A fák vízszállításáról újszerűen II.

A pulzáló rendszer féregmozgásai

Török András – okl. erdőmérnök

Az Erdészeti Lapok 2016. januári számában cikket írtam *„A fák vízszállításáról újszerűen”* címmel, melyhez Gencsi László professzor fűzött értékes és megszívlelendő kiegészítést. Igaza van a professzornak abban, hogy a fának mint magas szervezettségű organizmusnak a működését nem szabad csupán fizikai folyamatokra silányítani.

Érdekes módon, amikor írásomat lektorálásra elküldtem egy nagy tekintélyű mechanika professzornak, ő is szinte szó szerint azt a kérdést vetette fel, amit Gencsi László is érintett a kiegészítő cikkében.

A mechanika professzor kritikai észrevétele a következő volt: *„Úgy érzem, hogy te arra törekedtél, hogy fizikai szempontból választ találj a felmerült problémákra. Ezt a feladatot megoldottad. Hibát itt nem látok. Mivel magyarázod viszont, hogy a téli lombtalan állapot után tavasszal be tud indulni az élet?”* Az utolsó kérdő mondat a közösen felvetett gondolat Gencsi László és lektorom részéről.

Gencsi László pontosan leírta, hogy a tavaszi lombfakadásig készen kell állniuk azoknak a vegyületeknek, amelyekből a növény fel tudja építeni a még rügyekben lévő hajtásrendszerét. Ne felejtsük el, hogy ekkor még sem fotoszintézis, sem transzspiráció nincs. Az építőanyag rendelkezésre áll, úgy ahogy ezt Gencsi László leírta.

Vajon mi az az erő, és hol rejtőzik az a többletvegyület, amit a rendelkezési helyére kell nyomni? Megpróbálom ezt a pulzációs elmélettel megmagyarázni.

A pulzációs rendszer egyik lényeges eleme, hogy párolgáskor felfelé, a lombkorona irányába nem szívás, hanem nyomás történik a hőelvonás következtében előállt keresztmetszetcsökkenés miatt. Véleményem szerint ősszel a színesedő levelek úgy esnek le a fáról, hogy a nyomás benne marad a rugalmas szállítórendszerben.

Szeretném ezt egy gyakorlati példával megvilágítani, majd a fák esetében ezt bizonyítani. Bizonyára ismert kedves olvasóim előtt az a jelenség, amelyet kiskertünkben slaggal (rugalmas gumicső) történő locsolásánál tapasztalunk. A cső rugalmas, benne nyomás van. A locsolás befejeztével a locsolópisztoly billentyűjének lezárásával a nyomás bent marad a csőben többletvízként. Erről könnyen meggyőződhetünk úgy, hogy a cső lezárása után leállítjuk a szivattyút, majd ezek után újra szabaddá tesszük a vízcső végét a pisztoly billentyűjének segítségével. Azt tapasztaljuk, hogy a többletvíz nyomással „kilövell” a cső végén.

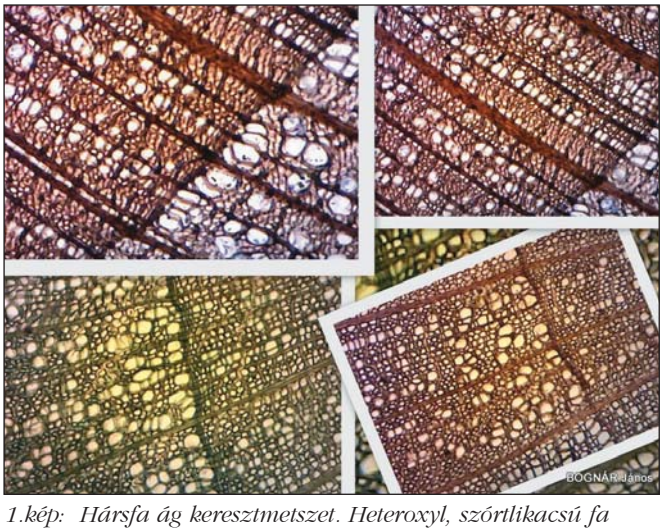
Ugyanez a jelenség történik a fánál is. A fának nem is áll módjában másként lezárni a csövek végét, csak nyomás alatt, hisz a „motor” a pulzáló cső, ha egyre csökkenő mértékben is, de felfelé nyomva működik.

Bizonyíték. Tél végén, amikor ez a nyomás a csőből részben kiszabadul, hisz a cukrokkal a kapcsolatot meg kell teremtenie (bár ez a kapcsolat egész évben megvan), akkor azt tapasztaljuk, akár a legmagasabban lévő ágak lemetszésénél is, hogy a nyomás alatt lévő többlet cukros vegyület kifolyik a fából. Amíg nincs transzspiráció és fotoszintézis, ez a jelenség biztosítja a rügyekben szunnyadó hajtásrendszer kialakulását.

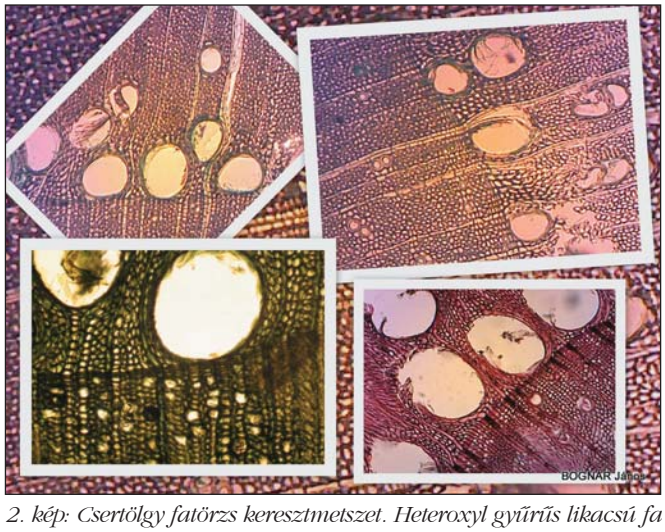
Régebben ezt gyökérnyomásnak nevezték. Mára már a tudomány bebizonyította, hogy gyökérnyomásról nem lehet szó, mert az egy nagyon kicsi érték. A csíranövényekben a lomblevelek kifejlődéséig lehet szerepe. Működéstechnikailag azért sem beszélhetünk itt gyökérnyomásról, mert egy mechanizmus, ha működik, akkor a víznek állandóan folynia kellene. A leírtak a pulzációs elmélet egyik bizonyítékát adják.

Nappali szobánk elé délnyugati kitettségbe egy fügefát ültettem, melyet *Majer Antal* professzor hozott nekem ajándékba arácsi birtokáról. Ez a fügefa egy évben kétszer terem. Nyár derekán és októberben. Az októberi érésű fügének van egy jellegzetes tulajdonsága, mégpedig az, hogy még hosszú, meleg ősz esetén is csak a termések kis hányada érik be. Ami beérik, az viszont szinte egyik napról a másikra hirtelen megnövekszik.

A feltételezésem az volt, hogy a fügeérésnek ebben a stádiumában nagy a növény vízfelhasználása a hirtelen termésérlelés miatt. Ekkor letörtem a fügefáról egy levelet közvetlenül a gyorsan duzzadó füge termése mellől, a levélnyéllel együtt, majd a levélnyelet az ég felé fordítottam. A levélnyél alapjánál oldat szivárgott ki, majd csepp formájában végigfutott a levélnyélen.



1.kép: Hársfa ág keresztmetszet. Heteroxyl, szórtlikacsú fa



2. kép: Csertölgy fatörzs keresztmetszet. Heteroxyl gyűrűs likacsú fa

Nem kell sokat bizonygatnom, hogy ilyen jelenség kizárólag felfelé történő nyomás esetén valósulhat meg. Ez a nyomóerő feszíti ki a leveleket, amelyek ettől a feszes állapottól oly szépek és szemet gyönyörködtetőek. Ha csak szívásról beszélünk, akkor ez a feszes állapot nem jöhetne létre.

Ugyanezt a kísérletet éjszaka is elvégeztem. (A pulzációs elmélet szerint a zárt sztómáknál a vízcső visszaállítja eredeti keresztmetszetét, ami szívást generál a gyökerek irányából.) A levélalapon ekkor csorgást már nem tapasztaltam. Az elmélet egy másik bizonyítékát *Béres Csilla* kísérlete szolgáltatta, aki éjszaka zárt sztómáknál is tapasztalt izotópos vizsgálata során egy lassú, felfelé történő áramlást. Meg is jegyezte: *„A párolgás felfelé történő húzóerejével ez a jelenség nem magyarázható”.* A pulzációs elmélettel viszont igen. Hiszen éjszaka, amikor a gyökerek irányából szív a növény, akkor is kell lennie egy lassú felfelé történő áramlásnak duzzadó csövekkel.

Gyakran lehet olvasni növényélettani könyvekben, hogy a gyökérnyomásnak napi ciklusa van, és ez reggel a legmagasabb érték, mielőtt a gázcserenyílások kinyílnak, és a párologtatás megkezdődik. Vajon miért?

A fiatal vízcső a két, már megszilárdult merev hengerpalást között helyezkedik el. Az éjszakai gyökér felőli szívás esetén a cső egész éjjel duzzad. A legnagyobb duzzadtságot sztómanyitáskor éri el, amikor a cső elkezd felfelé nyomni. A cső nyomását véleményem szerint nem tudjuk mérni, de az ugyanakkora nagyságú és ellentétes irányú ellenerőt igen, amit a két merev hengerpalást fejt ki az embrionális állapotú különböző feladatok ellátására hivatott sejtekre. Tekinthetjük ezt is egyik közvetett bizonyítéknak. Tehát itt sem gyökérnyomásról van szó (mint már korábban írtam, kiderült róla, hogy ez egy nagyon kicsi nyomás).

A pulzálás féregmozgásai

Felmerül a kérdés: valóban elegendő erő rejlik a pulzálásban ahhoz, hogy akár egy nyolc méter magas fa csúcsába vizet juttasson.

A probléma az, hogy a vízcsőben nyomásgrádiens alakul ki a fa csúcsától a gyökerek végéig. Értelemszerűen ez a hidrosztatikus nyomás a fa csúcsánál a legkisebb és a fa legalacsonyabban fekvő gyökéri részénél a legnagyobb érték. (A hidrosztatikus nyomás: a folyadék sűrűségének, a gravitációs gyorsulásnak és a folyadékoszlop magasságának a szorzata.)

A nyolcméteres magasság esetében a földfelszíni vágáslapon ez a hidrosztatikus nyomás 80 KPa (kilopaszkál). Mi tehát a teendő, hogy ettől a magasságfüggvényű, változó nagyságú hidrosztatikus nyomásból fakadó problémától megszabaduljon a növény?

A nehézséget az okozza, hogy változó nagyságú nyomó-, illetve szívóerőre van szükség és ennek legnagyobb szélső értékével még kis magasság esetében sem tud megbirkózni a fa.

Nézzük meg, hogy az épületgépészek hogyan juttatják fel az akár háromszáz méternél is magasabb felhőkarcoló felső emeletére a vizet. Elvileg két megoldás létezik. Egyenszilárdságú csövet hozunk létre egy nagyon erős vízpumpával, és a szerelvényeket nyomáscsökkentőkkel védjük. Ilyen konstrukció tudomásom szerint nem készült.

Az alkalmazott megoldás a vízvezetékrendszer leszakaszolása puffertárolók segítségével. A növény vízcsöve is ezt a módszert választotta. A leszakaszolás darabszámának arányában csökken a hidrosztatikus nyomás, de elérhető az is, hogy a szükséges oldalirányú erő oly mértékű legyen, ami lehetőséget teremt ahhoz, hogy általa a leszakaszolt csőben felfelé nyomás történhessen.

A másik érdekes és fontos kérdés, hogy vajon ebben az esetben milyen pulzálási mozgásforma alakul ki. Vizsgáljuk meg, hol találunk leszakaszolásokat és ott milyen a mozgásforma. Az ember vékonybelében ilyen a mozgás, de a gyűrűsférgek is hasonlóan mozognak, sőt a pocok is így mozog, mikor állkapcsát kiakasztva lenyeli a kígyó és továbbmozgatja bélrendszerében. Talán már sejtjük. Perisztaltikus mozgásformával (féregmozgás) állunk szemben.

A fák vízcsövének esetében ez egyedi, sok tekintetben eltér a többi perisztaltikus mozgástól, de sok a hasonlóság is. A vékonybél perisztaltikus mozgásától annyiban tér el, hogy ott van egy szegmentációs (leszakaszoló) mozgás is, mely az idő függvényében előrehalad, és a megemésztett anyag forgatásában, keverésében is szerepet játszik. A fák vízcsövénél szegmentációs mozgásra nincs szükség, mert azok a szelepek által eleve leszakaszoltak. Vizsgáljuk meg ezeknek a leszakaszolt szegmentumoknak a mozgását, tárjuk fel a szelepek zárásának, nyitásának a mechanizmusát.

A szelepek zárásának, nyitásának a mechanizmusa

Az *1.A ábrán* láthatjuk, hogy a 2. számú szegmentumból vizet nyom a növény a

A fák világhálója

Bár azt hihetnénk, hogy a növények minden esetben versengenek egymással az erőforrásokért, az utóbbi években több laborkísérlet is igazolta, hogy a fák rendszeresen információkat és tápanyagokat küldenek szomszédaiknak a gyökérzetüket összekötő gombák révén.

A mikorrhiza, avagy a gyökérkapcsoltság, vagyis a gombák és gazdanövények szimbiotikus életközössége lehetővé teszi, hogy az azonos területen élő egyedek kölcsönösen segítsék egymást.

A *wood wide webnek*, avagy a növények világhálójának a kutatása most új állomásához érkezett, hiszen *Tamir Klein*, a Bázeli Egyetem kutatója kollégáival elsőként mutatta ki, hogy a vadon élő fák is erőforrásokat osztanak meg egymással.

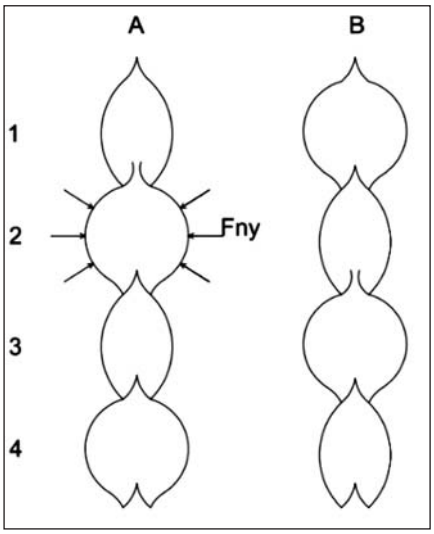
Klein és kollégái azt vizsgálják egy svájci erdőben, hogy az ott élő lucfenyők hogyan fognak reagálni a légkör megnövekedett szén-dioxid-szintjére a jövőben. Ennek kiderítése érdekében másfél évtizede rendszeresen jellegzetes izotóparányokkal rendelkező szén-dioxiddal permeteznek néhány fát, majd nyomon követik, hogy azok mihez kezdenek a szénnel. Amikor tesztelni kezdték az erdőben élő fák gyökereit, legnagyobb meglepetésükre azt tapasztalták, hogy a szomszédos, szén-dioxiddal nem permetezett bükkfák, vörösfenyők és hosszútűs fenyők gyökerében is jelen van az izotópnyom.

A fák közötti széncsere ráadásul sokkal nagyobb mértékű volt a vártnál: minden egyes megvizsgált gyökérben a szén nagyjából 40 százaléka szomszédos növényektől származott. Ez azt jelenti, hogy egyetlen hektár erdő fái között évente 280 kilogramm szén cserél gazdát, ami 4 százaléka a terület teljes szénfelvételének.

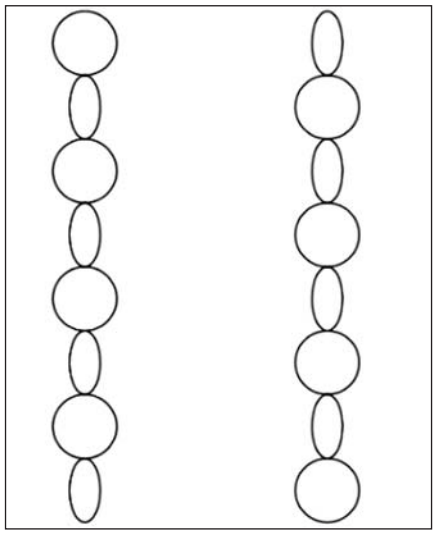
Szintén érdekes, hogy a szén áramlása nem egyirányú, vagyis nem arról van szó, hogy a több szén-dioxidot kapott fák átadják a felesleget kevesebb szénhez hozzáférő társaiknak, a csere folyamatos és kölcsönös. Ennek oka valószínűleg az lehet, hogy a szén áramlását elsősorban a gombák vezérlik, vagyis nem a fák érdekei az elsődlegesek. A gombák hálózzák be és kötik össze a gyökereket, és igazából ezek osztoznak egymással a szénen, amely így kerülhet át egyik fából a másikba.

Forrás: *iPon.hu; plantecology.unibas.ch*

Fny = nyomóerő, Fe = ellenerő (több erőből áll, ezért nem ábrázoltam)



1. ábra



2. ábra

felette lévő 1. számú szegmentumába. A szelepnyitás feltétele: Fny > Fe. A nyomási folyamat közben az ellenerőnek meg kell nőnie ahhoz, hogy a szelep bezáródjon. Abban a pillanatban, amikor Fny < Fe, záródhat a szelep. Ezután megkezdődhet a nyomás a 3. szegmentumból a felette lévő előző nyomással lecsökkentett vízmennyiségű 2. számú szegmentumba (az *1.B ábra* szemlélteti az eredményeket). A szelep nyitásának, zárásának előfeltétele egyezik az előbbivel. Ez a folyamat folyton-folyvást ismétlődik és megkapjuk az *1. ábrán* szemléltetett perisztaltikus mozgásformát.

Abban az esetben, ha a *2. ábrát* egymás után ráragasztanánk egy hengerpalástra úgy, hogy az ábrák záródjanak a hengerpaláston (az első érintkezzen az utolsóval), majd a hengerpalástot függőleges tengelye körül megpörgetnénk, megkaphatnánk a perisztaltikus mozgás mozgó változatát. Animáció szempontjából nem lehetséges, hogy a *2. ábra* egy fraktál elem, melynek forgatással történő ismétléseivel a mozgásforma megjeleníthető?

Ezzel a perisztaltikusan pulzáló mozgásformával már lehetősége van a csőben áramló víznek a legmagasabb fák csúcsába is feljutni. Az éjszakai szívás esetén a perisztaltikus pulzálás megmarad, mivel a cső duzzad, a mozgás lassabb és egyenletesebb, de ekkor is felfelé áramlik.

Keressünk bizonyítékokat a féregmozgásos pulzálásra, nehogy a leírtak egy tőmelletti öreg erdész hagymázas fantáziájának tűnjenek. Béres Csilla izotópos kísérletére szeretnék utalni, amikor az időfüggvényű sebességmintázatokat elemzi. Ő a felfelé történő áramlásnál rövid ideig tartó kiugró csúcsokról beszél, melynek eredője a gyors nappali áramlás lehet. Béres Csilla cikkét folytatásos formában az Élet és Tudomány 1999/50. és 1999/51. számában ismertette *A fák vízforgalma* címmel.

Sajnos ezekben a cikkekben időfüggvényű sebességgrafikonokat nem találtam, csak nagyon részletes mozgáselemzések leírását. Béres Csilla időközben Debrecenből áttette székhelyét Szombathelyre, ahol immáron hordozható CT (komputertomográf) segítségével folytatta a fák vízszállítási kutatásait.

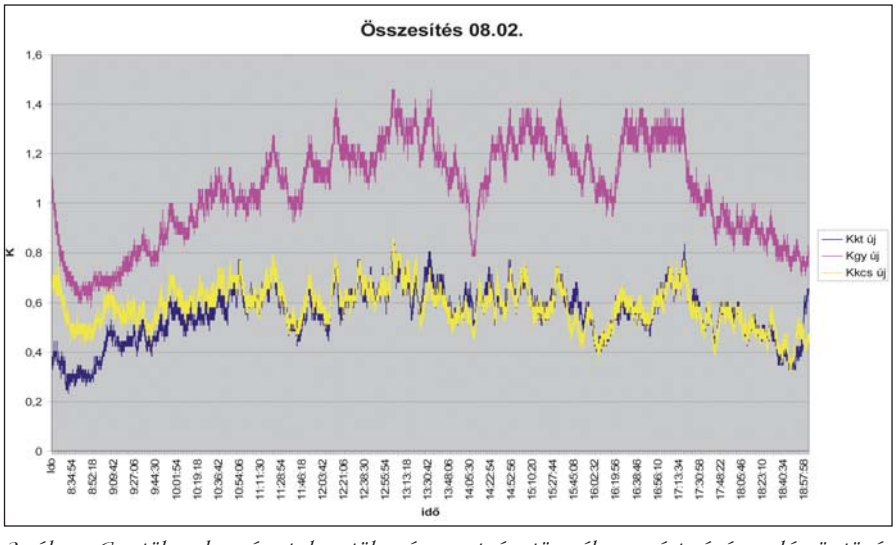
Az elért eredményekről *A fafajok vízforgalmának összehasonlítása* címmel a Természet-Műszaki és Gazdaságtudományok alkalmazása 7. nemzetközi konferenciáján (Szombathely, 2008. május 17.) számolt be. A kutatócsoport tagjai: Béres Csilla, *Németh László, Zentai Zoltán* NYME TTMFK Kémiai és Környezettudományi Tanszék kutatói voltak.

A függőleges tengelyen $K=0206U^{0,814}$, ahol U az áramlási sebesség (m/perc). A *3. ábrán* a csertölgy, kocsánytalan tölgy és a gyertyán törzsében mért vízáramlás időfüggvényű sebességmintázatai látszanak öntözés utáni napon.

Ugyanaz látszik, amit az izotópos kísérletnél is leírt. Az áramlás nem egyenletes, hirtelen gyors és lassú áramlások követik egymást. Vajon miért? A féregmozgásos pulzációs elmélet szerint a víz egyik szegmentumból áramlik a felette lévőbe. Kialakulhat-e itt egyenletes mozgás?

Véleményem szerint nem. Amikor a szegmentum oldalirányú ereje felnyitja a felette lévő szelepet, akkor a víz meglódul, majd lelassul. Tulajdonképpen arról van szó, hogy a felfelé haladó víz kinetikus energiájának egy része elraktározódott a rugalmas szelepbe, melyre hidrosztatikus, és a rugalmas rendszerek nyomása is hat, majd a szelep felnyílásakor ennek a kinetikus energiának egy része felszabadul hirtelen gyors, majd folyamatosan lassuló vízmozgásformát előidézve. Ez hasonlítható az íj felajzásához. Kinetikus energiát fektetünk be, melyet a rugalmas íj felajzás után egy ideig tárol, és amikor ezt felszabadítjuk (kilőjük a nyílvesszőt), ennek a betárolt kinetikus energiának egy részét visszanyerjük kinetikus energiaként.

Morfológiai bizonyíték: minden vízcsőről készített ábrán látható a leszakaszoltság, de ez nem is alakulhatott volna másként, hisz különböző hosszúságú vízszállító sejtek rendeződtek egy függőlegesen kapcsolódó alakzatba. A CT által készített időfüggvényű sebességmintázat tehát visszatükrözi a szegmentumról szegmentumra áramló víz mozgásformáját.



3. ábra: Csertölgy, kocsánytalan tölgy és gyertyán törzsében mért vízáramlás öntözés utáni napon

Egy kis bionika

Nem tehetem meg, hogy néhány gondolat erejéig ne érintsem a bionikát, ezt a modern tudományt, hisz írásomban sokszor oda-vissza élő és élettelen rendszereket hasonlítottam össze.

A bionika olyan új, több szaktudományt átfogó tudományág, amelynek célja az élő természetben kifejlődött megoldások átültetése a műszaki gyakorlatba, abból a megfontolásból is kiindulva, hogy a természetben fennálló természetes kiválasztódás az optimális megoldásokat jelenti egy-egy problémára. A természet ingyen mindenféle ellenszolgáltatás nélkül bocsátja az ember rendelkezésére találmányait. Nyugodtan kijelenthetjük, hogy a bionika is a természet adományainak haszonélvezője.

A növényvilág találmányairól *Móra Ferenc* így írt 1933-ban egy könyvismertetésben: *„A növények a legnagyszerűbb kémiai gyárosok – panamák nélkül – nekik van a legtökéletesebb vízvezetékrendszerük, ők a legügyesebb szerelők és legzseniálisabb építészek, s már akkor traverzekkel dolgoztak és pillérekkel, amikor az embermag még el sem volt vetve a tengerek iszapjában.”*

„Nincs az emberi technikának, mechanikának olyan találmánya, ami ne lenne jelen a növények világában.” – mondta *Greguss Pál.*

A bionika fő alapelve: hasonló rendszerek hasonlóképpen működnek. Sokat elmélkedtem azon, vajon miből fakadhat ez a hasonlóság működéstechnikai szempontból. Talán a megoldás kulcsa a működéstechnikát előidéző mechanizmusokban rejlik? A mechanizmus lényegét a következőképpen lehetne megfogalmazni. A mechanizmus olyan önmagába záródó szimmetrikus mozgásforma, melyet az ellentétesen működő hatások tartanak szimmetrikus állapotban.

Térjünk vissza a fák vízszállító csövéhez, ehhez az élő sejtek függőleges összekapcsolódása által szerveződött csodálatos organikus képződményhez. Fellelhető ellentétes hatások: szívás – nyomás, keresztmetszet-növekedés–keresztmetszet-csökkenés, felmelegedés – lehűlés, szelepnyitás – szelepzárás.

Ha a felsorolt ellentétpárokból egy is kimarad, vagy az ellentétpárok ellentéteiből egyik is hiányzik, 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 diszponibilis vízkészletekhez. Ezért az organikus rendszerek mechanizmusai sokkal kifinomultabbak. Rengeteg vízszállító rendszert ismerünk, amelyek különböző mechanizmusok segítségével szállítják a vizet. Még perisztaltikus szivattyú is létezik, mely szinte leutánozza a vízszállító cső perisztaltikus pulzálását.

Közös jellemzőjük: minden szivattyúnál van szívás és nyomás. Van még egy közös, valamennyi szivattyúra jellemző tulajdonság. A légtérbe a vizet minden esetben a nyomási szakasszal juttatják ki. Miért pont a fáknál lenne ez másképp?

Kutatás az éjszakai lombmozgásról

A legtöbb élőlény alkalmazkodik a nappalok és éjszakák váltakozásához, így a növények is. Évszázadok óta kutatják a növények napi ritmusát. Ezek a vizsgálatok azonban mind a mai napig laborban tartott, cserépben nevelt, kisméretű növényeken zajlanak, így eddig nem lehetett tudni, hogy a megfigyelt törvényszerűségek mennyire alkalmazhatók a fákra.

Egy finn, osztrák és magyar kutatókból álló csoport azonban új módszert dolgozott ki a fák alvómozgásának mérésére. A vizsgált fákról lézerszkenneléssel nagy pontosságú és részletességű modellt készítettek, és ezt óránként ismételték. Beigazolódott, hogy a fák ágai és levelei éjszaka akár tíz centiméterrel is lejjebb ereszkednek.

Az esetleges külső hatások kizárása érdekében ugyanazt a mérést két, egymástól több mint ezer kilométer távolságban lévő fán is elvégezték: Ausztriában és Finnországban az őszi napéjegyenlőség idején.

„A kronobiológia, vagyis az élőlények időbeli szabályszerűségeinek kutatása elsősorban a sejtek és molekulák szintjén vizsgálódik. Korábbi, tőlünk független kutatások főként a növények napi ritmusának sejtszintű genetikai hátterét tárták fel. Ugyanakkor az egész növény szintjén bekövetkező térbeli változások vizsgálatában áttörést hozhat az általunk kidolgozott módszer. Korábban is ismertük egyes fák, például az akác leveleinek alvómozgását, de nem feltételeztük, hogy ez más fajokra is kiterjed, az pedig, hogy az ágak is mozognak, különösen váratlan számunkra, bármennyire ésszerűnek tűnik is utólag” – nyilatkozta a csoport biológusa, *Zlinszky András*, az MTA Ökológiai Kutatóközpont Balatoni Limnológiai Intézet kutatója.

A kutató szerint ezt korábban azért nem mutatták ki, mert a növény alakjának változását laboratóriumban tartott kisebb növényeken nehezebb mérni, hiszen a várható elmozdulások is kisebbek, ráadásul a fényképezéshez használt fény megzavarhatja a növényi alvómozgásokat. Az általunk használt lézerszkenner infravörös tartományban dolgozik, és mindig csak egy néhány milliméteres pontot a másodperc törtrészéig megvilágítva tapogatta le a fák alakját.

A növényi mozgások szoros összefüggésben vannak a sejtek víztartalmával és ezen keresztül az egész fa vízháztartásával. A kutatás következő lépésében újabb fák felmérését tervezik, szorosan nyomon követve egyúttal a víz mozgását is a törzsben és az ágakban. Ilyen vizsgálatokkal fény derülhet majd arra is, mikor és mennyi vizet vesznek fel a fák a talajból, és párologtatjnak el a leveleiken, illetve hogyan hatnak a környezetük hőmérsékletére és páratartalmára nappal és éjszaka.

Forrás:Index/Tudomány