

Vízpotenciál a növényélettan fehér akáca

2016. év szeptemberi számában egy nagyon érdekes cikk jelent meg az Erdészeti Lapokban prof. dr. Bartha Dénes tollából Tények és tévhit a fehér akác első európai megjelenéséről címmel. Számomra ebben a cikkben az volt a legmegdöbbentőbb, hogy Linné úgy jegyezte be ezt a növényt *Robinia pseudoacacia* néven 1753-ban a *Species Plantarum* alapvető művében, hogy kettős hibát vétett. Egyrészt hibás a bejegyzett növény fajneve, de hibás a nemzetség neve is. Ezt Bartha Dénes korhű ábrákkal bizonyítja és leírja. Akit érdekel, és még nem olvasta el, pótolja. Megéri, mert rávilágít arra a tényre, hogy a tudományban bizony vannak hibák.

A fehér akác elnevezésével kapcsolatban már nem tehetünk semmit. Idézve a fenti cikkből: „A név [...] ott szerepel a botanikai nomenklatúra bibliájának 722. oldalán, s ezáltal szent és sérthetetlen”. A cikkem meglehetősen sejtelmes címadása arra utal, hogy a növényélettanban mára már világszerte elterjedt és oktatott, a fák vízszállításához szorosan kötődő vízpotenciál is gyanús lehet.

Az Erdészeti Lapok 2016. év januári és júniusi számában már írtam egy folytatásos cikket a *Fák vízszállításáról újszerűen* címmel. Az írásaimban rávilágítottam arra, hogy a fák vízszállításáról alkotott eddigi elméletünk hibás, majd leírtam az új elméletet is a bizonyítással együtt. Írásom óta eltelt már három év. Elméletemet tovább fejlesztettem, s új részletekkel egészítettem ki. Műszereket is készítettem. Amit állítok, azt mérésekkel bizonyítani is tudom. Ugyanakkor a hagyományos elmélet cáfolatára is egyre több bizonyítékom van, a legjelentősebb a címben említett vízpotenciál.

Mielőtt a vízpotenciál tárgyalását elkezdeném, foglaljuk össze röviden, amit a fák vízszállításáról tudni érdemes. A fákban történő víz szállításának az az elmélete, mely szerint a víz szállításának legfontosabb hajtóereje a víz párolgása következtében a párologtató elemeken megjelent meniszkuszok (a kapilláris folyadékoszlop görbült felszínei) által létrehozott szívás, melyet alulról a gyökérnyomás is megámogat, hibás.

Hibás, mert:

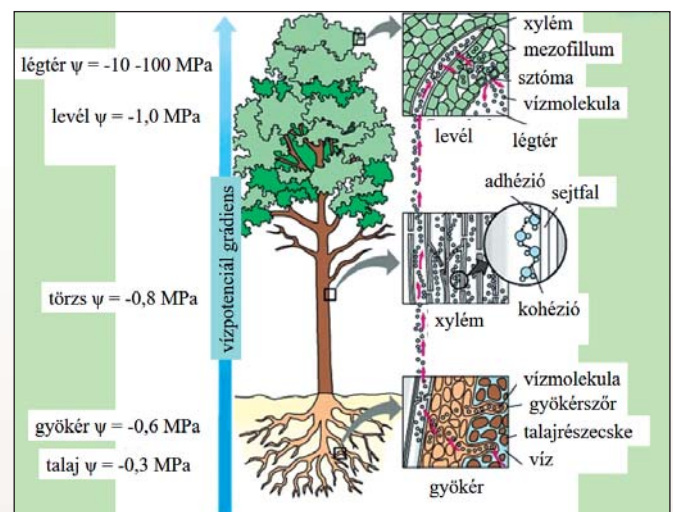
- A rendszerben nincs elegendő erő. Az ismert kapilláris hatással az emelés maximális mértéke a természetben sehol nem haladja meg az egy métert. Az ozmózis jelenségen alapuló gyökérnyomás (nyomóerő) folyamatos vízszállításra alkalmatlan, mert az erő csak az általa működtetett mechanizmusa révén képes folyamatos munkavégzésre, például víz szállítására. Munkavégzés csak akkor következhet be, ha az erőnek lehetősége van állandóan úton elmozdulni.
- Hibás a mechanizmusa. Vízet szállítani csak úgy lehet, hogy a felszívott vizet kinyomja a rendszer. Szivattyúknál ez történhet azonos időfázisban (kütszivattyú), de történhet késleltetve is. Ezek a késleltetett vagy eltérő időfázisú szivattyúk, amikor a szívás a nyomáshoz képest késleltetve történik (szívó-nyomó kút). Vízet szállítani úgy nem lehet, hogy alul nyomok felül szívok, és úgy sem, hogy csak szívok, vagy csak nyomok.
- Egy közép-magasnak tekinthető véghasználat korú húszméteres bükk legmagasabbban lévő levelében a

belső ellenállástól függően két atmoszféránál nagyobb szívóhatás keletkezik. Könnyen belátható, hogy egy ilyen nagy szívóerő a levél, és ezzel együtt a fa azonnali pusztulásához vezetne. Egy rendszer, jelen esetben a fa vízszállító rendszere akkor működik a célnak megfelelően, ha működőképes a mechanizmusa, létezik ehhez illeszkedő, megfelelő nagyságú, állandóan ható, munkavégzésre alkalmas erő úgy, hogy a levél-szövetek ezt az erőt képesek elviselni. Ezeket a feltételeket a régi rendszer nem tudja teljesíteni.

Ha nem így, akkor hogyan szállítják a fák a vizet? Párolgáskor a lombkorona irányába nem szívás, hanem nyomás történik, a párologás miatti hőelvonás következtében előállt vízcsőkeresztmetszet csökkenése miatt.

Éjszaka a párologás szünetelésekor, a légrés záródásakor beindul egy hőkiegyenlítődési folyamat, ami visszaállítja a cső eredeti keresztmetszetét, ami szívást generál, és felszívja a vizet a talajból.

Az elmondottakból belátható, hogy a vízszállításnak ez az újfajta mechanizmusa csak fiatal, összehúzódásra képes csövek esetén lehetséges. 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.



A vízpotenciál alakulása a talaj – növény – levegő rendszerében

Így a víz mozgatása egyenlő nagyságú a leszakaszolás darabszámának arányában kisebb erővel is végbe mehet. Ez a leszakaszolás pedig egy perisztaltikus mozgásformát eredményez.

A cső tehát eltérő időfázisban szívó-nyomó perisztaltikus mozgást valósít meg. A légrés zárásakor az egész rendszer keresztmetszete perisztaltikusan pulzálva nő. Ez a szívási szakasz. Nappal pedig az éjszaka megduzzadt cső perisztaltikusan pulzálva csökken. Növények esetében a nappal hossza légrésnyitástól légrészárásig tart. Nagy meleg esetén előfordul a légzőnyílás bezáródása, különösen a kora délutáni napszakban. Ekkor a növény egy idő után elkezdi vizet szívni. A kora délutáni légrés zárása közismert tény a növényélettannal foglalkozók számára.

A fent leírt jelenséget bizonyítani és láthatóvá is tudom tenni, egy erre a célra általam kifejlesztett műszer segítségével. Későbbiekben erről részletesen beszámolok.

Vízpotenciál a nagy leleplező

A hagyományos elmélet tarthatatlanságára legjobban a vízpotenciál-elmélet világít rá. 1960-ban egy ausztrál és egy amerikai kutató javasolta, hogy a víz kémiai potenciálját vegyék alapul a talaj–növény–levegő rendszer értékelésekor, mely szerint az említett rendszerben egy állandó vízpotenciál-különbség van. Javasolták továbbá, hogy a tiszta víz vízpotenciálját tekintsék nullának.

A vízpotenciál egy rendszer, vagy rendszerben lévő víznek a kémiai potenciálja nyomásértékben kifejezve a tiszta víz kémiai potenciáljához viszonyítva. Egysége a megapascal (MPa) $1 \text{ MPa} = 10 \text{ bár} = 10 \text{ atmoszféra}$. Ha a tiszta víz vízpotenciálja a legnagyobb (0), akkor az oldatok vízpotenciálja ennél kisebb, azaz negatív érték.

Tehát a fán felfelé haladva az oldat az egyre kisebb vízpotenciálú hely felé áramlik, így a szívási érték egyre nagyobb lesz. Ez szívás esetében leszakaszolatlan állapot mellett logikus is lenne, hisz a fán a víz csak akkor tudna áramlani, ha képes lenne legyőzni a gravitációból adódó hidrosztatikus nyomást, és a belső ellenállásokat, mely a fán felfelé haladva egyre nagyobb szívást igényel.

Ez a szívási érték a levélben már mínusz 1,0 MPa, a légtérben pedig mínusz 10, mínusz 100 MPa érték! „*A mérések alapján Ausztráliában a száz méter magasságúra nőtt eukaliptuszfák leveleiben nem ritkaság a mínusz harminc, és a mínusz negyven atmoszféra közötti vízpotenciál*” írja cikkében *Sutcliffe James*.

A fizika törvénye szerint ebben az esetben a növénynek a nyitott légréven keresztül levegőt kellene beszívni, mint ahogy a kütszivattyú is levegőt szívna be, ha kifűrnánk a szívott vízszakaszú cső bármely magasságában a levegővel érintkező részét.

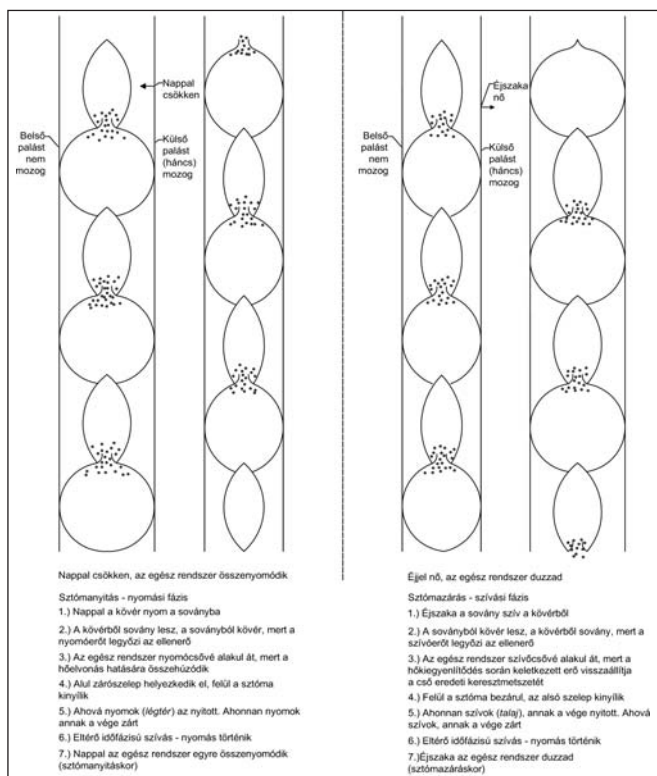
Mivel a vízpotenciál fogalmát a talaj–növény–levegő rendszer értékelésére hozták létre, teljesen világos, hogy párologáskor a szívás a levegőben is folytatódik. Tehát a levegő szívja ki a vizet a légréven át.

A probléma itt csupán annyi, hogy tengerszint közelében közelítőleg egy fizikai atmoszférán élünk. Ezt *Evangelista Torricelli* 1643-ban bizonyította, majd 1654-ben *Otto von Guericke* a Regensburgban egybegyűlt fejedelmek előtt bemutatta a híressé vált kísérletét. Ebben a kísérletben a maga által kifejlesztett légszivattyúval két üres félgömb közül kiszivattyúzta a levegőt. A gömb két ellentétes oldalára nyolc-nyolc lovat állítva tapasztalta, hogy a tizenhat ló nem volt képes a negyvenöt centiméter átmérőjű félgömböket széthúzni. (*Otto von Guericke híres német fizikus s egyben Magdeburg polgármestere is volt, így kísérlete a magdeburgi féltékék néven vonult be a fizika történetébe.*)

Hány atmoszférát szívott ki a fizikus a félgömbökből? Pontosan annyit, amennyit belezárt, egy atmoszférát, és ekkor érte el a csillagközi tér állapotát, a nulla atmoszférát. Tehát a földi viszonyok között a levegőben létező legnagyobb szívási érték egy atmoszféra, de ebben az esetben a levegőt be kell zárni.

A legalacsonyabb tengerszinti légnyomást nyolcszázhatvan hektopascalt, egy tornádó tölcserében mérték Dél-Dakotában (USA) 2003. június 24-én, ami a normál ezertizenhárom hektopascalhoz, vagyis a Torricelli által kimért hétszázhatvan higanymilliméterhez, a tulajdonképpeni egy fizikai atmoszférához viszonyítva nem jelentős csökkenés.

Fogalmazzuk meg mi történt. A vízpotenciál megbuktatta a hagyományos elméletet, úgy, hogy közben maga is megbukott. Vízpotenciál ezek szerint a fában nincs. Ezzel az is nyilvánvalóvá vált, hogy a párologáskor a légtérbe a vizet csak nyomással lehet kijuttatni, ahogy a szivattyúk is teszik.



Pulzáló rendszer működése

Felmerül a kérdés, hogy száz méter magas fák esetében hogyan tudtak kimérni mínusz harminc és mínusz negyven atmoszféra közötti vízpotenciált a száz méteren lévő fák leveleiben. A mérést Scholander-féle nyomáskamrával végezték el. „*E módszer lényege az, hogy egy ötszáz kPa gáz nyomásának is ellenálló kamrába úgy helyeztek el egy levelet, vagy leveles szárat, hogy a levélnyél, vagy a szár vágott vége kiáll az edény szájára rögzített zárszerkezetből. Ezután valamilyen gázt, például nitrogéngázt engednek a kamrába, s a gáz nyomását addig növelik, míg a folyadék nem jelenik meg a növénynek a kamrából kiálló vágott felületén. Ekkor egyensúlyi helyzet áll fenn a levél sejtjei, és a farészben levő nedv között, és gáznyomás pontosan ellensúlyozza a levél sejtjeinek a vízpotenciálját.*” (Sutcliffe James).

A vélt szívási értéket a nedv megjelenésekor olvassák le. A mérési módszer legalapvetőbb hibája, hogy a hagyományos elmélet szerint szívó- és nyomócsöveket is átvágunk a szár levágásakor. A vízcső szívócső, de a floém tápanyagszállító rostacsöve nyomócső. Erre úgy jöttek rá, hogy a vezérhajítás csúcsrügye alatt szívó szipókás rovarok szívó száj-szervének átvágásakor nyomással cukros nedv folyt ki.

Az elméletem szerint párologáskor csak nyomócsöveket vágunk át, tehát a víz is és a tápanyag áramlása is nyomással történik. A hagyományos elmélet szerint a levélben egy nagy szívást kellene átalakítani egy kis nyomássá. Ilyen szívást nyomássá átalakító mechanizmus a levélben nem található.

A mérési elv további hibája, hogy a szár nedvtartalmától függően változik annak belső ellenállása is. Tehát a vízpotenciált méréssel soha senki nem tudta bizonyítani, mert az e célra kifejlesztett eszköz vízpotenciál kimutatására alkalmatlan.

A nyomáskamrával történt mérési anomália abból adódhatott, hogy a vízpotenciál mérésével foglalkozni akaró biológus feltehetőleg elfelejtette megmondani a műszerkészítőnek, hogy a szárban nyomócsövek is vannak. (*Valószínű, hogy a pulzálna mozgó vízcső mozgatja ki a tápanyagszállító floém rostacsövekből a lyukakon keresztül a tápanyagot*

az osztódó szövetekhez egy állandó nyomást fenntartva. Ezt eddig ozmózissal magyarázták.)

Hol vannak a tartályok, és hol vannak a szelepek?

A víz fákban történő szállítása a vízszivattyúk működéséhez hasonlítható, azért mert hasonló rendszerek hasonlóképpen működnek. A víz szállítására kifejlesztett szivattyúknak két típusuk ismert.

Egyik az azonos időfázisban szívó-nyomó szivattyú. Ilyen a kútszivattyú vagy a fogaskerék szivattyú. 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 vízzállító csőhöz hasonlóan oldalirányú erővel működtetett piston pumpa. 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 közti szelep zárva marad. A következő lépésben a tartályba felszívott vizet kinyomjuk. Ekkor a szívásnál nyitva levő szelep bezárul, de az addig zárva lévő szelep kinyílik. Ebből a folyamatból következik az, hogy ahonnan szívók annak vége nyitott, ahova szívók (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 vízszakasszal.

A hagyományos elmélet szerint párolgáskor 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 forgó mechanizmus, ami alul szívott, felette pedig nyomott vízszakaszt állít elő? Tudtommal ilyen a növényben nincs. Akkor mégiscsak tartályba szívja fel a vizet a növény a már ismert módon, szelepszáródás és nyitás segítségével az eltérő időfázisú szivattyúkhoz hasonlóan.

De hol vannak a tartályok? Egyik a vízzállító rendszer tágulásából és összehúzódásából adódó térfogatkülönbségből adódik. Ezt egy általam kifejlesztett műszerrel bizonyítani tudom, s egyben láthatóvá is tudom tenni a víz mozgását.

A műszer felépítése és működési elve a következő. Egy vízzel megtöltött bicikli dudába egy szorosan záró gumidugót, majd a gumidugóba fúrt lyukba egy ugyancsak szorosan illeszkedő kapilláris csövet helyezek el.

Ezt a szerkezetet négy csavarorsó és két plexilap segítségével rábilincselem a növényre úgy, hogy a két rugalmas rendszer (a fa és a vízzel megtöltött bicikliduda a kapilláris csővel) két rugalmatlan anyag, a plexilap közé kerüljön.

Utána a vízszintnívót a csavarorsókon elhelyezkedő szárnyas anyák segítségével, úgyelve a két plexilap párhuzamosságára a kapilláriscső közepére helyezem. Így lehetőségem van a kétirányú mozgás követésére.

A csavarorsó menetemelkedése egy milliméter. A kapilláriscsőben az elmozdulások a kalibrálás során lineárisak voltak. A szárnyas anyák kilencven fokos elfordulásakor a libella nívója négy centimétert, száznyolcvan fokos elfordulásakor nyolc centimétert, kétszázhatvan fokos elfordulásakor tizenkét centimétert, teljes háromszázhatvan fokos elfordulásakor, tizenhat centimétert változott, tehát a növény egy milliméteres

méretváltozásánál a vízszintnívó függőlegesen irányú méretemelkedése tizenhat centiméter volt.

A műszer a fa horizontális mozgását a tulajdonképpeni átmérőváltozást alakította át vertikális mozgássá. *(A vastag kérgű fák esetében a fa átmérőváltozásai feltehetőleg nem követik vízcső átmérőváltozásait, mert a mozgásokat a rugalmas hánccs elnyeli.)*

A méréseket állandó hőmérsékleten végeztem egy három centiméter átmérőjű fikusz fán. Az állandó hőmérséklet biztosította, hogy a plexilapokat összekötő csavarorsó hosszmérete az állandó hőmérséklet miatt nem változhatott meg, így mérési hibát sem eredményezhetett.

Méréseim során tapasztalhattam, hogy éjszaka a szívási fázisban a fa átmérője nőtt, a kapilláris csövön a víznívó feljebb kúszott. Nappal, párolgáskor az elmozdulás ezzel ellentétes irányba történt. Íme, az elméletet a mérések igazolták s egyben a folyamatot láthatóvá is tudták tenni.

Van azonban a fában egy másik tartály is, melynek létezésére és a fában történő elhelyezkedésére a síkfőkúti projekt keretében, dr. Béres Csilla által szervezett kutatócsoport hordozható számítógépes tomográfia (CT) és nagyfelbontású mágneses rezonancia tomográfia (MRI) alkalmazása által figyelt fel.

Röviden arról van szó, hogy a növény az általam leírt fiatal (egy-két éves) pulzáló csövek segítségével, éjszaka a szívási fázisban a csatornácskákkal tárolja be a vizet a fatestbe. Szükség esetén ezt a betárolt vizet fel tudja használni, s az aktív (pulzáló) szakaszra tudja juttatni szintén a csatornácskákon keresztül.

Egy másik nagyon fontos kérdés, hogy hol vannak a szelepek. Ezek a szelepek a vízzállító sejtek harántfalait összekapcsoló felületen helyezkednek el. Létezését régóta ismerték *(transzmembrán proteinnek nevezték)*, csak a funkciója volt ismeretlen.

Az aguaporin, a membrán vízcsatornájának felfedezése 2003-ban Peter Agre és Roderick MacKinnon nevéhez fűződik (2003-ban kémiai Nobel-díjat kaptak érte). Ez a membránokon átnyúló fehérje egyirányú vízzállítást, szelepszárítást és szelepnitítást tesz lehetővé. Megvan az utolsó láncszem, a szelep is, amely nélkül a pulzáló rendszer nem működhetne.

Nem szeretnék abba a tévedésbe esni, ami azt sugallná, hogy a vízzállítás működése csupán fizikai és mechanikai törvényszerűségeken alapszik. A fa egy rendkívül bonyolult, kevésbé ismert organizmus.

Az általam leírt vízzállító csőnek a hideg hatására történő összehúzódása mögött bonyolult, mind ez idáig ismeretlen biofizikai és biokémiai folyamatok húzódnak meg.

Ügyszintén élettani jelenségek irányíthatják a már említett tározómozgásokat is, amikor a már elhalt sejtekbe a csatornácskák segítségével a növény vizet tárol be, és onnan vizet vesz ki.

Elmondhatjuk tehát, hogy a vízzállítás mozgatórugója a pulzáló rendszer mozgása, melynek hátterében élettani folyamatok állhatnak, de mozgásukat a fizika törvényeinek megfelelően végzik.

Végezetül egy a címadással összefüggő gondolat. A fehér akác nevének helyesbítése dr. Bartha Dénes szerint nem lehetséges. Az általam felvázolt vízpotenciállal kapcsolatos tévedések kiküszöbölésére, az interneten megjelent tudományos intézmények által feltett ábrák *(magyar, angol és egyéb más nyelveken)* eltüntetésére talán van még lehetőség.

Nem szerencsés egy fában nem létező fogalmat felsőoktatási intézményekben tanítani, úgy hogy még mérni sem tudjuk, és Torricelli kísérlete után háromszázhatvanhat évvel később mínusz tíz és mínusz száz MPa-t a levegőbe beleírni.

Török András okl. erdőmérnök