

Fyzikální aspekty laserové stimulace osiva

Laser je zdroj záření (světla), které se vyznačuje obvykle úzkou, přesně definovanou spektrální šířkou (monochromaticnost), malou divergencí (rozbíhavostí) svazku a vysokou hustotou záření.

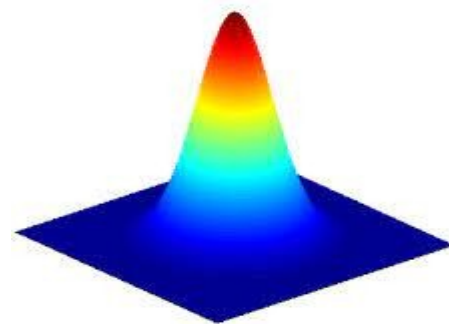
Historicky byly první lasery s plyným aktivním prostředím (konstrukční prvek laseru, ve kterém je generován svazek laseru se svými specifickými vlastnostmi). To určuje vlastnosti generovaného záření (např. He-Ne laser, s vlnovou délkou 632,8 nm z roku 1980 měl konstrukční délku 2 metry a výkon 70 mW. Nevýhodou takových typů laserů je velká konstrukční délka a citlivost na vlivy vnějšího prostředí. Tyto lasery mají pořád využití pro některé vlastnosti především v metrologii. Vývoj laserů šel cestou rozvoje různých aktivních prostředí laserů, plyných, organických a pevnolátkových. To rozšířilo spektrum dostupných vlnových délek od nejkratších rentgenových až po infračervené. Současně se rozšířil i dostupný výkon laserů a s jejich hromadnou výrobou mnohonásobně klesla jejich cena. Soubor těchto faktorů otevřel prostor pro oživení aplikací laserové stimulace v rostlinné výrobě.

Základem úspěchu pro využití laseru v zemědělské výrobě je použití vhodné vlnové délky, stimulační expozice, intenzity laserového svazku a rovnoměrná aplikace záření. Experimenty ukazují, že pro různé plodiny jsou účinné různé vlnové délky a různé expozice, přičemž **rovnoměrnost aplikace** zvolené stimulační dávky je zásadním faktorem její reprodukovatelnosti.

Vlastnosti laserového svazku a jeho úpravy pro aplikaci.

Mimo výše zmíněnou monochromaticnost a malou divergenci, se obvykle vyznačuje Gaussovským rozložením energie ve svazku. Všechny tyto vlastnosti je potřeba vzít v úvahu pro reprodukovatelnou, rovnoměrnou aplikaci při stimulaci.

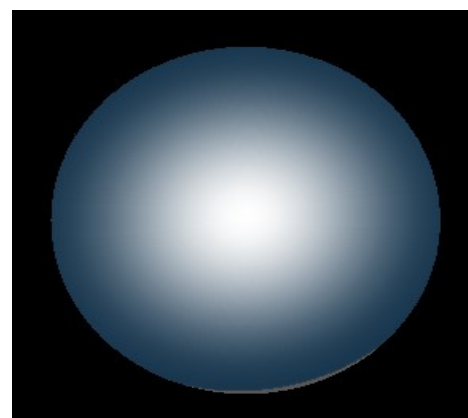
Na obrázku vpravo je typické, Gaussovské, rozložení energie ve svazku laseru. Je nerovnoměrné, na ose svazku je maximální energie a k okrajům svazku klesá. Vizually je to těžko hodnotitelné – střed svazku bývá pro oko „přezářený“, ale úbytek intenzity k okraji svazku můžeme okem kvalitativně zhodnotit. Pro přímou aplikaci je takový svazek nevhodný – má obvykle malý průměr (několik desetin až jednotky milimetrů podle typu laseru) a značnou nerovnoměrnost rozložení energie.



Pro dosažení větší plochy pro stimulační aplikace a současně rovnoměrnosti energie můžeme zvolit několik postupů:

I. Statické postupy aplikace:

- Použitím klasické sférické čočky vhodné ohniskové vzdálenosti, můžeme transformovat úzký svazek laseru a pokrýt tak libovolně velkou (kruhovou) plochu. Nerovnoměrnost energie ve svazku zůstává zachována. Pokud odcloníme svazek na menší průměr, zlepšíme rovnoměrnost rozložení energie. Toto je „vykoupeno“ ztrátou odcloněné energie. Současně značně snížíme energii laseru, kterou aplikujeme na biologický materiál.



- Použitím válcové čočky vhodné ohniskové vzdálenosti, můžeme svazek rozšířit jen v jednom směru. Původní svazek transformujeme do „čáry“. V obou směrech (podél i napříč „čáry“) zůstává zachován původní, Gaussovský profil. Opět je snížena energie v ose svazku. Zlepšení rovnoměrnosti je zde možné dosáhnout odcloněním okrajových částí svazku. I tento postup vede ke ztrátě energie.

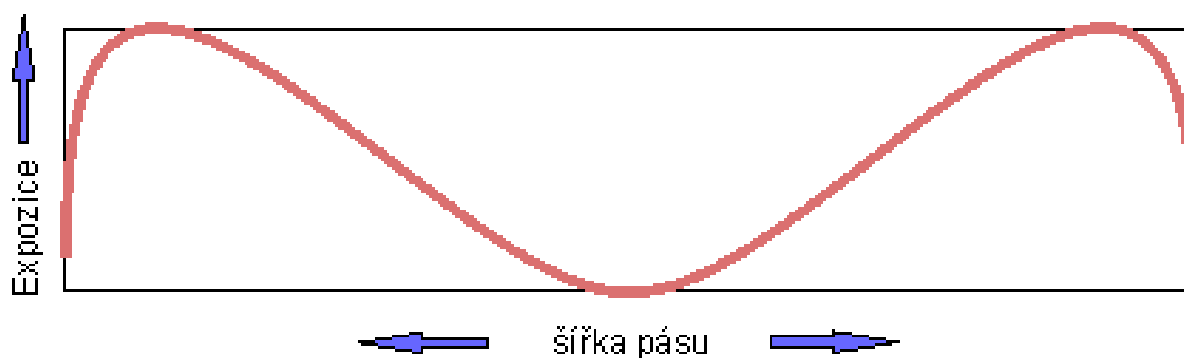
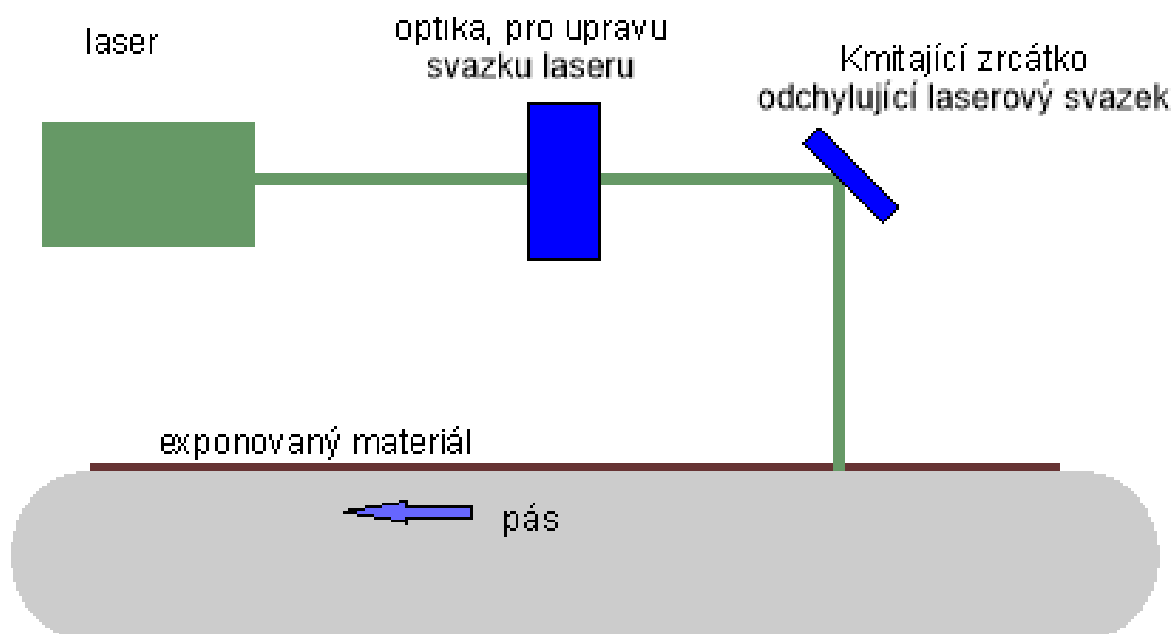


Výhoda těchto úprav laserového svazku je použití běžně dostupných, konvenčních optických prvků. Nevýhoda značné snížení intenzity v ose svazku a ztráta energie na úkor rovnoměrnosti při aplikaci. (platí nepřímá úměra – čím rovnoměrnější rozložení energie, tím větší množství odcloněné /ztracené energie).

II. Optomechanické postupy aplikace:

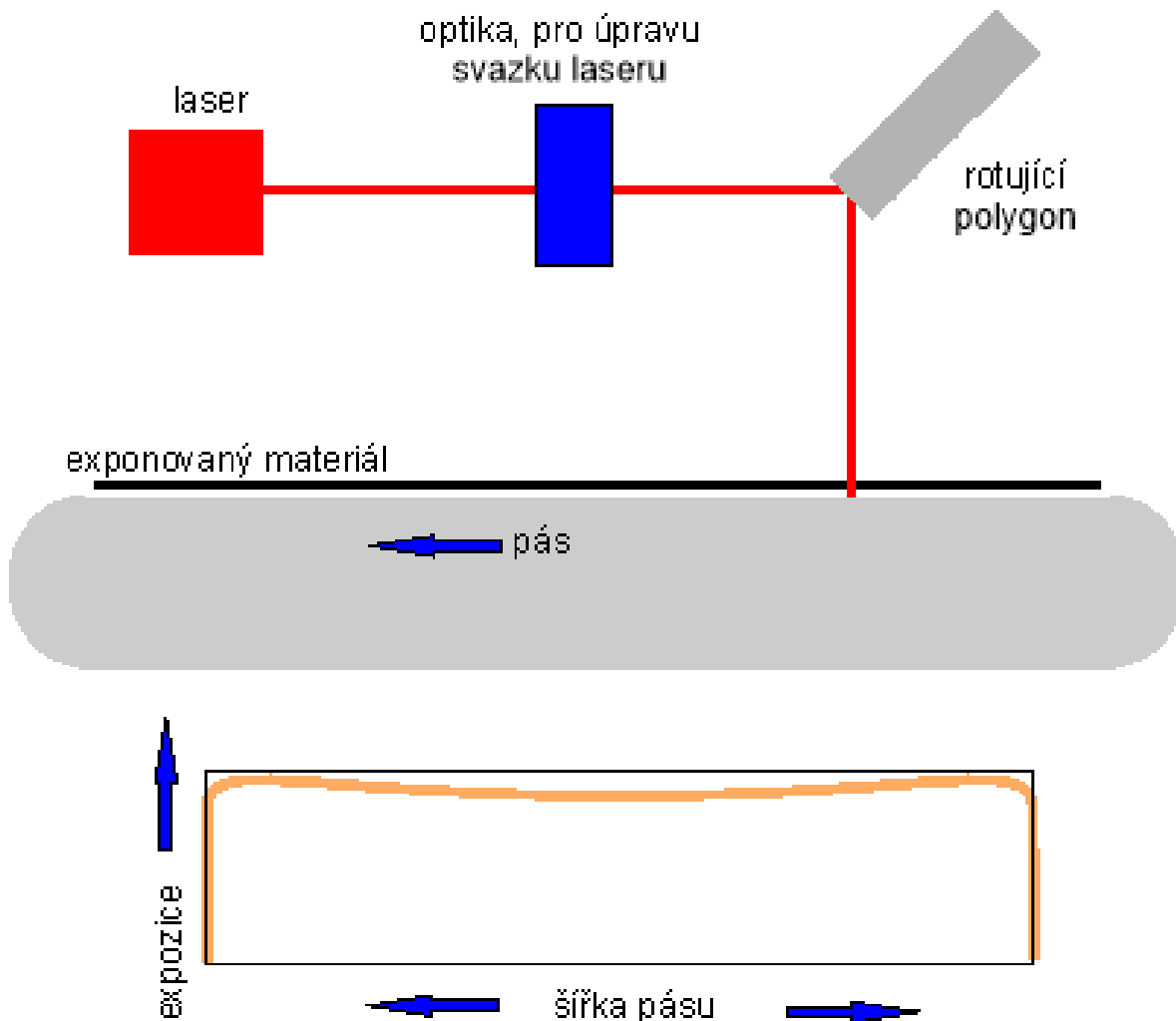
Společným prvkem těchto aplikací je pohyblivý dopravníkový pás, na který je rozvrstven materiál, určený ke stimulaci. Na dopravníku je vytvořena linie laserového svazku. Při pohybu pásu je stimulovaný materiál exponován „přebíhajícím“ svazkem laseru.

- Aplikace laserového svazku pomocí „rozmitání“ zrcátkem, spojeným s elektromagnetickou cívkou. Tato realizačně jednoduchá metoda umožní vytvořit čáru, která má šířku v jednom směru danou původní stopu laserového svazku, délka čáry je dána úhlovou amplitudou kmitání zrcátka. Laserový svazek při použití této metody kmitá vratně rychlostí, která je v každém místě čáry určena funkcí cosinus. Nejvyšší rychlost pohybu stopy svazku je v okrajích čáry, nejnižší rychlost je uprostřed čáry. Intenzita ve svazku je rovnoměrná. Posuzujeme-li parametr expozice (pro jednoduchost je expozice dána jako součin energie svazku a převrácená hodnota rychlosti pohybu svazku). Z toho důvodu je intenzita zachována, ale expozice je značně nerovnoměrná z důvodu nerovnoměrné rychlosti svazku. Zlepšení rovnoměrnosti expozice je možné opět za cenu ztráty energie.



- Aplikace laserového svazku pomocí „rozmitání“ rotujícím polygonem.

Konstrukčně komplikovanější řešení se sestává z rotujícího polygonu (zrcadlový mnohostěn). Pokud na rotující polygon dopadá laserový svazek, dochází při rotaci polygonu ke změně úhlu dopadu a odrazu laserového svazku na jednotlivých reflexních plochách polygonu. Laserový svazek se svým původním energetickým profilem potom „přebíhá“ a vytváří linii na pohybujícím se pásu. Rozložení energie svazku zůstává stejné, jako v původním svazku, rovnoměrnost expozice je i v tomto případě dána opět rychlostí „pohybu“ stopy svazku v linii, kterou svazek vytváří na pásu. Ta je v tomto případě, podle konfigurace, v rozsahu do tří procent. Ztrátu energie u aplikace této metody způsobuje odstínění části linie, nutné v okrajích, kdy svazek přechází z jednoho zrcátka na další. Množství odstíněné energie narůstá s velikostí průměru svazku. **I při těchto ztrátách vychází tato metoda aplikace laserového svazku z hlediska expozice rovnoměrně s malou energetickou ztrátou.**



Expozice je myšlena fyzikální veličina vyjadřující kolik záření prošlo určitým bodem prostoru – v našem případě každým bodem na dopravníkovém pásu. Vzhledem k pohybu pásu je velikost expozice určena přímo úměrně intenzitou záření laserů (laserů) a nepřímo úměrně rychlosti posuvu pásu. **Rovnoměrná expozice a vlnová délka působících laserů jsou hlavní parametry stimulačního efektu pro osivo.**

Důležitým aspektem je pochopení, jak probíhá absorpce záření biomateriálem. Hloubka, do které záření pronikne je dána dopadající intenzitou, tloušťkou materiálu a absorpčním koeficientem. Toto je popsáno

Lambertovým zákonem: $I = I_0 \cdot e^{-\beta \Delta}$,

(kde I je intenzita záření, která proniká do hloubky Δ , I_0 je dopadající intenzita záření, e = Eulerovo číslo, tj. přibližně 2,71828182846, β je absorpční koeficient materiálu).

Problém jakéhokoliv přesného výpočtu je komplikován neznalostí absorpčního koeficientu β . Rostlinný materiál který je stimulován, je z hlediska procházejícího záření heterogenní. V uvedeném zákoně je tloušťka a absorpční koeficient v exponentě vztahu. Ze zákona vyplývá, že intenzita záření, která prostupuje materiálem je **exponenciálně utlumována**. Pokud aplikujeme záření nízké intenzity, nemusí i při vysoké expozici/expoziční dávce (součin intenzity záření a času působení) proniknout v hodnotě, která je **prahová pro stimulační efekt**. Stanovení vhodné stimulační intenzity záření a expoziční dávky stanovujeme v současné době experimentálně.

Současně je otevřenou otázkou absorpční spektrum exponovaného materiálu. Lze očekávat, že různé plodiny budou mít toto absorpční spektrum různé, a proto k jejich optimální stimulaci může být vhodná jiná vlnová délka stimulačního laserového záření. I volba stimulační vlnové délky je stanovena experimentálně. Vzhledem k tomu, že exponovaný materiál je organického původu, lze zde očekávat široké absorpční spektrum, které vytváří jistou variabilitu při volbě stimulační vlnové délky použitého laserového záření. Každá vlnová délka, která odpovídá absorpčnímu spektru exponovaného materiálu může být při správně zvolené expozici stimulační.

FYTOLASER

je zařízení pro stimulaci osiva a sadby laserovým zářením. Je navrženo vysoce variabilně pro široké spektrum použití. V současné době je **FYTOLASER** využíván především pro experimenty stimulace osiva a sadby a tomu je přizpůsobena jeho konfigurace. Hlavní prvky jsou násypka, dopravníkový pás a expoziční laserová "hlava".

Laserová hlava obsahuje lasery a optomechaniku pro distribuci laserového záření na vrstvu osiva na páse. Zvolená konfigurace využívá rozmítání laserového svazku do linie pomocí polygonu. Zařízení FYTOLASER umožňuje úpravu a distribuci laserového svazku tak, aby laserový svazek pokryl s vysokou rovnoměrností, upravenou intenzitou laserového svazku a zvolenou expoziční dávkou. Intenzita laserového svazku je upravována běžnou optikou, expozice je nastavena rychlostí posuvu pásu.

I tato základní konfigurace má svoje limity v pokrytí vhodné šířky pásu. Proto je v laserové hlavě více polygonů s unikátním nastavením více laserů. Každá ze skupin laserů vytváří za provozu na dopravníkovém páse linii, v níž dochází k expozici osiva. Do jedné skupiny laserů je možné umístit lasery různé vlnové délky, případně různých výkonů. Lasery jedné skupiny je možno zapínat jednotlivě, nebo společně. Svazek každého laseru je podle potřeby optikou upravován na vhodný průměr, to určuje jeho intenzitu v ose svazku. Opticko-mechanické uspořádání **FYTOLASERu** zajišťuje úpravu laserového svazku na vhodnou expozici a rovnoměrné rozdělení energie laserů v linii na pásu v šířce, která umožňuje praktické agrární použití.

Násypka – zásobník na exponované osivo- je vybavena vibrátorem, posuvným hradítkem, které vytváří ve dně násypky štěrbinu. Tato sestava zajišťuje při provozu rovnoměrné vysypávání materiálu pro expozici z násypky na dopravníkový pás tak, aby se osivo vrstвило na dopravníkový pás rovnoměrně ve vrstvě, odpovídající příčnému rozměru exponovaného zrna. Konstrukce je ověřena jako funkční pro osivo velikosti máku až sóje.

Dopravníkový pás je poháněn elektromotorem, elektronika umožňuje měnit rychlost posuvu pásu. Jeho šířka odpovídá šířce expoziční linie laseru. Součástí dopravníkového pásu je „vysypka“, která zajišťuje sběr exponovaného osiva do nádoby k další manipulaci.