

CONTROL OF ELECTRIC MACHINE VENTILATION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

R. Vlach*, Č. Ondrůšek*

Summary: *Ventilation-control design was applied to a synchronous machine with a single exterior ventilation source. Control of this machine's ventilation, and thus its cooling as well, was provided by control over the exterior ventilation source, or more precisely, the ventilator's rotation speed. This paper shows the possibility for a new approach to the problem of cooling electrical machines in technical practice.*

1. Úvod

V dnešní době jsou kladeny požadavky na komplexnější přístup k řešení problému ve všech technických odvětvích. Jinak tomu není ani v oblasti chlazení elektrických strojů, kde se vzájemně ovlivňují návrhy elektromagnetický, ventilační, tepelný, mechanický a akustický s konstruováním stroje. Chlazení se stále více stává jednou z částí návrhu elektrického stroje, která může značně ovlivnit jeho efektivnost využití.

Zvláště v případech strojů s vlastním zdrojem ventilace se jeví možnost zefektivnit využití stroje z různých hledisek. Velmi často nastává situace, že vlastní ventilátor pracuje na plný výkon, aniž by to bylo v daném okamžiku nutné. Naopak se mohou objevit případy, kdy by krátkodobé zvýšení výkonu ventilátoru mohlo zabránit havarijnímu stavu.



Obr. 1: Synchronní motor

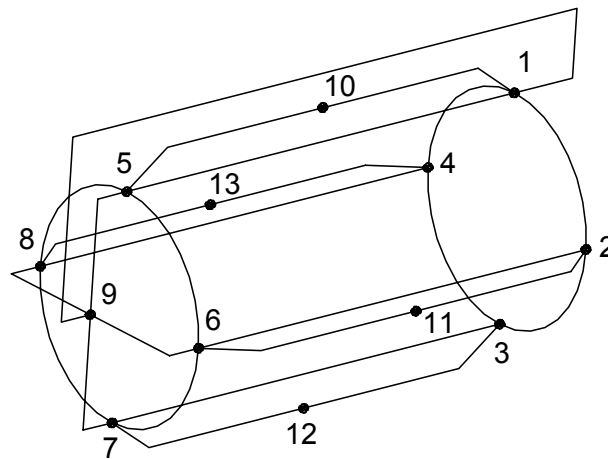
* Ing. Radek Vlach : Institut of Mechanics of Solids, Brno University of Technology; Technická 2, 619 69 Brno; tel. +420.5.41142757, fax: +420.5.41142876; E-mail: vlach@feec.vutbr.cz.

Doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc. : Department of Power Electrical and Electronic Engineering, Brno University of Technology; Technická 8, 619 69 Brno; tel. +420.5.41142463, E-mail: ondrusek@feec.vutbr.cz.

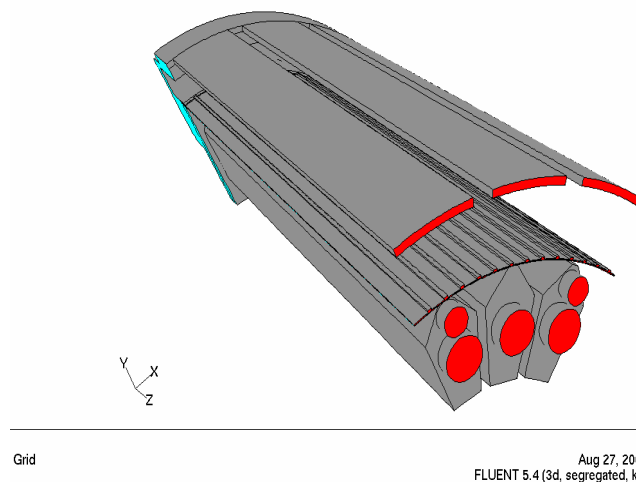
2. Výpočtové modelování

Výpočtové modelování bylo zaměřeno na vytvoření modelů dílčích částí komplexního modelu. Protože jedním z cílů práce je návrh lepšího systému chlazení synchronního motoru, jsou modelovány dvě varianty, kde první je stávající uspořádání synchronního motoru a druhá je varianta zahrnující konstrukční změny, které by měly zajistit jeho lepší chlazení.

Systém ventilace synchronního motoru je otevřený. Pomocí vlastního ventilátoru umístěného v horní části předního štítu, je vzduch vháněn do prostoru vymezeném vnitřní stěnou štítu a čelem rotoru a statoru. Uvnitř tohoto prostoru se dosud neznámým způsobem rozděluje do axiálních kanálů v rotoru a pravděpodobně velice malé množství do vzduchové mezery mezi statorem a rotorem. Po průchodu axiálními rotorovými kanály se vzduch dostane do obdobného prostoru mezi druhým čelem rotoru a statoru a vnitřkem zadního štítu. Vzduch dále vystupuje ze stroje čtyřmi otvory rovnoměrně rozdělenými po obvodu zadního štítu. Pro modelování ventilace synchronního motoru byly použity dvě metody a to metoda náhradní ventilační sítě (Obr.2) a metoda CFD (Obr.3) založená na metodě konečných objemů.

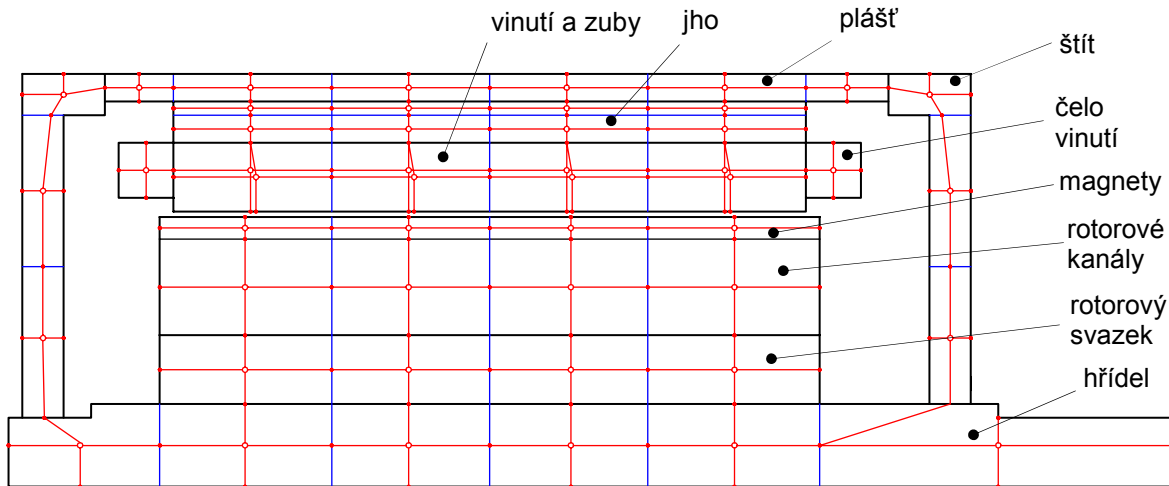


Obr. 2 Náhradní ventilační síť s uvážením axiálních statorových kanálů

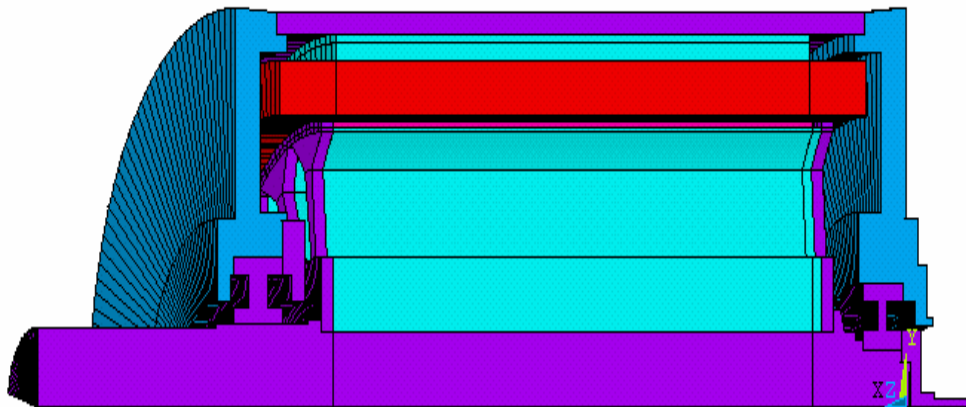


Obr.3 CFD model části synchronního motoru s axiálními statorovými kanály

Oteplení synchronního motoru bylo opět modelováno dvěma metodami. Modelování pomocí univerzální tepelné sítě (Obr.4) bylo zvoleno z důvodu lepšího začlenění této části do komplexního modelu. Bylo však nutné tuto metodu rozvinout z dvourozměrné do trojrozměrné formy. Aby bylo možné ověřit správnost této nové metody, byla použita metoda modelování pomocí metody konečných prvků (Obr.5).



Obr.4 Univerzální tepelná síť synchronního motoru.



Obr.5 MKP model synchronního motoru

Protože časové konstanty elektrického stroje jsou oproti časovým konstantám v tepelném modelu zhruba o dva a více řádů menší, byla pro modelování elektromagnetických vlastností použita metoda stanovení energetické bilance. V tomto případě není nutné dělat rozdíl mezi stávajícím uspořádáním a variantou se statorovými kanály, protože statorové kanály byly navrženy tak, aby neovlivňovaly (nebo alespoň co nejméně) vlastnosti magnetického obvodu.

Model energetické bilance byl koncipován pro snadné začlenění do komplexního modelu synchronního motoru. Vstupem do modelu je vygenerovaný průběh momentu na hřídeli, kdy je náhodně generována délka „jízdy“ a „stop“, charakterizující jízdu mezi daným počtem pater a čas mezi zastavením a dalším rozjezdem.

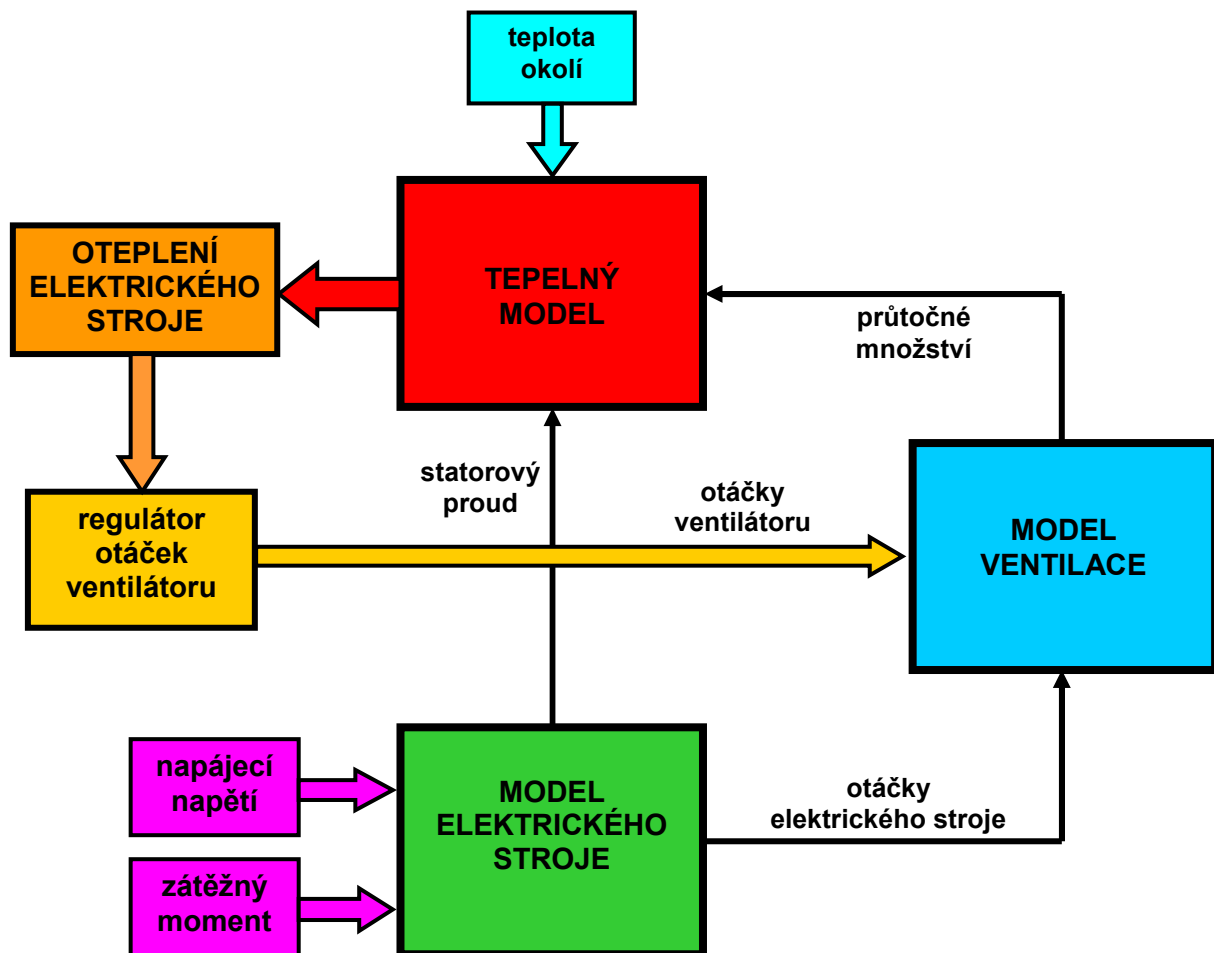
Výpočtovou simulací byl získán průběh momentu po dobu 12 hodin. V průběhu simulace je možné rovněž simulovat zastavení výtahu po delší dobu, respektive je možné simulovat jakýkoliv provozní stav výtahu a získat tak proudové zatížení stroje. Získaný průběh proudu bude posléze využit v komplexním modelu jako zdroj ztrát.

3. Typový zkouška

Na řešeném synchronním motoru (stávajícího uspořádání – bez statorových kanálů) byla provedena typová zkouška, jehož součástí bylo ventilační měření, oteplovací zkouška a stanovení energetické bilance.

4. Komplexní model synchronního motoru

Komplexní model (Obr.6) byl realizován v programovém systému MATLAB, zvláště v jeho nadstavbě SIMULINK. Koncepce byla zvolena tak, aby bylo možné provádět výpočtové simulace různých provozních režimů a sledovat jejich vliv na chlazení jednotlivých částí stroje. V modelu je možné nastavit požadovanou teplotu vinutí statoru podle níž jsou v závislosti na zatížení stroje nastavovány použitým typem regulátoru otáčky ventilátoru. V jakémkoliv okamžiku je možné měnit teplotu okolí a také zapnout a vypnout motor.



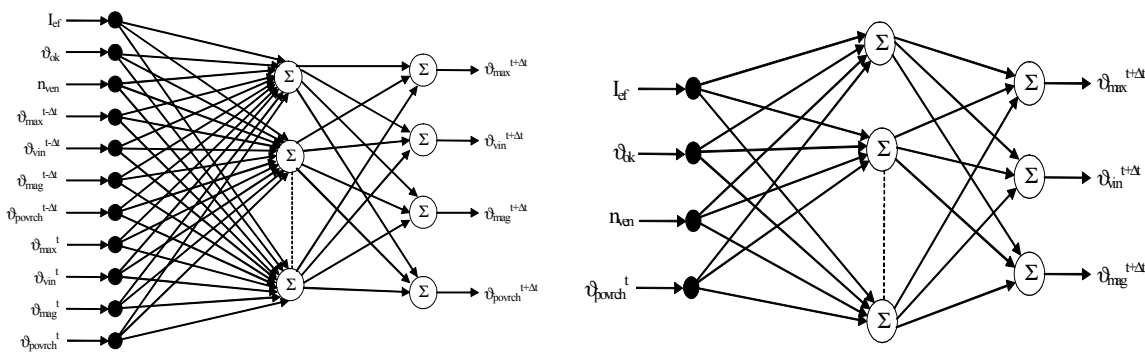
Obr.6 Komplexní model synchronního motoru

Před realizací výpočtových simulací komplexního modelu, popisujících různé provozní stavy synchronního motoru, byly dílčí výpočetní modely verifikovány pro minimalizaci odchylek výpočtové simulace a experimentu. Pro ventilační a tepelný model byl pro identifikaci vybraných parametrů použit genetický algoritmus. V případě modelu energetické bilance bylo

plně postačující dosazení naměřených hodnot. Parametry byly identifikovány u modelů popisujících stávající uspořádání (bez statorových kanálů) synchronního motoru.

7. Realizace komplexního modelu pomocí neuronové sítě

Neuronová síť komplexního modelu synchronního motoru byla vytvořena proto, aby bylo možné předpovídat vývoj oteplení nejdůležitějších částí stroje v reálném čase. Pomocí komplexního modelu je sice možné předpovídat rovněž oteplení částí stroje, ale ne v reálném čase, protože výpočetní náročnost jednoho časového kroku (60s) je kolem 5-ti minut na rozdíl od neuronové sítě, kde je tento čas podstatně kratší. Komplexní model byl nahrazen dvěma různými neuronovými sítěmi (Obr.7), lišícími se strukturou a do jisté míry i přístupem k praktickému využití neuronového modelu. Každá neuronová síť byla naučena na tréninková data vždy pro případ dvupolohového regulátoru a s plynulou regulací otáček, ale pouze pro stávajícího uspořádání synchronního motoru.

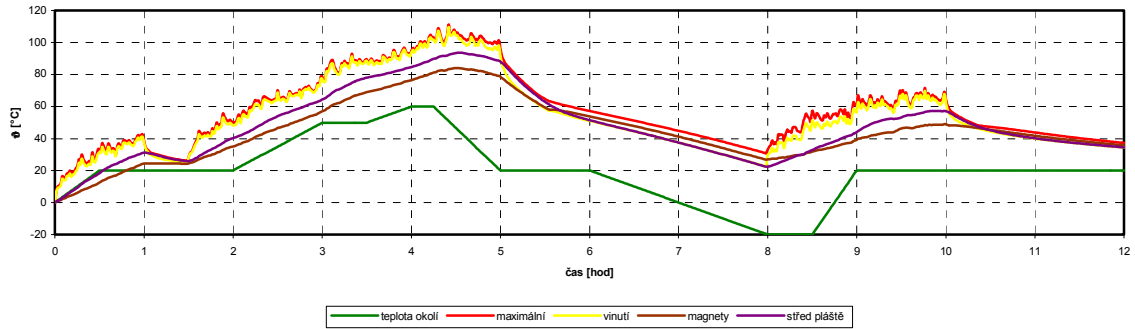


Obr.7 Struktury obou neuronových sítí

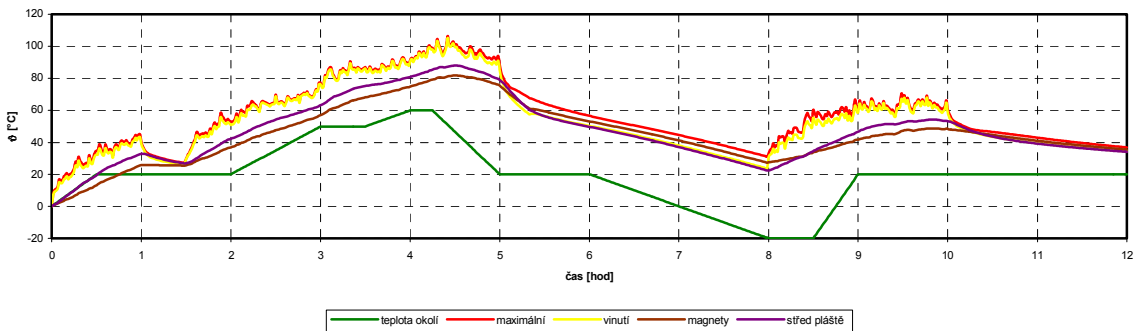
8. Výpočtové simulace

Z celého množství provedených výpočtových simulací byla vybrána jen určitá část, která vystihuje možnosti komplexního modelu. Nejprve byla provedena výpočtová simulace pro zatížení jmenovitými hodnotami jako při typové zkoušce, což mělo ukázat shodu měření s výpočtem. Dále byly realizovány výpočtové simulace provozních a také havarijních stavů synchronního motoru. Nakonec byly provedeny výpočtové simulace za účelem získání tréninkových a testovacích dat pro neuronovou síť.

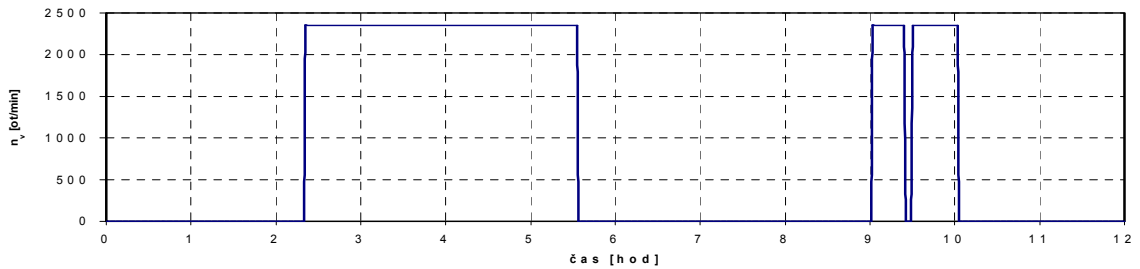
a) Výsledky výpočtových simulací s dvoupolohovým regulátorem



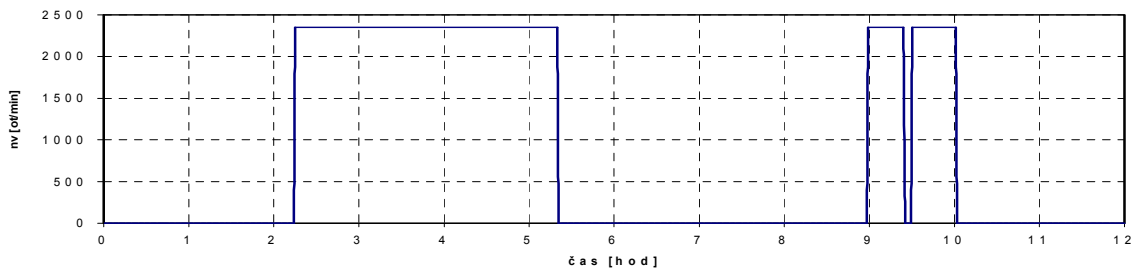
Graf 1: Průběh teplot pro stávající uspořádání



Graf 2: Průběh teplot pro uspořádání se satorovými kanály

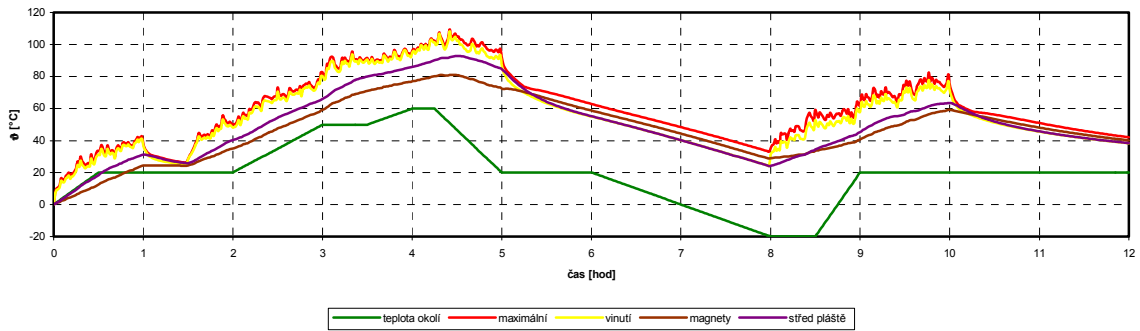


Graf 3: Průběh otáček ventilátoru pro stávající uspořádání

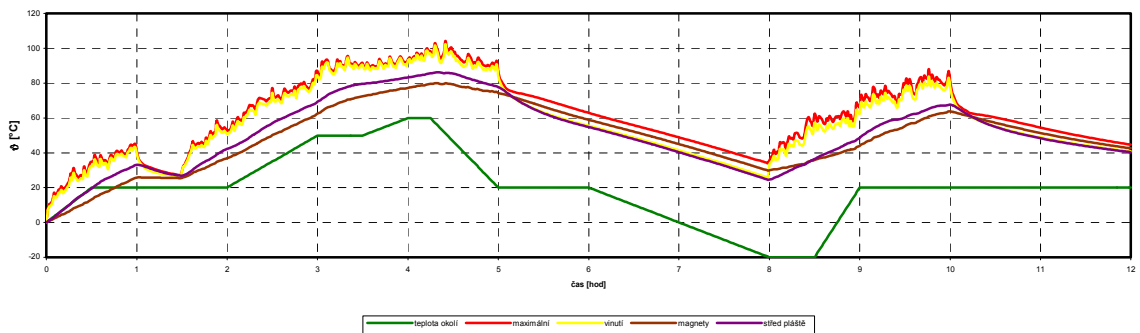


Graf 4: Průběh otáček ventilátoru pro uspořádání se satorovými kanály

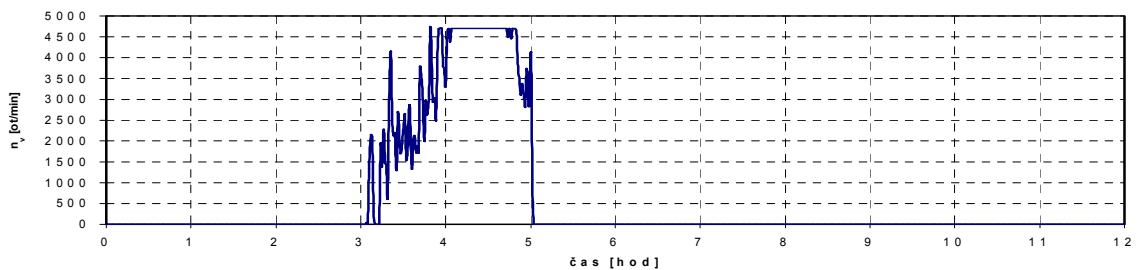
b) Výsledky výpočtových simulací s plynulou regulací otáček



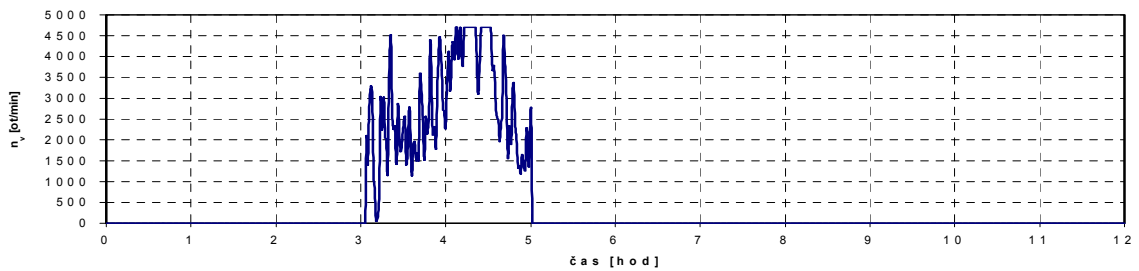
Graf 5: Průběh teplot pro stávající uspořádání



Graf 6: Průběh teplot pro uspořádání se statorovými kanály

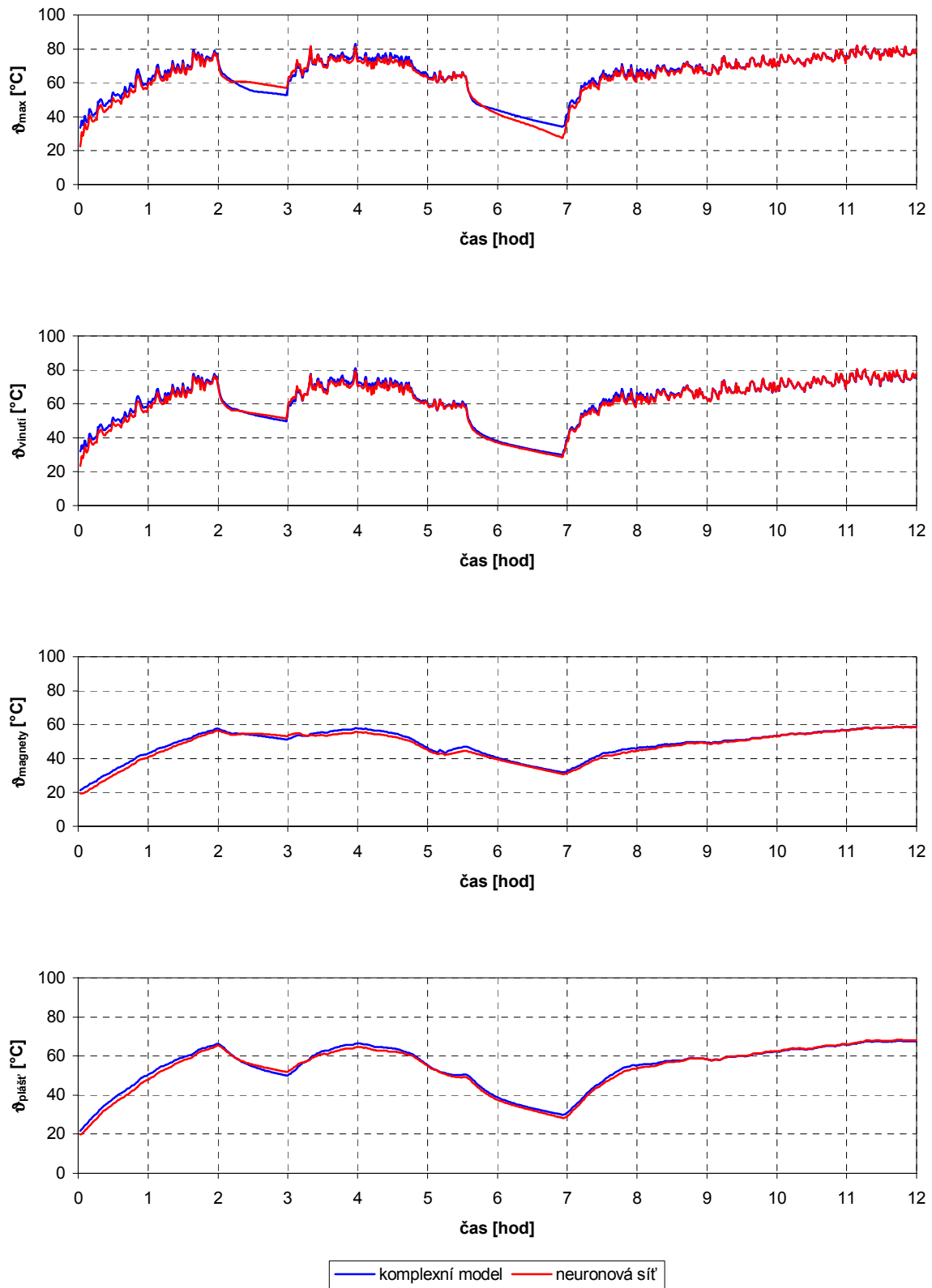


Graf 7: Průběh otáček ventilátoru pro stávající uspořádání

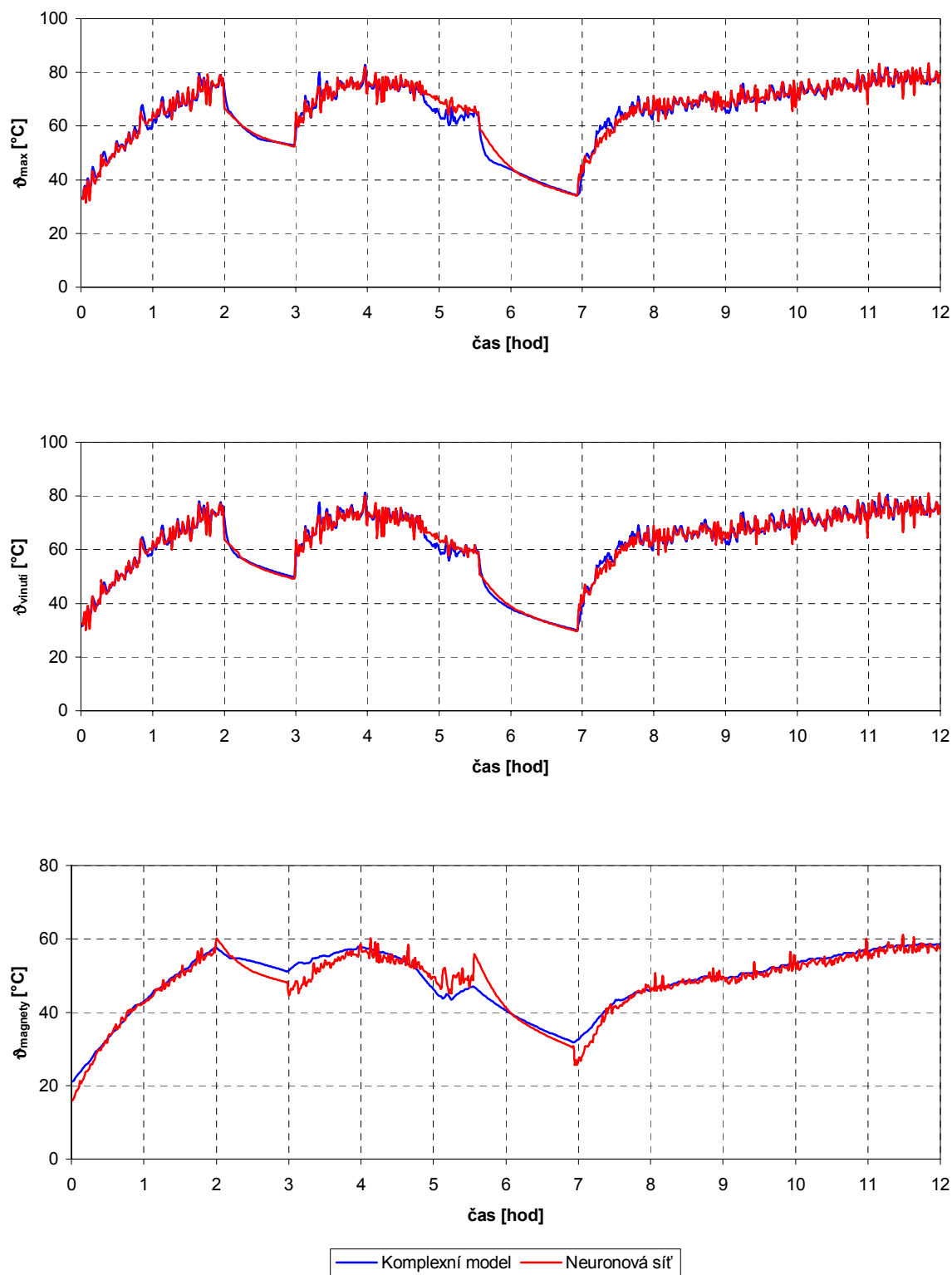


Graf 8: Průběh otáček ventilátoru pro uspořádání se statorovými kanály

c) Výsledky výpočtových simulací neuronové sítě I s dvoupolohovým regulátorem



Graf 9: Porovnání prvních testovacích dat komplexního modelu a neuronové sítě

d) Výsledky výpočtových simulací neuronové sítě II s dvoupolohovým regulátorem

Graf 10: Porovnání prvních testovacích dat komplexního modelu a neuronové sítě

9. Závěr

Přínosy práce lze shrnout do následujících několika bodů:

- Analýza všech dosud známých metod výpočtového modelování ventilace a chlazení.
- Vytvoření trojrozměrné ventilační sítě a algoritmu jejího řešení.
- Vytvoření trojrozměrné univerzální tepelné sítě a její aplikace na elektrický stroj.
- Využití genetického algoritmu při identifikaci parametrů ventilační a tepelné sítě.
- Vytvoření komplexního modelu elektrického stroje.
- Návrh způsobu řízení ventilace elektrického stroje s využitím metod umělé inteligence.
- Využití neuronové sítě pro predikci oteplení částí elektrického stroje v reálném čase.

Poznanky získané z této práce je možné aplikovat na jakýkoliv typ elektrického stroje i zařízení a využitím výše popsané metodiky sledovat jak se jednotlivé typy návrhu elektrického stroje ovlivňují.

10. Poděkování

Příspěvek byl vypracován za finanční podpory MŠMT v rámci projektu č. MSM 2621 00024 a rovněž za pomoci grantového projektu GAČR 102/00/1586.

11. Literatura

- [1] Hak, J. , Ošlejšek, O. : Výpočet chlazení elektrických strojů , 1.díl. VUES Brno 1973
- [2] Ondruška, E. , Maloušek, A. : Ventilace a chlazení elektrických strojů točivých. SNTL Praha 1985
- [3] Hak, J. , Libora, K. , List, V. , Ošlejšek, O. : Termika elektrických strojů točivých.
- [4] Hynšt, R. : Výpočet chlazení elektrických strojů. TZ 1159, VÚES Brno, 1964
- [5] Kotrba, V. : Ventilační sítě, Hrušky, 1993
- [6] Mugglestone, J. , Lampard, D. , Pickering, S.J. : Effects of endwinding porosity upon the flow field and ventilation losses in the end region of TEFC induction machines. IEE, 1998
- [7] Pickering, S.J. , Lampard, D. , Mugglestone, J. : The use computational fluid dynamics in the thermal design of rotating electrical machines, The universiti of Nottingham.
- [8] Kvasnička, V., kol., Úvod do teórie neurónových sieti, IRIS, 1997
- [9] Versteeg, H.K. , Malalasekera, W. : An introduction to computational fluid dynamics, The finite volume metod , Longman group Ltd 1995, ISBN 0-582-21884-5