

Nawierzchnia betonowa autostrady po 70 latach eksploatacji, próba wyjaśnienia niezwykłej trwałości

Concrete pavement on highway after 70 years of exploitation, the assessment of durability reason

1. Wprowadzenie

Nawierzchnia betonowa autostrady, zbudowanej i oddanej do eksploatacji około roku 1935, pozostawała w doskonałym stanie do roku 2008, w którym została rozebrana. Przyczyną rozbiórki była zmiana trasy tego odcinka autostrady A4, która teraz przebiega po południowej stronie Gliwic, podczas gdy stara była usytuowana po północnej stronie tego miasta.

Nawierzchnia starej autostrady miała przerwy dylatacyjne co 3 metry, co robiło wrażenie, jakby składała się z płyt o tej długości. Już wstępne obserwacje wykazywały, że beton tej nawierzchni był w doskonałym stanie po ponad 70 latach eksploatacji, a jego mała ścieralność spowodowała wypolerowanie powierzchni. Świadczy to o bardzo dobrej odporności nawierzchni na ścieranie (1). Nie występowały na tej powierzchni odpryski, ani nie było śladów pęknięć, pomimo dużego obciążenia ruchem, nawet wielokrotnego przejazdu czołgów w czasie wojny. Także częste stosowanie soli odladzających w okresach zimowych nie wpłynęło na wystąpienie uszkodzeń na jej powierzchni. Bliźniacza nawierzchnia betonowa znajduje się w eksploatacji do dzisiejszego dnia w okolicach Szczecina, na autostradzie Berlin – Szczecin i, z punktu widzenia jakości powierzchni, jest w podobnie doskonałym stanie.

Klimat w okolicy Gliwic wykazuje zmienne temperatury, podczas zimy częste przejście przez zero jest typowe, a różnice temperatury dochodzą nawet do 60°C: -30°C w zimie, +30°C w lecie.

Bardzo dobry stan nawierzchni betonowej po 70 latach eksploatacji spowodował zainteresowanie przyczynami, które spowodowały tą dużą trwałość betonu i stało się przyczyną badań, których pierwszy etap przedstawiono w tym artykule. W trakcie rozbiórki nawierzchni zabezpieczono duże elementy betonowe, z których uzyskano próbki do badań. Główny cel badań stanowiły następujące szczególnie ważne zagadnienia: 1) składniki betonu, głównie kruszywo grube, rodzaj cementu, stosunek w/c; 2) właściwości betonu: wytrzymałość, porowatość, przepuszczalność; 3) mikrostruktura betonu, matrycy cementowej i jej skład fazowy.

1. Introduction

The concrete highway pavement, constructed and open for exploitation near the year 1934, was in excellent condition until 2008, when it was demolished. It was caused by the construction of this part of highway A4 in the south of Gliwice, however, the old one was situated on the north of this town.

The old pavement was composed of concrete without reinforcement, but with expansion joints, which caused something like formation of "monolithic plates". As the preliminary examination has shown this concrete is of excellent quality after over 70 years of exploitation and its low grindability caused the plates surface polishing to the glasslike smoothness. It proofs very low grindability of this concrete (1). There are no pop off defects, neither visible cracks, in spite of heavy traffic, even with tank columns passage during war, and frequent usage of deicing salts, during winter. The analogous concrete pavement is under exploitation on the Berlin-Stettin highway until now and no visible damages can be found.

The climate in the Gliwice region is showing the changeable temperature, for which during winter frequent passage through zero is typical, even with temperature -30°C and in summer +30°C.

Very good state of concrete pavement after 70 years lasting exploitation caused the great interest of factors, which participated in this high concrete durability and was a goal of the research, which is presented in this paper. During demolition of the pavement the big elements of plates were sampled, which became the material for examination presented in this paper. The following particularly interesting problems was the main goals of research: 1) concrete components mainly coarse aggregate, cement type, w/c ratio; 2) concrete properties – strength, porosity, pores structure, permeability. This paper is presenting the preliminary results of petrography examination of aggregate, concrete microstructure and cement matrix composition, as well as the basic properties of concrete.

2. Właściwości betonu

Wstępne obserwacje betonu wykazały, że w całym przekroju nawierzchnia ma jednorodny skład i nie wykazuje uprzewilejowanej tekstury. Skład kruszywa, a także jego udział w stosunku do zaczynu cementowego we wszystkich próbkach pozostaje bardzo zbliżony. Próbki betonu mają masywną i całkowicie bezładną i makrojednorodną teksturę. W jasnoszarej masie matrycy cementowej widoczne są liczne, ostrokrawędziste ziarna czarnych skał wulkanicznych. Wymiary tych ziaren wahają się od 2 do 35 mm. Bardzo nieliczne wydłużone makropory występują przede wszystkim pod większymi ziarnami kruszywa [rysunek 1]. Ich długość nie przekracza 10 mm, a rozwartość 3 mm.

Jak można było oczekiwano, analiza mikroskopowa potwierdziła, że w betonie zastosowano dwa rodzaje kruszywa – łamane grube kruszywo wulkaniczne i piasek kwarcowy z dodatkiem żwiru, o drobnym uziarnieniu. Oszacowany na podstawie analizy obrazu stosunek kruszywa grubego do piasku mieści się w przedziale od 47: 52 do 52:48. Ogólna objętościowa zawartość kruszywa w betonie nieznacznie przekracza 70%.

Wyniki wstępnych badań właściwości betonu z nawierzchni podano w tablicy 1. Na podkreślenie zasługują bardzo niewielkie różnice pomiędzy tymi wynikami uzyskanymi na próbkach pobranych z trzech różnych fragmentów nawierzchni.

Tablica 1

PODSTAWOWE WŁAŚCIWOŚCI BETONU

Właściwość	Jednostki	Zakres wyników uzyskanych z badań trzech fragmentów nawierzchni
Gęstość pozorna w stanie powietrzno-suchym	kg/m ³	2 567 do 2 584
Gęstość pozorna w stanie suchym		2 442 do 2 494
Gęstość właściwa [metoda helowa]		2 728 do 2768
Porowatość całkowita	% obj.	9,9 do 11,7
Średnia wytrzymałość na ściskanie	MPa	88,3
Przepuszczalność oznaczona przy przepływie azotu (Metoda RILEM-Cembureau)	10 ⁻¹⁶ m ²	0,249 do 0,836

3. Petrograficzne właściwości kruszywa

3.1. Metody

Petrograficzne właściwości kruszywa zbadano metodami mikroskopowymi. Stosowano mikroskop Olympus BX51 i klasyczne preparaty w postaci cienkich płyt o grubości 0,03 mm. Ilościowy skład petrograficzny kruszywa oznaczono metodą punktową, stosując ręczny przesuw preparatu.

2. General characteristic of concrete

The preliminary examination of concrete has shown that in the whole profile of the plate thickness it has homogeneous composition and is not showing privileged texture. The proportion of aggregate to cement paste in all samples remains approximate. Concrete samples have massive and completely disorderly texture. In a bright gray cement matrix the numerous sharp edged grains of black volcanic rock are visible. These grains dimension are in the range from about 2 to about 35 mm. Few elongated macropores are located chiefly under bigger aggregate grains [Fig. 1]. Their length are shorter than 10 mm and they are less than 3 mm thick.

Pores quantity is slightly increasing in upper part of concrete i.e. of pavement.

As it should be expected the microscopy analysis is confirming that in concrete two types of aggregates were applied – crushed volcanic alkaline rocks and quartz sand with fine grained gravel. Rate of coarse aggregate to sand is approximate and show the range from 47:52 to 52:48. Both types of aggregate represent together a little above 70% by volume of concrete.

The results of preliminary tests of concrete from pavement properties are summarized in Table 1. Homogeneity of properties from three fragments of pavement from different places should be underlined.

3. Petrographic characteristic of aggregate

3.1. Method

Examination included the macroscopic observation and the microscopic examination. For the last one the light microscopy Olympus BX51 and the thin plates of 0.03 mm was used. For aggregate quantitative petrographic composition the point method was applied, with hand preparation shifts.

3.2. Results

The majority of coarse aggregate grains have adelogenetic structure. Somewhat rarely grains with phryic structure with numerous

Table 1

BASIC PROPERTIES OF CONCRETE

Property	Units	Range of results obtained for three pavement fragments
Apparent density in air-dry condition	kg/m ³	2 567 to 2 584
Apparent density in dry state		2 442 to 2 494
Specific gravity (hel method)		2 728 to 2768
Total porosity	% by vol.	9,9 to 11,7
Average compressive strength	MPa	88,3
Permeability to air (RILEM-Cembureau method)	10 ⁻¹⁶ m ²	0,249 to 0,836

3.2. Wyniki

Większość kruszywa grubego ma strukturę afanitową. Nieco rzadziej spotyka się ziarna o strukturze porfirowej z licznymi fenokryształami zabarwionymi na kolor brunatny lub zielono-żółty. Wielkość fenokryształów nie przekracza 1 mm. Obok opisanych okruchów skał wulkanicznych, w matrycy cementowej widoczne są wyraźnie mniejsze (do 1 mm), zazwyczaj dobrze obtoczone, jasne ziarna kwarcu oraz pojedyncze, czerwono zabarwione okruchy skaleni [rysunki 2 i 3]. Obok ziaren kruszyw w zaczynie cementowym widoczne są nieliczne, zazwyczaj wydłużone pory, w ilości 1-2% objętościowych. Wyniki ilościowej analizy petrograficznej zebrane w tablicy 2.

Kruszywo grube składa się z ostrokrawędziowych ziaren czarnych skał wulkanicznych; wielkość tych ziaren wahą się od 2 do 35 mm, przy czym większość z nich ma wymiary przekraczające 10 mm. Mają one skład nefelinowy, a drugim składnikiem w kruszywie grubym jest bazalt oliwinowy. Oba te składniki mają kolor czarny. Udziały tych składników w badanych próbkach mieszczą się w przedziale od 75:25 do 63:37. Makroskopowo ich struktura jest afinitowa, rzadko porfirowa. Pod mikroskopem wykazują w pełni porfirową strukturę i liczne fenokryształy oliwinu. Jest więcej niż prawdopodobne, że kruszywo grube pochodzi z dwóch złóż.

Nefelinit składa się głównie z drobnokrystalicznego tła skalnego zbudowanego ze słupkowych kryształów jednoskośnego piroksenu oraz obcokształtnego nefelinu i nieprzeczystego magnetytu. W tle skalnym rozproszone są obcokształtne, niekiedy półwałknoskostalne, fenokryształy oliwinu o rozmiarach od 0,1 do 1 mm [rysunek 2].

Bazalt ma strukturę zbliżoną do nefelinitu. W odróżnieniu od tego ostatniego, tło skalne zbudowane jest z listewkowych kryształów plagioklazu, obcokształtnego piroksenu oraz nieprzeczystego magnetytu. Tworzący wyraźnie większe fenokryształy oliwin jest zazwyczaj prawie całkowicie zastąpiony przez czerwono zabarwiony iddingsyt [rysunek 3].

Piasek kwarcowy składa się z ziaren o zróżnicowanej wielkości od 0,05 do 5 mm. Ziarna grubsze [większe od 0,5 mm] są zazwyczaj dobrze obtoczone, zaś ziarna drobne pozostają najczęściej ostrokrawędziowe. Skład petrograficzny piasku jest dość urozmaicony. Głównym jego składnikiem są zazwyczaj dobrze obtoczone ziarna kwarcu, zarówno mono- jak i polikrystaliczne; stanowią one od około 83% do około 87% kruszywa drobnego. Pozostałe kilkanaście procent stanowią fragmenty skał, głównie osadowych oraz okruchy skaleni [tablica 2].

Pośród ziaren kwarcu przeważają bezbarwne, przeźroczyste ziarna monokrystaliczne, które stanowią od 3/4 do 2/3 ziaren piasku, w różnych próbkach. Znacznie mniej liczne są polikrystaliczne ziarna kwarcu, pochodzące głównie ze skał metamorficznych [rysunek 4]. W kruszywie drobnym, poza ziarnami kwarcu występują małe (< 2 mm) pojedyncze ziarna skalenia [rysunek 5], a w kruszywie grubym [nawet o średnicy 8 mm] okruchy skał głównie osadowych, rzadziej metamorficznych i magmowych.



Rys. 1. Tekstura betonu

Fig. 1. Texture of concrete

phenocrysts dark brown or yellow-greenish are seen. The size of phenocrysts does not exceed 1mm. Apart from volcanic rock chips in cement matrix the apparently smaller [up to 1 mm] usually well reeled quartz grains and singulars, red coloured feldspar chips are present [Figs. 2 and 3]. The remaining part is composed of cement paste and sparse pores [1-2% by volume of concrete]. The results of quantitative phase analysis is shown in Table 2.

Coarse aggregate is composed of sharp-edged grains of differentiated shape, dimension from 2 to 35 mm, with advantage of grains above 10 mm. Among the last prevails the chips of volcanic magmatic rock with nepheline composition. Second composition of crushed aggregate are the chips of olivine basalt. The proportion of these components are changing from 75: 25 in sample 1

Table 2

QUANTITATIVE MINERALOGICAL COMPOSITION OF CONCRETE IN % BY VOLUME

Component Składnik	Sample / Próbka	
	1	2
Aggregate	74	71
Aggregate components:		
Nepheline	25,8	23,3
olivine basalt	8,7	13,8
monocrystalline quartz	25,9	21,5
polycrystalline quartz	6,7	7,8
Feldspars	1,6	0,9
mudstone, claystone	0,8	0,6
Sandstone	0,3	1,6
siliceous rocks	2,1	0,7
quartzitic shell	1,3	0,5
Granite	0,7	0,2
Cement matrix	24,9	26,9
Pores	1,2	2,2
Total	100,0	100,0

Okruchy skał osadowych to głównie okruchy drobnoziarnistych piaskowców kwarcowych, niekiedy z glaukonitem [rysunek 6], znacznie rzadziej mułowce i ilowce oraz zbudowane z chalcedonu skały krzemionkowe. Litoklasty skał metamorficznych to nieliczne fragmenty łupków kwarcytowych, zaś skały magmowe reprezentowane są przez pojedyncze okruchy granitu [tablica 2].

Próbki pobrane z górnej części fragmentów nawierzchni betonowej wykazują nieznaczny stopień skorodowania do głębokości 5 mm. Przejawia się to głównie wzrostem zawartości mikrokryształicznego kalcytu, który wypełnia pory w matrycy cementowej [rysunek 7].

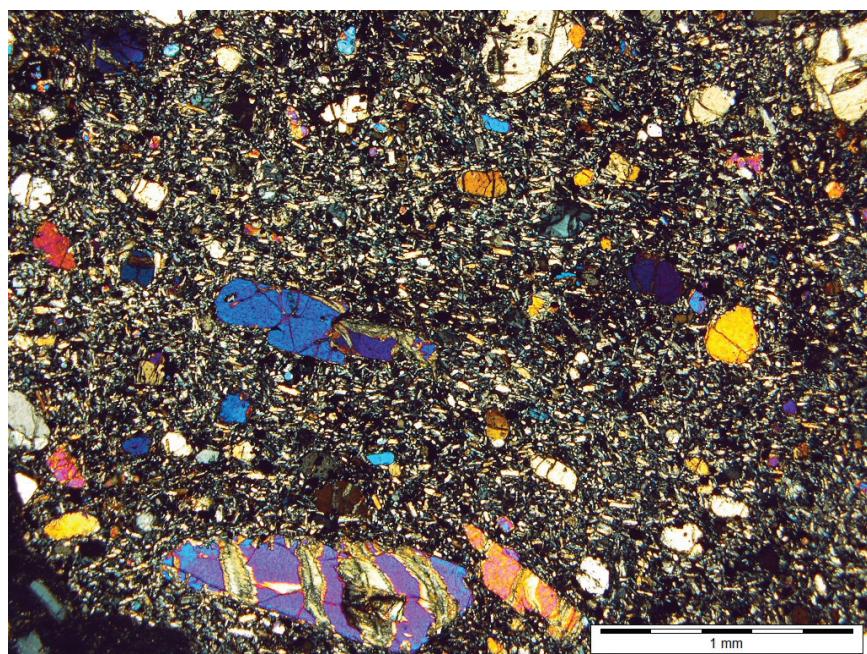
4. Skład matrycy cementowej

Za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego przeprowadzono badania matrycy cementowej, stosując próbki w formie zgładów. Obserwacje przy małym powiększeniu wykazują dobre wiązanie zaczynu cementowego z ziarnami piasku. Nie stwierdzono mikro-spękań w strefach przejściowych [rysunek 8]. Potwierdzają to także obserwacje strefy przejściowej zaczynu z kryształem ortoklazu. Na rysunku 8 widoczne są niezhydratyzowane ziarna cementu i skupienie kryształów ettringitu (po lewej stronie obrazu).

Na rysunku 9 są widoczne dwa duże skupienia kryształów ettringitu [mikroanalizy rentgenowskie na rysunku 10], oraz dobre wiązanie matrycy cementowej z ziarnami piasku. Matryca cementowa, rozmieszczona pomiędzy tymi ziarnami piasku, zawiera niezhydratyzowane ziarna cementu, które wyróżniają się obecnością jasnych kryształów belitu.

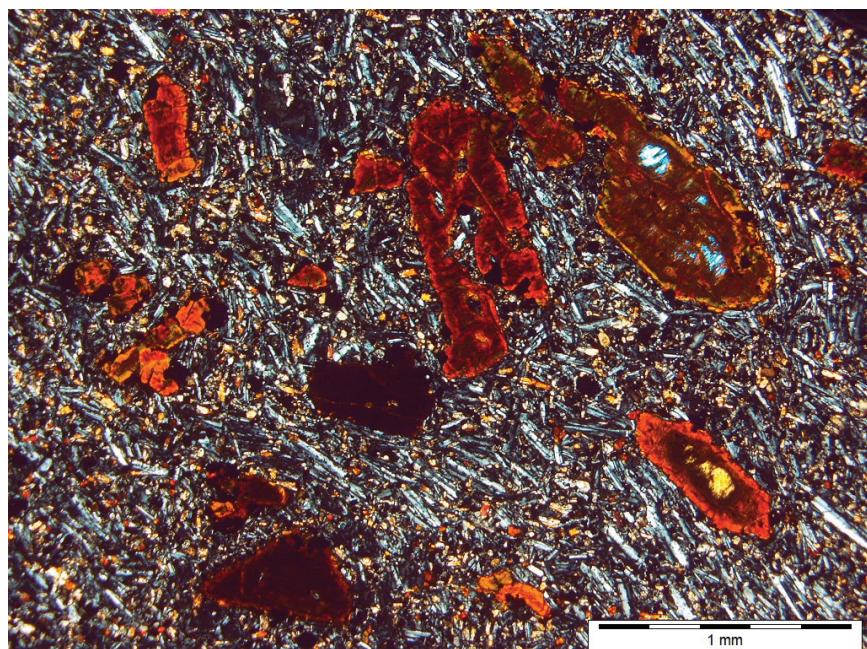
Duża zawartość wspomnianych, niezhydratyzowanych ziaren cementu została potwierdzona w trakcie badania zgładów próbek pod elektronowym mikroskopem skaningowym, przy większym powiększeniu [rysunek 11]. Składają się one głównie z belitu, przy czym ich wielkość jest znaczna, leży w zakresie 60 do 100 µm. Przykład takiego ziarna cementu pokazano na rysunku 11. Duża zawartość belitu potwierdza stosowanie w latach trzydziestych cementów o dużej zawartości tej fazy, bogatych także w brownmilleryt (2).

Obserwacje licznych zgładów betonu pod elektronowym mikroskopem skaningowym wykazały ponadto obecność fazy C-S-H o średnim stosunku C/S, bliskim 1,5 i ziarna cementu bogate w belit [rysunek 11] oraz w brownmilleryt [rysunek 13]. Oddziaływanie soli rozmrażających, w okresach zimowych, spowodowało



Rys. 2. Fenokryształy oliwinu w drobnokryształicznym tle skalnym nefelinitu, polaryzatory skrzyżowane

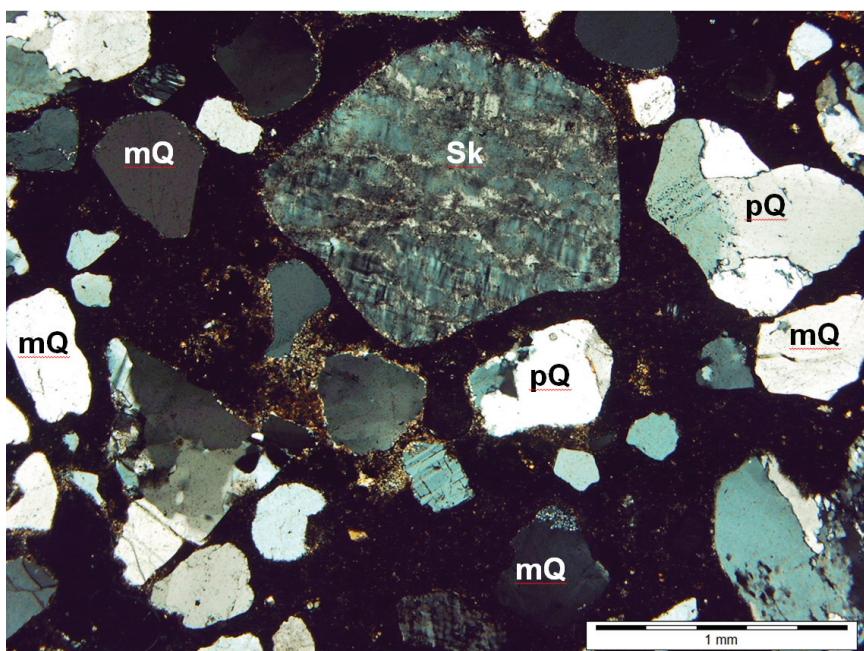
Fig. 2. Olivine phenocrysts in fine-crystalline rock background of nepheline, crossed polarizers



Rys. 3. Fenokryształy oliwinu prawie całkowicie zastąpione przez iddingsyt (brunatna barwa interferencyjna) w drobnokryształicznym tle skalnym bazaltu oliwinowego, polaryzatory skrzyżowane

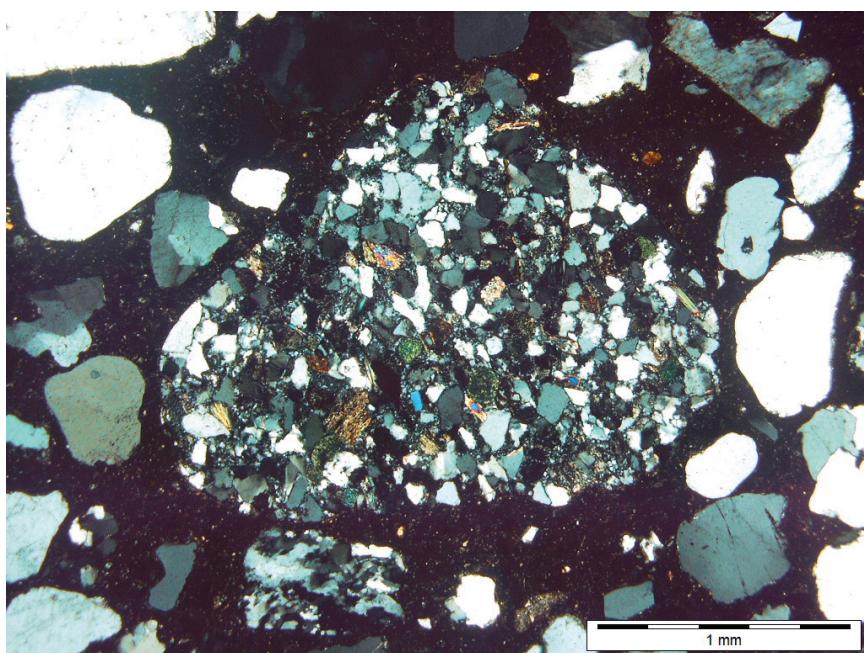
Fig. 3. Olivine phenocrysts almost totally replaced by red coloured iddingsite in fine-crystalline rock background of olivine basalt, crossed polarizers

and 63: 37 in sample 2. Nepheline as well as olivine basalt are black. Macroscopic their structure is adelogenic, seldom phric. Under microscope they show the full crystalline phric structure, with numerous olivine phenocrysts. The origin of these rocks are at least probably two deposits.



Rys. 4. Ziarno skalenia [pertyt ortoklazowy – Sk] pomiędzy monokrystalicznymi [mQ] i polikrystalicznymi [pQ] ziarnami kwarcu, polaryzatory skrzyżowane

Fig. 4. Feldspar grain [Sk] between monocrystalline [mQ] and polycrystalline [pQ] quartz grains, crossed polarizers.



Rys 5. Ziarno piaskowca glaukonitowego pomiędzy ziarnami kwarcu, polaryzatory skrzyżowane

Fig. 5. Glauconite sandstone grain between quartz grains, crossed polarizers

jedynie powstawanie soli Friedla [rysunek 12], bez widocznych uszkodzeń betonu.

Badania mikrostruktury betonu na zgładach pod elektronowym mikroskopem skaningowym wykazały, jak można było oczekiwać, brak alitu i C₃A (3), a nie-zhydratyzowane ziarna są bogate w belit i brownmilleryt [rysunki 11-13].

Nephelinite is composed principally of fine-crystalline background formed of column-like crystals of monoclinic pyroxene and nepheline of distorted morphology and of blackness magnetite. In the rock background there are olivine phenocrysts, sometime of untypical morphology, dimension in the range 0.1 to 1mm [Fig. 2].

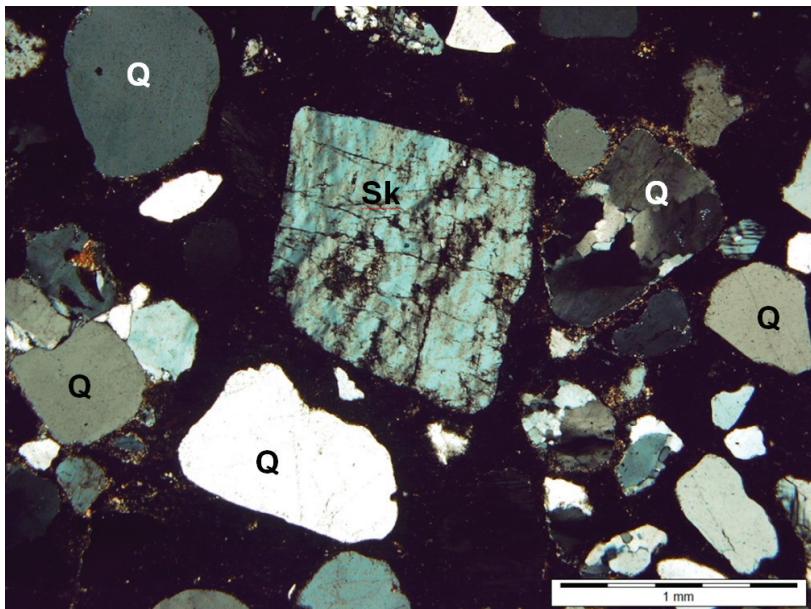
Basalt has a structure similar to nephelinite. Opposite to the last one the rock background is composed of foliaceous plagioclase crystals with distorted pyroxene morphology and blackness magnetite. Sharply larger phenocrysts of olivine are almost totally replaced by red coloured iddingsite [Fig. 3].

Quartz sand is composed of grains of different dimension from 0.05 to 5 mm. Coarser grains [0.5-5 mm] are mostly well reeled, however, fine grains are frequently sharp-edged. Petrographic composition of sand is fairly differentiated. The main component are well reeled quartz grains, mono as well as polycrystalline. They vary from 87% to 83% in different samples. The remaining dozen or so percent are constituting of rock fragments – chiefly sedimentary and chips of feldspars [Table 2].

Among the quartz grains are dominating colourless, transparent monocrystalline grains, which are constituting from 3/4 to 2/3 of all grains, in different samples. Definitely less frequently the polycrystalline quartz grains, coming principally from metamorphic rocks [Fig. 4] are encountered. In concrete, apart of quartz small [< 2 mm] single feldspar grains [Fig. 5] and larger [up to 8 mm] rock fragments, chiefly sedimentary less frequently metamorphic and magmatic, can be found. Chips of sedimentary rocks, principally fine-grained quartzitic sandstone, sometime with glauconite [Fig. 6], subordinate mudstone and claystone as well as composed from chalcedony siliceous rocks. Lithoclases of metamorphic rocks represented by few quartzitic shells, and magmatic rocks are representing by singular granite chips [Table 2].

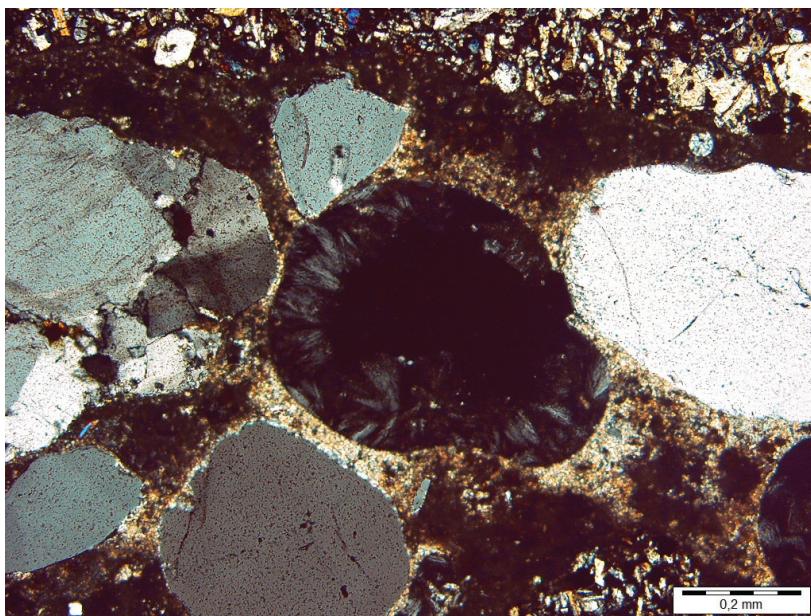
Cement matrix is composed of very fine particles, under 0.02 mm. The majority of components is optically isotropic. In the isotropic background few anisotropic particles can be found, probably conglomerates of ettringite and portlandite, small grains of quartz and calcite [Fig. 6]. In cement matrix few round pores of some mm dimension can be found. Some of them are filled with small platy crystals, probably portlandite [Fig. 7].

The upper part of concrete, thus of pavement, of thickness of about 5 mm is corroded. In this layer the content of microcrystalline calcite is marked, which locally is filling pores in cement matrix [Fig. 7].



Rys. 6. Ziarna skalenia (Sk) i kwarcu (Q) w betonie, pomiędzy ziarnami prawie izotropowa optycznie matryca cementowa, z nielicznymi drobnymi kryształami kalcytu [żółto-brązowe barwy interferencyjne], polaryzatory skrzyżowane

Fig. 6. Grains of feldspar (Sk) and quartz (Q) between isotropic cement matrix with few fine calcite crystals [yellow-brown interference colours], crossed polarizers



Rys. 7. Owalnapora z kryształami kalcytu. Matryca cementowa w znacznej mierze zastąpiona przez kalcyt [żółto-brązowe barwy interferencyjne], polaryzatory skrzyżowane

Fig. 7. Round pore with calcite crystals. Cement matrix is partially replaced by calcite; yellow-brown interference colours, crossed polarizers

Ponadto mała miałość cementu, który musiał składać się z ziaren o wymiarach bliskich 100 µm, wraz ze wspomnianym składem fazowym, spowodowały stosunkowo mały stopień hydratacji cementu, nawet w ciągu 70 lat. Stanowiło to równocześnie wspaniałe zabezpieczenie betonu przed roztworami korozyjnymi, powodując „samoleczenie” jego uszkodzonych mikro-obszarów. Mały stopień hydratacji w tak długim okresie świadczy równocześnie o stosowanym małym stosunku w/c (4). Jedyną domieszką chemiczną,

4. Cement matrix composition

Cement matrix was examined with Scanning Electron Microscopy, on polished section. Examination under low magnification a very good bond of cement paste with sand grains was showing; lack of microcracks in transition zones [Fig. 8]. Transition zone around orthoclase confirms this statements.

Unhydrated cement grains [bright spots in cement matrix] and in left side of Fig. 8 conglomerate of ettringite crystals are seen.

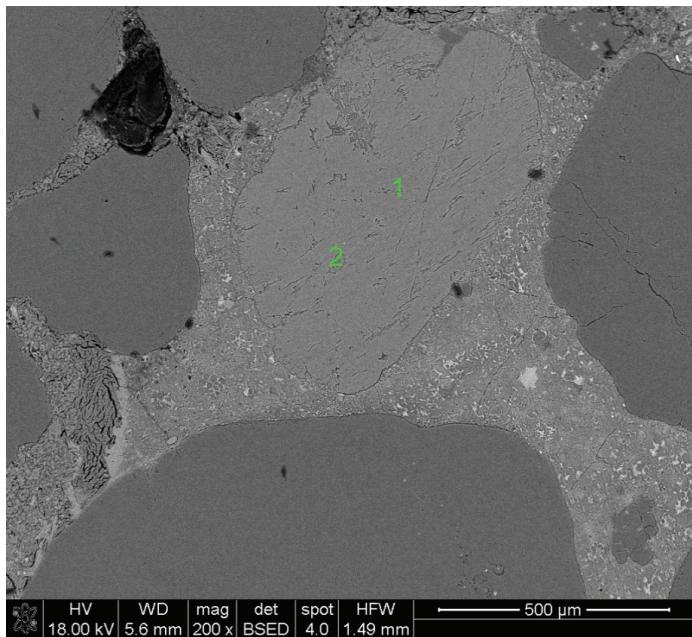
On Fig. 10 two large conglomerates of ettringite crystals [EDS analysis in Fig. 10] are seen and very good bond of cement matrix to sand grains. Between these grains unhydrated cement grains are located, which are marked by white belite spots.

Aforementioned high content of unhydrated cement was verified during examination of samples polished sections under SEM, higher enlargement [Fig. 11]. It was confirmed that they are composed of belite, and these cement grains are relatively large, in the range from about 60 to 100 µm. The example of this cement grains is shown in Fig. 11. High belite content is confirming of cement producing in the thirtieth of XX century reach in this phase and brownmillerite as well (2).

The examination of numerous polished section of concrete under SEM has shown that typical cement matrix is composed of C-S-H phase of medium C/S ratio, close to 1.5 and unreacted cement grains rich in belite [Fig. 11] and brownmillerite [Fig. 13]. Attack of deicing salts, applied during winter, caused the formation of Friedel's salt only [Fig. 12], without visible damage of concrete.

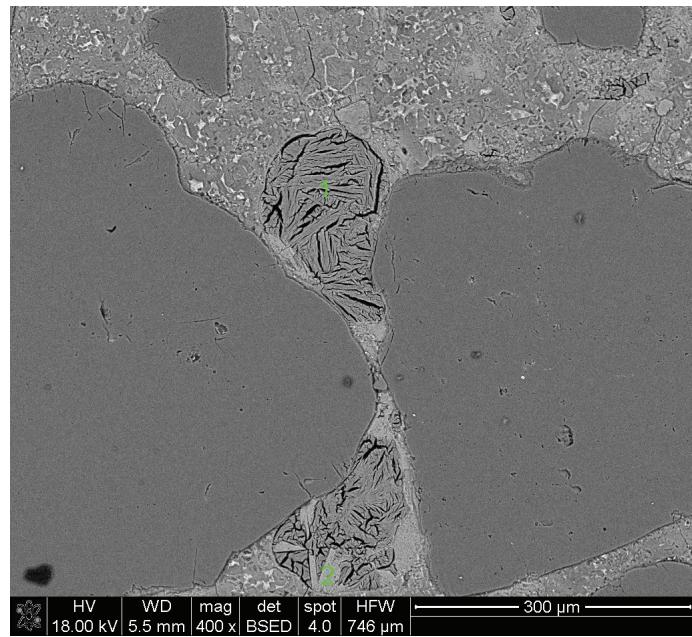
The results of this microstructure examination is showing that, as should be expected, in cement phase composition there is a lack of alite and C₃A(3) and unreacted grains are rich in belite and brownmillerite [Figs. 11-13]. Additionally low fineness of cement, which contained high part of grains in the range close to 100 µm, together with aforementioned cement phases composition, caused relatively very low level of cement hydration, even after 70 years. It was simultaneously the wonderful protection against the influence of aggressive medium and caused the self-healing of damaged microregions of concrete. It means also that concrete was produced with low w/c ratio (4). At these years the only chemical admixture was lignosulfonates (5), which is known as strong retarders (6).

The interfacial transition zone is compact, showing good bond of cement paste with aggregate and, because the last one is of the best quality, it gives together a low permeable and very du-



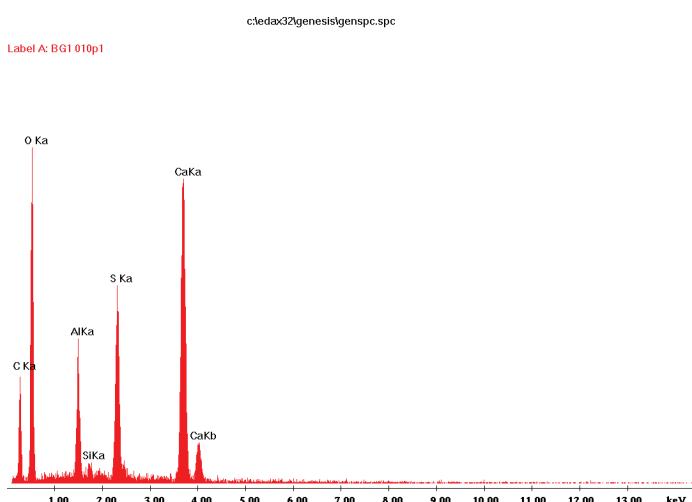
Rys. 8. Matryca cementowa wykazująca dobre wiązanie w strefie przejściowej z ziarnami kwarcu oraz z ortoklazem

Fig. 8. Cement matrix, good bond with quartz sand, and one grain of orthoclase



Rys. 10. Zaczyn cementowy pomiędzy ziarnami piasku, konglomeraty ettringitu, jasne punkty belitu w matrycy cementowej

Fig. 10. Cement paste between sand grains, ettringite conglomerates, bright spots of belite in cement matrix



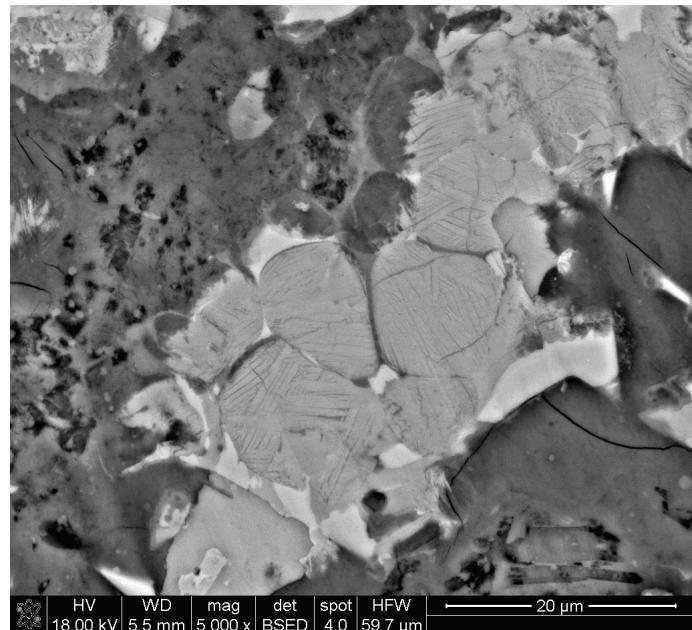
Rys. 9. Mikroanaliza rentgenowska ettringitu pokazanej na Rys. 10

Fig. 9. Ettringite X-ray microanalysis shown in Fig. 10

która mogła być stosowana w tamtych latach były lignosulfoniany (5), które jak wiadomo są silnymi opóźniaczami (6).

Strefa przejściowa jest zbita i pokazuje dobre wiązanie zaczynu cementowego z ziarnami kruszywa, a ponieważ to ostatnie jest bardzo dobrzej jakości, daje to betonowi dużą wytrzymałość i małą przepuszczalność, zapewniając razem niespotykanaą trwałość nawierzchni autostradowej.

Trzeba podkreślić, że ziarna cementu mają bardzo korzystny wpływ na trwałość i wytrzymałość betonu. Ich wiązanie z matrycją

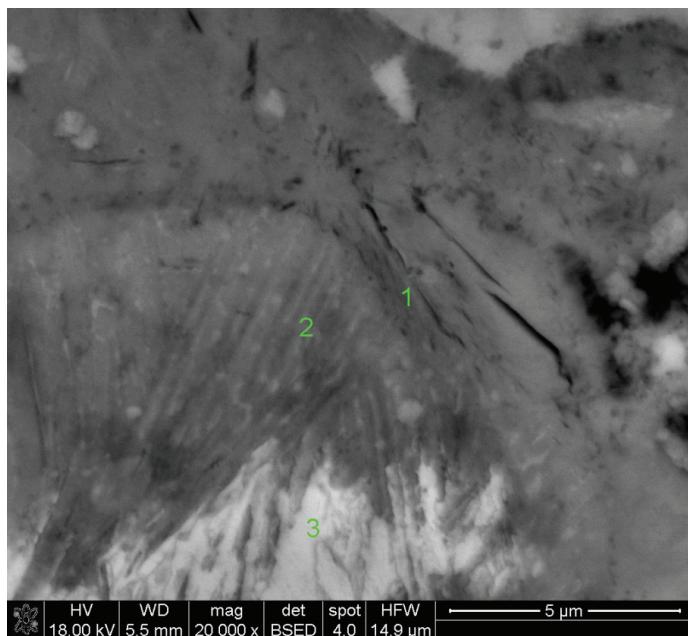


Rys. 11. Ziarno cementu złożone z belitu i brownmilleritu

Fig. 11. Unhydrated cement grain composed of belite and brownmillerite

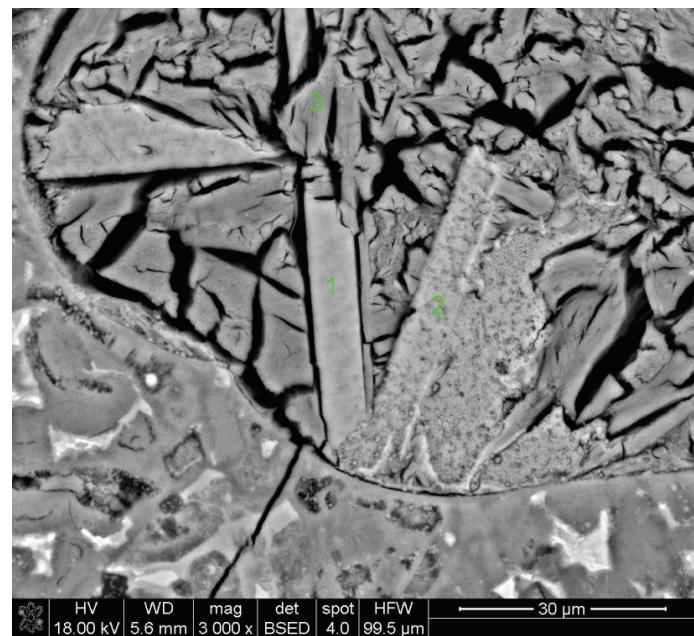
able highway pavement. Results of preliminary examination of concrete properties were showing that the strength is very high, corresponding to High Performance Concrete, in the time when such approach was totally unknown.

It should be underlined that unhydrated cement grains have a very favourable influence on durability and strength of concrete. Their bond with cement paste is very strong and additionally they are a very hard filler, located in small pores. This problem was especially developed by Aïtcin (7).



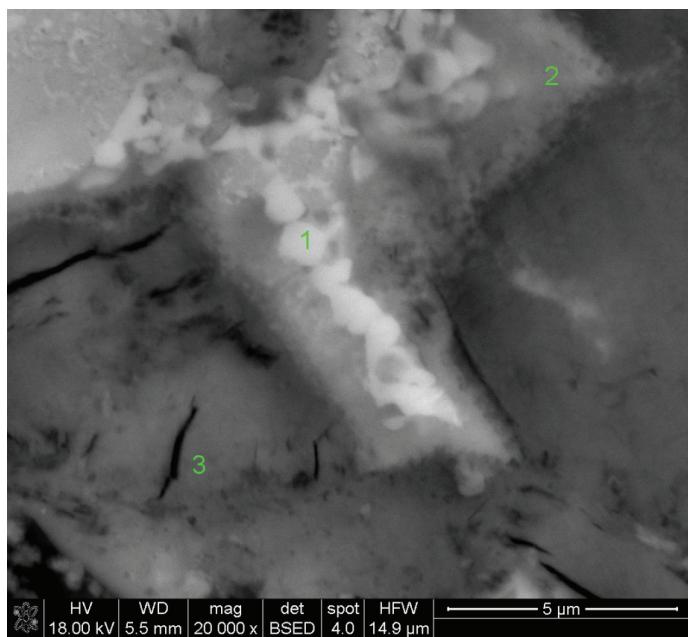
Rys. 12. Sól Friedla [1] i duży kryształ belitu [2]

Fig. 12. Friedel's salt [1] and large crystal of belite [2]



Rys. 14. Kryształy portlandytu w konglomeracie ettringitu

Fig. 14. Portlandite crystals in ettringite conglomerate

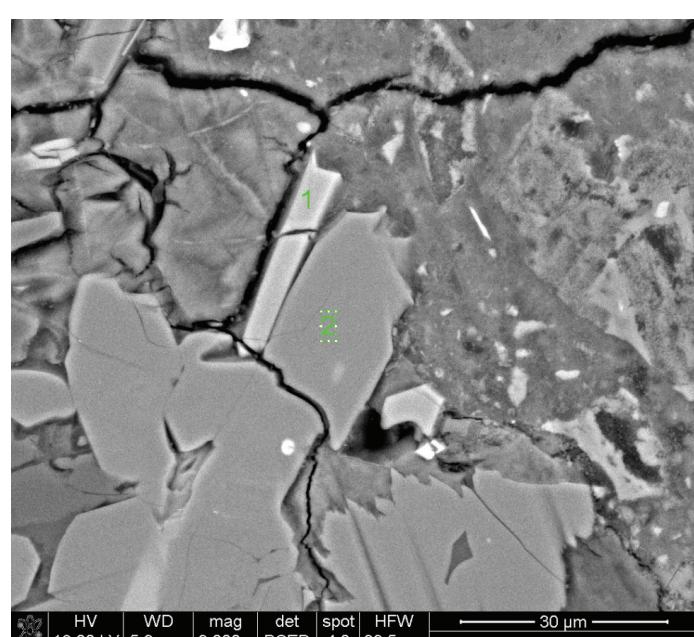


Rys. 13. Ziarno cementu złożone z brownmillerytu

Fig. 13. Unhydrated cement grain composed of brownmillerite

cementową jest doskonałe, a ponadto stanowią one twardy mikro-wypełniacz, rozmieszczony w porach matrycy cementowej. Na to zagadnienie zwrócił uwagę Aitcin (7).

Badania wstępne podstawowych właściwości betonu wykazały, że według współczesnych kryteriów można go zakwalifikować do betonów wysokowartościowych (BWW). Warto dodać, że beton ten pochodzi z czasów, w których to pojęcie było nieznane.



Rys. 15. Ziarno cementu złożone z brownmillerytu i laseczkowaty kryształ apatytu

Fig. 15. Cement grain composed of brownmillerite and small cane of apatite, almost white

5. Conclusions

From the results of preliminary examination of concrete from seventy years old pavement the following conclusions can be drawn:

- 1) basalt is one of the best rock for aggregate production, as it is well known of excellent properties, particularly high strength and good durability and very good grindability as well,

5. Wnioski

Z uzyskanych wyników badań betonu z nawierzchni autostrady po ponad 70 latach eksploatacji oraz jego składników, można wyciągnąć przedstawione dalej wnioski.

- 1) Bazalt należy do najlepszych skał do wytwarzania kruszywa grubego do nawierzchni betonowych. Jest on zresztą znany ze swoich doskonałych właściwości, szczególnie dużych wytrzymałości, bardzo dobrej trwałości w warunkach eksploatacji nawierzchni i małej ścieralności.
- 2) Cement bogaty w belit i brownmilleryt zapewnia uzyskanie betonu o dobrej wytrzymałości i trwałości rozpatrywanej w bardzo długim okresie eksploatacji.
- 3) Mały stopień rozdrobnienia cementu, wraz z jego składem fazowym przy równocześnie małym w/c, daje mały stopień hydratacji i zapewnia dużą zawartość nieuwodnionych faz klinkierowych, co w konsekwencji umożliwia zabezpieczenia betonu przed roztworami korozyjnymi i „samoleczeniem” ewentualnych uszkodzeń.
- 4) Skład fazowy cementu oraz niewątpliwie mały stosunek w/c przyczyniły się do utworzenia dobrych wiązań zaczynu z ziarnami kruszywa oraz bardzo zwartej strefy przejściowej.

Należy podkreślić, że przedstawione badania, aczkolwiek dostarczają bardzo ciekawych informacji, to jednak stanowią etap wstępny. Konieczne są dalsze prace zmierzające do wykorzystania dotychczasowych doświadczeń w budowie trwałych nawierzchni betonowych. Ich celem jest przede wszystkim dobór właściwego składu spoiwa cementowego oraz składu betonu do wykonywania nawierzchni autostradowych.

Literatura / References

1. Gjörv E., Vennesland O., Cem. Concr. Res., **9**, 229 (1979).
2. Kühl H., Zement Chemie, Verlag Technik, Berlin 1952.
3. Taylor H.F.W., Cement Chemistry, Academic Press, London 1990.
4. Aïtcin P.C., Mindess S., Ecostructures en Beton, Eyrolles, Paris 2013.
5. Scripture Jr. E. W., 1937. Induration Composition for Concrete. US Patent 2081643 A, filed February 5, 1937 and issued May 25, 1937. [After: Science and Technology of Concrete Admixtures, Eds P.C. Aïtcin and R. Flatt].
6. Mollah M.Y.A., Palta P., Hess T.R., Vempati R.K. and Cocke D.L., Cem. Concr. Res., **25**, 671 (1995).
7. Aïtcin P.C. and R. Flatt, Science and Technology of Concrete Admixtures, Edited by PC Aïtcin and R. Flatt, Woodhead Publishing Series.

- 2) cement rich in belite and brownmillerite is assuring high strength and durability of concrete during very long period of exploitation,
- 3) low cement fineness, which is influencing, together with cement phase composition, on low degree of cement hydration, is assuring high content of unreacted cement that gives excellent protection of concrete against different forms of attack.
- 4) cement composition and undoubtedly low w/c ratio assure a very good bond of cement matrix with aggregate grains and very compact interfacial transition zone.

It should be underlined that, however, the experimental results of the old concrete pavement examination are very interesting, they are preliminary and further research are needed to come to final conclusions, which will undoubtedly have substantial influence of our approach to cement and concrete quality for pavement Hay Way production.