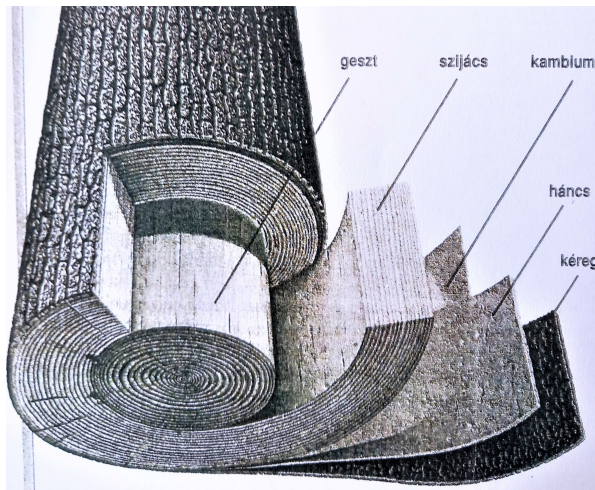


A fák nedváramlásának új elmélete

A Forest Press elektronikus hírportálon az elmúlt hét évben több cikkem is megjelent a fák vízszállítása tárgykerében. Jelen írásomban már a tápanyagszállítással és annak bizonyításával is foglalkozom. Értekezem továbbá két, a fában nem létező fogalomról, a vízpotenciálról és a gyökérfeszültségről is. Ime.

Növényanatómiából elég jól ismerjük, hogy a kambium osztódó szövete hozza létre a fatest belseje felé a különböző feladatok elvégzésére hivatott fasejteket, így a vízszállításra specializálódott sejteket is, melyek hosszanti összekapcsolódásuk által vízszállító csövekké alakulnak át. A fa külső palástja felé pedig háncselemek képződnek, melyek a tápanyagszállítást végzik. A következőkben a vízszállítással kívánok foglalkozni, amikor a víz az úgynevezett xilémelekben mozog. Az edényes növényekben a xilém, vagy farész a két szállítószövet egyike a floém, vagy háncsrész a másik. 1. ábra



1. ábra. A fatörzs keresztmetszete

A jelenleg elterjedt elmélet és ennek cáfolata

Az eddig megismert vízszállító elméletek, csak kis eltéréssel különböznek egymástól, lényegi eltérések nem tapasztalhatók. Ennek rövid leírása a következő: A xilémnedv mozgásának legfontosabb hajtóereje a víz párolgása, a mezofil (a levélalapi sejtek) felületéről a légkörbe. A párologtatás hatására a mezofil sejtek falán milliányi apró meniszkusz (a kapilláris folyadékoszlop

gömbült felszíne) jelenik meg. Ezek felületi feszültsége negatív nyomást, illetve húzóerőt gyakorol a xilémre, ami felhúzza a vizet a gyökerekből és a talajból. A vízszállítás alsó mozgatójaként a gyökérfeszültséget szokták megemlíteni. Ha a gyökerek vízpotenciálja negatívabb a talajénál (pontosabban, a talajoldaténál) általában az oldott anyag magas koncentrációja miatt a víz ozmózzissal beléphet a talajból a gyökérbe. Ez pozitív nyomást hoz létre, ami a xilémnedvet a levelek felé mozgatja. Ezt a jelenséget gyökérfeszültségként ismeri a szakirodalom.

Felmerül a kérdés, működhet-e a fában a vízszállítás az ismertetett módon. Egy rendszer, akkor működik a célnak megfelelően, ha működőképes a mechanizmusa, létezik ehhez illeszkedő, megfelelő nagyságú, állandóan ható erő úgy, hogy a szerkezeti elemei ezt képesek elviselni.

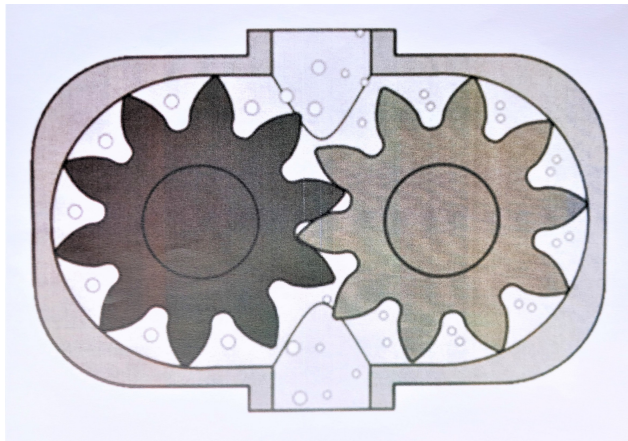
Vizsgáljuk meg ezeket külön-külön.

Az egyik említett erő a hajszálcsovesség, vagy kapillárisfeffektus, a folyadék azon tulajdonsága, hogy képes szűk, keskeny térben a gravitációs erő ellenében is mozogni. Ha a cső átmérője elég kicsi, akkor a felületi feszültség, valamint a csövek közötti adhéziós erők együttes ereje felemeli a folyadékot a növény kapillárisaiba. A kapilláris emelés azonban a természetben egy méter körüli érték, ennél nagyobb magasságba a kapillárisokban a víz nem

tud feljutni. Az ozmózisból származó gyökérintomás (nyomóerő) lehet kicsi, és lehet nagy is, teljesen mindegy, folyamatos vízszállításra alkalmatlan, mert ahhoz, hogy a víz áramolni tudjon, munkavégzés szükséges. Ez egy olyan mechanizmust igényel, ami biztosítja azt, hogy az erő állandóan úton tud elmozdulni.

Hibás a rendszer mechanizmusa. Víz szállítását csak úgy lehet, hogy a felszívott vizet kinyomja a rendszer. Tehát van szívás és nyomás is. A fák vízszállítását a vízszivattyúk működéséhez hasonlítható, azért, mert hasonló rendszerek hasonlóképpen működnek. Ezeknek a szivattyúknak a vízszállítás módját tekintve két típusa ismert.

Az azonos időfázisban szívó-nyomó szivattyúk például a fogaskerék szivattyúk. 2. ábra



2. ábra. Fogaskerék szivattyú

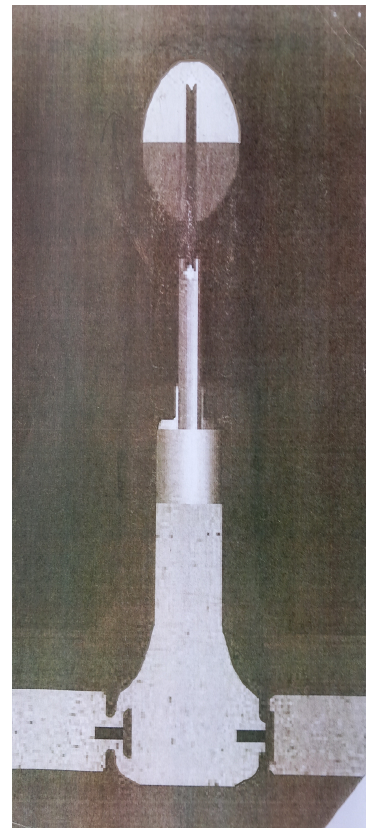
A másik, az eltérő időfázisú szivattyú, legismertebb a szívó-nyomó kút, vagy az oldalirányú erővel működtetett piston pumpa. 3. ábra

3. ábra. Piston pumpa

A kétféle szivattyútípus működési elvét a későbbiekben részletesen ismertetem.

Víz szállítását (ez az organikus rendszerekre is igaz) csak szívással, vagy csak nyomással nem lehet. Nem lehet vizet szállítani úgy sem, hogy alul nyomok, felül szívok.

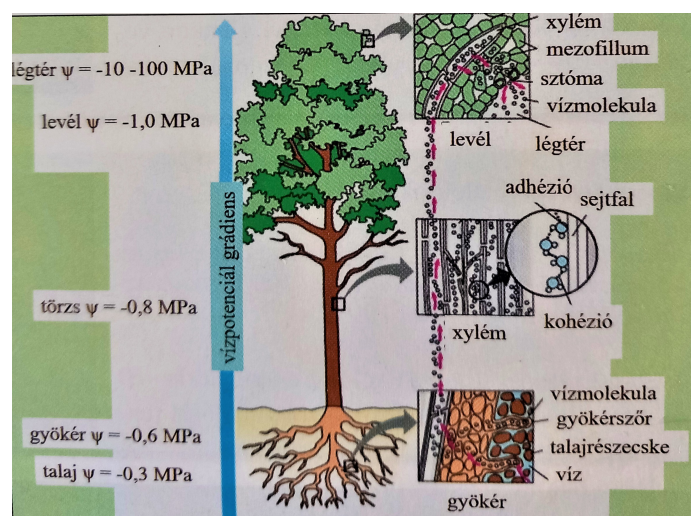
Párolgásnál a csöveknek víztelítettek kell lenni, mert párolgás csak ebben az esetben valósulhat meg. Erőegyensúlyi feltétel bármely magasság esetében. A lefelé irányuló gravitációs erőnek egyensúlyban kell lenni a vele ellentétes irányú szívóerővel. Ahhoz, hogy egy bizonyos magasság esetén víz jusson a levelekbe, az erőegyensúlyt létrehozó szívóerőnél a belső ellenállástól függően nagyobb erőre van szükség. Ha ezt egy gyakorlati példával akarom megvilágítani, például egy középmagasnak tekinthető húsz méter magas bükkkel, ez azt jelenti, hogy a húsz méteren levő levelekben két atmoszféránál nagyobb szívóhatásnak kell lennie. Két atmoszféra nyomással egy középkategóriás autó kerekét keményre lehet pumpálni. A levélszövetek ennek fordítottját, két atmoszféránál (két bárnál) nagyobb szívást hogyan képesek elviselni. Nem beszélve arról, hogy ekkora szívást létre sem lehet hozni. Az elvégzett elemzésből kitűnik, hogy az eddig megismert vízszállítási elmélet hibás. Hibás azért, mert a



rendszerben nincs a mechanizmushoz illeszkedő, kellő nagyságú erő. Tehát nem biztosított a munkavégzés, az erőnek úton történő elmozdulása. Hibás a mechanizmusa, mert vizet úgy nem lehet szállítani. A legnagyobb ellentmondást az jelenti, hogy nagy magasság esetén a levélszövetek a keletkezett szívóhatást képtelenek elviselni.

Vízpotenciál, a nagy leleplező

Az elviselhetőség fogalma azonban nem bizonyítási kategória. A hagyományos elméletek tarthatatlanságára a vízpotenciál elmélet világít rá. 1960-ban egy ausztrál és egy amerikai kutató, Taylor és Slatyer javasolta, hogy a víz kémia potenciálját vegyék alapul a talaj, növény, levegő rendszer értékelésekor, mely szerint az említett rendszerben vízpotenciál különbség van. /4. ábra/



4. ábra. Vízpotenciál különbség a talaj növény légtér rendszerben

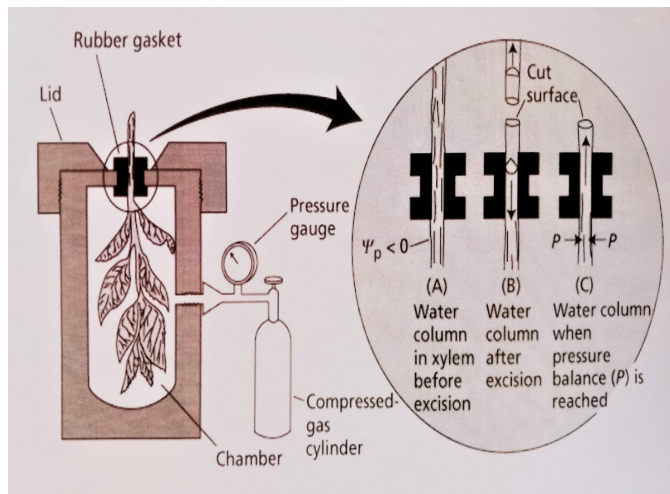
Javasolták továbbá, hogy a tiszta víz kémiai potenciálját tekintsék nullának. A vízpotenciál egy rendszer, vagy a rendszer részében levő víznek a kémiai potenciálja nyomásértékben kifejezve, a tiszta víz kémiai potenciáljához viszonyítva. Ha a tiszta víz vízpotenciálja a legnagyobb, (0) akkor az oldatok vízpotenciálja ennél kisebb, azaz negatív érték. A víz a

nagyobb vízpotenciálú helyre diffundál a kisebb vízpotenciálú hely felől, ahogy a hő is a magasabb hőmérsékletű helyről áramlik az alacsonyabb hőmérsékletű helyre. (Jannes Sutcliffe)

A nyitott csővégnél (sztómák) nincs szívóerő, s ehhez kapcsolódó szívási mechanizmus, ezért a csövekben a gravitáció ellenében víz nem áramolhat. Ezt a jelenséget a későbbiekben, a szivattyútípusok ismertetése során részletesen kielemezem. Ha lenne a levelekben szívóerő, és ehhez kapcsolódó mechanizmus, akkor nem a vizet szívna fel, hanem a légréven keresztül levegőt szívna be a növény. Mivel a vízpotenciál fogalmát a talaj-növény-levegőrendszer értékelésére hozták létre, teljesen világos, hogy párologáskor a szívás a levegőben is folytatódik. Tehát a levegő szívja ki a vizet a légréven át. A probléma: tengerszint közelében megközelítően egy fizikai atmoszférán élünk. Ezt Evangelista Torricelli 1643-ban bizonyította, majd Otto von Guericke a Regensburgba egybegyűlt fejedelmek előtt bemutatta híressé vált kísérletét. Ebben a kísérletben a maga által kifejlesztett légszivattyúval két üres félgömb közül kiszivattyúzta a levegőt. A gömb ellentétes oldalára nyolc-nyolc lovat állítva tapasztalta, hogy a tizenhat ló nem volt képes a két negyvenöt centiméter átmérőjű félgömböt szét húzni. Otto von Guericke híres német fizikus volt, s egyben Magdeburg polgármestere is, így kísérlete a magdeburgi féltékék néven vonult be a fizika történetébe. Hány atmoszférát szívott ki a fizikus a félgömbökből? Valamivel kevesebbet, mint amennyit belezárt. Közel egy atmoszférát, s ekkor érte el a csillagközi térhez közeli állapotot (nulla atmoszférát). Tehát a

földi viszonyok között a levegőben létező legnagyobb szívási érték kisebb, mint egy fizikai atmoszféra, de ebben az esetben a levegőt be kell zárni. A legalacsonyabb tengerszinti légnyomást nyolcszázhatvan hektopaszkált egy tornádó tölcserében mérték 2003 június 24-én Dél-Dakotában, ami a normál 1013 hektopaszkához viszonyítva nem jelentős csökkenés.

Fogalmazzuk meg, mi történt. A vízpotenciál megbuktatta a hagyományos elméletet úgy, hogy közben maga is megbukott. Vízpotenciál ezek szerint nincs. Ezzel az is nyilvánvalóvá vált, hogy párolgáskor a légtérbe a vizet csak nyomással lehet kijuttatni, ahogy a szivattyúk is teszik. Felmerül a kérdés, hogyan tudtak magas fák esetében ilyen magas szívási értékeket kimutatni. A mérést Scholander féle nyomáskamrával végezték el. 5. ábra. Scholander kamra



5. ábra. Scholander-féle nyomáskamra

„E módszer lényege, hogy egy 5000 kPa gáz nyomásának is ellenálló kamrába úgy helyeztek el egy levelet, vagy egy leveles szárat, hogy a levélnyel, vagy a szár vágott vége kiáll az edény szájára rögzített zárszerkezetből. Ezután, valamilyen gázt, például nitrogén gázt engednek a kamrába, s a gáz nyomását addig növelik, míg a folyadék meg nem jelenik a növénynek a kamrából kiálló vágott felületén. Ekkor egyensúlyi

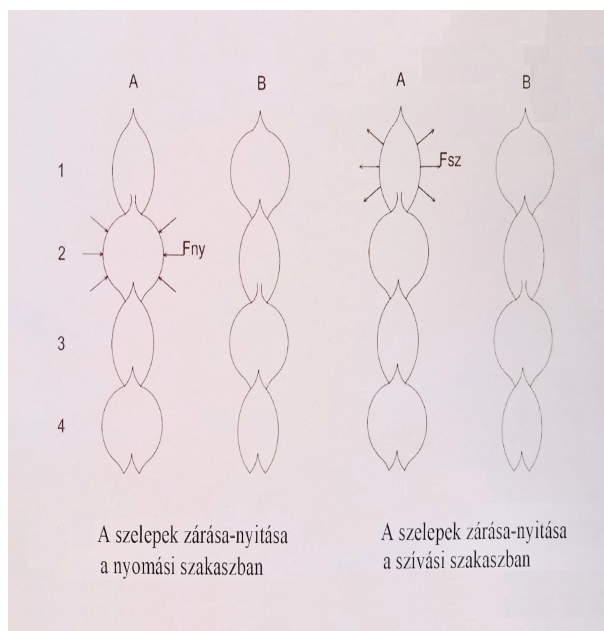
helyzet áll fenn a levél sejtjei és a farészben lévő nedv között, és a gáznyomás pontosan egyensúlyozza a levél sejtjeinek a vízpotenciálját.” James Sutcliffe.

Mint, ahogy az ábrán is látszik, az ág levágásakor a növénynedv visszahúzódik. A vélt szívási értéket a nedv megjelenésekor olvassák le. A mérési módszer legalapvetőbb hibája, hogy az ágrész vagy levél levágásakor a hagyományos elmélet szerint szívó és nyomó csöveket is átvágtunk. Az elmélet szerint a xilém szívócső, de a tápanyagszállító floém rostacsöve nyomócső. Erre úgy jöttek rá, hogy a vezérhajtás csúcsrügye alatt szívó szipókás rovarok szájszervének átvágásakor nyomással cukros nedv folyt ki. A hagyományos elmélet szerint a levélben egy nagy szívást kellene átalakítani egy kis nyomássá. Ilyen nagy szívást kis nyomássá átalakító mechanizmus a levélben nem található. A vízszállítással foglalkozó kutatók nagyon önkritikusan megemlítik, hogy ezzel a műszerrel, annak ellenére, hogy sokan még a fára is felmászta vele a vízpotenciál különbségeket nem tudták kimutatni. A mérések -0.5, és -0.8 Mpa értékek között mozogtak. Zimmerman a készüléket átalakította, de a szívónyomócső anomália továbbra is fennállt. Nemcsoda, ha a nemlétező vízpotenciált, egy hamis elvek alapján működő műszerrel nem tudták kimérni. A hiba nyilván abból adódott, hogy a vízszállítást kutatók elfelejtették megmondani Scholandernek, hogy a szár lemetésése során szívó, és nyomócsöveket is átvágtak. Ha nem így, akkor hogyan szállítják a vizet a fák?

A vízszállító rendszer működési elve

A levél felszínén kisméretű nyílások /sztómák/ találhatók. Ezek a légrések, melyek többnyire a levél hátoldalán találhatók gondoskodnak a légcseréről, és a párologtatásról. Párologtatáskor a légrések nyitva vannak. Magasabb energiaszinten vízmolekulák távoznak a légtérbe. Következésképpen a csőben maradó víz lehül. Hőelvonás jelensége lép fel. Mivel organikus rendszerről van szó, az egymás felett elhelyezkedő, harántfalaikkal egymáshoz kapcsolódó sejtek erre keresztmetszet- csökkenéssel válaszolnak. Természetesen erre csak a legutolsó évben képződött rugalmas évgyűrű képes./KTT esetében biztosan így van/. Ebben az esetben, pedig nem szívásról, hanem a légtér felé irányuló nyomásról beszélünk. A csövek csak egy bizonyos határig tudnak szűkülni. Az összehúzódás befejeztével bezárulnak a légzőnyílások. Megszűnik a párologás, és a hőelvonás. Beindul egy hőkiegyenlítődési folyamat, ami szép lassan visszaállítja a csövek eredeti keresztmetszetét. Ez a keresztmetszet-növekedés, pedig szívóerőt generál a gyökerek irányába, ami felszívja a vizet a talajból. Hasonlóan az orvosi szemcseppentőhöz, amikor a benyomott, leszűkített keresztmetszetű henger alakú, rugalmas gumit elengedve folyadékot szívunk fel a csőbe. Mivel a csőben nyomásgradiens alakul ki,/alulról felfelé haladva a hidrosztatikus nyomás fokozatosan csökken/, változó nagyságú, szívó, illetve nyomóerőre van szükség, ezért a cső leszakaszolt. Így a víz mozgatása közel egyenlő nagyságú, a leszakaszolt sejtek darabszámától függően kisebb erővel is megvalósulhat. Ez a leszakaszolás pedig egy perisztaltikus mozgásformát eredményez. Ugyancsak fontos szempont a perisztaltikus mozgásnál, hogy ez a mozgásforma biztosítja azt, hogy az oldalirányú erővel működtetett rendszer állandóan úton tud elmozdulni. Tehát az állandómunkavégzés is lehetséges.

A szelepek zárásának és nyitásának a mechanizmusa. /a rendszer működését a 6. ábra szemlélteti./



6. ábra. A pulzáló rendszer a nyomás- szívás szakaszban

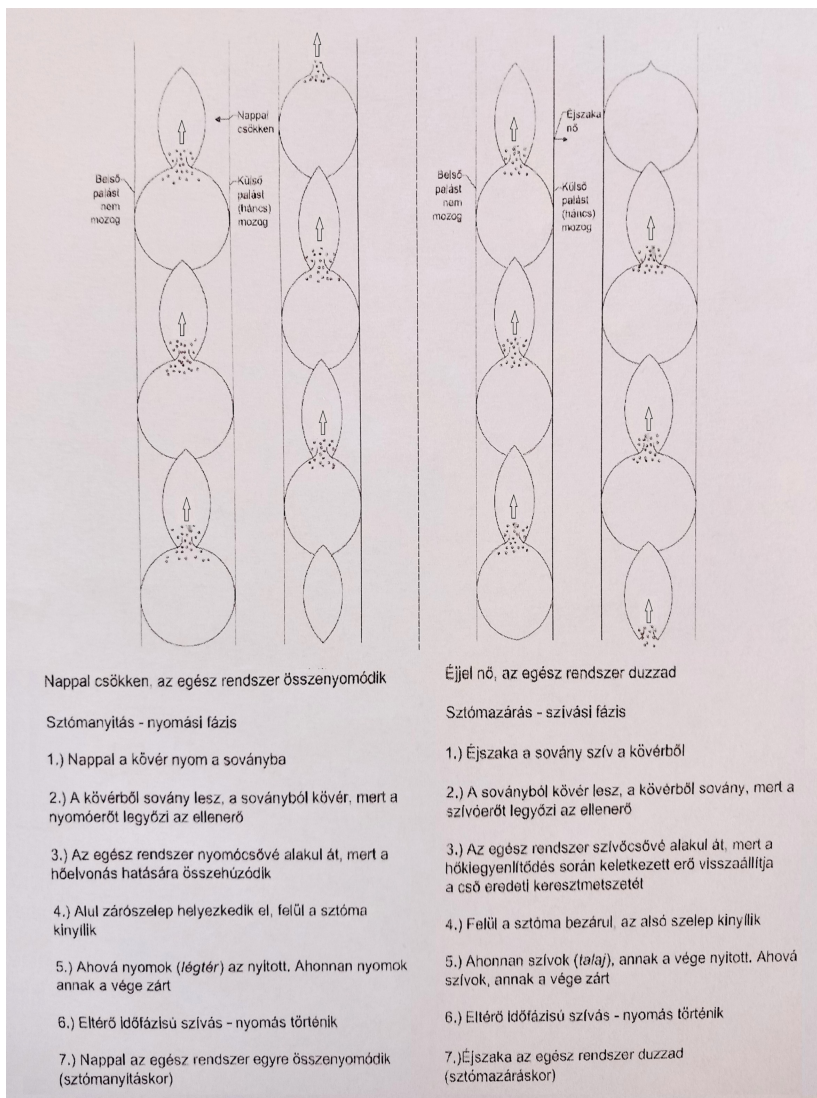
A 6 ábra első oszlopában látható, hogy a második számú szegmentumból vizet nyom a növény a felette lévő egyes számú szegmentumba. / F_{ny} = nyomóerő, F_{sz} = szívóerő, F_e = ellenerő, ami több erőből áll ezért nem ábrázoltam./ A szelepnnyitás feltétele F_{ny} nagyobb, mint F_e . A nyomási folyamatban az ellenerőnek meg kell nőnie ahhoz, hogy a szelep bezáródjon. Abban a pillanatban amikor F_{ny} kisebb, mint F_e záródhat a szelep. Ezután megkezdődhet a nyomás a 3. számú szegmentumból, a felette lévő, előző nyomással lecsökkentett

vízmenységű 2. számú szegmentumba. Az eredményeket a második (B) oszlop szemlélteti.

A szelep nyitás – zárás előfeltétele egyezik az előbbivel. Ez a folyamat folyton – folyvást ismétlődik, és megkapjuk a 6. ábrán látható perisztaltikus mozgásformát.

Az éjszaka lezajló gyökér felőli szívás mechanizmusát a 6. ábra jobboldali két oszlopa szemlélteti. Itt a szívás a harmadik oszlop (A) első szegmentumból indul, ami vizet szív az alatta lévő 2. számú szegmentumból. A szívás addig tart, amíg Fsz nagyobb, mint, Fe. Abban a pillanatban, amikor Fe nagyobb, mint Fsz a szelep bezáródik. A szívás további folyamata hasonlatos a nyomási folyamatban ismertettekhez. Itt is kialakul a perisztaltikus mozgásforma, melynek eredményét a negyedik (B) oszlop mutatja.

A nyomási folyamatban nappal valamennyi szegmentum egyre kisebb lesz, ami feltételezi azt, hogy lent a pulzálás kezdetén zárószelep helyezkedik el. Éjszaka a gyökér felőli szívásnál a lenti szelep kinyílik, és az egész rendszer egyre vastagabb lesz, hízsz vizet szív. A xilémcső perisztaltikus mozgását a 7. ábra szemlélteti a nyomás, illetve a szívási szakaszban.



7. ábra. A pulzáló rendszer

A kép alatt található magyarázó szöveg immáron a vizuális ábrával kiegészítve összefoglalja a mozgási eseményeket.

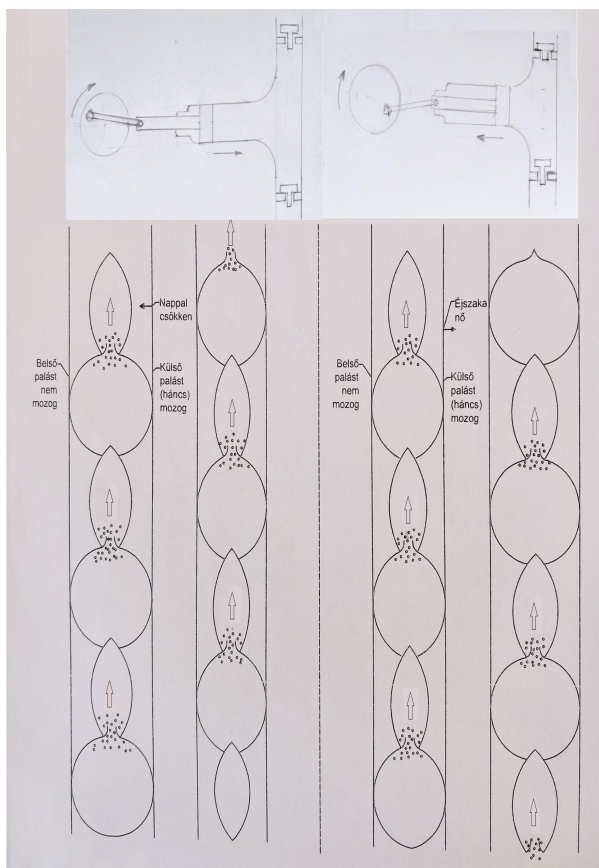
A vízszivattyúk működése

A perisztaltikusan pulzáló szívó-nyomó rendszer megértéséhez fontos, a hasonlóan működő vízszivattyúk működési elvének az ismerete. Rajkovits Zsuzsanna fizikus leírja a csigás polip merülését, és emelkedését, amely J. Verne képzeletbeli tengeralattjárójához a Nautilushoz hasonlatos./ J. Verne ismerte a csigás polip tudományos nevét./ A bionika alaptörvénye

értelmében, a hasonló rendszerek hasonlóképpen működnek elv alapján feltételezem a működési hasonlóságot a szivattyúk és a vízcsövek között. Mint már említettem a szivattyúknak két típusa ismert. Egyik az azonos időfázisban szívó-nyomó szivattyú. Ilyen például a közönséges kútszivattyú, vagy a fogaskerékszivattyú./2. ábra/ Ezekre a szivattyúkra

jellemző, hogy a befolyó, és a kifolyó nyíláson keresztül folyamatosan áramlik a víz, és a szivattyú mindkét vége nyitott. Az ilyen szivattyúknál a víz áramlását a beömlő, és kiömlő nyílás között elhelyezkedő forgó mechanizmus biztosítja, ami a rendszert két részre osztja. A beömlő nyílás és a forgó mechanizmus egyik fele között a szívott, annak túloldala és a kiömlő nyílás között pedig a nyomott víz található. A szivattyúk másik típusa, amikor a szívás, és a nyomás nem azonos időfázisban történik. Ilyen például a közismert szívó-nyomó kút, vagy a kevésbé ismert, a vízszállító csőhöz hasonlóan oldalirányú erővel működtetett piston pumpa./3. ábra/ Ezekre a szivattyúkra jellemző, hogy egy tartályba szívják fel a vizet. Ekkor a tartály, és a szívócső közötti szelep kinyílik, de a tartály, és a légtér közötti szelep zárva marad. A következő lépésben a tartályba felszívott vizet kinyomjuk. Ekkor a szívásnál nyitva lévő szelep bezárul, de a légtér, és a tartály közti szelep kinyílik. Ebből a folyamatból következik az, hogy ahonnan szívok annak vége nyitott, ahova szívok/tartály/annak vége zárt. Ez a szívási fázis a szívott vízszakasszal. Nyomásnál pedig ahova nyomok, annak vége nyitott, ahonnan nyomok/tartály/, annak vége zárt. Ez a nyomási fázis a nyomott vízzel. A hagyományos elmélet szerint a párologáskor a bemenet (gyökér) és a kimenet (légzőnyílás) között az áramlás folyamatos, és a cső mindkét vége nyitott. Ez bennem az azonos időfázisú szivattyúk működési elvét idézi. No de hol van a forgóméchanizmus, ami alul szívott, felette pedig nyomott vízszakaszt állít elő? Tudtommal ilyen a növényben nincs. Akkor mégis tartályba szívja fel a vizet a növény a már ismertetett módon szelepszáródás és nyitás segítségével, az eltérő időfázisú szivattyúkhöz hasonlatosan.

8. ábra. A piston pumpában és a vízszállító csőben a víz mozgása, a nyomás-szívás fázisban



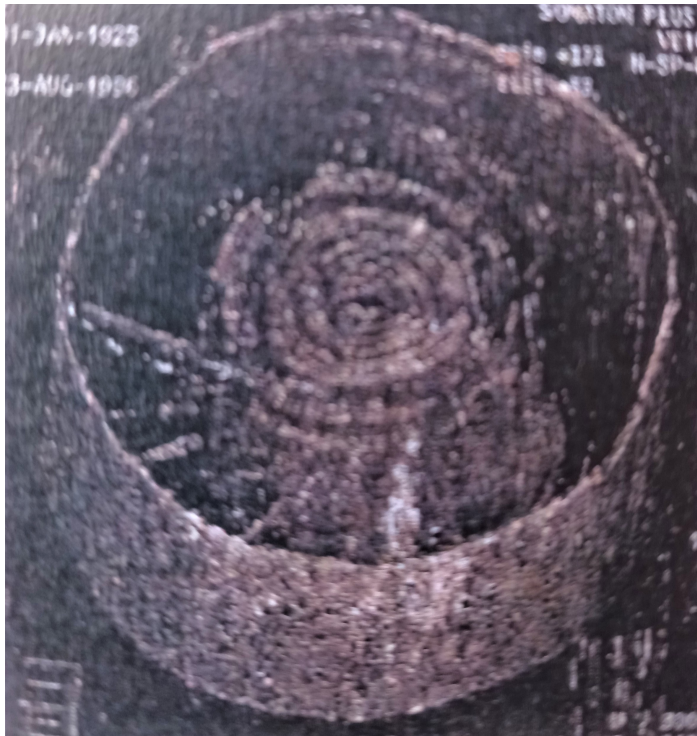
A 8. ábra szemlélteti a víz mozgását a nyomás és a szívás szakaszban. A nyomási szakaszban mind a piston pumpánál mind a vízszállító csőnél a felső szelep nyitott és az alsó szelep zárt. Mindkét esetben csökken a tartály víztérfogata. A szívási szakaszban a helyzet fordított. Itt az organikus vízcső és a piston pumpa is vizet szív fel. Ennél fogva az alsó szelepek nyitottak, de a felső szelepek zártak. Mindkét rendszerrel nő a tartály víztérfogat. Az ábra szerint a vízcső és a piston pumpa működéséhez erő, változó víztérfogatú tartály, szelep és mechanizmus szükséges. Az utóbbi biztosítja azt, hogy az erő útján tud elmozdulni. Erőt az organikus rendszerrel a párologás megléte vagy hiánya biztosítja. A piston pumpánál pedig a kereket forgató erőforrás jelenti ezt, / kézi vagy gépi /, amihez excentrikusan elhelyezett forgattyús tengely csatlakozik. Mechanizmust az organikus vízcsőnél a pulzáló mozgás, a piston pumpánál pedig a dugattyú mozgása biztosítja.

Hol vannak a tartályok, és hol vannak a szelepek?

A kérdés felvetés az organikus rendszerre vonatkozik, mert a piston pumpánál ez egyértelmű. Az egyik tartály a vízszállító rendszer tágulásából és összehúzódásából adódó térfogatkülönbség. Ezt egy általam kifejlesztett műszerrel bizonyítani tudom, s egyben láthatóvá is tudom tenni a víz mozgását. A műszer felépítési és működési elve a következő: egy vízzel megtöltött biciklidudába egy szorosan záródó gumidudát, majd a gumidudába fűrt lyukba egy ugyancsak szorosan illeszkedő kapilláris csövet helyezek el. Ezt a szerkezetet négy csavarorsó és két plexilap segítségével rábilincselem a fára, úgy hogy a két rugalmas rendszer (a fa és vízzel megtöltött bicikliduda a kapilláris csővel) a két rugalmatlan plexilap közé kerüljön. Utána a víznívót a csavarorsókon elhelyezkedő szárnyasanyák segítségével, ügyelve a két plexilap párhuzamosságára, a kapilláris cső közepére helyezem. Így lehetőségem nyílt a kétirányú mozgás követésére. A csavarorsó menetemelkedése egy milliméter. A kapilláris csőben az elmozdulások a kalibrálás során lineárisak voltak. A szárnyasanyák 90 fokos elfordulásakor a libella nívója négy centimétert, 180 fokon nyolc centimétert, 270 fokon tizenkét centimétert, teljes 360 fokos elfordulásakor 16 centimétert változott. Tehát a növény egy mm méretváltozásánál a víznívó függőleges irányú méretemelkedése 16 cm volt. A műszer a fa horizontális mozgását a tulajdonképpeni átmérőváltozást alakította át vertikális mozgássá. A vastagkérgű fák esetében a fa átmérő változásai feltehetőleg nem követik a vízcső átmérőváltozásait, mert a mozgásukat a rugalmas hancs elnyeli. A méréseim során tapasztalhattam, hogy az éjszakai szívási fázisban a fa átmérője nőtt, a kapilláris csőben a víznívó feljebb kúszott. Nappal párologáskor az elmozdulás ezzel ellentétes irányban történt. Meg kell jegyezni, hogy a növényeknél a nappal hossza a légrésnyitástól a légrészárásig tart. Gyakran előfordul, hogy nyáron nagy melegben a kora délutáni órákban a növény bezárja a légzőnyílását. Átáll éjszakai üzemmódra. Ezt én is tapasztaltam, mert előfordult a műszeremnél délben a víznívó ellentétes irányú elmozdulása, tehát a fa átmérője növekedett, mert vizet szívott. A kora délutáni légrés zárás ismeretes a növényélettanban foglalkozó kutatók körében. A későbbiekben tárgyalni fogom, hogy a szívás egy lassúbb, energiatakarékos folyamat. Ennél fogva a gyakori nappali légrészárás a növény vízgazdálkodásának fontos tényezője. Van azonban a fában egy másik tartály is, melynek létezésére és a fában történő elhelyezkedésére a síkfőkúti projekt keretében Béres Csilla által szervezett kutatócsoport hordozható számítógépes tomográf (CT) és nagy felbontású mágneses rezonancia tomográf (MRI) alkalmazása révén figyelt fel. 9. ábra

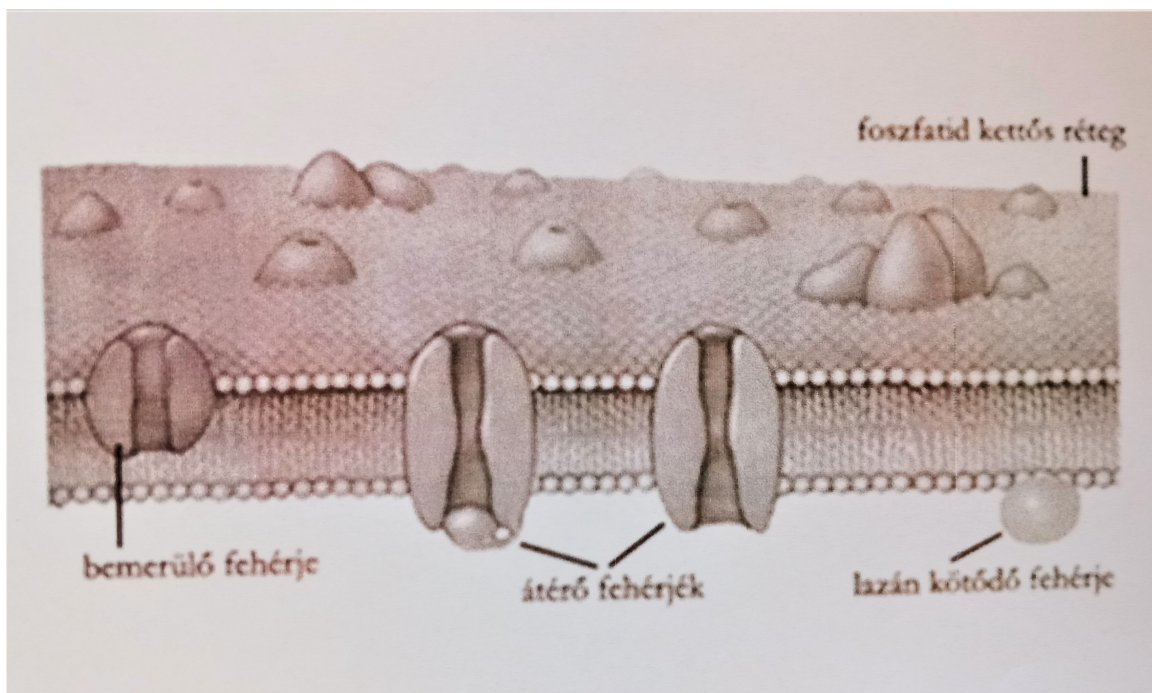
9. ábra. A kocsánytalan tölgy törzséről készült három dimenziós kép.

A képen egy kocsánytalan tölgy törzséről készült három dimenziós CT kép látható. Az ábra nagyon informatív, mert elárulja, hogy a pulzáló rendszer a csatornácskák segítségével a törzs belsejébe vízraktárokat képez. A képen egy nagyon keskeny körgyűrű látható, ami állandó összeköttetésben áll a csatornácskákkal, és a vízraktárokkal. Béres Csilla cikkéből az is kiderül, hogy a növény a képzett víztartalékból, a betárolt vízből képes vizet felhasználni, és ezt újra az aktív pulzáló szakaszra juttatni. Ebből következik az, hogy a fa belsejében a már elhalt részen is van vízmozgás. A mozgást feltehetően a pulzáló rendszer vezérli. A kísérlet során izotópokat is elhelyeztek a fába és különböző magasságban szcintillációs detektorokkal követték az izotóp útját. Tapasztalták, hogy az áramlás nem volt egyenletes. A gyors áramlás mellett egy jóval lassúbb áramlás is keletkezett, és ez az éjszaka folyamán is fennállt. Éjszaka a légzőnyílások zárva vannak. Béres Csilla meg is jegyezte, hogy a párologás húzó erejével ez a jelenség nem magyarázható. Érdekes megállapítása az is, hogy a gyors áramlást a fa külső,



nagyon keskeny sávjában az utolsó évben képződött tracheákban tapasztalták. Ők ezt szabad víznek, a csatornácskákban és a vízraktárokból található vizet pedig kötött víznek nevezték, amely vagy valamilyen anyaghoz, vagy szerkezeti elemhez kapcsolódik. Tekintettel arra, hogy a betárolás és a kitárolás nem azonos magasságban történik, arra következtethetünk, hogy a már holt farszben is történhet a gravitáció ellenében vízáramlás. A betárolás és kitárolás mechanizmusa teljesen ismeretlen az élettan világában. A múlt évezred végén a Sífőkúton végzett vízszállítási kísérletek az élettani kutatásban mérföldkövet jelentettek, amelyekben több híres intézmény és egyetem is

bekapcsolódott. A teljesség igénye nélkül (ATOMKI, DOTE, Marburgi Egyetem, IATA Firenze, Soproni Erdészeti és Faipari Egyetem). A másik fontos kérdés, hogy hol vannak a szelepek. A szelepek a fiatal egyéves sejtek harántfalait összekapcsoló felületen helyezkednek el. Létezését régóta ismerték, /transzmembrán proteineknek nevezték/, csak a funkciója volt ismeretlen. Az aquaporin, a membrán vízcsatornájának a felfedezése 2003-ban Peter Agre, és Roderick MacKinnon nevéhez fűződik. /2003-ban Nobel díjat kaptak érte/ Ez a membránokon átnyúló fehérjemolekula egyirányú vízszállítást szelepszárast és szelepnnyitást tesz lehetővé. Megvan az utolsó láncszem a szelep is, mely nélkül a pulzáló rendszer nem működhetne./10. ábra/



10. ábra. Biológiai membrán

A tápanyagszállítás mechanizmusa

Az élettani könyvek a tápanyagszállítás mechanizmusát sokféle képpen magyarázzák. A legismertebb elmélet szerint a betöltés, és a felhasználás helye között ozmózis jelenségen alapuló potenciálkülönbség jön létre. Ennek következtében turgornyomás grádiens alakul ki, ami tömegáramlással hajtja a nedvet. A számítások azonban nem minden esetben igazolták a grádiens létét. Valószínű oka, a nagy belső ellenállás. Úgy gondolták, hogy az áramlás kialakulásában más mechanizmusok is szerepet játszanak. Elméletem szerint a xilémsző pulzáló mozgása nyomkodja ki a rostacsóból a szőlőcukrot az apró pórusokon keresztül. A tápanyagszállító rostacsó a xilémszőhöz képest inverz mozgást végez. Ezt jól szemlélteti a következő jelenség: a fügefáról a levélnyel alapi részénél letörök egy levelet majd azt függőlegesen az ég felé fordítom. A letört résznél nyomással latex nedv csöpögött ki, hasonlóan, mint a lágyszárúak esetében a vérehulló fecskefűnél, vagy a kutyatejfélnél. Majd, ha a levelet elkezdtem ledarabolni a levéllemez felé, akkor is ugyan ezt tapasztaltam. Tehát a xilémsző által kipréselt nedv nyomással bent maradt a két szállítónyaláb által képzett szegmentumok közti térben. Az elméletet alátámasztja az a kísérletem is, amit besötétedés után végeztem a leghosszabb nap tájékán. A nedv folyása éjfélig tartott, utána leállt. Eddig tartott a nedv beépülése.

A vízszállítási elmélet bizonyítékai

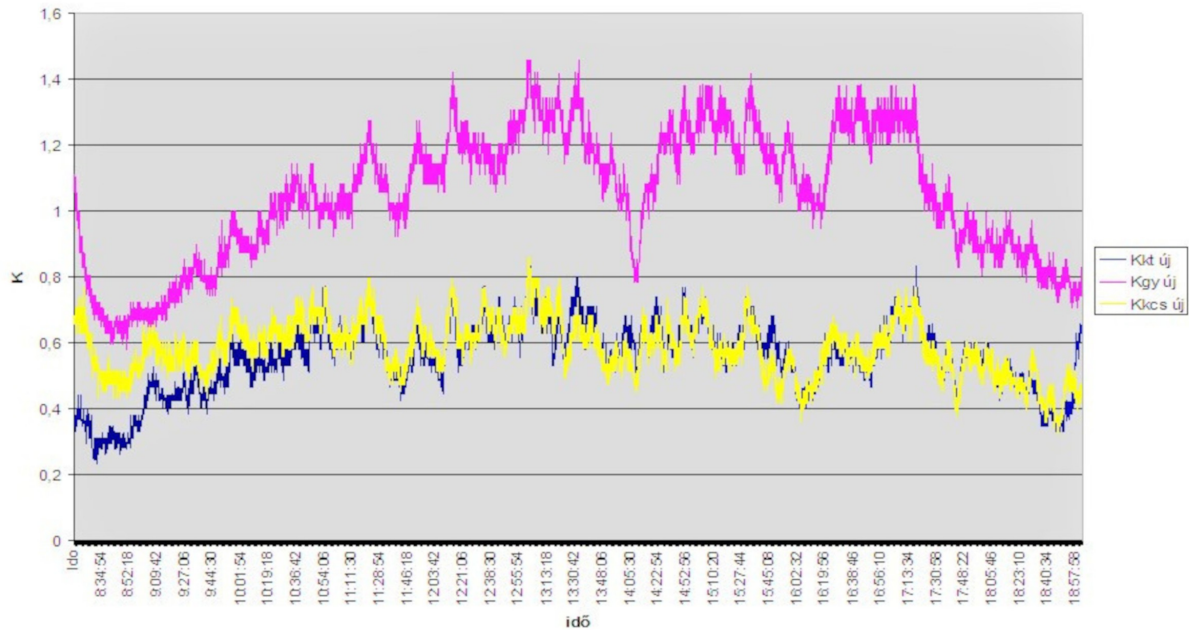
1.) A síkfőkúti izotópos kísérletek egyértelműen igazolták, hogy a hagyományos elmélet hibás. Tóth János Attila összefoglaló tanulmányában megemlíti, hogy a fák vízszállítása teljesen új megvilágításba került. Különösen az a megállapítása volt a perdöntő, amit már korábban leírtam. Éjszaka is tapasztaltak felfelé történő áramlást, ami zárt légzőnyílások esetében lehetetlen. Bár vannak szakírók, akik az éjszakai áramlást gyökérszívással magyarázzák. Ez így nem helyes, mert a nyárfák karódugványa úgy is kihajt, hogy még nem képződött rajta gyökér. Gyökér csak a hajtás létrejötte után keletkezik. Ennek fiziológiai okairól a későbbiekben beszámolok.

2.) A 11. ábrán különböző fafajok törzsében mért időfüggvényű sebesség mintázatok látszanak egy locsolás utáni napon. A függőleges tengelyen $K=0,206 U^{0,814}$, ahol az U az áramlási sebesség/m/perc/.

11. ábra. Cser, a kocsánytalantölgy, és gyertyán törzsében mért vízáramlás öntözés utáni napon.

Az ábrán az apró fűrészfogszerű forma azt jelentheti, amikor a víz az utolsó, még organikus xilémszőben a víz a szelepeken keresztül áramlik egyik sejtből a felette lévőbe. A képen látható mintázat visszatükrözi a víz sejtről-sejtre történő áramlását. Mivel rugalmas rendszerben történő áramlásról van szó, itt egyenletes mozgás nem alakulhat ki. A sejtszelepek nyitása, és zárása során kinetikus energia raktározásáról, és visszanyeréséről van szó. A kora

Összesítés 08.02.



délutáni órákban az áramlás csökkenést mutat. Ez azt jelentheti, amit már a korábbiakban leírtam, hogy a növény elkezdett vizet szívni, és ezt mindjárt be is tárolta a fatestbe. Ekkor tapasztaltam a műszerem víznívójának irányváltását tehát a csövek duzzadtak. Pára az ágra húzott nejlonzacsókban nem képződött. Az, hogy ezt megteherthe a növény arra az lehet a magyarázat, hogy a xilémszövetekből már sok víz elfogyott, és annak másik irányú mozgására is lehetőség volt. A vékonykérgű fajoknál, mint például a bükk ennek a jelenségnek különösen nagy szerepe van. Ha a talajban van elegendő víz, akkor a fa nem dobja le a kérgét szabadállásban, mert átállítja magát éjszakai üzemmódra, akár napjában többször is. A nedvkeringés nem áll le, a hűtés a gyökér felőli szívással megoldott. Ha nincs elegendő víz a talajban, akkor azonnal ledobja a kérgét szabad állásban. Ez a jelenség a héjaszáz.

3.) A kontinuitás törvénye önmagába igazolja az elmélet helyességét, bár a11. ábrán egy fél szinusz görbéhez tartozó függvény képe látható. Azt gondoltam, hogy annak éjszakai része is megtalálható valahol. Béres Csilla mutatta meg számítógépén még halála előtt a 2010-es évek elején, Szombathelyen. A szinusz görbe másik fele is kirajzolódott. Ez számomra azért volt fontos, mert ennek birtokában joggal hivatkozhatok a kontinuitás törvényére. Hisz nappal az átlagsebesség nagyobb, éjszaka kisebb. A kontinuitás törvénye értelmében a nagy sebességhez kis keresztmetszet, kis sebességhez pedig nagy keresztmetszet tartozik./ Ezt persze torzíthatják a be és kitárolások mértékei./ Tehát a fa palástja mozog.

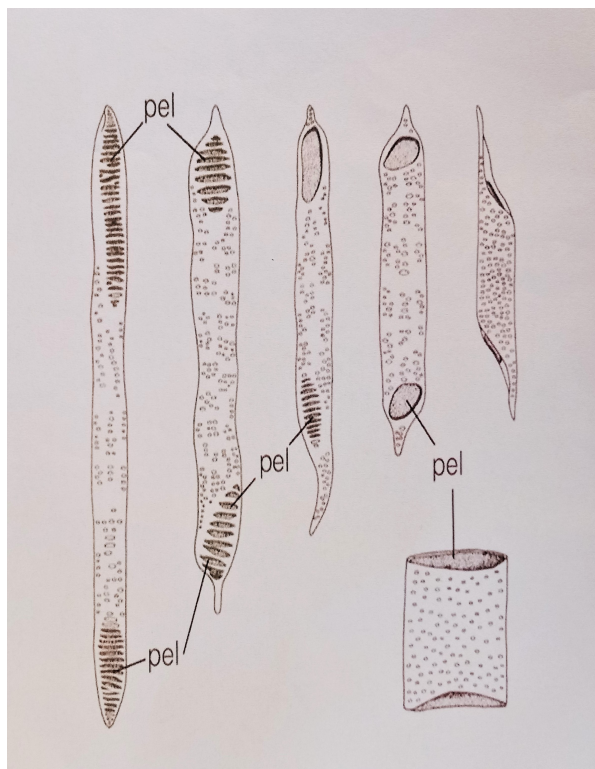
4.) A fa életének egyik legrejtélyesebb titka: hogyan indul be tavasszal az élet, hogyan lesz a rügyben szunnyadó hajtáskezdeményből leveles hajtás? Ne felejtsük el, hogy, ekkor még sem párolgás, sem fotoszintézis sincs. Véleményem szerint ősszel a levelek úgy esnek le a fáról, hogy a nyomás benne marad a rugalmas szállítórendszerbe. Ez könnyen belátható, hiszen a víz szívásnál, és nyomásnál is állandóan felfele áramlik. Tél végén, a csövek egy részében felszívódnak az élő elemek, és ezáltal a nyomás alatti csőből a víz kiszabadul, és egyesül a mellette lévő cukros vegyületekkel. Ez a nyomás, és többletvegyület az élet újra indulásának előfeltétele. Ekkor a hajtás átmérője lecsökkent. Ezt a jelenséget, amit megsejtettem Kőkény

Gergely Levente erdőmérnök kollégám mutatta ki. Írása olvasható az Erdészeti Lapok 2022. márciusi számában. A cikk címe a fák nedvkeringése, a Twitter és a You Tube.

5.) A szakirodalom gyakran említi a gyökérnyomás kifejezést a vízszállítás fontos tényezőjeként. Véleményem szerint gyökérnyomás nincs. Mint már korábban leírtam a másfél méteres karódugvány úgy is kihajt, hogy nincs rajta gyökér, de csak akkor, ha az utolsó még élő évgyűrű étellel teli. Az élet beindulásának előfeltétele az utolsó még élő évgyűrű részbeni elhalása, ami a növényen keresztmetszet csökkenést eredményez. Természetesen az összes xilém elem nem pusztulhat el egyszerre, mert akkor a növény növekedése nem biztosított. Az artéri erdőgazdálkodók a nyár, és a fűzdugványt hűvös, páradús helyen tárolják, és kiszállítás után azonnal elültetik. Az viszont igaz, hogy a szállító rendszernek van egy változó nagyságú nyomási ritmusa. Ez a nyomás reggel a legnagyobb, és az esti órákban a legkisebb. Van egy éves ritmus is. A legnagyobb a téli, nyugalmi időszakban, amikor a fa vízzel telített. Ekkor a vízbe dobott cserfa elmerül. A fa belső víztárolói szinte telítettek. Erre végeztem egy kísérletet a házam előtt álló nyírfán. Télen, még rügyfakadás előtt levágtam a fáról egy tíz centiméter vastag ágat, majd bekentem folyékony, gélszerű sebgyantával. Rügyfakadáskor bütü keresztmetszetén víz csepegett le, de voltak olyan területrészek is ahol a sebgyanta kidudorodott. Légbuborék keletkezett, majd később elpukkadt. Ez a jelenség is bizonyítja azt, hogy a fa télen nagy víztartalékkal rendelkezik és a fatest nyomás alatt áll. A szállító rendszernek ez a napi és évi nyomás ritmusa tehát nem csak a gyökérre, hanem az egész szállítórendszerre fennál. A karódugvány gyökér nélküli kihajtása és az élet tavaszi beindulása egyazon analóg jelenségre vezethető vissza. A csövek egy részében felszívódnak az élő elemek, és ezáltal a nyomás alatti csőből a víz kiszabadul, és egyesül a mellette lévő cukros oldattal. Ekkor a szár átmérője lecsökken, hisz a többlet anyag a leveles hajtásban realizálódik. Az ágrész levágásakor pedig a többletvegyület kifolyik a fából. Ez a jelenség a diófánál, és a nyírfánál figyelhető meg. A guttáció jelensége is a szállító rendszer nyomására vezethető vissza. Ekkor a hidatódákon keresztül a levéllemezen növénynedv nyomódik ki. Nem véletlenül jelentkezik ez a jelenség késő éjjel zárt légzőnyílásoknál nagy szállítórendszer nyomása esetén. Különösen a trópusokon, nagy páratartalom mellett a varjúhájfélnél gyakori. Tehát itt sem gyökérnyomásról van szó.

12. ábra. Xilém elemek

A 12. ábrán már csak az elhalt különféle alakú vízszállító sejtek láthatók. Jól kirajzolódnak az elhalt, membránokon átnyúló fehérjemolekulák negatívjai. A fa belsejében organikus szállító szövetekre nincs szükség, szilárdításra annál inkább. Különösen fontos a nagy hajlítószilárdság elérése.



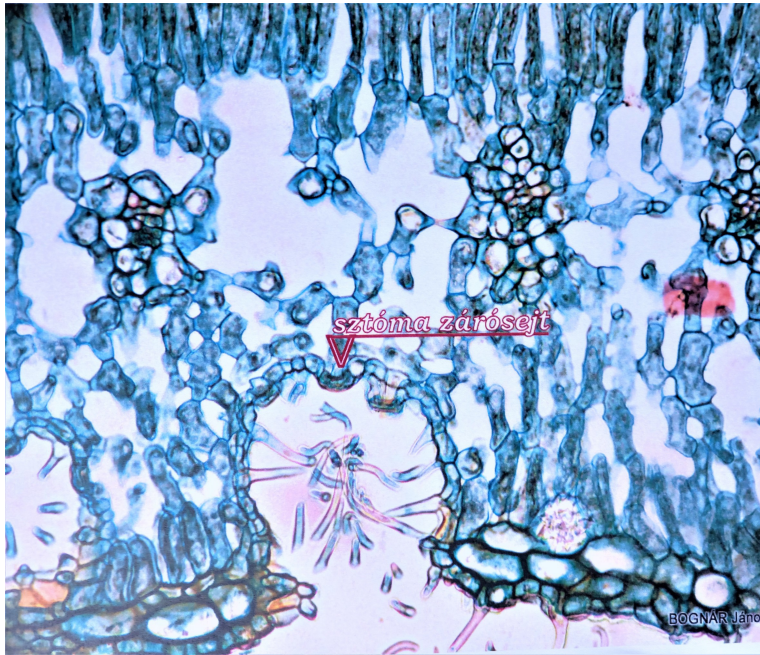
6.) Egy magyar, finn, osztrák kutatócsoport infravörös lézerszkennelvel vizsgálta, mi történik a fák lombjával, ha leszáll az éj. A tudósok arra jutottak, hogy a fák alszanak. A vizsgált fákról lézerszkennelvel nagy pontosságú, és részletességű modellt készítettek, és ezt az éjszaka folyamán óránként ismételték. Beigazolódott, hogy a fák ágai, és levelei éjszaka akár tíz centiméterrel is lejjebb ereszkednek. Zlinszky András az MTA biológusa szerint a napkelte előtt érték el a legalacsonyabb pozíciójukat, majd hajnalban néhány óra alatt visszatértek korábbi helyzetükbe. Egyelőre nem tudják, hogy a nap ébresztette-e fel a fákat, vagy saját belső ritmusuk a naptól függetlenül. /Eetu Puttonen/ A kutatócsoport idős nyírfákon mérte az elmozdulást. A nyírfa tudományos neve *Betula pendula*. A név a latin *pendere* lelógó szóból származik. Az

öreg nyírfa ágai hosszan lelógnak. Azt gondolom, hogy a fák alvómozgásánál szemléletesebben semmi sem bizonyítja az elmélet helyességét. Éjszaka a gyökér felőli szívás esetén a lecsüngő ágak a szállítórendszerébe, és a víztartályaiba áramló víztől egyre nehezebbek lesznek, így folyamatosan lejjebb ereszkednek. Nappal, a nyomás kezdetekor a folyamat ellentétes irányú. A gyors felemelkedés oka a nappali és éjszakai erőjáték közötti eltérés. Későbbiekben Zlinszky András a kutatótársával a kísérletet néhány méter magas és néhány centiméter átmérőjű suhángméretű egzóta fafajokkal is megismételte. A méréseket egy félig zárt üvegházban Balatonfüreden végezték. Tapasztalták: a nyírfákkal ellentétben ezek a fák fel-le mozgatják a lombjukat. Ez a mozgás a fák víztelítettségével állhat kapcsolatba, ahogy azt ők helyesen megsejtették. Béres Csilla MRI-s kísérlete szerint csatornácskákon keresztül az éjszaka folyamán más, és más helyeken tárolja be a vizet a fa. Ez a fa keresztmetszetén folyamatos hajlítónyomaték változást idéz elő, amitől az ágak le fel mozognak. Ezt nevezték a fák pulzusának. Ezért állapították meg: nem mindegyik fa alszik, de mindegyiknek van pulzusa. Zlinszky Andrással többször találkoztam, így elméletemet ismerte és hivatkozott is rám, mint a fában történő vízáramlást eltérő időfázisú szívással, és nyomással leíró szerzőre.

7.) Miért muzsikálnak a fák? A növényélettani könyveket, és a jegyzeteket olvasva arra a megállapításra jutottam, hogy a fák légcserejére nincs elfogadható magyarázat. Bognár János plantáriumában egy érdekes metszetet találtam egy szukkulens növény leveléről.

13. ábra. Sztómakripta

A metszeten a sztómakripta boltozatán határozottan kirajzolódtak a szelepek, amelyek összeköttetésben álltak a szivacsos parenchyma sejtekkel, a kettős edénnyalábbal és az oszlopos parenchymával, /13. ábra/ A kettős edénnyaláb pulzál. Az egyre vékonyabb levelerek felé haladva egyre kisebb a rezgés amplitúdója, de a frekvenciája egyre nagyobb lesz. A rezgés a szivacsos parenchymán keresztül átterjed a kripta boltozatára is, amit rezget. Ennek



következtében a szelepeken ki, be jár a levegő. Ezt, a szelepek mozgása által keltett rezgést egy „music of the plants” nevű műszer az emberi fül számára is hallható hangokká alakította át. Ez a zene szől két budai buszmegállóban. Az interneten megtalálható, ha a számítógép keresőjébe beírjuk a következő címet: élő növények által keltett zene szől két budai buszmegállóban. Úgy érzem, hogy a zenélő fák titkának a megfejtése is az elmélet egyik bizonyítéka.

8.) Fikciós bizonyíték. Hogyan veszi fel az erdei fenyő a megfagyott talajból a vizet? Az erdészetek többnyire kétéves iskolázott erdei fenyő csemetét ültetnek el kb. húsz centiméteres gyökér, illetve szár nagysággal. Ilyen mélységben hidegebb tél esetén a talajnak ez a rétege megfagy. A gyökérnek ebben az esetben a megfagyott talajból kellene felvenni a vizet, hiszen a fenyő télen is párologtat. A korcsolyázó a vízen csúszik, mert a nyomás és a mozgás hatására létrejött surlódás felolvasztotta a jeget. Véleményem szerint a pulzáló mozgás az egész szállítórendszerre igaz. Igaz lehet az is, hogy az egyre vékonyabb gyökerek felé közeledve csökken az amplitúdó, de növekszik a frekvencia, ami a hajszálerekben lehet a legnagyobb. A keletkezett rezgés így már képes lehet a megfagyott talajszemcsék felolvasztására, és a növény általi vízfelvételre.

Epilógus

Befejezésül fontosnak tartom ,hogy néhány gondolat erejéig a bionikával is foglalkozzam, hisz írásomban oda, vissza élő, és élettelen rendszereket hasonlítottam össze. A bionika, olyan több szaktudományt átfogó tudományág, amelynek célja az élő természetben kifejlődött megoldások átültetése a műszaki gyakorlatba, abból a megfontolásból kiindulva, hogy a természetben fennálló természetes kiválasztódás az optimális megoldásokat jelenti egy-egy problémára. A bionika fő alapelve: hasonló rendszerek hasonló képpen működnek. Oka vélhetően a mechanizmusuk működési hasonlóságában keresendő. A mechanizmus olyan önmagába záródó szimmetrikus mozgásforma, melyet az ellentétesen működő hatások tartanak szimmetrikus állapotban. A fák organikusnak tekinthető utolsó évben képződött vízcső esetében több ellentétes hatás is fellelhető: szívás-nyomás, keresztmetszet-növekedés-keresztmetszet-csökkenés, felmelegedés-lehűlés, szelepnnyitás-szelepszárás. Ha a felsorolt ellentétpárokból egy is kimarad, vagy, ha az ellentétnek hiányzik a párja, akár egy esetben is, akkor az organikus rendszer mechanizmusa működésképtelenné válik. A vizet szállító vízszivattyúknál ilyen sok ellentétpárról nem beszélhetünk. A vízszivattyút nem készítette fel az ember arra, amire a növény vízszállító rendszerének fel kellett készülnie. Alkalmazkodni a változó klímához a változó rendelkezésre álló vízkészletekhez. Ezért az organikus rendszerek mechanizmusai sokkal összetettebbek. Nem szeretnék abba a tévedésbe esni, ami azt

sugalmazná, hogy a vízcső működése csupán fizikai és mechanikai törvényeken alapul. A víz lehülésre történő összehúzódása mögött bonyolult élettani, és biokémiai folyamatok húzódnak meg. Úgyszintén élettani jelenségek irányíthatják a tárolómozgásokat is. Ekkor az élő sejtekből felépült utolsó még élő évgyűrű az élettelen, már elhalt vízcsövekbe vizet tárol be, és onnan vizet vesz ki. A fák vízszállítását a két tartály kapcsolatrendszere tehát tovább bonyolítja. Nem véletlenül írta Móra Ferenc:” az embermag még el sem volt vetve a tengerek iszapjába, amikor a fák már pillérekkel, és traverzekkel dolgoztak.” Végezetül csupán egy gondolat. Hogyan szállítják a vizet a fák? Eltérő időfázisú szívással, és nyomással perisztaltikusan pulzálva. Mi emberek hogyan szállítunk? Ugyan így. Eltérő időfázisú szívással, és nyomással perisztaltikusan pulzálva. Talán nem véletlenül.

Összefoglalás

A fákban történő víz szállításának az elmélete, mely szerint a víz mozgásának legfontosabb hajtóereje a víz párolgása következtében a párologtató elemeken megjelent meniszkuszok (a kapilláris folyadékoszlop görbült felszíne) által létrehozott szívás, melyet alulról a gyökérfeszítés is megtámogat hibás. A kapilláris hatás a természetben egyméter körüli érték. A levél nyitott légrések esetében a gravitáció ellenében vizet szívni nem tud, mert, ebben az esetben nem a vizet szívna fel a növény, hanem a levegőt szívna be a nyitott légrések keresztül. Ha nem így, akkor hogyan szállítják a vizet a fák?

Párolgáskor a lombkorona irányába nem szívás, hanem nyomás történik a párolgás miatti hőelvonás következtében előállt vízcső keresztmetszet csökkenése miatt. Éjszaka a párolgás szünetelésekor beindul egy hőkiegyenlítődési folyamat, ami visszaállítja a cső eredeti keresztmetszetét. Ez szívást generál, és felszívja a vizet a talajból. Mivel a csőben magas fák esetében nagy a hidrosztatikus nyomás, ezért a cső leszakaszolt Ez pedig egy perisztaltikus mozgást eredményez. Az elméletem bizonyítására több példát is bemutattam. A vízszállítás nem csupán fizikai mechanikai törvényeken alapszik. A csőrendszer működése mögött bonyolult élettani, biokémiai és biofizikai folyamatok húzódnak meg.