowanie domieszek wpłynęło na zmiany konsystencji, co także opisano w tabelicy 7.4.

Tabela 7.4 Ilość domieszek i konsystencje mieszanek betonowych

Rodzaj domieszki	Oznaczenie próby							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Z, % m.c.	-	1	0,75	0,5		0,5	0,5	
L, % m.c.	-	-	0,25	0,5	0,5			
S, % m.c.	-	-				0,5	2	2
Konsystencja wg Ve-Be S	10	10	8	8	8	5	2	1

Wykonane z wymienionych mieszanek próbki betonowe o wymiarach 0,10x0,10x0,10 m po około 4 godzinach od ich wykonania wyjmowano z form, oklejano z 5 stron styropianem o grubości 0,02 m i umieszczano na 7 dni w zamrażarce o temperaturze wewnętrznej -5°C. Pozostawienie górnej powierzchni próbki odkrytej, narażonej na bezpośrednie oddziaływanie ujemnych temperatur ma być odpowiednikiem płyty narażonej jednostronnie (od góry) na działanie mrozu. Po 7 dniach próbki wyjmowano z zamrażarki i przechowywano przez kolejnych 21 dni w warunkach laboratoryjnych, w temperaturze +18°C.

Wytrzymałości betonu na ściskanie określono dla następujących terminów badań:

- trzy i siedmiodniowych - próbki zamrażane,
- dwudziestośmiodniowych - próbki twardniejące przez 21 dni w warunkach laboratoryjnych.

Uzyskane w wyniku przyjętego programu wytrzymałości betonów na ściskanie porównano w tablicy 7.5. Początkowe kolumny tej tablicy zawierają informacje związane z oznaczeniem prób (serie I do VIII), ilością i kombinacją ilościową domieszek dozowanych w każdej z prób, temperaturą dojrzewania betonu przez pierwszych 7 dni twardnienia oraz uzyskiwanymi wytrzymałościami betonu na ściskanie po 3 i 7 dniach (próbki zamrażane) oraz 28 dniach (próbki przetrzymywane w warunkach laboratoryjnych między 7 a 28 dniem).

W ostatnich trzech kolumnach tej tablicy obliczono kolejno:

- różnicę dla danej próby, między 28 dniową a 7 dniową wytrzymałością betonu na ściskanie,
- różnicę, między 28 dniową wytrzymałością danej próby a 7 dniową wytrzymałością betonu zwykłego, bez żadnej domieszki,
- stosunek przyrostu $\Delta(R_{28i}-14,8)$ MPa, do 7 dniowej wytrzymałości betonu zwykłego, bez domieszek.

Uzyskano wyraźnie zróżnicowane przyrosty wytrzymałości betonów z kombinacjami domieszek w porównaniu z przyrostami wytrzymałości betonu zwykłego, bez domieszek.

Tablica 7.5 Rzeczywiste i względne przyrosty wytrzymałości betonów dojrzewających przez 7 dni w temperaturze -5°C , a następnie w temperaturze $+18^{\circ}\text{C}$

Próba	Oznaczenie betonu	Temp. $^{\circ}\text{C}$ przez 7 dni	Wytrzymałość MPa po dniach			Przyrosty wytrzymałości, MPa		Przyrost względny % $\frac{\Delta(R_{28}-14,8)}{14,8}$
			3	7	28	$\Delta(R_{28i}-R_{7i})$	$\Delta(R_{28i}-14,8)$	
I	Beton zwykły	-5°C	7,9	14,8	20,9	6,1	6,1	41,2
II	Beton + Z, 1% m.c.	-5°C	15,0	23,1	38,1	15,0	23,3	157,4
III	Beton + Z, 0,75% m.c. i L, 0,25% m.c.	-5°C	6,3	17,2	30,4	13,2	15,6	105,4
IV	Beton + Z, 0,5% m.c. i L, 0,5% m.c.	-5°C	4,6	11,2	25,6	14,4	10,8	72,9
V	Beton + L, 0,5% m.c.	-5°C	4,5	5,4	9,0	4,6	-5,9	-39,9
VI	Beton + Z, 0,5% m.c. i S, 0,5% m.c.	-5°C	3,7	18,3	34,5	16,2	19,7	133,1
VII	Beton + Z, 0,5% m.c. i S, 2% m.c.	-5°C	7,1	10,1	24,4	14,3	9,6	64,9
VIII	Beton + S, 2% m.c.	-5°C	10,1	14,6	17,2	2,7	2,5	16,9

W praktyce uformowany na placu budowy beton podlega często cyklicznemu zamrożeniu i odmrożeniu. Badania laboratoryjne zaprezentowane w referacie nawiązuje do sytuacji, w której beton po osiągnięciu przez zaczyn cementowy czasu końca wiązania zamrożono w temperaturze -5°C na okres 7 dni. Przyrost wytrzymałości betonu w tym przedziale czasu zależy od ilości i jakości domieszek. Jak wynika z danych częściowych oraz zestawienia wyników badań przedstawionych w tablicy 2 przy tej samej ilości wody zarobowej oraz dozowaniu różnych domieszek oczekiwać można odmiennych wytrzymałości betonu. Największy przyrost wytrzymałości powoduje dodanie domieszki przeciwmrozowej Z w ilości 1% m.c. (wzrost o 8,3 MPa, co stanowi 56% wytrzymałości betonu zwykłego). Nie zaleca się dozowania w okresie obniżonych temperatur samych plastyfikatorów lub superplastyfikatorów.

Jak wykazano, dodanie do mieszanki domieszki Z nie zwiększa jej ciekłości. Ciekłość świeżej mieszanki zdecydowanie można poprawić (zmiana konsystencji z plastycznej na ciekłą) poprzez jednoczesne dozowanie domieszki przeciwmrozowej i upłynniającej. Bardzo dobry efekt upłynnienia z jednoczesnym przyrostem wytrzymałości betonu uzyskuje się przy dozowaniu 0,5% m.c. domieszek Z i S. Beton z taką kompozycją domieszek wykazuje po 7 dniach dojrzewania w temperaturze -5°C przyrost wytrzymałości (w stosunku do betonu wzorcowego) 2,5 MPa, co stanowi 17% przyrostu wytrzymałości.

Niezwykle istotne dla osiągnięcia końcowych wytrzymałości betonu są jego przyrosty po odmrożeniu i dalszym twardnieniu w temperaturze normalnej ($18^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Z przeprowadzonych badań wynika (tablica 2), iż betony do których dodano domieszkę Z lub kompozycję tej domieszki z L albo S wykazują między 7 a 28 dniem twardnienia bezwzględny i względny szybki przyrost wytrzymałości. Dynamika przyrostu w tym okresie jest większa, niż w przypadku betonów zwykłych, twardniejących w temperaturze $18^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Przedstawione wyniki badań betonów w młodym wieku, okresowo zamrażanych w temperaturze -5°C modyfikowanych domieszkami, a jednocześnie uzyskać pewne wnioski praktyczne odnośnie możliwości i zakresu upłynniania mieszanek betonowych przy ujemnych temperaturach.

7.2.3. Metody termiczne

Układaną w okresie obniżonych temp. mieszankę betonową można pobudzać do wiązania poprzez stworzenie warunków powodujących ogrzewanie tej mieszanki a tym samym i narastanie wytrzymałości. Wyróżnia się tutaj 2 grupy metod intensyfikacji dojrzewania betonu ułożonego bezpośrednio na placu budowy:

- metodą zachowania ciepła,
- metody obróbki wbudowanej mieszanki betonowej.

Stosując metodę zachowania ciepła dąży się do maksymalnego spowolnienia oddawania ciepła przez beton ułożony w deskowaniu. Skumulowanie ciepła jest możliwe dzięki stosowaniu ciepłych mieszanek betonowych przygotowywanych na bazie wysokokalorycznych i szybkotwardniejących cementów. Spowalnianie odpływu ciepła zapewnia konstrukcja urządzeń formujących, które powinny być wykonane z drewna lub materiałów drewnopodobnych i dodatkowo ocieplone materiałem izolującym (wełna mineralna, styropian itp.). Powierzchnie stropów powinny być dodatkowo zabezpieczone osłonami z brezentu lub wełny mineralnej i styropianem.

Metody obróbki cieplnej betonu ułożonego w okresach obniżonych temp. wymagają również stosowania ciepłej mieszanki, która nie może schłodzić się do 0°C przed rozpoczęciem obróbki. Obok znanych od dawna metod obróbki termicznej (cieplaki ogrzewane parą, bezpośredni elektronagrzew) opracowano ostatnio w kraju następujące sposoby obróbki termicznej ułożonej mieszanki betonowej:

- ogrzewanie uformowanych przegród gorącym powietrzem,
- przyspieszenie dojrzewania betonu prądem indukcyjnym,
- nagrzew elektrooporowy ELTER.

Czas trwania nagrzewu uzależniony jest od kilku czynników, z których najważniejsze to: klasa betonu, izolacyjność osłon, typ agregatu wytwarzającego gorące powietrze, rytm rozformowania konstrukcji. Z przeprowadzonych analiz wynika, iż korzystniejsze jest zwiększanie izolacyjności osłon kosztem zmniejszenia wydajności cieplnej agregatu, a tym samym i zużycia paliwa.

Metoda przyspieszania dojrzewania betonu prądem indukcyjnym polega na nagrzewie ułożonej mieszanki betonowej ciepłem wytworzonym przez prąd indukcyjny. Prąd sieciowy o napięciu 380/220V przetworzony na prąd o napięciu 20 V i natężeniu 500A doprowadzony jest do elementów grzejnych mocowanych na stałe do stalowych urządzeń formujących.

W wyniku przepływu przez elementy grzejne tego bezpiecznego dla ludzi prądu następuje wyidukowanie się w otaczającej je blasze prądów wirowych, które z kolei powodują ogrzewanie się form. Elementy grzejne w postaci izolowanych przewodów miedzianych rozmieszczone są w postaci jednakowo obciążonych, zamkniętych obwodów elektrycznych, co zapewnia szybki i równomierny nagrzew form.

Metoda ELTER oparta jest na zasadzie nagrzewu elektrooporowego. Jako źródło energii wykorzystuje się ciepło Joule'a wytwarzane przez uzwojenia grzejne rozmieszczone bezpośrednio pod powierzchnią formującą. Wytwarzany strumień ciepły, dzięki zastosowaniu odpowiedniego ekranu termicznego, jest kierowany bezpośrednio do betonu poddawanego obróbce termicznej. Górna blokada termiczna ma za zadanie zabezpieczyć go przed stratą ciepła na zewnątrz. Stwierdzona wytrzymałość betonu klasy B-15 po 12 godzinach wynosiła 11 Mpa.

KOMBINACJE METOD

Efekty dojrzewania betonu w czasie zimowym można zwiększyć stosując kombinacje wymienionych metod. Wymienione dodatki chemiczne przyspieszające twardnienie. Stosowane być mogą przy metodzie zachowania ciepła oraz metodach nagrzewu. Można również łączyć metodę zachowania ciepła z metodą nagrzewu indukcyjnego oraz elektrooporowego. Przy stosowaniu cementów szybko twardniejących oraz betonów wysokich klas możliwa jest superpozycja metod, tj. produkcja ciepłej mieszanki betonowej z dodatkami chemicznymi oraz metoda zachowania ciepła i metody obróbki termicznej. Stosowanie wymienionych kombinacji wymaga z jednej strony prób laboratoryjnych w celu stwierdzenia czasu początku wiązania mieszanki betonowej, z drugiej – analiz ekonomicznych potwierdzających słuszność wybranych koncepcji.

7.3. Produkcja, transport, układanie i pielęgnacja mieszanki betonowej

7.3.1. Produkcja mieszanki betonowej

Wytwarzanie mieszanki betonowej w okresie obniżonych temperatur wymaga stosowania szeregu środków i zabezpieczeń. W przypadku produkcji ciepłej mieszanki betonowej (o temp. ok. 30°C) zadbać należy o podgrzewanie wody zarobowej oraz rozmrożenie kruszywa.

Podgrzewanie wody dokonać można parą uzyskiwaną z kotłów parowych opalanych węglem lub wytwornic pary. Tłoczona przewodami para może być dostarczona do hałd kruszywa i rozprowadzona w nich za pomocą perforowanych iglic. W wyniku podgrzewania wody i kruszywa uzyskać można temperatury wyjściowe mieszanki betonowej zgodnie z danymi zawartymi w tablicy 7.6.

Tablica 7.6 Temperatury mieszanki betonowej w zależności od temperatury kruszywa i temperatury wody zarobowej

Temperatura kruszywa, °C	Temperatura wody, °C								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
	Temperatura mieszanki betonowej, °C								
+ 5	5	6	9	11	14	16	19	22	24
+10	8	9	12	15	17	20	22	25	27
+15	11	13	15	18	21	23	26	28	31
+20	15	16	19	21	24	25	29	31	34
+30	21	23	25	28	30	33	35	38	40

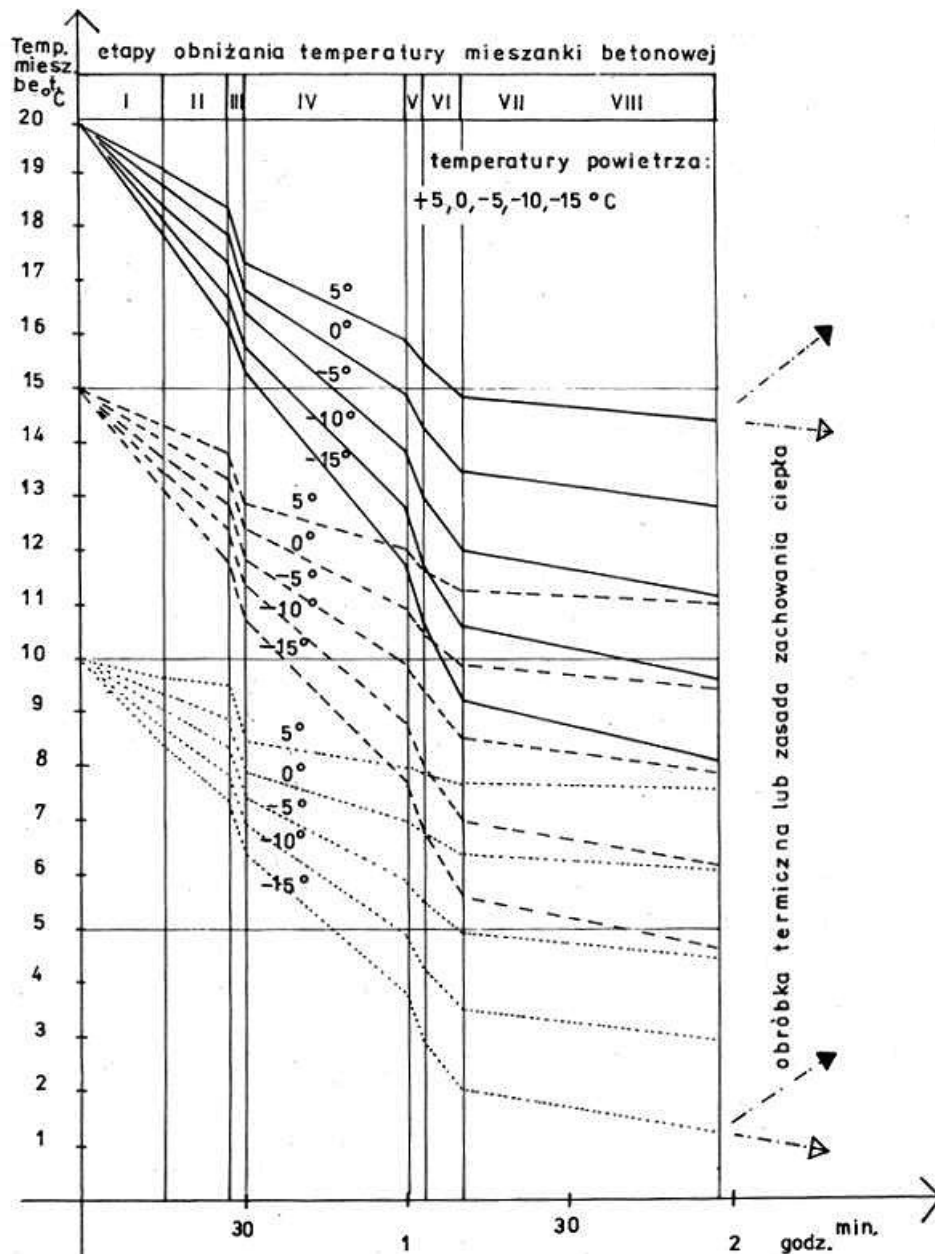
Przy produkcji zimnych mieszanek węzeł betoniarski wyposażać należy dodatkowo w pomieszczenia do składowania dodatków chemicznych oraz w instalację umożliwiającą rozpuszczanie dodatków w wodzie i przekazywanie ich do mieszalnika.

7.3.2. Transport mieszanki betonowej, jej temperatura oraz zasięg transportu.

Przewożenie mieszanki betonowej zimą napotyka na trudności ze względu na:

- ochłodzenie się mieszanki – w przypadku wytwarzania ciepłych mieszanek ,
- ograniczony zasięg transportu – w przypadku stosowania dodatków chemicznych przyspieszających wiązanie betonu.

Przy przesyłaniu mieszanki na większe odległości straty ciepła podczas transportu poziomego ulegają proporcjonalnemu zwiększeniu. Przyjmując, iż temperatura mieszanki po ułożeniu w formie, a przed rozpoczęciem obróbki termicznej nie powinna spaść poniżej 5°C , można na podstawie wykresu umieszczonego na rysunku 4.10 ustalić jej wyjściową , niezbędną temperaturę.



Rys. 7.4

Wielkość strat ciepła mieszanki betonowej podczas jej transportu, produkcji i układania

W przypadku temperatur niższych od -15°C należałoby opuścić ogniwa pośrednie ciągu transportowego (tzn. przesłać mieszankę w zaizolowanych pojemnikach kierowanych ze środka transportowego bezpośrednio do miejsca wbudowania lub produkować je w węźle zlokalizowanym bezpośrednio przy realizowanym obiekcie) lub przysyłać zimne mieszanki modyfikowane dodatkami chemicznymi. Stosowanie niektórych dodatków powoduje jednakże skrócenie czasu początku wiązania poniżej ustalone w pkt.7.2.2.granice czasowe wynikające z przyjętego ciągu transportowego. Czasy początkowego wiązania zestawiono w tabeli 7.7.

Tablica 7.7 Czas początków wiązania mieszanek betonowych z dodatkami chemicznymi

Domieszka	Procent dodatku w stosunku do masy cementu w %	Temperatura mieszanki C	Czas początku wiązania godz.,min
Bez domieszki	0	18	2,33
CaCl	2	-10	1,30
	5	-10	0,50
	7	-10	0,35
K ₂ CO ₂	10	-5	0,15
	10	-8	0,25
	10	-12	0,38
NaNO ₂	10	-5	4,26
	10	-8	7,21
	10	-12	12,38

7.3.3 Układanie mieszanki betonowej

Proces układania mieszanki betonowej w okresie zimowym powinien przebiegać zgodnie z normatywnymi warunkami realizacji robót betonowych . Dodatkowo wymaga się, by nie układać mieszanki na oblodzonych urządzeniach formujących i oblodzonym zbrojeniu. Do odmrażania form i zbrojenia zaleca się stosować gorące powietrze .

Układanie mieszanki z dodatkami chemicznymi może budzić obawy co do jakości samego betonu oraz korozji zbrojenia. Powszechnie spotykany chlorek wapnia można stosować przy następujących ograniczeniach:

- temperatura tężącego betonu powinna być niższa od $+5^{\circ}\text{C}$
- w konstrukcjach betonowych zbrojonych wolno stosować najwyżej 2% chlorku w stosunku do masy cementu,
- zabrania się stosowania dodatku chlorku w konstrukcjach sprężanych, żelbetowych ze zbrojeniem głównym o średnicy mniejszej niż 0,005 m oraz żelbetowych do wykonania których stosowane są cemynty hutnicze,
- należy ograniczyć ilość chlorku do 4% w betonach nie zbrojonych , gdyż powyżej tej ilości należy liczyć się z występowaniem wykwitów oraz ciągłą wilgotnością betonu

Dlatego w najnowszych opracowaniach krajowych ogranicza się stosowanie chlorku wapnia do 1% w stosunku do masy cementu i pod warunkiem że konstrukcja pracuje wyłącznie w suchych warunkach. Stosowanie chlorku sodu i mieszaniny chlorku wapnia i chlorku sodu. Powoduje powstawanie wykwitów na betonie.

Według danych krajowych przy stosowaniu azotanów i azotynów sodu należy zachować ostrożności z uwagi na duże obniżenie wytrzymałości betonu i ze względu na to że utleniacze mogą w pewnych warunkach i stężeniach powodować rozpad betonu i korozję wżerową zbrojenia. Nie należy stosować K₂CO₃ i NaNO₂ przy ocynkowanej lub aluminiowej armaturze. Podobnie inhibitorami korozji są - choć nie tak silnymi – azotyn i azotan wapnia Ca(NO₂)₂ i Ca(NO₃)₂ . Przy dodatkach kompleksowych z zawartością chlorku wapnia , wymaga się , by średnica prętów zbrojeniowych była większa od 0,005 m. , a wykonana konstrukcja betonowa nie była narażona na ciągłe działanie wody.

7.3.4. Pielęgnacja i ochrona uformowanego betonu

Mieszanki betonowe układane w „otwartych” formach (np. stropy), a następnie osłanianie i poddawane obróbce termicznej mogą podlegać procesom skurczowym. Aby zapobiegać tym zjawiskom należy stosować zabiegi pielęgnacyjne. Zamiast zraszania wodą stosowano na budowach pielęgnację parą, wprowadzaną w przestrzeń między powierzchnią stropu a osłony. Betony z dodatkami chemicznymi wymagają natomiast ochrony przed wpływami temperatur ujemnych, jeśli przekraczają one dopuszczalny zakres temperatur umożliwiający przyrost wytrzymałości betonu. Przy możliwości przekroczenia dopuszczalnych temperatur ujemnych twardniejący beton należy ocieplić do czasu uzyskania wymaganej wytrzymałości na działanie mrozu. Przy osłanianiu form uwzględnia się przenikliwość osłony na wiatr, który ma decydujący wpływ na schładzanie się mieszanki. Do osłon trudno przenikliwych zalicza się przegrody wielowarstwowe oraz jednowarstwowe, o mniejszej izolacyjności (papa, folia, brezent, płyty pilśniowe itp.). Do osłon łatwo przenikalnych należą maty i płyty słomiane i trzcinowe układane na ażurowym deskowaniu.