

◆ **LED alapú növénynevelő lámpák alkalmazásának lehetősége kiegészítő világításként termesztőberendezéses rendszerekben**

– Ivanics Milán, Barkóczy Gergely –

A növénytermesztés és nemesítés folyamatában több helyen használnak beavatkozó eszközként mesterséges világításokat. A speciális világítási rendszereknek azonban nem kizárólag olyan kutatásokban van szerepe, amelyek a növények viselkedését vizsgálják speciális világítási körülmények között. A munkafolyamatok során előfordulnak olyan igények is, amelyekben a világítás csupán egy biztosítandó körülmény a környezeti elemek között, mégis speciális rendszerrel kell előteremteni az adott területen, vagy évszakban természetesen elő nem állítható körülményeket. Ilyen alkalmazási terület az üvegházakban használatos kiegészítő világítás is, melynek célja a napos órák látszólagos növelése, s ezáltal a nyári napok modellezése az év bármely szakaszában. Írásunkban ennek az alkalmazási területnek a biológiai és világítástechnikai hátterét járjuk körül, annak fényében értékelve a helyzetet, hogy a LED technológia előnyeit kihasználva mennyiben korszerűsíthetők a jelenlegi rendszerek.

A korszerű növénytermesztés többszörösen összetett szakterület. A biológia, a mezőgazdaság, a hidrológia, a hidropónia a mechanika, a villamosság és a világítástechnika felhasználói szintű ismerete is szükséges már komplex gazdasági rendszerek szerkesztéséhez, tervezéséhez, esetleg még az üzemeltetéséhez is. Jelen írásunknak nem célja ilyen széleskörű interdiszciplináris ismertetést nyújtani, azonban ahhoz a kis szegmenshez is szükséges több területet érintenünk, amely a növényvilágítások jelenét és fejlesztési lehetőségeit érinti. A következőkben ezért rövid

áttekintést adunk a növények fényigényéről és a mezőgazdaság világítástechnikai alkalmazási területeiről, melyeken alapulva talán tartalmasabban bemutatható az általunk vizsgált növényvilágítási rendszer szerepe és jelentősége.

### 1. A növényvilág "fényhasznosítása"

Tekintettel arra, hogy az olvasóközönség jellemzően világítási szakember, szükségesnek látjuk a fotoszintézis folyamatának rövid áttekintését biológiai szempontból, azonban annak nagymértékben komplex jellemzői miatt – tekintettel írásunk kereteire is – ismertetésére csak vázlatosan térünk ki.

A Föld atmoszféráját évente megközelítőleg  $56 \times 10^{23}$  J energia éri el a Naptól elektromágneses sugárzás formájában. Ennek az energiának közel fele az atmoszférában azonnal elnyelődik. Az energia további hányada eljut ugyan a Föld felszínére, viszont annak is csak a fele esik olyan hullámhossztartományba, amely a fotoszintetikus folyamatokban hasznosulhat. A hasznos energia mennyisége tehát a becslések alapján  $15 \times 10^{23}$  J/év. A fotoszintézis során mintegy  $2 \times 10^{11}$  t szén alapú szervesanyag keletkezik évente, ami  $3 \times 10^{21}$  J energiának felel meg. Ez azt jelenti, hogy a Földön a fotoszintézisre alkalmas szervezetek a fotoszintetikusan aktív sugárzásból mindösszesen 0,2%-ot hasznosítanak [1].

Bár ez energetikailag nagyon rossz hatékonyságot feltételez, a fotoszintézis jelentőségét mégis beláthatjuk, ha belegondolunk abba, hogy a Föld légkörének oxigéntartalma bizonyítottan fotoszintetikus eredetű [2, 3].

Mivel a fotoszintézis különböző szervezetekben képes végbemenni, a konkrét reakció is eltérő lehet, annak ellenére, hogy a végeredménye szén alapú szerves anyag [4].

### LED alapú növénynevelő lámpák alkalmazásának lehetősége kiegészítő világításként termesztőberendezéses rendszerekben

Általánosságban viszont minden esetben elmondhatjuk, hogy a fotoszintézis egy redox folyamat, melynek során egy elektrondonorról úgy jut át az elektron egy akceptorra, hogy az ahhoz szükséges energiát a fény biztosítja [5]. Két alapvető része van, melyek a fényszakasz és a sötétszakasz [6].

A növényvilágban – itt most elsősorban a magasabbrendű növényeket értjük – a fotoszintetikus folyamatok speciális sejtstruktúrákban, azaz sejtorganellekben, úgynevezett kloroplasztiszokban zajlanak [7]. A feltételezések szerint a kloroplasztiszok a növényvilág endoszimbionta organellek, amely alatt értendő, a törzsfajlás folyamán valaha egy fotoszintézisre képes egységű szervezet csatlakozott a növényi sejthez, annak sejtplazmájába került valamilyen módon és mivel ez mindkét fél számára előnyös kapcsolat volt, úgynevezett szimbiózisba kerültek [4]. Ezt bizonyítja az is, hogy a kloroplasztiszok önálló örökítőanyaggal rendelkező organellek a növényi sejtekben és osztódásuk a növényi sejt sejtosztódásától független, viszont a növényi sejt sejtmagjában lévő örökítő anyag (DNS) és ehhez tartozó szabályozás nélkül nem mehet végbe [8]. A kloroplasztiszok, mint fényhasznosító „erőművek” a növényfajokban különböző mennyiségben és szövettanilag is lokalizálódhatnak, viszont ami általánosságban nagyvonalakban elmondható róluk, hogy a növények zöld szöveteiben vannak legnagyobb számban. Általuk érzékeljük ezeket a szöveteket zöld színűnek. A kloroplasztiszok lencse vagy gömb alakúak, kettős membránnal határoltak, belsejükben szintelen plazma, úgynevezett sztróma található. A sztrómába ágyazva helyezkedik el a kloroplasztisz belső membránrendszere, amelyet tilakoidmembránnak neveznek. A tilakoid membránok helyenként szorosán egymáshoz tapadva hozzák létre a gránumokat. (1. ábra)

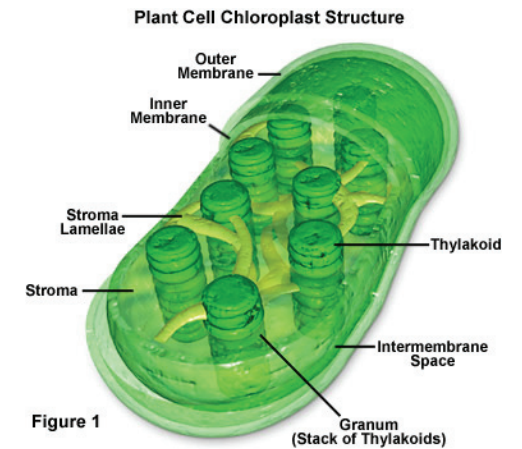


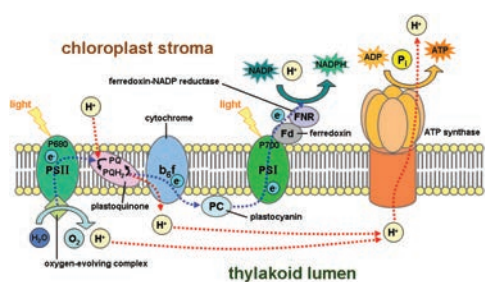
Figure 1

1. ábra: Forrás: <http://micro.magnet.fsu.edu/cells/chloroplasts/chloroplasts.htm>

Morfológiai (elektromikroszkópos) vizsgálatokkal kimutatták, hogy mind a tilakoid membrán, mind a gránumok felszínén úgynevezett partikulumok találhatóak, melyek biokémiai vizsgálataiból kiderült, hogy a fotoszintézis kulcsát képező fotokémiai I-es és II-es rendszer (PS I-II) fehérjekomplexei [9]. Azt is bebizonyították hogy százalékos arányait tekintve a második fotokémiai rendszer (PSII) fehérje komplexei, illetve a hozzá tartozó úgynevezett fénygyűjtő klorofil-protein komplex (LHCII) [10] alapvetően a gránumokban található, míg az első fotokémiai rendszer (PSI) fehérjekomplexei, a hozzá kapcsolódó fénygyűjtő klorofil-protein komplex (LHCI), a citokróm-b6/f komplex és az adenzin-trifoszfát (ATP)-szintáz [8] hidrofób szegmenyje inkább a sztrómatilakoidokban lokalizált. (2. ábra)

A fotoszintetizáló szervezetekben, így a növényekben is a fényreakció valamilyen pigment jelenlététől függ, amelyekkel az előző bekezdésben említett fotokémiai I-es és II-es rendszer (PS I-II) fehérjekomplexei is rendelkeznek önmagukban, illetve a hozzájuk kapcsolódó fénygyűjtő klorofil-protein komplexekbe (LHCII) kötve.

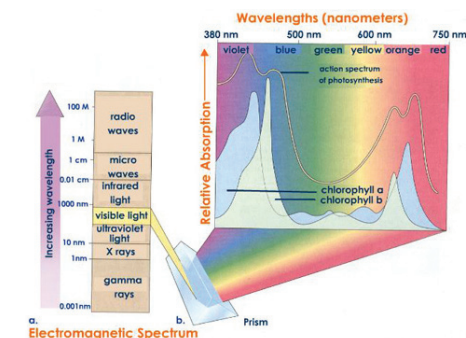
◆ **LED alapú növénynevelő lámpák alkalmazásának lehetősége kiegészítő világításként természetberendezéses rendszerekben**



2. ábra: Forrás: [http://wikidoc.org/index.php/Electron\\_transport\\_chain](http://wikidoc.org/index.php/Electron_transport_chain)

Különböző pigmenteket tudunk izolálni a különböző fotoszintetizáló élőlényekből, viszont általánosságban elmondhatjuk, hogy a fotoszintézis folyamatának alapfeltétele és elsődleges pigmentje, valamilyen klorofill, illetve klorofill forma jelenléte [11]. A magasabb rendű növények elsősorban klorofill-a és klorofill-b pigmentekkel rendelkeznek, de az élővilágban még további klorofill formák is előfordulhatnak. A növényi klorofilok fénykvantum abszorpciója kettős értéket mutat. Egyrészt 450 nm körül, másrészt 650-750 nm közötti hullámhosszúságú tartományban mozog [1], melynek pontos értéke a növények esetében fajfüggő, a különböző összetételű fotokémiai I-es és II-es rendszereik miatt. Ennek a tulajdonságának köszönhetően a klorofilok fényelnyelése a vörös és kék tartományban (3. ábra) egy elektron áthelyeződését okozza. Ha a fény által közölt energia megfelelő mértékű, az érintett elektron képes a klorofill molekulát elhagyva áthelyeződni az úgynevezett elektrontranszport rendszerre. Az elvesztett elektront a klorofill ekkor egy elektrondonorról pótolja, amely a növények esetében a víz, más szóval a növények oxidálják a vizet. Az elektronok áthelyeződése energia felszabadulással jár, mivel az elektron átadása közben a membránban – amelyet jelen esetben fotoszintetikus elektrontranszport rendszernek hívunk – a protonok áthelyeződése miatt töltéskülönbség jön létre, amely a

fotoszintézis folyamatának hajtóereje. Ezt a termelt energiát pedig a légköri széndioxid redukciójára használják a növények, amelyekkel szén alapú szerves anyagot állítanak elő [12].



3. ábra: Forrás: <http://www.tutorvista.com/content/biology/biology-iv/photosynthesis/photosynthetic-pigments.php#>

Mindezek alapján elmondhatjuk, hogy a szervesanyag termelést a növényi fotoszintézis szempontjából három tényező képes befolyásolni. Egyrészt a víz megfelelő mennyiségű jelenléte, másrészt a légkörben lévő széndioxid mennyisége és végül, de nem utolsó sorban a fény spektrálisan behatárolt mennyisége.

A növények fotoszintézise tehát – az emberi látáshoz hasonlóan – spektrális érzékenység mellett történik. A látható tartományú sugárzásból két hullámhossz-tartomány lesz meghatározó, és a fotoszintézis folyamán csak ezen tartományokban, a PSI és PSII számára fontos, azokban hasznosítható hullámhosszúságú fénysugárzás aktiválja a növény fotoszintetizáló mechanizmusát.

Hangsúlyozandó, hogy ez a két hullámhossz kizárólag a fotoszintézis folyamatában meghatározó. A növények fejlődésük során több folyamatban is hasznosítják, vagy éppen kihasználják a fénysugárzást, illetőleg a beeső fény jellemzőit, irányát általában ezt is a folyamatra és a növényre jellemző hullámhosszfüggés mellett.

**LED alapú növénynevelő lámpák alkalmazásának lehetősége kiegészítő világításként természetberendezéses rendszerekben**

**2. Mezőgazdasági növénytermesztés**

Tágabb értelemben a mezőgazdasági ipar a növényi fotoszintézist alkalmazó, felhasználó iparág, mellyel élelmezésre és takarmányozásra alkalmas szerves anyagokat állít elő. A világ mezőgazdaságát tekintve elsősorban szabadföldi szántóföldi termelés a jellemző, amely elsősorban gabonafélék, ipari növények és takarmánynövények termesztését foglalja magába. A szabadföldi szántóföldi mezőgazdaság területi arányát tekintve csak elenyésző mértékű, az úgynevezett kertészeti zöldség- és fűszernövény-termesztéshez képest. Természetesen ennek aránya országonként változó, illetve országokon belül is nagymértékben függ a termőterület alkalmasságától. A zöldségfélék lágyszárú, intenzív művelést kívánó, nyersen vagy feldolgozva emberi táplálékul szolgáló, nagy biológiai értékű növények [13]. A világon mintegy 247-féle különböző zöldség fajta ismert, melyek közül mind hazánkban, mind Európában megközelítőleg 40-et ismerünk, ezek 75%-át 7 fajta lehet sorolni rendszertanilag (zöldborsó, paradicsom, paprika, vöröshagyma, fejes káposzta, dinnye, uborka). A zöldségtermesztés a kertészet egyik ágazata, amely a zöldségfélék előállítására irányuló termelő tevékenység. A zöldségtermesztésen belül négy alágazatot különítenek el: a szabadföldi zöldségtermesztést, a zöldség-hajtatót, a zöldségvetőmag termesztést és a gomba-termesztést [14]. Alapértelmezés szerint a természetberendezésekben való zöldségtermelést zöldség-hajtásnak nevezzük.

Korunkban a dietetikai szakemberek a zöldségfélék fokozottabb fogyasztására hívják fel a figyelmünket nap mint nap. Ennek a fokozottabb fogyasztásnak köszönhetően a táplálkozás a vegyes, könnyebb ételek felé tart. Mivel a zöldségnövények sok esetben fűszernövényként is szolgálnak, nem nélkülözhetjük elmondani, hogy az egész világon

terjed az ízes, fűszeres, de nem túlfűszerezett ételek divatja. Ezért aztán döntő fontosságú a megfelelő minőség, de az utóbbi években emellett a szállítási biztonság is elsődleges szemponttá vált a zöldségkereskedelemben [15].

Annak érdekében, hogy a termelők a feltételeket biztonsággal teljesíthessék, az időjárás és az évszakok változása miatt szűkös termesztési időszakot meghosszabbíthassák, illetve csökkenthessék az időjárás okozta szélsőségeket, egyre nagyobb arányban alkalmaznak úgynevezett természetberendezéseket. A természetberendezés definíció alapján: telepített járható üvegház, fix vagy mozgatható fóliasátor, síkfólia és fóliaalagút (merek, lágy műanyag) alatti, valamint a melegágy (hollandiágy) területét tartalmazza. Forrása: A Bizottság 1444/2002/EK Rendelete (2002. július 24.)

A természetberendezések közül jelenlegi ismertető cikkünkben világítástechnikai szempontból kizárólag a telepített járható üvegház, illetve a fix vagy mozgatható fóliasátorral foglalkozunk a továbbiakban.

**3. A természetberendezések üzemi világítása**

A növények életfolyamataikhoz a fény, pontosabban a fotoszintetikusan aktív sugárzás, mint arról már a korábbiakban szó volt, szolgáltatja az energiát. Ezáltal intenzitása és mennyisége alapvetően meghatározza a növény fejlődésének sebességét. Az egyes zöldségnövények fényigénye között természetesen lényegi különbségek vannak, attól függően, hogy növényélettanilag rövid, vagy hosszúnappalos, fénykedvelő, árnyék-tűrő, vagy árnyékkedvelő növényekről beszélünk [15].

Általánosságban viszont elmondhatjuk, hogy természetberendezésekben előállított zöldségnövényeink nagyarányú többsége kifejezetten fényigényes.

## LED alapú növénynevelő lámpák alkalmazásának lehetősége kiegészítő világításként természetöberendezéses rendszerekben

A fény besugárzás napi időtartama, vagyis a nappalhosszúság, illetve a fotoszintetikusan aktív hullámhosszúságú sugárzások egymáshoz viszonyított aránya hozza létre a növényekben a fotoperiodizmus jelenségét. A fotoperiodizmus növényélettani szempontból mind napszakokon, mind évszakokon belül változó.

A fotoperiodizmus jelenségének köszönhetően indul el a növények vegetatív, majd a későbbiekben a generatív szerveinek képződése [14]. Természetesen a fény meglétéén kívül még rengeteg biológiai folyamat-együttes eredőjeként kapjuk ezt az eredményt, de jelen tanulmány elsősorban fénytani szempontból vizsgálja a folyamatot.

A különböző növényfajok fotoperiodizmusa többnyire ismert és mindez elmondható a természetöberendezésekben alkalmazott zöldség- és fűszernövényekkel kapcsolatban is [16]. Ennek köszönhetően a kertészet ezen területén általánossá vált a mesterséges pótvilágítás alkalmazása, a kívánt eredmény mielőbbi, biztonságos elérése érdekében. A környezeti tényezők kontrollálásával (hőmérséklet, megvilágítás, víz és a tápanyagigény kielégítése) modellezhető az egyes évszakok időjárása, így akár az év egész részében biztosítani lehet a folyamatos termelést [17].

A növények számára megfelelő minőségű és mennyiségű természetes világítás pótlására az esetek túlnyomó többségében fénycsöves vagy fémhalogénlámpás világításokat alkalmaznak. A fotoszintézis során hasznosított hullámhossz-tartományok és a fényforrások által keltett fény spektrális eloszlásának összevetésével könnyen belátható, hogy ezek a rendszerek igen kis hatásokkal működnek. Annak, hogy mégis ezek a fényforrások terjedtek el, jellemzően gazdasági okai voltak, hiszen emberi nézőpontból ezek a kisugárzott spektrum viszonylagos gazdagsága mellett jó fényhasznosítással is rendelkeznek. A növények más jellegű fényigényei miatt azonban mégsem optimális ezek kihasználása.

A fénycsöves és fémhalogénlámpás rendszereket a fényforrás műszaki paramétereiből következően (egységfényáram, geometriai méret és alak) eleve más módon használják.

A fémhalogénlámpás rendszerekben nagy egységfényáramú fényforrásokat választanak, amelyek nagy, akár 1000 W egységteljesítményt is eredményeznek. A kritikus spektrumban sugárzott energia azonban olyan kis mértékű, hogy a szükséges mennyiség biztosításához még ilyen nagy egységteljesítményű fényforrásból is nagy darabszám beépítése szükséges. A nagy teljesítményű világítás azonban nagy hőtermeléssel is jár, így a lámpatesteket távolítani kell a növényektől, és ez csökkenti a hasznosan megvilágított terület arányát – amellett, hogy a természetöberendezések méretei miatt korlátozottak a távolságok.

A fénycsöves világítási rendszerek eleve más megközelítést igényelnek. Tekintve a fénycsövek viszonylag kis egységfényáramát, az elégséges energiájú fénysugárzást csak oly módon lehet előállítani, hogy a fénycsöveket sűrűn egymás mellé helyezik el. Ez a megoldás viszont gátolja a természetes fény eljutását a növényhez, tehát a tárgyalt célt, a nappal látszólagos meghosszabbítását csak oly módon tudná szolgálni, hogy minden nap sötétedéskor helyezik el a lámpatesteket a növények fölött, napkeltekor pedig eltávolítják azokat. Ez a megoldás azonban annyi plusz költséggel és feladattal járna, hogy gazdaságosan nem kivitelezhető, így nem alkalmazzák.

A fénycsöves technológiának azonban nagy jelentősége van teljesen zárt növénytermesztőkamrákban, ahol a teljes világítást mesterségesen állítják elő, mindazonáltal ezekben a kamrákban a növény fejlődésének további fényigényeit is biztosítani kell, tehát nem lehet a fotoszintézis minimumkövetelményeire egyszerűsíteni az elvárásokat.

Ezen kamrák tárgyalása tehát nem képezi jelen vizsgálatunk szerves részét, de

## LED alapú növénynevelő lámpák alkalmazásának lehetősége kiegészítő világításként természetöberendezéses rendszerekben

fontosnak tartjuk a megemlítésüket fő célunkkal kapcsolatban, ugyanis a zárt növénytermesztő inkubátorok területén már megjelentek a piacon teljes egészében LED fényforrásokkal kivitelezett modellek, kihasználva a LED azon előnyét, hogy kis spektrumlefedés mellett nagy hatékonysággal működtethetők ezek az eszközök.

### 4. LED alkalmazása növénynevelő lámpákban

A LED alkalmazásának vizsgálata tehát nem teljesen új gondolat a növénytermesztés területén. Az a tulajdonság, hogy a növényeknek csupán a spektrum egy kis szegmensére, ráadásul olyan szegmensére, amely már a fehér LED kifejlesztése előtt lefedhetővé vált, érthetően hozta magával a gondolatot, hogy hatékonyságnövelő céllal ezen a területen is meginduljon a fejlesztés.

A kutatások azonban jellemzően a természetes fény teljes helyettesítésének megoldására irányulnak, hiszen ennek alkalmazási területe széles körben alkalmazható az ürkutatótól a zárt laboratóriumokig. A természetes fény teljes pótlásával nem válna szükségessé a jelenlegi üvegházi rendszerekhez való alkalmazkodás, hiszen új rendszereket lehet kiépíteni a felhasználásával, amelyben több emeleten, vagy éppen a föld alatt történik a növények termesztése, vizsgálata, nemesítése.

A természetes fény kizárásával azonban, amint arra már többször utaltunk, nem elégséges egyetlen fényigényes biológiai folyamat feltételeinek biztosítása. Ez esetben teljes körűen ki kell vizsgálni, hogy az adott növény a fejlődése során milyen fényt milyen mennyiségben és milyen módon használ fel, hogy azután ezt kellő technikai eszközök birtokában lehessen számára biztosítani az egészséges növekedéshez.

Az ürkutató laboratóriumok jelentős energiát fordítanak az ember számára leg-táplálóbb növények illetően megismerésére és mesterséges előállítására, és ez a nagyfo-

kú erőfeszítés lehetőséget ad a földi növénytermesztőknek is az eredmények adaptált felhasználására.

Több amerikai és kínai egyetemi kutatásban vizsgálják jelenleg is a fotoszintézishez szükséges vörös és kéktartományú fénysugárzások szükséges és elégséges dózisait, és ezen kutatási eredmények felhasználásával jelentek meg már a piaci forgalomban is olyan természetöberendezések, amelyek a korábban fénycsövekkel üzemelő inkubátorok mintájára zárt térben igyekeznek biztosítani a növény fejlődése számára szükséges paramétereket, és ez esetben nem csak a fényviszonyokat kell érteni.

A fénycsöves inkubátoroknál megszokott termékskálához hasonlóan gyakorlatilag lehetőség van LED-inkubátorok választására is, amelyeket a laboratóriumi és tervezői előrejelzésekkel ajánlanak is a forgalmazó cégek. A régi rendszerekkel való tényleges egyenértékűséget illetően a valódi célt, a korábbi rendszerek felülmúlását azonban csak kellő számú növénytermesztési ciklus, illetően a műszaki-technológiai öregedés ismeretében lehet majd kijelenteni, ami – a természet törvényeit is figyelembe véve – években mérhető időtartam.

### 5. Egy átlagos magyarországi üvegház világítási rendszere

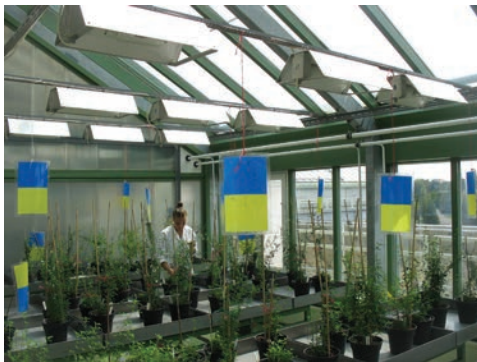
Áttekintő vizsgálatunk részeként értékeltünk egy működő, és Magyarországon átlagosnak tekinthető üvegház, vizsgálati célunknak megfelelő, vagyis a napos órák számát látszólagosan növelő világítási rendszerét.

A konkrét vizsgálat egy állami biológiai kutatóintézet üvegháza volt, melyben több, egymástól elválasztott természetöberendezés üzemel. A termék mindegyike felülről és három oldaláról üvegfalal határolt, a negyedik oldala tömör fal, amely mögött az intézet közlekedő területei helyezkednek el.

A 3,6 m × 6 m alapterületű helyiségben 12 db 1000 W egységteljesítményű

## LED alapú növénynevelő lámpák alkalmazásának lehetősége kiegészítő világításként természetöberendezéses rendszerekben

fémhalogénlámpa üzemel 2,33 m fénypontmagassággal. A növények talajszintje 90 cm magasságban helyezkedik el, és a vizsgálatok szempontjából 50 cm-es magasságig történő növekedésükig fontos a kiegészítő világítással a nappalok hosszabbítása. (4., 5. ábra)



4. ábra:



5. ábra:

A fényforrások és a fotoszintézishez szükséges elvárások összetételüként az a gyakorlati tapasztalatokon alapuló megközelítés nyújt egyszerűsítési lehetőséget, hogy az üvegházakban 15 klx megvilágítás fémhalogénlámpa esetén elégséges fénynek tekinthető. Ebből a megközelítésből indulunk mi is a vizsgálat során.

A mérési pontok megválasztásánál arra törekedtünk, hogy minél valósabb képet alkothassunk a konkrét berendezésről. Tekintve, hogy a fényforráshoz képest nagyon

alacsony volt a fénypontmagasság, a megvilágítást ennek megfelelően sűrű mérési háló pontjaiban mértük, mindazonáltal figyelembe vettük a hasznos felületek helyét, vagyis a növények elhelyezkedését is.

Mérési eredményünk azt mutatta, hogy a világítási rendszer csúcsüzemben, vagyis minden lámpatest együttes üzemeltetésével 16,08 klx horizontális megvilágítást produkált 90 cm munkasíkon és több mint 20 klx megvilágítást az 50 cm növekedést figyelembe vevő 140 cm munkasíkon, tehát a gyakorlati tapasztalat szerint elégséges a megvilágítás.

Fontos azonban kiegészítenünk ezt a mérési eredményt két szemponttal, melyek jelentősen csökkentik az értékelés pozitív voltát.

Az első, elméleti probléma, hogy mind a gyakorlati érték meghatározásakor, mind a mérésünk során az emberi  $V(\lambda)$  függvény szerint határoztuk meg a megvilágítás kívánt értékét, pedig írásunk elméleti részében már rámutattunk, hogy a növények fotoszintetikus spektrális érzékenységi görbéje ettől határozottan eltér, és a fémhalogénlámpa spektrumát tekintve kis százalékban hoz létre fotoszintézis szempontjából hasznos hullámhosszúságú fényt.

A második, merőben földhözragadt probléma, hogy gazdasági okok miatt a jelenlegi teljesítménnyel a világítási rendszer nem tud folyamatosan teljes egészében üzemelni. A hazai üvegházi természetben általában 6-8 klx megvilágítást tudnak tartósan biztosítani a világítási rendszerek részleges üzemeltetésével.

Új típusú, LED alapú kiegészítő világítási rendszer tervezése esetén tehát mindkét szempontnak jobb alternatívát nyújtó rendszert kell felmutatni. Egyrészt a már alkalmazott LED növénylámpás technológiát az üvegházak számára oly módon kell adaptálni, hogy mind a nappali természetes fény eljusson a valódi napos órák ideje alatt a növényekhez, mind a kiegészítő világítás ideje

## LED alapú növénynevelő lámpák alkalmazásának lehetősége kiegészítő világításként természetöberendezéses rendszerekben

alatt megkapja a szükséges dózist a kívánt hullámhossztartományú sugárzásból, másrészt olyan világítási és villamos rendszer szükséges, amely egészében, tehát a működtető, és hűtő eszközökkel együttesen is villamosenergia-fogyasztás csökkenést eredményezhet.

### 6. Összegzés

A természetöberendezésekben alkalmazott kiegészítő világítási rendszerek tehát mindenképpen korszerűsítésre szorulnak. A hagyományos fényforrásokkal kialakított rendszerek ugyan elfogadottak és több évtizedes rutin áll mögöttük, de sem a biológiai folyamatok, a fotoszintézis szempontjából, sem világítástechnikai vagy energetikai szempontból nem üzemelnek optimálisan.

A hatékonyság növelését jelentené, ha olyan fényforrásokkal oldanák meg a kiegészítő világítást, amelyek kizárólag, illetve túlnyomóan a fotoszintézis számára fontos, PSI és PSII által meghatározott hullámhossztartományban állítanak elő fénysugárzást. Emellett természetesen az sem elhanyagolható szempont, hogy ezt jó hatásfokú villamos-foto átalakítás (megengedően értelmezett fényhasznosítás) mellett produkálják a fényforrások.

A támasztott igényeknek megfelelően speciálisan kialakított LED világítási rendszerek, kihasználva, hogy a LED fényforrás eleve keskeny tartományban sugároz. Megfelelő LED chip kiválasztásával tehát jól lefedhető az igényelt spektrum és minimalizálható a hasznosításra nem kerülő sugárzás előállítás.

Hasonló célokra már alkalmaztak ilyen technológiát, zárt kabinos inkubátorok már megjelentek a piacon kizárólag LED világítással. Ennek valódi egyenértékűségét esetleges pozitív fejlődési iránymutatását azonban csak azután tekinthetjük biztosnak, ha mind a növénytermesztés szempontjából, mind műszaki-üzemeltetési szempontból elégséges időtartam illetőleg természeti

ciklus megvalósult a gyakorlati alkalmazás területén is.

A kiegészítő világításként alkalmazott LED rendszerek esetében az ezután elvégzendő gyakorlati vizsgálatok kettős célt szolgálnak. Egyrészt feladatuk kimutatni, hogy valóban elégséges-e a fény spektrum kiválasztott szegmenseinek biztosítása az egészséges és kívánt mértékű fejlődéshez, másrészt ki kell jelölnie a természetes világítás nappali érvényre juttatásának gyakorlatban könnyen alkalmazható műszaki eszközeit.

Ha a gyakorlati vizsgálatok eredményeként előáll egy praktikus és tényleges energiamegtakarítással működő, a jelenleginél biológiai és műszaki értelemben is hatékonyabb rendszer, akkor a LED újabb területen válik olyan alkalmazható világítási eszközzé, amely valóban lehetőséget nyújt a technológia főbb jellemzőinek kihasználására a társadalmi komfort növelése mellett.