

STRESZCZENIE

Materiały budowlane na bazie cementu, ze względu na swoją porowato-kapilarną strukturę, są narażone na uszkodzenia związane z działaniem wody i wilgoci. W przedstawionej rozprawie doktorskiej analizowano możliwość przeprowadzenia oraz efektywność hydrofobizacji objętościowej w materiałach cementowych z wykorzystaniem związków krzemooorganicznych.

Celem przeprowadzonych badań było zrozumienie i pogłębienie wiedzy dotyczącej mechanizmu działania krzemooorganicznych domieszek hydrofobizujących oraz określenie skuteczności hydrofobizacji objętościowej w ochronie porowatych materiałów cementowych przed wodą. W tym celu zrealizowano badania eksperymentalne dotyczące wpływu i efektywności hydrofobizacji objętościowej przeprowadzonej przy pomocy trietoksyoktylosilanu na właściwości i trwałość takich materiałów jak: zaczyn, zaprawa i beton. Do badań wykorzystano trzy komercyjnie dostępne domieszki hydrofobizujące. Różniły się one między sobą przede wszystkim rodzajem rozpuszczalnika, stężeniem głównego związku krzemooorganicznego (silanu) oraz sposobem i zalecanym dozowaniem. Podjęta tematyka hydrofobizacji w masie związkami krzemooorganicznymi na przykładzie trietoksyoktylosilanu wynikała z ich podobieństwa pod względem budowy i natury chemicznej do nieorganicznych materiałów budowlanych.

W pierwszym etapie badań analizowano wpływ krzemooorganicznych domieszek hydrofobizujących na hydratację i strukturę wewnętrzną zaczynów cementowych. Analizowano również kąt zwilżania, którego wartość określa efektywność hydrofobizacji oraz właściwości sorpcyjne materiału. Kolejno badaniam poddano zaprawy, dla których określono wpływ hydrofobizacji objętościowej na właściwości fizyczne (wytrzymałość na ściskanie oraz absorpcję kapilarną), a także rozkład i wielkość porów. W betonach analizowano wpływ domieszek hydrofobizujących na ich właściwości i trwałość. Zbadano wytrzymałość na ściskanie i absorpcję kapilarną materiału. Badania trwałościowe obejmowały określenie mrozoodporności wewnętrznej betonu oraz wpływ cyklicznego zamrażania i rozmrażania na absorpcję wody, odporność na karbonatyzację i głębokość wnikania wody pod ciśnieniem. Przeanalizowano także skuteczność hydrofobizacji objętościowej w warunkach cyklicznego zamrażania materiału w obecności soli odladzających. W ramach porównania skuteczności hydrofobizacji objętościowej z powierzchniową, badaniam poddano również beton impregnowany środkiem na bazie silanu. Dodatkowo w pracy określono możliwość wykonania i skuteczność hydrofobizacji objętościowej materiałów cementowych z dodatkami mineralnymi takimi jak: pył krzemionkowy i granulowany, mielony żużel wielkopiecowy. W dysertacji przeanalizowano zagadnienia związane z wpływem domieszek hydrofobizujących na hydratację

spoiw cementowych, strukturę wewnętrzną, właściwości fizyczne oraz degradację mrozową materiałów cementowych z wyżej wymienionymi dodatkami mineralnymi.

Cel badań został sformułowany w postaci tez przedstawionych w rozdziale pierwszym. W rozdziale drugim opisano aktualny stan wiedzy na temat spoiw cementowych, ich trwałości, sposobów zabezpieczania przed wodą i wilgocią ze szczególnym uwzględnieniem hydrofobizacji i charakterystyki związków krzemoorganicznych. Rozdział trzeci poświęcono omówieniu wykorzystanych materiałów i ich charakterystyce. W kolejnych rozdziałach, tj. czwartym i piątym, opisano zastosowane metody badawcze i wykonane materiały. W kolejnej części pracy, w rozdziale szóstym i siódmym, skupiono się na omówieniu otrzymanych wyników badań eksperymentalnych i ich dyskusji.

Wyniki badań potwierdziły skuteczność hydrofobizacji objętościowej, co szczegółowo przedstawiono we wnioskach końcowych (rozdział ósmy). Hydrofobizacja objętościowa wykonywana przy pomocy trietoksyoktylosilanu jest efektywną metodą ochrony porowatych materiałów cementowych przed szkodliwym działaniem wody i wilgoci. Co więcej, hydrofobizacja w masie przy pomocy trietoksyoktylosilanu zapewnia trwałość materiałów w warunkach cyklicznego zamarzania wody poprawiając ich mrozoodporność, odporność na wnikanie wody pod ciśnieniem oraz na szybkość wnikania CO₂, która prowadzi do karbonatyzacji i jest skuteczniejsza niż wykonana w pracy hydrofobizacja powierzchniowa. Udowodniono, że hydrofobizacja objętościowa materiałów cementowych z dodatkami mineralnymi jest możliwa i również zapewnia efektywną ochronę materiału przed wodą. Rozprawę zakończono opisem dotyczącym kierunków dalszych badań.

W Załączniku I zamieszczono wyniki badań wstępnych określających efektywność trzech różnych związków krzemoorganicznych (poli(dimetylosiloksanu), wodnego roztworu żywicy metylosilikonowej oraz trietoksyoktylosilan) w procesie hydrofobizacji objętościowej porowatych materiałów cementowych. Uzyskane rezultaty pozwoliły na wybranie najskuteczniejszego, z trzech wymienionych powyżej, związku krzemoorganicznego do hydrofobizacji materiałów na bazie cementu.

SUMMARY

Cement-based building materials, due to their porous structure, are exposed to damage caused by water and moisture. The presented doctoral thesis analyzed the possibility and effectiveness of internal hydrophobization in cementitious materials using organosilicon compounds. The aim of the research was to understand and widen the knowledge of the mechanism of action of organosilicon hydrophobic admixtures and to determine the effectiveness of internal hydrophobization in protecting porous cement-based materials against water. For this purpose, experimental research was carried out on the impact and effectiveness of internal hydrophobization carried out using triethoxyoctylsilane on the properties and durability of materials such as paste, mortar and concrete. Three commercially available hydrophobic admixtures were used. They differed primarily in the type of solvent, the concentration of the main organosilicon compound (silane), and the method and recommended dosage.. The topic of internal hydrophobization by organosilicon compounds (i.e. triethoxyoctylsilane), resulted from their similarity in terms of structure and chemical nature to inorganic building materials.

In the first stage of the research, the influence of organosilicon hydrophobic admixtures on the hydration and internal structure of cement pastes was analyzed. The contact angle, as the value of which is a determinant of the hydrophobization efficiency, and the sorption properties of the material were also analyzed. Subsequently, mortars were tested to determine the impact of internal hydrophobization on physical properties (compressive strength and capillary absorption), as well as the pore size distribution. The influence of hydrophobic admixtures on the properties and durability of concrete was also investigated. The compressive strength and capillary absorption in the material were considered. The durability tests included: frost resistance of concrete and the impact of cyclic freezing and thawing on water absorption, resistance to carbonation and the depth of water penetration under pressure. The effectiveness of internal hydrophobization in material subjected to the cyclic freezing in the presence of salts was also analyzed. To compare the effectiveness of internal and surface hydrophobization, concrete impregnated with a silane-based agent was also tested. Additionally, the study determined the possibility and effectiveness of internal hydrophobization of cement-based materials with mineral additives such as silica dust and granulated, ground blast furnace slag. The dissertation analyzed issues related to the influence of hydrophobic admixtures on the hydration of cement binders, internal structure, physical properties and frost degradation of the mentioned materials. The aims of the dissertation, as main arguments, are presented in the chapter 1. The chapter 2 presents the current state of knowledge about cement binders, their durability, methods of protection against water and moisture, with particular emphasis on hydrophobization and the characteristics of organosilicon compounds. The chapter 3 is devoted

to a discussion of the materials used and their properties. The following chapters, 4 and 5, describe the experimental methods and the prepared materials. The next part of the dissertation, chapters 6 and 7, present the obtained results of experimental research and their discussion.

The presented results confirmed the validity of the dissertation aims, which is presented in detail in the final conclusions (chapter 8). Internal hydrophobization by using triethoxyoctylsilane is an effective method of protecting porous cementitious materials against the harmful effects of water and moisture. Moreover, internal hydrophobization ensures the durability of materials, improve their frost resistance, as well as, resistance to penetration of water under pressure and CO₂, which leads to carbonation. Furthermore, internal hydrophobization is more effective than surface one performed in this dissertation. Moreover, it has been proven that internal hydrophobization of cement-based materials with mineral additives is possible and also provides effective protection against water.

The doctoral thesis is finished with the proposal of further research program. Annex I contains the results of preliminary research determining the effectiveness of three different organosilicon compounds (poly(dimethylsiloxane), aqueous solution of methylsilicone resin and triethoxyoctylsilane) in the process of internal hydrophobization of porous cementitious materials. The obtained results allowed to select of the most effective organosilicon compound from the three mentioned above for the hydrophobization of cement-based materials.