

Prof. dr hab. Stefania Grzeszczyk, Dr inż. Aneta Matuszek-Chmurowska

Wydział Budownictwa, Politechnika Opolska

Zgorzel słoneczna w bazalcie i jej wpływ na trwałość betonu

Effect of basaltic sunburn scale on the durability of concrete

1. Wprowadzenie

Wiadomo, że bazalt na ogół wyróżnia się dużą wytrzymałością i odpornością na działanie mrozu i środków odladzających (1-3). Jednak zdarza się, że kruszywo to jest gorszej jakości. Z badań wynika, że jedną z przyczyn braku odporności bazaltu na działanie mrozu jest występująca w teksturze bazaltu zgorzel słoneczna (4). Przejawia się ona obecnością na powierzchni kruszywa jaśniejszych plamek o niewielkiej powierzchni, koloru rudego lub szarego. Osiągają one rozmiary od ułamków milimetra do około 20 mm. W późniejszym okresie rozwoju tego procesu w skale pojawiają się drobne pęknięcia i szczeliny przebiegające w pobliżu odbarwień (5).

Poglądy różnych autorów na temat genezy powstania zgorzeli słonecznej przedstawił Zagożdżon (5). Według Pukalla (6, 7) przyczyną powstania zgorzeli są niewielkie ilości szkła występujące w skale, które przekształcając się w zeolity powodują jej rozpad. Natomiast Ernst i Drescher-Kaden (8) jako prawdopodobną przyczynę rozpadu zgorzelowego podają występowanie w bazalcie analcymu, a szczególnie specyficzne rozmieszczenie drobnych kryształków tego minerału. W próbkach skał bazaltowych zarówno przed, jak i po rozpadzie zgorzelowym, w obrębie plamek stwierdzili oni obecność analcymu, natomiast w nie przekształconych fragmentach skały bazaltowej występował głównie nefelin. Skupiska analcymu w skale oraz przeobrażenia analcymu i nefelinu prowadzą do powstawania naprężeń, które powodują tworzenie się mikrospekkań. W wyniku powstawania skupień mikrospekkań tworzą się widoczne jasne plamki na powierzchni kruszywa.

1. Introduction

As it is commonly known, the basaltic aggregate shows generally high strength and high freeze - thaw resistance, as well as good durability in the presence of deicers (1-3). However, it sometimes happens that this material is not enough strong and durable. The poor freeze – thaw resistance may be the consequence of the so-called basaltic sunburn (4). This defect can be revealed as lighter spots – grey or russet, on the aggregate grain surfaces. The diameters of spots are within the range from less than one millimeter to 20 mm. At later age the cracks and slits appear around them (5).

The genesis of basaltic sunburn has been presented in Zagożdżon's paper (5), where the data reported by the other authors are summarized. According to Pukall (6, 7), the sunburn scales are formed as a result of transformation of some vitreous components present in basalt rock into zeolite, accompanied by destruction of the initial matrix. Ernst and Drescher-Kaden (8) derive the destruction from analcime, distributed in the form of small crystals. They found the analcime minerals in the samples of basalt rock before and after the self-destruction; in the sound material the nepheline was identified. The agglomerations of analcime in the rock, as well as transformation of analcime or nepheline are the source of stresses and, as a consequence, result in the formation of microcracks. The concentration of microcracks leads to the formation of lighter spots on the aggregate surface.

According to Kühnel and co-workers (9, 10), the clay minerals and zeolites have a significant impact on the soundness of basaltic rock, because the transformations dealing with them are accom-

Kühnel i in. (9, 10) uważają, że znaczny wpływ na trwałość bazaltu mają minerały ilaste i zeolity, których powstawanie powoduje wzrost ciśnienia w porach i generuje w skale silne naprężenia wewnętrzne. Szczególne znaczenie mają zmiany objętości wywołane przyjmowaniem i oddawaniem wody przez minerały ilaste. Ponadto takie czynniki jak: temperatura, nasłonecznienie, wilgoć i obecność dwutlenku węgla mogą powodować rozkład mniej trwałych składników skały bazaltowej i ich przemiany w inne fazy.

Wpływ zgorzeli słonecznej na właściwości betonów nie jest dokładnie poznany. W dwóch pracach (4, 11) stwierdzono, że obecność zgorzeli w kruszywie bazaltowym nie ma znacznego wpływu na wytrzymałość betonu i w niewielkim stopniu obniża jego mrozoodporność.

Obowiązujące w Polsce normy dotyczące badań właściwości kruszyw nie zawierają informacji na temat ograniczeń stosowania kruszywa ze zgorzelą słoneczną do otrzymywania betonów. Norma PN – EN 1367-3:2002, „Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych - Część 3: Badanie bazaltowej zgorzeli słonecznej metodą gotowania”, podaje jedynie metodę badania kruszywa zawierającego zgorzel słoneczną i określenia procentowego ubytku masy oraz spadku wytrzymałości kruszywa w wyniku tego zabiegu.

W prezentowanej pracy przeprowadzono badania wpływu zgorzeli słonecznej w kruszywie bazaltowym na wytrzymałość i mrozoodporność betonu.

2. Materiały i metody

2.1. Kruszywo bazaltowe zawierające zgorzel słoneczną

W badaniach zastosowano kruszywo bazaltowe wykazujące obecność zgorzeli słonecznej. Na rysunku 1 pokazano ziarna kruszywa z widocznymi na ich powierzchni jasnymi plamkami spowodowanymi zgorzelą słoneczną.

Badania rentgenograficzne kruszywa wykonano aparatem firmy Philips, stosując promieniowanie $\text{CuK}\alpha$ i filtr Ni. Do identyfikacji faz wykorzystano program ICDD. Na rentgenogramie kruszywa bazaltowego wykazującego występowanie zgorzeli słonecznej widoczne są przede wszystkim refleksy augitu $\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})[(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]$ i nefelinu $\text{Na}[\text{AlSiO}_4]$ oraz kilka linii, a przede wszystkim dwie o wartościach $d = 3,43 \text{ \AA}$ i $5,60 \text{ \AA}$, które można przypisać analcytowi $\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (rysunek 2).

Występowanie analcytu, obok nefelinu, w próbkach kruszywa bazaltowego potwierdzono również za pomocą obserwacji pod elektronowym mikroskopem skaningowym (rysunki 3 i 4). Na zdjęciach SEM pokazano kryształy analcytu, oznaczone krzyżykami.

Wytrzymałość na ściskanie betonów zbadano po 7, 14, 28, 90 i 180 dniach twardnienia, zgodnie z normą PN-EN 12390-3 „Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania”. Badania przepuszczalności betonu przeprowadzono

panied by an increase of pore pressure and internal stress. The volume changes induced by an exchange of water are of particular importance. What more, the other factors, such as temperature, insolation, humidity and carbon dioxide can contribute in the decomposition of less stable components of basaltic rock and their replacement by the other phases.

The effect of basaltic sunburn on the properties of concrete has not been recognized so far. As it has been reported (4, 11), the basalt aggregate with sunburn scale has no special effect on the strength of concrete; the freeze – thaw resistance is little lowered.

In the Polish standards, relating to the examination of aggregates, there is no information about the limitation of basalt aggregate used of rocks with sunburn. The Polish standard PN – EN 1367-3:2002 “Tests for thermal and weathering properties of aggregates. Part 3: Boiling test for Sonnenbrand basalt” gives only the procedure of examination and determination of weight losses, as well as the strength reduction on boiling.

In the presented paper the effect of basaltic sunburn in aggregate on the compressive strength and freeze – thaw resistance of concrete was investigated.

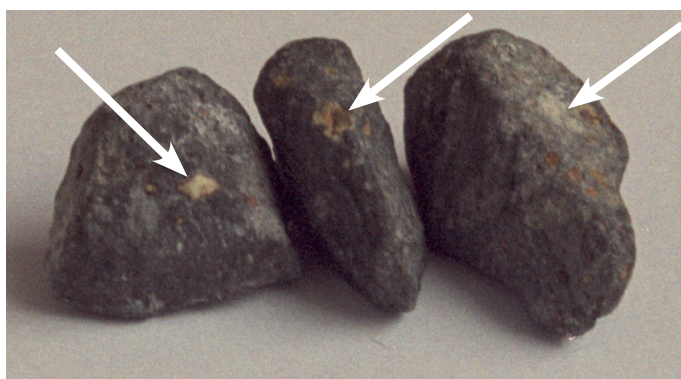
2. Materials and methods

2.1. Basalt aggregate with sunburn scale

The basalt aggregate with sunburn scale was used. In Fig. 1 the picture of aggregate grains with light spots of sunburn scale are shown.

The XRD studies of aggregate were carried out using Philips diffractometer; the radiation $\text{CuK}\alpha$ with 0.1 mm Ni filter was applied. The crystalline components, indicated on the XRD patterns were identified based on the International Centre for Diffraction Data (ICDD).

The X-ray examination of the basalt aggregate with sunburn scale revealed the presence of augite $\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$ and nepheline $\text{Na}(\text{AlSiO}_4)$. There are also the $d = 3.43 \text{ \AA}$ and 5.60 \AA peaks, which can be attributed to analcime $\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Fig. 2).



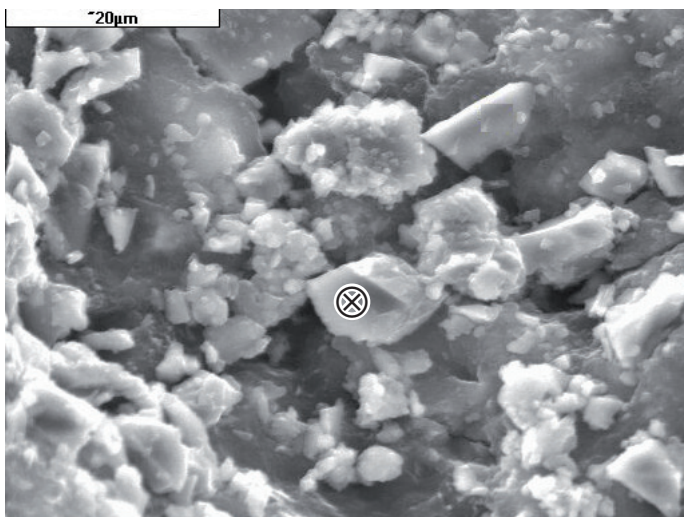
Rys. 1. Kruszywo bazaltowe z widocznymi jasnymi plamkami wywołanymi zgorzelą słoneczną

Fig. 1. The basalt aggregate – light spots of sunburn scale are shown

przy zastosowaniu metody oceniającej głębokość penetracji wody, zgodnie z normą PN-EN 12390-8 „Badania betonu – Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem”. Badania mrozodporności kruszywa przeprowadzono według normy PN EN 1367-1 „Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych - Część 1: Oznaczenie mrozodporności”.

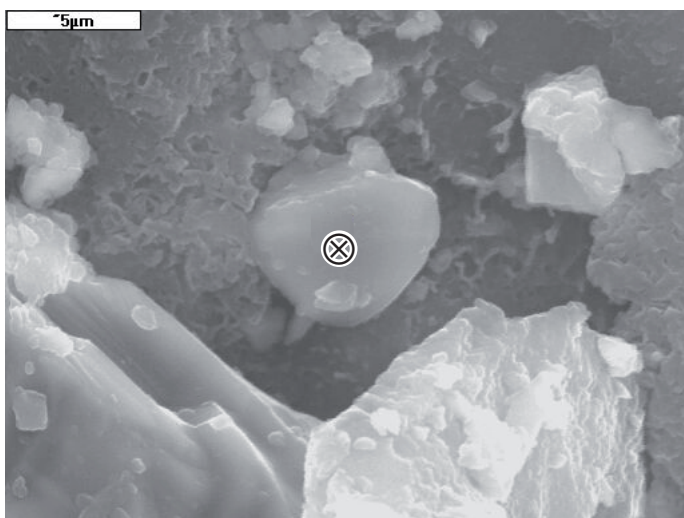
2.2. Betony

Betony do badań przygotowano z zachowaniem zasad projektowania i wytwarzania betonów wysokowartościowych. Stosowano kruszywo bazaltowe łamane o uziarnieniu ciągłym od 0 do 8 mm. Do badań użyto cement portlandzki CEM I 42,5R. Jako superplastyfikator



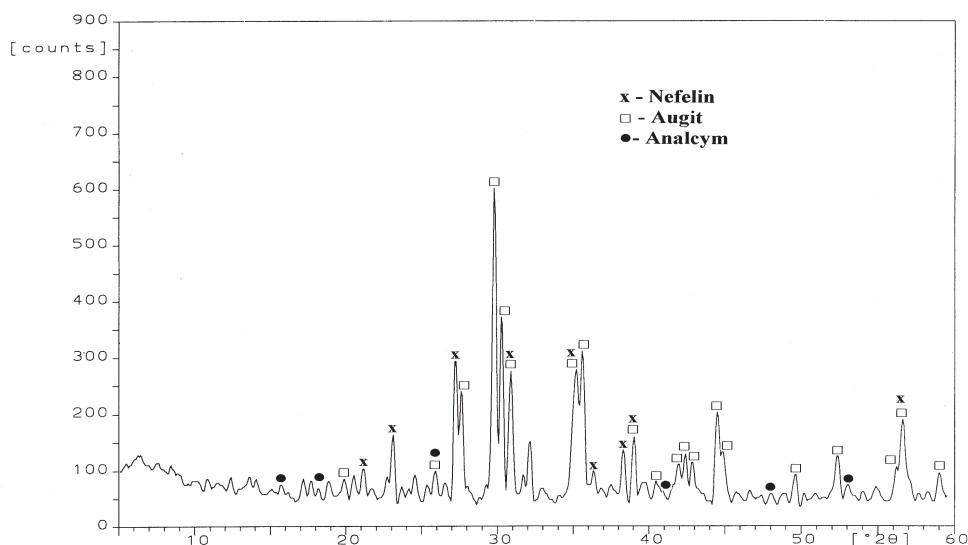
Rys. 3. Zdjęcie mikroskopowe kruszywa bazaltowego (pow. $\times 2000$)

Fig. 3. SEM micrograph of basalt aggregate (magnification $\times 2000$)



Rys. 4. Zdjęcie mikroskopowe kruszywa bazaltowego (pow. $\times 5000$)

Fig. 4. SEM micrograph of basalt aggregate (magnification $\times 5000$)



Rys. 2. Dyfraktogram kruszywa bazaltowego

Fig. 2. XRD pattern of basalt aggregate

For SEM examination JEOL – 5400 with microanalyser LINK ISI 300 was used. The presence of analcime together with nepheline was also detected under SEM (Figs 3 and 4). Large analcime crystals are visible on the SEM micrographs.

The compressive strength of the high performance concretes was tested after the 7, 14, 28, 90 and 180 days of storage according to the PN-EN 12390-3 standard: “Testing hardened concrete. Part 3: Compressive strength of test specimens”.

The permeability of concrete was tested with the method of water penetration evaluation, according to the PN-EN 12390-8 standard: “Testing of hardened concrete. Part 8: Depth of penetration of water under pressure”.

The freeze – thaw resistance of aggregate was determined according to the PN-EN 1367-1 standard: “Tests for thermal and weathering properties of aggregates. Part 1: Determination of resistance to freezing and thawing”, including the storage in water and in 1% NaCl solution.

The freeze – thaw resistance of concrete samples was investigated in the presence of deicer (NaCl), according to the standard PKN-CEN/TS 1230-9: 2007 „Concrete testing – Hardened concrete – Frost resistance”. The outer surfaces of samples were exposed. Tests were carried out in the automatically controlled laboratory freezer Elbanton B.V.

2.2. Concrete

The concretes were produced following the procedure of mix designing for the High Performance Concrete. From basalt aggregate continuous fraction 0 ÷ 8 mm and the Portland cement CEM I 42.5R were used. The sulphonated melamine superplasticizer (FMF) to produce the plastic consistency was introduced to the concrete mixture.

The composition of concrete 1 was as follows: basalt aggregate – 2056 kg/m³, cement – 450 kg/m³, water – 139 dm³/m³, FMF – 2% by mass of cement.

stosowano sulfonowaną żywicę melaminowo-formaldehadową w ilości potrzebnej do uzyskania konsystencji plastycznej.

Przygotowano trzy mieszanki betonowe. Mieszanki 1 i 2 wykonano z kruszywa bazaltowego wykazującego zgorzel słoneczną, przy czym do mieszanki 2 dodano 10% mas. pyłów krzemionkowych, zastępując nimi część cementu. Trzecia mieszanka, o składzie analogicznym jak mieszanka 1, zawierała kruszywo bazaltowe bez zgorzeli słonecznej.

Składy mieszanek betonowych były następujące:

- 1 – kruszywo bazaltowe – 2056 kg/m³, cement – 450 kg/m³, woda – 139 dm³/m³, FMF – 2% mas cementu,
- 2 – kruszywo bazaltowe – 2056 kg/m³, cement – 409,1 kg/m³, pył krzemionkowy – 40,9 kg/m³, woda – 139 dm³/m³, FMF – 2,5% mas.

3. Wyniki badań i ich omówienie

Przeprowadzone badania mrozoodporności kruszywa bazaltowego w środowisku wodnym wykazały, że kruszywo to można zakwalifikować, według normy PN-EN 12620 „Kruszywa do betonu”, do klasy mrozoodporności F2, ponieważ strata masy po 10 cyklach wynosi 1,52 % mas. i nie przekraczała 2 % mas. Natomiast badania mrozoodporności kruszywa w 1% roztworze NaCl wykazały brak odporności kruszywa bazaltowego, bowiem ubytek masy tego kruszywa wynosił w tym przypadku 4,74 % mas. i przekraczał dopuszczalną wartość wynoszącą 4 % mas.

Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie próbek betonu przedstawiono w tablicy 1.

Wytrzymałość na ściskanie betonu z kruszywa bazaltowego wykazującego zgorzel słoneczną, wzrastała w całym objętym badaniami przedziale czasowym, to jest do 180 dni. Równocześnie wytrzymałość próbek betonów bez dodatku pyłu krzemionkowego była mniejsza, średnio o około 20 %.

Wyniki badań głębokości wnikania wody do betonu zgodnie z normą PN-EN 12390-8 przedstawiono na rysunku 5.

Analiza przepuszczalności wody przez beton po 7, 28 i 90 dniach dojrzewania próbek wykazała, że wszystkie badane betony charakteryzują się głębokością wnikania wody mniejszą od 40 mm. Jak należało się spodziewać dodatek pyłu krzemionkowego znacznie zmniejsza głębokość wnikania wody do betonu. Głębokość wnikania wody do betonów zmniejsza się również znacznie z upływem czasu, co jest uzasadnione wpływem zmniejszającej się porowatości matrycy cementowej na przepuszczalność betonów. Podobnie jak w przypadku badań wytrzymałości na ściskanie nie zaobserwowano zwiększenia wnikania wody do betonu z upływem czasu, co mogło być spowodowane obecnością zgorzeli słonecznej w kruszywie.

Wyniki badań mrozoodporności betonów w środowisku soli odłóżkowej (NaCl) przedstawiono na rysunku 6.

Tablica 1 / Table 1

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE PO RÓŻNYM CZASIE DOJRZEWANIA BETONU
COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE SAMPLES AS A FUNCTION OF TIME

Rodzaj betonu Concrete sample	Wytrzymałość na ściskanie, po czasie dojrzewania Compressive strength, at age, MPa					
	2 dni/days	7 dni/days	14 dni/days	28 dni/days	90 dni/days	180 dni/days
Beton/Concrete 1	56,9	60,2	63,2	65,9	70,1	76,8
Beton/Concrete 2	69,4	75,8	81,4	85,6	90,9	97,1

The composition of concrete 2 was as follows: basalt aggregate – 2056 kg/m³, cement – 409.1 kg/m³, silica fume – 40.9 kg/m³, water – 139 dm³/m³, FMF – 2.5% by mass of cement.

3. Results and discussion

It has been found that the frost resistant of basalt aggregate tested in water according to the PN-EN 1367-1 standard can be classified, to the class F₂, as the freeze – thaw resistance is concerned. This is because the mass loss after 10 cycles is 1.52%, that is the 2% limit is not exceeded. However, the tests in NaCl solution exhibit poor resistance of basalt aggregate, because the loss of mass was 4.74%, that is higher than the permissible limit of 4%.

The results of compressive strength tests of concretes are presented in Table 1.

The compressive strength of concrete samples produced with sunburn damaged basalt aggregate increased with time up to 180 days. The results for the silica fume containing materials are about 20% higher than those for concrete without this additive.

The results of water penetration tests according to PN-EN 12390-8 are shown in Fig. 5.

The depth of water penetration for the all concrete samples, after 7, 28 and 90 days curing respectively, is lower than 40 mm. As one could presume, at the silica fume addition the penetration of water is significantly reduced. This parameter decreases also with time; this can be explained by the decreasing of porosity of cement matrix and lowering of the permeability of concrete. Similarly as in case of compressive strength, the decreased permeability of concrete proves that the sunburn scale of basaltic aggregate has no harmful effect.

The results of the freeze – thaw resistance in the presence of deicing salt (NaCl) are shown in Fig. 6.

The concretes reveal no resistance, as subjected to the 56 cycles of freezing and thawing in the presence of deicer. The concrete without silica fume exhibits the loss of mass higher than 7 kg/m², while the one with this additive – 1.2 kg/m². In both cases the permissible loss mass level of 1 kg/m² according to PKN-CEN/TS 1230-9 is exceeded. One can find that with the silica fume addition the resistance of concrete to freezing and thawing is improved,

Stwierdzono brak odporności betonów z kruszywem bazaltowym zawierającym zgorzel słoneczną na działanie mrozu i środków odladzających po 56 cyklach zamrażania i odmrażania. Beton bez dodatku pyłów krzemionkowych wykazywał zmniejszenie masy przekraczające 7 kg/m^2 , a beton zawierający pyły krzemionkowe $1,2 \text{ kg/m}^2$. W obu przypadkach został przekroczony dopuszczalny ubytek masy, wynoszący według normy PKN –CEN/TS 1230-9:2007 1 kg/m^2 . Analiza masy złuszczeń próbek betonów pozwala stwierdzić, że pyły krzemionkowe wpływają na zwiększenie mrozoodporności betonu. Ubytek masy tych próbek jest znacznie mniejszy.

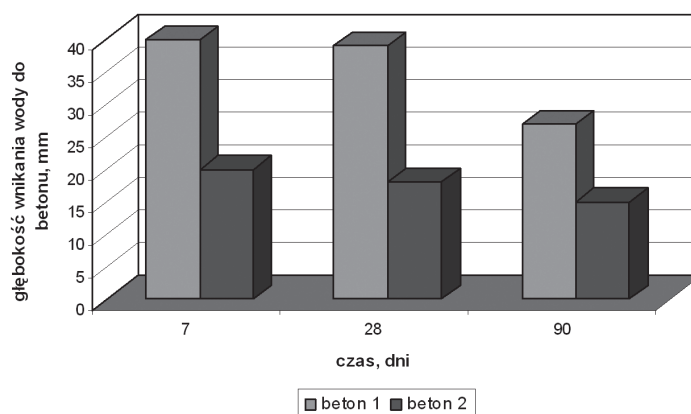
Natomiast beton wykonany z kruszywa bazaltowego nie wykazującego zgorzeli słonecznej jest odporny na działanie mrozu, także w obecności środków odladzających. Próbki tego betonu nie wykazywały żadnych objawów zniszczenia i ich mrozoodporność można ocenić jako bardzo dobrą.

4. Wnioski

1. Badania składu mineralnego kruszywa bazaltowego wykazującego zgorzel słoneczną pokazały znaczną zawartość augitu i nefelinu, a także obecność analcymu.
2. Badania mrozoodporności kruszywa bazaltowego ze zgorzelą słoneczną według normy PN EN 1367-1, wykazały, że kruszywo to jest mrozoodporne w środowisku wodnym, natomiast wykazuje brak odporności na działanie mrozu w roztworze NaCl. Nie jest więc odporne na zamrażanie.
3. Wykazano brak odporności betonów z kruszywem bazaltowym wykazującego zgorzel słoneczną na cykliczne zamrażanie i rozmrażanie w obecności soli odladzającej, przy czym stwierdzono, że dodatek pyłów krzemionkowych do tych betonów powoduje poprawę mrozoodporności.

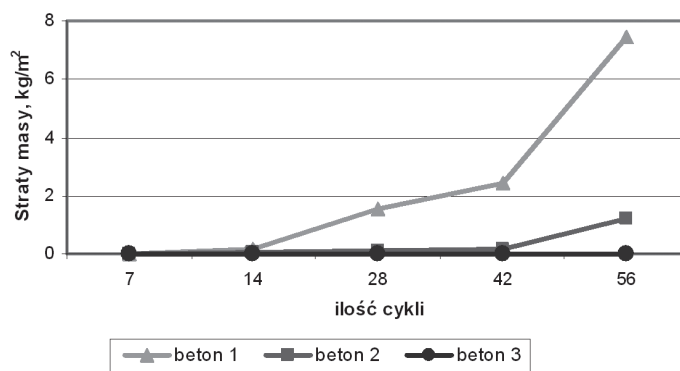
Literatura / References

1. Özturan T, Çeçen C.: Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strengths. *Cem. Concr. Res.*, vol. 27 (2), 165-170 (1997).
2. Kiliç, A.; Atis, C. D.; Teymen, A.; Karahan, O.; Özcan, F.; Bilim, C.; Özdemir, M.: The influence of aggregate type on the strength and abrasion resistance of high strength concrete. *Cem. Concr. Comp.*, vol. 30 (4), 290-296 (2008).
3. Grzeszczyk S., Konopka E.: Untersuchungen über den Frost-Tausalz-Widerstand von Natursteinzuschlag für Straßenbaubeton. 14 th Internationale Baustofftagung, Ibausil, Band 1, 0775-0783, Weimar 2000.
4. Zagożdżon P.: Basaltic grit and the sunburn phenomenon (in polish). *Scientific Papers of the Institute of Mining of the Wrocław University of Technology*, no. 97, 229-242, Polanica Zdrój-Wrocław 2002.
5. Zagożdżon P.: On the origin of basaltic sunburn (in polish). *Przegląd Geologiczny*, vol. 49, 328-334, (2001).
6. Pukall K.: Beiträge zur Frage des Sonnenbrandes des Basalte. I. *Zeitschr. Angew. Min.*, 1, 195-222 (1939).
7. Pukall K.: Beiträge zur Frage des Sonnenbrandes des Basalte. II. *Zeitschr. Angew. Min.*, 2, 277-303 (1939).
8. Ernst T., Drescher-Kaden F.K.: Über den „Sonnenbrand“ der Basalte. *Zeitschr. Angew. Min.*, 3, 73-141 (1940).
9. Kühnel R.A., Tshibangu-Katshi J.-P.: Causes of basalt degrading: methods of prediction of basalt durability. 6th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, 80-87, Reykjavik 1997.



Rys. 5. Głębokość wnikania wody do betonu po różnym czasie dojrzewania

Fig. 5. Depth of water penetration in concrete as a function of time



Rys. 6. Wyniki badań mrozoodporności betonów

Fig. 6. Freeze – thaw resistance of concretes

and the loss of mass is lower.

4. Conclusions

1. The phase composition of aggregate from the basalt with sunburn scale reveals, apart from the significant content of augite and nepheline, the presence of analcime.
2. The freezing and thawing tests according to the PN EN 1367-1 show that the aggregate from basalt with sunburn scale exhibit fairly good resistance in water but no resistance in the NaCl solution.
3. The concretes containing aggregate from basalt with sunburn scale reveal no resistance to the cycles of freezing and thawing in the presence of deicer; however, with the silica fume addition the resistance of concrete is improved.

10. Kühnel R.A., Van der Gaast S.J., Brych J., Laan G.J., Kulnig H.: The role of clay minerals in durability of rocks: observations on basaltic rocks. *Applied Clay Science*, 9, 225-237 (1994).

11. Matuszek-Chmurowska A.: The microstructure of transition zone of high performance concretes. Doctor thesis, Technical University of Opole, Opole 2003.