

# Ruch wody w roślinach

Sposób, w jaki roślina wykorzystuje wodę oraz interakcje między strefą korzeniową, częścią nadziemną, a środowiskiem zewnętrznym.



# Wstęp

---

W tej białej księdze specjalista firmy Grodan, Andrew Lee, przedstawia fizjologiczny proces pobierania wody przez rośliny i opisuje, w jaki sposób strefa korzeniowa i otoczenie współdziałają ze sobą, wspomagając ten proces w warunkach szklarniowych.



# Ruch wody w roślinie

To proste, woda przemieszcza się przez roślinę od korzeni do liści przez struktury zwane tkanką naczyniową (ksylem), a całym procesem steruje transpiracja. Z ilości wody pobieranej przez roślinę, około 90% jest wykorzystywane do transpiracji, podczas gdy tylko 10% jest wykorzystywane do wzrostu.

Gdy spojrzeć na to z szerszej perspektywy, metr sześcienny powietrza w szklarni, w temperaturze 20°C, może pomieścić maksymalnie 17 g wody. W słoneczny dzień (2000 J/cm<sup>2</sup>) aktywnie rosnąca uprawa może wytranspirować nawet 4,5 litra wody/m<sup>2</sup>. W ten sposób woda wyparowująca z liści chłodzi klimat w szklarni w taki sam sposób jak wysokociśnieniowy system zamgławiający. Temperatura liścia podczas transpiracji może być o 2-6°C niższa niż liścia, który nie transpiruje. Dlatego też w miesiącach letnich niezbędne dla rośliny jest posiadanie dobrej jakości systemu korzeniowego i uzyskanie optymalnego

indeksu powierzchni liści w celu osiągnięcia wystarczającej wydajności chłodzenia, a tym samym zmaksymalizowania produkcji i zwiększenia jakości owoców.

Jednakże transpiracja, która wnosi tak dużo wilgoci do powietrza, może stwarzać problemy w trakcie innych pór roku, gdy wietrzenie jest ograniczone lub w okresach ciemnej i łagodnej pogody, powiększając wilgotność powietrza powyżej limitów określonych przez ogrodnika. Jeśli klimat w szklarni jest wilgotny, konieczne jest właściwe zarządzanie strefą korzeniową, aby uniknąć pojawienia się problemów z roślinami (chorób) i jakością owoców.

Zrozumienie integracji pomiędzy strefą korzeniową i otoczeniem jest podstawowym zadaniem każdego ogrodnika. Tylko wtedy, gdy te dwa środowiska są w równowadze, możliwe jest zmaksymalizowanie zysków.



fot. 1  
Zrozumienie strefy korzeniowej jest podstawowym zadaniem dla każdego ogrodnika.



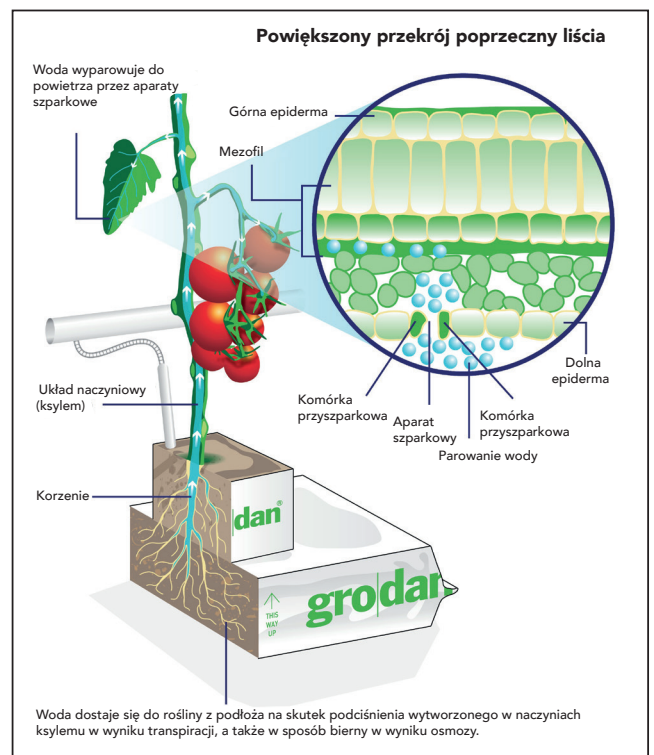
rys. 2  
Prawidłowe zarządzanie strefą korzeniową jest niezwykle istotne.

## Transpiracja

Transpiracja zaczyna się od odparowania wody przez aparaty szparkowe (małe pory na spodniej stronie liścia), gdy są one otwarte na przenikanie CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> podczas fotosyntezy. Następnie spadająca wilgoć jest zastępowana przez wodę z sąsiednich komórek znajdujących się bezpośrednio przy aparatach szparkowych. Woda dostaje się do tych komórek z naczyń ksylemu znajdujących się w liściach.

W miarę ruchu wody do liścia następuje podciąganie słupa wody w tkance naczyniowej. Tworzące się podciśnienie powoduje, że woda przemieszcza się do korzenia i w górę w kierunku liści.

rys. 3  
Powiększony przekrój poprzeczny liścia.



# Rola aparatów szparkowych podczas transpiracji

Główną drogą utraty wody w roślinie jest parowanie przez otwarte aparaty szparkowe. Aparaty szparkowe muszą otwierać się podczas fotosyntezy, aby umożliwić wymianę  $\text{CO}_2$  i  $\text{O}_2$ , należy jednak zachować równowagę pomiędzy zyskiem  $\text{CO}_2$  a utratą wody. Roślina osiąga równowagę, regulując szerokość otwierania aparatów szparkowych.

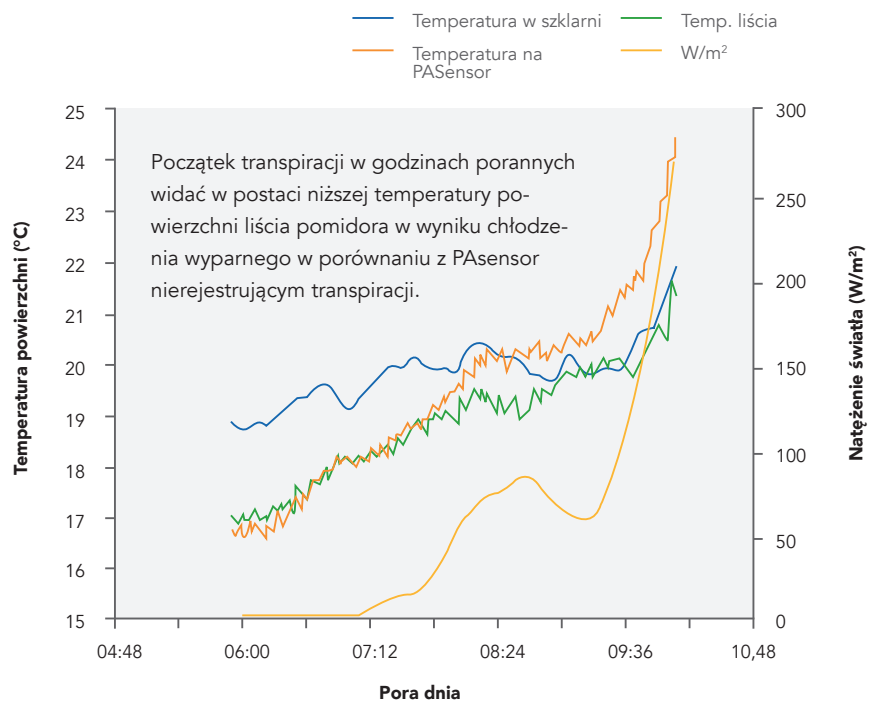
Otwieranie i zamykanie jest stymulowane przez światło. Inne parametry mają również wpływ na tempo transpiracji np. ciepło, a zwłaszcza wilgotność względna, a dokładniej, z perspektywy roślin, niedobór ciśnienia pary (VpD), definiowany jako różnica między ciśnieniem pary wewnątrz aparatu szparkowego a ciśnieniem pary w powietrzu szklarniowym. W związku z tym zmiany w środowisku, zmiany światła, temperatury i wilgotności będą miały wpływ na czas rozpoczęcia transpiracji i jej tempo

w ciągu dnia. Będzie to miało wpływ na sposób zarządzania strefą korzeniową. Aparat szparkowy jest otwarty, gdy rano światło dociera do powierzchni liścia. W warunkach szklarniowych obserwujemy transpirację lub rozpoczęcie aktywności roślin od poziomu światła około 150-200  $\text{W/m}^2$  promieniowania słonecznego. Jest to wyraźnie widoczne na rys. 1 w postaci różnicy w temperaturze powierzchni transpirującej (liść pomidora), a czujnikiem na liściu nie wykonującym transpiracji. Pierwsze nawadnianie w ciągu dnia powinno być zaplanowane na godzinę, która zbiega się w czasie z powyższą sytuacją. Ta relacja ma również wpływ na stosowanie strategii minimalnej temperatury rur rano. Świadomy ogrodnik czytający ten artykuł, w tym momencie rozumie, dlaczego strategia minimalnej temperatury rur podlega redukcji w reakcji na światło, a nie na czas, w zakresie 200-400  $\text{W/m}^2$ ,

w zależności od szklarni. Stosowanie strategii minimalnej temperatury rur przy radiacji słonecznej powyżej 400  $\text{W/m}^2$  oznaczałoby dodatkowe koszty dla producenta, ponieważ roślina jest już aktywowana przez słońce. Jest jednak godny uwagi wyjątek. Gdy strefa korzeniowa jest zimna (12°C) może wystąpić opóźnienie do 2 godzin w transpiracji w porównaniu z temperaturą 17°C w strefie korzeniowej. W takich sytuacjach należy dostosować czas rozpoczęcia nawadniania do strategii minimalnej temperatury rur.

Tempo transpiracji w ciągu dnia będzie zależęć od tego, jaki jest poziom aktywności klimatu wewnątrz szklarni, tzn. im wyższa jest temperatura i im niższa wilgotność względna, tym większe jest tempo transpiracji. Pokróćce opiszę dwie kontrastujące ze sobą sytuacje.

rys. 1  
Zależność między temperaturą liścia pomidora a czujnikiem aktywności rośliny (PASensor) w odniesieniu do promieniowania zewnętrznego na początku dnia.  
(Źródło: Peter Stradiot, Innogreen)



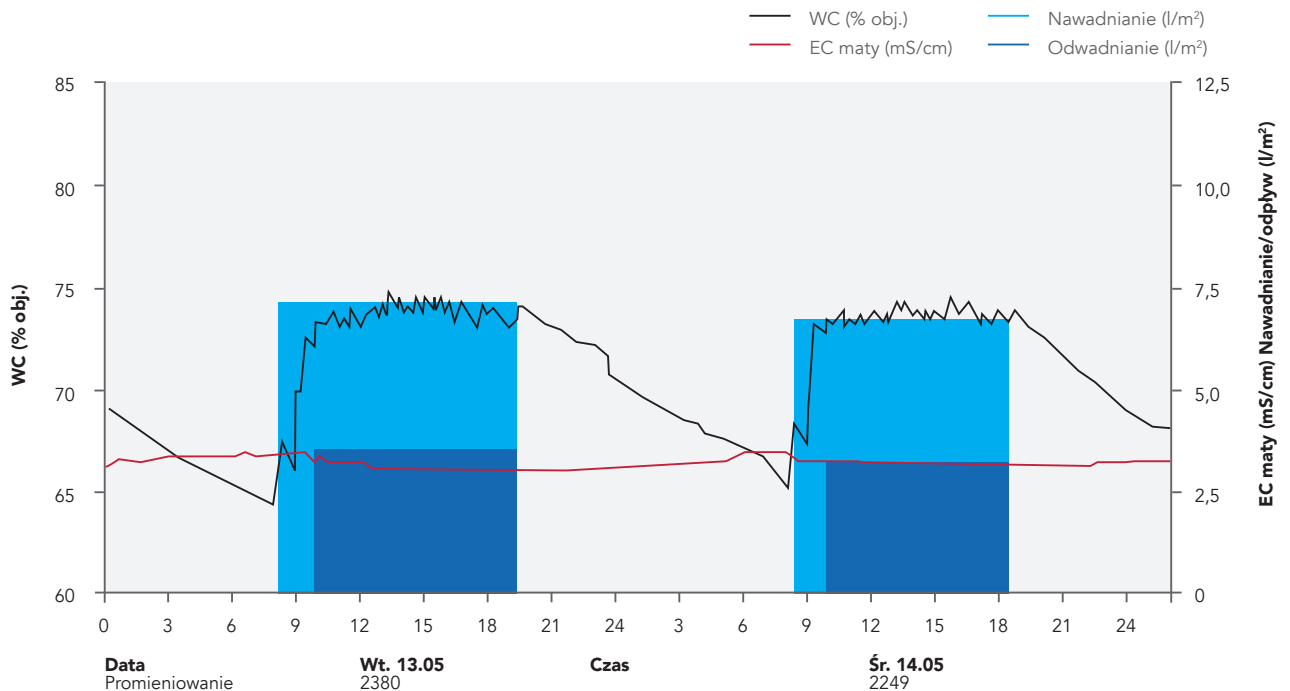
# Słoneczny dzień

Jeśli pobieranie wody przez korzenie w ciągu dnia jest mniejsze niż tempo transpiracji, następuje utrata turgoru komórkowego, a aparaty szparkowe zamkną się, aby zapobiec wędnięciu rośliny. Powoduje to natychmiastowe obniżenie tempa transpiracji, a także fotosyntezy, co prowadzi do potencjalnej utraty jakości owoców i wielkości produkcji. Temperatura roślin (i powietrza) będzie wzrastać, w rezultacie prowadząc do coraz większej szybkości oddychania. Z tego powodu ważne jest utrzymanie dobrej jakości systemu korzeniowego, szczególnie w przypadku roślin z sadzonych zimą i wchodzących w okres wiosenny.

Wskazane jest również, aby w warunkach silnego nasłonecznienia ( $>1000 \text{ J/cm}^2/\text{dzień}$ ) powiązać wielkości nawadniania z sumą promieniowania (rysunek 2.0). W normalnych warunkach osiąga się wartość w okolicy 2,5-3,5 ml na dzul w zależności od budowy szklarni i wilgotności względnej na zewnątrz w celu dostarczenia uprawom odpowiedniej ilości wody. Faktycznie, w skrajnych warunkach ogrodnicy mogą wykorzystać pobór wody przez ich uprawy jako wskaźnik tego, jak dobrze one funkcjonują i w ten sposób odpowiednio dostosować swoje strategie zamgławiania i zacięcia. W związku z tym należy pamiętać, że pobór wody

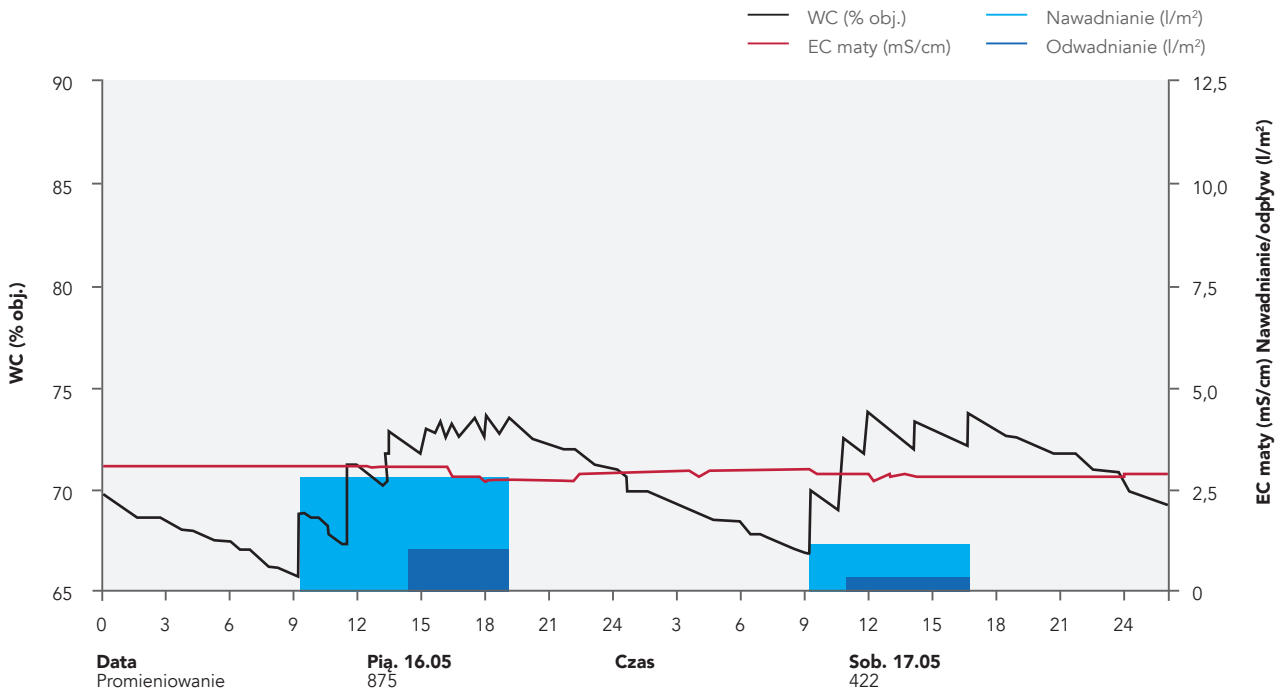
przez rośliny nie powinien się zmniejszać podczas używania tych narzędzi. Należy z nich korzystać tylko po to, aby pomóc roślinie (korzeniom) nadążać za wysokim zapotrzebowaniem na transpirację. Nadmierne stosowanie systemu zamgławiającego może powodować słabe plony, a nadmierne zacięcie ogranicza przenikanie światła, a światło po prostu oznacza produkcję!

Przyjrzyj się aktywności (transpiracji) roślin w czasie obu poranków, na co wskazuje zmiana nachylenia linii zawartości wody około 07:00 i porównaj to z dniami 16 i 17 maja (rys.3).



rys. 2

Strategia nawadniania w ciągu dwóch słonecznych dni dla uprawy papryki w Holandii. Dane generowane za pomocą systemu Grodan GroSens. Zawartość wody = czarna linia. EC podłoża = czerwona linia. Niebieska ramka = całkowita objętość doprowadzonej wody i uzyskanego odwodnienia



rys. 3

Strategia nawadniania w ciągu dwóch ciemnych dni dla uprawy papryki w Holandii.

Dane generowane za pomocą systemu Grodan GroSens.

Zawartość wody = czarna linia. EC podłoża = czerwona linia.

## Ciemny dzień

W ciemny, pochmurny dzień, poziom transpiracji będzie niski, dlatego należy odpowiednio dostosować czas rozpoczęcia, a zwłaszcza czas zakończenia nawadniania. Jest to łatwe do wykonania przy użyciu nowoczesnych komputerów klimatycznych w połączeniu z narzędziami takimi jak system GroSens. W ciemne dni może być konieczne użycie minimalnego ustawienia temperatury rur (50-60°C) przez kilka godzin po południu wraz z pewną wentylacją do pobudzenia aktywności roślin. Gwarantuje to, że niezbędne składniki odżywcze będą nadal dostarczane roślinie, a także utrzymuje rośliny w odpowiedniej równowadze generatywnej. W publikacji „Zrozumienie i sterowanie strefą korzeniową w odpowiedni sposób, w związku z sześciofazowym cyklem życia uprawy” wyjaśniam, w jaki sposób sterować równowagą roślin za pomocą strefy korzeniowej. W międzyczasie czytelnicy, którzy chcieliby dowiedzieć się więcej o sześciofazowym cyklu życia, mogą odwiedzić stronę [www.grodan.com](http://www.grodan.com)

Ważne jest jednak, aby nie stymulować nadmiernie upraw poprzez stosowanie wpływu wysokich temperatur. Często pogarsza to wilgotność względną, poprzez zwiększenie szybkości

transpiracji, a także zwiększa ryzyko powstania słabych plonów. Do kontroli wilgotności wystarczy zwykle rura o minimalnej temperaturze 40°C - biorąc pod uwagę obecne ceny energii, należy stosować rurę wegetacyjną o temperaturze nieprzekraczającej 45°C. Na przykład, minimalne ustawienie temperatury rury może wynosić 35°C, gdzie +10°C wpływ na wzrost wilgotności w zakresie 80-90%. Jeśli jesteś zaniepokojony tymi liczbami, należy zbadać to w najbliższym okresie zimowo-wiosennym. Spójrz na grafikę na komputerze klimatycznym, w szczególności na zależność pomiędzy wilgotnością powietrza i temperaturą rurki wegetacyjnej. Przewiduję, że wilgotność w szklarni nie zmieni się, jeśli rura będzie miała temperaturę 40°C lub 60°C. Jedyną różnicą, jaką zauważysz, będzie kwota na rachunku za ogrzewanie! Należy pamiętać, że jedynym sposobem na wypuszczenie wilgoci ze szklarni jest otwieranie okien, dlatego w takich sytuacjach w ustawieniach komputera linie grzania i wietrzenia powinny być blisko siebie, co pozwoli również utrzymać aktywność roślin. Należy jednak unikać agresywnego wietrzenia, gdy na zewnątrz jest zimno poprzez połączenie strategii odpowietrzania z zewnętrznymi warunkami pogodowymi,

ponieważ zimne powietrze (w temperaturze poniżej 13°C) spadające na górną część rośliny może negatywnie wpływać na ich transpirację.

Warto również pamiętać, że często w pochmurny dzień to właśnie maksymalny czas spoczynku (tj. maksymalny czas między nawadnianiem) będzie decydował o całkowitej ilości wody dostarczanej do uprawy (rysunek 3.0). Tak więc w połączeniu z późnym startem i wczesnym zakończeniem podlewania oraz strategią minimalnej temperatury rur, należy zadbać o to, aby ten czas nie był zbyt krótki. Sposób, w jaki można to osiągnąć, opiszę w publikacji wydanej w tej serii, zatytułowanej *Podjęmowanie świadomych decyzji w zakresie gospodarki wodnej i sterowanie przewodnością elektrolityczną (EC)*. Jest to sposób na zapobieganie problemom związanym z fizjologiczną jakością owoców, takimi jak rozdwojenie i nierównomierny kolor. Łatwo zauważyć, kiedy maksymalny czas spoczynku jest zbyt krótki, ponieważ EC podłoża najprawdopodobniej zmniejszy się zbyt mocno; należy pamiętać, że w ciemne dni niewielki wzrost EC w macie jest w istocie dopuszczalny.



# Rola aktywnego pobierania przez korzenie

Roślina może również pobierać wodę, nawet jeśli nie transpiruje. Zjawisko to jest zwykle nazywane „aktywnym pobieraniem przez korzenie” i skutkuje zjawiskiem określanym przez konsultantów

upraw „parciem korzeniowym”. Parcie korzeniowe jest najsilniejsze, gdy transpiracja ustaje w nocy lub gdy „aktywność” roślin jest niska.

## Co powoduje parcie korzeniowe?

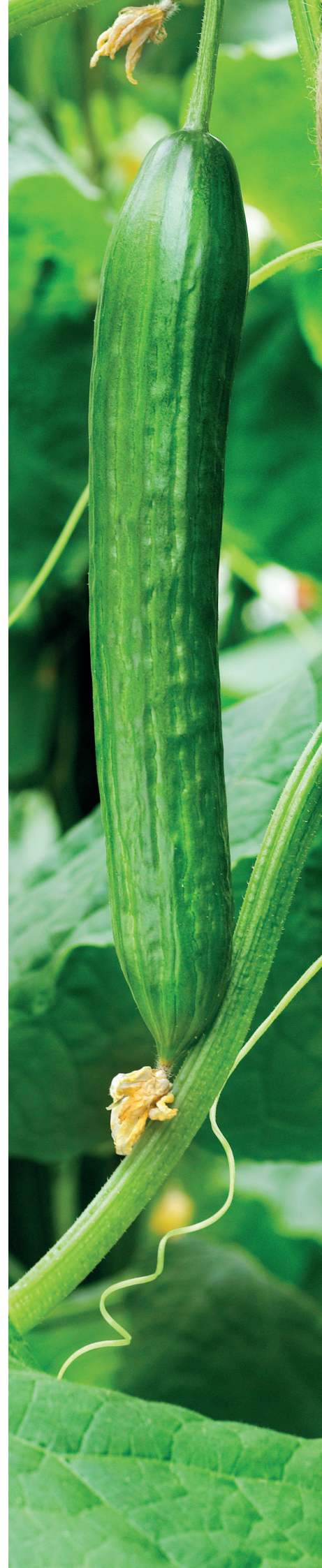
Na powierzchni korzenia znajduje się pojedyncza warstwa komórek, która zawiera białka transportowe. Umożliwiają one jonom (tj.  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ) z otaczającego podłoża przedostawanie się do korzeni. Jest to aktywny proces spalania cukrów (poprzez oddychanie) powstających podczas fotosyntezy, ale co ważniejsze, tworzy skoncentrowany roztwór jonów cukrowych wewnątrz komórki korzeniowej. Następnie woda podąża za przepływem minerałów do korzeni w trakcie pasywnego procesu zwanego osmozą. Roślina nie może nic zrobić, aby go zatrzymać, ale ogrodnik może ograniczyć jego potencjalny negatywny wpływ na jakość owoców (tj. poprzeczne i promieniowe pęknięcie pomidorów) poprzez prawidłowe zarządzanie strefą korzeniową. Kwestie związane z jakością owoców i rolą zarządzania strefą

korzeniową omawiam w piątej białej księdze z tej serii, zatytułowanej *Zarządzanie strefą korzeniową i wpływ na jakość owoców*.

W związku z tym zawsze doradzam ogrodnikom, aby nie stosowali agresywnej redukcji EC pożywki w oparciu o natężenie światła ( $\text{W/m}^2$ ) i odpowiednio wcześniej przed zachodem słońca kończyli nawadnianie. Gwarantuje to, że EC podłoża nie będzie zbyt niskie, gdy transpiracja ustaje, ponieważ wyższe EC podłoża w nocy działa korzystnie dla ograniczenia wody przez korzenie w wyniku osmozy. Zawsze przypominam, że EC w podłożu powinno być na najniższym poziomie w czasie, gdy natężenie światła jest najwyższe! Istnieje wiele czynników, które mogą wpływać na parcie korzeniowe; podsumowałem je w tabeli 1.

Czynnik	Przyczyna
Szczepienie na podkładce dla zwiększenia wigoru	Silniejszy system korzeniowy może pobierać większą ilość wody
Wysoka temperatura mat	Zwiększone oddychanie w obrębie systemu korzeniowego, powodujące większy transport jonów
Małe obciążenie owocami	Mniejsza zdolność magazynowania wody w roślinie
Chłodne lub pochmurne warunki pogodowe	Mniejsza transpiracja
Niskie EC podłoża	W momencie, gdy transpiracja ustaje pod koniec dnia, niskie EC podłoża pozwala na przedostanie się większej ilości wody do korzeni poprzez osmozę

tabela 1  
Czynniki wpływające na parcie korzeniowe w uprawie pomidora



# Podsumowanie

---

Środowisko strefy korzeniowej można określić jako „maszynownię” rośliny. Dobrej jakości system korzeniowy pozwala roślinom na transpirację. Jednak czas, w którym rozpoczyna się transpiracja i jej tempo w ciągu dnia są regulowane przez interakcję ze środowiskiem zewnętrznym. Należy odpowiednio kierować środowiskiem korzeniowym, aby utrzymać optymalną równowagę roślin, produkcji i jakości owoców. Można to osiągnąć poprzez zrozumienie, jakie są funkcje podłoża i w jaki sposób ogrodnik może je wykorzystać przy opracowywaniu strategii nawadniania.

Firma Grodan przez lata znacznie rozwinęła wiedzę w tej dziedzinie. W tej białej księdze opisuję kluczowe cechy podłoży firmy Grodan, dlaczego są one ważne i jak są one wykorzystywane przez ogrodników do osiągnięcia konkretnych celów w sterowaniu strefą korzeniową.

## **Informacje o autorze**

*Andrew Lee pracuje dla Grodan Technical Services. Jest doktorem Uniwersytetu Londyńskiego. Od 19 lat pracuje dla firmy Grodan, świadcząc usługi doradcze i wsparcie techniczne dla klientów na całym świecie.*



GRODAN dostarcza innowacyjne i zrównoważone rozwiązania w zakresie podłoży z wełny skalnej dla profesjonalnego sektora ogrodniczego w oparciu o filozofię Uprawy Precyzyjnej. Rozwiązania te są stosowane zarówno w uprawie warzyw, takich jak: pomidory, ogórki, papryka, bakłażany oraz kwiatów, takich jak róże i gerbery. Grodan dostarcza podłoża z wełny skalnej w połączeniu z doradztwem dostosowanym do potrzeb klienta oraz innowacyjnymi narzędziami wspierającymi producentów stosujących uprawę precyzyjną. Ułatwia to zrównoważoną uprawę zdrowych, bezpiecznych oraz smacznych i świeżych produktów rolnych dla konsumentów.

#### **Grodan**

ul. Postępu 6  
02-676 Warszawa  
Polska  
t. 22 375 07 80  
[www.grodan.pl](http://www.grodan.pl)

ROCKWOOL® i Grodan® to zarejestrowane znaki handlowe należące do Grupy ROCKWOOL.

Grodan jest jedynym dostawcą podłoży z wełny skalnej z etykietą EU-Ecolabel.



EU Ecolabel: NL/048/001