

Fotosynteticky aktivní osvětlovací soustava ve skleníku Fata Morgana

Miroslav Hajzler, Enika CZ s. r. o., Nová Paka,
Ing. Stanislav Haš, CSc., Agroenergo, Praha

Pro rostliny z tropických krajů a oblastí jižní polokoule byl v Botanické zahradě hlavního města Prahy vytvořen skleník Fata Morgana. Podle architektonického návrhu byl opláštěn čtyřvrstevnými polykarbonátovými deskami. Celková světelná propustnost těchto desek, která je výrazně difuzní, činí 57 %. Uvedená skutečnost vede k tomu, že k rostlinám se dostává jen část prošlého záření, ostatní je rozptýleno do celého prostoru skleníku. Rozptýlené záření sice prosvětluje celý skleník, ale rostlinami je využíváno v průměru jen 25 % venkovního globálního záření. Pro horské polopouštní rostliny z jižní polokoule (jižní Afrika, Madagaskar, Austrálie) jsou zde právě v době jejich maximální vegetační aktivity v listopadu až únoru zcela nevyhovující světelné podmínky. Rostliny strádají především z nedostatku náležité intenzity ozáření, ale i vlivem nedostatečné doby a dávky ozáření. V chlazené části skleníku jsou horské rostliny z oblasti Skalických hor. I ty potřebují ke svému vývoji v zimním období vyšší intenzitu ozáření a prodlouženou fotosyntetickou aktivitu na dvanáct hodin denně.

Aby se zajistilo, že sbírkové rostliny ve skleníku Fata Morgana budou svým vzhledem a životními projevy odpovídat rostlinám v přírodních podmínkách, byly v části polopouště a v chlazené části nainstalovány soustavy doplňkového fotosyntetického osvětlení.

Zásady navrhování osvětlovacích soustav do skleníků

Umělé světelné zdroje se ve sklenících používají pro zvýšení fotosyntetické aktivity a k ovlivnění indukce květů. Pro fotosyntézu je zapotřebí ozáření vysoké intenzity (ve fotometrických jednotkách 3 000 až 12 000 lx), pro fotoperiodické účinky ozáření nízké intenzity (50 až 200 lx). Na rozdíl od funkce světelných zdrojů k vytváření světelné pohody člověka, kdy se hodnotí osvětlení objektů a světlo jimi odražené a dopadající do lidského oka, biologické účinky světla na rostliny se hodnotí podle záření, které světlocitlivé orgány rostlin pohltí a jeho energii přemění ve fotobiologické procesy.

Fotosyntetické procesy jsou aktivovány především zářením v oblasti vlnových délek 400 až 700 nm. Záření v této oblasti se nazývá fotosynteticky aktivní záření (FAR). Hodnotí se energetickými jednotkami. Snahy hodnotit absorbované záření selektivně podle biologické závislosti fotosyntetických reakcí na vlnové délce se zatím neuplatnilo. Fotosyntetic-

vých délek 550 až 790 nm. To je záření ve žlutozelené až červené (RED) oblasti s maximem 660 nm a v oblasti tmavočervené (FAR RED) s maximem 730 nm. Toto záření ovlivňuje indukci a vývoj květů a nazývá se fotoperiodicky aktivní (FPR). Jednotkou fotoperiodicky aktivního ozáření je watt na metr čtverečný (W/m^2) FPR.



Obr. 1. Fata Morgana – vstupní portál

ky aktivní zářivý tok je energetický výkon ve zmíněné spektrální oblasti a uvádí se ve wattch – W FAR. Jednotkou intenzity fotosynteticky aktivního ozáření je $1 W/m^2$ FAR.

Fotobiologické aktivity neovlivňuje jen intenzita ozáření, ale též doba, popř. dávka ozáření, vyjadřovaná ve watthodinách na metr čtverečný ($W \cdot h/m^2$) FAR, v některých literárních pracích v luxodinách ($lx \cdot h$).

Podíl fotosynteticky aktivního záření různých zdrojů je rozdílný. Pro přímé sluneční záření činí 43 % z celkového záření (E_{GH}), pro zataženou oblohu je to 57 %. Běžně je brána v potaz jedna průměrná hodnota, takže $E_{FAR} = 0,45 E_{GH}$. Podíl FAR umělých zdrojů světla je hodně odlišný od tohoto podílu slunečního záření. Protože u světelných zdrojů se běžně uvádějí jejich fotometrické hodnoty (lm, lx), uvádí se podíl FAR v poměru k těmto hodnotám. Vztahy FAR k fotometrickým hodnotám pro některé zdroje vhodné k použití ve sklenících jsou v tab. 1.

Fotoperiodické procesy jsou závislé především na aktivaci fytochromů; jejich absorpční spektra leží v oblastech vlnov-

Zcela jiné funkce viditelného záření na rostliny, než je posuzování vlivu světelné pohody na člověka, vedou také k jinému posuzování intenzity ozáření. Pro dobré vidění člověka je podstatné osvětlení vodorovných, svislých nebo jinak orientovaných ploch, na nichž jsou rozmístěny pozorované předměty. Lidské oko hodnotí odražené záření od těchto předmětů.

U rostlin je třeba hodnotit záření dopadající na všechny jejich světlocitlivé plochy, které mohou viditelné záření pohltit. Pro hodnocení absorbovaného záření je tedy nejvhodnější volit kulový vrchlík, jehož osa vždy směřuje ke zdroji světla. Vzhledem k tomu, že biologické aktivity rostlin probíhají až od určité prahové hodnoty intenzity ozáření, a také proto, že záření dopadající na plochy rostlin pod úhly většimi než 70° se značně nebo zcela odráží a nepřispívá k fotobiologické aktivitě, bere se u soliterních rostlin v úvahu výška pomyslného kulového vrchlíku 33 % z průměru koule. Na takové ploše je průměrná intenzita ozáření rovna 67 % hodnoty záření dopadajícího na rovinu kolmou ke směru dopadajících paprsků. U souvisle zapojených porostů, kde se rostliny při šikmém dopadu záření navzájem zastíňují, nelze již uplatňovat efekt natáčení kulového vrchlíku svou osou do směru přicházejícího záření, a více či méně se uplatňuje kosinová závislost intenzity ozáření. Z tohoto hlediska je nejpříjemnější počítat u všech rostlinných porostů s tím, že intenzita ozáření, která ovlivňuje fotobiologické procesy, je rovna 70 % hodnoty záření dopadajícího na normálovou ro-

vinu. Při zpracovávání světelnotechnických návrhů soustav na přisvětlování rostlin se tedy počítá s intenzitami ozáření (osvětlení) na roviny kolmé k dopadajícímu záření a tyto hodnoty se redukují součinitelem 0,7. Průměrná hodnota takto zredukovaných údajů se považuje za intenzitu ozáření pohlcenou rostlinami, která ovlivňuje jejich biologickou aktivitu.

Pro skleníkovou osvětlovací soustavu je podstatný výběr světelného zdroje z hlediska jeho emisního spektra.

fylym a karotenoidy, způsobuje velkou hustotu chlorofylu a projevuje se sytě zelenými listy a vytvářením nižšího a celistvějšího habitu rostlin. Tyto výbojky jsou dnes dodávány pod označením např. Son Agro (Philips) nebo Plantastar (Osram). Jejich fotosyntetická účinnost je vysoká (33 %). Pro lidské oko ale vytvářejí velmi špatné podání barev a značně zkreslují barvy rostlin. Nedostatek zelené způsobuje šedo zelenou nebo olivovou barvu listů, nedostatek červené hnědavé podání červených květů. Nelze tedy podle barev

v jejich emisním spektru byl i náležitý podíl červené složky a pro dlouhodobí rostliny i podíl tmavočervené o vlnové délce až 790 nm. V prodejních nebo sbírkových sklenících nesmí ve spektru chybět ani zelená barva pro správné posuzování barvy listů a stvolů většiny rostlin. Z těchto hledisek mají vhodné vlastnosti komfortní vysokotlaké sodíkové výbojky nebo halogenidové výbojky s širokým (integrálním) spektrem. Sice je jejich fotosyntetická účinnost poněkud menší než u speciálních, tzv. agrovýbojek (např. Son-Comfort 26 %, halogenidová výbojka Master HPI Plus 28 %, MHN-LA 1 000 a 2 000 W 29 %, Powerstar HQI-BT 31 %), ale v jejich spektru je dostatek fotoperiodicky aktivního záření až k vlnové délce 800 nm. Fotoperiodická účinnost komfortních vysokotlakých sodíkových výbojek je velmi vysoká, až 26 %, u halogenidových výbojek se širokým spektrem je to asi 16 %. Z hlediska nejvěrnějšího hodnocení barev lidským okem jsou však nejlepší halogenidové výbojky. Jejich všeobecný index podání barev je 85 až 90, zatímco sodíkové výbojky mají hodnotu tohoto indexu do 60. Chybí jim především větší podíl zelené složky, takže zelené listy rostlin mají poněkud olivovou barvu.

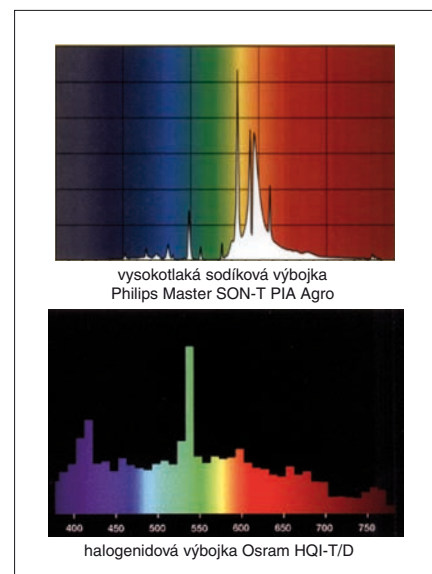


Obr. 2. Osvětlovací soustava – část polopoušť

Před mnoha lety vyvinuly některé firmy (Osram, Philips) speciální výbojky k ozáření rostlin. Jsou to sodíkové výbojky, u nichž byla značně omezena emise v červené oblasti spektra. Ta je sice silně absorbována chlorofylem, ale způsobuje dlouhivý růst rostlin. Rovněž byla omezena emise v zelené části spektra, protože toto záření povrchové orgány rostlin ve značné míře odrážejí a jeho absorpce chlorofylem je velmi malá. Výrazně byla posílena modrá složka emitovaného záření, která je silně absorbována chloro-

hodnotit zdravotní stav a estetický dojem rostlin. Nedostatek červené dále znamená nedostatek fotoperiodicky aktivního záření, takže je značně omezena indukce a tvorba květů. Jsou tedy vhodné především pro pěstování zeleniny, pro zakřeňování řízků, pěstování sazenic a mladých rostlin, pro pěstování a udržování dřevin a stálezelených rostlin.

Pro pěstování a udržování kvetoucích rostlin je zapotřebí, aby zdroje záření měly dobrou fotosyntetickou, ale také fotoperiodickou účinnost. K tomu je třeba, aby



Obr. 3. Poměrné spektrální složení záření výbojek

Tab. 1. Technické parametry výbojek vhodných pro doplňkové osvětlování ve sklenících

Výbojka	Napětí (V)	Příkon (W)	Světelný tok (klm)	Zářivý tok FAR (W)	Zářivý tok FPR (W)	Podání barev R_a	Přepočet
SON-T PIA Agro	230	400	55	134	18 ¹⁾	25	1 klx = 2,43 W/m ² FAR 1 W/m ² FAR = 0,412 klx
SON-T Comfort Pro	230	400	37	103	105 ²⁾	60	1 klx = 2,77 W/m ² FAR 1 W/m ² FAR = 0,361 klx
Powerstar HQI-T 1000/D	230	1 000	85	329	159 ²⁾	85	1 klx = 3,88 W/m ² FAR 1 W/m ² FAR = 0,258 klx
Master HMN-LA 1000W/956	230	1 000	90	293	146 ²⁾	90	1 klx = 3,25 W/m ² FAR 1 W/m ² FAR = 0,307 klx
Sluneční záření							1 klx = 4,72 W/m ² FAR 1 W/m ² FAR = 0,210 klx

¹⁾ jen RED, ²⁾ RED i FAR RED

U vysokohorských rostlin podporuje správný habitus a růstové vlastnosti i ultrafialová složka slunečního záření. Jeho intenzita činí ve vysokohorských oblastech tropického pásma až 2 W/m², z této hodnoty je v oblasti UV-B asi 10 %.

Fotosyntetické osvětlovací soustavy skleníku Fata Morgana

V části polopouště byla vytvořena rampa s devatenácti světlomety MVP 507 s výbojkami MHN-LA 2000W/956 a s je-

denácti svítidla MVF 401 opatřenými výbojkami MHN-LA 1000W/956. Světelnotechnický výpočet soustavy musel zohlednit dříve uvedenou zásadu a značnou členitost terénu. Prostor polopouště tvoří skála, vypínající se asi 6 m nad průcho-

nost plochy je $10,3 \text{ W/m}^2 \text{ FAR}$ (3 170 lx) s minimální rovnoměrností $1 : 1,62$.

Světlotmet v obou částech skleníku jsou ve výšce 5 až 6 m nad pěšinami a jsou umístěny mimo směr obvyklého pohledu při prohlídce rostlin. Pro značnou členi-

načem. V chlazené části skleníku je osvětlení řízeno opět venkovním čidlem, které dává signál k vypnutí, když přírodní osvětlení ve skleníku je vyšší než mezní hodnota fotosynteticky aktivního záření, a dále časovým spínačem, který zajišťuje, aby celková doba osvětlení byla dvanáct hodin denně.

Zkušební provoz osvětlovacích soustav prokázal, že dosahované intenzity ozáření rostlin umožní výrazně zvýšit aktivitu jejich fotosyntetických procesů i zlepšit intenzitu kvetení. Zvolené světelné zdroje vyvolávají i velmi příjemný optický dojem u návštěvníků expozic. Přírodní osvětlení terénu ve skleníku je vždy difuzní, i při jasné obloze. Osvětlení instalovanými světelnými zdroji naopak vytváří stíny v terénu i v rostlinném porostu. Krajina je tudíž mnohem plastičtější a prostornější, jakoby ozářená letním sluncem. Podání všech barev je velmi příjemné a téměř přirozené. Poněkud větší podíl emitovaného záření ve žlutozelené oblasti mírně zesvětluje barvu listů, což vyvolává pocit tepla a příjemné pohody a výborně do-
tváří dojem pobytu ve skutečné přírodě jižních zemí.



Obr. 4. Osvětlovací soustava z pohledu od vstupních dveří (detail) – tři řady svítidel (zleva Philips MVF 401 s výbojkami MHN-LA 1000 W/956, Philips MVP 507-WB s výbojkami MHN-LA 2000 W/956, Philips MVP 507-MB s výbojkami MHN-La 2000 W/956)

zí pěšinou podél východní stěny skleníku. Vedle této pěšiny je příchozí chodník, klesající do tunelu ve skále, zahloubený u vstupu do skály 1,8 m pod základním terénem. I tato prohlubeň je osázena rostlinami, které musí být přisvětlovány. Realizovaná soustava zajišťuje průměrnou intenzitu ozáření $14,1 \text{ W/m}^2 \text{ FAR}$ (při zvolených výbojkách 4 330 lx). Rovnoměrnost osvětlení je velmi příznivá. Vyloučili se horní okrajová pásma skály, která jsou pro návštěvníky zrakově nepřístupná a kde vegetují rostliny nenáročné na světelné podmínky, je minimální rovnoměrnost osvětlení $1 : 1,41$. Soustava je doplněna ultrafialovými zářiči, vytvořenými svítidly Leo/A-151 s odejmutými krycími skly a osazenými výbojkami Cleo HPA 400/S.

Protože bylo nutné podle požadavků výrobce svítidel zajistit, aby v průběhu činnosti svítidel nepřesáhla teplota okolí $25 \text{ }^\circ\text{C}$, je v prostoru nad svítidly umístěno čidlo teploty, které při případném zvýšení teploty celou osvětlovací soustavu vypne.

V chlazené části skleníku se přisvětluje jen střední část celkem rovinatého terénu.

K tomu účelu bylo v jedné řadě nad pěšinou instalováno pět světlotmetů MVF 401 s výbojkami MHN-LA 1000W/956 a jeden světlotmet 5STARS 2/A45 s výbojkou HPI-T Plus 400W. Průměrná ozáře-

nost osvětlovaného terénu v části polopouště jsou ovšem různé skloněny a natočeny, takže část světelných toků směřuje ke vstupním dveřím. Zde mohou způsobit nepříjemné oslnění návštěvníků, kteří se při vstupu do prostoru orientují v terénu a mohou pohlédnout i vzhůru na rozsvícená svítidla. Aby se zamezilo oslnění, stanovuje projekt zavěsit na oba boky všech světlotmetů, jejichž index oslnění UGR podle ČSN EN 12 464-1 je v místě vstupu do skleníku vyšší než 20, stínící clony. Tímto opatřením se dosahuje celkového indexu oslnění od všech svítidel nižšího než 24. Hodnota platí při jasu pozadí, který vytváří záření oblohy pronikající do skleníku v devět hodin středoevropského času zataženého dne v polovině prosince.

Činnost osvětlovacích soustav je řízena automaticky. V části polopouště se soustava uvádí do pohotovosti denně po východu slunce. Venkovní čidlo intenzity ozáření zajišťuje zapnutí světelných zdrojů vždy, když intenzita přírodního ozáření ve skleníku poklesne pod mezní hodnotu fotosynteticky aktivního ozáření. Uvnitř skleníku v části polopouště je umístěno čidlo, které zjišťuje celkovou dávku ozáření (od slunce, oblohy i umělých zdrojů) a dává signál k vypnutí zářičů po dosažení nastavené optimální dávky ozáření. Ultrafialové zářiče v části polopouště se zapínají a vypínají denně časovým spí-

Literatura:

- [1] BICKFORD, E.: *Lighting for plant growth*. Kent, 1972.
- [2] ČSN EN 12 464-1 *Světlo a osvětlení – osvětlení pracovních prostorů, část 1: vnitřní pracovní prostory*.
- [3] HABEL, J. a kol.: *Světelná technika a osvětlování*. Praha, 1995.
- [4] HAŠ, S.: *Fotoperiodické ozařování rostlin. Fotosyntetické ozařování rostlin*. In: Zahradnický slovník naučný, 2, Praha, 1996.
- [5] HENDRICKS, L. a kol.: *Assimilationslicht*. Braunschweig, 1993.
- [6] HUTLA, P. – ČIŠTÍNOVÁ, I. – HAŠ, S.: *Použití umělých světelných zdrojů při přisvětlování sadby brukve*. Zemědělská technika, 1987, 33, č. 10.
- [7] JELÍNKOVÁ, H. – HAŠ, S.: *Technické a energetické parametry ozařovačů skleníkových rostlin*. Zemědělská technika, 1978, 24, č. 5.
- [8] McCREE, K. J.: *Photosynthetically active radiation*. In: Encyclopedia of plant physiology, Bd. 12, New York, 1981.
- [9] MEYER, J. – HENDRIKS, L.: *Pflanzenbelichtung*. Bonn, 1994.
- [10] Philips Licht Information: *Künstliche Belichtung im Gartenbau, sine*.
- [11] SVENTICKIJ, I. I.: *Oценка fotosyntетической эффективности оптического излучения*. Světotechnika, 1972, č. 4.
- [12] VOLF, M. – HAŠ, S.: *Osvětlování pro asimilaci. Osvětlování s fotoperiodickou účinností*. In: Zahradnický slovník naučný, 4, Praha, 1999.

Recenze: Ing. Petr Hutla, CSc.