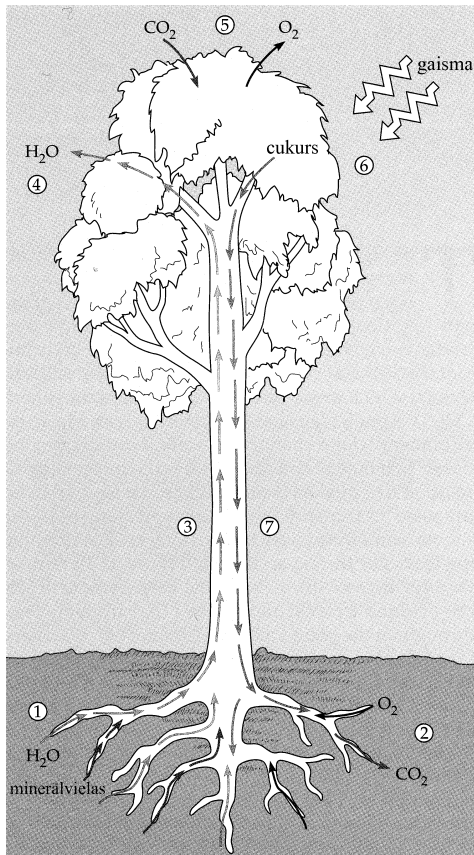


Vielu transports augā notiek trīs līmeņos:

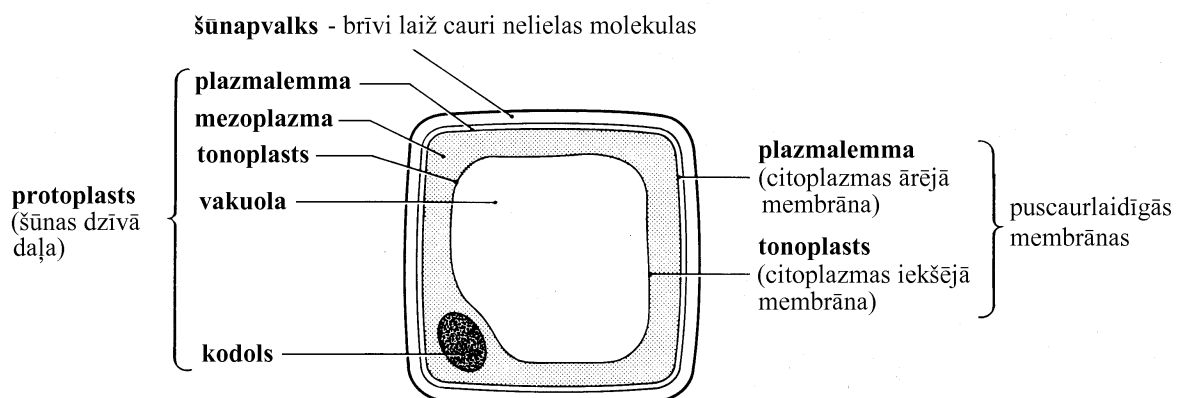
1. vielu uzņemšana un izdališana, ko veic atsevišķas šūnas, piemēram, minerālvielu ūdens šķīduma uzņemšana ar sakņu šūnām
2. vielu tuvais transports starp šūnām audu un orgānu līmenī, piemēram, cukuru šķīdumu transports no lapas mezofila šūnām uz lūksnes sietstobriem
3. vielu tālais transports pa lūksnes un koksnes vadaudiem auga organisma līmenī

Visu auga transporta funkciju vispārīga shēma attēlota 1.1.attēlā.

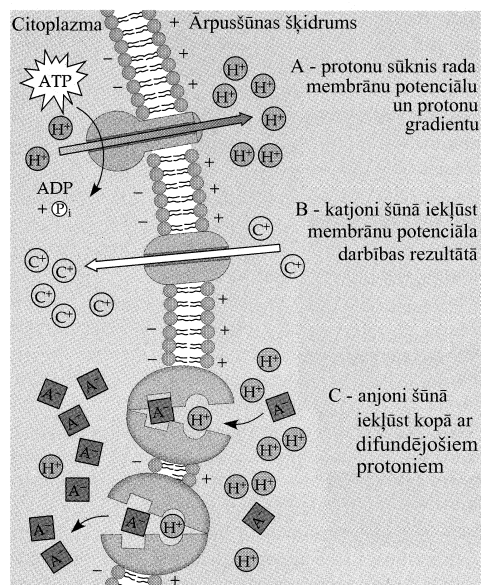


1.1.attēls. Transports augā. (Izmainīts no *Campbell, 1996*).

1 - saknes uzņem no augsnes ūdeni ar tajā izšķīdušajām minerālvielām, 2 - saknes arī elpo - no augsnes tās uzņem O_2 un izdala CO_2 , - šī gāzu maiņa nodrošina sakņu šūnu elpošanu, 3 - ūdens minerālvielu šķīdumi no saknēm tiek transportēti augšupejošā plūsmā pa koksnes vadaudu elementiem, 4 - transpirācija - ūdens iztvaikošana caur lapu virsmu (galvenokārt caur atvārsnītēm) - lapās nodrošina sūcējspēku, kas palīdz transportēt ūdeni augšupejošā plūsmā, 5 - lapās notiek gāzu maiņa caur atvārsnītēm - tās uzņem fotosintēzei nepieciešamo CO_2 un izdala atmosfērā O_2 , 6 - fotosintēzes procesā lapās sintezējas cukuri un šie cukuri 7 - tiek transportēti pa lūksnes vadaudiem no lapām uz patērēšanas un uzkrāšanas vietām augā.



1.2.attēls. Tipiskas augu šūnas puscaurlaidīgās membrānas. (Plazmalemma shēmā attēlota atrauti no šūnapvalks, lai abas daļas varētu atzīmēt). (Izmainīts no *Green, Stout Taylor, 1990*).

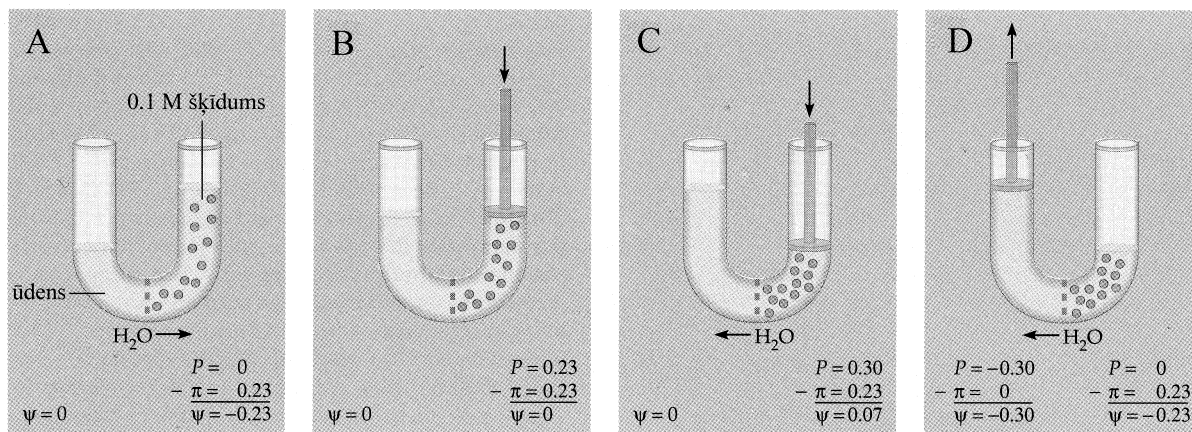


1.3.attēls. Izšķīdušo vielu hemiosmotiskais šūnu transporta modelis. (Izmainīts no *Campbell, 1996*).

A - Izšķīdušo vielu transportu cauri auga šūnas plazmas membrānai netieši nodrošina protonu sūkņi, kas uztur spriegumu (membrānu potenciālu) un protonu transmembrānas gradientu.

B - Membrānu potenciāls nodrošina katjonu, kā K^+ , iekļūšanu šūnā.

C - Šūna var izmantot protonu gradientā uzkrāto enerģiju, lai uzņemtu anjonus, kā NO_3^- , pretēji to elektroķīmiskajam gradientam (aktīvais transports). Transpota proteīns sajūdz anjonu iekļūšanu un uzkrāšanu šūnā ar protonu difūziju šūnā. Šis transporta mehānisms ir daļa no vispārīgās hemiosmozes teorijas, kas uzsver protonu transmembrānas gradienta vispusīgo lomu šūnas bioenerģētikā.



1.4.attēls. Ūdens potenciāls un ūdens pārvietošanās: mehāniskais modelis. (Izmainīts no *Campbell, 1996*).

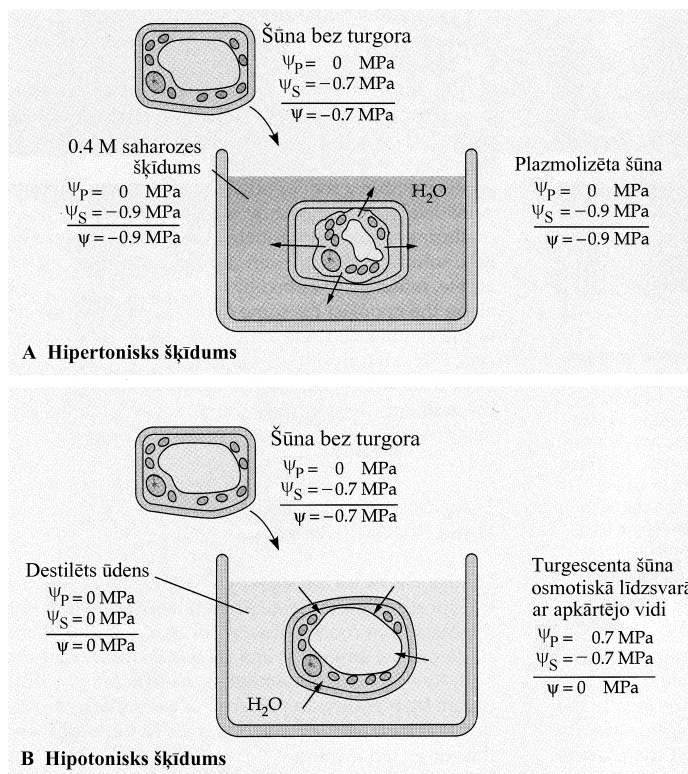
Ūdens plūst caur puscaurlaidīgo membrānu virzienā no lielākā ūdens potenciāla uz mazāko. Ūdens potenciāls (ψ) tīram ūdenim neslēgtā traukā ir 0 MPa. Izšķīdinot ūdenī kādu vielu, ψ samazinās - kļūst negatīvs; fizisks spiediens ūdens potenciālu palielina. Zinot spiediena potenciālu (ψ_p) un šķīduma potenciālu (jeb osmotisko potenciālu ψ_s), var aprēķināt ūdens potenciālu: $\psi = \psi_p + \psi_s$.

A - U-veida caurulē ar puscaurlaidīgu membrānu ir atdalīts tīrs ūdens no 0.1 M šķīduma, kurā izšķīdušās vielas daļiņas nespēj izkļūt cauri membrānai. Ūdens osmozes rezultātā sūksies šķīduma virzienā, palielinot tā tilpumu (uzrādītās ψ un ψ_s vērtības atbilst stāvoklim, pirms ūdens sācis pārvietoties).

B - Ja ar virzuli spiež uz šķīdumu, lai saglabātu iepriekšējo šķīduma potenciāla vērtību un palielinātu ūdens potenciālu līdz 0, nekāda pārvietošanās caur membrānu novērojama nebūs.

C - Ja spiedienu palielina, ūdeni no šķīduma var iespiest caur membrānu atpakaļ tīrā ūdens daļā.

D - Negatīvais spiediens samazina ūdens potenciālu.

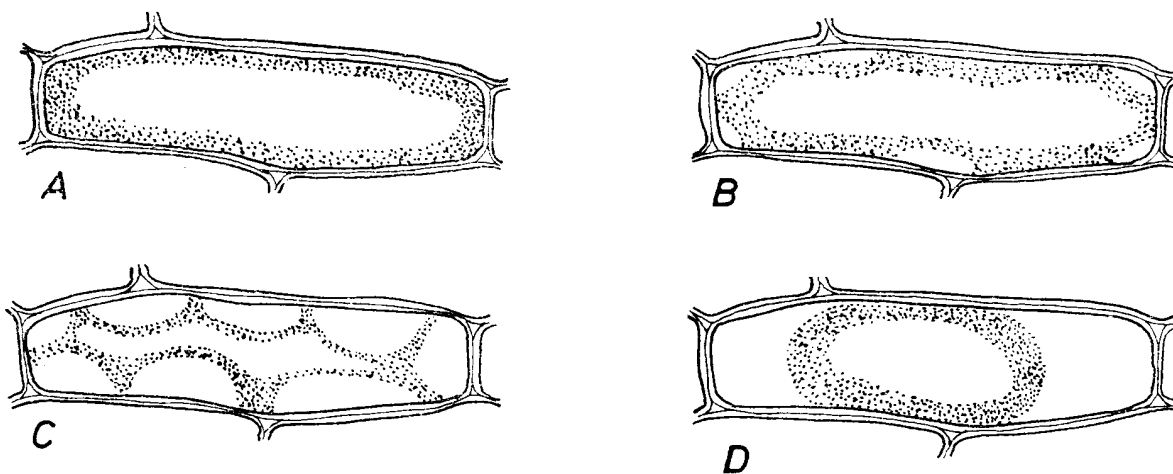


1.5.attēls. Ūdens pārvietošanās augu šūnā. (Izmainīts no *Campbell, 1996*).

Divos eksperimentos šūna bez turgora tiek no izotoniskas vides ielikta hipertoniskā un hipotoniskā vidē.

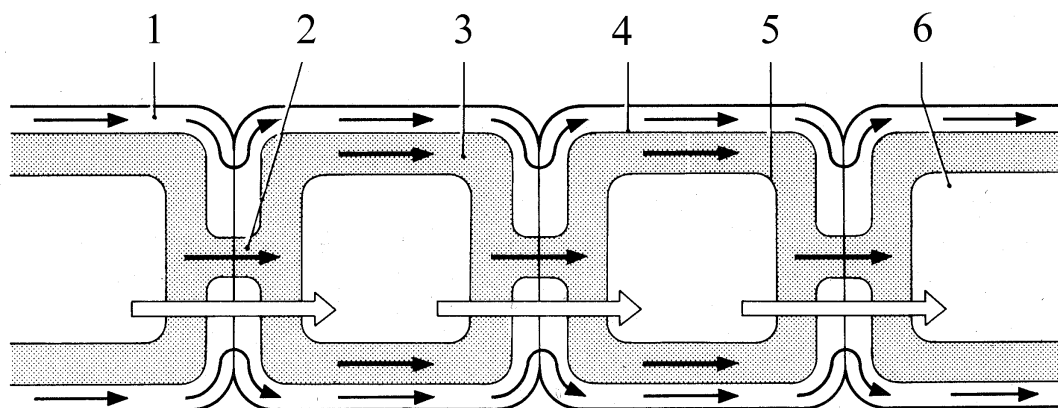
A - Hipertoniskā vidē šūnai sākotnēji ir lielāks ūdens potenciāls, šūna zaudē ūdeni - notiek plazmolīze. Kad plazmolīze ir notikusi, Ψ šūnā un ārpus šūnas ir vienādi.

B - Hipotoniskā vidē šūnai sākotnēji ir mazāks ūdens potenciāls. Šūna ozmoses ceļā uzņem ūdeni un kļūst turgescenta. Brīdī, kad ūdens iekļūšana šūnā līdzsvarojas ar šūnapvalka pretspiedienu, Ψ šūnā un ārpus šūnas ir vienādi. Turgescentas šūnas nodrošina augu nepārkoksnēto daļu stingrību. Ja šūnas zaudē turgoru, augs novīst.



1.6.attēls. Plazmolīzes formas.

A - šūna pirms plazmolīzes, B - robežplazmolīze, C - ieliektā plazmolīze, D - izliektā plazmolīze.

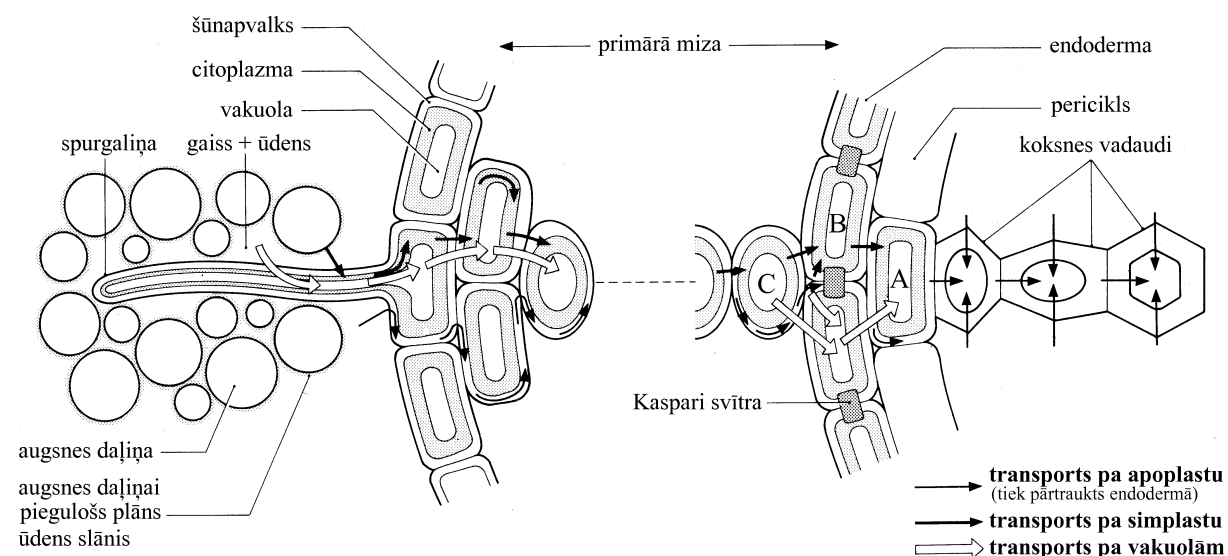


- A** —→ transports pa apoplastu (pa šūnapvalkiem)
B —→ transports pa simplastu (pa citoplazmu un plazmodesmām)
C ⇨ transports pa vakuolām un citoplazmu

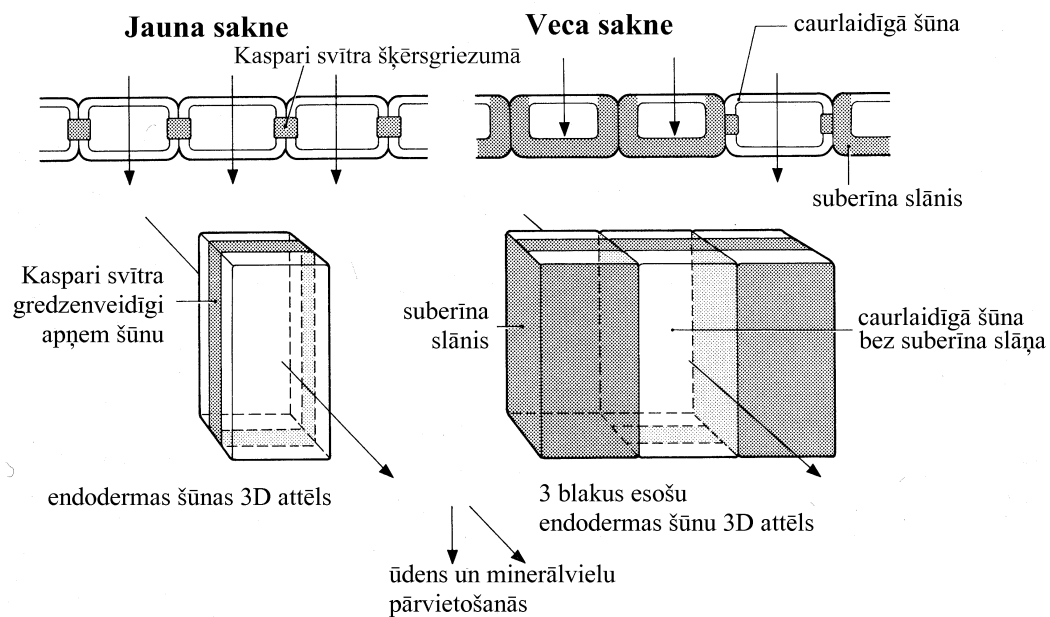
1.7.attēls. Trīs laterālā transporta ceļi augu audos un orgānos. (Izmainīts no *Green, Stout, Taylor, 1990*).

1 - šūnapvalks, 2 - plazmodesma, 3 - mezoplazma, 4 - plazmalemma, 5 - tonoplasts, 6 - vakuola

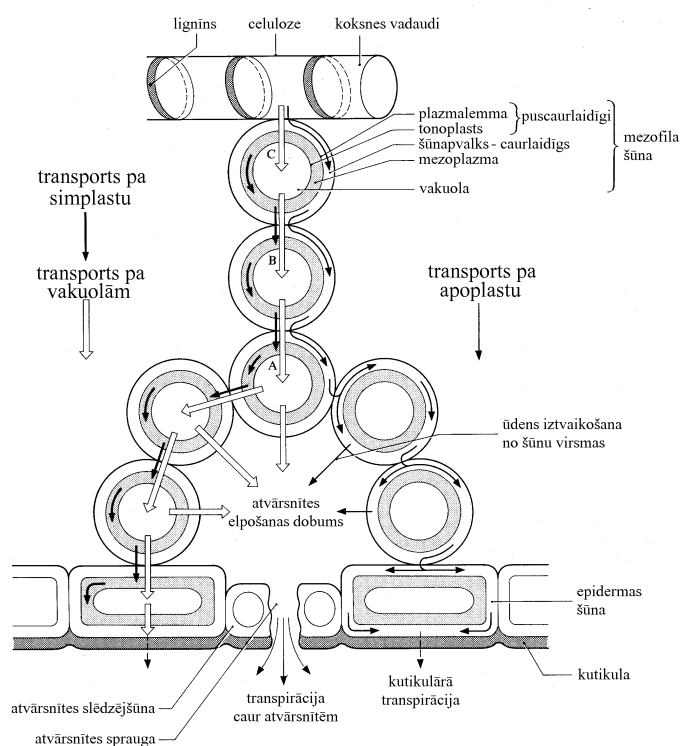
A - transports pa apoplastu saistīts ar vielu pārvietošanos galvenokārt pa šūnapvalku un starpšūnu telpām, B - pēc iekļūšanas šūnā viela var tālāk tikt transportēta pa simplastu, C - ūdens ar tajā izšķīdušajām vielām var tikt transportēts radiālā virzienā šķērsojot šūnapvalkus, citoplazmu un vakuolas.



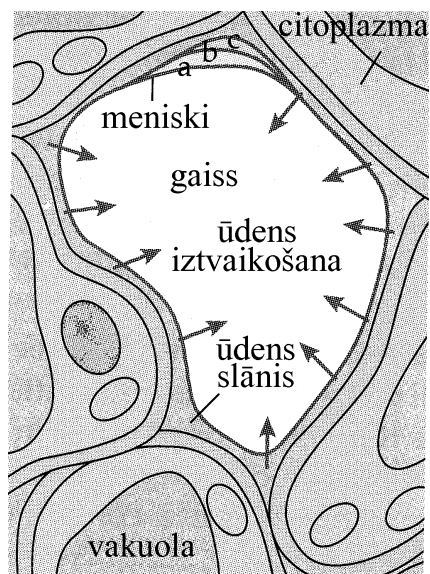
2.1. Ūdens un minerālvielu iekļūšana saknē un laterālais transports līdz saknes vadaudiem. (Izmainīts no *Green, Stout, Taylor, 1990*).



2.2.attēls. Saknes endoderma un Kaspari svītras. (Izmainīts no Green, Stout, Taylor, 1990).

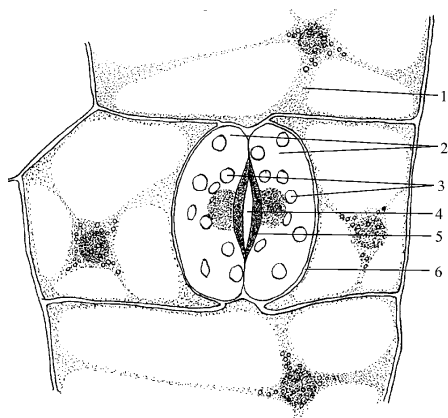


3.1.attēls. Ūdens pārvietošanās lapā un transpirācija. (Izmainīts no Green, Stout, Taylor, 1990).



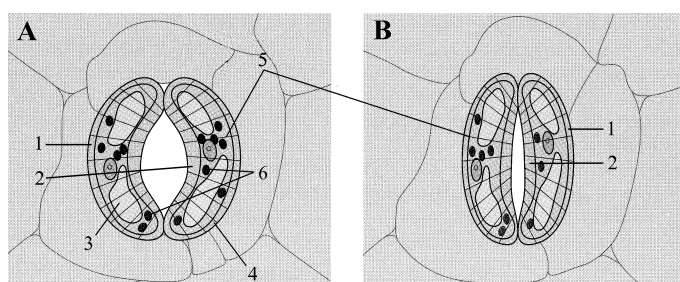
3.2.attēls. Iztvaikošana no ūdens plānslāņa, kas apņem lapas mezofila šūnas. (Izmainīts no *Campbell, 1996*).

Ūdenim difundējot no čauganās parenhīmas starpšūnu telpas atmosfērā, notiek iztvaikošana no ūdens plānslāņa, kas apņem lapas mezofila šūnas. Plānajam ūdens slānim veidojas ieliekta virsma jeb menisks, kas transpirācijai pastiprinoties, ieliecas arvien vairāk. Meniskam raksturīgs virsmas spraigums, kurš ir apgriezti proporcionāls meniska virsmas rādiusam. Spraigums ir negatīvais spiediens - tas velk ūdeni no vietām, kur tā hidrostatiskais spiediens ir lielāks. Starpšūnu telpas izklājošā ūdens slāņa negatīvais spiediens (spraigums) ir transpirācijas vilcējspēka galvenais fizikālais pamatojums. Spraigums velk ūdeni no koksnes vadaudiem un cauri mezofila šūnām atvārsnītes virzienā.



4.1.attēls. Lapas epiderma un atvārsnīte (*Zebrina pendula*):

1 - epidermas šūna, 2 - atvārsnītes slēdzējšūnas, 3 - hloroplasti, 4 - atvārsnītes sprauga, 5 - slēdzējšūnas iekšējais šūnapvalks, 6 - slēdzējšūnas ārējais šūnapvalks.

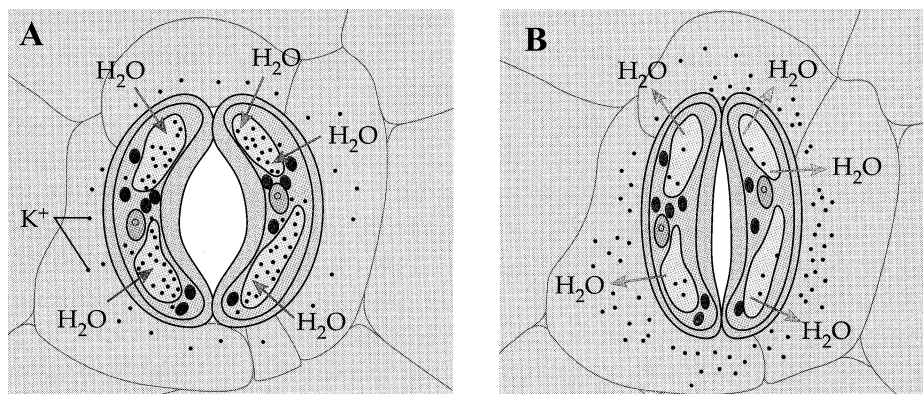


4.2.attēls. Atvārsnītes atvēršanās un aizvēršanās, mainoties slēdzējšūnu formai. (Izmainīts no *Campbell, 1996*).

A - turgescentas slēdzējšūnas - atvārsnīte atvērta, B - šūnas bez turgora - atvārsnīte aizvērta.

1 - ārējais šūnapvalks, 2 - iekšējais šūnapvalks, 3 - vakuola, 4 - atvārsnītes slēdzējšūna, 5 - radiāli orientētas celulozes mikrofibrillas, 6 - hloroplasti. (Izmainīts no *Campbell, 1996*).

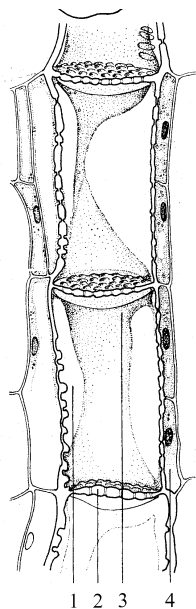
Atvārsnītes atvēršanos un aizvēršanos nodrošina citoloģiski anatomiskās īpatnības - radiāli orientētās celulozes mikrofibrillas šūnapvalkos, kā arī atvārsnītes slēdzējšūnu nevienmērīgi uzbiezinātais šūnapvalks un fizioloģiskais pielāgojums - hloroplastu atrašanās slēdzējšūnās. Ūdens uzņemšana vai zaudēšana nosaka slēdzējšūnu formas maiņu un līdz ar to atvārsnītes spraugas palielināšanos vai samazināšanos - mehānismu, kas ietekmē fotosintēzes intensitāti un kontrolē transpirāciju.



4.3.attēls. Kālija jonu nozīme atvārsnītes atvēršanās un aizvēršanās procesā.

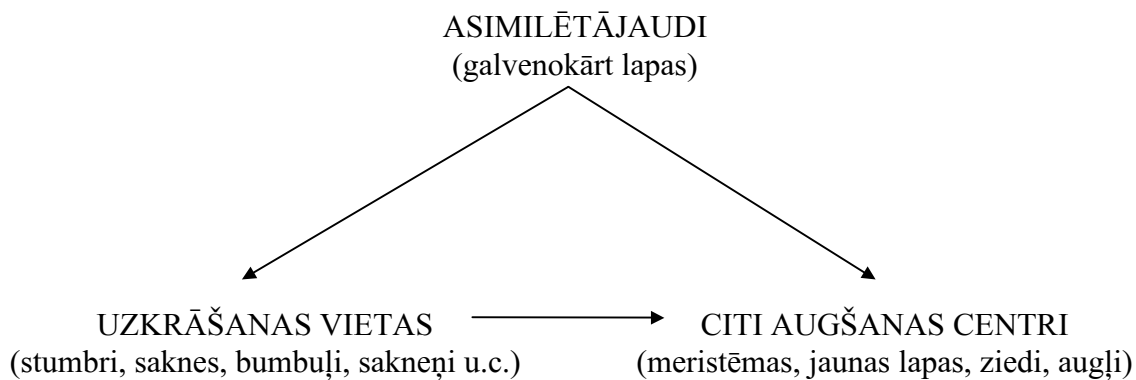
A - turgescentas slēdzējšūnas - atvārsnīte atvērta, B - šūnas bez turgora - atvārsnīte aizvērta.

Kālija jonu (K^+) transports cauri plazmalemai un tonoplastam izmaina slēdzējšūnu turgoru. Slēdzējšūnās uzkrājoties kālija joniem, pazeminās šūnas ūdens potenciāls un tās osmotiski uzņem ūdeni. Šūnas kļūst turgescentas. Kālija joniem izkļūstot no šūnām, atvārsnīte aizveras.

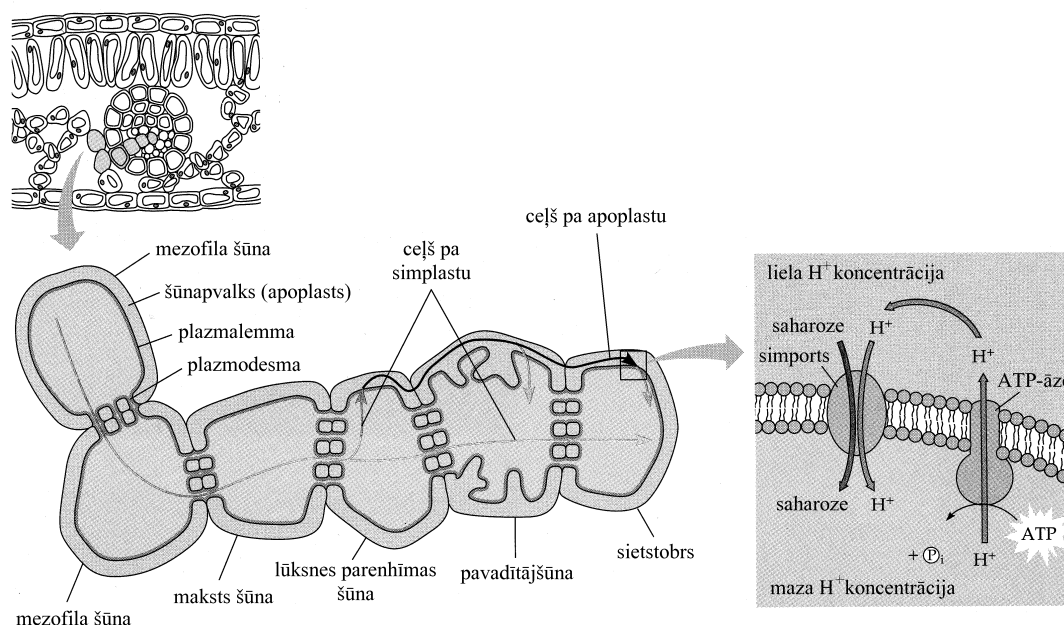


5.1.attēls. Sietstobra uzbūve. (Izmainīts no Braune, Leman, Taubert, 1971).

1 - sietstobra posms, 2 - sietplātnīte, 3 - citoplazma, 4 - pavadītājšūna



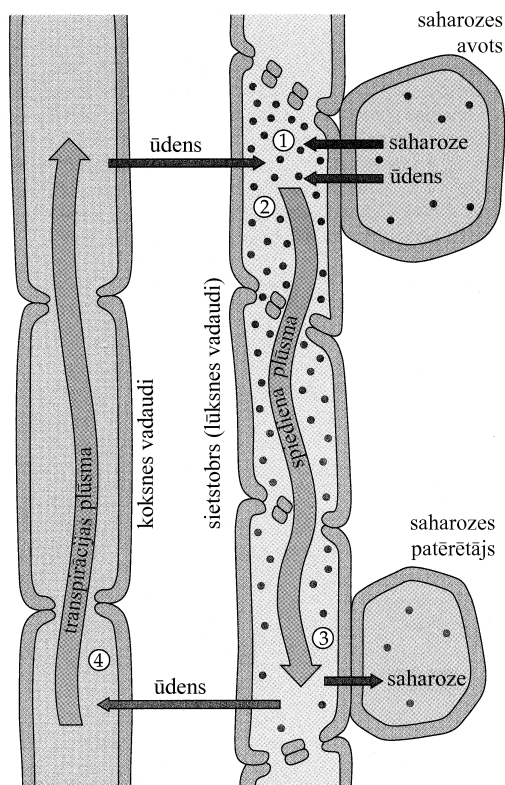
5.2.attēls. Organisko vielu šķīdumu pārvietošanās augā.



5.3.attēls. Saharozes iekļūšana lūksnes vadaudos. (Izmainīts no *Campbell, 1996*).

Mezofilā sintezējusies saharoze līdz lūksnes vadaudiem var pārvietoties pa simplastu. Dažām augu sugām saharozes transports netālu no sietstobriem pāriet no simplasta uz apoplastu un aktīvi uzkrājas sietstobru un pavadītājšūnu apoplastā. Dažām pavadītājšūnām var būt iekšējie šūnapvalka izaugumi, kas palielina virsmas laukumu šķīdumu transportam

Saharozes iekļūšanu (aktīvo transportu) sietstobros un pavadītājšūnās nodrošina hemiosmotiskais mehānisms. Protonu sūknis (ATP-āze) rada protonu (H^+) gradientu, kas nodrošina saharozes iekļūšanu sietstobrā caur membrānas proteīnu (simportu), kas saharozes transportu sajūdz ar protonu (H^+) iekļūšanu atpakaļ šūnā.



5.4.attēls. Saharozes pārvietošanās pa lūksnes vadaudiem. (Izmainīts no *Campbell, 1996*).

1 - cukuru iekļūšana sietstobrā pie cukuru avota samazina ūdens potenciālu sietstobrā. Tādējādi sietstobri osmozes ceļā no apkārtējām šūnām uzņem ūdeni.

2 - šis ūdens absorbcijas rezultātā rodas hidrostatiskais spiediens, kas liek šķīdumam pārvietoties pa vadaudiem

3 - koncentrācijas gradientu sietstobrā likvidē cukuru patērētājšūnas, kas aktīvā transporta ceļā uzņem cukurus. Šajā posmā no sietstobriem tiek uzņemts arī ūdens. Cukuri patērētājšūnās neuzkrājas, jo tie vai nu iekļaujas metabolismā, vai arī no tiem sintezējas ciete.

4 - ūdens pa koksnes vadaudiem tiek transportēts no cukuru patērētāja uz to sintēzes vietām.