

Zastosowanie glikolu polietylenowego jako domieszki utrudniającej parowanie wody z betonu samozagęszczającego się

Effect of polyethylene glycol as self curing agent in self-compacting concrete

1. Wprowadzenie

Mimo, że w wymaganiach dotyczących betonu (1) zwraca się uwagę na konieczność jego odpowiedniej pielęgnacji, to często za sprawą trudności praktycznych, w warunkach placu budowy pielęgnacja nie jest tak staranna jak w założeniach (2). Aby ziarna cementu w pełni uległy hydratacji, niezbędna jest odpowiednia ilość wody. Utrata wilgoci zmniejsza ilość wody w betonie, co może być powodem niepełnej hydratacji cementu (3). Może to również prowadzić do niepożądanych zjawisk w betonie, takich jak skurcz czy spękania powierzchniowe. Powoduje to dużą przepuszczalność betonu, która może spowodować zmniejszenie jego odporności korozyjnej. Najlepszą metodą na zwiększenie retencji wody jest stosowanie powierzchniowego pokrywania betonu środkami pielęgnującymi, które nie przepuszczają pary wodnej. Podobny efekt uzyskać można wprowadzając do mieszanki betonowej domieszki zmniejszające parowanie wody. Pozwala to na uzyskanie warunków, które można określić jako „wewnętrzną pielęgnację” betonu. Przeprowadzono wiele doświadczeń dotyczących wpływu domieszek do pielęgnacji wewnętrznej na właściwości betonu. Dhir i in. (4-6), zbadali wpływ domieszki hydrofilowej, którą był poli(glikol etylenowy) [PGE] o różnej masie cząsteczkowej, na wytrzymałość i trwałość betonu. Stwierdzono, że PGE o mniejszej masie cząsteczkowej ma lepsze właściwości jako dodatek do pielęgnacji wewnętrznej z punktu widzenia wytrzymałości, trwałości oraz mikrostruktury betonu w porównaniu do polimeru o dużej masie cząsteczkowej. Liang i in. (7) przeprowadzili badania pielęgnacji wewnętrznej betonu za pomocą poli(glikolu etylenowego) i wosku parafinowego. Korzystny stosunek glikolu do wosku wynosił 1:6. Wen-Chen Jau (8), zbadał wpływ kwasu poliakrylowego i alkoholi wielowodorotlenowych jako domieszek pielęgnujących. Dieb (9, 10), ocenił zastosowanie rozpuszczalnego w wodzie polimeru glikolowego jako domieszki do pielęgnacji wewnętrznej i jego wpływ na retencję wody oraz stopień hydratacji betonu zwykłego. Dieb i in. (11), kontynuując doświadczenia, przeprowadzili badania mikrostruktury i wytrzymałości betonu w przypadku domieszki pielęgnującej w postaci poli(glikolu etylenowego) i poliakrylamidu [PAM] w różnych proporcjach. Badano mieszanki betonowe klasy

1. Introduction

Although, various codes of practice (1) advocate much on the need for adequate curing, due to practical difficulties, minimum specified curing on the site is also not maintained (2). Sufficient water is needed in a concrete mix such that complete hydration of cement particles can be achieved. However, even if this is maintained, loss of moisture will reduce the initial w/c ratio resulting in incomplete hydration of cement (3). This may lead to detrimental concrete properties such as shrinkage cracking and friable surfaces. This further leads to high permeability influencing strongly the durability properties as carbonation, chloride ingress and sulfate attack. Water retention is best achieved by application of curing compounds that act as barrier for evaporation. It is conceivable that such a system could be created by introduction of a chemical during the mixing stage that would reduce water evaporation allowing self curing of concrete. To this extent, different investigators have carried out experimental studies on influence of self curing compounds in concretes. Dhir et al (4-6), studied the strength and durability performance of self curing concrete using hydrophilic chemicals [PEG] of various molecular mass. It was concluded that, lower molecular mass PEG had shown better self curing property in terms of strength, durability and microstructure behaviour. Liang et al (7), carried out work on internal curing of concrete using polyethylene glycol and paraffin wax. The preferred ratio of glycol to wax was 1:6. Wen-Chen Jau (8) studied the use of polyacrylic acid and polyvalent alcohol as self-curing agents and their optimum dosages in concrete. Dieb (9, 10), in his investigation evaluated the use of water-soluble polymeric glycol as self-curing agent and compared water retention and hydration of concrete containing self-curing agents in conventional concrete. Dieb et al (11), continued his research work on microstructure and durability studies of self curing concrete using water soluble polyethylene glycol (PEG) and polyacrylamide (PAM) with different proportions. The work was carried out for M25 (characteristic compressive strength of 25MPa) grade of concrete with different proportions of self curing compounds. Self-cured concrete specimens showed better microstructure development and durability performance compared

M25 [charakterystyczna wytrzymałość na ściskanie równa 25MPa] z różną ilością dodatków pielęgnujących. Próbki betonu pielęgnowanego wewnątrz miały lepszą mikrostrukturę i trwałość w porównaniu do próbek bez tych domieszek. Jednakże, próbki dojrzewające w warunkach wilgotnych [mgła wodna] wykazywały zawsze najlepsze właściwości. Mousa i in. (12, 13), przeanalizowali wpływ dwóch domieszek do wewnętrznej pielęgnacji, dodanej w formie nasączonego kruszywa lekkiego oraz poli(glikolu etylenowego). Lepsze właściwości fizyczne, zarówno przy dużym jak i małym w/c, wykazał beton z poli(glikolem etylenowym). Najlepsze właściwości mieszanek betonowych „pielęgnowanych wewnątrz” uzyskano w przypadku 2% dodatku poli(glikolu etylenowego), przy równoczesnym dodatku 15% pyłu krzemionkowego.

Dodatek kruszywa lekkiego i polimerów o dużej zdolności do absorpcji działają jako „wewnętrzna pielęgnacja” betonu. W betonie stanowią one wewnętrzne źródła wody, przemieszczające się do hydratyzującego cementu, dzięki różnicom prężności pary wodnej. Hui Zhao i in. (14), zbadali wpływ długości okresu wstępnej pielęgnacji w wodzie oraz warunków dalszej pielęgnacji wewnętrznej na właściwości betonu. Zhutovsky i Kovler (15), zbadali wpływ kruszywa lekkiego (pumeksu) jako wewnętrznego środka pielęgnującego na obniżenie skurczu suszenia i poprawę wytrzymałości betonu wysokowartościowego (WWB). Varga i in. (16), pracowali nad stosowaniem wewnętrznej pielęgnacji w przypadku mieszanek betonowych z dużym dodatkiem popiołów lotnych. Na podstawie tych badań, można wnioskować, że użycie zwilżonego kruszywa lekkiego w mieszance zawierającej duże ilości popiołu lotnego o małym stosunku w/c poprawia właściwości betonu. Mustafa i in. (17), stosowali wewnętrzną pielęgnację betonu w celu zapobiegania autogenicznym spękanom skurczowym, pojawiającym się we wczesnym okresie dojrzewania. W doświadczeniach piasek kwarcowy zastąpiono nasyconym wodą kruszywem lekkim [10% i 20% masowych]. Skurcz autogeniczny i skurcz suszenia tych betonów ulega znacznemu zmniejszeniu z rosnącą zawartością drobnego kruszywa lekkiego. Browning i in. (18), badali również wpływ kruszywa lekkiego [jako wewnętrznego składnika pielęgnującego] zmniejszającego skurcz betonu.

Na podstawie przeglądu literatury można stwierdzić, że stosowanie domieszek do pielęgnacji wewnętrznej betonu, takich jak poli(glikol etylenowy) czy też wosk parafinowy daje lepsze wyniki niż kruszywa lekkie [KL] i polimery o dużych zdolnościach absorpcyjnych [PZA]. Betony zawierające KL lub dodatek PZA mają mniejszą wytrzymałość.

Z przeglądu literatury wynika także, że większość doświadczeń dotyczyła betonów wibrowanych. Jest bardzo mało prac związanych z wpływem domieszek do pielęgnacji wewnętrznej dotyczących samozagęszczającego się betonu.

2. Podstawy pielęgnacji wewnętrznej

Według prawa Raoult'a (3) w warunkach idealnych, ciśnienie parcjale pary składnika roztworu w stałej temperaturze jest proporcjonalne do jego ułamka molowego (X_A) w roztworze.

to no cured specimens. However, moist cured specimens were always the best. Mousa et al (12, 13), studied the effect of two curing agents- Pre-soaked lightweight aggregate and polyethylene glycol. The effectiveness in physical and mechanical properties was observed in high cement content and low w/c ratio concretes by adding polyethylene glycol. It was concluded that incorporating 2% of polyethylene glycol with 15% silica fume was more beneficial in self curing concrete mixtures.

Addition of lightweight aggregates [LWA] and super absorbent polymers [SAP] act as internal curing agents providing water reservoirs in the concrete and thus supplying water by vapour pressure difference during hydration. Hui Zhao et al. (14), studied the effect of importance of initial water curing period and curing condition on the properties of self compacting concrete. Zhutovsky and Kovler (15), studied the influence of lightweight aggregate [pumice] as internal curing agent in mitigating drying shrinkage and improving durability related properties of high performance concrete [HPC]. Varga et al (16), worked out the application of internal curing for mixtures containing high volumes of fly ash. From these studies, it can be concluded that the use of prewetted lightweight aggregate [internal curing] with HVFA mixtures in low w/c ratio show additional benefits. Mustafa et al (17), studied the internal curing of engineered cementitious composites [ECC] for prevention of early age autogenous shrinkage cracking. The work was carried out by replacement of silica sand with saturated LWA [10% and 20%] by mass. From this, it was concluded that the autogenous shrinkage and drying shrinkage of ECC significantly decreases with increasing fine light weight aggregate content. Browning et al (18), studied the effect of light weight aggregate as internal curing agent to limit concrete shrinkage.

It can be understood from the literature that the use of self curing chemicals like polyethylene glycol, paraffin wax in concrete gives better performance compared to lightweight aggregate and super absorbing polymers. Concretes with LWA and SAP have lower mechanical properties. It was also noted from detailed literature summary that most of the work is on vibrated concrete and there is very little work on influence of self curing chemicals in SCC.

2. Basic concept of self-curing:

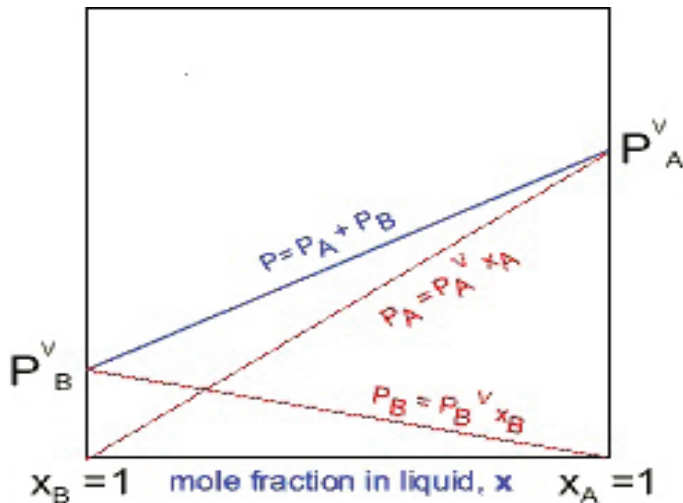
According to Raoult's law (3) in case of an ideal solution the partial vapour pressure of a component in a mixture at a particular constant temperature is proportional to its mole fraction (x_A)

$$p_A = X_A P_A^v \quad [1]$$

This means the partial vapour pressure of a mixture is equal to vapour pressure of pure component multiplied by its mole fraction X_A in the liquid. This can be represented diagrammatically as shown in Fig 1. Assuming component 'A' (water in a concrete mix/mortar mix) and component 'B' (water soluble chemical), it is quite evident that addition of such a chemical would lead to reduction in vapour pressure of water above concrete hence, reducing the loss of water from surface of concrete enabling presence of required

$$p_A = X_A P_A^V \quad [1]$$

Oznacza to, że ciśnienie parcjale pary składnika w roztworze [p_A] jest równe ciśnieniu pary czystego składnika [P_A] pomnożonego przez jego ułamek molowy [X_A] w tym roztworze. Pokazano to schematycznie na rysunku 1. Przyjmując, że składnik „A” to woda w mieszance betonowej, a składnik „B” to składnik rozpuszczalny w wodzie, jest oczywiste, że dodatek składnika „B” powoduje zmniejszenie równowagowej prężności pary wodnej nad betonem. W związku z tym, dochodzi do zmniejszenia utraty wody z powierzchni betonu, co umożliwi zachowanie odpowiedniej ilości wody, potrzebnej do hydratacji. Na tym opiera się koncepcja pielęgnacji wewnętrznej betonu.



Rys. 1. Zmiany ciśnienia całkowitego pary p

Fig. 1. Variation of total vapour pressure p

Nie tylko niska prężność składników rozpuszczonych w wodzie, ale również występowanie wiązań wodorowych cząsteczek wody z cząsteczkami składnika rozpuszczonego w wodzie, zmniejsza parowanie wilgoci. Występowanie hydroksylowych [-OH] i eterowych [-O-] grup funkcyjnych w domieszkach rozpuszczonych w wodzie, na przykład PGE, powoduje, że domieszki te mogą być stosowane jako dodatki do pielęgnacji wewnętrznej betonu. Wiązania wodorowe tych grup funkcyjnych zmniejszają ciśnienie pary wodnej oraz parowanie. Tak więc, dodatek domieszki „pielęgnującej wewnętrznie” zmniejsza parowanie wody, w betonie pozostaje jej więcej.

3. Cel pracy

Niniejsza praca jest kontynuacją serii wcześniejszych badań mających na celu znalezienie skutecznych domieszek hydrofilowych do „pielęgnacji wewnętrznej” betonów samozagęszczających się (19-21). Program badań zakładał przygotowanie i badanie betonów samozagęszczających się trzech klas [A, B i C], o stosunkach w/c równych 0,38, 0,45 i 0,55 bez i z domieszkami do pielęgnacji wewnętrznej [poli(glikol etylenowy)], o masach cząsteczkowych 200 [PGE 200] oraz 4000 [PGE 4000]. W pracy przedstawiono dodatkowe korzyści wynikające z zastosowania domieszek hydro-

amount of water for hydration. This is exactly the concept involved in self curing in concrete.

Not only low vapour pressure of water soluble chemical decrease the evaporation, but also the existence of hydrogen bond between water molecules and water soluble chemicals helps in decreasing the evaporation of moisture. The presence of hydroxyl [-OH] and ether [-O-] functional groups in water soluble chemicals as PEG satisfy the requirements as self curing chemicals. Hydrogen bonding between their functional groups reduces the water pressure and evaporation. Thus, the addition of self curing chemical decreases the evaporation of water, enabling larger amount of water to be available in the cement paste, contributing to the better hydration of cement particles.

3. Aim of the research

The present work is a continuation of a series of experiments being conducted to isolate and identify an effective hydrophilic compound (19-21) for SCC mixes. The program consisted of casting and testing three grades of self-compacting concrete (A, B and C) with w/c ratios 0.38, 0.45 and 0.55 without and with self curing chemicals [polyethylene glycol with molecular mass 4000 and 200]. The present study focuses on investigating the additional benefits of hydrophilic compounds [PEG 4000 and PEG 200] in self compacting concrete [SCC]. Use of self curing agents in concrete is expected to benefit hydration, thereby enhancing good hardened properties and durability.

4. Experimental

The mix proportions of the three grades of concrete selected for the study are given in Table 1.

The variables investigated in the study include the type of curing [no curing- N, conventional curing- W, curing with hydrophilic compound: polyethylene glycol with high molecular mass - H and polyethylene glycol with low molecular mass - L, dosage of self curing agent [0, 0.1%, 0.5% and 1.0%] and age of curing [3, 7, 14, 21, 28, 56 and 90 days]. The specimens were designated according to the grade of concrete [A, B, C], type of curing and presence of hydrophilic compound [N, W, H, L] and dosage [0, 0.1, 0.5 and 1%].

4.1. Materials

Ordinary Portland cement used was conforming to IS: 12269 (22). The initial and final setting times were 40 min and 560 min. The chemical composition and physical properties are shown in Table 2.

Fly ash was used as mineral additive in all the mixes. In addition to fly ash, for Mix A, silica fume was also used to achieve the required strength. The chemical composition and physical properties of fly ash and silica fume are given in Table 2.

Natural river sand with a maximum size of 4.75 mm conforming to Zone-2 according to IS: 383 (23) was used as fine aggregate.

filowych [PEG 4000 i PEG 200] w betonie samozagęszczającym się. Poza wynikami badań procesu dojrzewania betonu, pokazano wpływ domieszek pielęgnujących na właściwości reologiczne mieszanek samozagęszczających się.

4. Doświadczenia

Składy mieszanek betonowych podano w tablicy 1.

Tablica 1 / Table 1

SKŁAD MIESZANEK BETONOWYCH
PROPORTIONS OF CONCRETE MIXES

Materiał / Material	Ilość / Quantity, kg/m ³		
	Klasa / Grade A	Klasa / Grade B	Klasa / Grade C
Cement / Cement	500	430	360
Kruszywo drobne Fine aggregate	800	847	860
Kruszywo grube Coarse aggregate	775	783	788
Woda / Water	190	194	198
Popiół lotny / Fly ash	110	180	250
Pył krzemionkowy/ Silica fume	40	-	-
Superplastyfikator Superplasticizer	6.00	5.16	3.60

Zmienne, które stosowano w niniejszej pracy były następujące: 1) rodzaj pielęgnacji: bez – N, w wodzie – W, pielęgnacja wewnątrzna domieszkami hydrofilowymi - H i L; 2) rodzaj domieszki: glikol polietylenowy o dużej masie cząsteczkowej H i o małej masie cząsteczkowej L, 3) dodatek domieszki „pielęgnującej” [0, 0,1%, 0,5% i 1,0%] oraz 4) czas pielęgnacji [3, 7, 14, 21, 28, 56 i 90 dni]. Próbkę oznaczano zgodnie z klasami betonu [A, B, C], rodzajem pielęgnacji i domieszek hydrofilowych [N, W, H, L] oraz dodatku domieszki pielęgnującej [0, 0,1, 0,5 i 1,0%].

4.1. Materiały

W doświadczeniach stosowano przemysłowy cement portlandzki zgodny z normą IS: 12269 (22). Początek i koniec czasu wiązania wynosiły odpowiednio 40 min i 560 min. Skład chemiczny i właściwości fizyczne cementu podano w tablicy 2.

W każdej mieszance jako dodatek mineralny stosowano krzemionkowy popiół lotny. W mieszance A, aby uzyskać wymaganą wytrzymałość, poza popiołem lotnym dodano pył krzemionkowy. Skład chemiczny i właściwości fizyczne popiołu lotnego i pyłu krzemionkowego podano w tablicy 2.

Jako kruszywo drobne zastosowano naturalny piasek rzeczny o maksymalnej wielkości ziarna wynoszącej 4,75 mm, zgodny ze strefą 2 według normy IS: 383 (23). Ciężar właściwy, gęstość nasypowa wynosiły odpowiednio 2,65 i 1,45 g/cm³. Wskaźnik mialkości kruszywa był równy 2,56.

The specific gravity and bulk density were 2.65 and 1.45 g/cm³ respectively. The fineness modulus was 2.56.

Crushed granite was used as coarse aggregate. The coarse aggregate used was 20mm nominal size, well graded aggregate according to IS: 383 (23). The specific gravity was 2.8 and the bulk density was 1.5 g/cm³. The fineness modulus was 7.3.

Potable water was used in the experimental work for both mixing and curing the specimens.

Polycarboxylic ether based water-reducing admixture conforming to ASTM C494 (24) was used as superplasticizer for improving the flow or workability.

Polyethylene glycol of high molecular mass [H] and polyethylene glycol of low molecular mass [L] were used in the study. These are water soluble and were mixed with water thoroughly prior to adding in concrete. Details of physical properties of PEG 4000 [H] and PEG 200 [L] are shown in Table 3.

4.2. Casting and Curing

The standard moulds were fitted such that there were no gaps between the plates of the moulds. A pan mixer of 100 kg capacity was used for mixing concrete. After the completion of casting all the specimens were kept for maintaining ambient conditions viz. temperature of 27 ± 2 C and 90% relative humidity for 24 hours. After 24 hrs of casting, the moulds were kept under specified type of curing for required number of days before testing.

4.3. Fresh properties of SCC

Fresh properties: slump flow, L-box, J-ring, and V-funnel tests were carried out on self compacting concrete with different dosages of self curing compounds to meet EFNARC specifications (25) and the effect on workability properties of SCC due to the use of self curing compounds.

4.4. Evaporation rate measurement

The effectiveness of curing compounds in concretes (A, B and C) was quantified by measuring the loss of moisture in concrete cube specimens at the end of 3, 7, 14, 21, 28, 56 and 90 days. Three curing conditions i.e. water curing, no curing and self curing using PEG 4000 and PEG 200 with varying dosages (0.1%, 0.5% and 1.0%) were considered for the study.

4.5. Compressive strength

The cast cube specimens 150mm × 150mm × 150mm were tested under axial compression according to procedure described in IS: 516 (26). Six cubes each were tested after a curing period of 7, 28, 56 and 90 days for each type of concrete and the average compressive strength was taken.

4.6. Water absorption

The water absorption studies were conducted on specimens cured with conventional water curing, specimens with no curing and on

Kruszywo grube stanowił kruszony granit. Nominalna wielkość ziarna tego kruszywa wynosiła 20 mm, wyznaczona zgodnie z normą IS: 383 (23). Ciężar właściwy wynosił 2,8, a gęstość nasypowa była równa 1,5 g/cm³. Wskaźnik mialkości kruszywa wynosił 7,3.

Stosowano wodę pitną, zarówno jako składnik mieszanki jak i do pielęgnacji próbek.

Superplastyfikator stanowił domieszkę, której bazą był eter polikarboksylowy; zmniejszał on ilość wody zgodnie z normą ASTM C494 (24).

Jako hydrofilowe „domieszki pielęgnujące” stosowano poli(glikol etylenowy) o dużej [H] i małej masie cząsteczkowej [L]; są one rozpuszczalne w wodzie. Bezpośrednio przed dodaniem do betonu mieszano je z wodą. Szczegóły dotyczące właściwości fizycznych PGE 4000 [H] i PGE 200 [L] podano w tablicy 3.

4.2. Przygotowanie i pielęgnacja

Do mieszania betonu użyto mieszalnika, o pojemności 100 kg. Po zaformowaniu wszystkie próbki były przechowywane przez 24 godziny w powietrzu, w temperaturze 27 ± 2°C i wilgotności względnej 90%. Po 24 godzinach, próbki w formach przechowywano w różnych warunkach pielęgnacji, które podano w punkcie 4.

4.3. Właściwości świeżej mieszanki samozagęszczającej się

Zbadano wpływ domieszek pielęgnujących na urabialność mieszanki betonowej wyznaczając jej podstawowe właściwości, a mianowicie rozptyw stożka, badanie przepływu między prętami zbrojeniowymi [przepływalność] za pomocą L-skrzynki oraz J-pierścienia, pomiar lepkości plastycznej stosując V-lejek, zgodnie z wytycznymi EFNARC (25).

Tablica 2 / Table 2

SKŁAD CHEMICZNY I WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE CEMENTU, POPIOŁU I PYŁU KRZEMIONKOWEGO

CHEMICAL COMPOSITION AND PHYSICAL PROPERTIES OF CEMENT, FLY ASH AND SILICA FUME

Właściwość / Property	Cement Cement	Popiół lotny Fly ash	Pył krzemionkowy Silica fume
CaO, %	62.3	<2.5	< 1
SiO ₂ , %	18.2	60.1	>85
Al ₂ O ₃ , %	8.27	29.5	-
Fe ₂ O ₃ , %	3.13	4.32	-
MgO, %	2.76	5.64	-
Na ₂ O, %	0.17	0.39	-
K ₂ O, %	0.43	1.73	-
SO ₃ , %	2.08	0.86	-
Straty prażenia, % Loss on ignition, %	2.93	3.83	2.54
Gęstość właściwa, g/cm ³ Specific gravity, g/cm ³	3.09	2.21	2.27
Powierzchnia właściwa, m ² /kg Fineness, m ² /kg	345	380	22500

specimens made using hydrophilic compounds [PEG-4000 and PEG-200] at the end of 28 days of curing period. The specimens cured under different conditions were sealed with wax, allowing water only from the bottom portion for transmission [Fig. 2]. The relative water absorption was determined based on the sorptivity test suggested by Hall.C (27). The size of specimens chosen to conduct this test were standard cubes of 150 mm × 150 mm × 150 mm. The specimens were kept in the water through contact with water of about 5mm. The specimens were weighed under saturated surface dry condition at the end of 3h, 6h, 24h, 3d, 7d, 14d, 21d and 28 days. The increase in mass of the specimens between two successive time intervals defines the relative water absorption. With increase in time, the relative water absorption is generally expected to decrease for any type of concrete.

Tablica 3 / Table 3

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE GLIKOLU POLIETYLENOWEGO CARBOWAX

PHYSICAL PROPERTIES OF CARBOWAX PEGS

Produkt Product	Średnia masa cząsteczkowa Average molecular mass, g/mol	Średnia liczba hydroksylowa Average hydroxyl number, mg KOH/g	Gęstość cieczy / Liquid density, g/c			Temperatura topnienia/ Melting point, °C	Rozpuszczalność w wodzie w 20°C, / Solubility in water at 20°C, %	Lepkość w 100°C/ Viscosity at 100°C,
			20°C	60°C	80°C			
PEG 200	190 - 210	535 - 590	1.124	1.092	1.076	-65	Całkowita/ Complete	4.3
PEG 4000	3600 - 4400	25 - 32	Ciało stałe/ Solid	1.093	1.077	53 to 59	66	140.4

4.4. Pomiar szybkości parowania

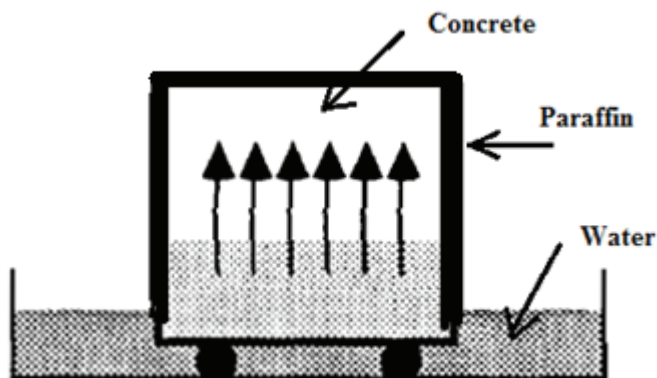
Skuteczność działania „domieszek pielęgnujących” w betonach: A, B i C określano przez pomiar utraty wilgoci w próbkach sześciennych po 3, 7, 14, 21, 28, 56 i 90 dniach. Badano trzy rodzaje pielęgnacji: w wodzie, w powietrzu oraz „pielęgnację wewnętrzną” z domieszkami PEG 4000 i PEG 200, w ilościach 0,1%, 0,5% i 1,0%.

4.5. Wytrzymałość na ściskanie

Wytrzymałość na ściskanie badano na próbkach sześciennych, 150 mm × 150 mm × 150 mm według metody opisanej w normie IS: 516 (26). Badano po sześć próbek z każdego rodzaju betonu po 7, 28, 56 i 90 dniach.

4.6. Absorpcja wody

Badania absorpcji wody przeprowadzono dla próbek dojrzewających w powietrzu [bez pielęgnacji], dojrzewających w wodzie [pielęgnacja mokra] oraz poddanych pielęgnacji wewnętrznej domieszką poli(glikoli etylenowych), po 28 dniach dojrzewania. Powierzchnie próbek pielęgnowanych w różnych warunkach pokryto woskiem, pozostawiając dostęp wody tylko przez podstawę kostki [rysunek 2]. Względna absorpcję wyznaczano metodą zaproponowaną przez Halla (27). Stosowano kostki o boku 150 mm. Próbki zanurzano w wodzie na głębokość około 5 mm. Próbki suche i nasycone wodą ważono po 3h, 6h, 24h, 3d, 7d, 14d i 28 dniach. Wzrost masy po tych okresach określa względną absorpcję wody.



Rys. 2. Schemat stanowiska do badań absorpcji wody (27)

Fig. 2. Schematic set up of sorptivity measurement (27)

5. Wyniki i dyskusja

5.1. Wpływ domieszek pielęgnujących na właściwości świeżej mieszanki betonu samozagęszczającej się

Na rysunkach 3a - 3f pokazano zmiany właściwości świeżych mieszanek z samozagęszczającego się betonu z domieszkami PGE 200 [L] oraz 4000 [H], w ilościach 0,1%, 0,5% oraz 1,0%. Beton W nie zawierał poli(glikolu etylenowego). Na rysunkach 4-6 pokazano korelację właściwości świeżych mieszanek ze zdolnością do przepływu i brakiem segregacji. Jest dobra korelacja tych

5. Results and discussions

5.1. Role of self curing compounds on fresh properties of SCC

Figs 3a - 3f show the variation of various fresh properties of SCC mixes with respect to the type of PEG (high and low molecular mass) for 0.1, 0.5 and 1.0 % dosages. Figs 4-6 show the relationship between the various fresh properties of SCC. There is a good correlation between the various fresh properties confirming filling ability, passing ability and resistance to segregation. The horizontal flow judges the capability of concrete to deform under its own weight against friction of the surface with no external restraint present. The slump flow test conducted on different types of concrete show an increase in slump value with increase in water/ cement ratio evident from the mix proportions selected. It was observed that for a constant mix proportion, addition of self curing compounds [PEG 4000 and PEG 200] increases the horizontal flow. The fresh properties are superior for 1.0% of PEG 200. A comparison of both the molecular mass of PEG shows that lower molecular weight PEG 200 gave better horizontal flow values.

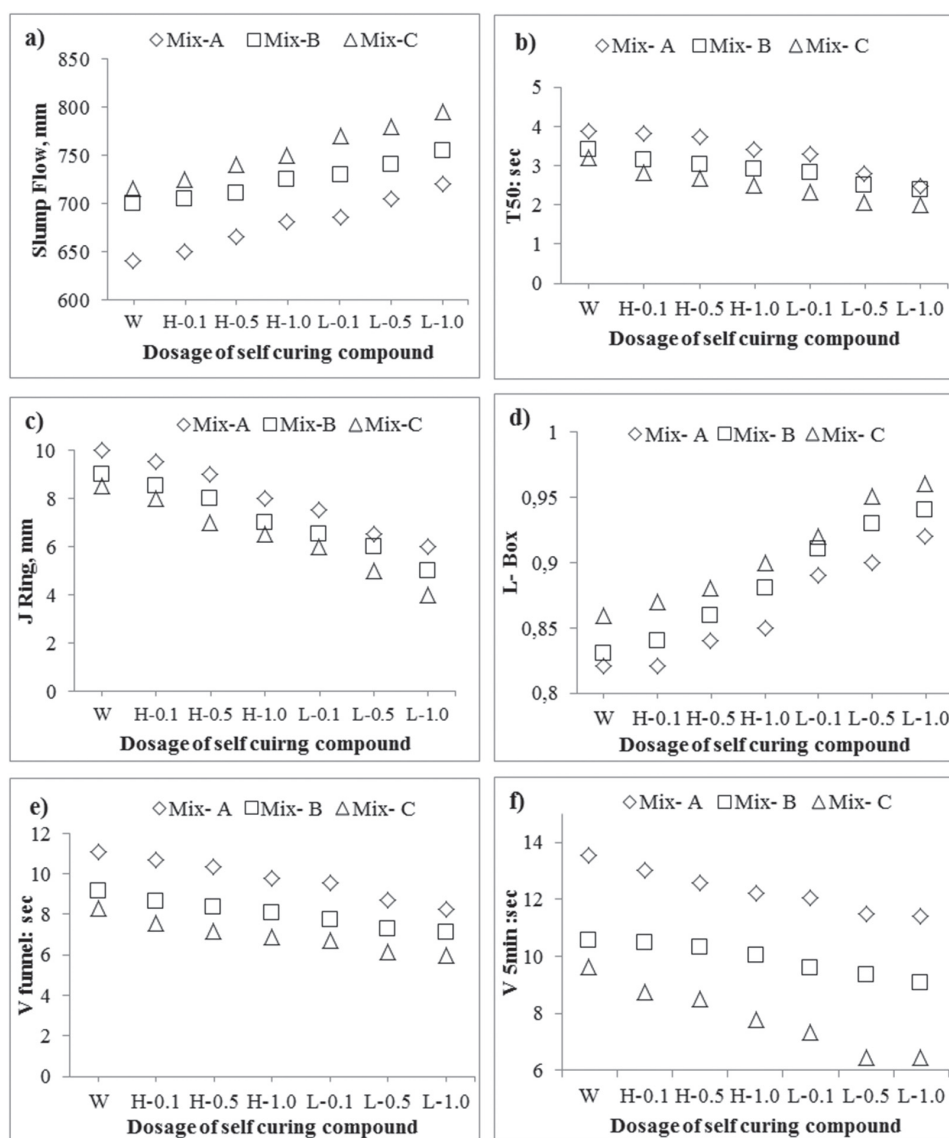
5.2. Influence of PEG on Rate of Evaporation in SCC

The results of the average mass loss of specimens cured with three curing conditions are presented in tables 4, 5 and 6 for mixes A, B and C respectively. It can be noted from the Tables that in all the cases the average moisture loss is noticed and is rapid in the initial period and later the rate of change of moisture loss is more or less stabilised. It can also be noted from the Tables that the mass loss is more in specimens which were not cured [AN, BN, CN], while the addition of PEG compounds of optimum dosages [AH0.1, BH1.0, CH1.0] benefitted the reduction in the mass loss in all the three mixes. Also, among the various dosages of PEG experimented, the mass loss was less in PEG 4000 with 0.1 % dosage in case of higher grade [Mix A], while the optimum dosage is 1.0% with PEG 4000 in case of lower grade [Mix C]. It can generally be concluded that the beneficial effect of PEG is more in higher grades of concrete irrespective of dosages and molecular mass of PEG.

Figs 7 and 8 show the plots between average mass loss for variation in w/c ratio, cement content and % fly ash respectively. It can be noted from Fig. 7 that with increase in the w/c ratio there is an increase in the average mass loss in concretes which are not cured. PEG 4000 is a better self curing compound in reducing the mass loss as is evident from fig 7. Similarly, from fig 8 it can be noted that for every dosage of cement content, PEG 4000 exhibited a lower average mass loss. From these plots, it is evident that the performance of PEG 4000 is the best irrespective of the grade of concrete. The same is the case at every age of curing, evident from Tables 4, 5 and 6.

5.3. Compressive Strength

The strength of concrete depends on the hydration which in turn depends on the water retention capacity of a certain concrete. While



Rys. 3. Wpływ PGE 200 [L] oraz PEG 4000 [H] na właściwości świeżych mieszanek betonu samozagęszczającego się: a) rozplyw stożka, b) czas do osiągnięcia rozplywu T_{50cm} , c) pierścien J, d) skrzynka L, e) lejsek V, f) wypływ z lejka po 5 min. V_{5min}

Fig. 3. Fresh property tests on self compacting concrete with self curing admixtures slump flow (b) T_{50cm} (c) J - Ring (d) L - Box (e) V funnel (f) V_{5min}

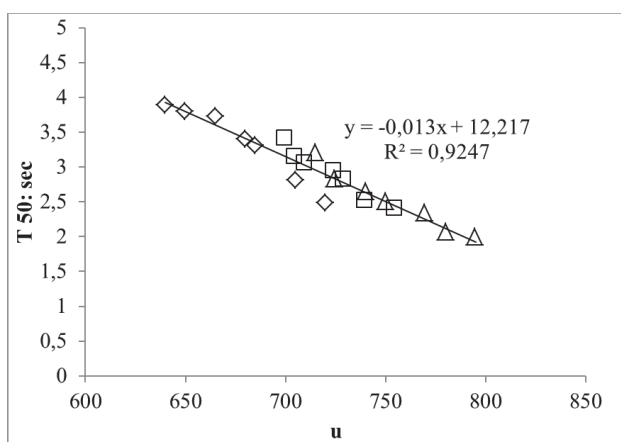
parametrów. Jak można było oczekiwać, ze wzrostem stosunku w/c wzrastał rozplyw stożka. Stwierdzono, że w przypadku stałego składu mieszanki betonowej, dodatek domieszek PGE 4000 i PGE 200 zwiększa jej płynność. Właściwości świeżej mieszanki są najlepsze przy dodatku 1,0% domieszki PGE 200. Porównanie wpływu dwu PGE o różnych masach cząsteczkowych pokazuje, że mniejsze cząsteczki zawarte w PGE 200 zapewniały lepsze właściwości reologiczne mieszanki betonowej.

5.2. Wpływ PGE na szybkość parowania wody w przypadku betonu samozagęszczającego się

Wyniki badań szybkości utraty wody w przypadku próbek pielęgnowanych w różnych warunkach zebrano w tablicach 4 – 6 odpowiednio dla mieszanek A, B i C. Na ich podstawie można stwierdzić, że średni ubytek masy jest większy w początkowym okresie, natomiast po pewnym czasie szybkość parowania ulega zmniejszeniu. Ubytek masy jest największy, w przypadku próbek

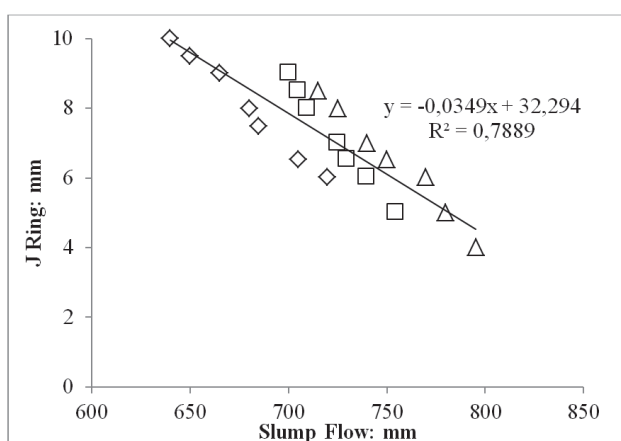
water curing is an ideal condition, many times water curing is not practically possible/available. Hence, alternative curing methods must meet the requirement of hydration in concrete and ensure proper hydration. Tables 7-9 show the details of the 7, 28, 56 and 90 days compressive strength values for three grades [A, B and C]. Figs 10-13 show the plots of compressive strength Vs age of curing for water cured and self cured specimens with respect to no cured specimens. It can be noted from Tables 7, 8 and 9 that in all the cases, water cured specimens showed superior strength compared to no cured samples. However, the performance of self-cured specimen in optimum doses was superior compared to no cured specimens at all ages. Optimum dosages of self-curing agents resulted in compressive strength values almost reaching those of water cured specimens [AH0.1, BH1.0 and CH1.0].

It can be noted from Tables 7 - 9 that with increase in the age of concrete, there is an increase in compressive strength and this is true with all types of curing including those cured with hydrophilic



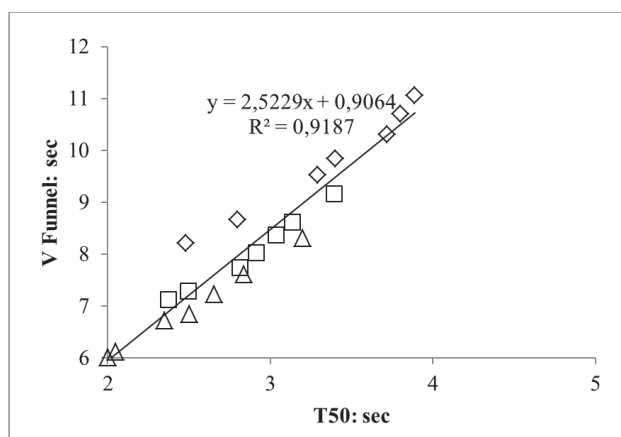
Rys. 4. Korelacja rozplływ stożka z lepkością T_{50}

Fig. 4. Slump flow vs T_{50}



Rys. 5. Korelacja rozplwyu stożka z przepływem w J - pierścieniu

Fig. 5. Slump flow vs J ring



Rys. 6. Korelacja wyników pomiarów lepkości plastycznej T_{50} z lepkością V-lejka

Fig. 6. T_{50} viscosity vs V-funnel viscosity

nie poddanych pielęgnacji [AN, BN, CN]. Dodatek PGE w korzystnych ilościach [AH0.1, BH1.0, CH1.0] zmniejsza utratę masy we wszystkich trzech mieszankach. Ponadto, wyniki dla próbek z różną zawartością PGE pokazały, że ubytek masy był najmniej-

Tablica 4 / Table 4

ŚREDNIA UTRATA WILGOCI W MIESZANCE A Z PGE 4000 I PGE 200

AVERAGE MOISTURE LOSS IN MIX A WITH PEG 4000 AND PEG 200

OZNACZENIE DESIGNATION	Średnia utrata masy / Average mass loss, g						
	3D	7D	14D	21D	28D	56D	90D
AN	54	68	80	94	109	156	169
AW*	-9	-12	-14	-15	-18	-22	-28
AH- 0.1	23	30	37	43	52	68	71
AH- 0.5	47	59	65	72	79	122	128
AH-1.0	48	57	66	74	80	126	127
AL-0.1	59	73	84	92	99	129	155
AL-0.5	38	46	52	64	71	96	102
AL-1.0	60	70	78	89	100	131	157

Remark: * Negative sign indicates the mass gain

Przypis: * Znak minus wskazuje na przyrost masy

Tablica 5 / Table 5

ŚREDNI UBYTEK WILGOCI W MIESZANCE B Z PGE 4000 I PGE 200

AVERAGE MOISTURE LOSS IN MIX B WITH PEG 4000 AND PEG 200

OZNACZENIE DESIGNATION	Średnia utrata masy / Average mass loss: g						
	3D	7D	14D	21D	28D	56D	90D
BN	92	130	147	158	165	195	215
BW*	-15	-21	-27	-33	-38	-47	-59
BH 0.1	46	76	94	110	124	159	172
BH 0.5	34	51	74	91	120	147	156
BH 1.0	30	43	65	82	95	133	143
BL 0.1	82	110	132	143	151	180	187
BL 0.5	80	105	126	138	145	162	172
BL 1.0	46	76	94	110	124	144	156

Tablica 6 / Table 6

ŚREDNIA UTRATA WILGOCI W MIESZANCE C Z PGE 4000 I PGE 200

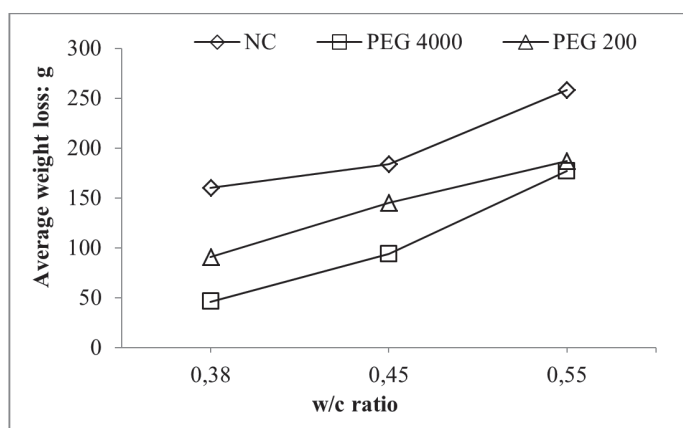
AVERAGE MOISTURE LOSS IN MIX C WITH PEG 4000 AND PEG 200

OZNACZENIE DESIGNATION	Średnia utrata masy / Average mass loss, g						
	3D	7D	14D	21D	28D	56D	90D
CN	150	172	202	211	217	229	248
CW*	-18	-25	-31	-36	-42	-54	-70
CH 0.1	135	157	172	180	187	211	226
CH 0.5	113	139	152	163	183	200	215
CH 1.0	110	136	162	170	182	189	203
CL 0.1	133	158	184	194	200	211	223
CL 0.5	126	151	172	184	187	206	214
CL 1.0	150	172	202	211	217	229	248

compounds [PEG 4000 and PEG 200]. It is evident that the evaporation ratio and the compressive strength are related. Where ever the evaporation ratio is less, the compressive strength is more and the rate of gain of compressive strength is also more and vice-versa. In case of specimens with concrete grades A and

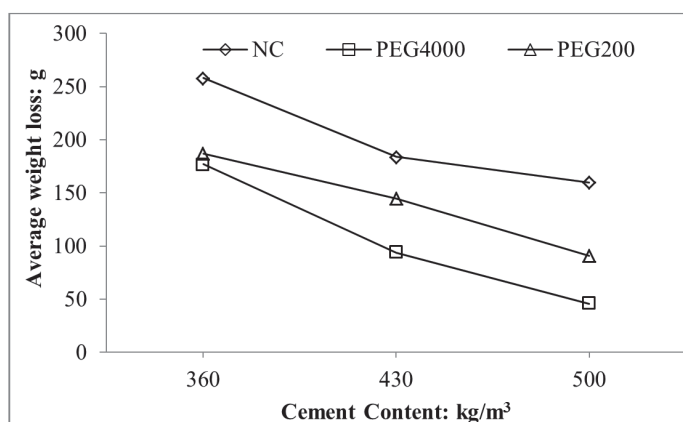
szy w przypadku próbki z PEG 4000 zawierającej 0,1 % domieszki hydrofilowej, w przypadku betonu wyższej klasy [A]. Korzystny dodatek PGE 4000 w przypadku niższej klasy betonu [mieszanka C] wynosił 1,0%. Ogólnie można stwierdzić, że niezależnie od dodatku i masy cząsteczkowej PGE, jego korzystny wpływ zaznacza się wyraźniej w przypadku wyższych klas betonu.

Na rysunkach 7 i 8 pokazano zależności średniego ubytku masy od stosunku w/c oraz od zawartości cementu w betonie. Z wykresu na rysunku 7 wynika, że ze wzrastającym stosunkiem w/c następuje wzrost średniego ubytku masy wszystkich betonów. PGE 4000 jest najbardziej skuteczną domieszką, zapewniającą najmniejszy ubytek masy. Podobnie, krzywe na rysunku 8 pokazują, że dla każdej zawartości cementu, próbki z PGE 4000 miały mniejszy średni ubytek masy. Z tych wykresów wyraźnie wynika, że PEG 4000 ma lepszy wpływ niezależnie od klasy betonu. Tę samą prawidłowość obserwuje się dla innych okresów dojrzewania [tablice 4 – 6].



Rys. 7. Średni ubytek masy w funkcji stosunku w/c, po 28 dniach

Fig. 7. w/c ratio vs average weight loss after 28 days



Rys. 8. Średni ubytek masy próbek betonów w zależności od zawartości cementu w mieszance [po 28 dniach]

Fig. 8. Average weight loss of concrete samples vs. cement content [28 days]

Tablica 7 / Table 7

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE BETONU A DLA RÓŻNYCH WARUNKÓW DOJRZEWANIA

COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE A FOR DIFFERENT CURING CONDITIONS

Średnia wytrzymałość na ściskanie Average compressive strength, MPa				
Beton Concrete	7 dni / days	28 dni / days	56 dni / days	90 dni / days
AW	52.8	75.7	77.9	80.1
AN	42.6	58.9	62.1	64.4
AH-0.1	55.4	73.9	75.6	77.3
AH-0.5	50.2	66.1	68.2	70.2
AH-1.0	56.8	71.8	73.2	74.6
AL-0.1	51.6	61.6	65.9	70.2
AL-0.5	55.3	67.0	70.1	71.2
AL-1.0	55.9	66.8	67.5	68.2

Designing: W - Conventional Water Curing, N - No Curing, H - self-curing with PEG 4000, L - self-curing with PEG 200

Oznaczenia: W - dojrzewanie w wodzie, N - dojrzewanie w powietrzu, H - pielęgnacja wewnętrzna PEG 4000, L - pielęgnacja wewnętrzna PEG 200

B with self curing agent PEG 4000 [H], the compressive strength values are the highest after strength of water cured specimens. The evaporation loss in case of higher grade concretes is the lowest in case of 0,1% dosage of PEG 4000 [H]. In case of PEG 200 [L], it was found that 0.5 % dosage is optimum as the evaporation loss was the lowest and the compressive strength was the highest. In all three cases, the conventional water curing specimens gave the highest values and specimens which are not cured at all [N] have given the lowest compressive strength in line with the results of the evaporation ratio, which was the highest in indoor cured specimens. Figs 9, 10 and 11 show the diagrams of the normalized compressive strength of no cured and for optimised values of self cured [PEG 4000 and PEG 200] with reference to water cured specimens [value = 1]. It can be noted from the diagrams that irrespective of the grades, the values of normalized compressive strength ratios for PEG 4000 [H] and PEG 200 [L] were always more than that of no cured specimens. Further, these values were more than '1' in case of Mix 'A' samples. While it is close to '1' in case of PEG samples for 'B' and 'C' grades. This evidently shows that PEG is more influential in high grade concretes. Also, in case of all the three grades, self curing agents with higher molecular mass [PEG 4000] are better than lower molecular mass [PEG 200].

5.4. Relative water absorption

Relative water absorption is defined as the water absorption in concrete specimens in successive intervals of time at the end of 28 days of curing. This value is continuously recorded up to 28 days of curing. Figs 12 - 14 show the relationship between relative water absorption vs age for three grades A, B and C. It was noticed that in the initial stage, the water absorption is quite high. As the time progressed, the relative water absorption decreased and after a particular time period, it became zero [almost at 28 days].

5.3. Wytrzymałość na ściskanie

Wytrzymałość betonu na ściskanie zależy od postępu procesu hydratacji, która z kolei zależy od zdolności do retencji wody w betonie. Podczas, gdy dojrzewanie betonu w wodzie zapewnia idealne warunki, to w praktyce często nie jest ono możliwe. Stąd różne metody pielęgnacji, pozwalające spełnić wymagania dotyczące zawartości wody w betonie oraz zapewnić odpowiedni stopień hydratacji. Tablice 7-9 podają wytrzymałość na ściskanie po 7, 28, 56 i 90 dniach, dla trzech klas betonu [A, B i C]. Rysunki 10-13 pokazują zależność wytrzymałości względnej na ściskanie w funkcji czasu dojrzewania. Z danych zawartych w tablicach 7 – 9 wynika, że w każdym przypadku, próbki dojrzewające w wodzie wykazują lepszą wytrzymałość na ściskanie niż próbki bez pielęgnacji. Właściwości próbek poddanych pielęgnacji wewnętrznej były lepsze w porównaniu do niepielęgnowanych próbek, po badanym okresie dojrzewania. Korzystna zawartość domieszki pielęgnującej zapewniała wytrzymałość na ściskanie podobną do wytrzymałości próbek dojrzewających w wodzie [AH0.1, BH1.0 i CH1.0].

Z danych zawartych w tablicach 7 – 9 wynika, czego zresztą należało oczekiwać, że ze wzrostem wieku betonu wzrasta wytrzymałość na ściskanie wszystkich betonów. Wytrzymałość na ściskanie jest powiązana ze stopniem odparowania wody. Kiedy stopień odparowania jest mały [tablice 4-6], wytrzymałość na ściskanie oraz szybkość jej przyrostu jest duża i na odwrót. W przypadku próbek z betonu klas A i B z domieszką pielęgnującą PEG 4000 [H], wytrzymałość na ściskanie jest największa, jeżeli pominiemy wytrzymałość próbek dojrzewających w wodzie. Ubytek masy wskutek parowania wody w przypadku betonów wyższej klasy jest najniższy dla 0,1% dodatku PGE 4000 [H]. W przypadku PGE 200 [L], stwierdzono, że najkorzystniejszy jest dodatek 0,5%, ze względu na mały ubytek masy, związany z odparowaniem wody oraz największą wytrzymałość na ściskanie. We wszystkich trzech przypadkach, dojrzewanie betonów w wodzie dało najlepsze wyniki. Wszystkie próbki dojrzewające w powietrzu [N] miały najmniejszą wytrzymałość na ściskanie, co jest zgodne z utratą wody. Na rysunkach 9 –11 pokazano wykresy znormalizowanej wytrzymałości na ściskanie próbek niepielęgnowanych oraz poddanych pielęgnacji wewnętrznej z korzystnym dodatkiem domieszki pielęgnującej [PGE 4000 i PGE 200] w odniesieniu do próbek pielęgnowanych w wodzie [„1”]. Na podstawie diagramów można zauważyć, że niezależnie od klas betonu, znormalizowane wskaźniki wytrzymałości na ściskanie dla PGE 4000 [H] i PGE 200 [L] były zawsze większe od próbek bez pielęgnacji. Ponadto, wskaźniki te były większe od 1 w przypadku próbek betonu A. Jest to dowód, że dodatek PGE ma większy wpływ na betony wyższych klas. Ponadto, w przypadku betonów wszystkich trzech klas, domieszka pielęgnująca o większej masie cząsteczkowej

Tablica 8 / Table 8

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE BETONU B DLA RÓŻNYCH WARUNKÓW DOJRZEWANIA

COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE B FOR DIFFERENT CURING CONDITIONS

Średnia wytrzymałość na ściskanie / Average compressive strength, MPa				
Beton / concrete	7 dni / days	28 dni / days	56 dni / days	90 dni / days
BW	43.3	60.1	64.1	68.0
BN	35.5	44.4	47.7	48.0
BH-0.1	40.1	54.5	55.4	56.4
BH-0.5	45.9	52.4	54.8	57.2
BH-1.0	43.0	56.1	59.7	64.2
BL-0.1	40.4	49.3	51.3	53.2
BL-0.5	45.5	50.9	51.5	52.1
BL-1.0	43.0	55.0	58.7	60.9

Tablica 9 / Table 9

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE BETONU C DLA RÓŻNYCH WARUNKÓW DOJRZEWANIA

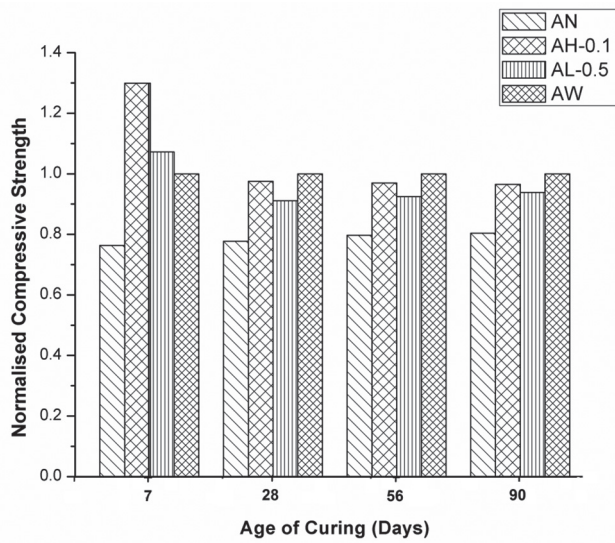
COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE C FOR DIFFERENT CURING CONDITIONS

Średnia wytrzymałość na ściskanie / Average compressive strength, MPa				
Beton / concrete	7 dni / days	28 dni / days	56 dni / days	90 dni / days
CW	41.5	53.4	58.0	59.2
CN	29.0	40.2	41.3	42.2
CH-0.1	38.2	47.9	49.6	50.1
CH-0.5	35.7	48.4	48.6	49.1
CH-1.0	36.5	48.6	51.7	55.9
CL-0.1	33.9	43.2	44.7	46.5
CL-0.5	33.9	43.1	44.8	46.5
CL-1.0	34.4	47.8	50.1	55.4

The water absorption is the highest in no cured specimens at all ages and in all mixes due to more voids. Whereas, addition of PEG 4000 [H] and PEG 200 [L] with optimum dosages has resulted in decrease in the relative water absorption, as these compounds did not allow the loss of moisture during curing process. Sorptivity defined as the amount of absorption and transmission by capillary action [Fig 2], can be obtained on the basis of cumulative [absolute] water absorption (27).

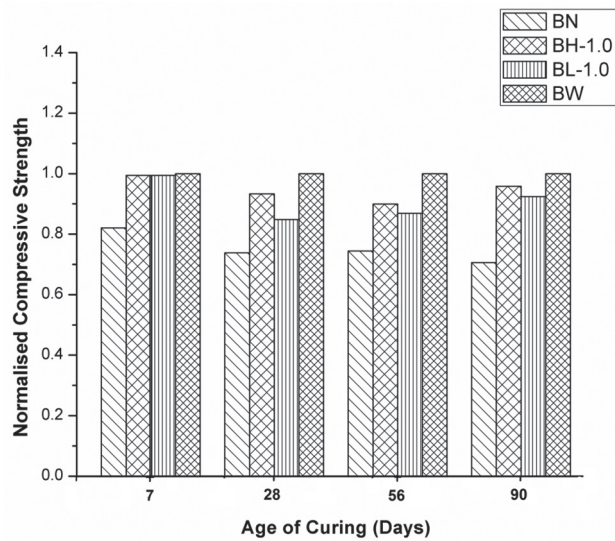
6. Conclusions

1. The study has demonstrated that polyethylene glycol can be used effectively to produce self-compacting concrete with properties superior to those of no cured mixes and similar to those for water cured specimens.
2. For concretes with grade A, the rate of mass loss considerably decreased with use of 0.1% polyethylene glycol 4000 and 0.5 % polyethylene glycol 200 compared to no cured speci-



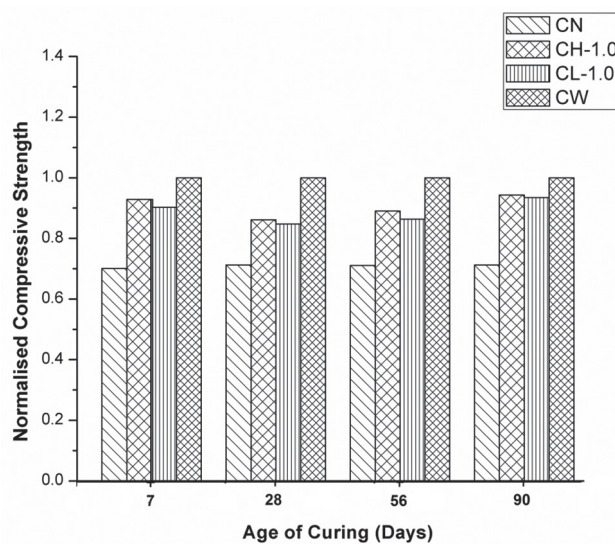
Rys. 9. Znormalizowana wytrzymałość na ściskanie betonu A

Fig. 9. Normalized compressive strength of Mix A



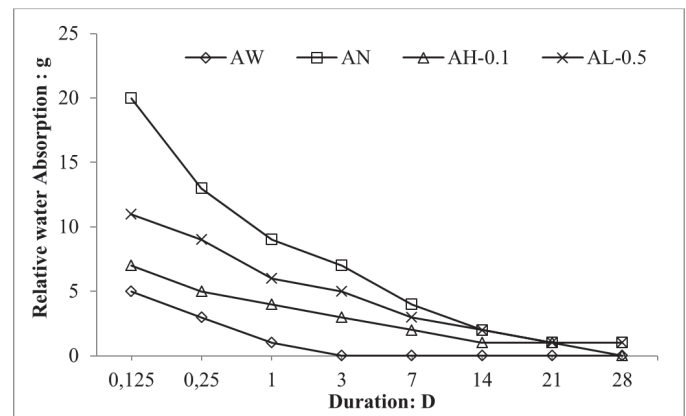
Rys. 10. Znormalizowana wytrzymałość na ściskanie betonu B

Fig. 10. Normalized compressive strength of mix B



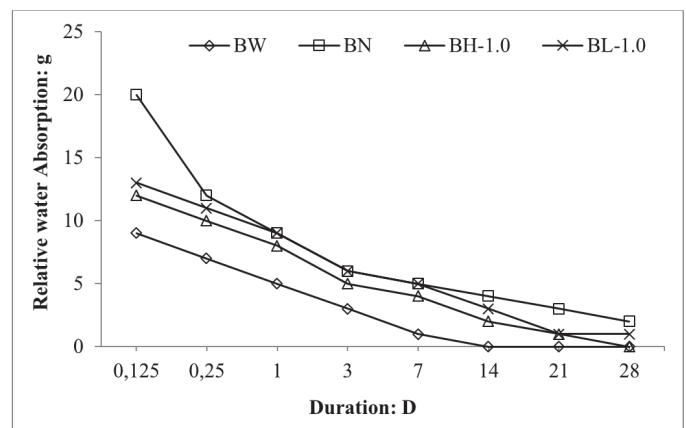
Rys. 11. Znormalizowana wytrzymałość na ściskanie betonu C

Fig. 11. Normalized compressive strength of mix C



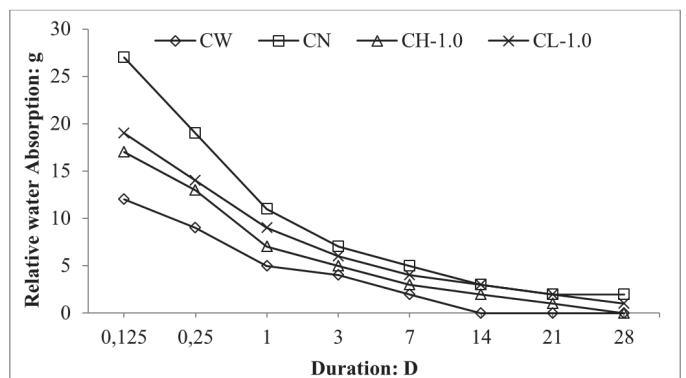
Rys. 12. Względna absorpcja wody w funkcji czasu dojrzewania betonu A

Fig 12. Relative water absorption vs curing period for concrete A



Rys. 13. Względna absorpcja wody w funkcji czasu dojrzewania betonu B

Fig 13. Relative water absorption vs curing time for concrete B



Rys. 14. Względna absorpcja wody w funkcji czasu dojrzewania betonu C

Fig 14. Relative water absorption vs curing time for concrete C

mens. In case of mixes B and C however, better performance was observed with 1.0% dosage of PEG 4000 and PEG 200.

- At 28 days curing, in each grade of SCC, specimens with water curing [AW, BW, CW] have shown better compressive strength than no cured and self-cured specimens. Self-cured specimens with optimum dosages have attained compressive strengths close to water cured specimens.

[PGE 4000] daje lepsze wyniki od domieszki o mniejszej masie cząsteczkowej [PGE 200].

5.4. Względna absorpcja wody

Względną absorpcję wody określa się jako absorpcję wody przez próbki betonowe w kolejnych odstępach czasu aż do 28 dnia dojrzewania. Rysunki 12 – 14 przedstawiają zależność względnej absorpcji wody od czasu dojrzewania trzech klas betonu A, B i C. Stwierdzono, że wraz z postępowaniem czasu następowało zmniejszenie względnej absorpcji wody, a po 28 dniach była ona bliska zeru.

Absorpcja wody jest największa dla próbek niepielęgnowanych po wszystkich badanych okresach dojrzewania i w przypadku wszystkich mieszanek, prawdopodobnie wskutek większej porowatości betonu. Natomiast odpowiedni dodatek PGE 4000 [H] i PGE-200 [L] spowodował zmniejszenie względnej absorpcji wody, gdyż domieszki te hamują utratę wilgoci podczas procesu dojrzewania. Dzięki temu próbki betonu uzyskują bardziej zwartą mikrostrukturę, co powoduje zmniejszenie wnikania wody.

6. Wnioski

1. Badania wykazały, że poli(glikol etylenowy) może być stosowany jako domieszka do „wewnętrznej pielęgnacji” samozagęszczającego się betonu, z dobrymi wynikami. Zastosowanie PGE do pielęgnacji wewnętrznej zapewnia uzyskanie lepszych właściwości betonu od tych, które nie były pielęgnowane oraz zbliżone do betonów dojrzewających w wodzie.
 2. Korzystny dodatek PGE 4000 do betonów klasy A o największej wytrzymałości, wyniósł 0,1% zaś dla PGE 200 0,5%. W przypadku mieszanek B i C, najlepsze wyniki uzyskano gdy dodatek wynosił 1,0%, zarówno dla PGE 4000 jak i PGE 200.
 3. Po 28 dniach dojrzewania poszczególnych klas betonów samozagęszczających się, próbki dojrzewające w wodzie miały większą wytrzymałość na ściskanie, niż próbki dojrzewające w powietrzu. Próbki zawierające korzystny dodatek domieszki „pielęgnującej” osiągnęły wytrzymałość na ściskanie zbliżoną do próbek dojrzewających w wodzie.
 4. Najmniejszą względną absorpcję wody miały próbki „pielęgnowane wewnętrznie” domieszkami PEG-4000 i PEG-200, dodanymi w ilości 0,1% i 0,5% do betonu klasy A. W przypadku betonów klas B i C korzystny dodatek wynosił 1,0%.
 5. Próbki o większej retencji wody wyróżniały się większą wytrzymałością na ściskanie i mniejszą względną absorpcją wody. Wyniki te wykazują, że mniejszy ubytek wody spowodowany parowaniem, prowadzi do poprawy warunków hydratacji.
 6. Dodatek poli(glikolu etylenowego) poprawia właściwości reologiczne mieszanek samozagęszczających się. Lepsze właściwości zapewniał poli(glikol etylenowy) o mniejszej masie molowej.
4. The relative water absorption is the minimum in self-cured specimens with optimum dosage of 0.1% and 0.5% of PEG-4000 and PEG-200 respectively for grade A SCC, while the optimum dosage is 1.0% for both PEG-4000 and PEG-200 in case of grades B and C SCC.
 5. The specimens with more water retention capacity have shown better compressive strength and relative water absorption. Hence, it can be concluded that minimum water loss leads to better hydration condition thus increasing strength and minimization of voids.
 6. Addition of PEGs results in improvement of rheological properties of self-compacting mixes. Out of two PEGs tested the one with lower molecular mass gave better results.

Literatura / References

1. Standard, British. “Structural use of concrete—part 1: code of practice for design and construction.” Sector Board for Building and Civil Engineering (1997).
2. Birto J.C, “Curing concrete – an appraisal of attitudes”, practices and knowledge. CIRIA Rep. **43**, 5-31(1981).
3. Taylor H F W, “Cement Chemistry”, Academic Press Inc., London (1990).
4. Dhir, R. K., P. C. Hewlett, J. S. Lota, and T. D. Dyer. “An investigation into the feasibility of formulating ‘self-cure ‘concrete”, *Mat. Struc.*, **27**, 606-615 (1994).
5. Dhir R K, Hewlett P C & Dyer T, “Durability of ‘self-cure’ concrete”, *Cem. Concr. Res.*, **25**, 1153-1158 (1995).
6. Dhir R K, Hewlett P C & Dyer T D, “Mechanisms of water retention in cement pastes containing a self-curing agent”, *Mag. Concr. Res.*, **50**, 85-90 (1998).
7. Liang R T Yong & Robert Keith Sun, “Compositions and Methods for Curing Concrete”, Patent No.: US 6,468,344 B1, Date of Patent Oct. 22 (2002).
8. Wen-Chen Jau, “Self-curing Concrete”, United States Patent Application Publication, Pub No: U.S. 2008/0072799 A1, Pub. Date: Mar. 27 (2008).
9. El-Dieb, “Self-curing Concrete: Water Retention, hydration and moisture transport”, *Construction and Building Materials*, **21**, 1282-1287 (2007).
10. El-Dieb, T.A. El-Maaddawy & A.A.M. Mahmoud, “Water-Soluble Polymers as Self-Curing Agent in Silica Fume Portland Cement Mixes”, *ACI Mat. J.*, **278**, 1-18 (2011).
11. El-Dieb, Tamer A. El- Maaddawy & Abdelrahman Al-Sallamin, “Microstructure and durability characteristics of self-curing concrete”, *Proceedings of the First International Conference on Construction Materials and Structures*, Editors: Stephen O Ekolu, Morgan Dundu, Xiaojian Gao, 276-283 (2014).
12. Magda I Mousa, Mohamed G Mahdy, Ahmed H Abdel-Reheem & Akram Z Yehia, “Physical properties of self-curing concrete (SCUC)”, *Housing and Building National Research Center Journal*, **11**, 167-175 (2015).
13. Mousa, Magda I., Mohamed G. Mahdy, Ahmed H. Abdel-Reheem, and Akram Z. Yehia. “Mechanical properties of self-curing concrete (SCUC)”, *H-BRC Journal* (2014).
14. Hui Zhao, Wei Sun, Xiaoming Wu & Bo Gao , “Effect of initial water-curing condition on the properties of self compacting concrete”, *Materials and Design*, **35**, 194-200 (2012).

15. Semion Zhutovsky & Konstantin Kovler, "Effect of internal curing on durability-related properties of high performance concrete", *Cement and Concrete Research*, **42**, 20-26 (2012).
16. Igor De la Varga, Javier Castro, Dale Bentz & Jason Weiss, "Application of internal curing for mixtures containing high volumes of fly ash", *Cem. Concr. Res.*, **34**, 1001-1008 (2012).
17. Mustafa Sahmaran, Mohamed Lachemi, Khandaker M.A.Hossain & Victor C. Li, "Internal curing of engineered cementitious composites for prevention of early age autogenous shrinkage cracking", *Cement and Concrete Research*, **39**, 893-901 (2009).
18. Jo Ann Browning, David Darwin, Diane Reynolds & Benjamin Pendergrass, "Lightweight Aggregate as Internal Curing Agent to Limit Concrete Shrinkage", *ACI Materials Journal*, **108**, 638-644 (2011).
19. Sri Rama Chand M, Swamy *Naga* Ratna Giri P, Rajesh Kumar G & Rathish Kumar P, "Paraffin wax as an Internal curing agent in concrete", *Mag. Concr. Res.*, **67**, 82-88 (2014).
20. Sri Rama Chand, Rathish Kumar P, Swamy *Naga* Ratna Giri P & Rajesh Kumar G, "Influence of Paraffin wax as Self Curing Compound in Self Compacting Concretes - A study", *Adv. Cem. Res.*, **28**, 110-120 (2016).
21. Chand MS, Giri PS, Kumar PR, Kumar GR, Raveena C, "Effect of self curing chemicals in self compacting mortars", *Construction and Building Materials*, **107**, 356-64 (2016).
22. IS: 12269 - 2013, "Indian Standard Ordinary Portland Cement, 53 Grade – Specification", Bureau of Indian Standards, New Delhi (2013).
23. IS: 383 – 1970 (Reaffirmed 2002), "Indian Standard Specification for Coarse and Fine Aggregates from Natural Sources for Concrete", Bureau of Indian Standards, New Delhi (2002).
24. ASTM C494 / C494M-13, "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete", ASTM International, West Conshohocken, PA, USA 2013.
25. EFNARC, "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete – Specification", Production and Use, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems (2005).
26. IS: 516 - 1959 (Reaffirmed 2004), "Indian Standard Methods of Tests for Strength of Concrete", Bureau of Indian Standards, New Delhi (2006).
27. Hall C, "Water sorptivity of mortars and concretes: a review", *Mag. Concr. Res.*, **41**, 51-61 (1989).