KURS

„BIOLOGIA POD KLUCZ"

FIZJOLOGIA ROŚLIN

Prezentacja jest chroniona prawnie przed kopiowaniem bez pisemnej zgody autora i stanowi „utwór" i w myśl Ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. z 1994 r., Nr 24, poz. 83 z późn. zm.).

GOSPODARKA WODNA I ODŻYWIANIE MINERALNE ROŚLIN

PODSTAWA PROGRAMOWA 2025

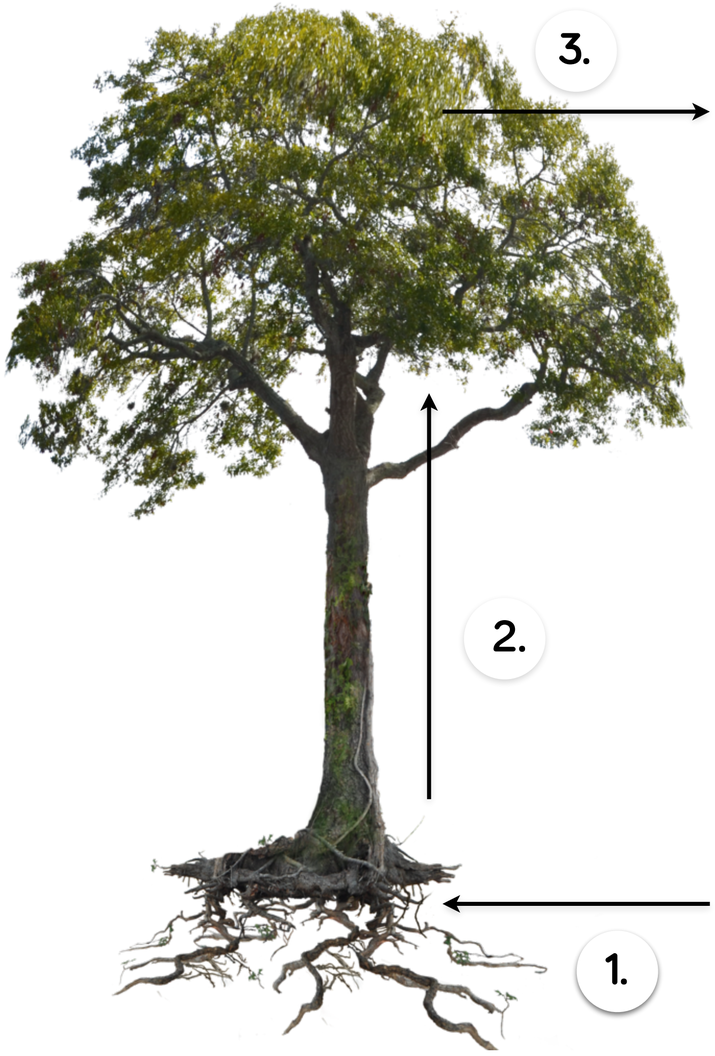


1. Wyjaśnia mechanizmy pobierania oraz transportu wody i soli mineralnych.
2. Planuje i przeprowadza obserwację pozwalającą na identyfikację tkanki przewodzącej wodę w roślinie.
3. Wykazuje związek zmian potencjału osmotycznego i potencjału wody z otwieraniem i zamykaniem szparek.
4. Wykazuje wpływ czynników zewnętrznych (temperatura, światło, wilgotność, ruchy powietrza) na bilans wodny roślin; planuje i przeprowadza doświadczenie określające wpływ czynników zewnętrznych na intensywność transpiracji.
5. Przedstawia adaptacje w budowie anatomicznej roślin do wymiany gazowej.
6. Opisuje wpływ suszy fizjologicznej na bilans wodny rośliny.
7. Podaje dostępne dla roślin formy wybranych makroelementów (N, S).
8. Przedstawia znaczenie wybranych makro- i mikroelementów (N, S, Mg, K, P) dla roślin.

TRANSPORT WODY

Transport wody w roślinie zachodzi w **trzech** etapach:

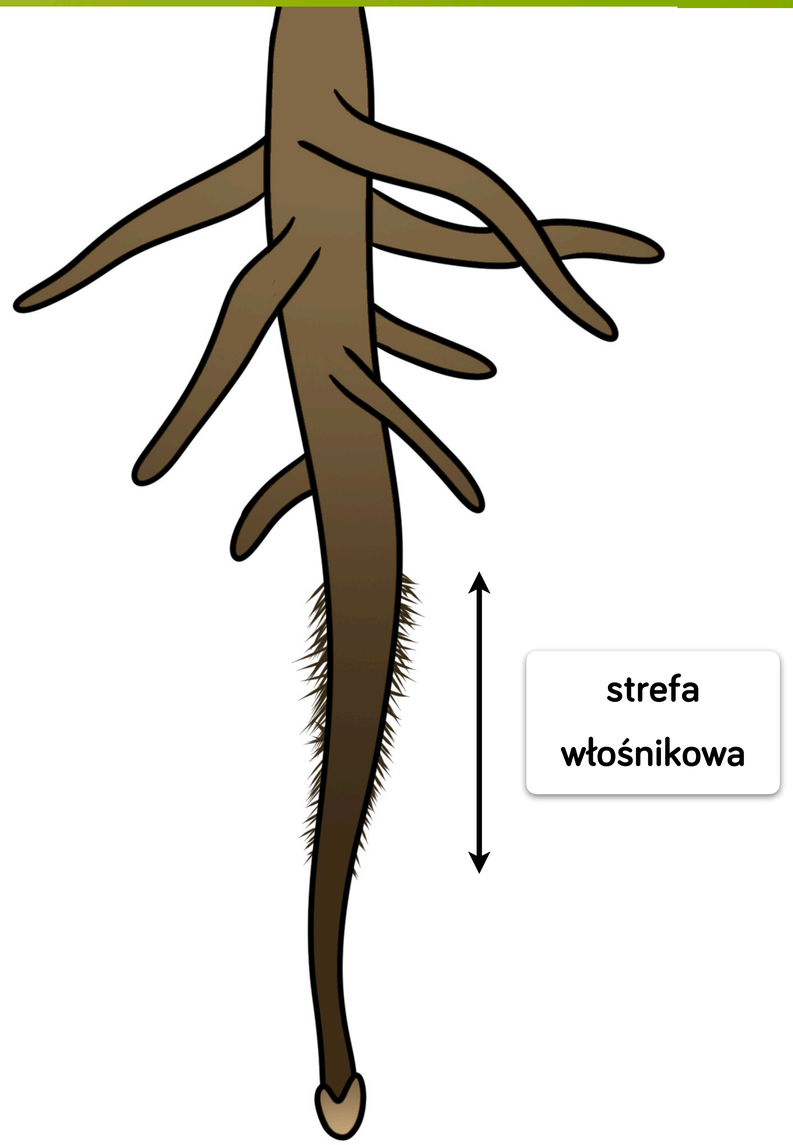
1. **Pobieranie wody** z roztworu glebowego i jej **poziomy transport** w poprzek tkanek korzenia.
2. **Pionowy transport** wody z korzeni do liści poprzez łodygę.
3. **Poziomy transport** wody w liściu oraz transpiracja (lub gutacja).



TRANSPORT POZIOMY PRZEZ TKANKI KORZENIA

Proces ten najintensywniej zachodzi w **strefie włośnikowej**. Dzieje się to ze względu na obecność **włośników**, **zwiększających powierzchnię wchłaniania wody i mineralnych.**

W **strefie korzeni bocznych** zwykle nie dochodzi do pobierania wody, ponieważ posiadają one **budowę wtórną** - są pokryte **korkowicą** (a nie ryzodermą), która jest **nieprzepuszczalna dla wody.**

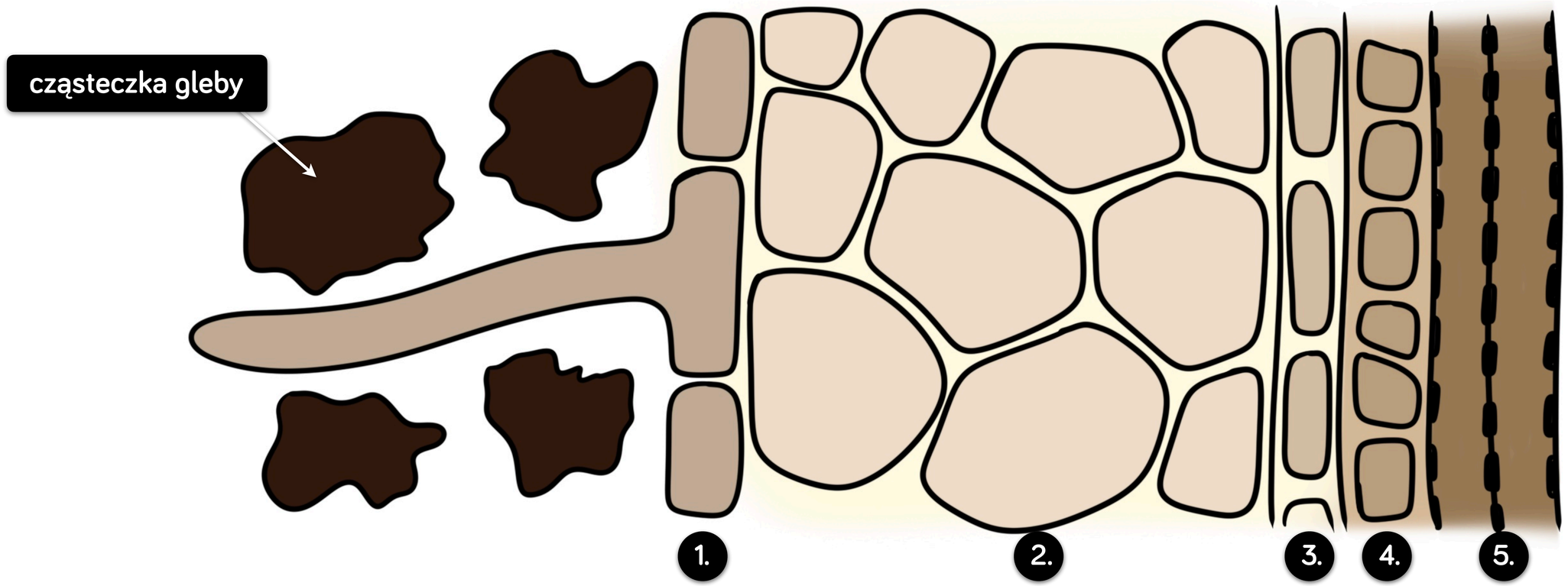


TRANSPORT POZIOMY PRZEZ TKANKI KORZENIA

Dawid uczy

Woda pobrana z gleby jest transportowane w następującej kolejności:

1. ryzoderma → 2. kora pierwotna → 3. śródskórnia → 4. okolnica → 5. drewno



TRANSPORT POZIOMY PRZEZ TKANKI KORZENIA

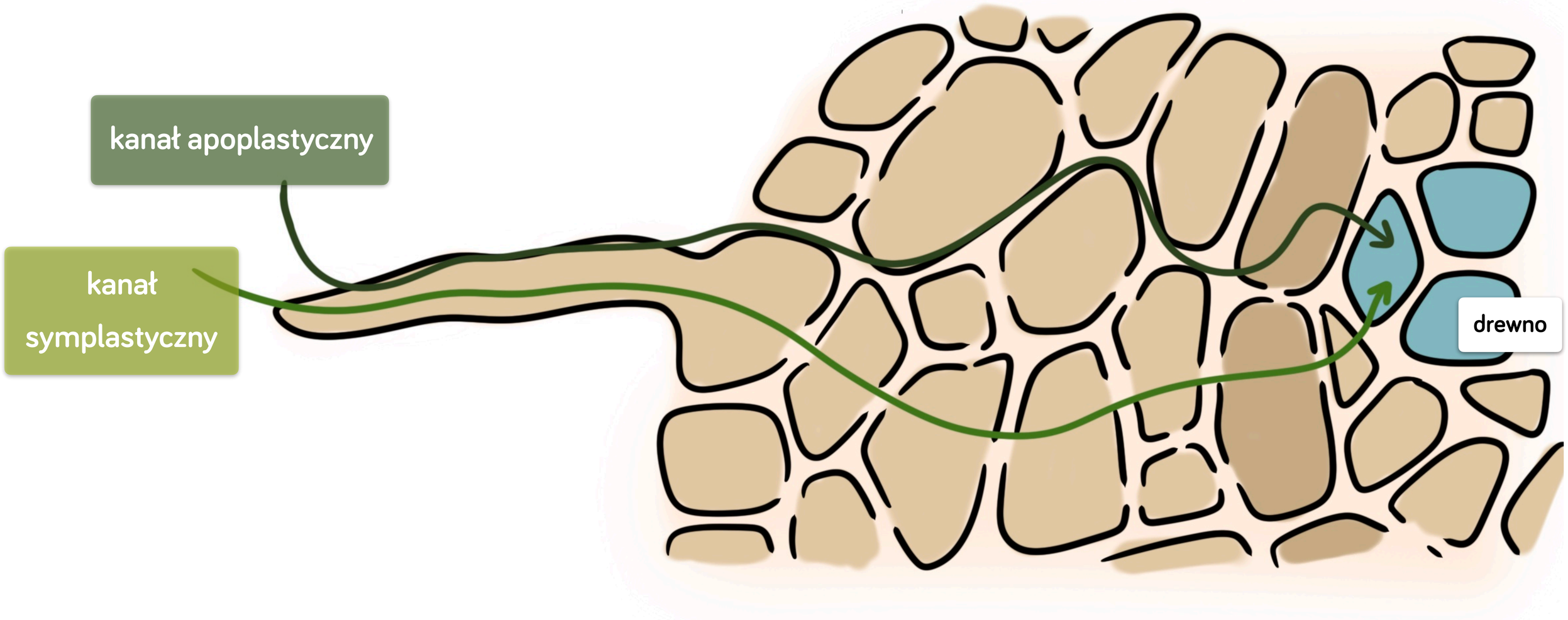


Transport wody w tkankach korzenia jest możliwy na dwa sposoby:

- transport **apoplastyczny** - odbywa się wzdłuż ścian komórkowych oraz w przestrzeniach międzykomórkowych
- transport **symplastyczny** - zachodzi przez protoplasty komórek (dzięki plazmodesmom)

W transporcie **wody** większe znaczenie ma transport **apoplastyczny**, zaś w transporcie **soli mineralnych** - transport **symplastyczny**.

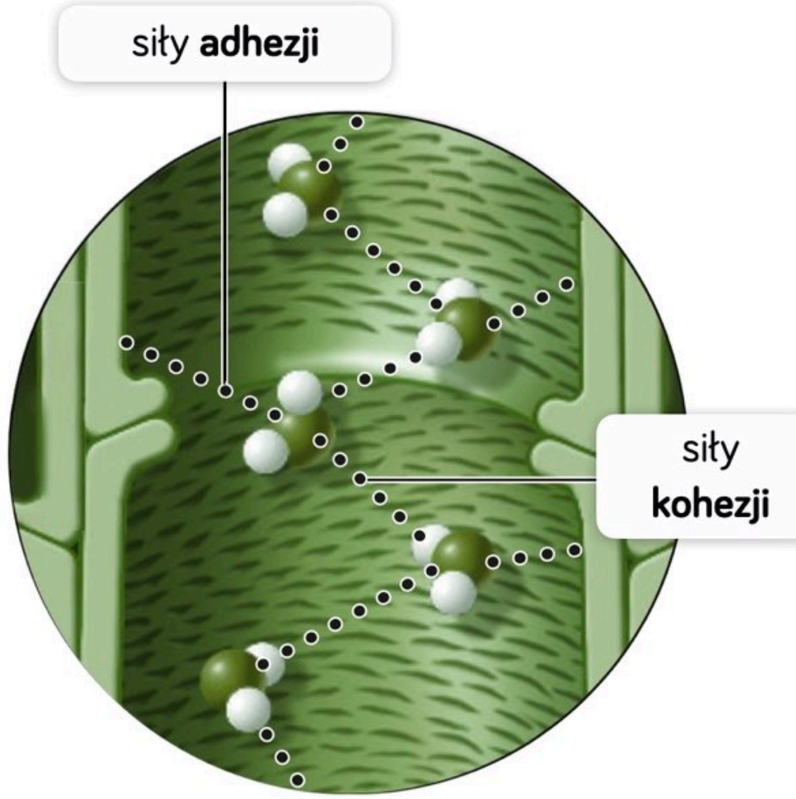
TRANSPORT POZIOMY PRZEZ TKANKI KORZENIA



TRANSPORT PIONOWY PRZEZ ŁODYGĘ

Transport wody z korzeni do liści zachodzi zachodzi **wbrew sile grawitacji**, dlatego duże znaczenie w tym transporcie mają **siły**, które powstają dzięki obecności **wiązań wodorowych** między cząsteczkami wody:

- siły **kohezji** - siły spójności, wzajemnego przyciągania się cząsteczek wody → **dzięki nim woda jest transportowana w postaci nieprzerwanego słupa.**
- siły **adhezji** - siły przylegania, cząsteczki wody przylegają do ścian komórkowych drewna → **dzięki nim słup wody przylega do ścian drewna.**

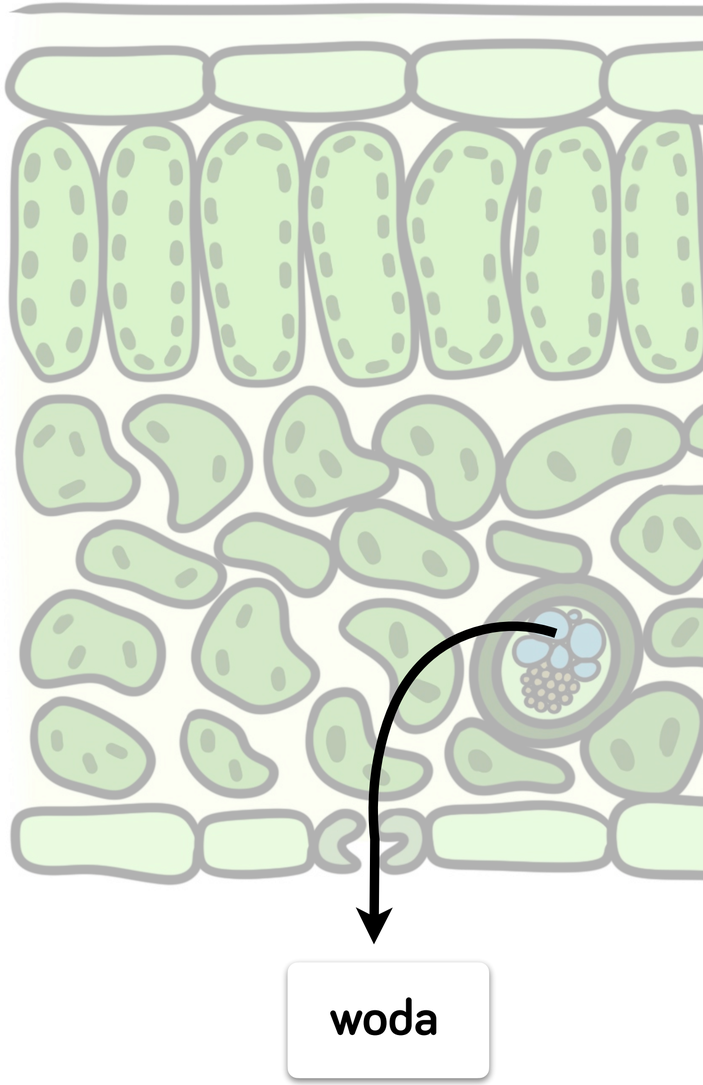


TRANSPORT POZIOMY PRZEZ TKANKI LIŚCIA

Woda jest transportowana **z wiązek przewodzących łodygi do wiązek przewodzących liści** (nerwacja/użyłkowanie), a następnie **przez komórki miękiszu do skórki i aparatów szparkowych.**

Woda paruje przez otwarte aparaty szparkowe (proces transpiracji) i przedostaje się do otoczenia.

W przypadku **nadmiaru wody i dużej wilgotności powietrza** - woda jest usuwana na drodze **gutacji**.



POTENCJAŁ WODY W ROŚLINIE



Ruch wody w roślinie odbywa się dzięki różnicy **potencjałów wody** roztworu glebowego, roztworu w tkankach rośliny i atmosfery.

Potencjał wody (Ψ_W) jest miarą zdolności komórki do **pobierania** lub **oddawania wody** na drodze **osmozy**.

Zależy on od:

- potencjału osmotycznego **(Ψ_S) - zdolności cząsteczek wody do osmozy.**

Potencjał osmotyczny nigdy nie przyjmuje **wartości dodatniej.**

- potencjału ciśnienia turgorowego **(Ψ_P) - wpływu napięcia ściany komórkowej**

POTENCJAŁ WODY W ROŚLINIE



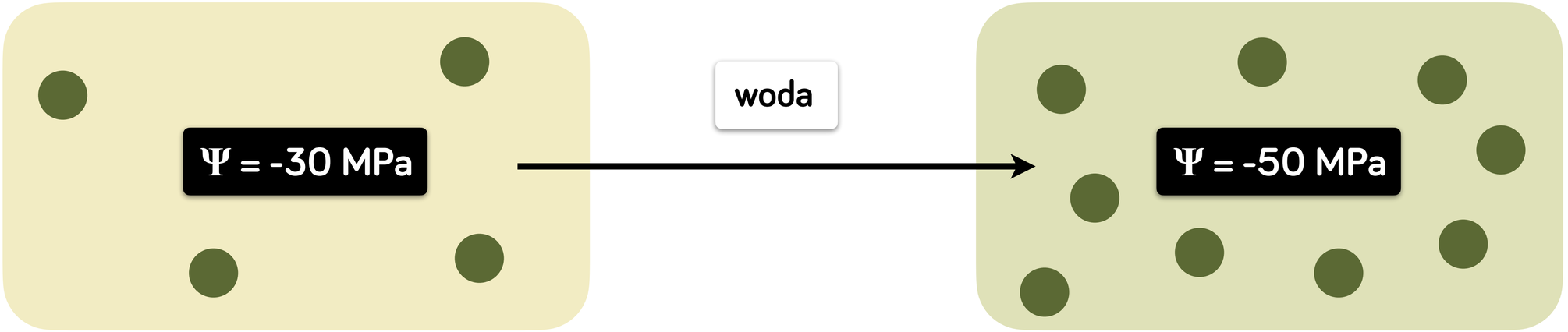
$$\Psi_W = \Psi_S + \Psi_P$$

Jednostką jest **paskal** (Pa). Ze względu na duże liczby, zwykle stosuję się megapaskale **(MPa)**.

MECHANIZM OSMOZY – PRZYPOMNIENIE

Woda przepływa zawsze z miejsca, gdzie stężenie substancji rozpuszczonej jest **niższe** do miejsca, gdzie stężenie substancji rozpuszczonej jest **wyższe**, po to, żeby doszło do **wyrównania stężeń** po obu stronach błony.

Dlatego, w roślinie, woda będzie zawsze przepływać z miejsca, gdzie potencjał wody jest **wyższy** do miejsca, gdzie potencjał wody jest **niższy**.



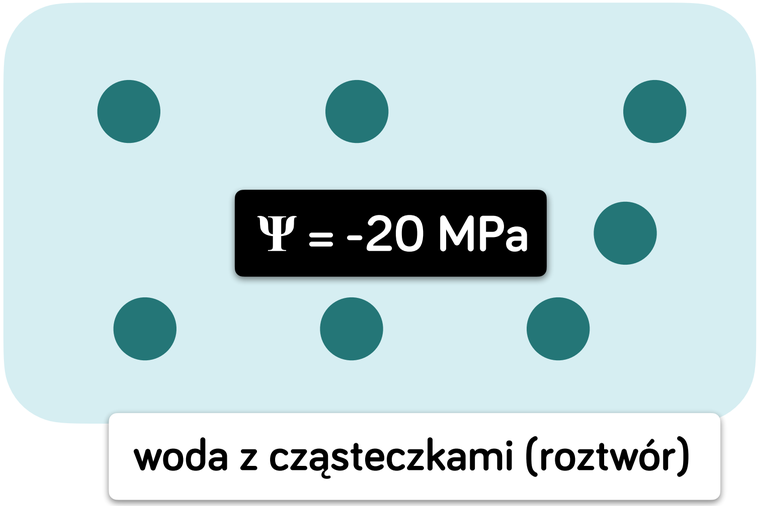
POTENCJAŁ WODY W ROŚLINIE

Potencjał czystej wody jest równy Ψ = 0 MPa

Rozpuszczenie w wodzie związków osmotycznie czynnych powoduje **spadek potencjału wody** - ma on wówczas wartość **ujemną**.

Gdy dodamy daną substancję do czystej wody, przyłączy ona jej cząsteczki, zmniejszając liczbę cząsteczek wody wolnej oraz obniży zdolność wody do przemieszczania się i wykonywania pracy. Tak więc dodawanie substancji zawsze obniża potencjał wody.





POTENCJAŁ WODY GLEBA – ROŚLINA – ATMOSFERA

Potencjał wody ma **najniższą** wartość w **atmosferze**, zaś **najwyższą** wartość w **glebie**.

Dlatego, woda jest transportowana **z gleby przez roślinę do atmosfery**, bo wynika to z **dużej różnicy potencjałów wody** między glebą a atmosferą. Wymusza to więc **ciągły przepływ wody** przez roślinę.



atmosfera
Ψ = -30 MPa

liść
Ψ = -1,5 MPa

łodyga
Ψ = -0,7 MPa

korzeń
Ψ = -0,4 MPa

r-r glebowy
Ψ = -0,1 MPa

MECHANIZM PRZEWODZENIA WODY W ROŚLINIE



BIERNY – SIŁA SSĄCA LIŚCI

- podstawowy mechanizm
- nie wymaga nakładu energii
- zachodzi dzięki transpiracji

CZYNNY – PARCIE KORZENIOWE

- mechanizm pomocniczy
- wymaga nakładu energii
- zachodzi dzięki aktywnemu pobieraniu jonów z gleby

SIŁA SSĄCA LIŚCI



Mechanizm ten jest możliwy dzięki **transpiracji** (parowanie wody z powierzchni liści), która powoduje powstanie **podciśnienia (ujemnego ciśnienia hydrostatycznego)** w elementach przewodzących drewna - cewkach lub naczyniach.

Podciśnienie działa jak **siła ssąca**, przez co woda jest **zasysana** z tkanek położonych niżej oraz z roztworu glebowego. **W ten sposób roślina podciągając słup wody uzupełnia ubytki wody spowodowane jej wyparowaniem.**

SIŁA SSĄCA LIŚCI



Mechanizm ten można przyrównać do picia wody przez słomkę.

Nasza jama ustna, podobnie jak transpirujące liście, wytwarza podciśnienie wewnątrz słomki, co powoduje zassanie wody ze szklanki i pociąganie jej w kierunku ust.

PARCIE KORZENIOWE



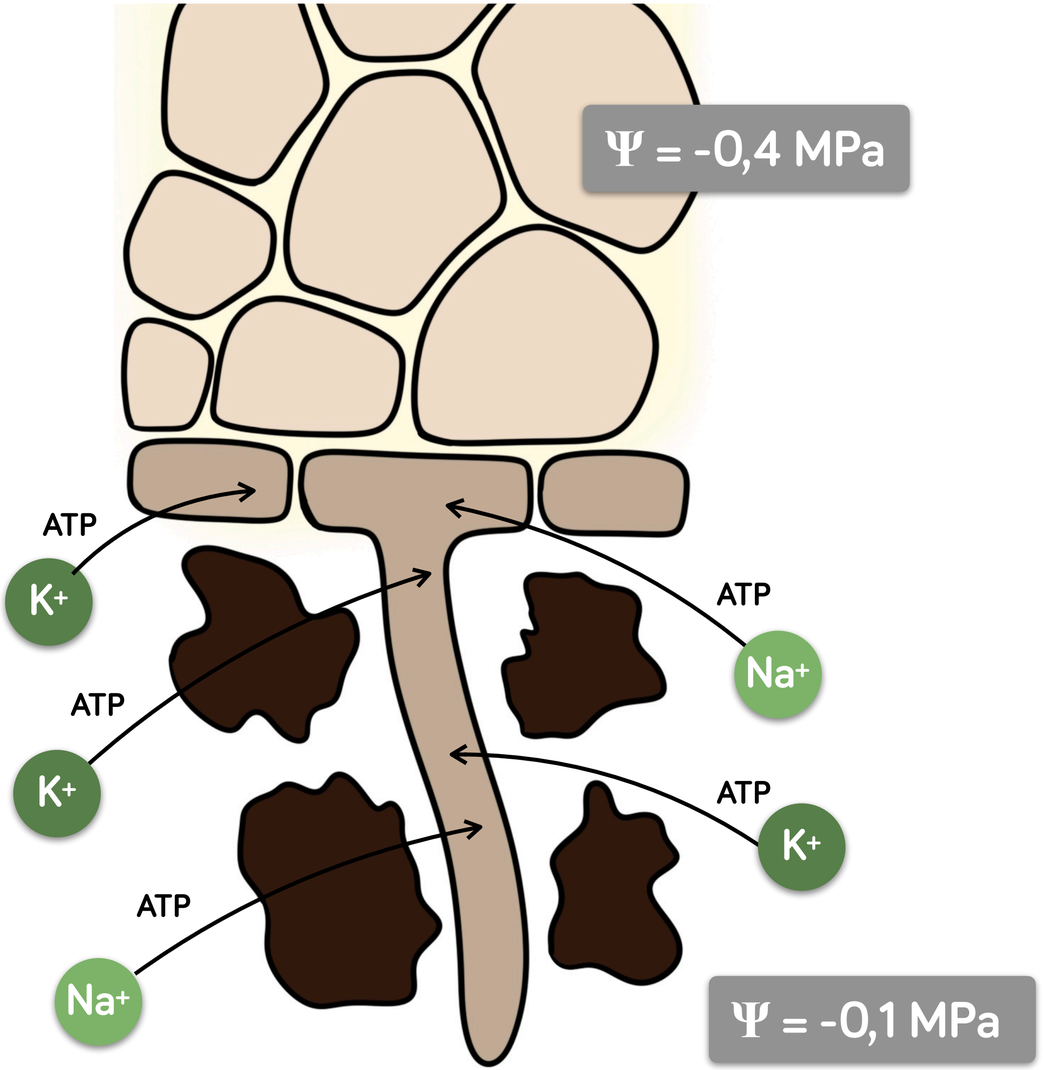
W sytuacji, gdy **transpiracja ulega zahamowaniu** np. z powodu opadu liści, woda jest pobierana na drodze **parcia korzeniowego.**

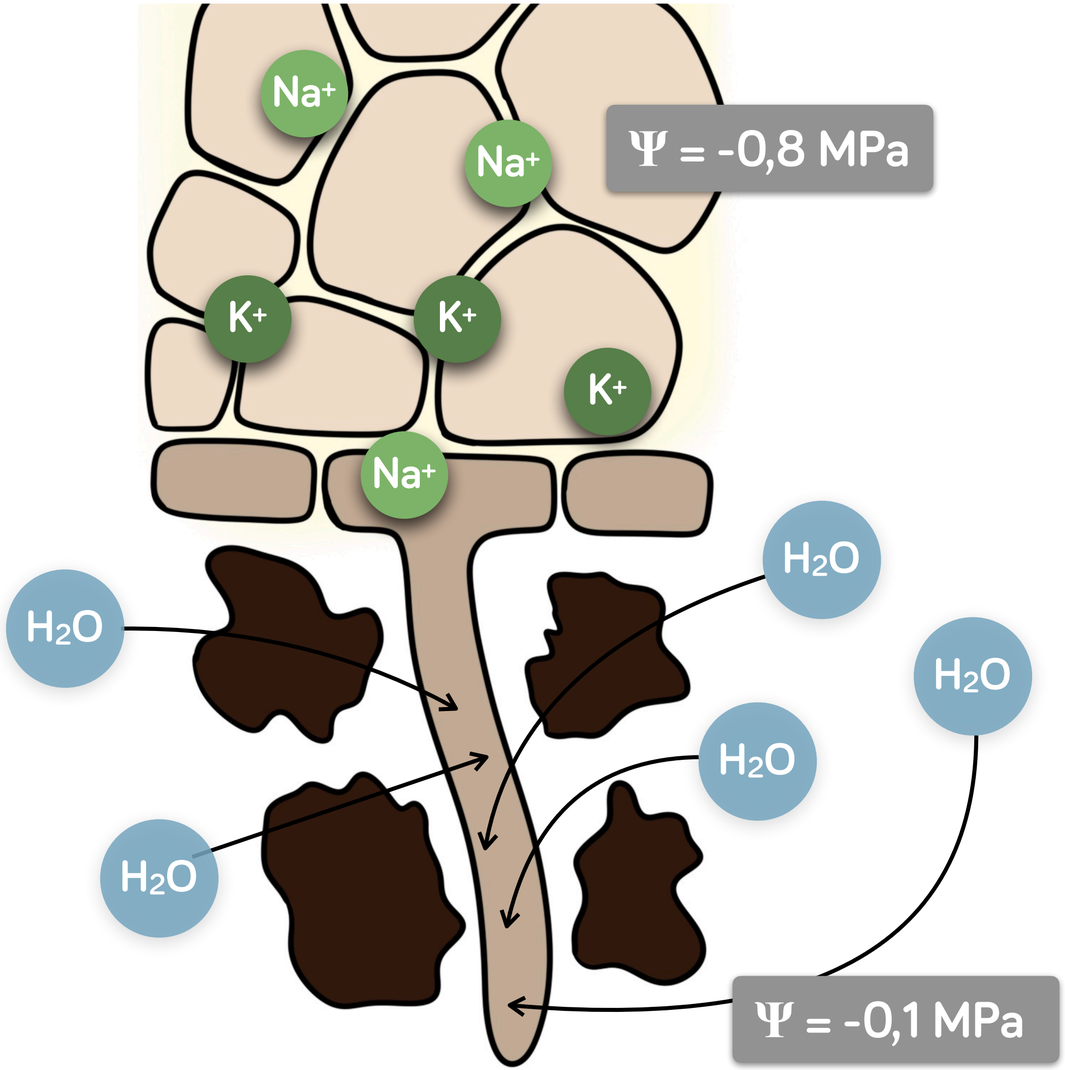
Dzięki hydrolizie ATP, z żywych komórek walca osiowego do elementów przewodzących drewna **aktywnie transportowane są jony i inne substancje osmotycznie czynne**.

Dochodzi do zwiększenia stężenia substancji rozpuszczonych w komórkach drewna, a więc do **spadku potencjału osmotycznego**. Dzięki temu, woda osmotycznie napływa do elementów drewna.

Napływ wody do drewna powoduje powstanie w nim **ciśnienia dodatniego**, tzw. **parcia korzeniowego**, które działa jak **pompa tłocząca** wodę w górę rośliny.

PARCIE KORZENIOWE





PARCIE KORZENIOWE

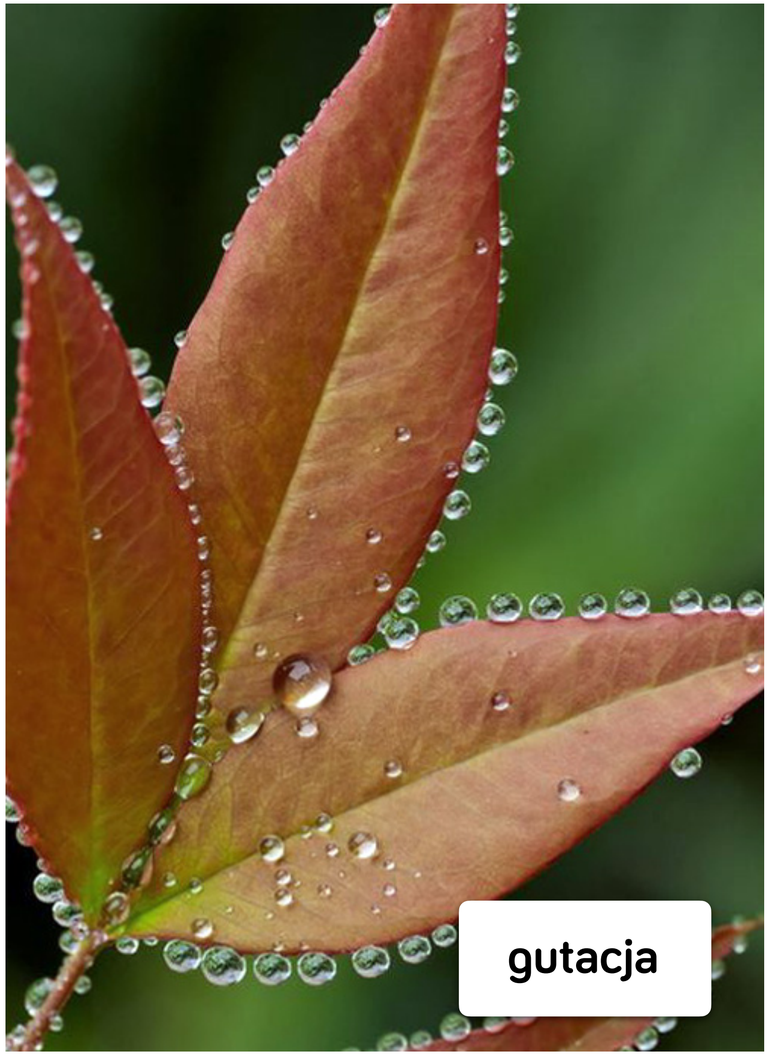


Przejawem parcia korzeniowego są:

- **gutacja** - jest to wydzielanie kropli płynu na brzegach i wierzchołkach liści, przez specjalne otwory - hydatody; zachodzi w sytuacji, gdy transpiracja jest niewielka, a zawartość wody w glebie - wysoka

- **wiosenny płacz roślin** - jest to wypływanie wodnistego płynu z pni drzew naciętych wczesną wiosną, kiedy nie działa jeszcze siła ssąca transpirujących liści.

PRZEJAWY PARCIA Kkorzeniowego



gutacja



wiosenny płacz roślin

TRANSPIRACJA

Transpiracja to zjawisko parowania wody z nadziemnych części rośliny.

Funkcje transpiracji:

- wpływa na pobieranie i transport wody z solami mineralnymi,
- umożliwia wymianę gazową,
- chroni roślinę przez przegrzaniem.



woda wyparowana na drodze transpiracji widoczna w postaci kropel na worku foliowym

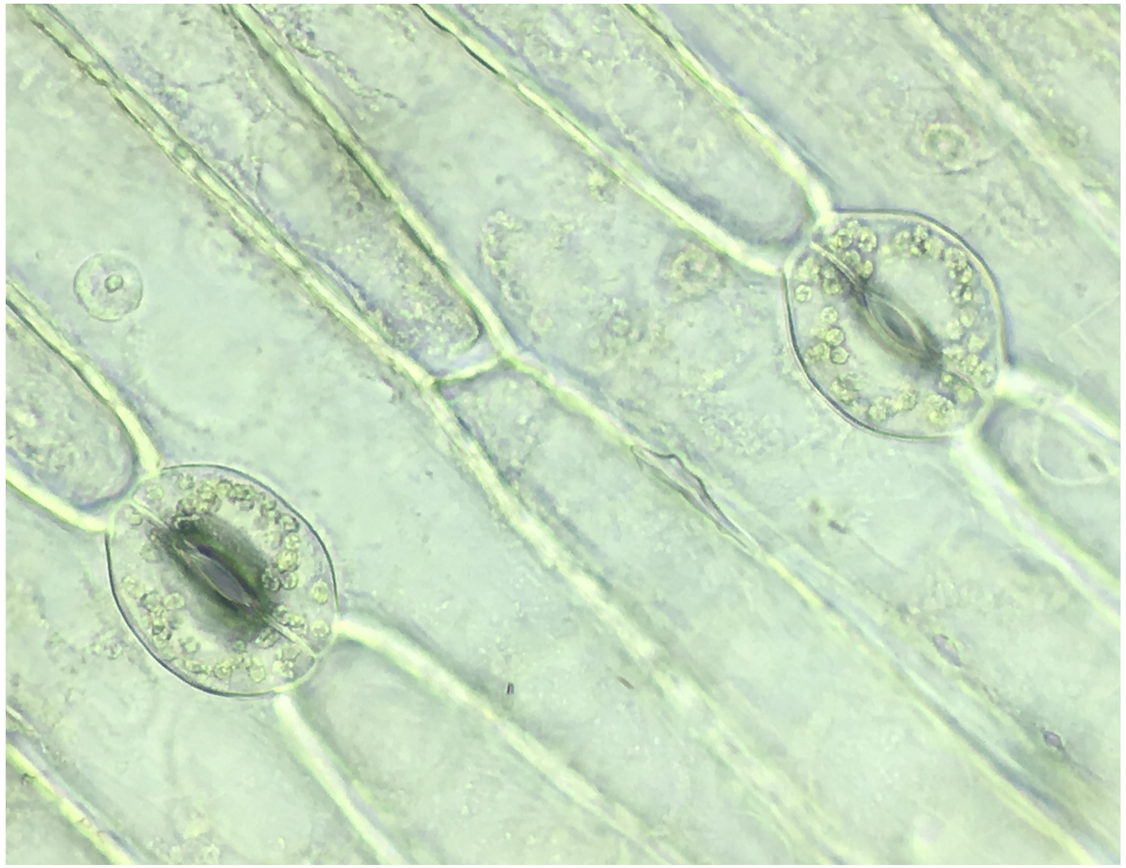
RODZAJE TRANSPIRACJI



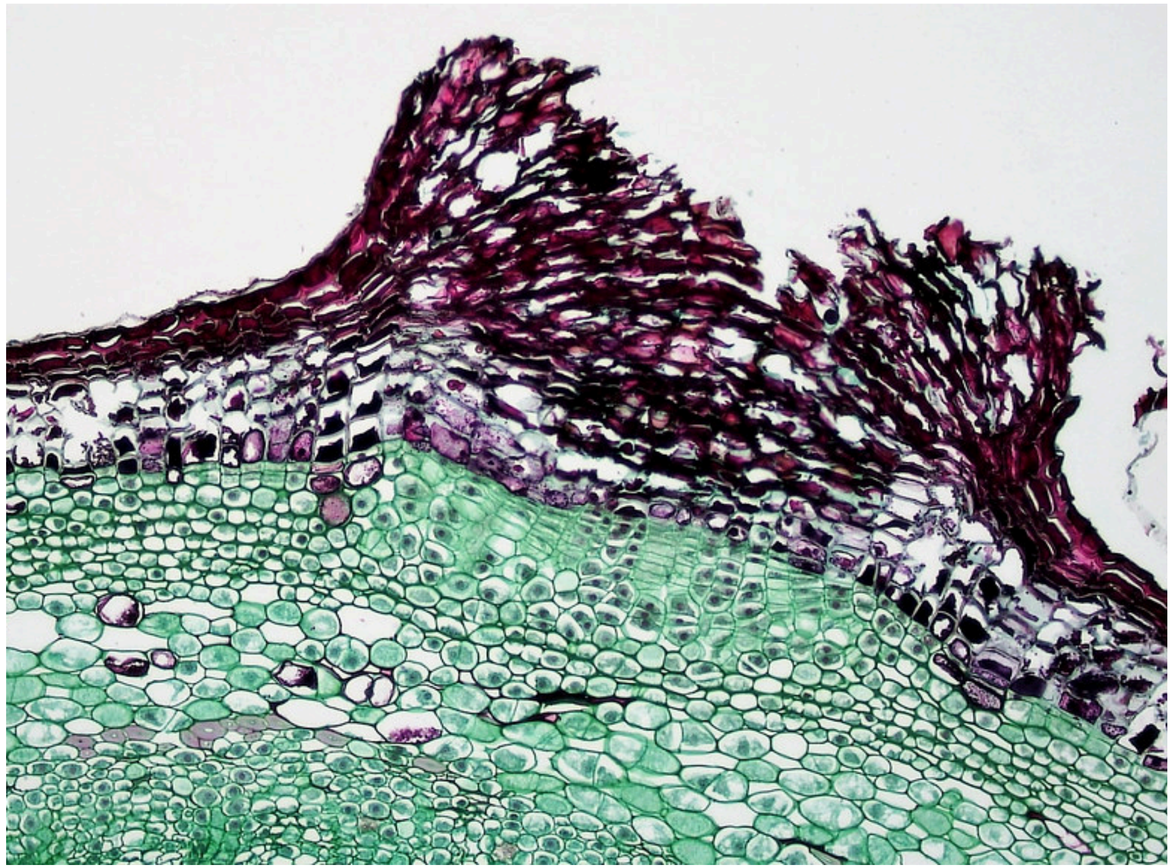
Rodzaje transpiracji:

- **szparkowa** - polega na wyparowaniu wody przez otwarte aparaty szparkowe,
- **przetchlinkowa** - polega na wyparowywaniu przez stale otwarte przetchlinki korka,
- **kutykularna** - polega na wyparowywaniu wody przez przez epidermę pokrytą kutykulą.

STRUKTURY BIORĄCE UDZIAŁ W TRANSPIRACJI



aparaty szparkowe w epidermie



przetchlinka w korkowicy

CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA TRANSPIRACJĘ



Czynniki wpływające na intensywność transpiracji szparkowej:

- **czynniki wewnętrzne** związane z budową rośliny, np. wielkość systemu korzeniowego oraz liczba i rozmieszczenie aparatów szparkowych;

- **czynniki zewnętrzne** wynikające z warunków środowiska życia rośliny, np. temperatura, natężenie światła, wiatr, dostępność wody glebowej.

CZYNNIKI WEWNĘTRZNE



- **wielkość systemu korzeniowego**

  im większy system korzeniowy, tym intensywniej roślina przeprowadza transpirację, aby zapewnić optymalny pobór wody z powodu dużej powierzchni chłonnej korzeni.

- **liczba aparatów szparkowych**

  im więcej aparatów szparkowych posiada roślina, tym intensywniej może przeprowadzać transpirację.

CZYNNIKI ZEWNĘTRZNE



- **temperatura**

  wysoka temperatura zmniejsza wilgotność powietrza wokół liścia, a więc przyczynia się do spadku wartości potencjału wody powietrza; dzięki temu różnica potencjałów między liściem a powietrzem wzrasta i transpiracja zachodzi intensywniej.

- **wiatr**

  wiatr działa podobnie jak wysoka temperatura, bo powoduje usunięcie wilgotnego powietrza otaczającego liście, co zmniejsza wilgotność względną powietrza.

CZYNNIKI ZEWNĘTRZNE



- **dostępność wody**

  niedobór wody w podłożu zmniejsza intensywność transpiracji, ponieważ prowadzi do zmniejszenia zawartość wody w tkankach liścia, a w rezultacie do zamykania aparatów szparkowych.

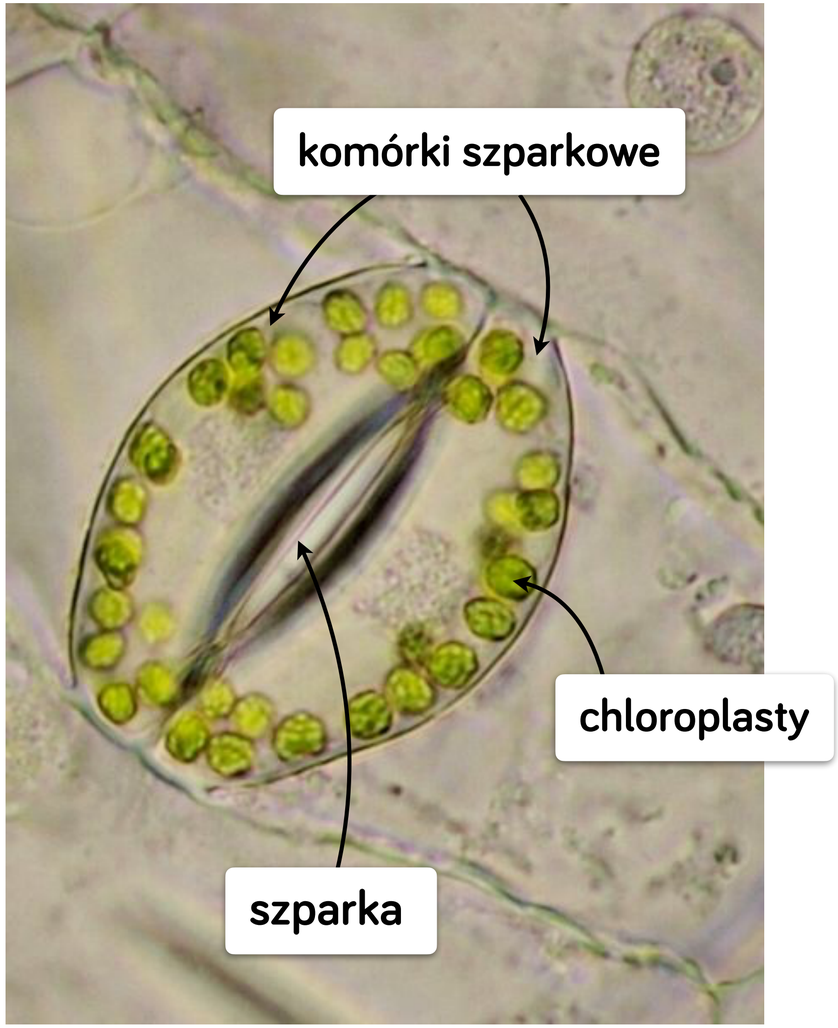
- **natężenie światła**

  wzrost natężenia światła zwiększa intensywność transpiracji, ponieważ światło ogrzewa blaszki liściowe oraz pobudza mechanizm otwierania aparatów szparkowych.

BUDOWA APARATU SZPARKOWEGO

Aparat szparkowy składa się z dwóch **komórek szparkowych**, między którymi znajduje się otwór – **szparka**. Komórki szparkowe w odróżnieniu od pozostałych komórek skórki zawierają **chloroplasty** i są zdolne do przeprowadzania **fotosyntezy**. W swoim wnętrzu posiadają także **wakuolę**.

Ściany komórkowe komórek szparkowych są **nierównomiernie zgrubiałe**, zwłaszcza wzdłuż szparki.



MECHANIZM OTWIERANIA APARATU SZPARKOWEGO

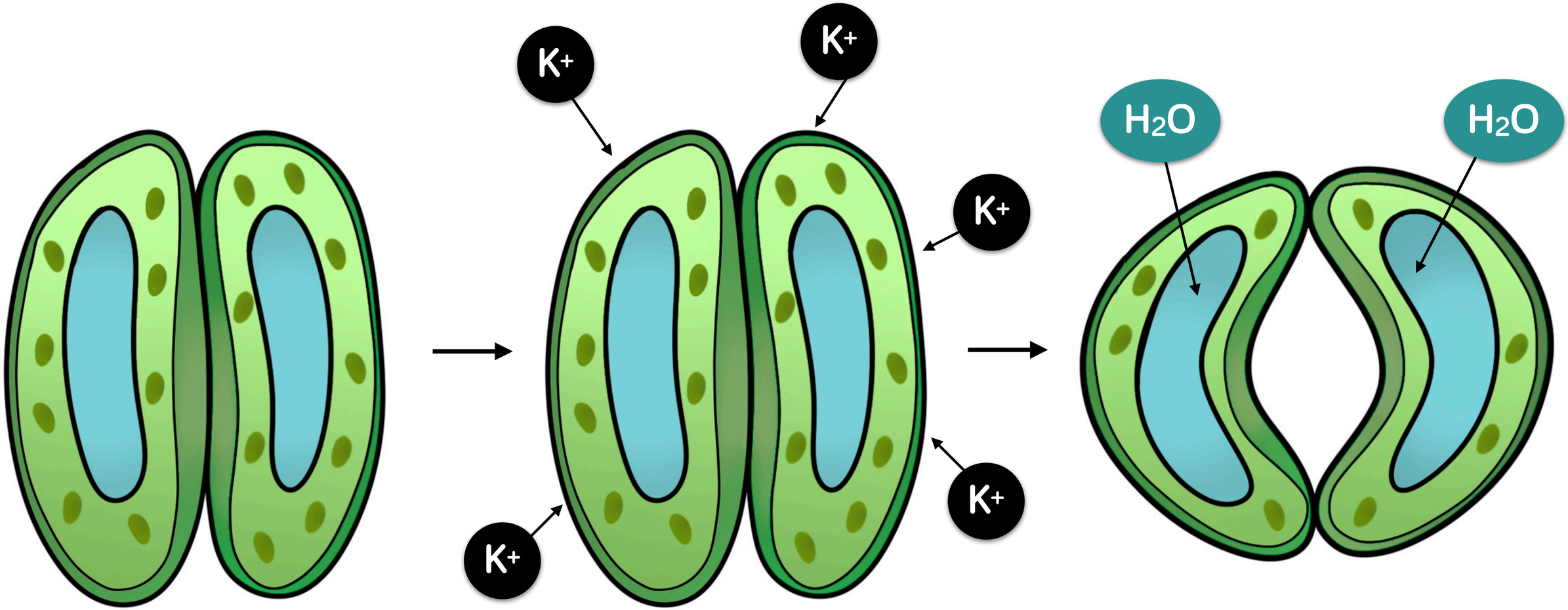


Komórki szparkowe na drodze transportu **aktywnego** pobierają jony **K^+**. Powoduje to w ich wnętrzu **spadek potencjału wody** i **osmotyczny napływ wody do ich wakuoli**.

(Napływająca woda przyczynia się do hydrolizy skrobi w komórkach szparkowych, która rozkładana jest do jonów jabłczanowych, które obniżają potencjał wody w komórkach szparkowych).

Wakuola zwiększa swoje rozmiary, **zwiększając nacisk protoplastu na ścianę komórkową**, tym samym **zewnętrzna**, **cieńsza** ściana komórki szparkowej **odkształca** się **silniej** niż **grubsza** ściana **wewnętrzna**, co powoduje **otwarcie aparatu szparkowego**.

MECHANIZM OTWIERANIA APARATU SZPARKOWEGO



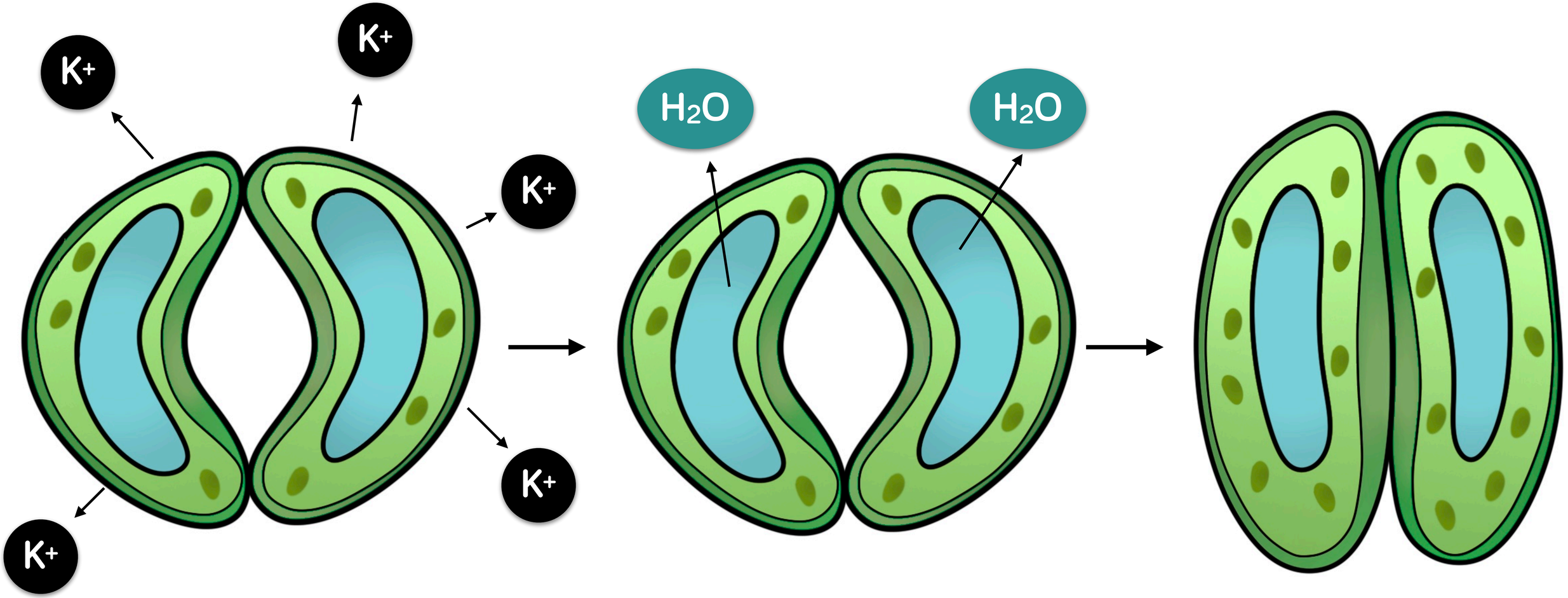
MECHANIZM ZAMYKANIA APARATU SZPARKOWEGO



Gdy w komórkach szparkowych dojdzie do **spadku stężenia jonów K^+** (są transportowane do komórek epidermy) **i jonów jabłczanowych** (są wykorzystywane do syntezy skrobi), **woda osmotycznie wypływa** z komórek szparkowych o wyższym potencjale wody do komórek epidermy o niższym potencjale wody.

Powoduje to **zmniejszenie objętości wakuoli**, która już nie napiera na ściany komórkowe komórek szparkowych, komórki te tracą swój turgor i **aparat szparkowy zamyka się**.

MECHANIZM OTWIERANIA APARATU SZPARKOWEGO



BILANS WODNY



Bilans wodny rośliny przedstawia stan jej gospodarki wodnej w konkretnych warunkach środowiska i w określonym czasie. Jest to różnica pomiędzy ilością wody pobranej z gleby i utraconej w procesie transpiracji i/lub gutacji w czasie doby.

bilans wodny rośliny = ilość wody pobranej z gleby — utraconej

Bilans wodny powinien być **zrównoważony** - roślina powinna pobrać taką ilość wody jaką utraciła.

BILANS WODNY

Jeśli **bilans jest dodatni** - oznacza to, że roślina pobrała więcej wody niż straciła. Występuje to w sytuacji, gdy roślina uzupełnia straty po okresie suszy.

Jeśli **bilans jest ujemny** - oznacza to, że roślina pobrała mniej wody niż straciła. Długotrwały bilans ujemny prowadzi do **więdnięcia rośliny**.



SUSZA FIZJOLOGICZNA

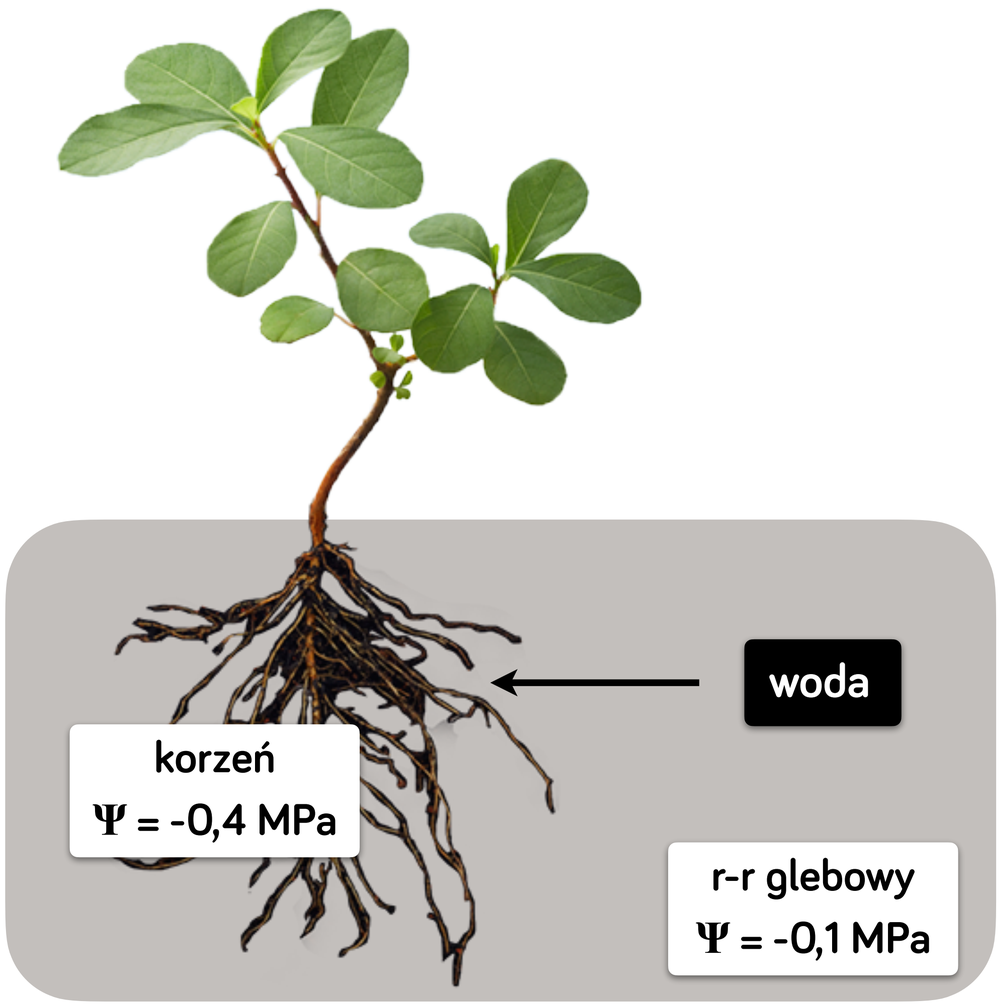


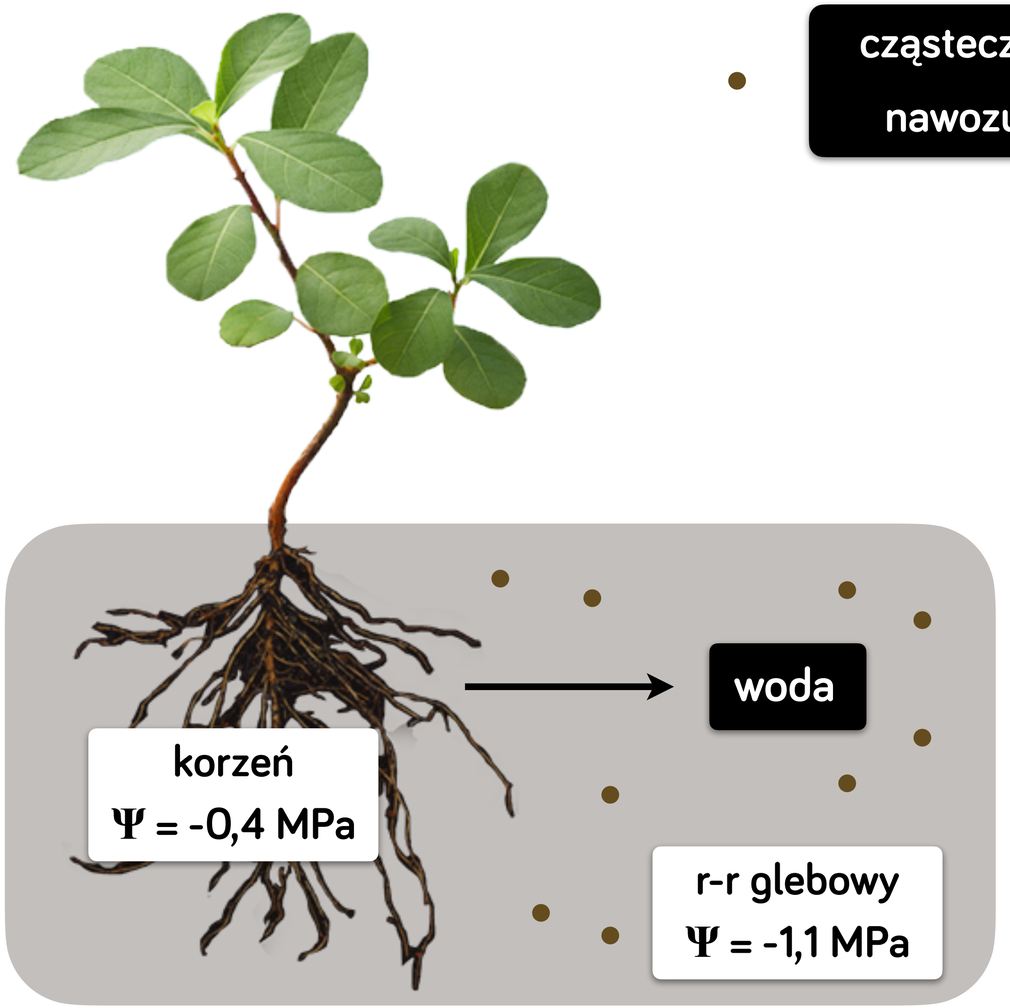
Susza fizjologiczna to stan, w którym w środowisku występuje woda, lecz jest ona **niedostępna** lub **słabo dostępna** dla roślin.

Duże stężenie soli w glebie powoduje znaczny **spadek potencjału wody** w roztworze glebowym. Ma on mniejszą wartość niż potencjał wody w komórkach korzenia, przez co **osmotyczny napływ wody jest niemożliwy** i roślina nie potrafi pobierać wody z gleby.

Co więcej, może dojść do **osmotycznego wypływu wody** z rośliny do gleby i jej **zwiędnięcia**.

SUSZA FIZJOLOGICZNA





SUSZA FIZJOLOGICZNA

Susza fizjologiczna występuje w chłodnym, surowym klimacie, gdzie panują ujemne temperatury - **woda w glebie jest zamrożona, a opady deszczu nie występują.** Innym przykładem suszy jest **posypywanie solą chodników w czasie zimy**.





POBIERANIE SKŁADNIKÓW MINERALNYCH



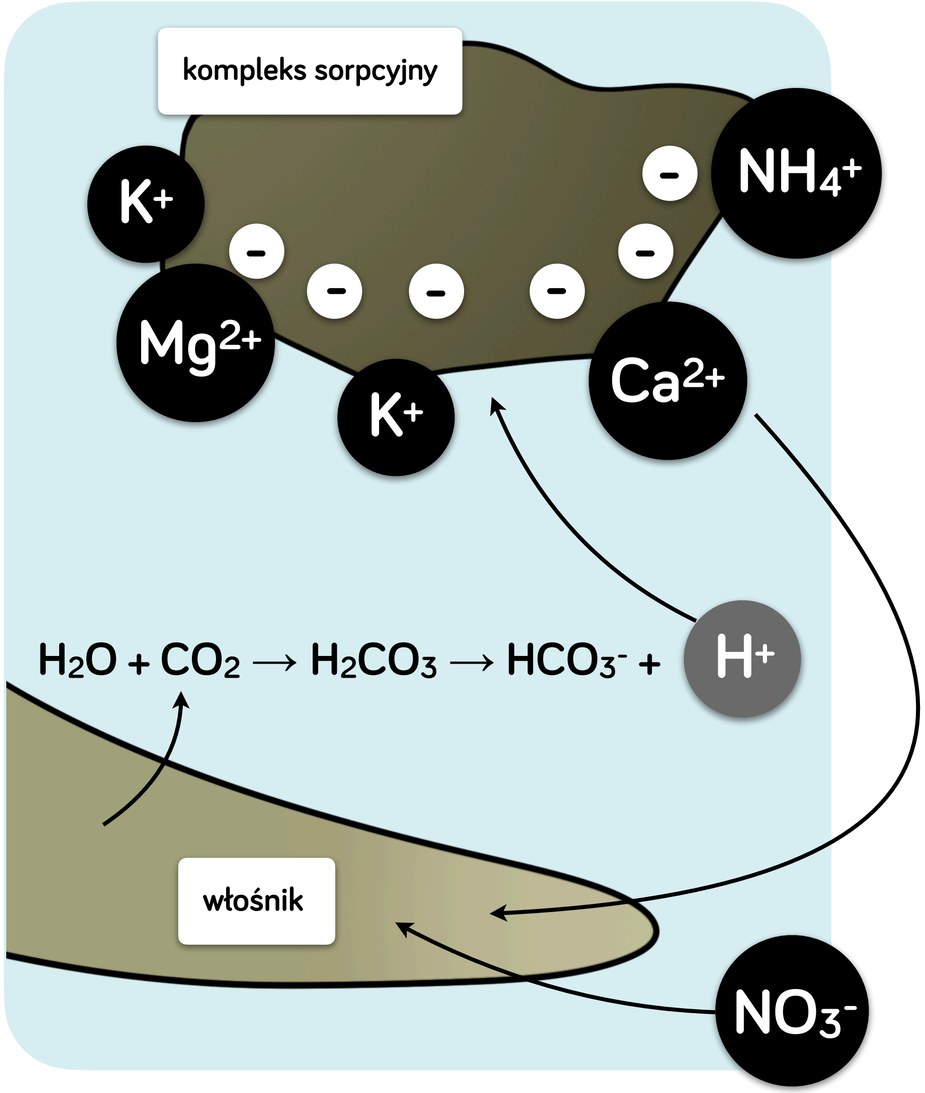
Większość składników mineralnych rośliny pobierają w postaci **jonów** za pomocą **korzeni**, wraz z **wodą**.

Jony są pobierane **wybiórczo**, w ilościach zgodnych z zapotrzebowaniem. Dzięki obecności w błonach komórek ryzodermy odpowiednich białek transportujących składniki mineralne mogą być pobierane na drodze **dyfuzji ułatwionej**. Możliwy jest także **transport aktywny**.

POBIERANIE SKŁADNIKÓW MINERALNYCH

W glebie występują k**ompleksy sorpcyjne**. Mają one silnie **ujemny** ładunek, więc wiążą dodatnie jony (**kationy**) obecne w glebie. Ujemne jony (**aniony**) z kolei obecne są bezpośrednio w **roztworze glebowym**.

Korzenie roślin uwalniają do gleby CO_2 (na drodze oddychania tlenowego), który poprzez wzrost stężenia **protonów** (H^+) powoduje wzrost kwasowości gleby. Protony, jako kationy, łączą się z kompleksem sorpcyjnym i powodują **wyparcie przyłączonych do niego jonów dodatnich** (kationów) do roztworu glebowego, które są następnie pobierane przez roślinę.



SOLE WAŻNE DLA ROŚLIN - AZOT



Azot to najważniejszy składnik determinujący wzrost roślin.

Azot u roślin niezbędny jest:

- do syntezy **chlorofilu**,
- do syntezy **białek**, np. enzymów biorących udział w fotosyntezie.

Niedobór azotu u roślin powoduje spowolnienie syntezy chlorofilu i żółknięcie liści (chloroza), spadek wydajności fotosyntezy, spowolnienie wzrostu rośliny i jej karłowatość.

SOLE WAŻNE DLA ROŚLIN – AZOT



Rośliny nie mają zdolności korzystania z azotu atmosferycznego. Pobierają go więc w postaci jonów z roztworu glebowego. Głównymi formami azotu dostępnymi dla roślin są:

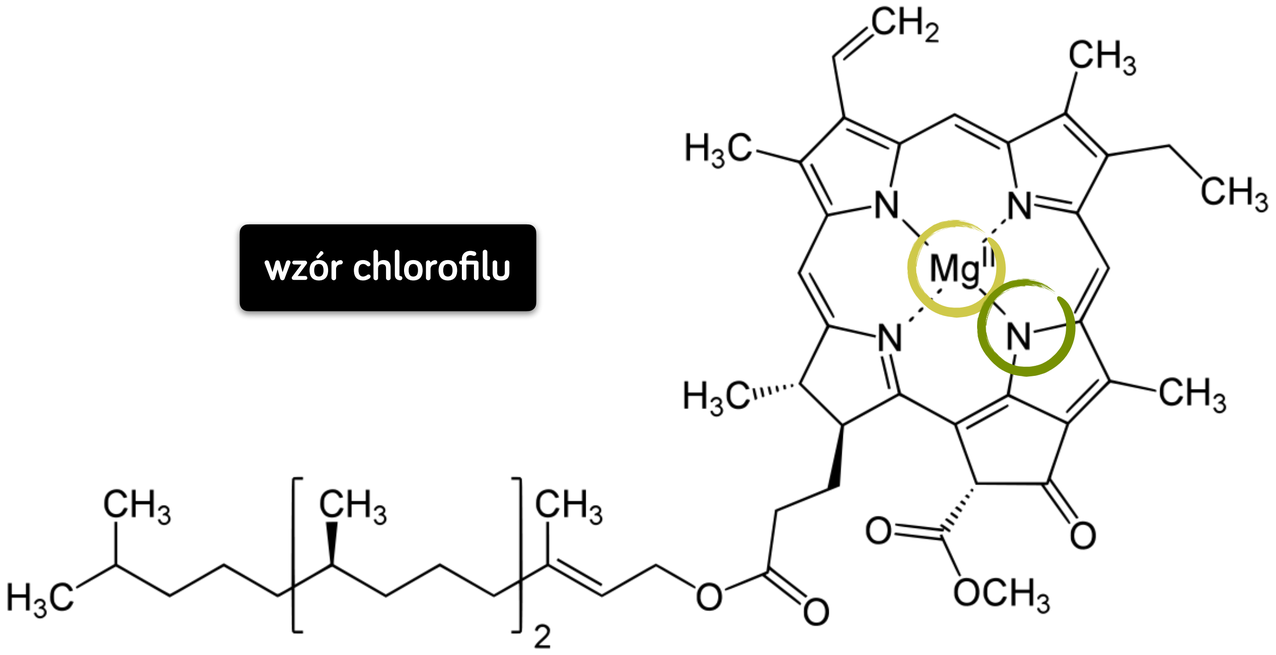
- jony azotanowe(V) – **NO_3^-**,
- jony azotanowe(III) – **NO_2^-**,
- jony amonowe – **NH_4^+**.

Jony azotanowe występują w roztworze glebowym, natomiast jony amonowe ze względu na ładunek dodatni są silnie wiązane przez kompleks sorpcyjny gleby. Z tego względu rośliny pobierają azot głównie w formie jonów **azotanowych**.

SOLE WAŻNE DLA ROŚLIN – MAGNEZ

Magnez występuje w glebie w formie kationu i podobnie jak azot stanowi składnik **syntezy chlorofilu**, istotnego dla procesu fotosyntezy.

Najbardziej rozpoznawalnym objawem niedoboru magnezu jest **chloroza** liści, czyli ich stopniowe żółknięcie.





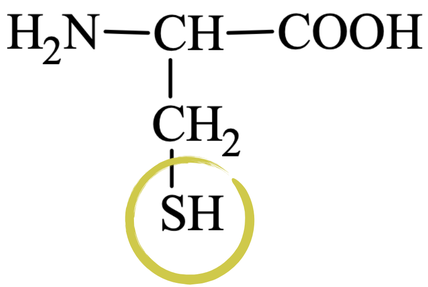
SOLE WAŻNE DLA ROŚLIN – SIARKA

Siarka może być dostępna w środowisku życia roślin w postaci siarczków **S^{2-}**, jednak zwykle występuje w formie utlenionej jako siarczany(VI) - **SO_4^{2-}**.

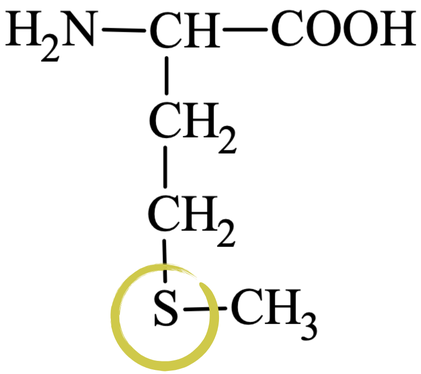
Rośliny wykorzystują jony siarki do syntezy **aminokwasów siarkowych**, wchodzących w skład białek.

S^{2-}

SO_4^{2-}



cysteina

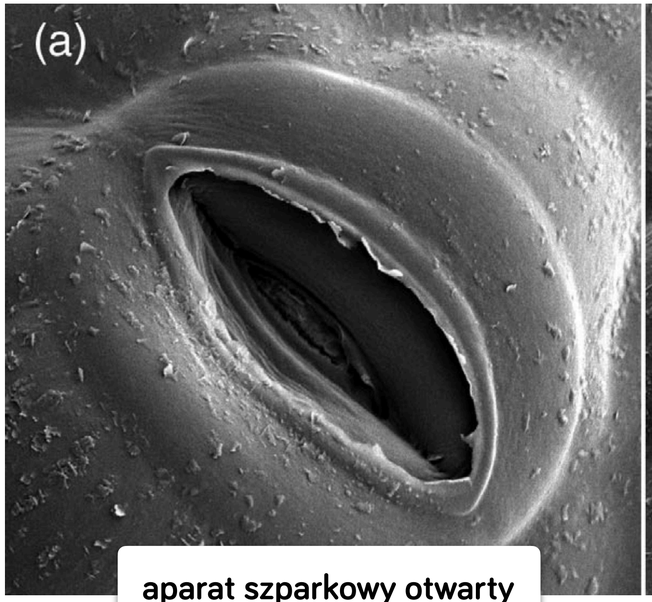


metionina

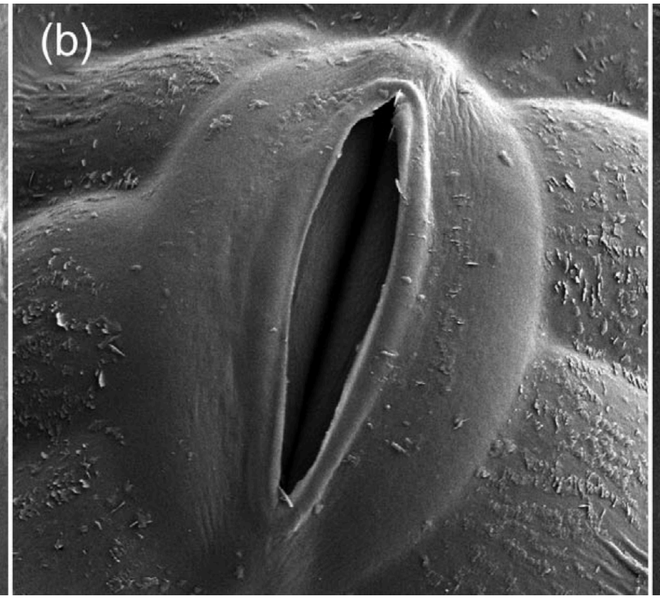
SOLE WAŻNE DLA ROŚLIN – POTAS

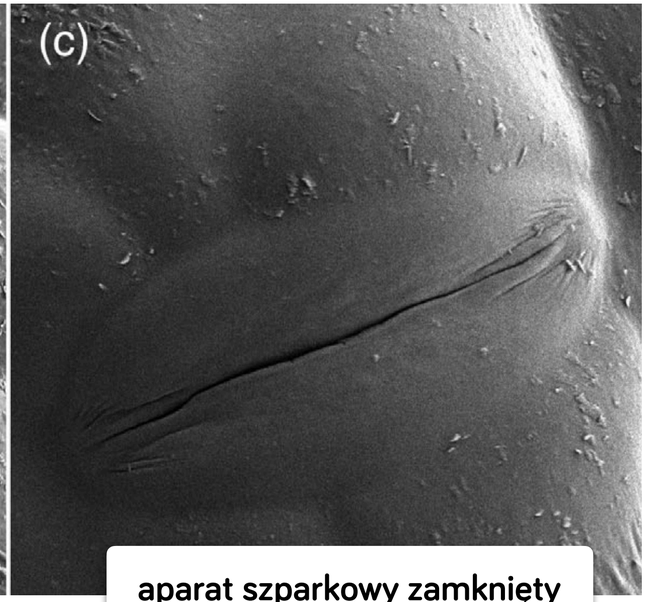
Potas jest pobierany przez roślinę w formie kationu - **K^+**.

Odpowiada za gospodarkę wodną rośliny - bierze udział w **regulacji otwierania i zamykania aparatów szparkowych**.



aparat szparkowy otwarty





aparat szparkowy zamknięty

SOLE WAŻNE DLA ROŚLIN – FOSFOR



Fosfor jest pobierany przez roślinę w formie anionów: **HPO_4^{2-}** i **$H_2PO_4^-$**.

Jest składnikiem **kwasów nukleinowych, nukleotydów i koenzymów.**

Jego niedobór powoduje **zaburzenie szlaków metabolicznych**: fotosyntezy i oddychania tlenowego, a w konsekwencji **zaburzenie wzrostu i rozwoju roślin.**