

Rodzaje skurczu betonu jego znaczenie i metody zapobiegania

Concrete shrinkage, its importance and prevention methods

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

Key words: plastic shrinkage, drying shrinkage, autogenous shrinkage, Klein's complex, shrinkage reducing admixture

1. Wprowadzenie

Jedną z niekorzystnych właściwości betonu jest skurcz, który wiąże się ze zmianami objętości zaczynu cementowego. Trzeba jednak 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 – sedymentacja 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 [rysunek 1]. 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

1. Introduction

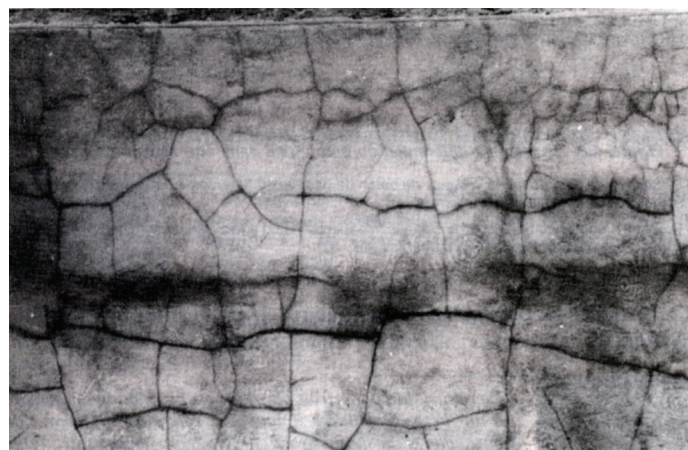
One of the unfavourable concrete properties is shrinkage, which is caused by the volume changes of cement paste. It should be underlined that the skeleton, of less or more meshed coarse aggregate, has some limiting effect on these volume changes of concrete (1). However, it has no influence on cement paste shrinkage.

We distinguish the following kinds of shrinkage:

- „chemical shrinkage” called also contraction or Le Chatelier's shrinkage,
- plastic shrinkage,
- autogenous shrinkage, called sometime „auto-drying”,
- drying shrinkage.

There are two groups causes which are bringing the changes of paste volume: to the first the processes which are occurring in paste are counted. The second group with the external factors influence on concrete are linked.

To the first group the physical transformation occurring in the paste before its, then also concrete setting, should be counted. In this



Rys. 1. Powierzchnia płyty betonowej popękanej w wyniku skurczu plastycznego

Fig. 1. Surface of concrete slab with cracks caused by plastic shrinkage

zaczynu i jest największa w przypadku glinianu trójwapieniowego. 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:

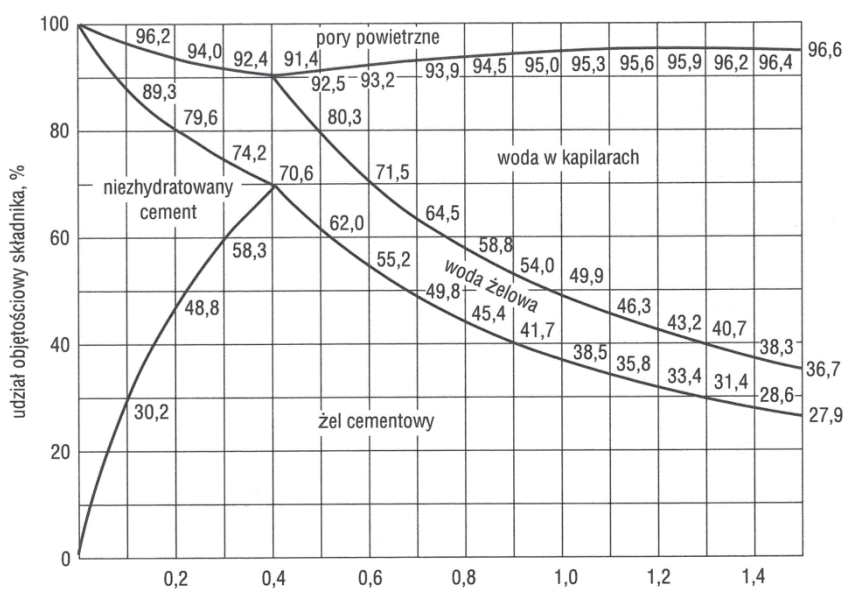


$$88,88 + 3 \cdot 74,22 + 26 \cdot 18 = 780,7 \text{ cm}^3 \rightarrow 725,5 \text{ cm}^3$$

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

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 reakcją jest hydratacja wolnego wapna, która powoduje niewielką kontrakcję wynoszącą $1,67 \text{ cm}^3$ na mol CaO . 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 niezbędnej do 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), na rysunku 2 nazwane 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 z BWW. Aby temu zapobiec trzeba stosować odpowiednią pielęgnację.

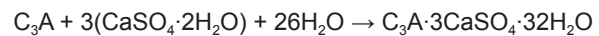


Rys. 2. Udziały objętościowe składników stwardniałego zaczynu jako funkcja stosunku w/c (3)

Fig. 2. The volumes shares of the hardened paste components as a function of w/c ratio (3)

period the sedimentation of cement is occurring, which, during this process, cannot „maintain” whole water quantity. Thus it is some form of segregation which results in the formation of water layer on the surface of concrete. This phenomenon is called „bleeding” and simultaneously this water has white colour, because it contains high amount of lime. Simultaneously the evaporation of water from concrete surface is quicker than bleeding, which is causing the plastic shrinkage and cracks formation – Fig. 1. The process is ended with setting beginning, causing the stiffening of concrete. This shrinkage is called plastic shrinkage.

To the first group the chemical reactions of cement hydration are also counted. As it is well known that cement reaction with water the diminishing of total volume of this mixture is causing. It is called contraction or Le Chatelier’s shrinkage. It proceeds in plastic paste. The size of contraction is depending of cement phase composition and is the highest for tricalcium aluminate. As it is known C_3A very quickly reacts with sulphate ions, coming from gypsum dissolution, with ettringite formation. Taking into account the mass and specific gravity of the molecules of substrates and products of this reaction then the volume changes can be calculated:



$$88.88 + 3 \cdot 74.22 + 26 \cdot 18 = 780,7 \text{ cm}^3 \rightarrow 725.5 \text{ cm}^3$$

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

The total volumes of cement anhydrous phases and water with which they will react is greater than the volumes of hydrates. The most popular reaction is the hydration of lime which is linked with the low contraction equal to $1,67 \text{ cm}^3/\text{mole } CaO$. Sometimes as the explanation can be found that the free water volume is higher than the volume of „water” in hydrates. It is not correct because „water” in the structure of hydrates is in many cases as the OH^- groups, for example in $Ca(OH)_2$.

In the first group is also the autogenous shrinkage, which is concerning the concretes, with the w/c ratio lower than 0.38. It is well known established by Power (2) water content indispensable for total cement hydration and if there is no external water cement phases take water from the micropores in concrete. Micropores total volume is presented on the known Czernin (3) model of volumetric ingredients in cement paste during hydration – Fig. 2. These micropores – called on Fig. 2 air – pores have very small radii and the meniscus formed are linked with high stresses, because the later are inversely proportional to pores radius. The stresses are causing shrinkage and because they are formed in concrete, which is not already plastic, thus the cracks are appearing. As Aitcin (4) is stating this autogenous shrinkage have caused the destruction of several construction from HPC. To prevent

gnację betonu. Skurcz samorzutny zwiększa się ze zmniejszeniem się w/c, co pokazano na rysunku 3 (4).

Druga grupa czynników powodujących skurcz wiąże się z wpływem zewnętrznych czynników na beton, w której trzeba przede wszystkim wymienić skurcz 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 (5) 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 zanurzonego w wodzie, pęcznieje (5). 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. 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 wówczas szybciej.

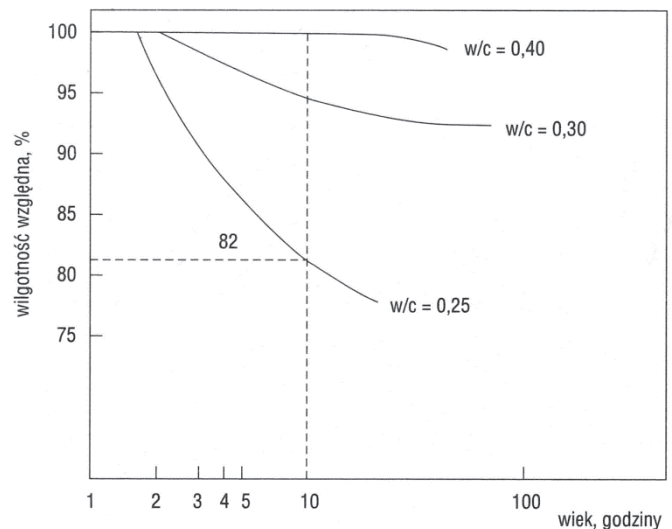
Oprócz skurczu związanego z wysychaniem powierzchniowa warstwa betonu narażona jest na skurcz związany z karbonatyzacją zaczynu. Karbonatyzacja zaczynu znacznie zwiększa skurcz betonu, wprowadzając dodatkową składową skurczu. Mechanizm skurczu wywołanego karbonatyzacją nie jest wyjaśniony. Lea (9) przypomina, że reakcja



jest związana ze zwiększeniem objętości faz stałych. Pomimo tego karbonatyzacja wodorotlenku wapnia powoduje skurcz bardzo zbliżony do skurczu zaczynu cementowego (9). Lea (9) przychyliła się do hipotezy, że skurcz wywołany karbonatyzacją można wyjaśnić zmniejszeniem zawartości wody nieodparowalnej w żelu cementowym. Natomiast Powers (według Lea) uważał, że skurcz wywołany karbonatyzacją spowodowany jest rozpuszczaniem $\text{Ca}(\text{OH})_2$ w strefie naprężeń skurczowych wysychania i strącaniem węglanu wapnia w strefach słabszych naprężeń.

2. Zapobieganie skurczowi betonu

Dojrzewanie betonu w wodzie powoduje zwiększenie jego objętości, które jest spowodowane postępującą hydratacją cementu, powodującą zwiększenie zawartości fazy C-S-H oraz zachodzenie reakcji związanych ze wzrostem objętości, przede wszystkim



Rys. 3. Wpływ stosunku w/c na wielkość skurczu samorzutnego (4)

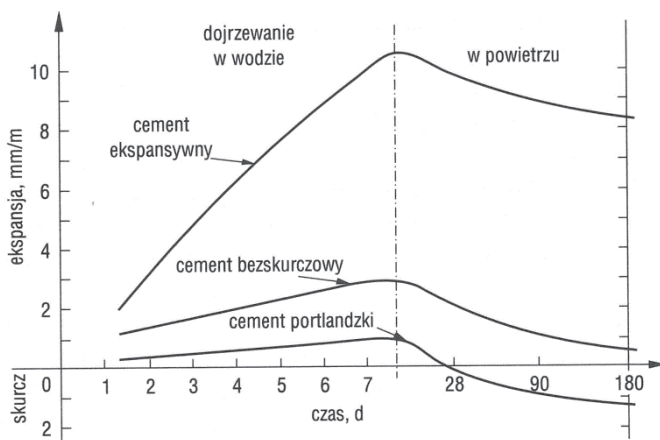
Fig. 3. The influence of w/c ratio on the autogenous shrinkage (4)

this destructions the concrete curing must be applied to assure the external water. The autogenous shrinkage with the decrease of w/c ratio is increasing as is shown in Fig. 3 (4).

To the second group of reasons causing concrete shrinkage the external factors influence should be counted. The main is concrete drying. As it is known in the dried concrete, particularly in increased temperature and under wind influence, the shrinkage is formed with the cracks appearing. These shrinkage is certainly linked with cement paste and its mechanism is not fully explained. Feldman (5) has shown that the interlayer water in C-S-H phase can be removed and for the second time taken reversibly, depending of surrounding air humidity. It is accepted that the C-S-H gel has shrinkage during drying and saturated in water, for example in concrete immersed in water, is showing expansion (5). These volume changes of C-S-H phase, thus of the paste, are accepted as the explanation of concrete shrinkage. The drying shrinkage of concrete is complicated and is linked simultaneously with menisci formation in capillaries which is causing the compressive stresses, which are high in the case of their small diameters. It is the opinion that there are the pores smaller than 30 nm (6). The drying shrinkage is causing the cracks formation when the stresses are higher than the concrete strength on tension.

The drying shrinkage is very important in the case of concrete elements with flat surfaces, among which the foundation plates and floors, with high surface to thickness ratio, are belonging. In these cases the water loss can be high, which cracks formation is causing. It is recommended do not exceed $1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (7). The drying shrinkage is rising significantly with the w/c ratio increase and is progressing much quicker.

Besides the shrinkage linked with drying the surface layer of concrete is subjected with shrinkage linked with the cement paste carbonization. The paste carbonization increase significantly the concrete shrinkage, introducing additional shrinkage component.



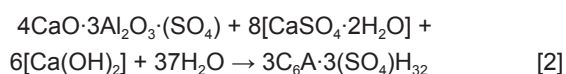
Rys. 4. Zmiany objętości cementów: ekspansywnego, bezskurczowego i klasycznego portlandzkiego

Fig. 4. The volume changes of expansive, shrinkage compensated and classic Portland cement

krystalizację ettringitu i uwodnienie wolnego wapna. Jednak, jeżeli po pewnym czasie beton znajdzie się w powietrzu, którego wilgotność względna nie przekracza zwykle 60%, to jego skurcz będzie większy od pęcznienia 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 w procesie suszenia. Te zmiany objętości pokazano na rysunku 4.

Jest kilka reakcji ekspansywnych, które można by 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 $3(\text{CA})\cdot\text{CaSO}_4$. 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 materiałami, 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 5] (8). 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 [2].

The shrinkage mechanism caused by carbonization is not explained. Lea (9) is reminding that the reaction [3] is linked with the increase of the solid phases volume.



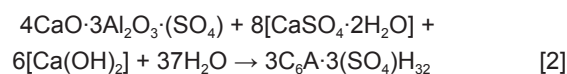
Even so carbonization of calcium hydroxide the very similar shrinkage to this of cement paste is causing (9). Lea (9) is consenting to the hypothesis that the carbonization shrinkage can be explained by the decrease of non evaporable water content in cement gel. However, Powers (according to Lea) was of the opinion that the carbonization shrinkage is caused by the dissolution of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in the drying shrinkage stresses zone and precipitation of calcium carbonate in the zones of the weaker stresses.

2. Prevention of concrete shrinkage

The maturing of concrete in water is causing the increase of its volume, which is caused by the progressing cement hydration, linked with the rise of C-S-H phase and so called „expansive reactions”. This reactions are giving the increase of the volumes of hydrates formed; principally it is the case of ettringite crystallization and hydration of free lime from clinker. However, if after certain time the concrete will be in environment of air which relative moisture is normally about 60%, its shrinkage will be higher of aforementioned expansion and the cracks will be formed.

In connection of appearing sometimes in practise the necessity of shrinkage decreasing or even elimination, the technology of production of shrinkage compensating cement and expansive cement was developed. This technology is based on the increase of ettringite content which is assuring such an expansion during maturing that can balance or even overcome the shrinkage of drying. These volume changes are shown on Fig. 4.

There are some expansive reactions which can be applied for this purpose, however, the easy regulation of ettringite formation, using the change of the pores solution composition in concrete, predominance of this phase is assuring. It is the reason that ettringite is predominating in the technology of expansive or shrinkage compensating cements. In this purpose the so called „Klein’s complex”, which is the calcium sulphoaluminate of the composition: $3(\text{CaOAl}_2\text{O}_3)\cdot\text{CaSO}_4$ is applied. This phase very quickly reacts with water and ettringite is formed, however, to completely use this addition the liquid phase must contains the respective quantity of calcium and sulphate ions. It can be schematically written:



The calcium sulphoaluminate addition is one of the method of shrinkage compensation. There are commercial admixtures containing this phase with other additions, for example anhydrite and lime. Particularly lime addition has an advantageous effect on expansion; it not only is increasing early expansion but even up to the end of this process [Fig. 5] (8). The conclusion can be that the calcium hydroxide formed by alite hydrolysis does not equilibrate

Jest to pierwsza grupa domieszek, złożona ze związków nieorganicznych, które można by nazwać „technologią ettringitową”. Natomiast 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 [3]:

$$P_{kap} = \frac{2\sigma}{r} \quad [3]$$

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

Zmniejszenie napięcia powierzchniowego wody powoduje zatem zmniejszenie ciśnienia w kapilarach, które powoduje w tych warunkach mniejszy skurcz. Niejonowe cząsteczki domieszki lokują się na powierzchniach kontaktu wody z powietrzem i pod tym względem są analogiczne do domieszek napowietrzających. Domieszki zmniejszające skurcz opierają się na 2,2-dimetylopropano-1,3-diolu (glikolu neopentylowym) o wzorze $(CH_3)_2C(CH_2OH)_2$, lub na podobnych związkach chemicznych. Ich dodatek wynosi przeważnie 4 kg/m³ 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. Colleparidi i in. (10) przypisują to efektowi synergicznemu.

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

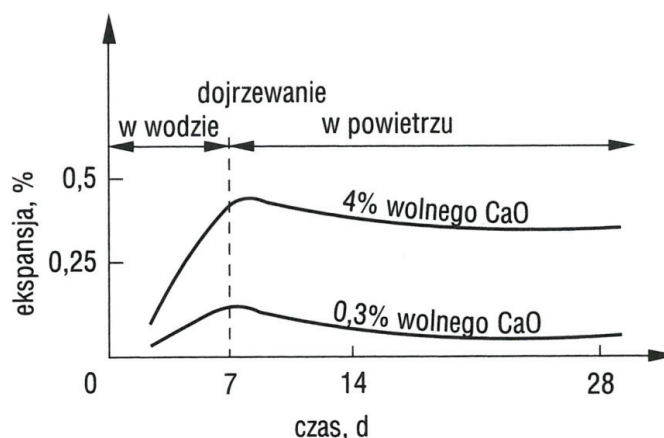
Przeprowadzono kilka serii doświadczeń z zaczynem z cementu CEM I 42,5R. Stosowano przemysłowe wapno hydratyzowane, które prażono przez 1 godzinę w piecu laboratoryjnym, w temperaturze 1450°C. Nazwano go CaO. Natomiast dwie domieszki zmniejszające skurcz były handlowymi domieszkami firmy BASF. Domieszka BASF MasterLife SRA 150, nazwana α , stanowi mieszaninę faz nieorganicznych, która opiera się na ekspansji ettringitowej. Zalecane dozowanie 20 ÷ 40 kg na m³ betonu. Domieszka BASF MasterLife SRA 815, nazwana β , jest oparta głównie na glikolu neopentylowym i powinna zmniejszać napięcie powierzchniowe wody zarobowej. Zalecany dodatek 1,0 ÷ 2,0% w stosunku do masy cementu.

Tablica 1 / Table 1

SKURCZ CEMENTU CEM I 42,5 R

SHRINKAGE OF CEMENT CEM I 42.5R

Okres dojrzewania zaczynu, dni Time of paste curing, days	Skurcz / Srinkage mm/m
2	0,13
7	0,35
14	0,51
28	0,68



Rys. 5. Wpływ dodatku CaO na ekspansję zaczynu z cementu ekspansywnego (8)

Fig. 5. Effect of free lime content on the expansion of expansive cement (8)

the calcium ions concentration sufficiently rapidly in concrete or mortar pores solution. These ions high demand is obvious taking into account the equation [2].

It is the first group of admixtures, composed of nonorganic compounds, which can be called „ettringite technology”. However, quite different shrinkage compensating technology is using for admixture preparation of organic compounds. These admixture are influencing on concrete shrinkage by water surface tension in capillaries decreasing. There are the surfactants which are decreasing the water pressure in capillaries; this pressure is directly proportional to the surface tension of water – equation [3]:

$$P_{kap} = \frac{2\sigma}{r} \quad [3]$$

where: σ – surface tension of water, r – meniscus radius; in the case of well wetting substances i.e. concrete, the wetting angle is small and the meniscus radius can be replaced by capillary radius.

Thus the decrease of water surface tension in capillaries is causing the decrease of capillaries pressure, which is giving the shrinkage. The organic compounds are adsorbed on the surfaces of water contact with the air and in this respect they are analogous to the air entraining agents. The shrinkage reducing admixtures are based on 2.2-dimethyl-propane-1.3-diol (neo pentyl glycol) of the formula $(CH_3)_2C(CH_2OH)_2$, or similar chemical organic compounds. They are added of about 4 kg/m³ of concrete.

Nowadays the compositions of admixture and expansive additives are used. The later can be based on the calcium oxide or calcium sulphoaluminate, linked with ettringite formation (10). This method permit the total shrinkage elimination, while the admixture alone allows reducing shrinkage of about 40%; according to Colleparidi et al. (10) this is a synergic effect.

It should be reminded that the shrinkage reducing admixtures do not reduce the evaporation of water from concrete in the atmosphere of low humidity.

W doświadczeniach stosowano cement portlandzki CEM I 42,5R; jego skurcz badano zgodnie z metodą ISO, opisaną w normie BS ISO 1920: 2009, a wyniki podano w tablicy 1. Natomiast jego skład fazowy, obliczony metodą Bogue'a był następujący: alit 64%, belit 16%, C₃A 9%, C₄AF 7%; z analizy MgO 3%, a SO₃ 2,8%.

W tablicach 2-6 podano wyniki badań skurczu tego cementu z dodatkiem CaO oraz dwoma domieszkami α i β ; ponadto równocześnie z tymi domieszkami dodawano CaO. Wszystkie pomiary skurczu wykonywano zgodnie z metodą ISO.

Jak wynika z przeprowadzonych pomiarów CaO – tablica 2 zmniejsza nieznacznie skurcz zaczynu cementowego, dopiero po zastosowaniu dodatku wynoszącego 2%. Natomiast dodatek 3% CaO spowodował rozpad próbek. Natomiast domieszka α – tablica 3 praktycznie nie ma wpływu na skurcz cementu. Bardzo niewielki wpływ zaznacza się dopiero po 14 i 28 dniach. Dopiero zastosowanie dodatku CaO obok domieszki α spowodowało znaczne zmniejszenie skurczu, przy czym wystarczyło dodanie 1%. 1,5% nie wykazało zwiększenia tego wpływu.

Domieszka β ma znacznie większy wpływ na skurcz i powoduje wyraźne jego zmniejszenie. Ten korzystny wpływ ulega znacznemu zwiększeniu przy powiększeniu dodatku domieszki do 3%.

Tablica 2 / Table 2

SKURCZ CEMENTU Z DODATKIEM CaO

SHRINKAGE OF CEMENT WITH CaO ADDITIVE

Okres dojrzewania zaczynu, dni Time of paste curing, days	1,0 % CaO	1,5 % CaO	2,0 % CaO	3,0 % CaO
14	-0,52 mm/m	-0,50 mm/m	-0,44 mm/m	Próbki rozpadły się
22	-0,60 mm/m	-0,56 mm/m	-0,49 mm/m	
28	-0,65 mm/m	-0,61 mm/m	-0,52 mm/m	

Table 3 / Tablica 3

SHRINKAGE OF CEMENT WITH ADMIXTURE α

SKURCZ CEMENTU Z DODATKIEM DOMIESZKI α

Okres dojrzewania zaczynu, dni Time of paste curing, days	2,0 % domieszki α	3,0 % domieszki α
2	-0,16 mm/m	-0,22 mm/m
7	-0,34 mm/m	-0,39 mm/m
14	-0,50 mm/m	-0,52 mm/m
28	-0,63 mm/m	-0,64 mm/m

Table 5 / Tablica 5

CEMENT SHRINKAGE WITH ADDITION OF β ADMIXTURE

SKURCZ CEMENTU Z DODATKIEM DOMIESZKI β

Okres dojrzewania zaczynu, dni Time of paste curing, days	1,0 % domieszki β	2,0 % domieszki β
2	-0,10 mm/m	-0,07 mm/m
7	-0,23 mm/m	-0,18 mm/m
14	-0,34 mm/m	-0,26 mm/m
28	-0,46 mm/m	-0,38 mm/m

3. The influence of CaO and shrinkage reducing admixtures on the shrinkage of cement paste

Some series of experiments were conducted with the cement CEM I42.5R paste. The industrial lime hydrate was applied, which was burned in laboratory furnace at 1450°C for 1 hour. It is called CaO in this paper. The used shrinkage reducing admixtures was the commercial agents of BASF. First admixtures - BASF MasterLife SRA 150, called α , is the mixture of inorganic phases, which is based on ettringite expansion. Recommended addition is 20-40 kg/m³ of concrete. The second BASF admixture BASF MasterLife SRA 815, called β , can be based principally on 2,2-dimethyl-propane-1,3-diol (neo pentyl glycol), as was mentioned in point 2. Recommended addition 1.0% to 2% by mass of cement.

In the experiments the Portland cement CEM I42,5R was used; its shrinkage measured according to ISO method, presented in the standard BS ISO 1920: 2009 and the results are presented in Table 1. The cement phase composition, calculated according to Bogue's method was the following: alite 64%, belite 16%, C₃A 7%, C₄AF 7%; from analysis: MgO 3%, and SO₃ 2,8%.

In Tables 2-6 the results of shrinkage measurements of this cement with CaO addition and two admixtures α and β are given;

Tablica 4 / Table 4

SKURCZ CEMENTU Z DODATKIEM DOMIESZKI α I CaO

THE SHRINKAGE OF CEMENT WITH ADMIXTURE α AND CaO

Okres dojrzewania zaczynu, dni Time of paste curing, days	1,0 % domieszki α + 1,0 % CaO	1,0 % domieszki α + 1,5 % CaO
2	-0,08 mm/m	-0,06 mm/m
7	-0,21 mm/m	-0,21 mm/m
14	-0,31 mm/m	-0,31 mm/m
28	-0,45 mm/m	-0,43 mm/m

additionally with these admixtures also CaO was added [Tables 3 and 5 to 6]. All shrinkage measurements were conducted according to ISO method.

As it results from the measurements [Table 2] the addition of CaO has a minor influence on cement shrinkage. The shrinkage is a little decreased only after the addition of 2% CaO. However, the addition of 3% the cracking of samples was caused.

Tablica 6 / Table 6

SKURCZ CEMENTU CEM I Z DODATKIEM DOMIESZKI β I CaOSHRINKAGE OF CEMENT WITH ADMIXTURE β AND CaO

Okres dojrzewania zaczynu, dni Time of paste curing, days	1,0 % domieszki β + 1,0 % CaO	1,0 % domieszki β + 1,5 % CaO	2,0 % domieszki β + 1,0 % CaO
2	-0,08 mm/m	-0,06 mm/m	-0,05 mm/m
7	-0,21 mm/m	-0,21 mm/m	-0,16 mm/m
14	-0,31 mm/m	-0,31 mm/m	-0,25 mm/m
28	-0,45 mm/m	-0,43 mm/m	-0,36 mm/m
	2,0 % domieszki β + 1,5 % CaO	2,0 % domieszki β + 2,0 % CaO	3,0 % domieszki β + 2,0 % CaO
2	-0,05 mm/m	-0,05 mm/m	-0,04 mm/m
7	-0,15 mm/m	-0,18 mm/m	-0,16 mm/m
14	-0,25 mm/m	-0,26 mm/m	-0,23 mm/m
28	-0,35 mm/m	-0,38 mm/m	-0,34 mm/m

Dodatek CaO równocześnie z domieszką β ma znacznie mniejszy wpływ na skurcz niż w przypadku domieszki α . W zasadzie decyduje domieszka α i zwiększenie jej dodatku staje się od razu bardzo widoczne.

3. Wnioski

Trzeba podkreślić, że wnioski opierają się na doświadczeniach przeprowadzonych tylko z jednym cementem portlandzkim, a zmiany jego składu fazowego będą miały, jak wiadomo, duży wpływ na skurcz. Będą także wpływały na zgodność z dodawaną domieszką. Planowana jest następna seria badań obejmująca dwa cementy portlandzkie o różnych składach fazowych.

Na podstawie uzyskanych wyników doświadczalnych można wysunąć następujące wnioski:

- domieszka BASF MasterLife SRA 150 nie wykazuje zgodności ze stosowanym cementem CEM I 42,5R i z tego względu nie powoduje zmniejszenia skurczu,
- równoczesny dodatek CaO znacznie poprawia ten wpływ i taki „dwuskładnikowy” dodatek zmniejsza wyraźnie skurcz zaczynu,
- domieszka BASF MasterLife SRA 815 powoduje znaczne zmniejszenie skurczu, czyli wykazuje dobrą zgodność z badanym cementem,
- z tych powodów dodatkowe wprowadzenie CaO nie ma już wpływu na dalsze zmniejszenie skurczu

Literatura / References

- Aitcin J.P., Binders for Durable and Sustainable Concrete, Taylor & Francis, New York (2008).
- Powers T., Proc. Conf. „Structure of Concrete and Its Behaviour Under Load”, s. 319, Cem. and Concr. Ass., London 1968.
- Aitcin J.P., Cement Wapno Beton, **70**, 115 (2003).

The admixture α – Table 3 practically has no influence on cement shrinkage. Only after 14 and 28 days the small shrinkage reduction was noted. Only the CaO addition application apart of admixture α caused the significant shrinkage reduction and the 1% addition was sufficient. The increase of CaO addition to 1.5% has no higher influence on shrinkage.

Admixture β has much higher influence on cement shrinkage and its evident decrease is causing. This high influence is rising farther after the admixture addition increasing to 3%.

The simultaneous addition of CaO with admixture β has much lower influence on shrinkage than in the case of admixture α . In fact the admixture α has the decisive influence and the increase of its addition immediately a high effect is causing.

3. Conclusions

It should be underlined that the conclusions are based on the experiments conducted with one Portland cement only and the changes of cement phase composition will have, as it is well known, high effect, on shrinkage. They will also influence on the compatibility of the admixture. The second series of much larger range is planned, which will cover two Portland cements of different phase composition.

On the basis of obtained experimental results the following conclusions can be drawn:

- admixture BASF MasterLife SRA 150 has no compactibility with Portland cement CEM I 42,5R and it is the reason that its addition has no influence on shrinkage,
- simultaneous addition of CaO significantly corrects this admixture effect and a such „two components” addition is very effectively reducing the shrinkage of this cement paste,
- admixture BASF MasterLife SRA 815 significantly reducing shrinkage effect is causing, thus has good compatibility with cement to which it was added,

4. Wittmann F.H., w „Cement Production and Use” (red. J. Skalny), s. 143, Eng. Foundation, New York 1979.
 5. Feldman R.F., 5th ICCO Tokyo, t. II, s. 53, Tokyo 1968.
 6. Bentur A., Kung J.H., Berger R.L., Young J.F., Milstone N.B., Mindess S., Lawrence F.V., 7th ICCO Paris, t. III, s. VI-26, Paris 1980.
 7. Détriché C.H., w „La Durabilité des Bétons”, rozdz. 4, s. 107, Presses Ponts et Chaussées, Paris 1992.
 8. Thiel A., „Czynniki wpływające na zmiany objętości cementów ekspansywnych”, Rozprawa doktorska, AGH Kraków, 1982.
 9. Lea F.M., The Chemistry of Cement and Concrete, wyd. 3, s 271, Chemical Publ. Com., New York 1971.
 10. Colleparidi M., Borski A., Colleparidi S., Ogoumah Olagot J., Troli R., Cem. Concr. Comp., **27**, 704 (2005).
- d) from these reasons the additional addition of CaO had no further influence on shrinkage reduction.