

BENCHMARKOVÝ MODEL CHLADICÍHO ZAŘÍZENÍ V SUPERMARKETECH

D. Honc, F. Dušek

Katedra řízení procesů, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Univerzita Pardubice

Abstrakt

Řízení rozsáhlých systémů je prakticky řešeno rozdělením na dílčí subsystémy a uzavřením regulačních smyček obvykle bez ohledu na jejich vzájemné vazby. S nárůstem výpočetního výkonu, velikosti operační paměti a komunikačních možností automatizačních prostředků se otevírají nové možnosti přistupovat k návrhu řízení složitých systémů komplexněji. Článek je věnován jednomu z benchmarkových procesů sloužícímu pro analýzu, návrh a optimalizaci řízení hybridních systémů.

SUPERMARKET REFRIGERATION BENCHMARK MODEL

Abstract

Control of large systems is practically treated by decomposition to subsystems and closing individual control loops usually without consideration their cross effects. New potential to solve the control design more complex arises because of increase of computational power, memory and communication possibilities of automation instruments. The paper deals with one of the benchmark processes proposed for analysis, design and optimization of hybrid systems control.

1 Úvod

Příspěvek je věnován modelu chladicího zařízení v supermarketech, který byl vytvořen v rámci projektu HYCON v části Work Package 4b [1]. Jedná se o model chladicí skříně, sběrného potrubí a kompresorů. Model je vytvořen v simulačním prostředí Ecosim Pro a je možné ho používat z prostředí MATLAB. Vlastní simulace však probíhá velmi pomalu - v Simulinku je použita S-funkce s DLL knihovnou (výstupy jsou vzorkované se zvoleným intervalem). Proto jsme se rozhodli vytvořit vlastní model pouze nástroji Simulinku. Tento model je spojitý a simulace probíhá řádově rychleji než s oficiálním modelem. Fyzické části zařízení jsou představovány maskovanými subsystémy. Součástí modelu jsou i dvě kritéria kvality regulace, jejichž výpočet představuje při použití Simulinku zajímavý problém. Jedním kritériem je kvadratická plocha při překročení povolených mezí teploty a horní meze tlaku ve sběrném potrubí a druhým kritériem je zohledněn počet zapnutí/vypnutí kompresorů a otevření/zavření expanzních ventilů. Model je využíván jednak k návrhu řízení a také při simulaci regulačních pochodů. Tradiční řízení využívá dvoupolohové regulátory teploty v chladicí skříně ovládající expanzní ventily a PI regulátor s necitlivostí pro regulaci tlaku ve sběrném potrubí chladicího média pomocí zapínání a vypínání kompresorů. Autoři projektu vyzývají k návrhu alternativních postupů k řízení tohoto hybridního systému a jejich aplikaci, která bude ověřena nejprve na oficiálním modelu a do budoucna i na reálném laboratorním zařízení. Náš model může posloužit ve fázi hledání a ladění řešení, protože je rychlý a použitelný bez nutnosti instalace - celý model představuje jeden mdl soubor.

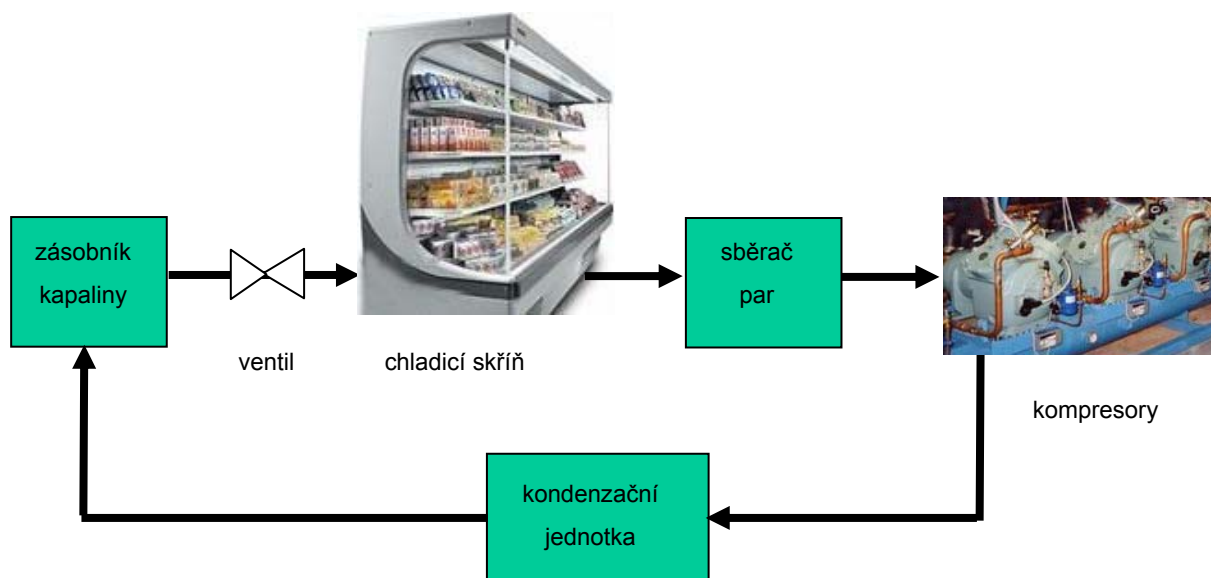
Projekt HYCON je zaměřen na problematiku hybridních systémů – návrh síťových vestavěných řídicích systémů, se kterými se můžeme setkat například v průmyslové výrobě, dopravních systémech, výrobě a distribuci energie, komunikačních systémech. Hybridní systémy vyžadují systematický přístup k analýze problému, modelování, simulaci, návrhu a optimalizaci řízení. Procesy komunikují přímo nebo přes síť s dalšími počítačovými systémy a lidskými operátory. Selhání řídicího systému může vést k degradaci kvality, ohrožení lidského zdraví a životního prostředí a tím způsobit značné ekonomické ztráty. Vzájemné působení číslicové techniky, komunikačních systémů a fyzického zařízení vede ke vzniku poměrně složitému dynamickému systému, se kterým nelze pracovat intuitivně. V současné době je vývoj takovýchto systémů založen na rozsáhlém testování a častých

iteracích bez garance kvality nebo alespoň bezpečnosti. Projekt HYCON je zaměřen na rozvoj metodologie pro návrh takovýchto systémů a jejich aplikaci při řízení výroby, v průmyslu, v automobilovém průmyslu a komunikačních sítích. Síť HYCON si klade za cíl překlenout propast mezi tradičním přístupem k řízení a možnostmi řízení velkých distribuovaných systémů moderními metodami.

Část projektu Work Package 4b je věnována řízení průmyslových systémů. Počítačově řízené průmyslové systémy představují rozsáhlé hybridní dynamické systémy s quasi-spojitém distribuovaným řídicím systémem a logickým řízením, přepínáním režimů, najížděním do provozu atd. Ačkoliv je toto známo poměrně dlouho, není teorie hybridních systémů používána v průmyslové praxi. Zatímco existují sofistikované metody pro návrh regulace spojitého systému, diskrétní části, kterými jsou bezpečnostní logika na nejnižší úrovni, strategie rekonfigurace, optimalizace logistiky, jsou navrhovány bez pomoci formálních metod a často bez jiné možnosti ověření než testování a ad-hoc modifikace na reálném zařízení. Část projektu WP4b je zaměřena na demonstraci možností nových přístupů k hybridním systémům tak, aby byl zlepšen proces návrhu a také výsledné řízení.

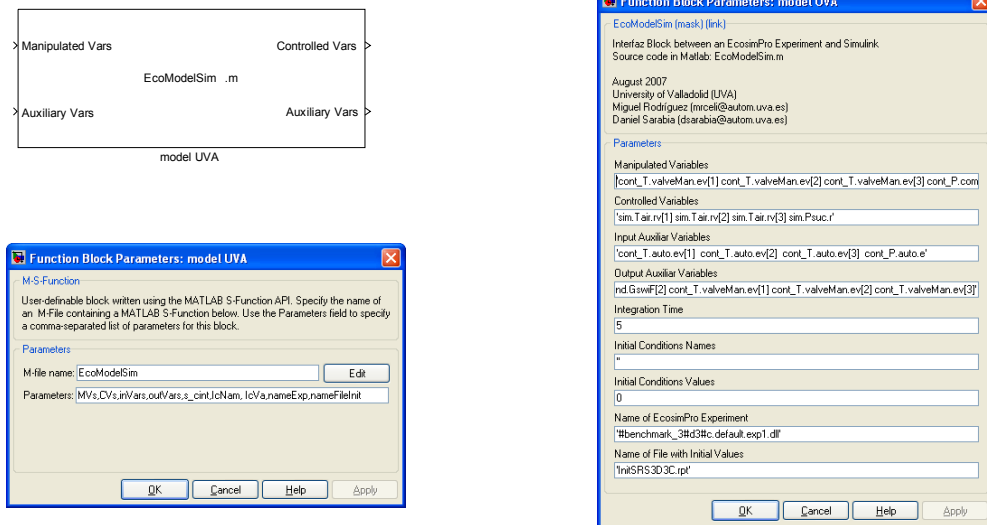
2 Oficiální model chladicího zařízení

Model chladicího zařízení je benchmarkový model projektu HYCON v části věnované řízení průmyslových systémů. Jedná se o model chladicí skříně, sběrného potrubí a kompresorů používaných v supermarketech – viz obr. 1.



Obrázek 1: Schéma chladicího zařízení

Několik chladicích skříní je napojeno na jeden okruh chladicího média. Aby bylo dosaženo požadovaného výkonu kompresorové jednotky, je použito několik kompresorů paralelně. To umožňuje i lepší řízení tlaku ve sběrném potrubí kvantifikací akčního zásahu – postupným zapínáním jednotlivých čerpadel. Model je připraven ve dvou konfiguracích: s třemi chladicími skříněmi a třemi kompresory a jako rozlehlejší systém s deseti chladicími skříněmi a šesti kompresory. Oficiální verze modelu je vytvořena v simulačním jazyce Ecosim Pro. Pro použití v Simulinku je vytvořena DLL knihovna volaná pomocí bloku S-funkce – viz obr. 2.

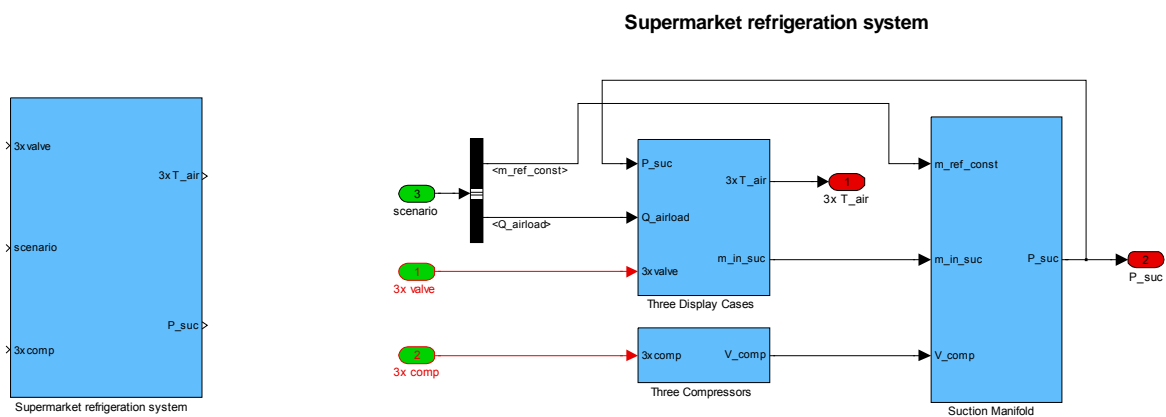


Obrázek 2: Maskovaný subsystém, maska a dialog S-funkce modelu

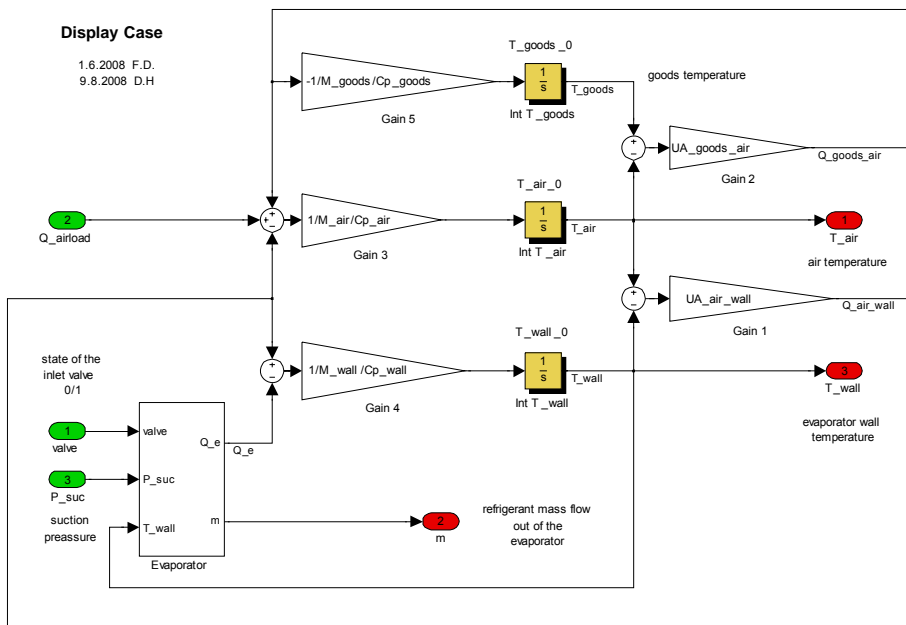
Toto řešení sebou přináší určité problémy. Simulace chování uzavřeného regulačního obvodu je poměrně pomalá – na standardním PC trvá přibližně dvě hodiny. Simulační experiment obsahuje dvě hodiny denního a dvě hodiny nočního režimu (celkový čas simulace je 14400 s) s nejmenším přípustným intervalem akčních zásahů 1 s. Druhou nevýhodou je vznik algebraických smyček v důsledku použití S-funkce a tím například nemožnost přímo použít akcelerátor simulace.

3 Vlastní model v Simulinku

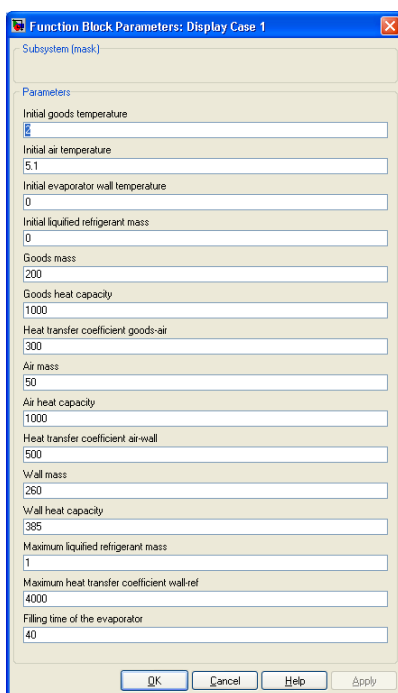
Na základě dokumentace k modelu [2] jsme se rozhodli vytvořit vlastní simulační model se třemi chladicími skříněmi a třemi kompresory pouze nástroji Simulinku. Model respektuje jednotlivé fyzické části zařízení, které jsou představovány samostatnými subsystemy. Parametry jsou zadávány pomocí masek. Přepis bilančních rovnic do blokových schémat je přímočarý a bezproblémový. Na obrázcích 3-5 je ukázka modelu chladicího zařízení a chladicí skříně.



Obrázek 3: Subsystem modelu chladicího zařízení



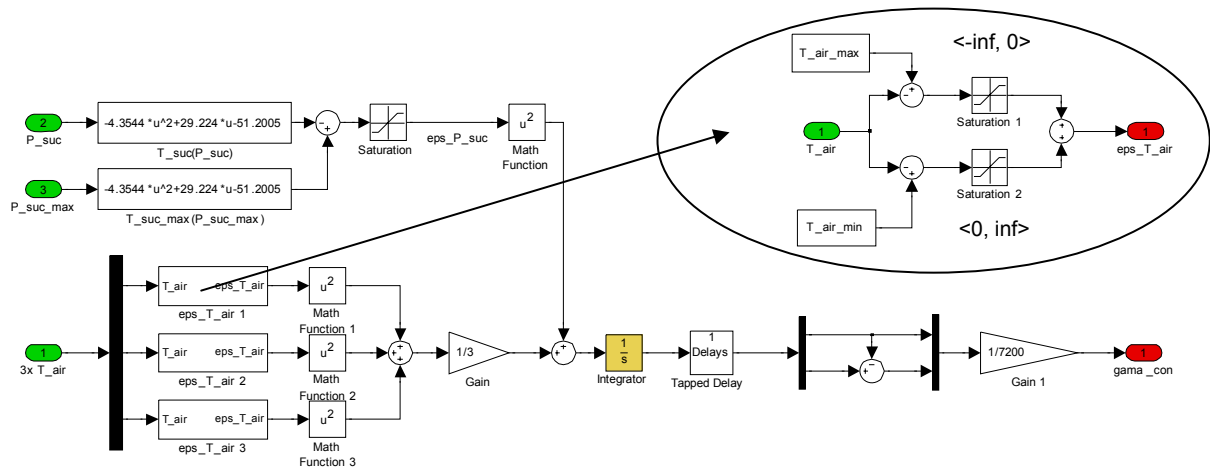
Obrázek 4: Subsystem modelu chladicí skříně



Obrázek 5 : Maska modelu chladicí skříně

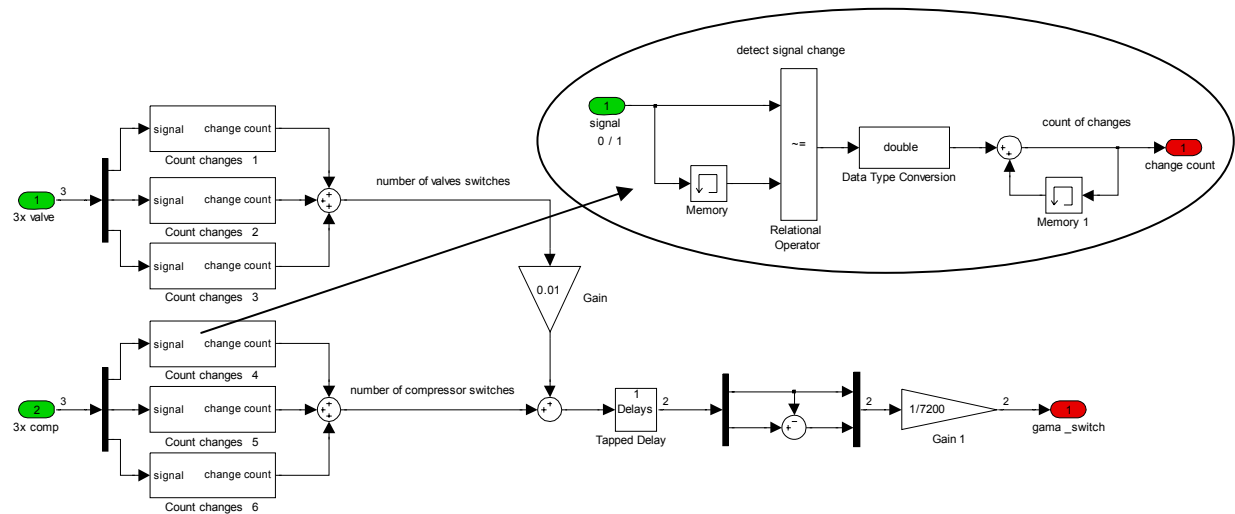
Protože má model sloužit k návrhu „optimálního“ řízení, je součástí oficiálního modelu také výpočet kritérií kvality řízení. Prvním je kvadratická plocha vzdálenosti od povolených mezních hodnot vztažená na jednotku času (počítaná při překročení maximální a minimální teploty vzduchu v chladicí skříně a maximálního tlaku ve sběrném potrubí). Jinými slovy je požadováno, aby teplota nepřekračovala povolené meze, aby nedošlo k znehodnocení potravin a aby tlak ve sběrném potrubí nepřekračoval maximální povolenou hodnotu, aby byl zajištěn dostatečný gradient tlaku při otevření

ventilů chladicích skříní a následně expanzi chladicího média. Výpočet lze zajistit vhodným použitím bloků *Saturation* – blok Simulinku je na obrázku 6.



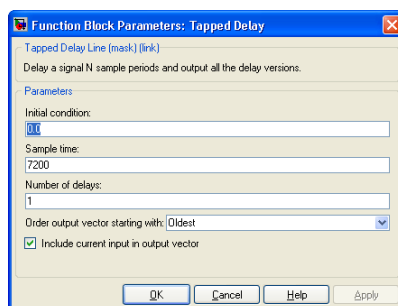
Obrázek 6: Subsystem výpočtu kritéria při překročení povolených mezí

Druhým kritériem je počet otevření/uzavření ventilů a zapnutí/vypnutí kompresorů opět vztažený na jednotku času. Tím je zohledněna míra zatěžování kompresorů a ventilů v důsledku zapínání čerpadel a otevírání ventilů (ventily jsou penalizovány stokrát menší vahou než kompresory). Pro výpočet tohoto kritéria byly použity bloky *Memory* a *Relational Operator* pro rozpoznání změny signálu a sumaci změn – viz obr. 7.



Obrázek 7: Subsystem výpočtu kritéria četnosti změny akčních veličin

Zajímají nás hodnoty kritérií zvlášť pro denní a zvlášť pro noční pracovní režim. Zapamatování hodnot je zajištěno pomocí bloku *Tapped Delay* na jehož výstupu je vektor o dvou prvcích – první představuje hodnotu kritéria přes den a druhý v noci – dialog a parametry bloku viz obr. 8.



Obrázek 8: Parametry bloku *Tapped Delay*

4 Závěr

Návrh řízení není tématem tohoto článku, ale pokud probíhá iteračně ať už na základě simulací a ladění pomocí pokusu-omylu nebo vlastního výpočtu akčního zásahu, je rychlost simulace podstatnou vlastností. To je hlavní výhodou našeho modelu oproti oficiálnímu řešení – v uzavřeném regulačním obvodu trvá simulace pouze několik vteřin. Změnu počtu chladicích skříní a kompresorů lze provést jednoduchou úpravou simulačního schématu a kopírováním připravených bloků.

Vytvořený spojitý model má jako vstupy otevření/uzavření ventilů chladicích skříní a zapnutí/vypnutí kompresorů. Zvláštním vstupem je signál s předdefinovanými průběhy parametrů denního a nočního pracovního režimu „scenario“. Výstupem modelu jsou teploty vzduchu v chladicích skříních a tlak ve sběrném potrubí. Dalšími výstupy jsou hodnoty kritérií kvality řízení denního a nočního režimu.

Práce byly provedeny s podporou výzkumného záměru MSM 0021627505 – Řízení, optimalizace a diagnostika složitých systémů.

Literatura

- [1] A HYCON Benchmark System on Supermarket Refrigeration, http://astwww.bci.tu-dortmund.de/hycon4b/index.php?p=8-HYCON_WP2_Benchmark&wp=4b
- [2] L. F. S. Larsen, R. Izadi-Zamanabadi, R. Wisniewski, C. Sonntag, SUPERMARKET REFRIGERATION SYSTEMS – A BENCHMARK FOR THE OPTIMAL CONTROL OF HYBRID SYSTEMS, http://astwww.bci.tu-dortmund.de/hycon4b/wprelated/sr_v2.pdf

Ing. Daniel Honc, Ph.D.
doc. František Dušek, CSc.
Katedra řízení procesů a výpočetní techniky
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Univerzita Pardubice
nám. Čs. legií 565
532 10 Pardubice