

Streszczenie w języku polskim

Niedobór wody jest głównym czynnikiem ograniczającym przeżywalność roślin w wielu regionach świata. Optymalne zarządzanie tym zasobem jest szczególnie ważne z punktu widzenia produkcji rolnej lub rozwiązań biotechnicznych stosowanych w inżynierii środowiska.

W ostatnich dekadach coraz większym zainteresowaniem cieszą się dodatki doglebowe absorbujące wodę, ze względu na ich zdolność do zatrzymywania wody pochodzącej z opadów lub systemów nawadniania. Jednym z rodzajów współcześnie opracowanych chemicznych dodatków doglebowych zatrzymujących wodę, o zdolności do jej absorbowania w ilościach wielokrotnie przewyższających ich własną masę, są polimery zwane superabsorbentami (SAP). SAPy to usieciowane polimery, które zatrzymują wodę w swojej strukturze przyjmując postać nieregularnych cząstek żelowych, będących magazynem wilgoci dla korzeni roślin.

W kontekście tak korzystnych cech, SAPy mogą wydawać się idealnym rozwiązaniem problemów związanych z zapewnieniem pożądaných warunków dla rozwoju roślin. Jednakże, wymieszanie z glebą i obciążenie jej wierzchnią warstwą może znacznie zmniejszyć zdolność superabsorbentów do absorbowania wody i pęcznienia, zwiększyć erozję gleby i wpłynąć na przepływ wody przez profil glebowy. Dlatego też rzeczywiste zastosowania tych materiałów przebiegają metodą prób i błędów, dając wysoce zróżnicowane wyniki, które ograniczają szerokie zastosowanie superabsorbentów w rolnictwie i inżynierii środowiska. Celem naukowym niniejszej pracy jest opisanie charakterystyki wzajemnych oddziaływań mieszanin SAP z glebą oraz identyfikacja negatywnych zjawisk, takich jak wypór wierzchniej warstwy gleby, obniżenie pojemności wodnej SAPów, czy nadmierne ograniczenie infiltracji.

Rozpatrując SAP-y jako całą grupę materiałów, które mogą być wprowadzone do gleby w postaci granulatu i pęcznić poprzez absorpcję wody, można zaobserwować niespójne wyniki oddziaływań mechanicznych pomiędzy tymi ośrodkami. Warunkiem koniecznym do optymalnego zastosowania mieszanek SAPów z glebą w praktyce inżynierii środowiska i rolnictwie, jest zrozumienie mechanizmów odpowiedzialnych za dynamikę pęcznienia tych materiałów oraz ich wzajemnych interakcji z ośrodkiem porowatym.

Niniejsza praca oparta jest na nowatorskim podejściu metodycznym do precyzyjnych badań laboratoryjnych. Uwzględniając najczęstsze przeszkody w optymalnym wykorzystaniu SAPów, zaprojektowano i wykonano szereg zestawów laboratoryjnych. Umożliwiły one precyzyjne pomiary absorpcji pod obciążeniem, ciśnienia pęcznienia oraz zmian współczynnika filtracji w czasie. Ich głównym zadaniem była symulacja warunków rzeczywistych, tj. obciążenia mieszanki SAPu wierzchnią warstwą gleby, stanu pełnego nasycenia oraz ograniczonej objętości pęcznienia. Ponadto uzyskane wyniki ujawniły nieintuicyjne cechy oddziaływania SAP-ów z ośrodkiem glebowym. Niniejsza praca dostarcza cennych informacji na temat interakcji pomiędzy przestrzenią porową różnych typów gleb, a dynamicznie pęczniącymi cząstkami SAPu. Uzyskane przez autora dane były podstawą do stworzenia matematycznego opisu obserwowanych zjawisk, uwzględniającego wielkość cząstek SAPu i gleby, a także proporcje w jakich są one wymieszane. Docelowo praca ta może pomóc w doborze optymalnej dawki i wielkości ziaren SAPu, które należy zastosować w danej glebie, aby jednocześnie uzyskać pożądaną przepuszczalność i zwiększoną zdolność do zatrzymywania wody w strefie korzeniowej roślin przy minimalnym wpływie na parametry wytrzymałościowe gleby.

Słowa kluczowe: superabsorbenty polimerowe; retencja glebowa; absorpcja pod obciążeniem; ciśnienie pęcznienia; współczynnik filtracji; mieszaniny SAP-gleba

Streszczenie w języku angielskim

Water scarcity is the main factor limiting plant survival in many regions. Optimal management of this resource is particularly important from the point of view of agricultural production or biotechnological solutions used in environmental engineering.

In recent decades, water holding soil additives have attracted increasing interest because of their capacity to retain water from rainfall or irrigation systems. One type of the maturely developed chemical water-saving agents, with ability to absorb water in amounts multiple times higher than their own mass, are superabsorbent polymers (SAP). SAPs are cross-linked polymer networks that absorb water into their structure in the form of irregular gel particles, which are a reservoir of moisture for plant roots. In the context of such favorable features, SAPs may seem to be an ideal solution to the problems related to ensuring the desired conditions for plant development.

However, confinement in soil can markedly reduce the ability of superabsorbents to absorb water and swell, increase soil erodibility and influence water flow through soil profile. Thus, real-world uses of these materials proceed by trial and error, yielding highly variable results that limit the widespread adoption of superabsorbents in agriculture and environmental engineering. Scientific goal of this dissertation is to describe characteristics of mutual interactions of SAP-soil mixtures and identify negative phenomena such as pushing out of the topsoil, lowered water holding capacity or excessive limitation of infiltration.

When we look at SAPs as whole group of materials that can be introduced into soil in form of granules and swell by absorbing water we can observe inconsistent results in mechanical interactions between these media. The necessary condition for the optimum application of SAP and soil mixtures in practical use in environmental engineering and agriculture is to understand the mechanisms that are responsible for the swelling dynamics of these materials and their mutual interactions with the porous medium.

The present work is based on an innovative methodological approach to precise laboratory testing. Taking into account the most common obstacles to the optimal use of SAPs, a number of laboratory setups were designed and manufactured. They enabled precise measurements of absorbency under load, swelling pressure, and changes in coefficient of permeability over time. Their main task was to simulate real-world conditions, i.e. SAP-soil mixture loading with topsoil, full saturation conditions, and limited swelling volume. In addition, the obtained results revealed non-intuitive features of SAPs' interaction with the soil medium. Therefore, the present work provides valuable information on the interaction between the pore space of different soil types and the dynamically swelling SAP particles. The data obtained by the author was the basis for creating a mathematical description of the observed phenomena, which takes into account the size of the SAP and soil particles, as well as the proportion in which they are mixed. Ultimately, this work can help select the optimal proportion and size of SAP grains to be applied to a given soil to simultaneously achieve the desired permeability and increased water-holding capacity in the plant root zone with minimal impact on soil strength parameters.

Keywords: superabsorbent polymers; soil water retention; absorbency under load; swelling pressure; coefficient of permeability; SAP- soil mixtures