

OPTIMALIZACE DESIGNU POHLCOVAČE LASEROVÉHO SVAZKU POMOCÍ MKO

LASER BEAMDUMP OPTIMIZATION USING FVM

Helena PICMAUSOVÁ, Pavel CRHA, Karolína MACÚCHOVÁ, Jan HEŘMÁNEK
Martina ŘEHÁKOVÁ, Tomáš MOCEK

Anotace

Příspěvek představuje proces optimalizace konstrukce 5“ pohlcovače vysoko-výkonného laserového svazku pomocí numerické simulace. Numerický model byl vytvořen v prostředí SOLIDWORKS Flow Simulation modulu, na bázi metody konečných objemů se strukturovanou výpočetní sítí. Konstrukce pohlcovače byla optimalizována ve dvou krocích s důrazem na vhodné charakteristiky proudového pole pro efektivní odvádění tepelné energie ze systému. Cílem bylo dosažení vysokého stupně turbulence, vířivosti a tepelného toku, spolu s minimalizací tlakových a rychlostních ztrát v proudě a zachováním výrobitelnosti prvků sestavy.

Annotation

This presentation introduces the process of optimizing the design of a 5" high-power laser beam absorber using numerical simulation. The numerical model was created in the environment of the SOLIDWORKS Flow Simulation module, based on the Finite Volume Method (FVM) with a structured computational mesh. The design of the beamdump was optimized in two steps with an emphasis on suitable characteristics of the flow field for efficient thermal management. The goal was to achieve a high degree of turbulence, vorticity and heat flux, along with minimizing pressure and velocity losses in the flowfield and maintaining the manufacturability of the assembly elements.

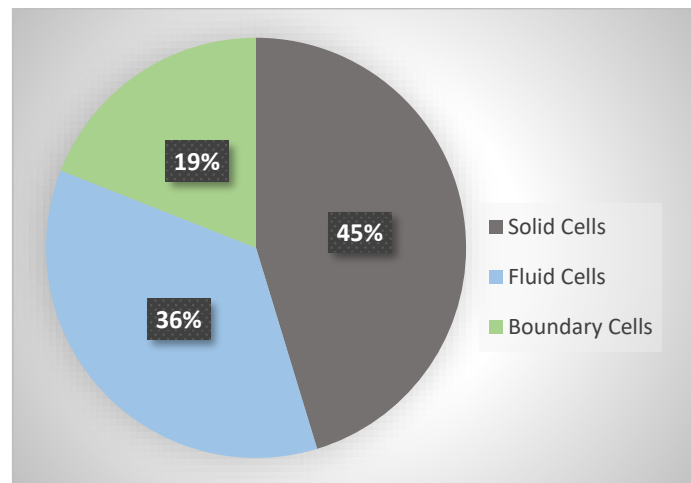
1 ÚVOD

Účelem pohlcovače v laserovém systému, jak naznačuje jeho název, je bezpečně absorbovat energii fotonů, které tvoří laserový svazek. Účinné a bezpečné pohlcovače svazku jsou nezbytnou součástí vysoko-výkonných laserových systémů, které operují nad prahem zničení většiny běžných optických elementů. Specifické konfigurace a materiály jsou voleny dle výkonu a vlnové délky laseru. Pohlcovače představené v tomto příspěvku jsou navrhovány pro laserový systém BIVOJ, operující na vlnových délkách 1030 a 1550 nm. Jde o cylindrické nádoby se skleněným víkem, naplněné proudící vodou. Voda představuje pro tento systém vhodné chladicí medium, jelikož vykazuje pro příslušné vlnové délky výrazný absorpční peak. Pro optimální provoz pohlcovače je pak třeba vytvořit vhodné proudové podmínky pro efektivní odvod tepla.

2 NUMERICKÝ MODEL

Výpočty pro optimalizaci designu pohlcovače byly provedeny v prostředí SOLIDWORKS Flow Simulation za použití řešiče na bázi MKO. Tento řešič využívá algoritmus typu SIMPLE, metodu konjugovaných gradientů a částečný LU rozklad. Výpočet je realizován na strukturované výpočetní sítí, která oproti populárnějším nestrukturovaným a hybridním sítím nabízí v tomto případě několik výhod. Jelikož strukturovanou síť lze snadno uložit v paměti počítače v podobě dvou-, či troj-rozměrného pole, výpočet probíhá velmi rychle a efektivně.

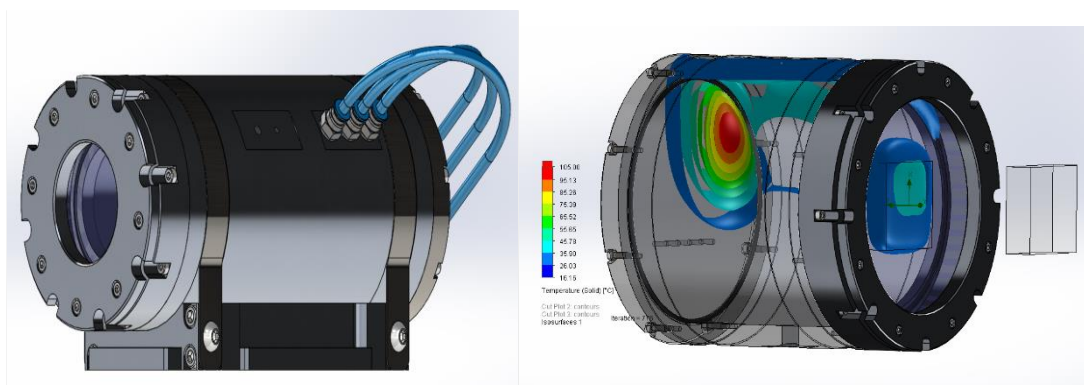
Uživatel má také možnost velmi snadno manuálně ovládat velikost prvků sítě a umístění uzlů a brát v potaz klíčové oblasti v CAD modelu jako jsou ostré hrany, úzké kanály a hranice mezi pevným a kapalným médiem. Síť pro zde prezentované výpočty obsahuje zhruba 4.200.000 buněk tří typů, jak je zobrazeno na Obr. 1.



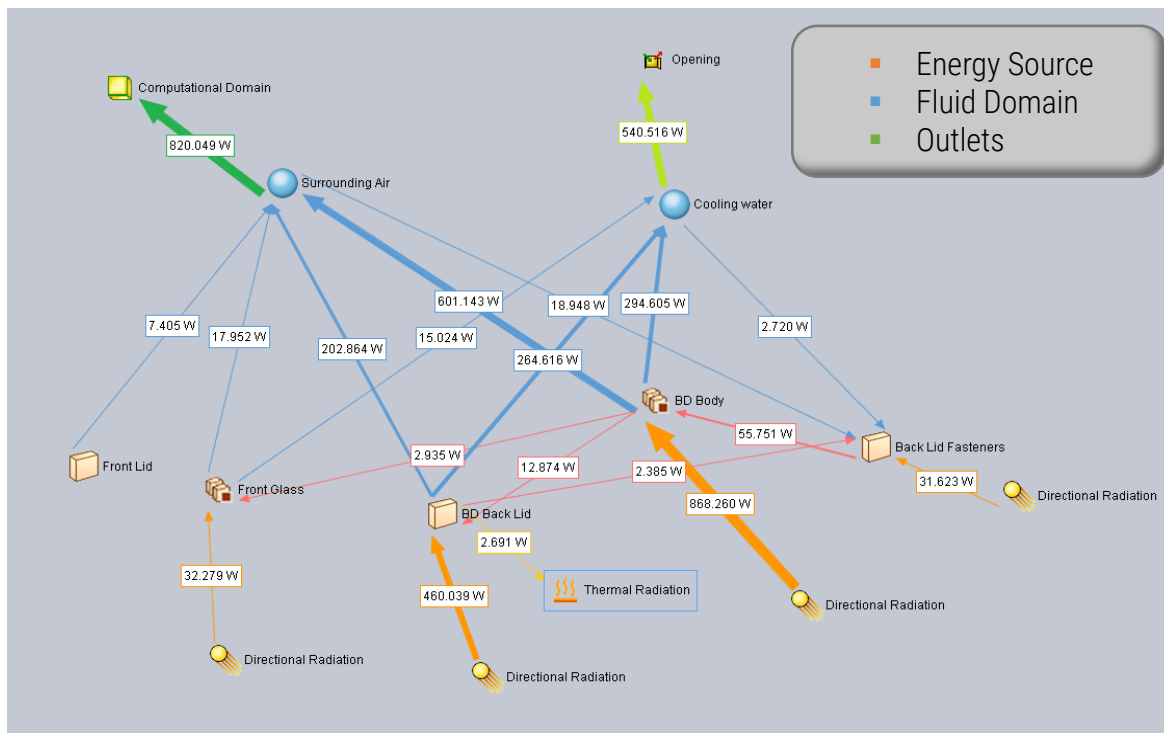
Obr. 1 Typy buněk tvořící výpočetní síť

3 PŮVODNÍ DESIGN

Původní konstrukce, jak je patrné z Obr. 2, má tři vstupní trysky s průtokem 3 l/min a jeden výstup na opačné straně válce. Toto uspořádání nabízelo několik příležitostí k optimalizaci. Vstup proudění umístěný kolmo k obvodu vytvářel proudové pole s výraznou tlakovou a rychlostní ztrátou, přičemž generoval malou intenzitu turbulence uvnitř objemu kapaliny. To vedlo k tomu, že velká část dopadající energie byla pohlcena spíše tělem chladiče než proudící vodou, jak je patrné z Obr. 2 a schématu tepelného toku na Obr. 3.



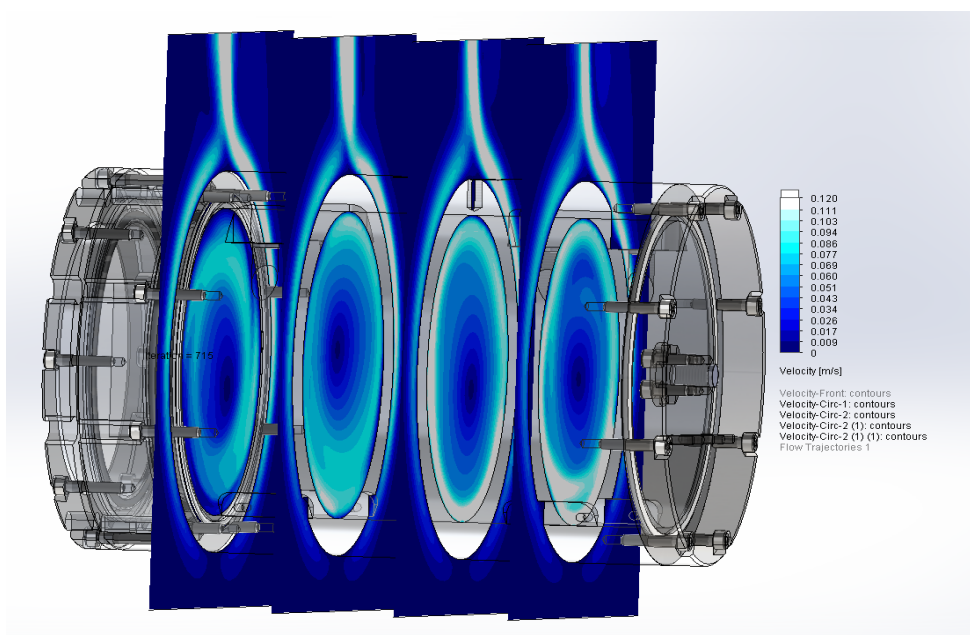
Obr. 2 Původní verze pohlcovače a hotspoty určené prvotní analýzou



Obr. 3 Schéma teplených přenosů v sestavě: Vstupní teplo (oranžová), teplo přenesené tekutinami (modrá) a teplo odvedené ze sestavy (zelená)

4 PRVNÍ OPTIMALIZACE

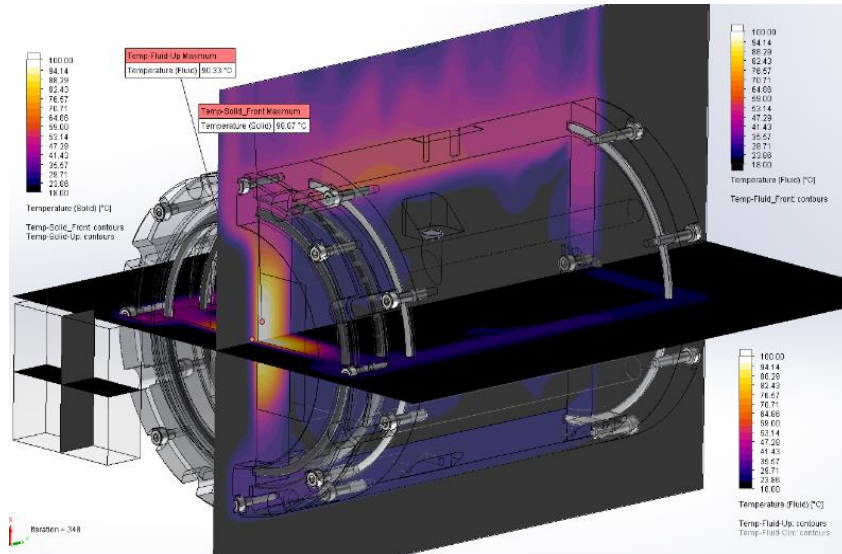
S ohledem na výsledky simulace a možnost budoucího použití zařízení bylo zapotřebí zajistit příznivější charakteristiky průtokového pole. Prvním krokem bylo umístění vstupů a výstupů vody tečně k obvodu těla pohlcovače. Tato relativně jednoduchá úprava vede k vyšší vířivosti v proudovém poli a zlepšení rychlostního pole, jak je znázorněno na Obr. 4. Ačkoli tato verze modelu stále postrádá požadovanou intenzitu turbulence pro optimální chlazení, představuje již efektivnější schéma tepelného přenosu než původní návrh.



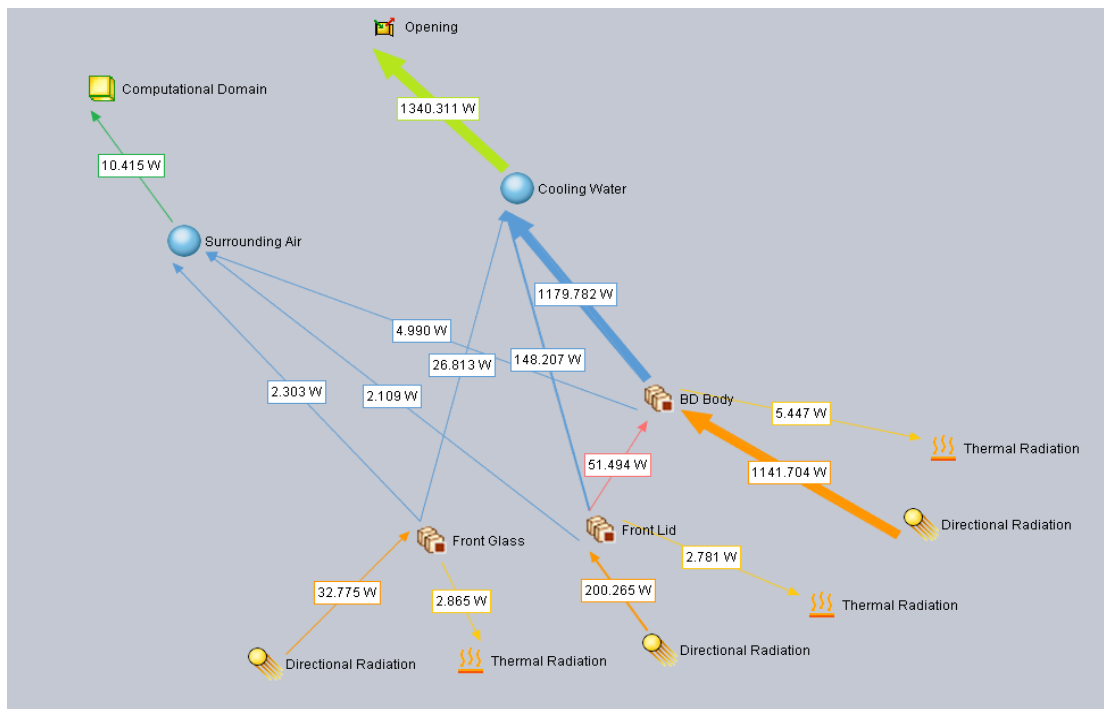
Obr. 4 Průřezy rychlostním proudovým polem v pohlcovači

5 GENERACE TURBULETNÍHO PROUDOVÉHO POLE

Přestože předchozí verze pohlcovače svou chladicí kapacitou plně pokrývají nároky současného laserového systému, s vyšší intenzitou turbulence se výrazně zlepšuje účinnost tepelných přenosů. V další úpravě bylo dosaženo udržitelného turbulentního proudového pole přidáním rozvodných kruhových tyčí v podél vnitřního obvodu těla chladiče. Tato konstrukce, i když je technologicky náročnější na výrobu, se ukázala jako nejpříznivější pro tepelné přenosy, což se odráží v nejnižší maximální teplotě předního skla, jak je patrné z Obr. 5, stejně jako v největší energii odváděné chladicím médiem, a nejmenší tepelnou energií vyzářenou do okolního prostředí – viz graf tepelného toku na Obr. 6.



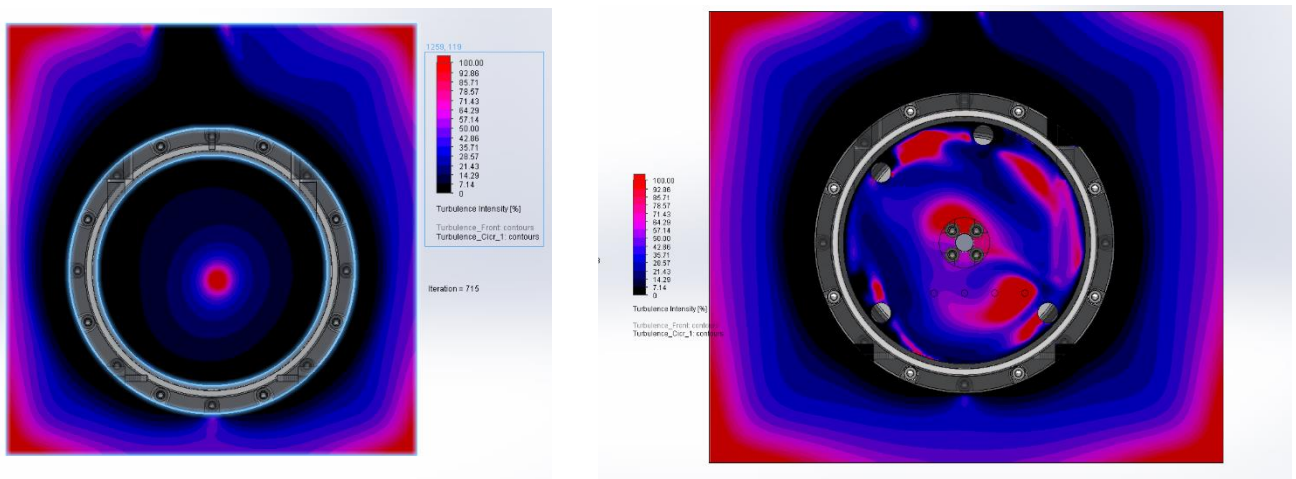
Obr. 5 Řezy teplotním polem vylepšené konfigurace



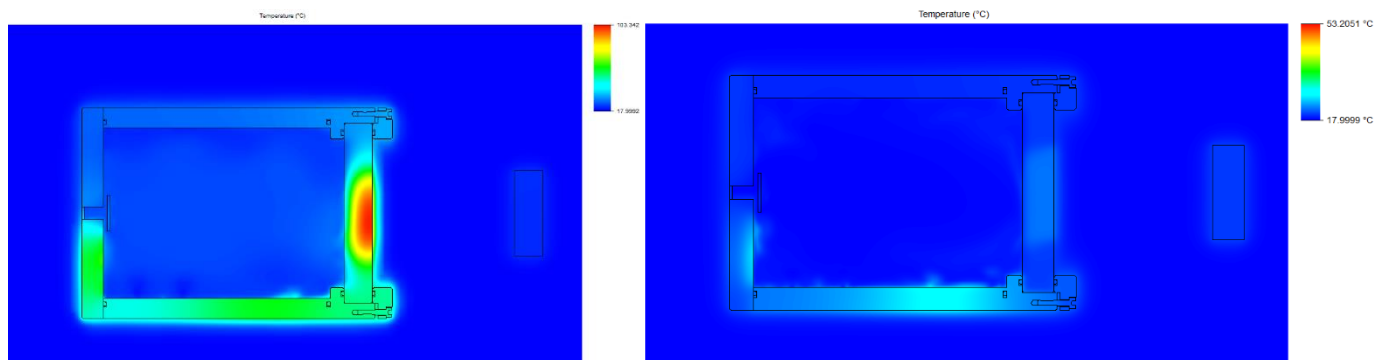
Obr. 6 Graf tepelného toku finální sestavou: Vstupní teplo (oranžová), teplo přenesené tekutinami (modrá) a teplo odvedené do okolí (zelená)

6 ZÁVĚR A SROVNÁNÍ

Zlepšení proudového pole pro účinnější tepelný přenos je dosaženo úpravou existující konfigurace pohlcovače, která pomáhá vytvářet a udržovat turbulentní proudové pole. Srovnání mezi prvotně optimalizovaným a finálním designem na Obr. 7 a Obr. 8 podtrhuje rozdíl v míře turbulence v jednotlivých proudových polích, který umožňuje výrazně účinnější tepelný přenos a tudíž chlazení. Zatímco původní návrh umožňoval odvést za pomoci chladicí vody pouhých 540 W z celkových 1500 W, finální design odvádí pomocí chladicího media 1340 W. Vylepšený design vede k eliminaci hotspotů a téměř úplnému zamezení ohřevu okolního prostředí.



Obr. 7 Srovnání průřezů polí intenzity turbulence pro první iteraci optimalizace (vlevo) a finální design (vpravo)



Obr. 8 Srovnání teplotního pole turbulence pro první iteraci optimalizace (vlevo) a finální design (vpravo). Maximální teplota pro pole vlevo dosahuje 103,3°C, vpravo pak 53,2°C, bez vzniku potenciálně problematických hotspotů.

LITERATURA

- [1] Sobachkin, Numerical Basis of CAD-Embedded CFD, SOLIDWORKS, Dassault Systemes, 2014