

Využití počítačové simulace při návrhu chlazení koncentrátorových solárních systémů

J. Maxa¹, P. Vyroubal¹, J. Vaněk¹, M. Solčanský¹

¹Ústav elektrotechnologie, VUT v Brně, Údolní 53, Brno

E-mail : maxa@feec.vutbr.cz, xyvrou02@stud.feec.vutbr.cz, vanekj@feec.vutbr.cz, xsolca00@stud.feec.vutbr.cz

Anotace:

CAX systémy poskytují komplexní softwarové řešení pro návrh, vývoj, výrobu a management produktu (Product Lifecycle Management - PLM) od jeho vzniku až po skončení jeho životnosti. Jejich pracovní prostředí využívá systémy pro podporu technické dokumentace (CAD), systémy pokrývající oblast NC (CAM) a obecně systémy pro podporu inženýrských prací (CAE). Návrh a optimalizace chladicího zařízení pro odvod tepla koncentrátorových solárních článků je realizován pomocí těchto systémů, což přináší nesporné výhody. Zařízení je analyzováno na proudění tekutiny a přestupu tepla ještě před výrobou funkčního vzorku. Článek navazuje na problematiku prezentovanou na konferenci NZEE 2012.

CAX systems provide a comprehensive software solutions for the design, development, production and product management (Product Lifecycle Management - PLM) from its inception to the end of its life. Their working environment leverages support systems technical documentation (CAD) systems covering the NC (CAM) and general support systems engineering work (CAE). Design and optimization of cooling equipment for heat a concentrator solar cells is realized by these systems, which provides distinct advantages. The equipment is analyzed for fluid flow and heat transfer before manufacturing functional sample.

ÚVOD

Fotovoltaické koncentrátorové systémy používají čočky nebo zrcadla ke koncentrování slunečních paprsků na fotovoltaický článek. Důvodem je snížení velikosti článku k dosažení požadovaného výkonu. Díky tomuto lze přejít k výkonnějším fotovoltaickým článkům, které by byly bez použití koncentrátoru příliš drahé v poměru ke generovanému výkonu. Koncentrování slunečního záření přináší ale i nevýhody spojené s větším zahříváním článku. Světelné záření je tak přeměněno na elektrickou energii pouze zčásti, větší část se přemění na tepelnou energii. Pokud není toto teplo pomocí přidavných chladicích komponent odváděno, může dojít u systémů s velkou koncentrací až k totálnímu zničení.

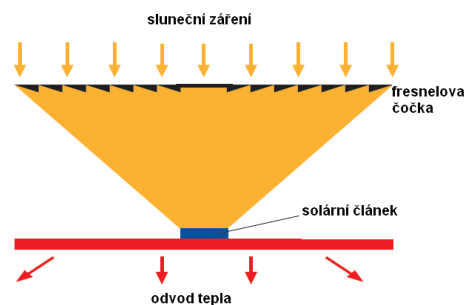
KONCENTRÁTOROVÉ SOLÁRNÍ SYSTÉMY

Koncentrátorové systémy používají stejné materiály pro výrobu článků jako tradiční fotovoltaické panely. Jedná se tedy o články z krystalického křemíku, tzv. první generace (účinnost přeměny 16 až 19 %, speciální struktury až 24 %), GaAs články, tzv. druhé generace (účinnost obecně pod 10%), tenkovrstvé články či články s více PN přechody, tzv. třetí generace (zatím ve stádiu vývoje). Konstrukce systémů je rozmanitá a proto se nároky kladené na články značně liší. Malé koncentrace umožňují použít buď standartních panelů či vhodně uložených standartních článků, u koncentrací v řádu desítek či stovek sluncí však již nejsou takovéto články vhodné. Používají se proto články navrhnuté speciálně pro

tyto aplikace. Nároky na koncentrátorové články jsou ale vyšší, než na ty standartní. Jedná se především o zvýšené teplotní namáhání a velké proudové hustoty v článku dané osvitem o několik řádů vyšším než bez koncentrace [1].

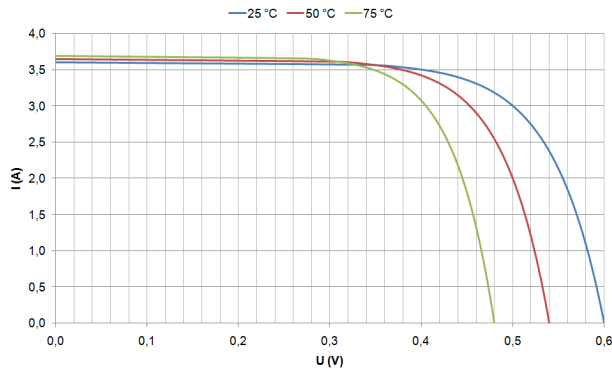
VLIV TEPLoty NA ČLÁNKY

Jak bylo uvedeno, standartní články určené pro aplikace bez koncentrace je pro daný případ možné použít. Jejich účinnost je přibližně o 10% vyšší (při koncentraci 10 sluncí), avšak při vyšší koncentraci výrazně narůstají odporové ztráty. Účinnost článku se tedy bude zvyšovat pouze do určité hodnoty koncentrace, po jejím dosažení bude účinnost opět klesat. Také výrazně poroste teplotní a proudové namáhání článku. Z tohoto důvodu je jejich použití omezené a při vyšších koncentracích je vhodné použít speciálních článků. Tyto články pak dělíme na články s nízkou koncentrací (2 až 100 sluncí), články se střední koncentrací (100 až 300 sluncí) a články s vysokou koncentrací (300 nebo více sluncí) [2].

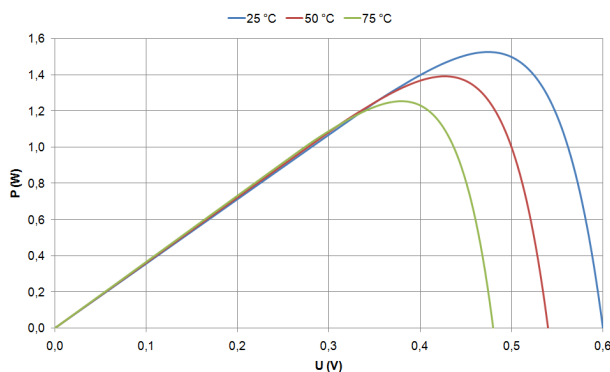


Obr. 1: Koncentrátor s Fresnelovou čočkou

Teplota má výrazný vliv na polohu pracovního bodu. Při vysokých teplotách dochází ke změně elektrických vlastností článku, která vede ke snížení svorkového napětí a pokles svorkového napětí způsobí snížení dodávaného výkonu do zátěže [3].



Obr. 2: Vliv teploty na VA charakteristiku



Obr. 3: Vliv teploty na P charakteristiku

ANALYZOVANÝ MODEL

Analyzovaný chlazený model vycházel z koncepce tvaru funkčního modelu vyrobeného a zkoumaného na Ústavu elektrotechnologie FEKT VUT Brno. Analyzovány byly prozatím 4 varianty, které se lišily v základní charakteristice tvaru pro zjištění vlivu charakteristických změn v koncepci:

- Základní verze – jednoduchý tvar funkčního modelu (obr. 6).
- Poloviční průtok chladicího média na základní verzi pro zjištění vlivu změny velikosti průtoku chladicího média (obr. 7).
- Náběžná hrana a zaoblené rohy pro zjištění vlivu změny aerodynamiky tvaru (obr. 8).
- Přívod média 16ti otvory, zaoblené rohy pro zjištění vlivu změny charakteru přítoku a odtoku chladicího média (obr. 9).

ANALÝZA POMOCÍ MKO

Pro řešení byla použita Metoda konečných objemů. V uvedeném případě se jednalo o tranzientní úlohu řešící dva fyzikální problémy: popis proudění chladicího média a přestup tepla.

Problém proudění chladicího média byl řešen systémem následujících tří parciálních diferenciálních rovnic popisujících proudění vazké tekutiny v karteziánské souřadné soustavě:

Rovnice spjitosti, vyjadřující zákon zachování hmotnosti:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0, \text{ složka } i = 1, 2, 3. \quad (1)$$

Stokes – Navierova rovnice, vyjadřující aplikovanou Newtonovu větu o změně hybnosti

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) + \frac{\partial p}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + S_i, \text{ index } j = 1, 2, 3, \quad (2)$$

Rovnice energie, vyjadřující zákon zachování energii pro stlačitelnou tekutinu:

$$\frac{\partial \rho E}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i (E + p)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} (u_j (\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i) + \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \rho \epsilon + S_i u_i + Q_H, \quad E = e + \frac{v^2}{2}. \quad (3)$$

Tento systém byl doplněn stavovou rovnicí:

$$\rho = \frac{pM}{RT}. \quad (4)$$

V uvedených rovnicích u značí rychlost tekutiny, p tlak tekutiny, ρ hustota, T teplota, e vnitřní energii. S_i jsou vnější hmotnostní síly působící na jednotku hmotnosti (např. tíhová, odstředivá), Q_H přívod či odvod tepla vztážený na jednotku objemu, q_i tok tepla difusní, τ_{ik} tensor vazkých napětí a ij jsou indexy u veličin udávající sumaci dle tří směrů souřadnic (Einsteinova sumace). Jde o trojrozměrný typ proudění stlačitelné, vazké tekutiny s přívodem tepla.

Přestup tepla byl popsán pomocí rovnice zákona zachování energie:

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i H}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} (u_j (\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i) + \frac{\partial p}{\partial t} - \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \rho \epsilon + S_i u_i + Q_H, \quad (5)$$

$$H = h + \frac{u^2}{2},$$

Kde h značí entalpii a tepelný tok definován:

$$q_i = \left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_i}{\sigma_c} \right) \frac{\partial h}{\partial x_i}, i = 1, 2, 3. \quad (6)$$

Zde konstanta $\sigma_c = 0.9$, Pr značí Prandtlovo číslo. Tato rovnice popisuje jak laminární, tak i turbulentní typ proudění. Výpočet je laděn způsobem, že umožňuje přechod od jednoho typu proudění ke druhému.

OKRAJOVÉ PODMÍNKY

Vstup chladícího média:

Objemový tok: 3 l/min = 0,00005 m³/s,

teplota 20.05 °C

Anizotropní tepelná vodivost v pevných médiích byla popsána následující rovnicí:

$$\frac{\partial \rho e}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda_i \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + Q_H, \quad (7)$$

Kde e značí specifickou vnitřní energii, $e = c \cdot T$,

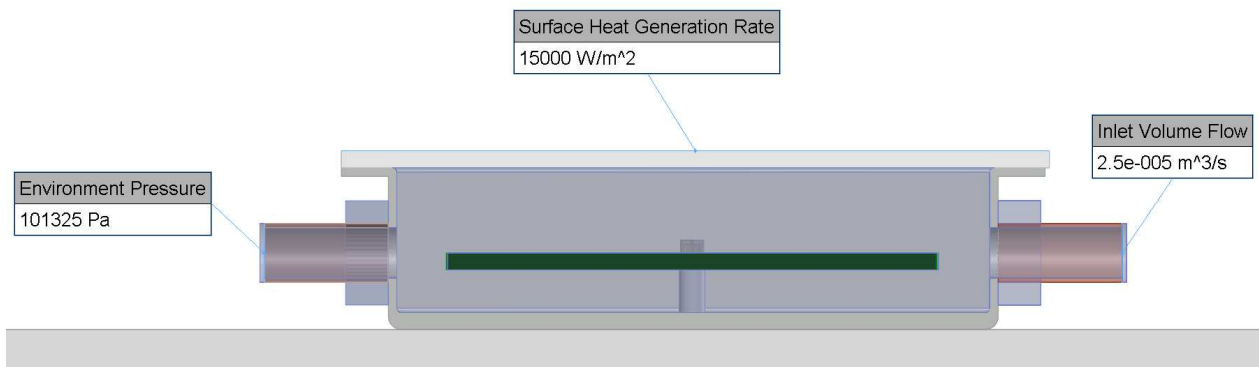
c specifické teplo, λ_i tenzorová tepelná vodivost.

Výstup chladícího média:

Výtok do atmosféry – Statický tlak: 101325 Pa

Na horní povrch skleněné desky:

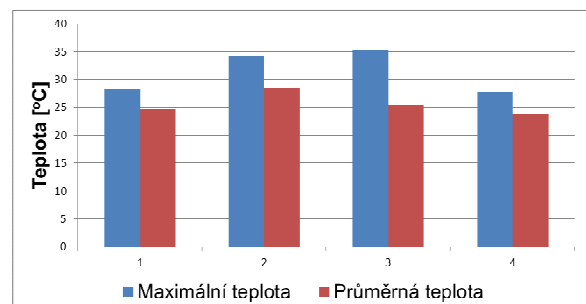
Přivedené teplo na povrch: 15000 W/m².



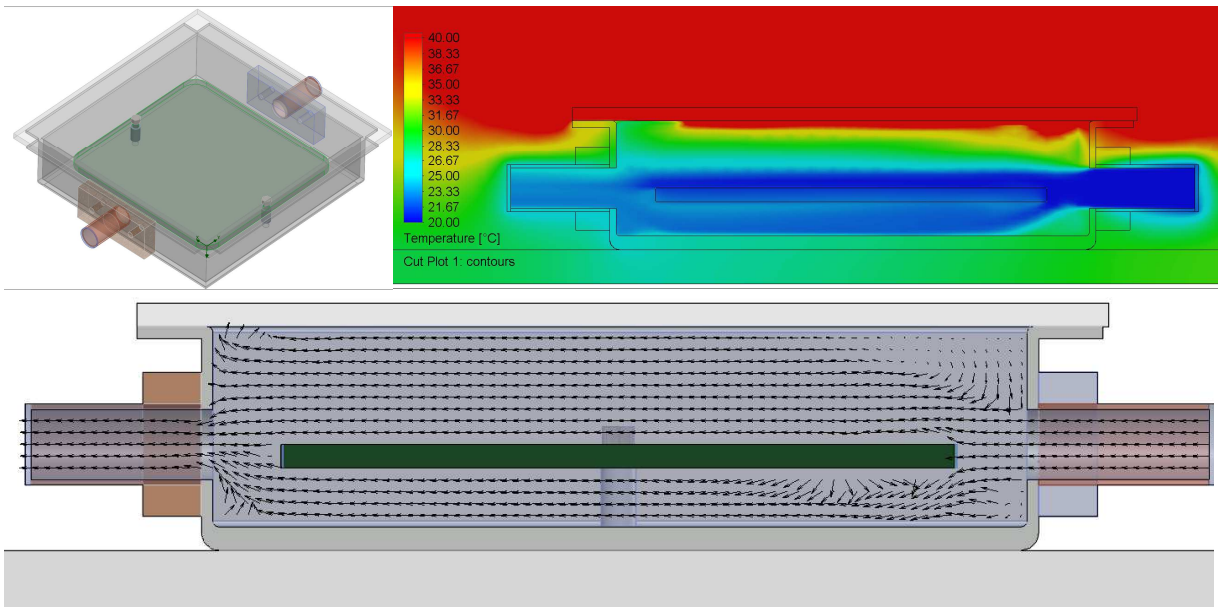
Obr. 4: Okrajové podmínky

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Verze	Maximální dosažená teplota na článku [°C]	Průměrná teplota na článku [°C]
1 Základní verze (obr.6)	28.2	24.6
2 Poloviční průtok média (obr.7)	34.2	28.4
3 Náběžná hrana a zaoblené rohy (obr. 8)	35.3	25.3
4 Přívod média 16ti otvory (obr. 9)	27.8	23.9

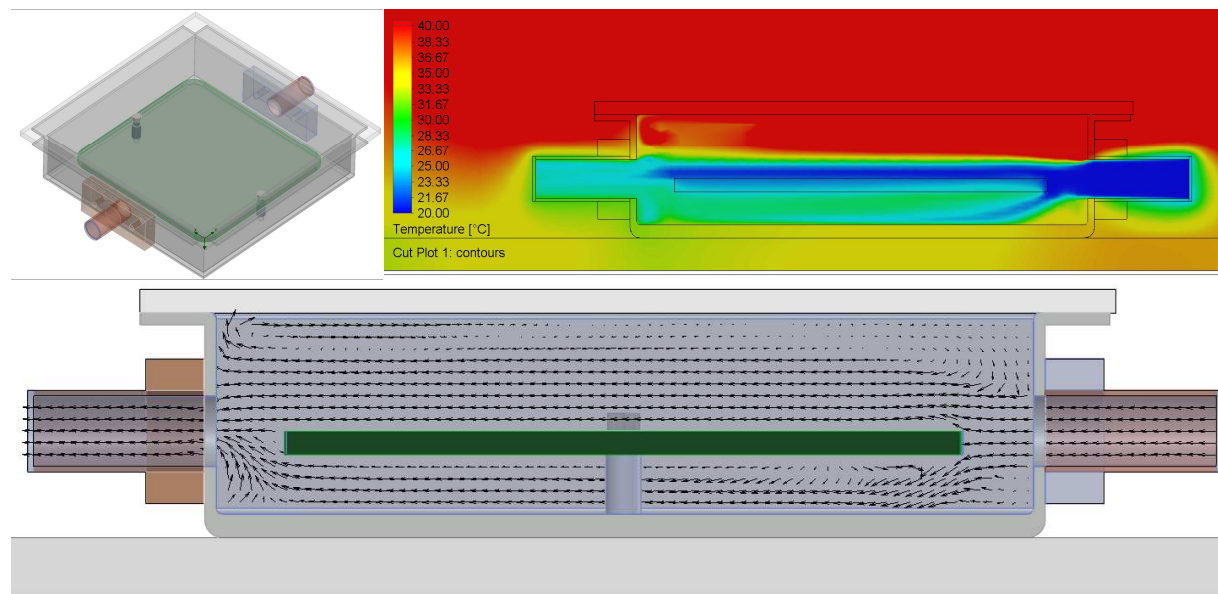


Obr. 5: Výsledky analýz vyhodnocovaných modelů



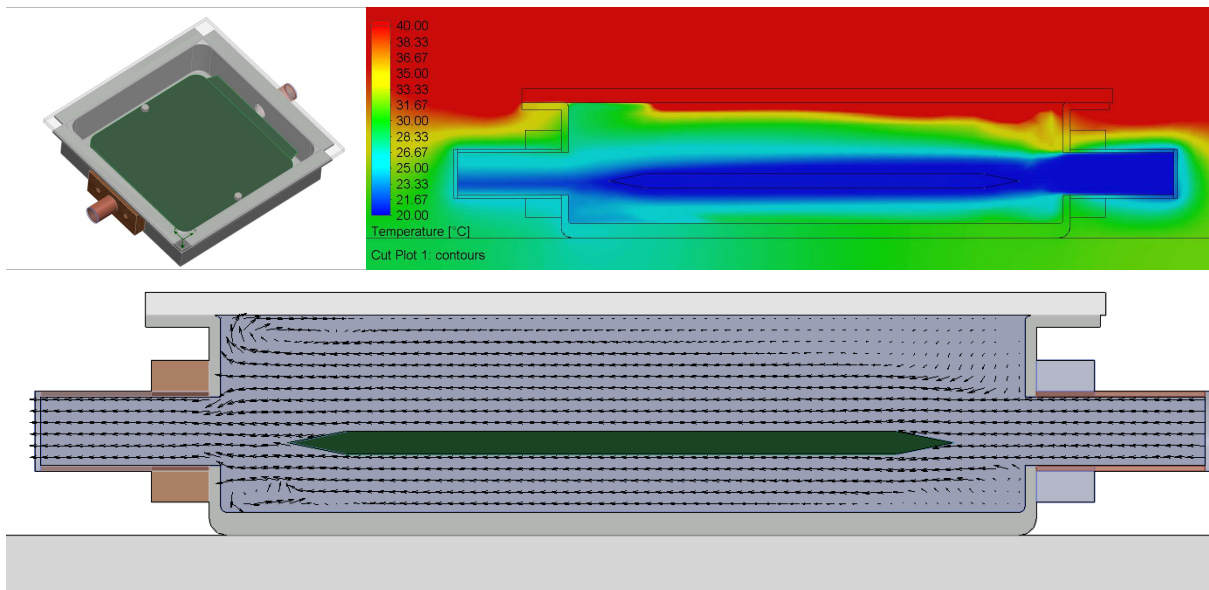
Obr. 6: Základní verze

Základní verze prokázala nevýhodu v tendenci tvorby vírů, které vyvolává kolmá plocha článku proti vstupnímu otvoru. Jak je patrné z obr. 6, toto zavíření má tendenci způsobovat lokální přehřátí na čelní straně panelu.



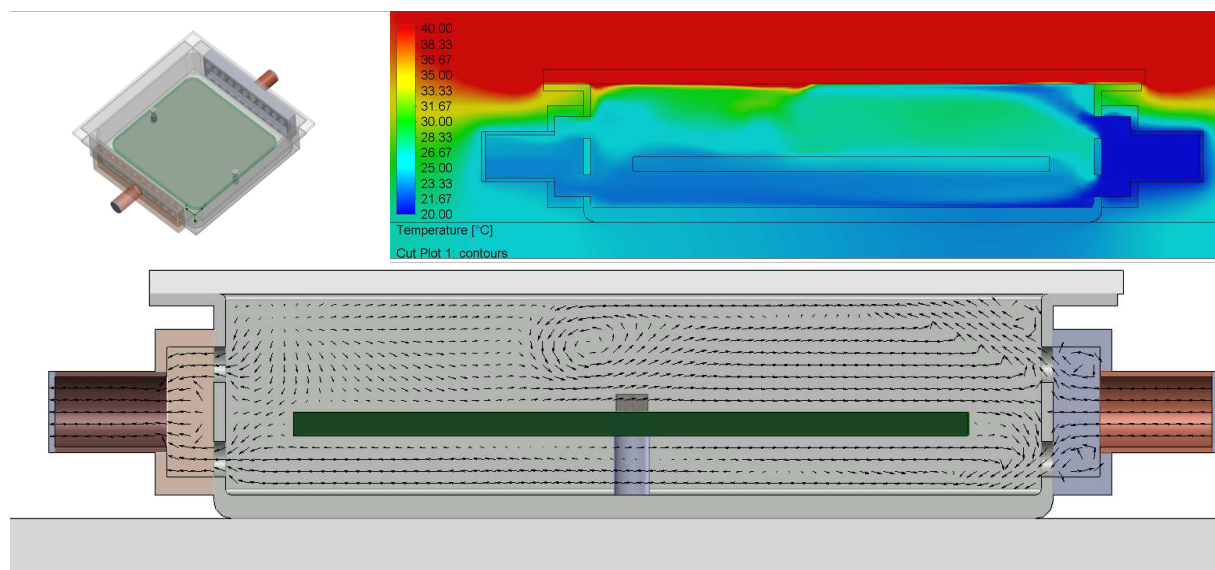
Obr. 7: Verze s polovičním průtokem média

Podle očekávání největší vliv na maximální teplotu na fotovoltaickém článku má snížený průtok chladícího média, který sice podle maximální vypočtené teploty na panelu není tolik výrazný, ale dle grafického zobrazení na obr. 7 je patrné, že již v blízkém okolí článku teplota média silně stoupá. Poloviční průtok má vliv i na silnější zavíření a horší odtok chladícího média. V dalších analýzách na finální konstrukci bude snaha vyhodnotit neoptimálnější průtočné množství s ohledem na nebezpečí lokálního přehřívání.



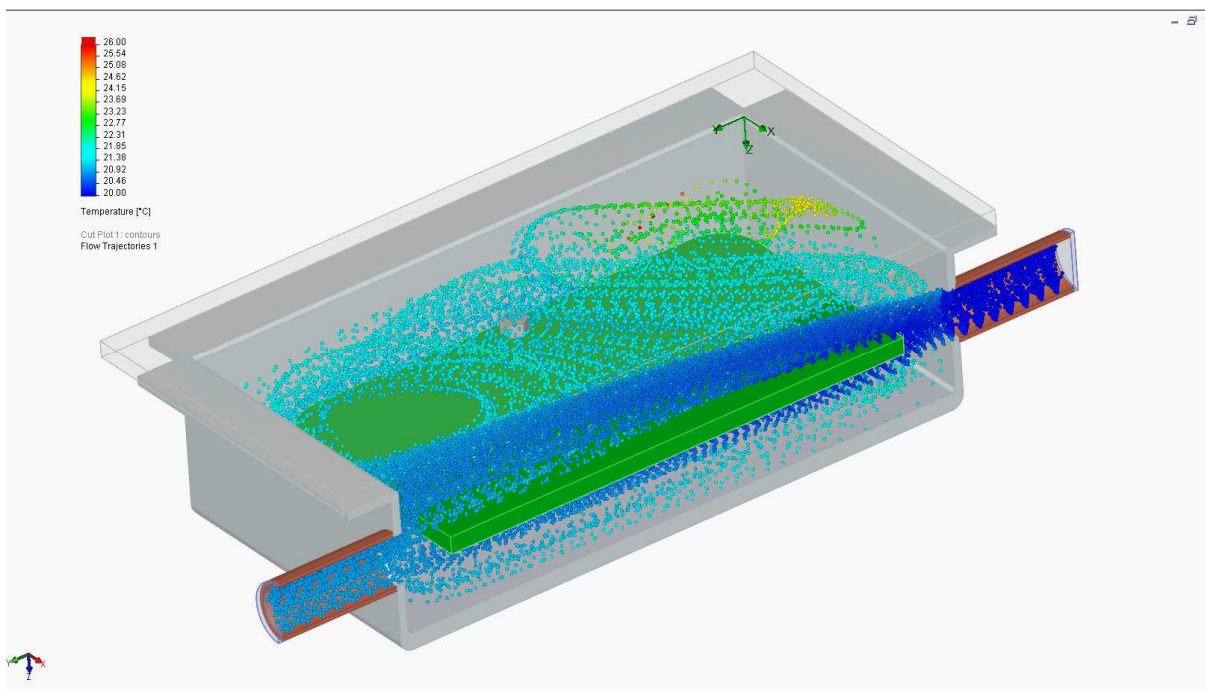
Obr. 8: Verze s náběžnou hranou

Konstrukce náběžné hrany (obr. 8) neodstraňuje výrazněji problém, který je u základní verze se zavřením a hrozbou lokálního přehřátí a na ostatní průběh chlazení nemá dále výraznější vliv. Výraznější vliv na víření má způsob přívodu a odvodu média.



Obr. 9: Verze se 16 otvory

Konstrukce se 16ti otvory (obr. 9) prokázala na jednu stranu očekávané vyrovnané proudění po celém chlazeném profilu, ale zároveň i nutnost v další konstrukci se zaměřit na tvorbu varianty umožňující odstranit zavření, které má jednoznačně negativní vliv na účinnost chlazení.



Obr. 10: Analýza charakteru proudění v chlazené komoře.

V systému byl analyzován charakter proudění pro každou verzi s cílem ve finální konstrukci usměrnit proud chladicího média tak, aby nedocházelo k zavíření a tvorby lokálního přehřívání panelu.

ZÁVĚR

Byly provedeny první analýzy nově navrhovaného chladicího systému koncentrátorových solárních panelů. Uvedené poznatky budou východiskem pro hlubší plánované analýzy, které proběhnou v systému Ansys CFX s ohledem na minimalizování výšky sloupce chladicího média, jeho protékajícího množství a odstranění lokálního přehřívání z důvodu víření. Jejich cílem bude dosažení maximální ekonomičnosti provozu.

LITERATURA

- [1] Duffie, John A. and Beckman, William A. Solar engineering of thermal processes / John A. Duffie, William A. Beckman Wiley, New York, 2006
- [2] VESELÝ, A.; VANĚK, J.; STOJAN, R. Concentrator Photovoltaic Systems. ECS Transactions. 2012. 40(1). p. 161 - 165. ISSN 1938-5862.
- [3] SOLČANSKÝ, M.; VANĚK, J. Influence of quinhydrone concentration on chemical passivation in solar cell technology. In Elektrotechnika a informatika 2010 - elektrotechnika. Nečtiny: 2010. s. 1-4. ISBN: 978-80-7043-913- 5.

Článek vyšel za podpory:

CVVOZE CZ.1.05/2.1.00/01.0014,

VUT Brno No.FEKT-S-11-7