

Rodzaje skurczu betonu, ich znaczenie i metody zapobiegania

Kinds of concrete shrinkages, their importance and prevention methods

Wiesław Kurdowski

e-mail: w.kurdowski@icimb.pl

Streszczenie

Jedną z niekorzystnych właściwości betonu stanowi skurcz, który jest spowodowany zmianami objętościowymi zaczynu cementowego. Wyróżniamy następujące rodzaje skurczu: skurcz chemiczny nazywany także kontrakcją lub skurczem Le Chatelier, skurcz plastyczny, skurcz autogeniczny, czasem zwany także skurczem auto-suszenia i skurcz suszenia. Opracowano szereg metod w celu usunięcia tego skurczu. Krystalizacja ettringitu jest jedną z metod i jest oparta na dodatku kompleksu Kleina do cementu. Są także stosowane domieszki organiczne, które opierają się na zmniejszeniu napięcia powierzchniowego wody w kapilarach. W pracy zbadano wpływ domieszki BASF Master Life SRA 815 samej i z dodatkiem CaO. W przeprowadzonych doświadczeniach wykazano, że CaO powoduje bardzo małe zmniejszenie skurczu, natomiast wymieniona domieszka daje duże zmniejszenie skurczu. Równoczesny dodatek CaO do Master Life SRA 815 powoduje zwiększenie wpływu tej ostatniej. Także dodatek samego kompleksu Kleina nie spowodował zmniejszenia skurczu, natomiast jego dodatek do Master Life SRA 815 zwiększył zmniejszenie skurczu.

Słowa kluczowe: skurcz plastyczny, skurcz samorzutny, skurcz suszenia, kontrakcja, kompleks Kleina, domieszki przeciwskurczowe

Summary

One of the unfavourable properties of concrete is shrinkage which is linked with the volume changes of cement paste. We distinguish the following kinds of shrinkage:

- “chemical” shrinkage called also the contraction or Le Chatelier shrinkage,
- plastic shrinkage,
- autogenic shrinkage or spontaneous, sometimes called auto drying,
- drying shrinkage.

There are several methods to eliminate concrete shrinkage. The ettringite crystallization is one of the inorganic compounds methods and is based on Klein’s complex addition to cement. This complex is causing the rapid ettringite formation and the shrinkage is diminished.

There are also organic admixtures which action is the reduction of the water surface tension. There are surface-active additions that are reducing this tension, in capillaries. The organic admixtures which are diminishing the shrinkage are based on neopentyl glycol or similar chemical compounds. In the study, the shrinkage-reducing admixture BASF Master Life SRA 815 alone and with CaO addition were examined. It was shown that CaO addition is giving very low diminishing of cement shrinkage, contrary to the fluid admixture Master Life SRA 815 which has a high diminishing influence on cement shrinkage. However, the simultaneous addition of CaO is increasing the diminishing influence of this fluid admixture. The addition of Klein’s complex does not influence of shrinkage but its simultaneous addition with Master Life SRA 815 gives higher shrinkage diminishing.

Keywords: kinds of shrinkage, spontaneous shrinkage, drying shrinkage, contraction, anti-shrinkage admixtures, Klein’s complex

1. Wprowadzenie

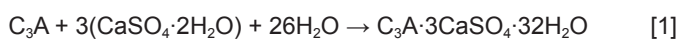
Jedną z niekorzystnych właściwości betonu jest skurcz, który wiąże się ze zmianami objętości zaczynu cementowego. Trzeba podkreślić, że szkielet mniej lub bardziej zazębiających się ziaren kruszywa grubego powoduje pewne ograniczenie tych zmian objętości betonu (1). Nie ma to jednak wpływu na skurcz samego zaczynu.

Rozróżniamy następujące rodzaje skurczu:

- skurcz „chemiczny” zwany także kontrakcją lub skurczem Le Chatelier,
- skurcz plastyczny,
- skurcz autogeniczny lub samorzutny, czasem nazywany „autosuszeniem”,
- skurcz suszenia.

Mamy dwie grupy przyczyn powodujących zmiany objętości zaczynu: do pierwszej zaliczamy te, które są związane z procesami przebiegającymi w zaczynie. W pierwszym rzędzie trzeba w tej grupie wymienić przemiany fizyczne zaczynu przed jego związaniem, przebiegające w betonie. W tym okresie zachodzi osiadanie – sedimentacja cementu, który w trakcie tego procesu nie może „utrzymać” całej ilości wody. Jest to więc pewna forma segregacji, prowadząca do powstawania warstewki wody na powierzchni betonu. Zachodzi tak zwane żargonowo „wydzielanie mleczka” bowiem w wyniku znacznej zawartości jonów wapnia w tej wodzie, a raczej w roztworze, ma ona kolor biały. Równocześnie parowanie wody z powierzchni jest szybsze od jej „wydzielania” co powoduje skurcz plastyczny i powstawanie rys. Proces ten kończy początek wiązania, wywołujący tężenie betonu. Skurcz ten nazywamy plastycznym.

Do tej pierwszej grupy zalicza się także reakcje chemiczne związane z hydratacją cementu. Jak wiadomo reakcja cementu z wodą powoduje ogólne zmniejszenie objętości tej mieszaniny, co nazywamy kontrakcją lub skurczem Le Chatelier. Zachodzi ona w plastycznym zaczynie. Wielkość kontrakcji zależy od składu fazowego zaczynu i jest największa w przypadku glinianu trójwapniowego. Jak wiadomo C_3A reaguje bardzo szybko z jonami siarczanowymi, powstającymi z rozpuszczania gipsu, z utworzeniem ettringitu. Jeżeli uwzględnimy masę cząsteczkową i gęstość substratów i produktów tej reakcji, to otrzymamy następujące wielkości:



$$\frac{270,2}{3} + 3 \frac{172,17}{2,32} + 26 \times 18 \rightarrow \frac{1255,13}{1,73} \quad [2]$$

$$780,7 \text{ cm}^3 \rightarrow 725,5 \text{ cm}^3 \quad [3]$$

Zmniejszenie objętości wynosi aż $55,2 \text{ cm}^3$ na jeden mol glinianu trójwapniowego.

Suma objętości zawartych w cemencie faz bezwodnych i wody, z którą one reagują ulegając hydratacji, jest więc większa od sumy objętości faz uwodnionych, to znaczy hydratów. Najprostszą taką

1. Introduction

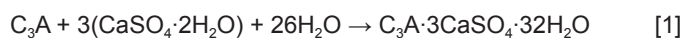
One of the unfavourable properties of concrete is shrinkage which is linked with the volume changes of cement paste. It should be underlined that the coarse aggregate grains some limits of concrete volume changes are causing (1). It does not have the influence on the shrinkage of cement paste itself.

We distinguish the following kinds of shrinkage:

- “chemical” shrinkage called also the contraction or Le Chatelier shrinkage,
- plastic shrinkage,
- autogenic shrinkage or spontaneous, sometimes called auto drying,
- drying shrinkage.

We have two groups of reasons causing the changes of paste volume: to the first the following are numbered which are linked with the processes occurring in the paste. Primarily it should in this group be mention the physical paste transformations before setting, which are occurring in the concrete. In this period the settle – cement sedimentation is occurring which during this process cannot “maintain” the all water quantity. Thus it is some form of segregation, causing the water layer formation on the concrete surface. It occurs – jargon called, “exude of milk” because as the result of the high calcium ions concentration in the liquid phase in the paste solution, it has the white color. Simultaneously the water evaporation from the paste surface, which is quicker than its “exudation”, is causing the plastic shrinkage and the cracks formation. This process is ending by the beginning of the setting process which is causing the stiffening of the paste. This shrinkage we call plastic shrinkage.

To this first group the chemical reactions, linked with cement hydration, are also included. As it is known, the cement reactions with water the general diminishing of this mixture volume are causing, which is called contraction, or Le Chatelier shrinkage. It is occurring in the plastic paste. The size of contraction depends upon the phase composition of the paste and is the greatest for the tree calcium aluminate. As it is known C_3A reacts very quickly with sulphate ions, formed from the gypsum dissolution, with ettringite crystallization. If we take into account molecule mass and the density of substrates and of the products of this reaction we will obtain the following quantities:



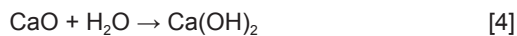
$$\frac{270.2}{3} + 3 \frac{172.17}{2.32} + 26 \times 18 \rightarrow \frac{1255.13}{1.73} \quad [2]$$

$$780.7 \text{ cm}^3 \rightarrow 725.5 \text{ cm}^3 \quad [3]$$

The decrease of volume is equal to $55,2 \text{ cm}^3$, for one mole of tricalcium aluminate.

Thus the sum of the volumes of the anhydrous components in cement and water, with which they react during hydration, is greater

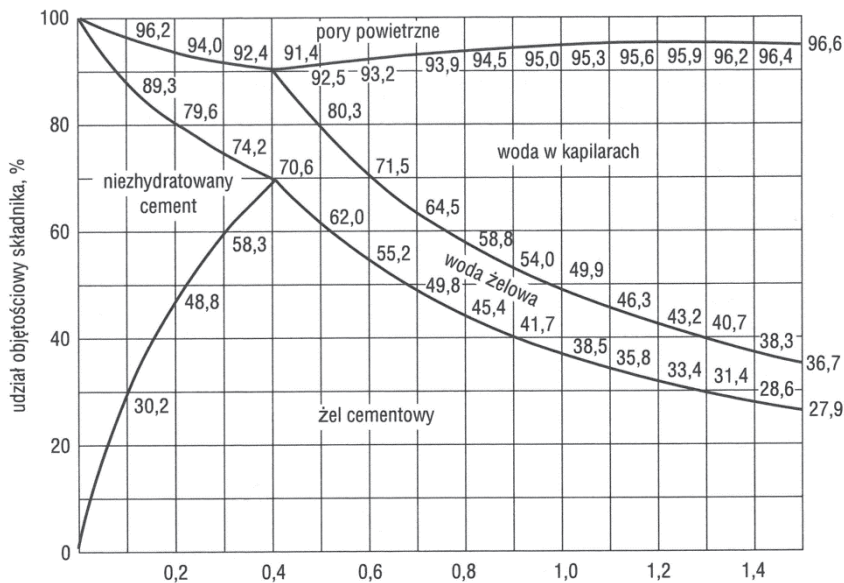
reakcją jest hydratacja wolnego wapna, która powoduje niewielką kontrakcję wynoszącą 1,67 cm³ na mol CaO.



$$\frac{56,08}{3,32} + 18 \rightarrow \frac{74,10}{2,23} \quad [5]$$

$$34,9 \text{ cm}^3 \rightarrow 33,23 \text{ cm}^3 \quad [6]$$

Zmniejszenie objętości wynosi 1,67 cm³ na mol CaO.



Rys. 1. Udziały objętościowe składników stwardniałego zaczynu jako funkcja stosunku w/c (3).

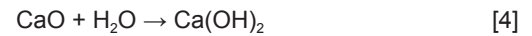
Fig. 1. Volume shares of the components of the hardened paste as the function of the w/c ratio (3).

Jako wyjaśnienie tych zmian objętości podaje się czasem, że objętość „wody” w hydratách jest mniejsza od objętości wody w fazie ciekłej. Jest to jednak nieprawidłowe, ponieważ „woda” występuje w strukturze faz uwodnionych w znacznej części jako grupy OH, na przykład w Ca(OH)₂.

Do pierwszej grupy należy także skurcz samorzutny, dotyczący betonów, w których stosunek w/c jest mniejszy od 0,38. Jak wiadomo jest to ustalona przez Powersa (2) ilość wody niezbędna do całkowitej hydratacji cementu i jeżeli nie ma wody w otoczeniu betonu, to cement „pobiera” tę wodę z mikroporów. Te mikropory są pokazane na znanym modelu Czernina (3). Mikropory – nazwane na rysunku 1 porami powietrznymi, mają bardzo małe promienie, a powstające w nich meniski wywołują duże naprężenia. Są one bowiem odwrotnie proporcjonalne do promienia porów. Powstające naprężenia wywołują skurcz, a ponieważ występują w betonie, który nie jest już plastyczny więc powstają rysy. Jak podaje Aitcin (4) ten skurcz autogeniczny spowodował w USA zniszczenie kilku konstrukcji wykonanych z BWW. Aby temu zapobiec trzeba stosować odpowiednią pielęgnację betonu. Skurcz samorzutny zwiększa się ze zmniejszeniem w/c, co pokazano na rysunku 2 (4).

Druga grupa skurczu wiąże się z wpływem zewnętrznych czynników na beton, w której trzeba przede wszystkim wymienić skurcz

than the sum of hydrates. The simplest of these reactions is the hydration of free lime which is causing the low contraction, equal to 1.67 cm³ for one mole of CaO.

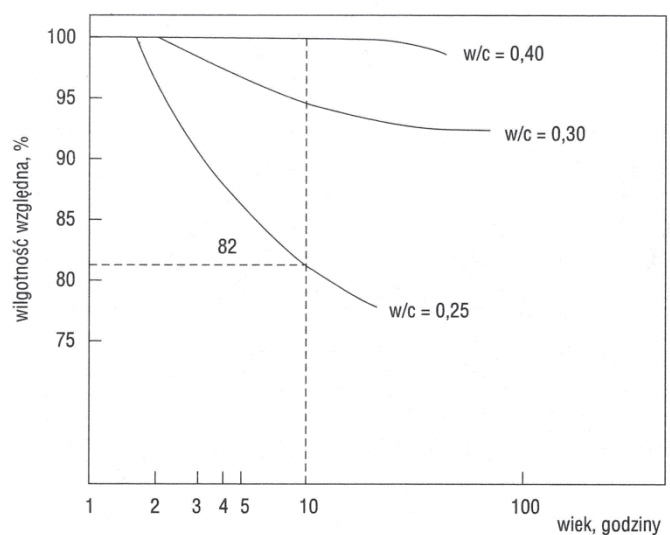


$$\frac{56,08}{3,32} + 18 \rightarrow \frac{74,10}{2,23} \quad [5]$$

$$34,9 \text{ cm}^3 \rightarrow 33,23 \text{ cm}^3 \quad [6]$$

For the explanation of these volume changes it is stated sometimes that the volume of “water” in hydrates is lower than the volume of water in the liquid phase. However, it is incorrect because the “water” in the structure of hydrated phases is in the significant part as OH groups, for example in Ca(OH)₂.

To the first group belongs also the spontaneous shrinkage concerning the concretes in which the w/c ratio is lower than 0.38. As it is known and established by Powers (2) water quantity, needed for the total cement hydration and if there is no water surrounding the concrete then cement “takes” it from the micropores. These micropores are shown in the known Czernin’s (3) model and are called in picture 1 the air pores. They have very small radii and formed in them meniscus high stresses are causing because they are conversely proportional to their radii. The formed stresses are causing shrinkage and because they are appearing in concrete which is already non-plastic, thus the cracks are formed. As Aitcin (4) is stating this autogenous shrinkage was causing in the USA the destruction of some constructions of the high strength concrete. To prevent these accidents to happen, suitable concrete curing must be applied. The



Rys. 2. Wpływ stosunku w/c na wielkość skurczu samorzutnego (4).

Fig. 2. The influence of w/c ratio on the autogenous shrinkage (4)

suszenia. Jak wiadomo beton ulegający suszeniu, szczególnie w podwyższonej temperaturze i pod wpływem wiatru, wykazuje skurcz powodujący powstawanie rys. Skurcz ten jest oczywiście także związany z zaczynem, a jego mechanizm nie jest w pełni wyjaśniony.

Feldman (6) wykazał, że woda międzywarstwowa w fazie C-S-H może być usuwana i powtórnie przyjmowana odwracalnie, w zależności od wilgotności otoczenia. Przyjmuje się, że żelowa faza C-S-H kurczy się w trakcie suszenia a nasycana wodą, na przykład w betonie zanurzonej w wodzie, pęcznieje (6). Badania za pomocą jądrowego rezonansu magnetycznego pozwoliły ustalić, że do poziomu wilgotności względnej wynoszącej 70% woda jest związana w fazie C-S-H w analogiczny sposób jak woda międzywarstwowa w pęczniących minerałach ilastych i jest mniej ruchliwa niż woda zaadsorbowana (8)

Feldman (6) zaproponował na tej podstawie uproszczony model zmian odległości pomiędzy warstwami C-S-H, który pozwala wyjaśnić skurcz zaczynu w procesie jego suszenia. Pokazano go na rys. 3.

Te zmiany objętości fazy C-S-H, a więc zaczynu, przyjmuje się jako wyjaśnienie skurczu betonu. Skurcz suszenia betonu jest skomplikowany i łączy się równocześnie z powstawaniem menisków w kapilarach co wywołuje naprężenia ściskające, które są znaczne w przypadku ich małych średnic tych kapilar. Uważa się, że są to pory mniejsze od 30 nm (6). Skurcz suszenia powoduje powstawanie rys gdy naprężenia przekraczają wytrzymałość betonu na rozciąganie.

Skurcz suszenia ma duże znaczenie w przypadku elementów betonowych o powierzchniach płaskich, do których należą płyty fundamentowe i stropy, o dużym stosunku powierzchni do grubości. W tych przypadkach ubytek wody może być znaczny, co prowadzi do utworzenia rys. Zaleca się aby ubytek wody nie przekraczał $1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (7). Skurcz suszenia wzrasta bardzo znacznie z powiększeniem stosunku w/c w zaczynie i przebiega szybciej - rys. 2.

2. Zapobieganie skurczowi betonu

Dojrzewanie betonu w wodzie wywołuje zwiększenie jego objętości, które jest spowodowane postępującą hydratacją cementu, powodującą przede wszystkim zwiększanie zawartości fazy C-S-H oraz zachodzenie reakcji związanych ze wzrostem objętości. Przede wszystkim zaliczyć tutaj trzeba krystalizację ettringitu i powstawanie wodorotlenku wapnia. Jednak, jeżeli po pewnym czasie beton znajdzie się w powietrzu, którego wilgotność względna nie przekracza zwykle 60%, to jego skurcz będzie większy od pęcznienia podczas dojrzewania w wodzie i powstaną rysy.

W związku z występującą czasem w praktyce koniecznością zmniejszenia lub nawet eliminacji skurczu betonu, opracowano technologię produkcji cementów bezskurczowych, a także ekspansywnych. Polega ona na zwiększeniu ilości powstającego ettringitu, zapewniającego taki wzrost objętości betonu w trakcie jego dojrzewania, który zrównoważy lub przekroczy jego zmniejszenie

autogenous shrinkage is increasing with the w/c ratio decrease, which is shown in Fig. 2 (4).

The second group of shrinkage is linked with the influence of the factors on concrete in which the drying shrinkage should be mention. As it is known the dried concrete, particularly at elevated temperature and together with the wind, is showing the shrinkage causing the cracks formation. This shrinkage is also linked with the cement paste and its mechanism is not fully explained.

Feldman (6) was showing that the interlayer water in the C-S-H phase can be removed and again taken reversibly, depending on the surrounding moisture. It is accepted that the gel phase C-S-H is shrinking during drying and when saturated with water, for example in concrete immersed in water, is swelling (5). Based on the studies with the help of nuclear magnetic resonance, it was established that till the relative moisture level is equal to 70% the water is chemically bounded in the C-S-H phase, analogically as the interlayer water in the swelling clay minerals and is less movable than the adsorbed water. Feldman (6) has proposed on this basis the simplified model of the changes of the distances between the C-S-H layers, which gives the possibility to explain the paste shrinkage in the drying process. It is shown in Fig. 3.

These changes of the C-S-H phase volume, thus of the paste, are taken as the explanation of concrete shrinkage. The drying shrinkage of the concrete is complicated and is joined simultaneously with the formation of menisci in capillaries which develops the compressive stresses which are high in the case of small diameters of those capillaries. It is the opinion that these are pores smaller than 30 nm (6). Thus the drying shrinkage the formation of cracks can cause, when the stresses are higher than the concrete strength on tension.

The drying shrinkage is very important in the case of concrete elements with the flat surfaces to which the fundamentals plates and floors with the great ratio of the surface to the thickness are typical. In these cases, the loss of water can be significant, which leads to the cracks formations. It is recommended that the loss of water should not be greater than $1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (7). The drying shrinkage is increasing considerably with the increase of the w/c ratio and is running quicker - Fig. 2.

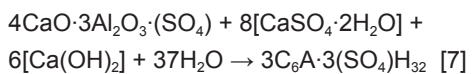
2. Prevention of the concrete shrinkage

During the curing of the concrete in water, the increase of its volume takes place which is caused by the advancing of cement hydration, principally of the C-S-H phase formation and occurring of the reactions linked with the volume increase. First of all, there are ettringite crystallization and free lime hydration. However, if after some time the concrete will be located in the air, which relative moisture usually is not higher than 60%, then its shrinkage will be greater as the swelling took place during the water maturing and the cracks will be formed.

Due to the necessity to reduce or even eliminate concrete shrinkage, which sometimes occurs in practice, a technology for the

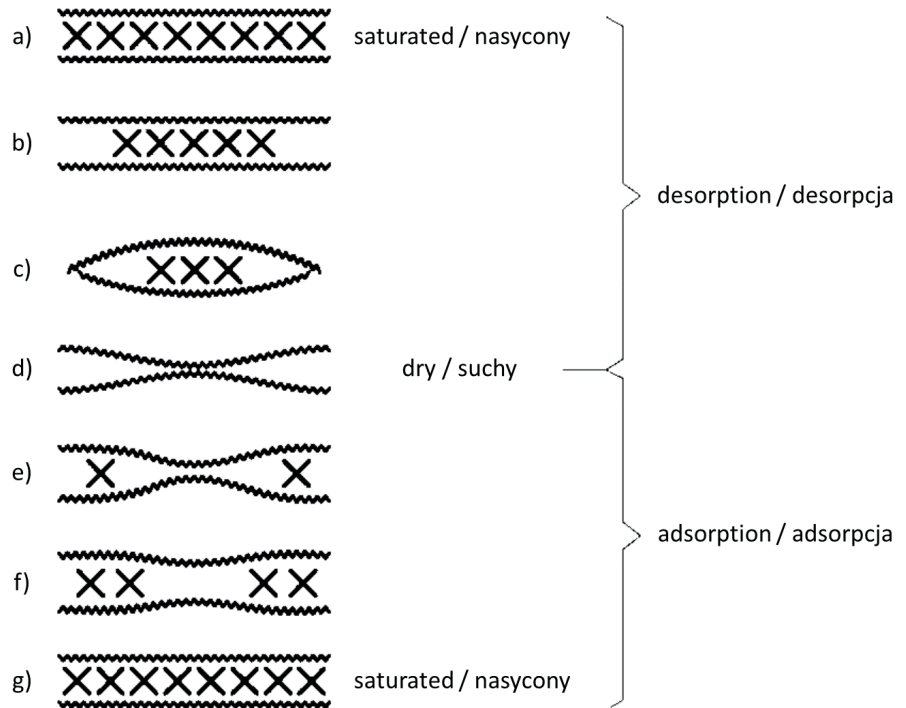
w procesie suszenia. Te zmiany objętości pokazano na rysunku 5.

Jest kilka reakcji ekspansywnych, które można wykorzystać w tym celu, jednak łatwe wpływanie na przebieg powstawania ettringitu, poprzez zmiany składu roztworu w porach betonu, zapewnia przewagę tej fazy. Z tego względu ettringit jest powszechnie stosowany w technologiach wytwarzania cementów ekspansywnych lub bezskurczowych. W tym celu stosuje się dodatek tak zwanego „kompleksu Kleina”, który jest siarczano-glinianem wapnia, o wzorze $3(CA) \cdot CaSO_4$. W reakcji tej fazy z wodą powstaje bardzo szybko ettringit, a w celu pełnego wykorzystania tego dodatku proces prowadzi się w roztworze o odpowiedniej zawartości jonów wapnia i siarczanowych. Można to schematycznie zapisać:



Dodatek siarczano-glinianu wapnia jest jedną z metod zapobiegania skurczowi betonu. Są handlowe dodatki zawierające tę fazę z pewnymi innymi fazami, na przykład z anhydrytem lub tlenkiem wapnia. Szczególnie dodatek wapnia ma korzystny wpływ na ekspansję cementu z dodatkiem siarczano-glinianu; zwiększa on ekspansję nie tylko w początkowym okresie lecz aż do zakończenia procesu [rysunek 6] (11). Wynika stąd, że wodorotlenek wapnia powstający w wyniku hydrolizy alitu, nie równoważy dostatecznie szybko spadku stężenia jonów wapniowych w roztworze w porach zaczynu. Duże zapotrzebowanie na te jony wynika jasno ze schematycznego równania [7].

Jest to pierwsza grupa domieszek, złożona ze związków nieorganicznych, które można by nazwać „technologią ettringitową”. Nato-

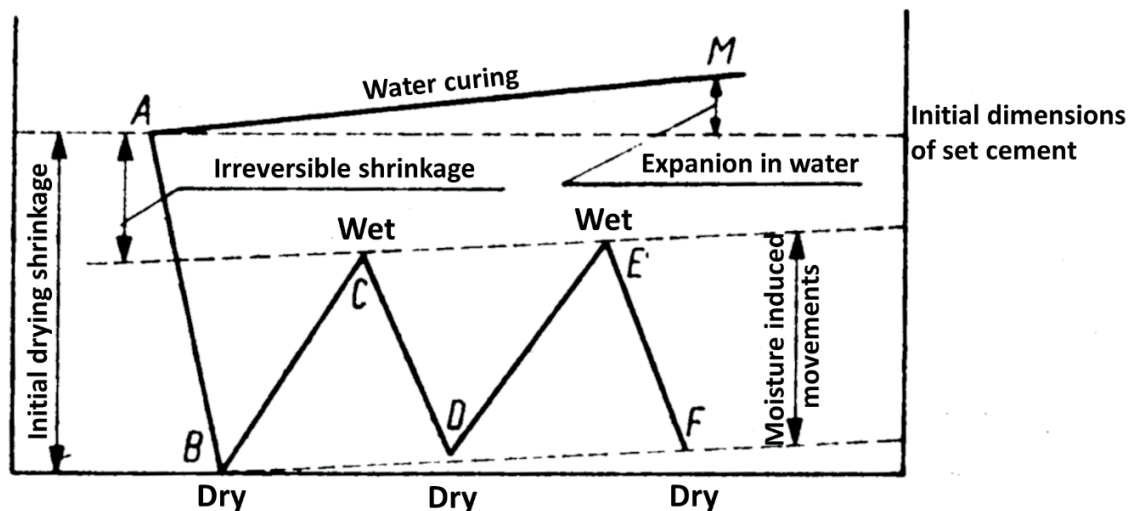


Rys. 3. Uproszczony model zmian odległości pomiędzy warstwami C-S-H w trakcie wysychania i powtórnej absorpcji wody (6)

Fig. 3. Simplified model of the distances changes between the C-S-H layers during the drying and again water absorption (6)

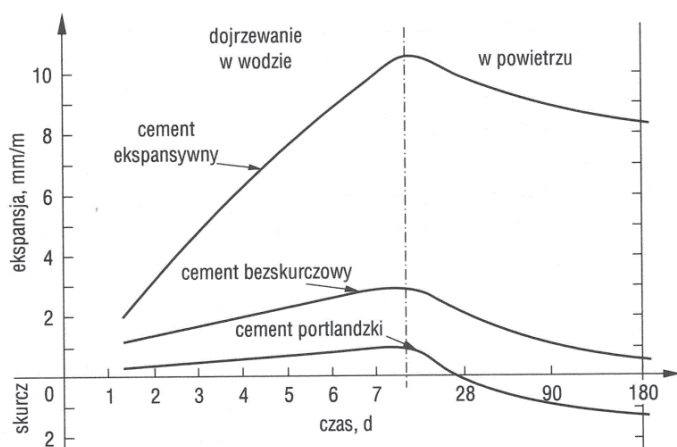
production of non-shrinkage and expansion cements has been developed. It consists of increasing the amount of ettringite formed, ensuring such an increase in the volume of concrete during its maturation, which will balance or exceed its reduction in the drying process. These volume changes are shown in Figure 5.

There are several expansive reactions that can be used for this purpose, but easily influencing the course of ettringite formation by changing the composition of the solution in the pores of the concrete, provides an advantage to this phase. For this reason, ettringite is widely used in the production of expansive or nonsh-



Rys. 4. Zmiany wymiarów betonu w otoczeniu o różnej wilgotności (7)

Fig. 4. The changes of concrete dimension in the surrounding of different moisture (7)



Rys. 5. Zmiany objętości różnych rodzajów cementów

Fig. 5. The volume changes of different kinds of cements

miast zupełnie inna technologia dotyczy domieszek organicznych, których dodatek ma na celu zmniejszenie napięcia powierzchniowego wody. Są to substancje powierzchniowo czynne, które zmniejszają ciśnienie w kapilarach; jest ono wprost proporcjonalne do napięcia powierzchniowego wody – wzór [8]:

$$P_{\text{kap}} = \frac{2\sigma}{r} \quad [8]$$

gdzie: σ – napięcie powierzchniowe wody, r – promień menisku; w przypadku cieczy dobrze zwilżających – mały kąt zwilżania betonu, promień menisku można zastąpić promieniem kapilary

Jego zmniejszenie powoduje zatem zmniejszenie ciśnienia w kapilarach, które wywołuje skurcz.

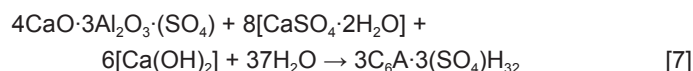
Niejonowe cząsteczki domieszki lokują się na powierzchniach kontaktu wody z powietrzem i pod tym względem są analogiczne do domieszek napowietrzających. Domieszki organiczne zmniejszające skurcz opierają się na 2,2-dimetylopropano-1,3-diolu (glikolu neopentylowym) o wzorze $(\text{CH}_3)_2\text{C}(\text{CH}_2\text{OH})_2$, lub na podobnych związkach chemicznych. Ich dodatek wynosi przeważnie 4 kg/m^3 betonu.

Domieszki te nie zmniejszają parowania wody z powierzchni betonu, w środowisku o małej wilgotności. Obecnie stosuje się kompozycje złożone z domieszki i dodatku ekspansywnego, którym może być siarczano-glinian wapnia. Metoda ta pozwala na całkowitą eliminację skurczu betonu. Collepardi i in. (9) przypisują to efektowi synergicznemu.

3. Wpływ dodatku CaO i domieszek przeciwskurczowych na skurcz zaczynu cementowego

Przeprowadzono kilka serii doświadczeń z zaczynem z cementu CEM I 42,5R. Stosowano przemysłowe wapno hydratyzowane, które prażono przez 1,5 godziny w piecu laboratoryjnym, w temperaturze 900°C . Nazwano go CaO. Natomiast dwie domieszki zmniejszające skurcz były handlowymi domieszkami firmy BASF.

rinking cements. For this purpose, the addition of the so-called „Klein complex”, which is a calcium sulphate aluminate, with the formula $3(\text{CA}) \cdot \text{CaSO}_4$ is used. In the reaction of this phase with water, ettringite is formed very quickly, and in order to fully utilize this additive, the process is carried out in a solution with an appropriate content of calcium and sulphate ions. It can be schematically written:

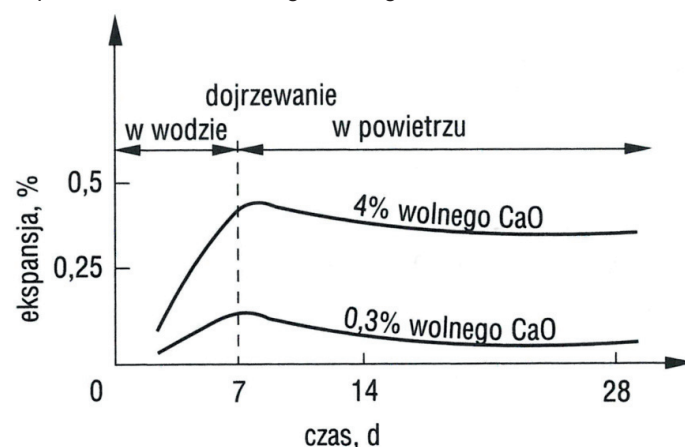


The addition of calcium sulpho-aluminate is one of the methods of concrete shrinkage prevention. There are trade additions containing this phase with some other components, for example, the anhydrite or calcium oxide. Particularly the lime addition has a favorable influence on the cement expansion with sulpho-aluminate addition; it increases the expansion not only in the initial period but till to the process end – Fig. 6 (11). It results from this that the calcium hydroxide formation from the alite hydrolysis does not balance sufficiently quickly the drop of calcium ions concentration in the paste pores solution. The high need for these ions is clearly visible from the schematic equation [7].

It is the first group of admixtures, composed of the inorganic compounds which can be called “the ettringite technology”. However, other technology is concerning the organic admixtures which addition have as the result the diminishing of the water surface tension. There are the surface-active additions that are reducing this tension in capillaries which is directly proportional to the surface tension of water – formula [8].

$$P_{\text{kap}} = \frac{2\sigma}{r} \quad [8]$$

where: σ – is the surface tension of water, r – radius of the meniscus, in the case of well-wetting liquid – the small wetting angle of concrete, the radius of the meniscus can be replaced with capillary radius. It diminishing is causing the diminishing of the pressure in capillaries which is causing shrinkage.



Rys. 6. Wpływ dodatku CaO na ekspansję zaczynu z cementu ekspansywnego (11).

Fig. 6. The influence of CaO addition on the expansion of expansive cement (11)

Tablica 1 / Table 1

SHRINKAGE OF CEMENTS CEMI 42.5R X AND Y

SKURCZ CEMENTÓW CEMI 42.5R X I Y

CEM I 42.5 R – X	CEM I 42.5 R – Y
2 days / dni – 0.13 mm/m	2 days / dni – 0.12 mm/m
7 days / dni – 0.35 mm/m	7 days / dni – 0.31 mm/m
14 days / dni – 0.51 mm/m	14 days / dni – 0.51 mm/m
28 days / dni – 0.68 mm/m	28 days / dni – 0.57 mm/m

Domieszka α stanowiła mieszaninę faz nieorganicznych, która opiera się na ekspansji ettringitowej. Zalecany dodatek 20 ÷ 40 kg na m³ betonu. Domieszka β jest oparta głównie na glikolu neopentylowym i powinna zmniejszać napięcie powierzchniowe wody zarobowej. Zalecany dodatek wynosi 1,0 ÷ 2,0% w stosunku do masy cementu

W doświadczeniach stosowano dwa cementy portlandzkie CEM I 42,5R X i Y; ich skurcz badano zgodnie z normą, a wyniki podane są w tablicy 1.

Do cementu X dodano 1%, 1,5% i 2% CaO, a wyniki podano w tablicy 2.

Najlepsze wyniki w przypadku cementu X z dodatkami CaO uzyskano z 2% dodatkiem tego tlenku.

Do cementu dodawano handlową domieszkę BASF Master Life SRA 815 – nazwaną α , a wyniki podano w tablicy 3.

Jak to można stwierdzić z danych zawartych w tablicy 3 dodatek 2% i 3% domieszki Master Life SRA 815 w proszku – nazwany α , nie ma praktycznie żadnego wpływu na skurcz cementu Y. Nawet w przypadku cementu Y z większym dodatkiem α wynoszącym 3% ma bardzo mały wpływ, ale zwiększający skurcz. Jednak równoczesny dodatek α i 1% CaO powoduje zmniejszenie skurczu, a z dodatkiem 1,5% CaO nawet nieco większe zmniejszenie.

W tablicy 4 pokazano wpływ na skurcz dodatku ciekłej domieszki BASF Master Life SRA 815. Ta domieszka ma większy wpływ na zmniejszenie skurczu cementu X i jej działanie wzrasta ze zwiększeniem dodatku tej domieszki z 1% do 2%. Wzrasta również z równoczesnym dodatkiem CaO i najmniejszy skurcz występuje

Tablica 2 / Table 2

SHRINKAGE OF CEMENT X WITH THE ADDITION OF 1%, 1.5% AND 2% CAO*

SKURCZ CEMENTU X Z DODATKIEM 1%, 1,5% I 2% CAO*

With 1% addition of CaO Z dodatkiem 1% CaO	With 1.5% addition of CaO Z dodatkiem 1,5% CaO	With 2% addition of CaO Z dodatkiem 2% CaO
15 days / dni – 0.52 mm/m	15 days / dni – 0.50 mm/m	15 days / dni – 0.44 mm/m
22 days / dni – 0.60 mm/m	22 days / dni – 0.56 mm/m	22 days / dni – 0.52 mm/m
28 days / dni – 0.65 mm/m	28 days / dni – 0.61 mm/m	28 days / dni – 0.59 mm/m

*Remark: Cement with 3% CaO disintegrated / Uwaga: Cement z 3% CaO uległ rozpadowi

Non-ionic particles of admixtures are located on the surface of water contact with the air and under these conditions are behaving analogically as the air entrainment admixtures. The organic admixtures which are diminishing the shrinkage are based on the neopentyl glycol which formula is $(CH_3)_2C(CH_2OH)_2$, or on similar chemical compounds. Their addition is mostly 4 kg/m³ of concrete.

These admixtures did not diminish the water evaporation from the concrete surface, in the environment of low moisture. Frequently the composed anti-shrinkage additive is used and this admixture has expansive components, one of which can be the calcium sulpho-aluminate. This method gives the possibility of total elimination of concrete shrinkage. Collepardi et al. (9) ascribe this to the synergic effect.

3. The influence of CaO addition and anti-shrinkage admixtures on the shrinkage of cement paste

A series of experiments with the cement paste was conducted, in which cement was CEM I 42,5R. The industrial hydrated lime was used which was calcined for 1.5 hours in the laboratory kiln, at the temperature of 900°C. Further, it is called CaO. However, two admixtures diminishing shrinkage were the commercial admixtures of the company BASF. The admixture α was the mixture of inorganic phases, which is based on the ettringite expansion. Probably it contained Klein's compound with anhydrite addition. The recommended dosage is 20 – 40 kg for one m³ of concrete. The second admixture β is based principally on neopentyl glycol and should diminish the mixing water surface tension. The recommended addition is 1.0 – 2.0% of the mass of cement.

In the experiments, two Portland cements were applied: CEMI 42.5R X and Y, of the same class. Their shrinkage is presented in Table 1.

To cement X 1%, 1.5% and 2% of CaO is added and the results are presented in Table 2.

Thus the best result for cement X with CaO was 2% addition of this oxide.

To cement Y the shopping admixture of BASF Master Life SRA 815 – called α , was added and the results are presented in Table 3.

Tablica 3 / Table 3

SKURCZ CEMENTU X Z DODATKIEM DOMIESZKI α I RÓWNOCZEŚNIE α ORAZ CaOSHRINKAGE OF CEMENT Y WITH THE ADDITION OF ADMIXTURE α AND α TOGETHER WITH CaO

Curing time, days Czas dojrzewania, dni	2% α , shrinkage, mm/m	3% α , shrinkage, mm/m	1.0% α +1.0% CaO shrinkage, mm/m	1.0 % α + 1.5% CaO shrinkage, mm/m
2	0.16	0.22	0.08	0.06
7	0.34	0.39	0.21	0.21
14	0.50	0.52	0.31	0.31
28	0.63	0.64	0.45	0.43

Tablica 4 / Table 4

SKURCZ CEMENTU X Z DODATKIEM DOMIESZKI NAZWANEJ β I RAZEM Z CaOTHE SHRINKAGE OF CEMENT X WITH ADDITION OF FLUID MASTER LIFE SRA 815, CALLED β AND WITH CaO

Curing time Czas dojrzewania	1% of β	2% of β	1% of β + 1% CaO	2% of β + 1,0% CaO	2% of β + 1.5% CaO	2% of β + 2% CaO	3% of β + 2% CaO
2 days / dni	0.10	0.07	0.08	0.05	0.05	0.05	0.04
7 days / dni	0.23	0.18	0.21	0.16	0.15	0.18	0.16
14 days / dni	0.34	0.26	0.31	0.25	0.25	0.26	0.23
28 days / dni	0.46	0.38	0.45	0.36	0.36	0.38	0.34

Tabela 5 / Table 5

WPŁYW SAMEGO KOMPLEKSU KLEINEA NA SKURCZ I RAZEM Z DOMIESZKĄ NAZWANĄ β THE INFLUENCE ON SHRINKAGE OF KLEIN'S COMPLEX ADDITION ALONE AND WITH SIMULTANEOUS FLUID ADMIXTURE MASTER LIFE SRA 815, CALLED β ON THE SHRINKAGE OF CEMENT 42,5R

Curing time / Czas dojrzewania	1% of C_4A_3S , mm/m	1% of β + 1% C_4A_3S , mm/m	1% of β + 2% C_4A_3S , mm/m
2 days / dni	0.14	0.10	0.09
7 days / dni	0.36	0.26	0.26
14 days / dni	0.55	0.40	0.40
28 days / dni	0.71	0.55	0.56

w przypadku 3% Master Life SRA 815, z równoczesną 2% zawartością CaO.

Dodatek 1% ciekłego Master Life SRA 815 i 2% CaO dał nieco gorszy wynik niż 1% tej domieszki i 1% CaO – tablica 4. Wypada nadmienić, że dodatek tej samej domieszki Master Life SRA 150, jednak w formie granul, dał niższe zmniejszenie skurczu, niż dodatek domieszki w formie ciekłej. Na przykład dodatek 3% daje skurcz wynoszący 0,22 po dwóch dniach i 0,64 po 28 dniach, a ciekły Master Life SRA 815 po tym samym czasie dojrzewania dał odpowiednio 0,07 i 0,38 – tablica 4.

Zbadano także dodatek kompleksu Kleina. Dodatek 1% tego kompleksu do cementu X nie miał wpływu na skurcz, który nawet był nieznacznie większy. Równoczesny dodatek 1% dodatku Master Life SRA 815 z 1% kompleksu Kleina dał większy skurcz, niż sama ta domieszka. Wyniki podano w tabeli 5.

As it is shown in Table 3 the addition of 2% and 3% of Master Life 815 in powder – called α , has practically no influence on shrinkage of cement Y. Even cement Y with the higher addition of α equal 3%, seems to have a very little effect, but increasing the shrinkage. However, simultaneous addition of α and 1% of CaO is causing the diminishing of shrinkage and with 1.5% of CaO even a very little higher.

In Table 4 the influence on shrinkage of liquid admixture Master Life SRA 815 is shown. This admixture has the higher influence on diminishing the shrinkage of cement X and its influence is increasing with the increase of this admixture addition, from 1% to 2%. It is further increasing with the simultaneous addition of CaO and the lowest shrinkage is for 3% of Master Life SRA 815 and with 2% of CaO.

The addition of 1% of fluid Master Life SRA 815 and 2% of CaO gave worse results than 1% of this admixture and 1% of CaO – Table 4. It should be mentioned that the addition of the same admixture Master Life SRA 150 but in the granular form was giving lower diminishing of shrinkage than the admixture added as fluid.

4. Wnioski

Wyniki przeprowadzonych doświadczeń pozwalają na postawienie następujących wniosków:

- 1) dodatek CaO powoduje bardzo małe zmniejszenie skurczu,
- 2) dodatek ciekłego Master Life SRA 815 powoduje duże zmniejszenie skurczu cementu, który wzrasta ze zwiększeniem tej domieszki z 1% do 2%,
- 3) dodatek 1% CaO zwiększa zmniejszający wpływ skurczu przez domieszkę Master Life SRA 815 i największy wpływ zaznacza się w przypadku 3% tej domieszki plus 2% CaO,
- 4) Dodatek kompleksu Kleina do cementu nie ma wpływu na skurcz, który jest nawet nieznacznie większy,
- 5) 1% ciekłej domieszki Master Life SRA 815 dodanej do 1% kompleksu Kleina daje większe zmniejszenie skurczu niż sam Master Life SRA 815.

Literatura / References

1. P.-C. Aitcin, Binders for Durable and Sustainable Concrete, Taylor & Francis, New York, 2008.
2. T.C. Powers, Mechanism of Shrinkage and Reversible Creep of Hardened Cement Paste'. Proc. Conf Structure of Concrete and its Behaviour Under Load, London 1965, 319-328, Cement and Concrete Association, London (1968).
3. W. Czernin, Cement Chemistry and Physics for Civil Engineers, Bauverlag, Wiesbaden 1980.
4. P.-C. Aitcin, Portland cement hydration seen by a civil engineer. Cem. Wapno Beton, 8(3), 115-130 (2003).
5. F.H. Wittmann, Trends in research on creep and shrinkage of concrete. in cement production and use. in J. Skalny (ed.), Cement Production and Use. 143-161, Eng. Foundation, New York, 1979.
6. R.F. Feldman, 5th ICCO Tokyo 1968, II, 53 (1968).
7. F.M. Lea, The Chemistry of Cement and Concrete. First American Edition, 1973, p.406.
8. Sligmann, ICCO Tokyo, 1968, paper 53 p. 218.
9. A. Bentur, J.H. Kung, R.L. Berger, J.F. Young, N.B. Milstone, S. Mindess, F.V. Lawrence, 7th ICCO Paris 1980, III, VI-26, (1980).
10. C.H. Détriché, in La Durabilité des Bétons. Ch. 4, p. 107, Presses Ponts et Chaussées, Paris, 1992.
11. A. Thiel, „Factors influencing changes in the volume of expansion cements”, PhD thesis, AGH Kraków, 1982 (in Polish).
12. M. Collepardi, A. Borski, S. Collepardi, J. Ogoumah Olagot, R. Troli, Effects of Shrinkage Reducing Admixture in Shrinkage Compensating Concrete Under Non-Wet Curing Conditions. Cem. Concr. Comp., 27, 704-708 (2005).

For example, the addition of 3% of granulate give the shrinkage equal to 0.22 after 2 days and 0.64 after 28 days and for comparison, 2% of fluid Master Life SRA 815 for the same curing time was giving respectively 0.07 and 0.38 – table 4.

The addition of Klein's complex was also examined. The addition of 1% Klein's complex to cement X has no influence on shrinkage which even is a little higher. Simultaneously 1% of the fluid admixture Master Life SRA 815, added with 1% of Klein's complex, give higher shrinkage than the Master Life SRA 815 alone. The results are given in Table 5.

4. Conclusions

The conducted experiments are giving the possibility to draw the following conclusions:

- 1) the addition of CaO is giving the very low diminishing of cement shrinkage,
- 2) fluid admixture Master Life SRA 815 has the high diminishing influence on cement shrinkage, which is increasing with this admixture addition from 1% to 2%,
- 3) the addition of 1% of CaO is increasing the diminishing influence of shrinkage by Master Life SRA 815 and the high influence is for 3% of this admixture plus 2% of CaO,
- 4) The addition of 1% Klein's complex to cement has no influence on shrinkage which even is a little higher.
- 5) 1% of the fluid admixture Master Life SRA 815, added with 1% of Klein's complex, give higher shrinkage diminishing as the Master Life SRA 815 alone.