

Ocena wielkości odkształceń skurczowych zapraw i betonów cementowych z dodatkiem polimerów

Estimation of shrinkage strains of cement mortars and concrete with polymer addition

1. Wprowadzenie

W ostatnim okresie obserwuje się wzrastające znaczenie problemu skurczu betonu w projektowanych i realizowanych obiektach przemysłowych. Powodowane jest to wysokimi wymaganiami stawianymi przez użytkowników, w realizacji których nadmierny skurcz betonu jest dużym utrudnieniem. Szczególnie dotyczy to wykonywania bezspoinowych podkładów i posadzek przemysłowych, w których skurcz betonu ogranicza możliwości projektowe, a jego zmniejszenie jest istotnym problemem.

Szczególną uwagę zwrócono na przebieg skurczu we wczesnym etapie dojrzewania kompozytów polimerowo-cementowych jak również z dodatkiem klasycznego reduktora skurczu, pozwalającego według producenta na około 40% zmniejszenie odkształceń skurczowych.

2. Metody zmniejszenia skurczu kompozytu cementowego

Skurcz zapraw i betonów zwykłych jest zjawiskiem znanym i dobrze udokumentowanym. Klasyczna teoria skurczu betonu (1) zakłada, że reakcja cementu z wodą powoduje ogólne zmniejszenie objętości zaczynu, czyli tzw. skurcz plastyczny, który w odróżnieniu od następującego po nim skurczu powodowanego wysychaniem jest nieodwracalny.

Całkowita wielkość odkształceń skurczowych zależy od wielu czynników, z których do najważniejszych zaliczyć należy: rodzaj, powierzchnię właściwą, skład fazowy i ilość cementu. Największe zmiany objętości wykazują cementy z dużą zawartością C_3A , najmniejsze zaś cementy z dużą ilością C_2S (6). Tak więc ze względu na zmniejszenie skurczu korzystne jest stosowanie jak najmniejszej ilości cementu o małej powierzchni właściwej, a dużej zawartości belitu.

Na skurcz betonu duży wpływ ma wskaźnik w/c. Zależność skurczu wysychania od wartości w/c przedstawiono na rysunku 1.

1. Introduction

In recent time the importance of concrete shrinkage problem in designing and realising of industrial construction is increasing. It is caused by high demands of users which fulfilling in case of excessive shrinkage is very difficult. Especially it concerns the realisation of joint less sleepers and industrial floors in which concrete shrinkage restrains the designing possibilities and its reduction is an important problem.

In the paper special attention is given to the shrinkage in early phase of ageing of polymer-cement composites permitting, according to the producers, reduction of about 40% of shrinkage strain.

2. Methods of shrinkage decreasing of cement composite

Shrinkage of mortars and concrete is well known and explained phenomenon. The classical concrete shrinkage theory establishes that the reaction of cement with water causes the decrease of total paste volume i.e. plastic shrinkage which, as opposed to the following shrinkage caused by drying, is irreversible.

The total shrinkage amount is dependent of many factors of which the most important are the kind of cement, its content in concrete and its specific surface as well as the chemical composition. The most important volume changes show cements rich in C_3A , the smallest with great C_2S content (6). Thus for the sake of shrinkage decrease favourable is the application of the smallest cement dose in concrete, with low specific surface and high belite content. Big influence on shrinkage has the w/c ratio. The dependence of drying shrinkage of w/c ratio is presented on figure 1.

It is evident that the volume changes of composite (shrinkage or swelling) are only linked with cement matrix because aggregate does not underwent deformation. Thus in case of constant w/c ratio with paste content increase in concrete, shrinkage is increasing.

Jest oczywiste, że zmiany objętości kompozytu (skurcz lub pęcznienie) pochodzą jedynie od odkształceń matrycy, ponieważ wypełniacz (kruszywo) nie podlega odkształceniom. Tak więc przy stałej wartości wskaźnika w/c, wraz ze wzrostem ilości zaczynu w jednostce objętości betonu, jego skurcz wzrasta.

Mimo przedstawionych działań sprawą otwartą jest ograniczenie skurczu powodowanego wysychaniem betonu. Działania związane ze zmniejszeniem tej części skurczu sprowadzają się do:

- stosowania zbrojenia przeciwskurczowego,
- prowadzenia odpowiednio długiej i starannej pielęgnacji betonu.

Stosowanie zwiększonej ilości zbrojenia zapobiegającego skurczowi powoduje znaczny wzrost kosztów konstrukcji betonowej lub wytwarzania elementów betonowych. Dodatkowo zmniejszenie rozstawu prętów zbrojenia powoduje konieczność stosowania mieszanek o drobniejszym uziarnieniu, co stoi w sprzeczności z zaleceniami dotyczącymi doboru uziarnienia kruszywa w celu zmniejszenia skurczu.

Prawidłowa pielęgnacja elementów betonowych, polegająca na utrzymaniu 100% wilgotności betonu, jest na skutek uwarunkowań techniczno-technologicznych (np.: kształt elementu, szalunki) trudna do uzyskania. Dlatego też często, pomimo prawidłowo prowadzonej pielęgnacji skurcz wysychania w pierwszym okresie dojrzewania przebiega równoległe ze skurczem plastycznym i jest trudny do kontrolowania (5). Może być on zmniejszony dopiero w późniejszej fazie dojrzewania betonu. W rezultacie na powierzchni elementów betonowych szybko pojawiają się rysy skurczowe spowodowane odparowaniem wody z powierzchni elementu, któremu to zjawisku trudno zapobiec.

Skutecznym sposobem ograniczania skurczu betonu powodowanego wysychaniem jest stosowanie dodatku dyspersji polimerowych. Jak zostało udowodnione dodatki polimerowe powodują korzystne zmiany w mikrostrukturze betonu. Zastosowanie takiego dodatku powoduje powstanie ciągłej błonki polimerowej na ziarnach kruszywa i cementu oraz zmiany wielkości i pokroju kryształów w zaczynie cementowym. Błony polimerowe, oprócz ziaren kruszywa, otaczają także cząstki cementu spowalniając proces jego hydratacji. Właściwość ta powoduje opóźnienie rozwoju wytrzymałości kompozytu, ale z drugiej strony zwiększa kohezję składników mieszanki, dzięki czemu skurcz elementów powodowany utratą wody ulega znacznemu ograniczeniu. Wprowadzone do mieszanki betonowej polimery wykazują zdolność do mostkowania mikrozarysowań, co jest korzystne ze względu na zmniejszenie skurczu i polepszenie szczelności kompozytu (2, 4).

3. Program badań

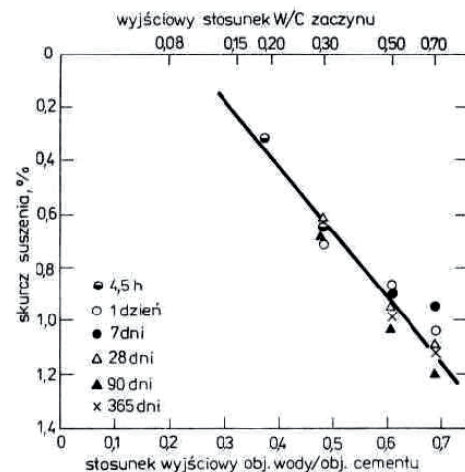
Badania miały na celu wyjaśnienie wpływu dwóch rodzajów dodatków polimerowych na wielkość skurczu i wytrzymałość kompozytów polimerowo-cementowych. W badaniach wykorzystano następujące polimery:

Independently of presented solutions the decrease of concrete drying shrinkage is an open question. To decrease this shrinkage the following solutions are undertaken:

- shrinkage reducing reinforcement,
- long and careful concrete curing.

Higher reinforcement application significantly increases cost of construction or concrete elements production. Additionally decrease of reinforcement rods span causes the use of mixes with smaller granulometry which is opposite to the recommendations concerning aggregate grading in order to decrease shrinkage.

Proper concrete elements curing consisting in maintaining 100% humidity of concrete is difficult to realise due to technical conditions, for example elements shapes, shuttering etc. It is the reason that frequently independently of proper curing the drying shrinkage during the first period of ageing, simultaneously with plastic shrinkage, is difficult to control (5). It can be decreased in the later stage of concrete ageing. As a result on the surface of concrete elements cracks are quickly formed, caused by water evaporation from the elements surface, which phenomenon is hardly to prevent.



Rys. 1. Zależność skurczu wysychania zaczynu w zależności od wartości w/c (1)

Fig. 1. Relationship between the paste drying shrinkage and w/c ratio (1)

The effective manner of concrete drying shrinkage limitation is polymer dispersion application. As it was established the polymer addition causes the favourable changes in concrete microstructure. In case of such addition application the continuous film of polymer is formed on aggregate and cement grains, as well as changes of hydrates size and habits in cement paste occurs. Polymer film, apart of aggregates grains, is surrounding also cement particles, slowing the hydration process. This phenomenon causes the decreasing of composite strength development, but from the other side the cohesion of the mix components is increased thanks to which the elements shrinkage linked with water loss is significantly reduced. Polymer added to concrete mix shows the ability of microcracks bridging which is positive in view of shrinkage decreasing and composite tightness improvement (2, 4).

- lateks butadienowo-styrenowy (SBR),
- polialkohol winylowy (PVA).

Dodatkowo w celu sprawdzenia skuteczności działania tych dodatków wykonano serię mieszanek z wykorzystaniem domieszki redukującej skurcz, złożonej z wielkocząsteczkowego alkoholu.

W badaniach przyjęto stały poziom dodatku polimerowego wynoszący 10% w stosunku do masy cementu i maksymalny według producenta, dodatek domieszki redukującej skurcz (SR), a mianowicie 2% w stosunku do masy cementu.

W celu oceny skuteczności działania zastosowanych dodatków sporządzono betony wzorcowe według PN-EN 480-1:1999. Zastosowano cement CEM I 42,5R i kruszywo otoczkowe ($D_{max}=16$ mm), utrzymując stały wskaźnik w/c - 0,50.

Do badania wielkości długotrwałych odkształceń skurczowych zastosowano tensometr DEMEC na beleczkach 100×100×500 mm. Próbkę przechowywano w powietrzu o wilgotności 50% i w temperaturze 20°C.

Natomiast badanie wpływu skuteczności dodatków polimerowych i handlowego reduktora (SR) na skurcz w pierwszych 4 dobach dojrzewania prowadzono na próbkach o wymiarach 60×40×1000 mm wykonanych z zaprawy przygotowanej zgodnie z PN-EN 196-1. Do pomiarów wykorzystywano rynnę skurczową wyposażoną w elektroniczny długościomierz typu Digimatic, połączony z automatycznym rejestratorem wyników (rysunek 2).

Zastosowana metoda pomiaru odkształceń próbki w rynnie skurczowej ma tę zaletę, że pomiary wykonywane są automatycznie, w stałych, z góry założonych przedziałach czasowych. Ograniczeniem metody jest wielkość przekroju próbki (60×40 mm), co spowodowało prowadzenie pomiarów na zaprawach.

4. Analiza wyników badań

4.1. Skurcz kompozytów polimerowo-cementowych

Wyniki badań jednoznacznie pokazują, że zastosowanie dodatku polimerowego, niezależnie od jego rodzaju, jak również handlowego reduktora skurczu (SR) pozwala na znaczne zmniejszenie skurczu (rysunki 3 i 4).

Dodanie do zaprawy polimerów, zarówno SBR jak i PVA, pozwala na znaczne zmniejszenie odkształceń skurczowych w początkowych 8-12 godzinach dojrzewania. Zmniejszenie wczesnego skurczu spowodowane dodatkiem polimeru wynosi 50-70% w stosunku do zaprawy porównawczej. Wpływ handlowej domieszki redukującej skurcz (SR) w pierwszych godzinach dojrzewania jest mniejszy w stosunku do dodatku dyspersji polimerowych. Zastosowanie tej domieszki pozwala na zmniejszenie wczesnych odkształceń skurczowych w zakresie od 25% do 30% w stosunku do zaprawy porównawczej.

3. Experimental programme

The goal of experiments was the examination of influence of two kinds of polymers on shrinkage amount and strength of polymer-cement composites. In experiments two polymers were used:

- styrene-butadiene latex (SBR),
- polyvinyl alcohol (PVA).

Additionally in order to verify the effectiveness of addition's action the series of mixes were prepared with the shrinkage reducer addition, composed of high-molecular alcohol.

In the experiments constant content of polymer equal 10% of cement mass was used and maximal addition of shrinkage reducer (SR), according to the producer, namely 2% of cement mass.

In order to verify the effectiveness of used additions the model concrete according to standard PN-EN 480-1:1999 was also prepared. Portland cement CEM I 42.5 R and gravel ($D_{max} = 16$ mm) were used, and w/c ratio equal 0.50 was maintained.

For long-lasting shrinkage strain measurements the extensometer DEMEC was used and concrete samples have dimension 100 x 100 x 500 mm. The samples were stored in the air of 50% RH and at 20°C.

However, the examination of polymer and trade reducer (SR) influence effectiveness on shrinkage strain in first 96 hours of ageing was executed on mortar samples of dimension 60 x 40 x 1000 mm, prepared according to PN-EN 196-1. The measurements were made with shrinkage gutter equipped with electronic length-meter Digimatic, linked with automatic results recorder (Figure 2).

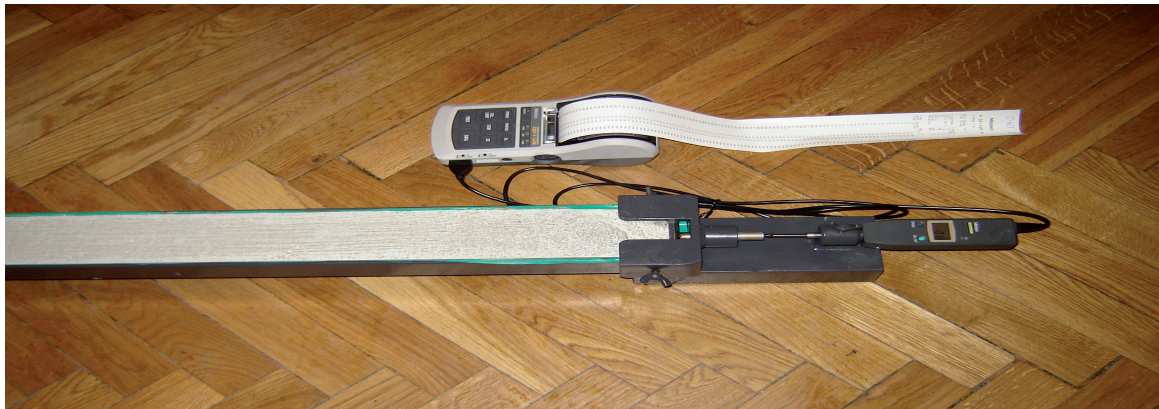
The applied measurement method with shrinkage gutter has this advantage that the measurements are executed automatically, at constant set up time intervals. The method limitation is the sample cross section dimension (60 x 40 mm) which are forcing the use of mortars for these measurements.

4. Discussion

4.1. Shrinkage of polymer-cement composites

The results show that independently of kind of polymer, as well as trade shrinkage reducer (SR) their addition give significant shrinkage decrease (Figures 3 and 4).

Both polymers (SBR and PVA) addition to the mortars gives significant shrinkage reduction in the first 8-12 hours of ageing. The decrease of early shrinkage due to polymer addition is equal 50 – 70% in relation to comparative mortar. The influence of shrinkage reducing admixture (SR) in first hours of ageing is smaller in comparison with polymer dispersions. Application of this admixture gives the decrease of early shrinkage in the range 25% to 30% in relation to comparative mortar.



Rys. 2. Rynna skurczowa wraz z czujnikiem i rejestratorem wyników

Fig. 2. Shrinkage gutter with indicator and results recorder

Wielkości skurczu wywołanego wysychaniem, który rozpoczyna się po około 12-15 godzinach, są bardzo zbliżone, niezależnie od rodzaju zastosowanego dodatku.

Na rysunku 4 przedstawiono wpływ dodatków polimerowych (SBR, PVA) i handlowego reduktora skurczu (SR) na wielkość długotrwałych odkształceń skurczowych.

Największe zmniejszenie długotrwałych odkształceń skurczowych wystąpiło w przypadku polimerowego dodatku do betonu, zwłaszcza lateksu butadienowo-styrenowego (SBR). Dodatek polimeru w ilości 10% w stosunku do masy cementu pozwala na zmniejszenie skurczu betonu w granicach 60-80%, w stosunku do betonu porównawczego. Obserwowane w przypadku betonów z dodatkami odkształcenia skurczowe kształtują się na poziomie 0,07-0,11 mm/m, dlatego można je zaliczyć do grupy materiałów o małym skurczu.

Dodatek handlowej domieszki redukującej skurcz (SR) pozwala na zmniejszenie skurczu betonu o około 30% w stosunku do betonu porównawczego. Działanie tej domieszki oparte jest na zwiększeniu wiązliwości wody. Zastosowana domieszka jest kompatybilna z plastyfikatorami i upłynniaczami. Istnieje zatem możliwość zwiększenia jej skuteczności poprzez zmniejszenie wskaźnika w/c (5).

4.2. Wpływ dodatku polimerowego na wytrzymałość betonu

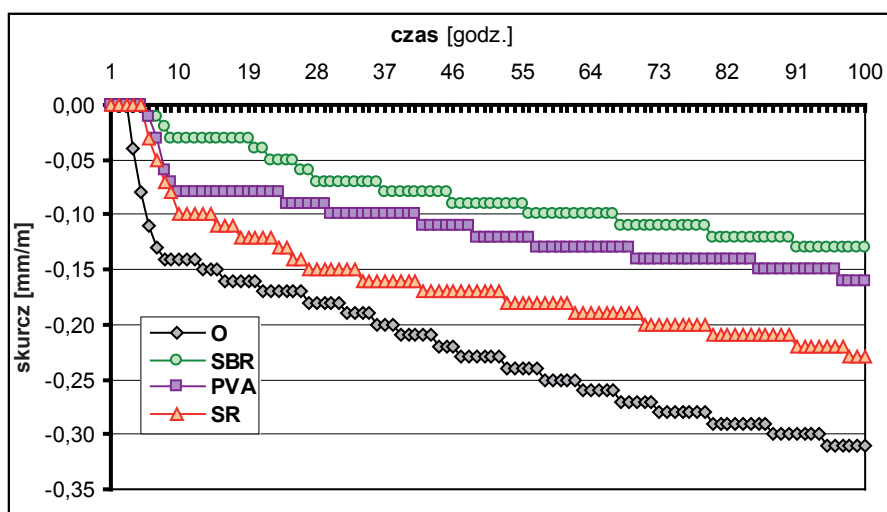
W tabelicy 1 zestawiono wyniki badania wytrzymałości na zginanie i ściszenie betonów z dodatkiem polimerów po 7 i 28 dniach dojrzewania.

Wyniki badań pokazują, że zastosowanie dodatków polimerowych (SBR, PVA) powoduje wzrost wytrzymałości na zginanie betonu w granicach 80-100% w stosunku do betonu porównawczego, zarówno po 7 jak i po 28 dniach dojrzewania. Wzrost wytrzymałości na zginanie betonów zawierających dodatki polimerów spowodowany jest zwiększeniem

The drying shrinkage, which starts after 12-15 hours is very similar independently of the kind of admixture used. On figure 4 the influence of polymers (SBR, PVA) addition and trade shrinkage reducer (SR) on long-lasting shrinkage strains is presented.

The greatest reduction of long-lasting shrinkage strains was found in case of polymer addition to concrete, especially styrene-butadiene latex (SBR). The 10% addition of polymer to cement mass gives the decrease of concrete shrinkage in the range of 60-80% in relation to comparative concrete. The shrinkage strains in case of concrete with addition are on the level 0.07 – 0.11 mm/m and thus these composites can be evaluate as low-shrinkage materials.

The addition of trade shrinkage reducer (SR) gives the concrete shrinkage decrease of about 30% in relation with comparative concrete. The influence of this admixture is based on constraint of water. The applied admixture is compatible with plasticizers and fluidities. Thus there is a possibility to increase its effectiveness by w/c ratio decreasing (5).



Rys. 3. Przebieg wczesnych odkształceń skurczowych zapraw z dodatkami polimerów (SBR, PVA) i handlowego reduktora skurczu (SR)

Fig. 3. The early shrinkage strains of polymer modified mortars (SBR, PVA) and with commercial reducer (SR)

odkształcalności kompozytu (2) oraz zdolnością cząsteczek polimeru do mostkowania mikrozarysowań (4). Pewne znaczenie może prawdopodobnie także mieć uszczelnienie przez cząsteczki polimeru porowatej warstwy kontaktowej zaczyn-ziarna kruszywa. Natomiast zastosowanie dodatku polimerowego powoduje zmniejszenie wytrzymałości kompozytu na ściskanie o około 10% w stosunku do betonu porównawczego. Wyjaśnienie przyczyny tego zjawiska wymaga przeprowadzenia dalszych badań. Obniżenie wytrzymałości na ściskanie betonów polimerowo-cementowych można kompensować wykorzystując silne działanie upłynniające tych dodatków do zmniejszenia współczynnika w/c.

Zastosowanie domieszki redukującej skurcz (SR) powoduje niewielkie wynoszące około 5%, zmniejszenie wytrzymałości na zginanie i na ściskanie w porównaniu do betonu wzorcowego, zarówno po 7 i 28 dniach dojrzewania.

5. Wnioski

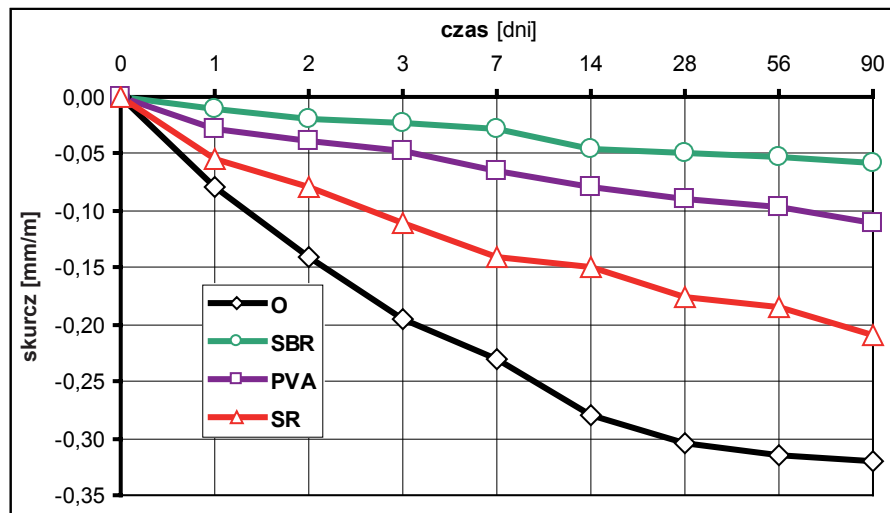
Wyniki przeprowadzonych badań dają podstawę do sformułowania następujących wniosków:

- zastosowanie dodatku dyspersji polimerowej, zarówno SBR i PVA, w ilości 10% masy cementu, powoduje zmniejszenie wczesnych jak i długotrwałych odkształceń skurczowych w granicach 60-80% w stosunku do zapraw i betonów porównawczych,
- dodatek handlowego reduktora skurczu (SR) wywołuje zmniejszenie skurczu w granicach od 20% do 40% w stosunku do zapraw i betonów porównawczych w całym badanym okresie dojrzewania,

Tablica 1 / Table 1

WYTRZYMAŁOŚĆ BETONU Z DODATKIEM POLIMERÓW PO 7 I 28 DNIACH POLYMER MODIFIED CONCRETE STRENGTH AFTER 7 AND 28 DAYS

Typ dodatku Kind of admixture	Wytrzymałość na zginanie/Bending strength, N/mm ²		Wytrzymałość na ściskanie/Compressive strength, N/mm ²	
	po 7 dniach after 7 days	po 28 dniach after 28 days	po 7 dniach after 7 days	po 28 dniach after 28 days
Lateks butadienowo-styrenowy Styrene-butadiene latex (SBR)	8,5	9,9	41,6	47,9
Polialkohol winylowy Polyvinyl alcohol (PVA)	7,9	9,6	35,7	42,8
Handlowy reduktor skurczu Trade shrinkage reducer (SR)	4,5	4,9	42,8	49,1
Beton porównawczy Comparative concrete (0)	4,7	5,2	45,3	52,8



Rys. 4. Przebieg skurczu betonu z dodatkiem polimerów (SBR, PVA) i reduktorem skurczu (SR)
Fig. 4. Early shrinkage strains of concretes with polymers (SBR, PVA) and trade shrinkage reducer (SR)

4.2. Influence of polymer addition on concrete strength

In table 1 the results of compressive and bending strength examination of concretes with polymer addition.

The results show that the addition of polymers (SBR, PVA) gives the increase of concrete bending strength in the range 80-100% in relation to standard concrete, both after 7 and 28 days of curing. The higher concrete bending strength with polymer addition is caused by the increase of composite deformation ability (2) and the polymer molecules ability to microcracks bridging (4). Some significance can probably also have the sealing of interfacial transition zone with polymer molecules.

However, the polymer addition causes the decrease of composite compressive strength of about 10% in relation to standard concrete. The explanation of this phenomenon needs further research.

- zastosowanie dodatku polimerów, w ilości 10% masy cementu, spowodowało wzrost wytrzymałości betonu na zginanie dochodzący do 100% w stosunku do betonu porównawczego, przy niewielkim (5-10%) zmniejszeniu wytrzymałości na ściskanie,
- w przypadku stosowania handlowej domieszki redukującej skurcz nie zanotowano większych zmian wytrzymałości betonu, zarówno na zginanie jak i na ściskanie.

Lowering of polymer-cement concrete compressive strength can be compensated by decreasing the w/c ratio thanks to fluidising influence of these polymers.

The addition of shrinkage reducer (SR) causes small, ranging to about 5% , lowering of compressive and bending strength in comparison to standard concrete, both after 7 and 28 days of curing.

Literatura / References

1. W. Kurdowski, Chemia cementu. PWN, Warszawa 1991.
2. M. Gruszczyński, Właściwości betonów cementowych modyfikowanych dodatkiem polimerów. Konferencja Dni Betonu, Wisła 9-11.10.2006.
3. J. Jasiczak, Skurcz betonu modyfikowanego dodatkami i domieszkami. IV Symposium Naukowo-Techniczne Reologia w Technologii Betonu. Gliwice 2002.
4. L. Czarnecki, Betony polimerowe. XVII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń 2002.
5. P. Lösching, Schwindreduzierer für Zementfließestrich, Zement+Beton Sonderheft 2002.
6. F. Wittmann, L. Trausch, Hygromechanisches Verhalten von zementgebundenen Werkstoffen. ETH Zürich 1999.

5. Conclusions

From the results of research the following conclusions can be drawn:

- addition of 10% of polymer dispersion, both SBR and PVA causes lowering of early and long-lasting shrinkage strains in the range 60-80% in relation to standard mortars and concretes,
- addition of trade shrinkage reducer (SR) causes shrinkage lowering in the range 20% to 40% in comparison to standard mortars and concretes, during the whole examined curing period,
- 10% of polymer addition gives the increase of concrete bending strength which reaches 100% in relation to standard concrete and small (5-10%) decrease of compressive strength,
- In case of trade shrinkage reducer no greater concrete strength changes were found, both bending and compressive strength.