

## Wpływ alkalicznie aktywowanego spoiwa żuźlowego na wzrost i rozwój roślin

### Effect of the alkali-activated binder on plant growth

Łukasz Gołek\*, Alicja Guła

AGH University of Science and Technology, Faculty of Materials Science and Ceramics, Department of Building Materials Technology

\*Corresponding author: Ł. Gołek, e-mail: [golek@agh.edu.pl](mailto:golek@agh.edu.pl)

#### Streszczenie

Spoiwa aktywowane alkaliami są coraz częściej wykorzystywane do budowy prefabrykatów budowlanych stosowanych w środowisku naturalnym. Celem niniejszej pracy było określenie wpływu składu spoiwa żuźlowo-alkalicznego na wzrost i rozwój dwóch roślin: żyta oraz szczypiorku. Wybrane rośliny zostały poddane analizie biometrycznej oraz ocenie makroskopowej. Określono również pH gleby i zawartość jonów sodowych w glebie oraz w roślinach. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań stwierdzono, że spoiwo żuźłowe aktywowane roztworem NaOH nie ma wpływu na rozwój roślin. Badano również czy rodzaj roślin, ze względu na pobór soli mineralnych, wpływa na zmianę wytrzymałości na ściskanie badanych zapraw.

**Słowa kluczowe:** spoiwa żuźlowo-alkaliczne, rozwój roślin, sól

#### Summary

Alkali-activated binders are increasingly being used to produce the prefabricated building materials used in the natural environment. The purpose of this work was to determine the effect of the slag-alkali binder on the growth of two plants: rye and chives. Selected plants were subjected to biometric analysis and macroscopic evaluation. The pH of the soil, the content of sodium ions in the soil, and the plants were also determined. Based on the results of the tests, it was found that the slag binder activated with the NaOH solution does not negatively affect the development course of the plants. It was also examined whether the type of plants, due to the uptake of minerals, influences the change in the compression strength of the tested mortars.

**Keywords:** alkali slag binders, development course of plants, sodium

#### 1. Wprowadzenie

Wzrost zapotrzebowania na materiały budowlane wymusza poszukiwanie nowych rozwiązań, które skupione są na aspektach ekonomicznych oraz ekologicznych. Dotyczy to również zmniejszania udziału w rynku materiałów wiążących tych materiałów, które mają negatywny wpływ na środowisko, i wprowadzenie na ich miejsce mniej uciążliwych.

Jednym ze sposobów ograniczenia zużycia cementu portlandzkiego, który znacząco przyczynia się do globalnej emisji CO<sub>2</sub> jest stosowanie spoiw o małej zawartości klinkieru jako alternatywnego i uzupełniającego materiału wiążącego. Najpowszechniej stosowanym w produkcji takich spoiw dodatkiem jest granulowany żużel wielkopiecowy, stanowiący odpad przy produkcji surówki w wielkim piecu (1). Szereg prac badawczych poświęconych

#### 1. Introduction

The increase in demand for construction materials forces the search for new solutions that focus on economic and ecological aspects. This also applies to the repression of binding materials from the market, which have a negative impact on the environment and the introduction of less onerous ones.

One of the common ways of reducing the consumption of Portland cement, which significantly contributes to global CO<sub>2</sub> emissions, is the introduction of low clinker binders, as an alternative and complementary binder. The most commonly used additive in the production of such binders is granulated blastfurnace slag, which is a waste in the production of the pig iron in a blastfurnace (1). A number of research works, which are devoted to the analysis of the properties and composition of the aforementioned industrial

analizie właściwości oraz składu wyżej wymienionego odpadu przemysłowego pozwoliły na ustalenie cech użytkowych oraz efektywne wykorzystanie tego materiału w produkcji cementów oraz betonów (2-7). Badano, między innymi, różnice składu fazowego żużli i klinkieru portlandzkiego. Fazy, które tworzą żużel są mniej aktywne, przez co wymagają stosowania aktywatorów, które przyspieszają proces hydratacji. Jako aktywatory stosuje się zazwyczaj substancje zasadowe: NaOH, KOH, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, a także związki słabo kwaśne, np. CaSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O. Wybór rodzaju aktywatora wynika zazwyczaj z kompromisu pomiędzy ceną/dostępnością aktywatora, a jego efektywnością.

Ponadto ustalono, że spoiwa żużlowo-alkaliczne posiadają wiele interesujących właściwości, których nie wykazują cementy tradycyjne. Wynika to z nieco innej, bardziej zwartej mikrostruktury fazy C-S-H powstającej podczas hydratacji żużla w porównaniu z fazą C-S-H tworzącą się z klinkieru portlandzkiego, dzięki czemu można wytwarzać szczelniejsze betony, o dużej odporności korozyjnej (2). Dodatkowo, duża zawartość fazy C-S-H oraz znacznie zmniejszony udział porów kapilarnych w zaczynach z takich spoiw, pozwalają na skuteczną immobilizację metali ciężkich i pierwiastków promieniotwórczych (1).

Atrakcyjne właściwości spoiw żużlowo-alkalicznych oraz mniejsze zużycie energii w procesach produkcyjnych, ale również ograniczenie występowania problemów ekologicznych, np. wspomniana już emisja CO<sub>2</sub>, czy też utylizacja odpadów przemysłowych spowodowały, że w ostatnich latach spoiwa te znalazły wiele praktycznych zastosowań. Wykorzystywane są do wykonywania tradycyjnych betonów zwykłych czy zaczynów iniekcyjnych (7), ale przede wszystkim do produkcji prefabrykatów betonowych.

Warto zauważyć, iż obecnie w krajach średnio- oraz wysoko-rozwiniętych ze względu na dużą świadomość ekologiczną społeczeństwa, a także wymagań estetycznych coraz częściej odchodzi się od szarych blokowisk, biurowców, a nawet domów jednorodzinnych i próbuje się ożywić tzw. „betonowe miasta”. Popularnym rozwiązaniem stają się zielone dachy, ale także całe ściany, które nie tylko przyciągają uwagę przechodniów, ale często pełnią rolę edukacyjną lub rekreacyjną dla mieszkańców. Nie brakuje również trawników, czy drzew przy chodnikach drogowych lub ogrodzeniach betonowych. Coraz częściej do dekoracji miejskiej infrastruktury, ale także ogrodów, balkonów wykorzystywane są betonowe donice kwiatowe. Oprócz oryginalnego wyglądu mają dobrą wytrzymałość oraz odporność na działanie warunków atmosferycznych.

Z uwagi na tak powszechne oddziaływanie, w szczególności prefabrykatów betonowych, z przyrodą należy się zastanowić, czy wspomniany wcześniej materiał wiążący, którego głównym składnikiem jest odpad przemysłowy, w dodatku aktywowany alkaliem, ma wpływ na wzrost i rozwój roślin.

Celem niniejszej pracy jest zbadanie tego zagadnienia, co być może pozwoli na znalezienie nowych zastosowań spoiwa żużlowo-alkalicznego.

waste, have allowed us to determine the functional characteristics and effective use of this material in the production of cement and concrete (2-7). Among others, differences in the phase composition of slags and Portland clinker were investigated. The phases that form the slag are less active, which requires the use of activators that accelerate the hydration process. The basic substances used as activators are: NaOH, KOH, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, as well as weakly acidic compounds, e.g. CaSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O. The choice of the type of activator usually results in a trade-off between the price/availability of the activator and the efficiency of it, which depends mainly on the pH of its solutions.

In addition, it was found that slag-alkali binders have many interesting properties that traditional cements do not show. This is due to the slightly different, more compact microstructure of the C-S-H phase, generated during the hydration of slag compared to the C-S-H phase formed from Portland clinker, which allows producing more compact hardened paste with high corrosion resistance (2). In addition, the high content of C-S-H phase and the significantly reduced capillary pore fraction in such binders, allow effective stabilization of heavy metals and radioactive elements (1).

Attractive properties of slag and alkaline binders and lower energy consumption in their production processes, but also reducing the occurrence of ecological problems, such as the already mentioned CO<sub>2</sub> emission, but principally the utilization of industrial waste, have resulted in many practical applications in recent years. They are used for making traditional conventional concretes or injection slurries (7), but above all for the production of precast concrete.

It is worth noting that currently in medium and highly developed countries, due to the high ecological awareness of the society, as well as aesthetic requirements, it is increasingly moving away from gray blocks of flats, office buildings, and even single-family houses and trying to revive the so-called “concrete cities”. Green roofs are a popular solution, but also entire walls that not only attract the attention of passers-by but often play an educational or recreational role for residents. There is also a lack of lawns or trees near road pavements or concrete fences. Increasingly, concrete flower pots are used to decorate the city’s infrastructure, but also gardens and balconies. In addition to the original look, they are high durability and resistance to weather conditions.

Due to such widespread influence, in particular of precast concrete elements, with nature, one should consider whether the previously mentioned binding material, whose main component is industrial waste, in addition activated by alkali, affects the growth and development of plants.

The aim of this work is to investigate this issue, which may allow to find new applications of the slag-alkali binder.

Plants are the basis of life on Earth. They are the organisms that can carry out the photosynthesis process, i.e. the production of nutrients from simple inorganic compounds. This is very important that organic compounds, vitamins, or biologically active substances produced by plants, are essential for the functioning

Rośliny są podstawą życia na Ziemi. Są najważniejszymi organizmami, które posiadają zdolność przeprowadzania procesu fotosyntezy, czyli wytwarzania substancji pokarmowych z prostych związków nieorganicznych. Jest to o tyle ważne fakt, że produkowane przez rośliny związki organiczne, witaminy, czy też substancje biologicznie czynne, są niezbędne do funkcjonowania innych organizmów. Dlatego też są one pierwszym ogniwem w łańcuchu pokarmowym naszej planety. Ponadto rośliny często nazywane są „zielonymi płucami Ziemi”, ponieważ pochłaniają one dwutlenek węgla z atmosfery, a uwalniają do niej tlen, który jest produktem ubocznym fotosyntezy. Poza tym dostarczają drewna, włókien naturalnych, lateksu, czy barwników i leków. Mają określoną strukturę i zbudowane są z trzech głównych pierwiastków: wodoru, tlenu i węgla, które stanowią około 90% ich całkowitej masy. Natomiast na pozostałą część masy składają się: azot, fosfor, potas, chlor, wapń, siarka, magnez i inne pierwiastki w ilościach śladowych. Pierwiastki budują zarówno związki organiczne jak i nieorganiczne, przy czym najważniejsze z nich to: cukry, białka, lipidy oraz woda. Ponadto ich struktura ma duży poziom zorganizowania, który polega na wytworzeniu układu wielopoziomowego, od molekularnego przez komórki, tkanki, organy do całego organizmu (8). Istnieje zależność między budową części roślin, a funkcjami jakie spełniają. Funkcje te można podzielić na vegetatywne - odżywcze, które są wykonywane przez organy vegetatywne: korzeń, liść, łodyga oraz generatywne - rozrodcze, które realizują organy generatywne: kwiat, nasienie, owoc.

Do życia roślin konieczna jest woda. Jest podstawowym składnikiem każdej żywej komórki, a ponadto jest rozpuszczalnikiem dla wszystkich reakcji biochemicznych. Zawartość wody w różnych organach waha się w granicach 75% - 90% masy rośliny, a tkanki pozornie suche, np. nasiona zawierają jej około kilkanaście procent [tablica 1] (8).

Niedostatek wody w środowisku i zmniejszenie jej ilości w roślinie prowadzi do zahamowania procesów życiowych. Ponadto woda, dzięki dużemu ciepłu właściwemu oraz ciepłu parowania, pozwala kontrolować temperaturę rośliny, a także wpływa na jej wygląd zewnętrzny poprzez zapewnienie odpowiedniego stanu jędrności. Jedną z ważniejszych funkcji jest również umożliwienie transportu soli mineralnych i substancji organicznych.

Woda jest bardzo dynamicznym składnikiem rośliny. Na 100 g pobranej wody, 99 g wyparowuje. Ilość wody, która przez roślinę przepływa jest więc wielokrotnie większa od ilości wody w niej zawartej (8). Przemieszczanie się wody w obrębie całej rośliny, a także między glebą, rośliną oraz atmosferą odbywa się za pomocą trzech procesów: dyfuzji, osmozy i przepływu masowego. Dyfuzja umożliwia transport wody na małe odległości, np. w komórkach, natomiast nie ma większego znaczenia w migracji wody na duże odległości, np. z korzeni do liści. Te kontroluje osmoza. Zjawiska osmotyczne polegają na przemieszczaniu się wody przez błonę półprzepuszczalną oddzielającą dwa obszary komórki, o różnych stężeniach wody (8). Błony biologiczne są selektywne, co znaczy, że stosunkowo łatwo przepuszczają wodę, a trudno substancje w niej rozpuszczone. Dlatego też w transporcie przez błony po-

of other organisms. Therefore, they are the first link in the planet food chain. Also, plants are often called the “green lungs of the Earth” because they absorb carbon dioxide from the atmosphere and release oxygen, which is a by-product of photosynthesis. In addition, they supply wood, natural fibers, latex, or dyes and medicines. They have a specific structure and are composed of three main elements: hydrogen, oxygen, and carbon, which constitute about 90% of their total fresh mass. However, the rest of the mass consists of nitrogen, phosphorus, potassium, chlorine, calcium, sulfur, magnesium, and other elements in trace amounts. The elements build both organic and inorganic compounds, the most important of which are: proteins, lipids, sugars, and water. Their structure has got a high level of organization, which consists in the creation of a multi-level system, from the molecular, through cells, tissues, organs to the entire organism (8). There is a relationship between the construction of plant parts and the functions they perform. These functions can be divided into vegetative [nutritional], which are performed by vegetative organs: root, leaf, stalk, and generative [reproductive], which implement generative buds: flower, seed, fruit.

Water is necessary for the plants to function. It is the basic ingredient of every living cell and is also a solvent for all biochemical reactions. Water content in various organs varies between 75-90% of the plant's mass, and seemingly dry tissues, eg seeds contain about a dozen or so percent [Table 1] (8).

The lack of water in the environment and the reduction of its content in the plant, leads to the inhibition of life processes. In addition, the water, thanks to the high specific heat and evaporation heat allows to control the temperature of the plant, and also affects its appearance, by ensuring an adequate state of firmness. One of the most important functions is also enabling the transport of mineral salts and organic substances.

Water is a very dynamic component of the plant. For 100 g of collected water, 99 g evaporates. The amount of water that flows through the plant is many times higher than the amount of water, contained in it (8). The movement of water within the entire plant, as well as between the soil, the plant and the atmosphere, takes place by means of three processes: diffusion, osmosis, and mass flow. Diffusion enables the transport of water at small distances,

Tablica 1 / Table 1

ZAWARTOŚĆ WODY W ORGANACH ROŚLIN (8)

WATER CONTENT IN PLANTS ORGANS (8)

Organ	Zawartość wody, % świeżej masy Water content, % of fresh mass
Płatki kwiatów / Petals of flowers	90-95
Owoce / Fruits	80-95
Korzenie / Roots	70-90
Liście / Leaves	60-90
Łodygi / Stalks	40-85
Ziarna zbóż / Wheat seeds	12-15
Nasiona / Seeds	5-15

magają specjalne białka, które tworzą swoiste kanały zarówno między organellami komórki, jak i sąsiadującymi komórkami. Do głównych funkcji osmozy należą:

- pobieranie wody z gleby przez korzenie,
- utrzymanie odpowiedniego stanu nawodnienia komórek,
- uzyskanie stanu turgoru, aby nadać roślinom odpowiedni kształt,
- zachowanie optymalnego stężenia osmotycznego soku komórkowego, który wpływa na odporność roślin na warunki środowiska.

Natomiast przepływ masowy związany jest z wyparowywaniem wody poprzez organy transpirujące. Jest to najważniejszy mechanizm migracji wody w roślinie, który zależy od potencjału wody (8), a nie od gradientu jej stężenia, jak jest to w przypadku dyfuzji i osmozy. Woda przemieszcza się od wyższego do niższego potencjału, co dla rośliny oznacza od gleby i korzeni do liści i atmosfery [rysunek 1].

Czynniki regulujące migrację wody w roślinie można podzielić na wewnętrzne oraz środowiskowe. Pierwsze z nich to przede wszystkim: wielkość powierzchni chłonnej i parowania, odpowiednia morfologia korzeni i liści, wykształcenie tkanek przewodzących oraz sprawność działania aparatów szparkowych. Do czynników zewnętrznych zaliczamy: warunki atmosferyczne, nasłonecznienie, temperaturę, wilgotność powietrza oraz wiatr, zawartość wody w glebie i czynnik, który w świetle tej pracy jest najbardziej interesujący, czyli stężenie soli mineralnych w glebie. Jeżeli wszystkie czynniki są odpowiednie, to roślina bez ograniczeń pobiera i rozprowadza wodę, co daje jej możliwość życia i rozwoju.

Rośliny do przeprowadzania procesów biologicznych oraz wytwarzania swoich komórek potrzebują również składników odżywczych. Można je podzielić na kilka grup:

- pierwiastki organogenne: węgiel, wodór, tlen,
- makroelementy: azot, fosfor, potas, wapń magnez, siarka,
- mikroelementy: żelazo, cynk, bor, miedź, mangan, chlor,
- pierwiastki pożądane: sód, krzem, glin, kobalt.

Pierwsze trzy grupy zaliczane są do pierwiastków bezwzględnie koniecznych do przebiegu pełnego cyklu życia rośliny. Natomiast pierwiastki pożądane bardzo często wspomagają przebieg procesów wzrostowo-rozwojowych.

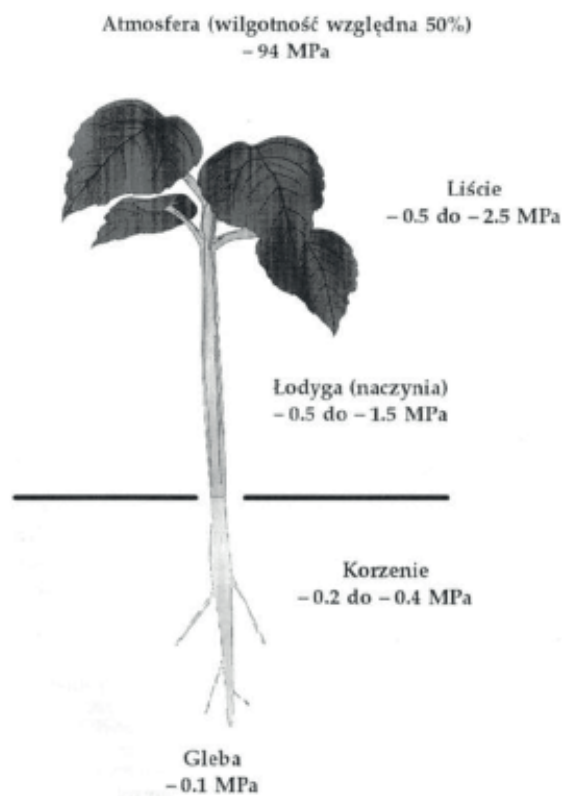
Pierwiastki organogenne są pobierane w postaci gazowej z atmosfery:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  oraz z wodą:  $\text{H}_2\text{O}$ . Pozostałe pierwiastki pobierane są z gleby przez korzenie, wraz z wodą w postaci:

- niemetal: N, S, P, B – jako aniony: azotany, siarczany,
- metale alkaliczne i ziem alkalicznych: K, Ca, Mg – jako kationy,
- metale przejściowe: Fe, Mn, Cu, Zn – jako kationy,
- chlor – jako anion chlorkowy.

Ważne znaczenie ma, że oba te procesy, czyli pobieranie wody i soli mineralnych przebiegają w zasadzie niezależnie od siebie. Wynika to z wybiórczości korzenia, polegającej na tym, że ma

e.g. in cells, but it is of no great importance in long-distance water migration, e.g. from roots to leaves. These controls osmosis. Osmotic phenomena consist in the movement of water through a semi-permeable membrane, separating two cell areas with different concentrations of water (8). Biological membranes are selective, which means that they are relatively easily permeable to water, but difficult for the substances dissolved in it. Therefore, special proteins that form specific channels between both cell organelles and neighboring cells, help the transport through the membranes. The main functions of osmosis include:

- collecting water from the soil by roots,
- holding the right state of cell hydration,
- obtaining turgor status to give plants the right shape,
- observation of the optimal concentration of osmotic cell juice, which affects the resistance of plants to environmental conditions.



Rys. 1. Potencjały wody w glebie, roślinie i atmosferze [ → migracja wody]

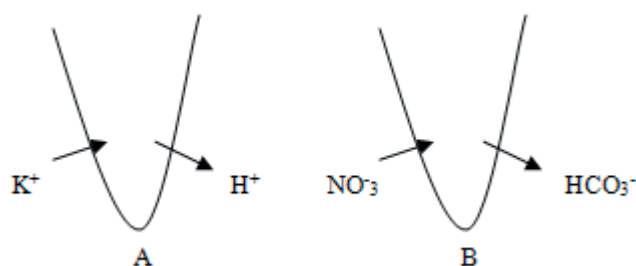
Fig. 1. Potentials of water in soil, plant and atmosphere [→ water migration]

In contrast, mass flow is associated with the evaporation of water through the transpiring bodies. This is the most important mechanism of water migration in the plant, which depends on the water potential (8), and not on the gradient of its concentration, as it is in the case of diffusion and osmosis. Water moves from higher to lower potential, which for plants means: from soil and roots to leaves and atmosphere [Fig. 1].

Factors regulating the migration of water in the plant can be divided into internal and environmental. The first of them is primarily: the size of the absorbent and evaporation surfaces, the proper

on zdolność wybierania z gleby określonych jonów, w sposób niezależny od czerpania wody (9). Wybiórcze pobieranie soli mineralnych mogłoby prowadzić do znacznych różnic potencjałów elektrycznych między korzeniem i glebą, jednak przeciwdziała temu wydzielanie przez roślinę do środowiska jonów równoważnych w miejsce pobranych. Dlatego też, jeżeli roślina pobiera kationy, np.  $K^+$  to wydziela jony  $H^+$ , co prowadzi do zakwaszenia gleby, natomiast jeśli czerpane są aniony to uwalniane są jony wodorowęglanowe [rys. 2].

Można wyróżnić dwa sposoby pobierania składników mineralnych:



Rys. 2. Wymiana jonów między korzeniem a roztworami w glebie. A – pobieranie kationów, B – pobieranie anionów

Fig. 2. Exchange of ions between the root and the soil solution. A – uptake of cations, B – uptake of anions

bierny – zgodnie z gradientem stężenia oraz aktywny – wbrew gradientowi stężenia, wymagający nakładu energii. Transport bierny odbywa się na zasadzie dyfuzji i ma on znikome znaczenie w porównaniu z transportem aktywnym. Jest to dość powolny proces, może on jednak zostać przyspieszony dzięki uczestnictwu białek nośnikowych oraz kanałów jonowych (9).

W pobieraniu aktywnym również uczestniczą białka nośnikowe, ale działają jak „pompy” jonowe. Pompami pierwotnymi są pompy protonowe, które dzięki energii z rozkładu związków odżywczych wydzielają na zewnątrz jony wodorowe. Powoduje to powstanie gradientu elektrochemicznego, który pozwala na przenikanie jonów z gleby wbrew gradientowi stężeń. Transport aktywny również zależy od temperatury, jej wzrost o  $10^{\circ}C$  powoduje przyspieszenie procesu, nawet trzykrotnie.

Ważny wpływ na procesy zachodzące w komórkach roślinnych ma potas. Jego pierwotnym źródłem w glebie są glinokrzemiany potasowe i magnezowo-potasowe (9). W procesie wietrzenia chemicznego skał potas jest uwalniany jako jon jednowartościowy. W tej formie pobierany jest przez roślinę wbrew gradientowi stężenia i występuje w niej tylko w tej postaci. Główne zadania potasu są następujące:

- jest aktywatorem enzymów uczestniczących w procesach fotosyntezy i oddychania,
- uczestniczy w biosyntezie białek,
- utrzymuje turgor w komórkach roślinnych,
- wpływa na transpirację [ruch aparatów szparkowych],
- reguluje gospodarkę wodną.

morphology of roots and leaves, the development of conductive tissues, and the efficiency of stomatal devices. External factors include atmospheric conditions, such as insolation, temperature, air humidity, and wind, the water content in the soil, and a factor that is the most interesting in the light of this work, i.e. the concentration of mineral salts in the soil. If all the factors are appropriate, the plant draws and distributes water without restrictions, which gives it the ability to live and grow.

Plants for the biological processes and the production of their cells also need nutrients. They can be divided into several groups:

- organogenic elements: carbon, hydrogen, oxygen
- macroelements: nitrogen, phosphorus, potassium, calcium magnesium, sulfur,
- micronutrients: iron, zinc, boron, copper, manganese, chlorine,
- desirable elements: sodium, silicon, aluminum, cobalt.

The first three groups belong to the elements necessary for the course of the full life cycle of the plant. However, desirable elements very often support the course of growth and development processes.

The orogenic elements are taken in gaseous form from the atmosphere [ $CO_2$ ,  $O_2$ ] and water [ $H_2O$ ]. The remaining elements called minerals are taken from the soil by roots together with water in the form of:

- not metals: N, S, P, B - as anions (nitrates, sulphates),
- alkali and alkaline earth metals: K, Ca, Mg - as cations,
- transition metals: Fe, Mn, Cu, Zn - as cations,
- chlorine - as a chloride anion.

Both of these processes, in other words, the uptake of water and mineral salts, run essentially independently of each other. This is due to the selectivity of the root, in that it can select specific ions from the soil, in a manner independent of drawing water (9). Selective uptake of mineral salts could lead to significant differences in electrical potentials between the root and soil, however, this is counteracted by the release of equivalent ions into the environment, instead of taken up. Therefore, if the plant takes cations, eg.  $K^+$ , it releases  $H^+$  ions, which leads to acidification of the soil, whereas if anions are drawn, bicarbonate ions are released [Fig. 2].

Two ways of collecting minerals can be distinguished: passive - according to concentration gradient and active - against the concentration gradient, requiring energy input. Passive transport is carried out by diffusion and has negligible importance, compared to active transport. This is a fairly slow process, but it can be accelerated due to the participation of carrier proteins and ions channels (9).

Carrier proteins also participate in the active uptake but act as ions pumps. The primary pumps are proton pumps, which due to the energy from the decomposition of nutrients release the hydrogen ions. This creates an electrochemical gradient that permits the penetration of ions from the soil, against the concentration gradient. Active transport also depends on the temperature, its increase by  $10^{\circ}C$  causes the process to be accelerated up to three times.

Objawami niedoboru potasu jest żółknięcie liści oraz ich obumieranie. Wpływa to na zmniejszenie plonu, i mniejszą odporność roślin na choroby.

Innym pierwiastkiem, również zaliczanym do metali alkalicznych, który ma korzystny wpływ na rozwój roślin, jest sód. Przeważnie poziom jonów sodu jest 5-20 razy niższy niż poziom jonów potasu (10). Nie zmienia to faktu, że jest to pożądaný składnik, gdyż może on przejąć niektóre z funkcji potasu, a także stymulować syntezę barwników karotenoidowych. Pozytywnie wpływa na plony uzyskiwane z niektórych roślin, np.: jęczmienia, lucerny, buraka (11).

## 2. Materiały i metody

W tej pracy obiektami badań były dwie rośliny okrytonasienne: żyto oraz szczypior, które zostały wybrane ze względu na szybki przyrost biomasy oraz zupełnie odmienne preferencje glebowe. Pierwsza z nich jest rośliną kwasolubną, czyli dobrze rozwija się na kwaśnym podłożu, natomiast szczypior jest typową rośliną zasadolubną.

Badano wpływ zaprawy żużlowo – alkalicznej, będącej w kontakcie z glebą na wzrost wymienionych roślin. Jako materiału wzorcowego użyto zaprawy z cementu portlandzkiego. Zaprawy wykonano zgodnie z normą PN-EN 196-1, z tym że zaformowane beleczki miały wymiary 25×25×100 mm. W obu przypadkach stosunek woda/spoiwo [w/s] wynosił 0,5. Składy zapraw zamieszczono w tablicy 3. Aktywatorem spoiwa żużlowo-alkalicznego był dwumolowy roztwór NaOH, który stanowił 6,2% masy żużla, w przeliczeniu na Na<sub>2</sub>O. Aktywator rozpuszczono w wodzie zarobowej. W badaniach stosowano piasek normowy i wodę wodociągową.

Przygotowano 12 plastikowych pojemników, w których wysiano badane rośliny. W każdym z nich umieszczono po 3 beleczki i zasypano je glebą o odczynie bliskim obojętnemu. Przygotowano 4 grupy próbek. Pierwsze dwie grupy: żyto [A] oraz szczypior [B] posiano w pojemnikach z beleczkami z zaprawy żużlowo – alkalicznej. Pozostałe: żyto [C] i szczypior [D] posiano w pojemnikach z beleczkami uformowanymi z zaprawy wzorcowej, z cementu portlandzkiego.

Badania prowadzono w laboratorium, w którym temperatura wynosiła średnio 20°C, wilgotność oraz nasłonecznienie

Tablica 2 / Table 2

IŁOŚĆ SUCHYCH SKŁADNIKÓW W PRZYGOTOWANYCH ZAPRAW  
MIX PROPORTIONS OF MORTARS INVESTIGATED

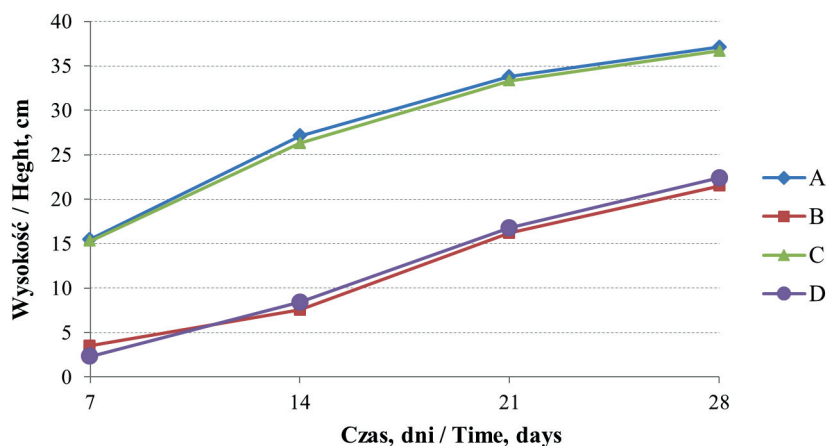
	Piasek / Sand, g	Cement, g	Granulowany żużel wielkopiecowy Granulated blast furnace slag, g
Zaprawa cementowa / OPC mortar	1350	450	-
Zaprawa żużlowo – alkaliczna / alkali activated slag mortar	1350	-	450

Potassium has a significant influence on the processes occurring in plant cells. Its primary source in the soil are potassium and magnesium-potassium aluminosilicates (9). As a result of weathering rocks, potassium is released as a monovalent ion. In this form, it is taken up by the plant against the concentration gradient and occurs only in this form. The main tasks of potassium are:

- is an activator or cofactor of enzymes involved in photosynthesis and breathing processes,
- participates in protein biosynthesis,
- keeps the turgor in plant cells,
- affects transpiration [movement of stomata],
- regulates water management.

Symptoms of potassium deficiency are yellowing and death of leaves. This affects the yield reduction, and the plant's lower resistance to disease.

Another element, also known as alkali metals, which has a beneficial effect on plant development is sodium. Usually, the level of sodium ions is 5-20 times lower than the level of potassium ions (10). It does not change the fact that it is a desirable ingredient, because it can take over some of the potassium functions, as well as stimulate the synthesis of carotenoid pigments. It positively affects the yield of some plants, eg barley, alfalfa, beetroot (11).



Rys. 3. Średnia wysokość części nadziemnych żyta oraz szczypioru w zależności od rodzaju podłoża i terminu badania; A – żyto w podłożu z zaprawą z alkalicznie aktywowanego żużla, B – szczypior w podłożu z zaprawą z alkalicznie aktywowanego żużla, C – żyto w podłożu z zaprawą cementową, D – szczypior w podłożu z zaprawą cementową

Fig. 3. Average height of the aerial parts of rye and chives depending on the type of substrate and the date of the test; A – rye in a substrate with alkali activated mortar, B – chives in a substrate with alkaline activated mortar, C – rye in a substrate with cement mortar, D – chives in a substrate with cement mortar

necznienie były zmienne, przy czym przez pierwszy miesiąc badań oświetlano próbki za pomocą sztucznego źródła światła. Rośliny podlewano średnio co 3 dni, tą samą ilością wody wodociągowej.

### 3. Wyniki

#### 3.1. Analiza biometryczna

Przez okres pierwszych 28 dni od momentu zasiania roślin prowadzono analizę biometryczną. Polegała ona na mierzeniu długości części nadziemnych wybranych gatunków roślin za pomocą linijki. Pomiary wykonywano w odstępach siedmiodniowych, począwszy od 7 dnia, gdy we wszystkich pojemnikach pojawiły się siewki. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 3.

Jak widać na wykresie na rys. 3, z upływem czasu wszystkie grupy roślin wykazują wzrost elongacyjny [na długość], co jest wynikiem podziału oraz dojrzewania komórek. Ponadto zarówno dla żyta jak i dla szczypioru zasianych na różnych podłożach, tj. z beleczkami ze spoiwa żużlowo-alkalicznego oraz z beleczkami z cementu portlandzkiego, uzyskane wyniki w zasadzie nie różnią się od siebie. Wynika z tego, że rodzaj podłoża nie ma wpływu na ich wzrost oraz początkowy rozwój.

#### 3.2. Badanie odczynu gleby

Badanie pH gleby wykonano metodą potencjometryczną dla każdej grupy badawczej po 30, 90 oraz 180 dniach, od momentu zasiania roślin. Pobrane próbki gleb suszono w temperaturze 80°C przez 48 godzin. Następnie odważono po 10 g suchego materiału, przesiano przez sito o boku oczka 1 mm i wsypano do zlewek o pojemności 100 cm<sup>3</sup>. Do każdego naczynia dodano 25 cm<sup>3</sup> wody destylowanej, intensywnie mieszając bagietką zawieszinę gleby. Po czym pozostawiono je do sedimentacji na 15 minut. Po tym czasie mieszaniny przesączono przez sączki do zlewek. Odczyn poszczególnych roztworów mierzono za pomocą pehametru, wcześniej skalibrowanego na wzorcowych roztworach buforowych. Wykonano po 3 pomiary dla każdego z przesączy, wyniki badań przedstawia rysunek 4.

Początkowe pH gleby wynosiło 5,93, co wykazuje, że podłoże dla obu gatunków miało odczyn lekko kwaśny. W pierwszym miesiącu rozwoju roślin aktywność jonów wodorowych w roztworach glebowych znacząco różniło się, dla poszczególnych roślin. Przepuszczalnie uzyskane duże rozpiętości wyników w początkowym stadium rozwoju są wynikiem selektywnego pobierania przez rośliny składników mineralnych, które uzależnione są od indywidualnych potrzeb roślin.

Z upływem czasu wartości pH próbek gleby z obu rodzajami zapraw maleją i utrzymują

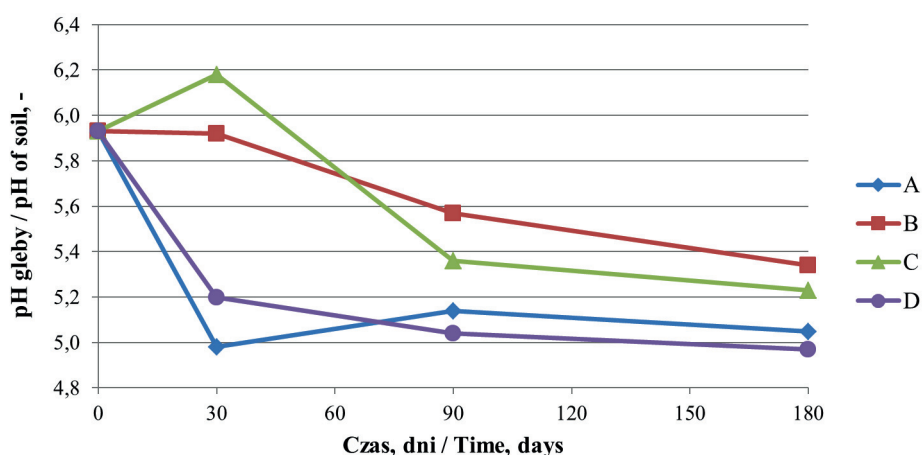
## 2. Materials and methods

In this work, the research objects were two flowering plants: rye and chive, which were selected due to the rapid growth of biomass and completely different soil preferences. The first is an acidophilic plant, i.e. it grows well on acidic medium, while the chive is a typical alkaline plant.

The tests were carried out on alkali-activated slag mortars. The reference samples were Portland cement mortars. The mortars were prepared following PN-EN 196-1, except that the dimensions of the prismatic samples were 25 mm × 25 mm × 100 mm. In both cases, the water to binder ratio [w/b] was 0.5. The composition of the mortars is shown in Table 2. As the activator of the slag-alkali binder, a 2-molar NaOH solution was used, which constituted 6.2% of Na<sub>2</sub>O in respect to the slag mass. The activator was dissolved in the mixing water. Normal sand and tap water were used for the tests.

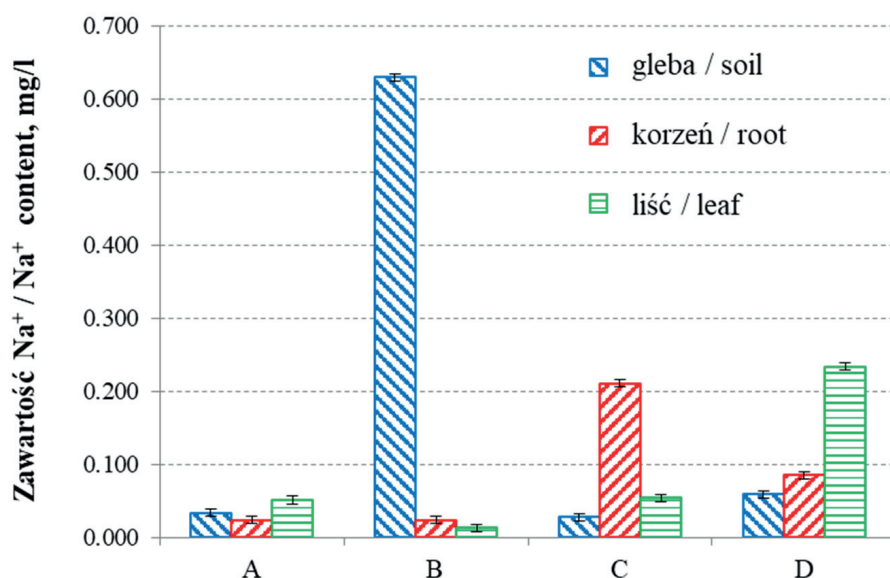
12 plastic containers were prepared in which the tested plants were sown. In each of them, three mortar bars were placed and covered with neutral soil. Four groups of samples were prepared. The first two groups: rye [A] and chives [B] were sown in containers with bars of slag-alkaline mortar. The remaining ones: rye [C] and chives [D] were sown in containers with bars formed from a reference mortar, from Portland cement.

The tests were carried out in a laboratory where the average temperature was 20°C, the humidity and sunlight were variable, with samples being illuminated by an artificial light source for the first month of testing. Plants were watered on average every 3 days with the same amount of tap water.



Rys. 4. Średni odczyn gleby w zależności od rodzaju zaprawy i terminu badania; A – żyto w podłożu z zaprawą z alkalicznie aktywowanego żużla, B – szczypiór w podłożu z zaprawą z alkalicznie aktywowanego żużla, C – żyto w podłożu z zaprawą cementową, D – szczypiór w podłożu z zaprawą cementową

Fig. 4. Average soil pH depending on the type of mortar and test date; A – rye in a substrate with alkali activated mortar, B – chives in a substrate with alkaline activated mortar, C – rye in a substrate with cement mortar, D – chives in a substrate with cement mortar



Rys. 5. Średnia zawartość jonu sodu w glebie, w częściach podziemnych i nadziemnych roślin, w zależności od rodzaju podłoża, 30 dni od momentu zasiania; A – żyto w podłożu z zaprawą z alkalicznie aktywowanego żużla, B – szczypior w podłożu z zaprawą z alkalicznie aktywowanego żużla, C – żyto w podłożu z zaprawą cementową, D – szczypior w podłożu z zaprawą cementową

Fig. 5. Average sodium ions content in the soil, in the underground and above-ground parts of plants, 30 days from sowing, depending on the type of ground; A – rye in a ground with alkali activated mortar, B – chives in a ground with alkaline activated mortar, C – rye in a ground with cement mortar, D – chives in a ground with cement mortar

się w zakresie 5,0-5,4. Małe pH jest wynikiem dążenia organizmów roślinnych do utrzymania kwasowości środowiska, co sprzyja wzrostowi komórek (8). Wynika z tego, że rodzaj podłoża nie ma dużego wpływu na odczyn gleby, który bezpośrednio decyduje o możliwości wzrostu roślin.

### 3.3. Badanie zawartości jonów sodu w roślinach oraz w glebie

Dla każdej grupy roślin oznaczono zawartość sodu w glebie oraz w częściach podziemnych i nadziemnych roślin, metodą spektrometrii emisyjnej. Badania wykonano dla próbek po 30, 90 oraz 180 dniach od momentu zasiania.

Próbki gleb suszono w otwartych pojemnikach w temperaturze 80°C przez 48 godzin oraz przesiano przez sito o średnicy oczek 1 mm. Następnie odważono po 1 g materiału glebowego na wadze analitycznej i przeniesiono naważki ilościowo do kolb Erlenmayera zalewając 40 cm<sup>3</sup> 0,1 M roztworem kwasu octowego, po czym próbki poddano wytrząsaniu przez 10 minut na wytrząsarce marki Elpan typu 358S. W dalszej kolejności próbki odwirowywano przez 5 min przy 2000 obrotów/min. Po zebraniu cieczy z nad osadów glebowych oznaczono w niej obecność jonów sodu metodą ICP-AES.

Zebrane rośliny podzielono na części: nadziemną oraz podziemną, a następnie suszono je w temperaturze 80°C przez 48 godzin. Wyszuszonej rośliny rozdrobiono w młynku do kawy i sporządzono naważki po około 0,1 g. Następnie umieszczono je w fiolkach do mineralizacji, po czym dodano po 2 ml 30% perhydrolu oraz 6 ml kwasu azotowego (V) 65%. Tak przygotowane próbki

## 3. Results

### 3.1. Biometric analysis

During the first 28 days from planting, the biometric analysis was carried out. It consisted of measuring the length of the aboveground parts of selected plant species with a ruler. Measurements were made at 7-day intervals, starting from the 7<sup>th</sup> day, when seedlings appeared in all containers. The test results are presented in Fig. 3.

As one can see in the chart, all the groups of plants show elongation growth as time passes, which is the result of cell division and maturation. Also, for rye and chive sown on different substrates, i.e. with a slag-alkali binder and reference mortar bars, the obtained results are basically no different from each other. It follows that the type of substrate does not affect their growth and initial development.

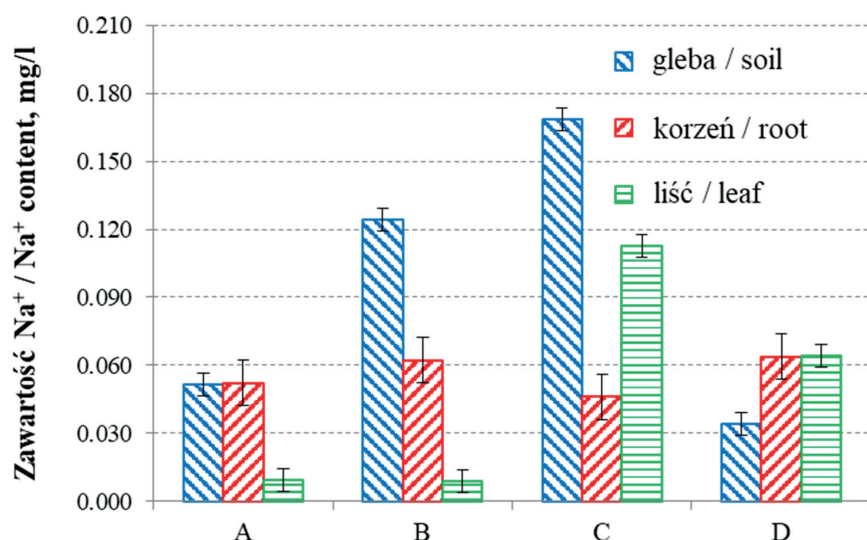
### 3.2. Examination of soil pH

Soil pH testing was performed by the potentiometric method for each research group, after 30, 90, and 180 days from planting. The collected soil samples were dried at 80°C for 48 hours. Next, 10 g of dry material was weighed, sieved through a 1 mm sieve and poured into 100 cm<sup>3</sup> beaker. 25 cm<sup>3</sup> of distilled water was added to each dish, stirring the soil suspension intensively with the rod. Samples were allowed to sediment for 15 minutes. After this time, the mixtures were filtered. The pH of individual filtrate solutions was measured using a pH meter, previously calibrated on standard buffer solutions. Three measurements were taken for each of the tests, the results are shown in Figure 4.

The initial pH of the soil was 5.93, which indicates that the substrate for both species was slightly acidic. In the first month of plant development, the concentration of hydrogen ions in soil solutions is significantly different for individual plants. Presumably obtained a large span of results at the initial stage of development are the result of selective absorption of mineral components by plants, which depends on their particular needs.

Over time, the obtained pH values for both alkali-slag and Portland cement samples, decrease and oscillate in the range of 5.0-5.4. Low pH is a consequence of the aspiration of plant organisms to maintain the acidity of the environment, which promotes the growth of cells (8). It follows that the type of substrate does not have a significant effect on the soil reaction, which directly determines the possibility of plant growth.





Rys. 6. Średnia zawartość jonów sodu w glebie, w częściach podziemnych i nadziemnych roślin, 90 dni od momentu zasiania w zależności od rodzaju podłoża; A –żyto w podłożu z zaprawą z alkalicznie aktywowanego żużla, B –szczypior w podłożu z zaprawą z alkalicznie aktywowanego żużla, C –żyto w podłożu z zaprawą cementową, D – szczypior w podłożu z zaprawą cementową

Fig. 6. Average content of sodium ions in the soil, in the underground and above-ground parts of plants, 90 days from sowing, depending on the type of substrate; A - rye in a substrate with alkali activated mortar, B - chives in a substrate with alkaline activated mortar, C - rye in a substrate with cement mortar, D - chives in a substrate with cement mortar

umieszczono w mineralizatorze mikrofalowym Multiwave 3000, firmy Anton Paar na 90 minut. Po mineralizacji próbki przeniesiono ilościowo do kolb miarowych o pojemności 50 cm<sup>3</sup> i dopełniono wodą redestylowaną. W przygotowanych roztworach oznaczono zawartość jonów sodowych. Wyniki badań przedstawiają rysunki 5 - 7.

Z powyższych wykresów wynika, że stężenie jonów sodu zarówno w glebach, jak i w roślinach jest stosunkowo małe, wynoszące mniej niż 1 mg/l. Zawartości tego składnika mineralnego są bardzo zróżnicowane w obrębie jednego gatunku występującego na różnych gruntach, co jak już wcześniej wspomniano, najprawdopodobniej spowodowane jest wybiórczym pobieraniem tego pierwiastka z podłoża przez rośliny.

### 3.4. Ocena makroskopowa próbek

Ocenę wyglądu roślin prowadzono przed pomiarami analizy biometrycznej, a także przed pobieraniem próbek do badania zawartości jonów sodu, czyli po 7, 14, 21, 28, 90 oraz 180 dniach od momentu zasiania. Badano barwę części nadziemnych, kształt i rozmiar liści, a także długość pędu. Rysunki 8 - 10 przedstawiają wygląd roślin, w wymienionych wyżej terminach.

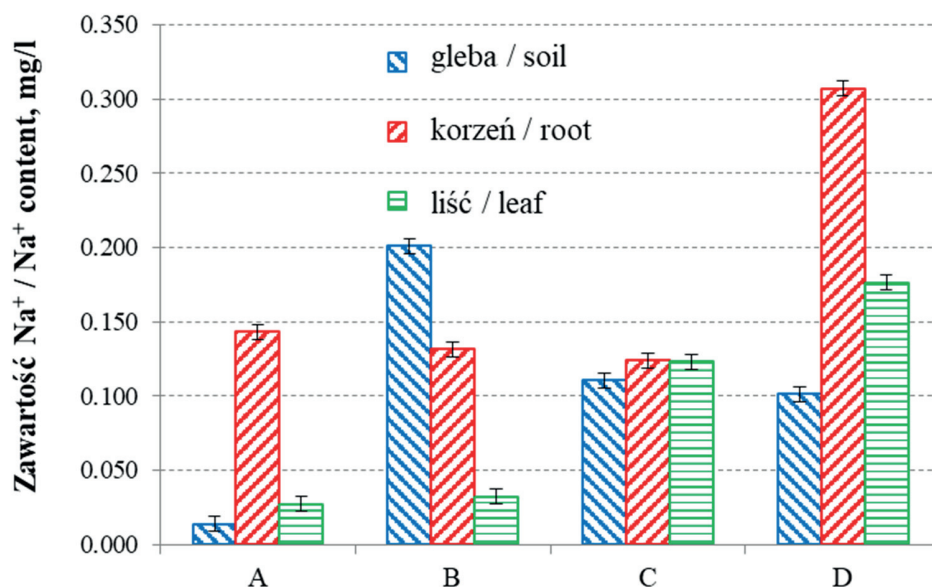
Nasiona żyta wykiełkowały we wszystkich pojemnikach już po dwóch dniach,

### 3.3. Testing the content of sodium ions in plants and in soil

For each group of research objects, the content of sodium ions in the soil as well as in underground and above-ground parts of plants, was determined using emission spectrometry. The tests were performed on samples after 30, 90, and 180 days, after sowing.

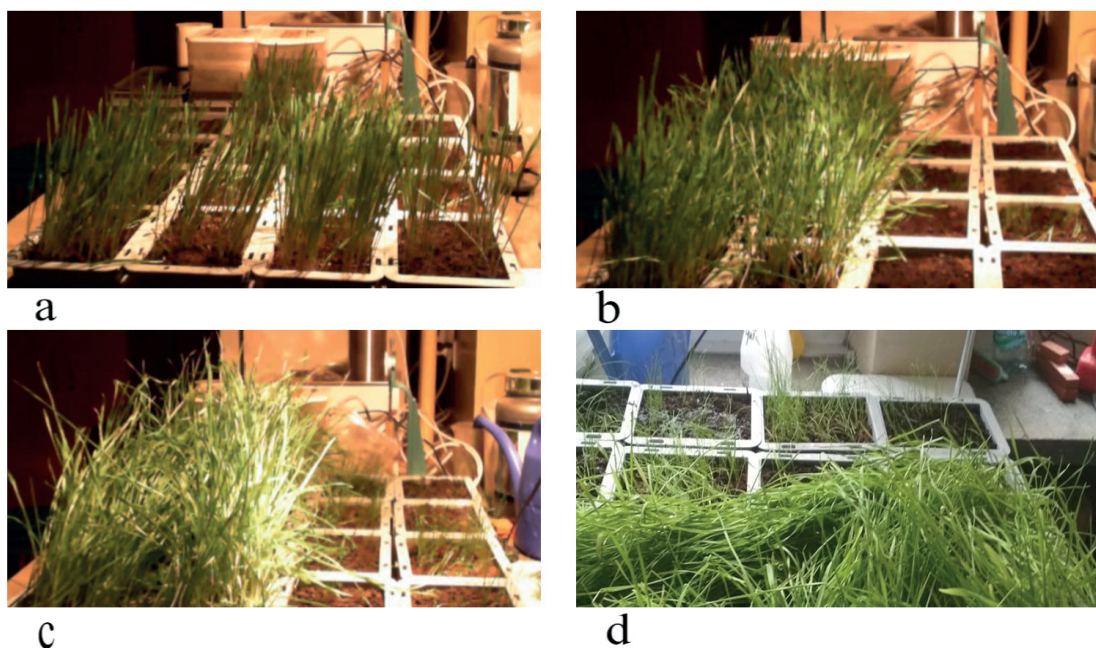
Soil samples were dried in open containers at 80°C for 48 hours and sieved through a 1 mm sieve. The next step was weighing 1 g of soil material on the analytical balance. The samples were then quantitatively transferred to Erlenmeyer flasks and 40 cm<sup>3</sup> of 0.1 M acetic acid was poured, and the samples were shaken for 10 minutes on an Elpan type 358S shaker. Subsequently, the samples were centrifuged for 5 min at 2000 rpm. After the collection of the liquid from the soil sediments, they were subjected to a test for the presence of sodium ions by the ICP-AES method.

The collected plants were divided into parts above ground and underground and then dried at 80°C for 48 hours. The dried plant material was ground in an agate mortar and the samples were made up to about 0.1 g. Then they were placed in mineralization vials, after which 2 ml of 30% perhydrol and 6 ml of 65% nitric (V)



Rys. 7. Średnia zawartość jonów sodu w glebie, w częściach podziemnych i nadziemnych roślin, 180 dni od momentu zasiania w zależności od rodzaju podłoża; A –żyto w podłożu z zaprawą z alkalicznie aktywowanego żużla, B –szczypior w podłożu z zaprawą z alkalicznie aktywowanego żużla, C –żyto w podłożu z zaprawą cementową, D – szczypior w podłożu z zaprawą cementową

Fig. 7. Average content of sodium ions in the soil, in the underground and above-ground parts of plants, 180 days from sowing, depending on the type of substrate; A - rye in a substrate with alkali activated mortar, B - chives in a substrate with alkaline activated mortar, C - rye in a substrate with cement mortar, D - chives in a substrate with cement mortar



Rys. 8. Wygląd próbek w pierwszym miesiącu wzrostu. a – po 7 dniach, b – po 14 dniach, c – po 21 dniach, d – po 28 dniach.

Fig. 8. The appearance of the samples in the first month of growth. a – after 7 days, b – after 14 days, c – after 21 days, d – after 28 days.

a w siódmym dniu siewki miały już około 15 centymetrów. Ich pierwsze liście były barwy ciemnozielonej, pęd skrócony o jaśniejszym odcieniu zieleni. W kolejnych dniach wstęgowe blaszki liściowe zwiększały swoje rozmiary, w związku z czym po 28 dniach [rysunek 8d] pędy żyta uginały się pod ich ciężarem.

Szczypior zaczął kiełkować nieco później od żyta, ale również w siódmym dniu stwierdzono pojawienie się pierwszych młodych liści. W miarę upływu czasu rurkowate, ciemnozielone liście były coraz liczniejsze. Trzeba powiedzieć, że w pierwszym miesiącu nie zauważono żadnych różnic w wyglądzie zewnętrznym roślin, rosnących zarówno na podłożu z próbkami zapraw z alkalicznie aktywowanego spoiwa żużlowego, jak i z beleczkami z zaprawy z cementu portlandzkiego.

Po 90 oraz 180 dniach część liści żyta, bez względu na rodzaj podłoża, żółkła lub uschła. Mogło to być spowodowane kilkoma czynnikami, tj.: zbyt szybkim początkowym wzrostem siewek,

acid were added. The samples thus prepared were placed in an Anton Paar Multiwave 3000 microwave mineralizer for 90 minutes. After mineralization, the samples were quantitatively transferred to 50 cm<sup>3</sup> graduated flasks and topped up with redistilled water. In the prepared solutions, the content of sodium ions was determined. The results of the research are shown in Figures 5-7.

The above graphs show that the concentration of sodium ions in both soils and plants is relatively small, amounting to less than 1 mg/l. The contents of this element are very diverse within one species found on different soils, which, as mentioned earlier, is most probably caused by the selective uptake of this element from the substrate by plants.

### 3.4 Macroscopic evaluation of samples

The assessment of the plants appearance was carried out before biometric analysis, as well as before sampling for the sodium ions



Rys. 9. Wygląd próbek po 90 dniach wzrostu

Fig. 9. The appearance of the samples after 90 days of growth

co doprowadziło do nadmiernego wzrostu młodych roślin, wysuszeniem gleby lub chorobą zbóż. Ponadto nie stwierdzono znacznego zwiększenia rozmiarów liści. W przypadku szczypioru nie zauważono żadnych niekorzystnych zmian. Natomiast w obu próbkach zanotowano zwiększenie liczby ciemnozielonych liści. Zwiększyły one również swoją długość oraz grubość w porównaniu do pierwszych 28 dni.

### 3.5. Wytrzymałość na ściskanie

W czasie trwania doświadczenia badano również wytrzymałość na ściskanie. Wytrzymałość badano na próbkach wyjętych z gleby, bo czasie 28, 90 i 180 dni. Wyniki przedstawiono na wykresie na rys. 11.

Pewne niewielkie zmniejszenie wytrzymałości stwierdzono dla zapraw z cementu portlandzkiego dojrzewających w podłożu, w którym uprawiano żyto. W pozostałych przypadkach nie zanotowano znaczącego wpływu podłoża glebowego na wytrzymałość zapraw.

## 4. Podsumowanie i wnioski

Celem pracy było określenie wpływu składu materiału wiążącego, jakim jest spoiwo żużlowo-alkaliczne, na wzrost i rozwój roślin. W niniejszej pracy badano dojrzewanie dwóch roślin uprawnych: żyta oraz szczypiorku w obecności beleczek wykonanych z zaprawy ze spoiwem żużlowym, aktywowanym roztworem NaOH oraz dla porównania z cementu portlandzkiego. Dla obu gatunków przygotowano również próbki referencyjne.

Kontakt gleby z zaprawą z alkalicznie aktywowanego spoiwa żużlowego nie wpływa w istotny sposób na wzrost i rozwój roślin. Rośliny, dzięki swoim zdolnościom do samoregulacji pH środowiska, w którym rosną, mogą w znacznym zakresie wpływać na dostosowanie tego środowiska do swoich potrzeb. Zwiększona dostępność jonów sodowych w glebie nie tylko nie wpłynęła negatywnie na wzrost roślin, ale nawet nieznacznie go przyspieszyła.

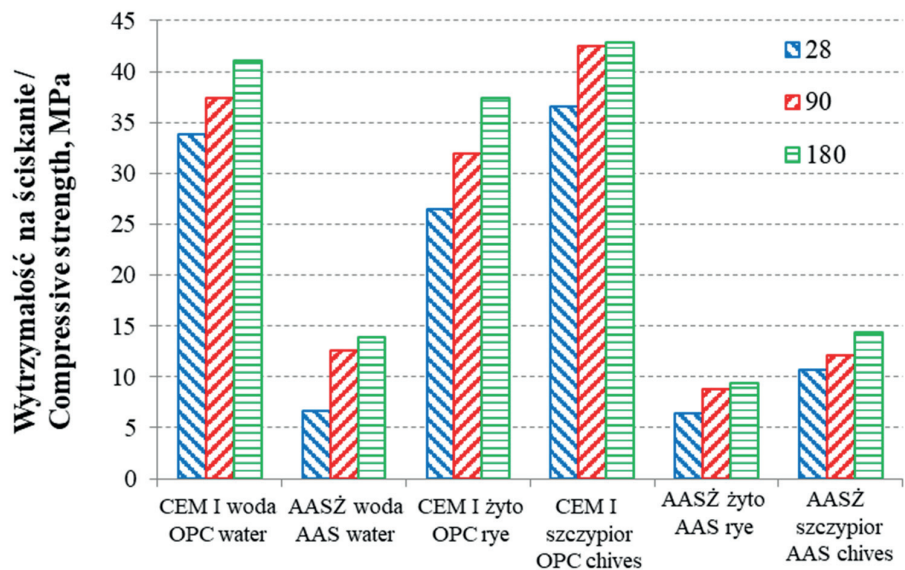
Przeprowadzone badania pozwoliły wysunąć następujące wnioski:

- Rośliny rozwijały się prawidłowo, bez względu na rodzaj podłoża o czym świadczą wyniki analizy biometrycznej. Uzyskana krzywa szybkości wzrostu jest wykładnicza, co cechuje większość gatunków i uznawana jest za właściwą (8).
- Na podstawie zgromadzonych danych doświadczalnych związanych z fizjologią roślin można stwierdzić, iż na wyniki badań odczynu gleb miały przede wszystkim wpływ czynniki wewnętrzne, czyli gospodarka wodna i mineralna roślin. Wynika to ze stabilnych warunków laboratoryjnych, główne temperatury, nasłonecznienia i braku opadów. Aktywność jonów



Rys. 10. Wygląd próbek po 180 dniach wzrostu. a – próbki żyta; b – próbki szczypioru; po lewej uprawy z zaprawą z alkalicznie aktywowanego spoiwa żużlowego, po prawej uprawy z zaprawą z cementu portlandzkiego

Fig. 10. The appearance of samples after 180 days of growth. a – rye samples; b – chives samples; on the left – cultivation with alkali activated slag binder mortar, on the right – cultivation with Portland cement mortar



Rys. 11. Wytrzymałość zapraw z cementu portlandzkiego [CEM I] i alkalicznie aktywowanego spoiwa żużlowego [AASZ] dojrzewających w wodzie oraz w podłożach w których uprawiano żyto oraz szczypior

Fig. 11. Compressive strength of mortars made of Portland cement [OPC] and alkali-activated slag binder [AAS] cured in water and immersed in soils where rye and chives were planted

content, i.e. after 7, 14, 21, 28, 90, and 180 days after sowing. The color of the aboveground parts, the shape and size of the leaves as well as the length of the shoot were observed. Figures 8 - 10 show the appearance of plants after the above-mentioned dates.

wodorowych była zróżnicowana dla poszczególnych gatunków zarówno w uprawach z zaprawami ze spoiwa żuźlowego jak i cementu portlandzkiego, na co nie miał wpływu rodzaj podłoża, a selektywne pobieranie soli mineralnych dostępnych w glebie, przez rośliny.

- Podobne wnioski można wysunąć na podstawie wyników oznaczeń zawartości jonów sodowych w glebie jak i częściach roślin. Ilość tego pierwiastka jest zmienna w czasie i zależy od indywidualnych potrzeb roślin. Porównując uzyskane wyniki dla różnych spoiw można stwierdzić, że obecność beleczek ze spoiwem żuźlowym nie wpływa na stężenie sodu. Warto jednak zauważyć, że w każdej grupie stwierdzono jego minimalną zawartość, co jest konieczne dla rozwoju wszystkich roślin. W żadnym przypadku nie stwierdzono podwyższonej zawartości sodu [wyniki poniżej 1 mg/l], co mogłoby pogorszyć właściwości sorpcyjne i strukturę gleby, a także szkodliwie oddziaływać na rośliny (12).
- Na podstawie oceny makroskopowej roślin nie zauważono negatywnego wpływu składu spoiwa żuźlowo-alkalicznego na ich wzrost i rozwój.

Podsumowując rezultaty wykonanych badań można stwierdzić, że zaprawa ze spoiwa żuźlowo-alkalicznego, aktywowanego roztworem NaOH, nie wpływa negatywnie na wzrost i rozwój roślin. Stwarza to możliwości wykorzystania prefabrykatów betonowych i spoiw z alkalicznie aktywowanego żuźła wielkopieczowego do budowy ogrodzeń, chodników, produkcji donic, bez obawy na szkodliwe oddziaływanie na wzrost roślinności.

## Literatura / References

1. J. Deja, Durability of alkali activated slag mortars and concretes, *Ceramika/Ceramics* **83**, (2004), (in Polish).
2. W. Kurdowski, *Chemistry of Cement and Concrete*, Springer, Dodrecht, 2014.
3. S. Grzeszczyk, K. Jurowski, J. Kowalska, Effects of adding granulated blast-furnace slag to cement on the washout of concrete mixes in underwater construction, *Cement Wapno Beton*, **24** (6), 515-524 (2019).
4. Ł. Gołek, Influence of the chemical composition of aluminosilicate glasses on the process of their alkaline activation, PhD thesis, AGH University of Science and Technology, Kraków 2007 (in Polish).
5. G. Hathi Ram, B. Sessa Sreenivas, D. Rama Seshu, Strength characteristics of geopolymer concrete using ggbfs and fly ash as source materials, *Cement Wapno Beton*, **24** (2), 85-91 (2019).
6. Głuchowski W. D., „Własności alkaliczno-glinokrzemianowych tworzyw wiążących i betonów”, *Cement-Wapno-Gips*, 1976
7. W. Brylicki, J. Małolepszy, S. Stryczek, R. Wiśniowski, Ł. Kotwica, Effects of modification of alkali activated slag cementing slurries with natural clinoptilolite, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi / Miner. Res. Manag.* **25** (4), 61-76 (2009).
8. S. Lewak, J. Kopcewicz, *Fizjologia roślin*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013
9. B. Bułała, *Fizjologia roślin*, Wydawnictwo Szkolne Omega, Kraków 2011
10. A. Saweykowska, *Fizjologia roślin*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 1997

Rye seeds sprouted in all containers after only two days, and on the seventh day, about 15-centimeter seedlings were observed, whose first leaves were dark green, shortened shoots with a lighter shade of green. In the following days, ribbon-shaped leaf blades increased in size, which after 28 days [Fig. 8d] rye shoots bend under their weight.

On the other hand, chives started sprouting a little later than rye, but also on the seventh day, the appearance of the first young leaves was observed. As time went on, the tubular, dark green leaves were getting more numerous. The important fact is that in the first month no differences were noticed in the external appearance of plants growing both on the reference substrate and with slags from the slag-alkali binder.

After 90 and 180 days, it was noticed that a portion of the leaves of the rye, regardless of the type of substrate, was yellow or withered. This could have been caused by several factors, i.e. too rapid initial seedling growth, which led to the selection of young plants, dry soil, or cereal disease. In addition, no significant increase in leaf size was observed. In the case of chives, no negative changes were noticed. However, in both samples, an increase in the number of dark green leaves was observed. They also increased their length and thickness, compared to the first 28 days.

### 3.5. Compressive strength

During the experiment, compressive strength was also tested. Strength was tested on samples taken out of the soil, for 28, 90 and 180 days.

Some slight reduction in strength was noted for Portland cement mortars, matured in rye substrate. In other cases, no significant influence of the soil substrate on the mortar strength was noted.

## 4. Summary and conclusions

The purpose of the work was to determine the effect of a slag-alkali binder on the growth and development of plants. In this work, the ripening of two crop plants: rye and chives in the presence of bars made of mortars with a slag binder activated with NaOH solution was investigated. Reference samples made of Portland cement were also investigated.

The contact of soil with an alkali-activated slag binder mortar does not significantly affect plant growth and development. Plants, thanks to their ability to self-regulate the pH of the environment in which they grow, can significantly influence the adaptation of this environment to their needs. The increased availability of sodium ions in the soil not only did not adversely affect plant growth, but even slightly accelerated it.

The results of research carried out allowed to draw the following conclusions:

- The plants have grown properly, regardless of the type of substrate, as evidenced by the results of the biometric analysis. The

11. M. Kozłowska, Fizjologia roślin, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań 2007

12. S. Kowalik, Zagadnienia z gleboznawstwa, Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2004

obtained growth velocity curve is exponential, which is typical for the majority of species, and is considered appropriate (8).

- Based on the experimental results related to plant physiology, it can be concluded that the results of soil pH tests were primarily influenced by internal factors, i.e. water and mineral management of plants. This is due to stable laboratory conditions, i.e. temperature, insolation, no precipitation, etc. The concentration of hydrogen ions varied for particular species in both test and reference samples, which was not affected by the type of substrate, and the selective uptake of mineral salts available in the soil by the plants.
- Similar conclusions can be drawn based on the results of the determination of sodium ions contained in the soil as well as parts of plants. The amount of this element is variable over time and depends on the particular needs of the plants. When comparing the results obtained for the research and reference samples, it can be concluded that the content of slag-bonded beams does not affect the sodium concentration. It is worth noting, however, that each group has its minimum presence, which is necessary for the development of all plants. In no case was found the elevated sodium content (results below 1 mg / l), which could deteriorate sorptive properties and soil structure, as well as adversely affect plants (12).
- Based on the macroscopic evaluation of plants, no negative effect of the slag-alkali binder on their growth and development was noticed.

Summarizing up the results of the performed tests, it can be concluded that the slag-alkali, binder activated with a NaOH solution, does not adversely affect the growth and development of plants. This creates the possibility of using concrete prefabricates and binders, based on alkaline activated blast furnace slag, for construction of fences, sidewalks, pot production, without the fear of adverse effects on vegetation growth.