

Wpływ reakcji alkaliów z kruszywem krzemionkowym na trwałość betonu

Influence of Alkali-Silica Reaction on Concrete Durability

1. Wprowadzenie

Trwałość betonu definiuje się jako zespół właściwości, które pozwalają na pełnienie przez beton zaprojektowanej funkcji w możliwie najdłuższym czasie eksploatacji (1). Okazuje się jednak, że wiele konstrukcji betonowych wykazuje niewystarczającą trwałość (2). Obserwowane uszkodzenia betonu są liczne i występują znacznie wcześniej niż przewidywany okres eksploatacji w konstrukcjach normalnie użytkowanych. Niedostateczna trwałość przejawia się zniszczeniem betonu, które może być spowodowane czynnikami zewnętrznymi albo może być wynikiem działania czynników wewnętrznych występujących w samym betonie. Jedną z przyczyn wewnętrznego niszczenia betonu są reakcje kruszywa z alkaliami (3).

Następstwem reakcji alkaliów z krzemionką w konstrukcji betonowej może być obecność żelu wypływającego na powierzchnię betonu, odpryski kruszywa i betonu, a nawet całkowite zniszczenie elementów konstrukcji.

W oparciu o wyniki badań własnych i dane literaturowe w pracy przedstawiono etapy reakcji alkaliów z kruszywem krzemionkowym i jej wpływ na trwałość betonu.

2. Reakcja i proces ekspansji

Reakcja alkaliów z krzemionką niezmiennie jest wykorzystywana do opisu chemicznej reaktywności kruszyw z alkaliami, a także przypadków niszczenia betonu przez produkty tej reakcji. Zarówno czynniki chemiczne jak i mechaniczne oddziałują w złożony sposób na te procesy, w wyniku czego powstają różne formy obserwowanej destrukcji betonu (tablica 1). Znaczenie tych czynników w reakcji alkaliów z kruszywem było przedmiotem wielu badań (4).

Zachodzenie niszczących procesów w betonie wynika zarówno z podatności ziaren kruszywa na reakcje z wodorotlenkami sodu i potasu jak i właściwości ekspansywnych produktów reakcji. Przebieg ekspansji w wyniku reakcji alkaliów z kruszywem krzemionkowym w betonie można podzielić na etap początkowy, etap szybkiego wzrostu rozszerzalności i etap jej zaniku (rysunek 1). Można przypuszczać, że w etapie drugim zachodzi powstawanie znacznych ilości ekspansywnego żelu (5).

2.1. Etap początkowy

W początkowym okresie powstają pewne ilości produktów reakcji alkaliów z krzemionką, natomiast nie towarzyszy im ekspansja betonu. Zależy to od właściwości pęczniących produktów reak-

1. Introduction

Concrete durability is defined as a set of properties which enable the concrete to perform the designed functions over a possibly long operation timespan (1). Yet it appears that many concrete constructions demonstrate insufficient durability (2). The observed concrete damage is abundant and develops much earlier than the end of the assumed operation timespan of structures in a standard use. This insufficient durability manifests itself through concrete deterioration which may be caused by external factors, or the operation of internal factors acting within the concrete itself. The alkali-aggregate reactions (3) constitute one of the internal causes for concrete deterioration.

The consequence of alkali-silica reactions in a concrete structure may be the presence of the gel flowing onto the concrete surface, aggregate and concrete chipping, and even a complete destruction of construction elements. In the present paper, in the light of the author's research and literature data, the stages of alkali-silica reactions as well as their influence on concrete durability have been presented.

2. Reaction and Expansion Process

The alkali-silica reaction is invariably applied to the description of both the aggregate chemical reactivity with alkalis and the cases of concrete deterioration due to the products of this reaction. Both chemical and mechanical factors influence, in a complex manner, these processes and, due to this, a variety of forms of concrete destruction are observed (Table 1). The significance of these fac-

Table 1

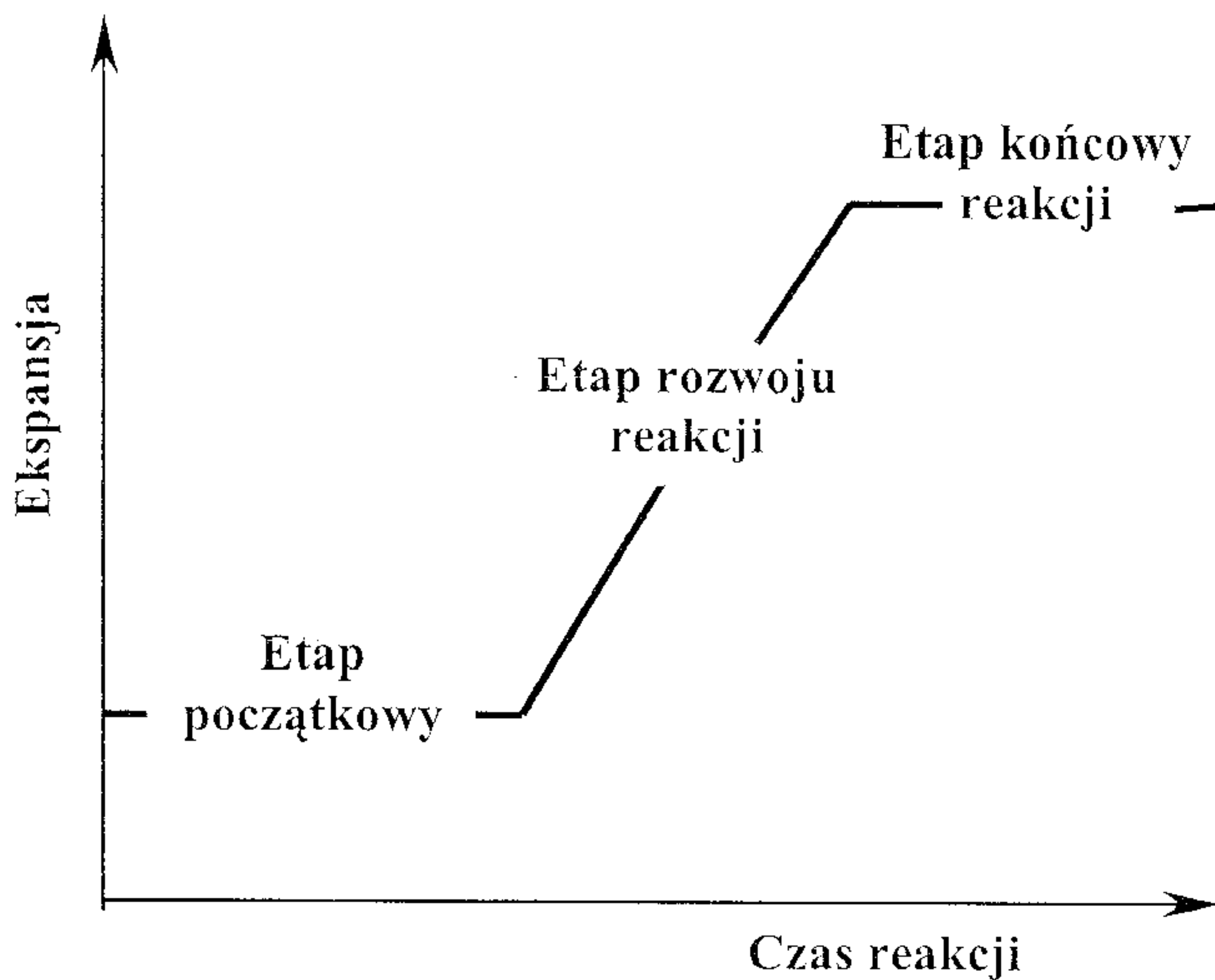
FACTORS INFLUENCING THE BEHAVIOUR OF CONCRETE STRUCTURES CONTAINING ALKALI-REACTIVE AGGREGATE (4).

Concrete composition	reactive aggregate type and content, size of reactive aggregate grains, cement type, mineral additions, chemical admixtures, concrete mix composition, particularly w/c, air content, fibre reinforcement and its content
Manufacturing process	mixing, densification, concrete curing
Application	forming method, element size, reinforcement, content and placement, stress from external load and pre-compression
Surrounding environment	temperature change level and cycles, water supply (from the air or through capillary pull, continuous or cyclic), alkali supply (from sea water, de-icing salts)

Tablica 1

CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA ZACHOWANIE SIĘ KONSTRUKCJI Z BETONU Z KRUSZYWEM REAKTYWNYM (4)

Skład betonu	Rodzaj i zawartość reaktywnego kruszywa, wielkość ziaren kruszywa reaktywnego, rodzaj cementu, dodatki mineralne, domieszki chemiczne, skład mieszanki betonowej, szczególnie w/c, zawartość powietrza, zbrojenie włóknami i ich zawartość
Proces wytwarzania	Mieszanie, zagęszczanie, warunki dojrzewania
Przeznaczenie	Sposób formowania, wielkość elementów, stopień zbrojenia i jego ułożenie, naprężenia pochodzące od obciążenia zewnętrznego i sprężenia wstępnego
Otoczające środowisko	Poziom i częstotliwość zmian temperatury, dostarczanie wody (z powietrza lub przez podciąganie kapilarne, stałe lub cykliczne), dostarczanie alkaliów (z wody morskiej, z soli odladzających)

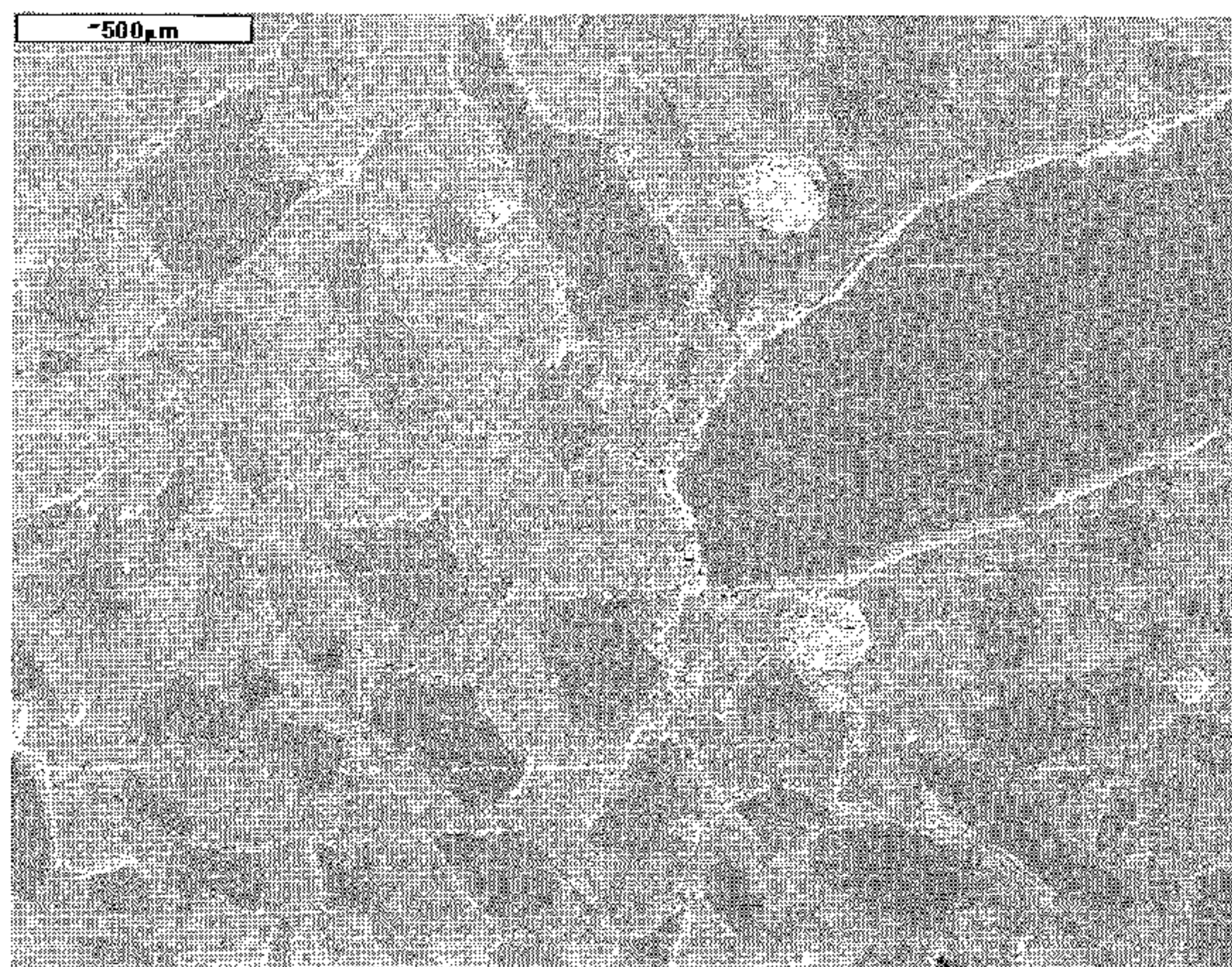


Rys. 1. Przebieg ekspansji betonu w czasie reakcji alkalia-krzemionka.

cji oraz od szybkości ich migracji od ziaren kruszywa do zaczynu cementowego.

Produkty reakcji, będące żelami krzemianów sodowo-potasowych, są bardzo higroskopijne i absorbują duże ilości wody z otoczenia (6).

Do właściwości fizycznych żelu decydujących o rozszerzalności betonu należy jego lepkość i wielkość wytwarzanego ciśnienia. Lepkość żelu krzemianów sodowo-potasowych zależy od ich składu, zawartości wody i temperatury. Także rodzaj kationu ma wpływ na lepkość żelu; żele krzemianu sodowego mają mniejszą lepkość niż krzemian potasu i przechodzą w sol przy znacznie mniejszej zawartości wody. Duży wpływ na lep-



Rys. 2. Żel krzemianu potasowo-sodowego otaczający ziarno kruszywa i wypełniający mikropęknięcia i pustki powietrzne w zaczynie cementowym.

Fig. 2. Sodium-potassium silicate gel surrounding an aggregate grain and filling the microcracks and air voids in the cement paste.

tors in the alkali-aggregate reaction has been the subject of numerous studies (4).

The occurrence of the deleterious reaction in concrete is due to both aggregate grain susceptibility to sodium- and potassium-hydroxide reactions as well as the product swelling capacity. The course of alkali-silica reactions in concrete may be divided into the preliminary stage, the stage of quick increase of expansion and the stage of expansion decay. (Fig. 1). It is probable that the significant quantity of expansive gel is formed (5) in the second stage.

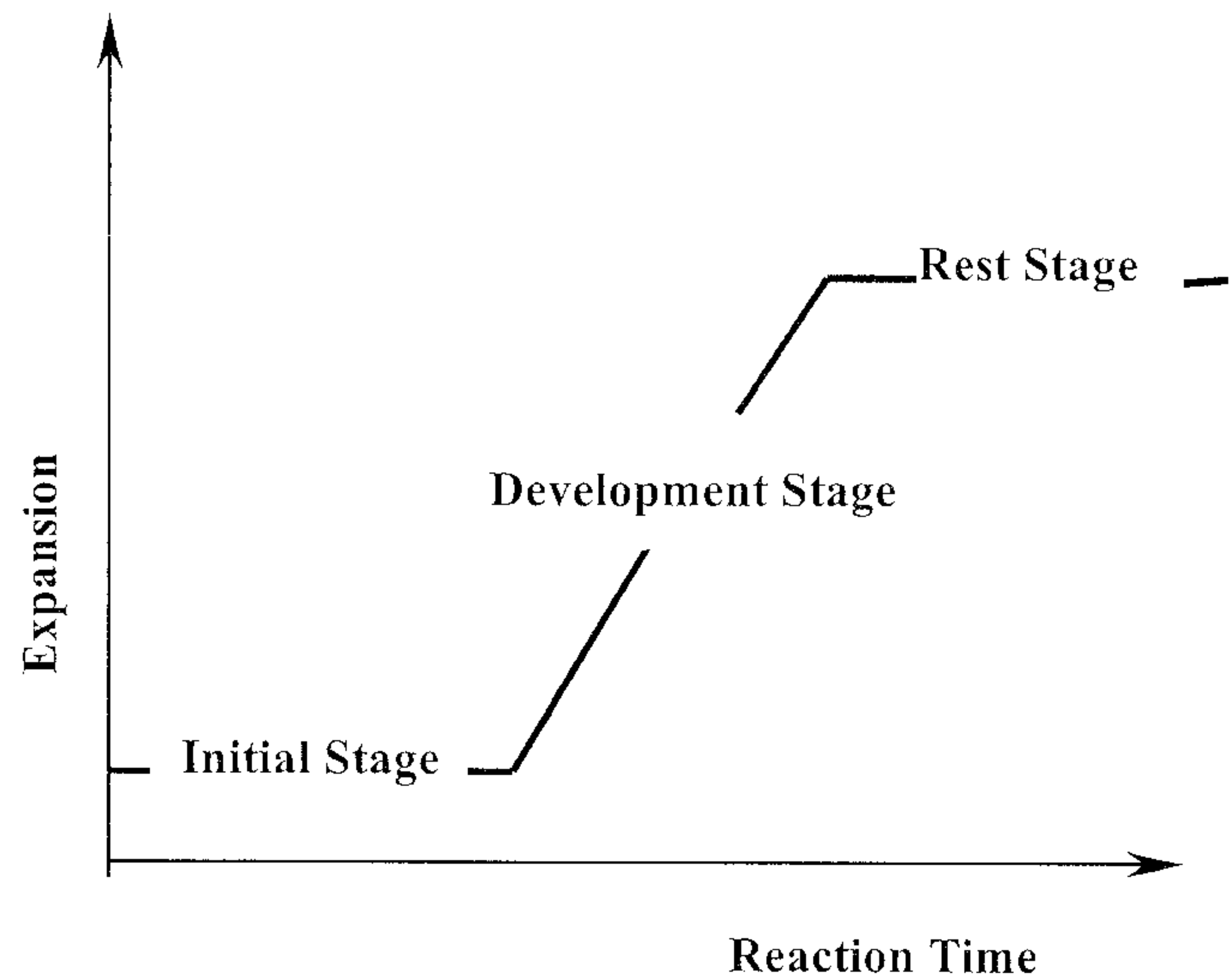


Fig. 1. Progress of concrete expansion process in the course of alkali-silica reaction.

2.1. Initial Stage

In the preliminary stage some reaction products of alkalis with silica are formed, while no expansion of concrete is observed. This depends upon the swelling properties of the reaction products, as well as of the velocity of their migration away from aggregate grains to the interior of cement gel. The reaction products, being the sodium-potassium silicate gels, are very hygroscopic and absorbing large amounts of water from their surroundings (6). The physical properties of the gel which determine the concrete expansion are its viscosity and magnitude of the generated pressure.

The viscosity of sodium-potassium silicate gel depends on its composition, water content and temperature. Also the type of cation size influences the gel viscosity, hence sodium silicate gels have lower viscosity than potassium silicates, and they transfer into sol at a considerably lower water content. A significant influence on sol viscosity has the sodium to silica ratio, and the lowest viscosity is when the Na:Si ratio amounts to ca. 1. Initially, the gel formed in concrete is the potassium silicate of very low K:Si ratio and low water content. This gel has a high viscosity and is capable of swelling (6). Yet, if at the early stage sodium is included, the gel has lower viscosity and moves through the microcracks system

kość żelu ma stosunek zawartości sodu do krzemu, a najmniejszą lepkość wykazują żele o stosunku Na:Si około 1.

Początkowo powstający w betonie żel jest krzemianem potasu o bardzo małym stosunku K:Si i o małej zawartości wody. Żel ten ma dużą lepkość i ma właściwości pęczniące (6). Jednak, gdy już we wczesnym etapie procesu żel zawiera sól, ma on mniejszą lepkość i przemieszcza się łatwo przez system mikropęknięć od miejsca reakcji (rysunek 2).

Duży wpływ na przebieg reakcji alkaliów z krzemionką ma zawartość wody w betonie (3). Przy wystarczająco dużej zawartości wody żel przechodzi w zól o znacznie mniejszej lepkości i może migrować z miejsc reakcji nie powodując powstawania mikropęknięć w betonie. W przypadku masywnych elementów betonowych etap początkowy ujawnia się w postaci niewielkich zarysowań warstw powierzchniowych betonu.

2.2. Etap szybkiej ekspansji

Przebiegowi reakcji alkaliów z krzemionką towarzyszy powstawanie rosnących ilości żelu. W miarę postępu reakcji skład żelu ule-

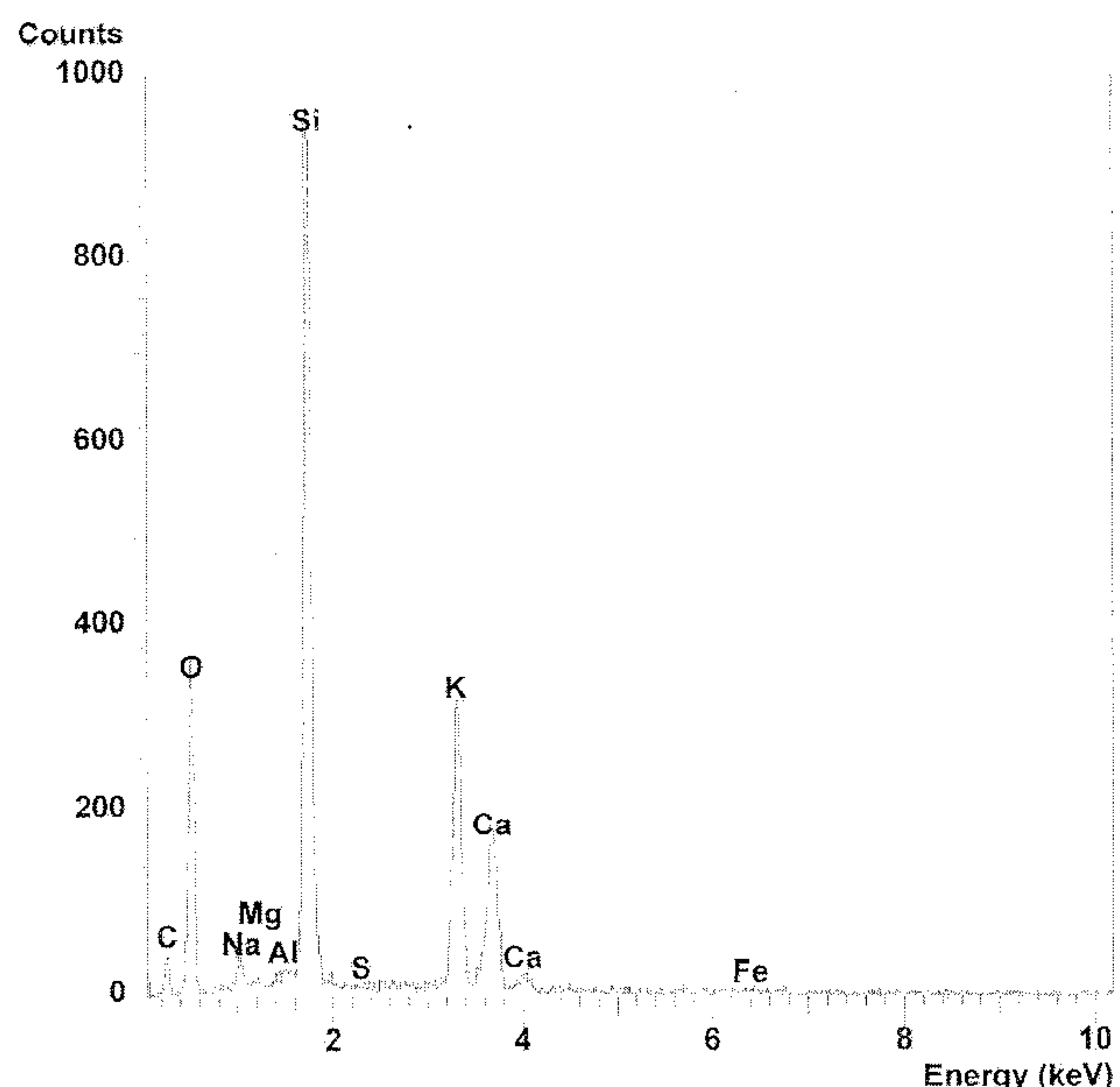
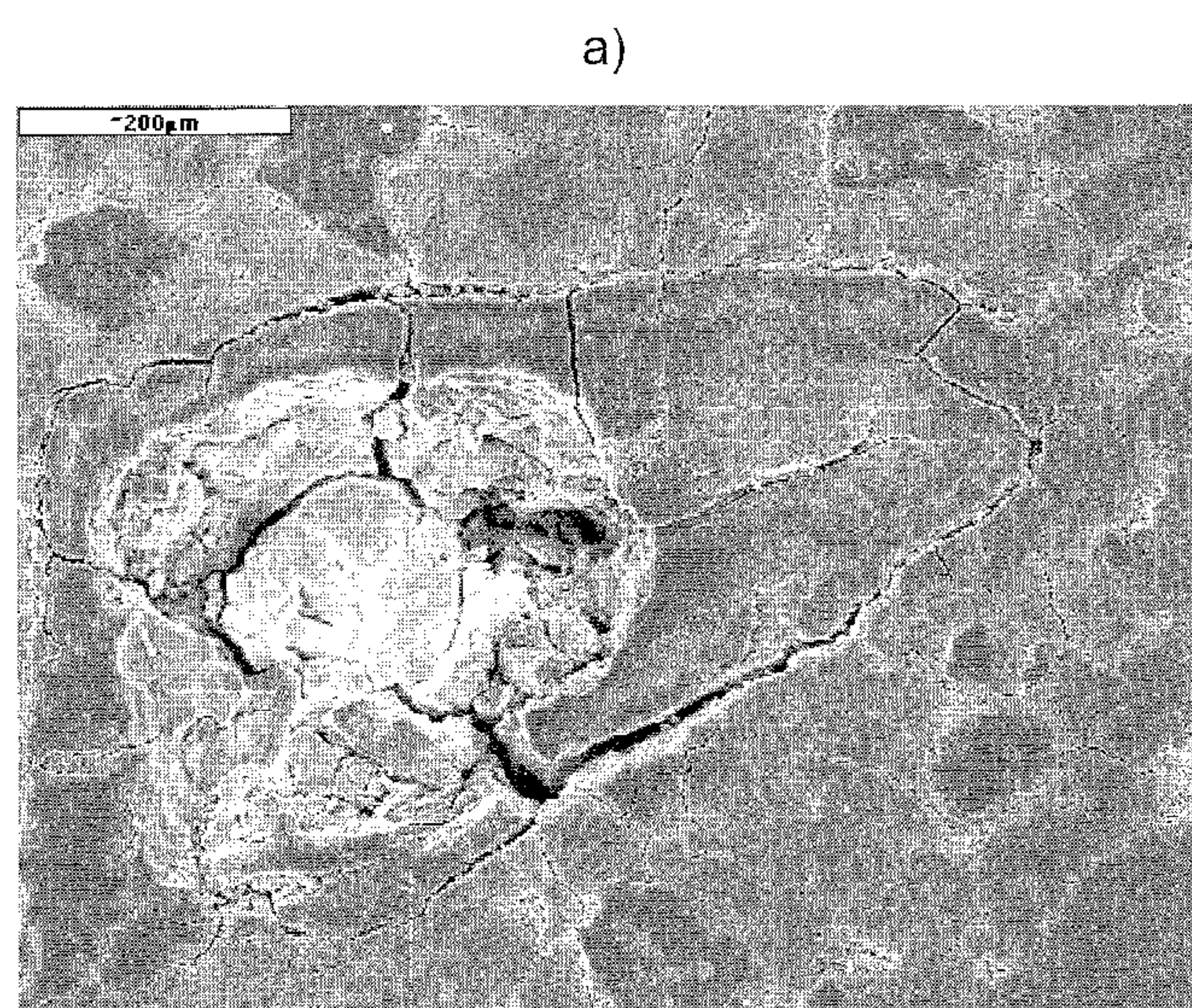
away from the reaction site (Fig. 2).

In the alkali-silica reaction, a significant role is played by the presence of water in concrete (3). At the sufficient water content, the gel transfers into sol of considerably lower viscosity and can migrate from reaction sites, without inducing the deterioration of the concrete structure. In the case of massive concrete elements, the preliminary stage is manifested through small microcracks in surface layers of the concrete.

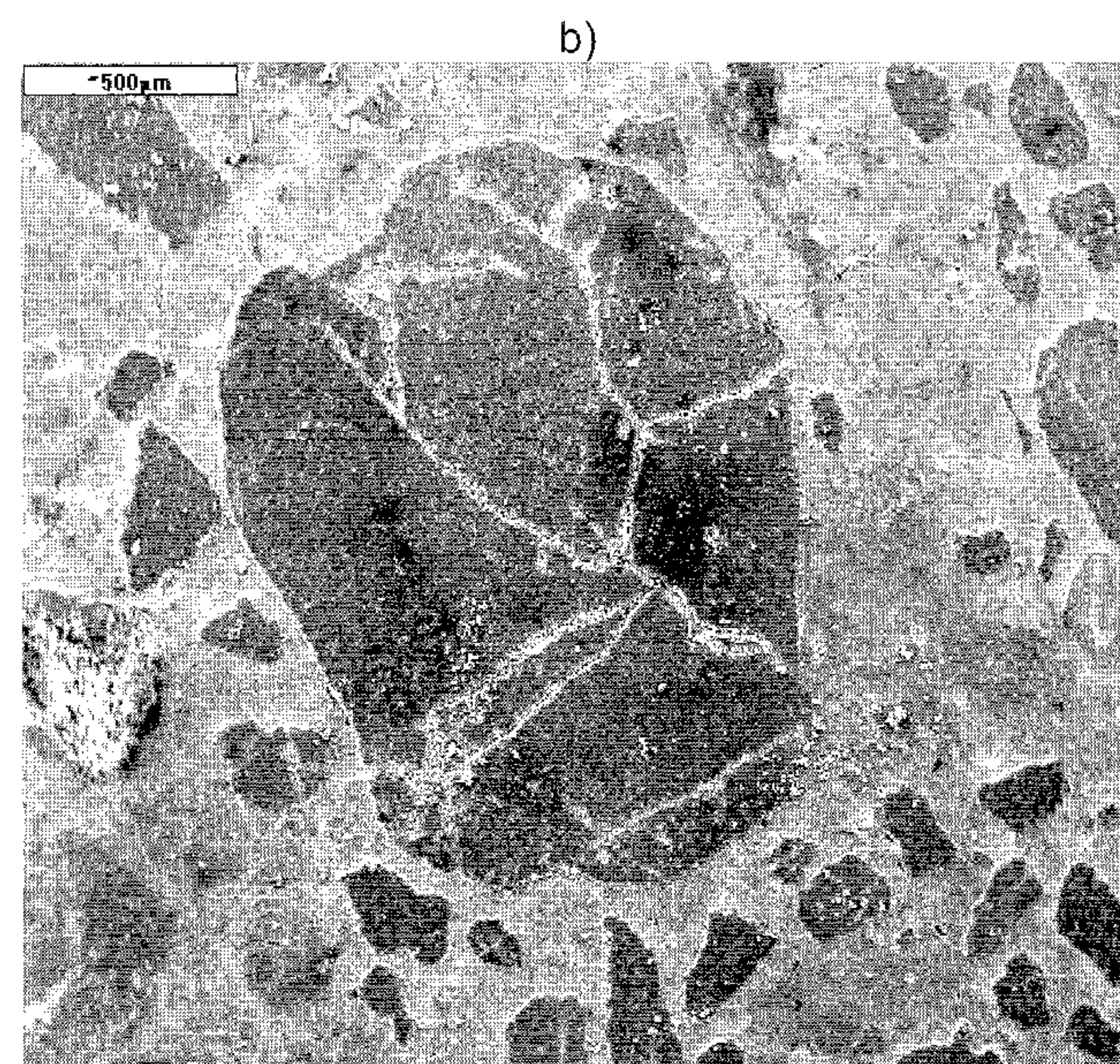
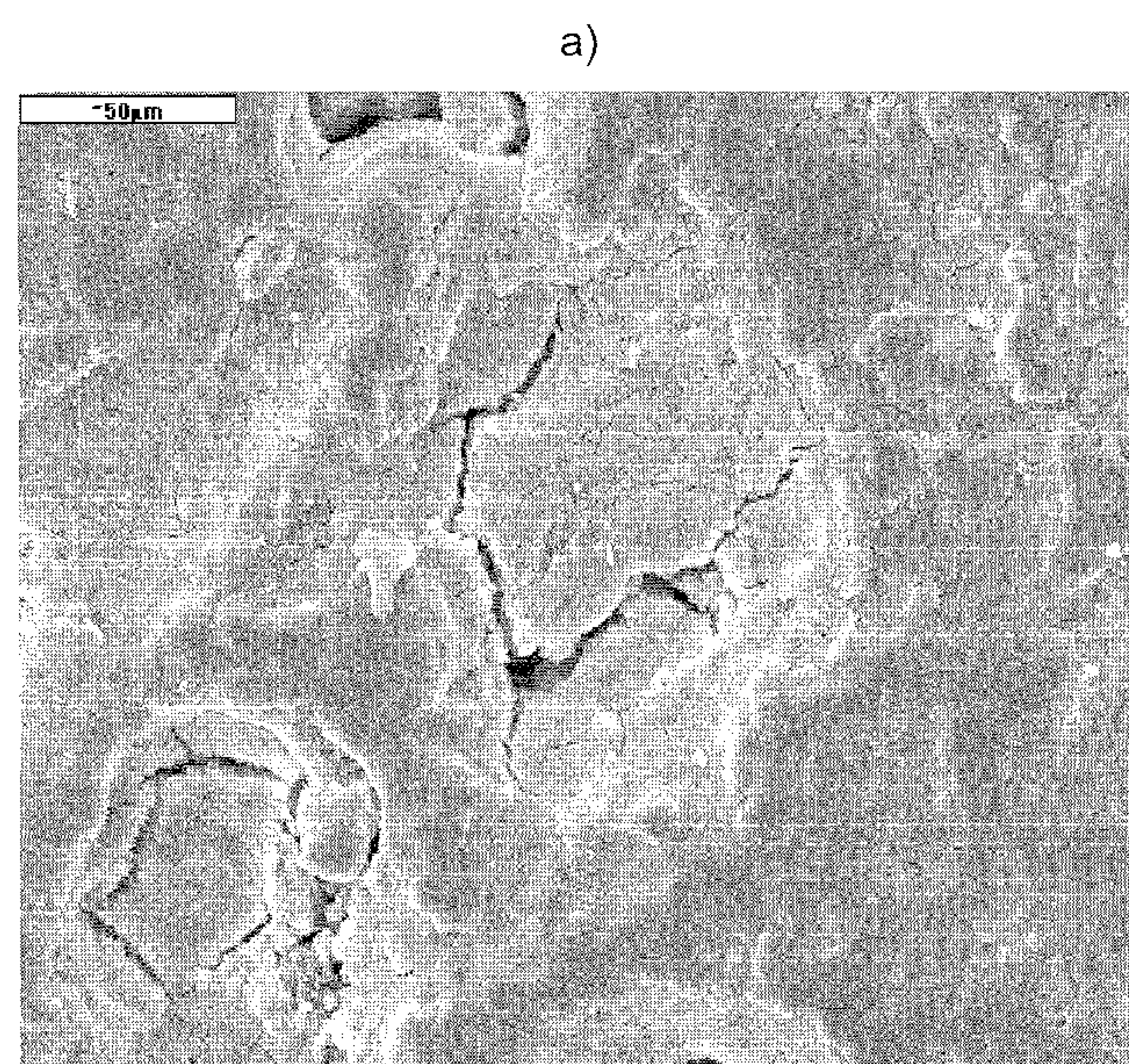
2.2. The Stage of Quick Expansion

In the course of the alkali-silica reaction the increasing quantity of gel is formed. As the reaction continues, the composition of gel is changing and a part of potassium and sodium ions are replaced by calcium and the observed product is a potassium-calcium-sodium silicate (Figs 3a and 3b).

Surveys of the reaction mechanisms and the expansion linked with it have been presented by Diamond (8) and Vivian (9). It is



Rys. 3. a) żel otaczający spękane ziarno opalu, b) skład chemiczny żelu.
Fig. 3. a) Gel surrounding a cracked opal grain; b) Chemical composition of the gel.



Rys. 4. a) mikrostruktura beleczek zaprawy z kruszywem zawierającym chalcedon, b) żel wypełniający mikropęknięcia w ziarnie granitu.

Fig. 4. a) Microstructure of bars of mortar with aggregate containing chalcedony, b) Gel filling the cracks in a granite grain.

