

Obrázek 2: Příčné schéma kryogenní hlavy zesilovače. Pro konfiguraci a) jsou rozměry $a_1=5$ cm, $a=7,5$ cm, pro konfiguraci b) $a_1=10$ cm, $a=12,5$ cm. Šířka nerezových ocelových rámečků je v základní konfiguraci $b=2a$.

Maximální teplotní rozdíl v kterémkoli směru v rovině (x, y) v jedné desce je:

$$\Delta T(x,y) = 3 \text{ K}$$

Poznámka 1: $\Delta T=6$ K je ještě tolerovatelné, ale pravděpodobně bude zapotřebí upravit optiku.

Poznámka 2: Teplotní gradienty desek v podélném směru (z) jsou nepodstatné (za předpokladu, že nebudou vyvolávat tlak, který by vytvářel dvojlom).

Poznámka 3: Tepelné vlastnosti materiálů:

1. Tepelná vodivost keramických desek:

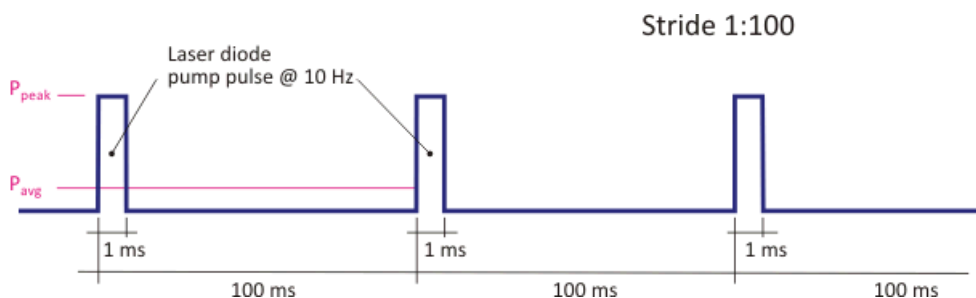
Doposud nebyla nalezena v literatuře žádná data týkající se závislosti na teplotě, ale myslíme si, že za výchozí hodnoty lze považovat $18 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$.

2. Tepelná vodivost a tepelná kapacita helia při kryogenních teplotách (150 až 180 K): V literatuře lze nalézt jen málo údajů - bude potřeba vytvořit soubor spolehlivých měření, stejně jako u stavové rovnice (EOS) lze kryogenní helium považovat za ideální plyn v simulacích.

3. Tepelná vodivost nerezové oceli (a / nebo jiných materiálů): dostupná.

2. Parametry dodávaných pulsů (z modulů laserové diody)

Simulace by měla napodobit stav, jako kdyby čerpání bylo stejnosměrné (délka 1 ms čerpaných pulsů je krátká), tj. časově sjednotit ztrátové teplo.



Obrázek 3: Časový diagram čerpání (pro 10 Hz a 1 ms pulsů, $P_{\text{average}} = P_{\text{peak}}/100$).

Konstrukce zesilovačů předpokládá, že hustota energie čerpaného světla (vlnová délka ~ 940 nm) je 5 J/cm^2 (tj. 1 ms trvajícím pulsu odpovídá maximální intenzita kW/cm^2). Jak bylo uvedeno výše, pro opakovací rychlost 10 Hz a trvání impulsu 1 ms platí průměrný výkon = maximální výkon / 100).

V simulaci se předpokládá, že čerpání (tedy zdroj termického tepla) je dodáváno rovnoměrně napříč celým aktivním médiem (rovina $x - y$).

Předpokládáme, že účinnost přeměny z diody (~ 940 nm) na laserové světlo (1031 nm) je 30% -> 70% dodávaného světla je rozptýleno jako termální teplo.

Celkový dodávaný výkon a ztrátový výkon v YAG keramických destičkách pro naše dva zjišťované případy, tj. hodnoty laseru a) 100 J a b) 500 J, jsou:

a) Dodávaný výkon (průměrný) = 3,3 kW, ztrátový výkon (průměrný) = 2,3 kW

b) Dodávaný výkon (průměrný) = 16,7 kW, ztrátový výkon (průměrný) = 11,7 kW

Předpokládá se, že helium neabsorbuje dodávané světlo.

V axiálním směru podél osy z má řez absorbovaného dodaného světla, tj. zdroje termálního tepla, obecný řez

$$P_{dissipated} = A [\exp(-\alpha z) + \exp(+\alpha(z - L))]$$

kde

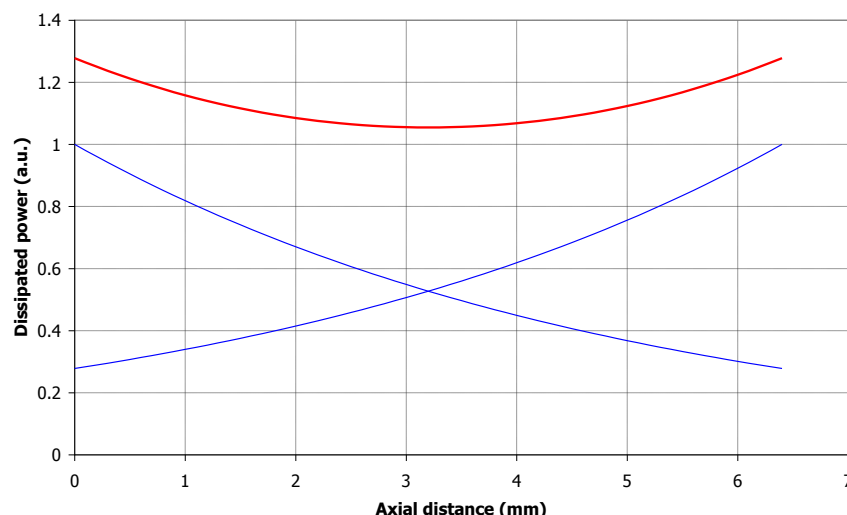
A ... konstantní (ztrátové teplo v $\text{Wcm}^{-3}\text{cm}^{-1}$)

$\alpha = 0,2$ (základní hodnota)

z ... vzdálenost zesilovacího média (YAG keramické destičky), viz Obrázek 2.

$L = 6,4 \text{ cm}$ (celková délka zesilovacího média)

V obou případech, tj. při hodnotách a) 100 J a b) 500 J, je ztrátové teplo $\sim 14,4 \text{ Wcm}^{-3}$



Obrázek 4: Červená křivka: podélný řez ztrátového tepla (modře je znázorněno ztrátové teplo v důsledku dodávaného světla přicházejícího z každé strany). Křivka je v relativních jednotkách, bez konstanty A (viz vzorec výše).

3. Parametry proudění helia

Základní parametry proudění chladícího média jsou podobné parametrům u Mercury (LLNL), v obou případech, tj. při hodnotách laseru a) 100 J a b) 500 J, jsou:

Vstupní teplota	175 K
Vstupní tlak	4 atm
Vstupní rychlost	0,1 Mach

Jak už je zmíněno výše, helium je ideálním plynem pro účel simulací.

Výstupní teplota a tlak helia jsou volné proměnné.

4. Parametry simulací, které mají být optimalizovány

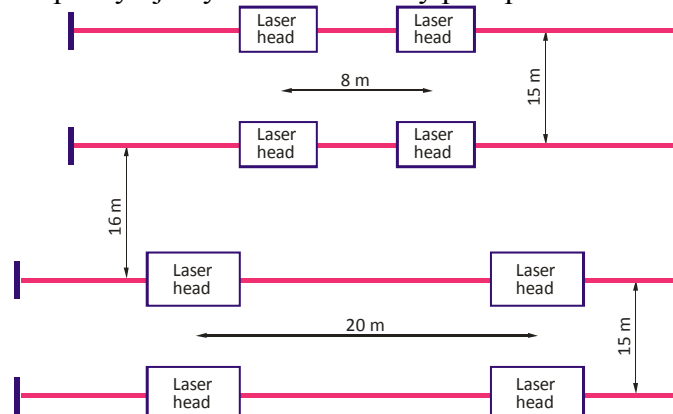
- Pro základní geometrické parametry, změny vstupního tlaku a rychlosti helia.
- Změny podélné geometrie: jak je zmíněno výše, v parametrech proudění se bere v úvahu tloušťka desek (např. uvedené dva případy, $w=5$ mm a $w=10$ mm při zachování celkové tloušťky = 64 mm). Rovněž se přihlíží i ke kolísání šířky heliového kanálu, k tepelné rovnováze a laminaritě proudění.
- Změny okolního materiálu namísto nerezové oceli (k diskuzi).
- Aerodynamická konstrukce vrtulí (k diskuzi).

5. Operační schéma

- Nastartování zesilovačů <10 min (s předem spuštěným kryogenickým okruhem).
- Maximální doba provozu je 10 hodin denně, s typickým zátěžovým schématem 5 dnů za týden.
- Dva 100J a dva 500 J laserové systémy musí být schopné běžet současně se dvěma zesilujícími hlavami, které jsou navrženy s ohledem na velikost každého svazku. Navržený kryogenický systém musí být naddimenzován pro budoucí přidání dalších laserových svazků.

5. Výchozí geometrické schéma systému

Níže zobrazené schéma poskytuje výchozí rozměrový plán pro dva 100J a dva 500J svazky.



Obrázek 5: Schéma kryogenické laserového zesilovače: dva 100J a dva 500J svazky