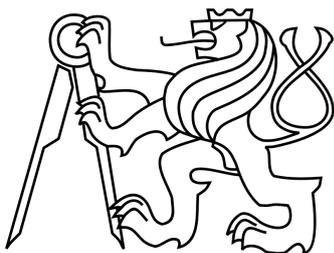


Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Lukáši Ferklovi Ph.D. za pomoc a poskytnuté informace.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ŘÍDICÍ TECHNIKY



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Modelování systému vytápění budovy

Autor: Bc. Jiří Mikolášek

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Ferkl Ph.D.

Praha, 2009

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Jiří Mikolášek**

Studijní program: Elektrotechnika a informatika (magisterský), strukturovaný
Obor: Kybernetika a měření, blok KM1 - Řídicí technika

Název tématu: **Modelování systému vytápění budovy**

Pokyny pro vypracování:

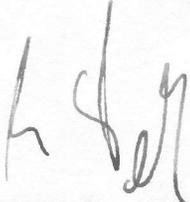
1. Seznamte se s možnostmi modelování systémů vytápění budov.
2. Na vhodné budově (dodá vedoucí práce) proveďte identifikaci systému topení.
3. Výsledky zhodnoťte z hlediska přesnosti identifikace, linearity modelu a jeho dalšího použití pro účely řízení.

Seznam odborné literatury:

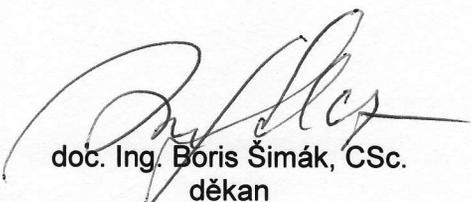
Dodá vedoucí práce

Vedoucí: Ing. Lukáš Ferkl, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2009/10


prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry




doc. Ing. Boris Šimák, CSc.
děkan

V Praze dne 27. 2. 2009

Název práce: Modelování systému vytápění budovy

Autor: Bc. Jiří Mikolášek

Katedra: Katedra řídicí techniky

Vedoucí diplomové práce: Ing. Lukáš Ferkl Ph.D.

e-mail vedoucího: ferkl@control.felk.cvut.cz

Abstrakt V předložené práci se zabývám modelováním systému vytápění budovy. Budou teoreticky rozebrány dva způsoby, jak systémy obecně modelovat, a to pomocí metod ARX/ARMAX modelů a pomocí subspace metod. Následně bude použita metoda subspace pro reálný systém vytápění budovy. Realizace je provedena pomocí softwarového nástroje numerického počítačového systému Scilab.

Klíčová slova: model systému vytápění budovy, subspace metody identifikace, Scilab

Title: Building Heating System Modeling

Author: Bc. Jiří Mikolášek

Department: Department of Control Engineering

Supervisor: Ing. Lukáš Ferkl Ph.D.

Supervisor's e-mail address: ferkl@control.felk.cvut.cz

Abstract In the present work we study building heating system modeling. At first we theoretically analyzed two ways to model systems in general methods of using ARX / ARMAX models and using subspace methods. Subsequently, the subspace method will be used for real building heating system. Implementation is realize in computer numeric system Scilab.

Keywords: building heating system model, subspace identification methods, Scilab

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne 20. května 2009

Bc. Jiří Mikolášek

Abstrakt	ii
Zadání práce	iii
1. Úvod	1
2. Identifikace - základní pojmy	3
2.1. Objekt	3
2.2. Parametr	3
2.3. Neznámý systém a jednoduché modelování	3
2.4. Model s konstantními parametry	4
2.5. Lineární model	4
2.6. Linearizace	4
2.7. Kvazilinearizace	4
2.8. Gaussova–Newtonova metoda	5
2.9. Vícerozměrné systémy	5
2.10. Dynamický systém	5
2.11. Klasifikace systémů	6
2.11.1. Lineární systémy	6
2.11.2. Stacionární a nestacionární systémy	6
2.11.3. Autonomní a neautonomní systémy	7
2.11.4. Konzervativní a nekonzervativní systémy	7
2.11.5. Deterministické a stochastické systémy	7
2.11.6. Spojité a diskrétní systémy	7
3. Stochastické metody identifikace	9
3.1. Struktury lineárních modelů	9
3.1.1. Skutečný systém	10
3.1.2. Struktura modelu M	10
3.1.3. Obecný tvar struktury modelu	10
3.2. FIR struktura modelu (The Finite Impulse Response model structure)	11
3.3. ARX struktura modelu (AutoRegressive with eXternal input)	11
3.4. ARMAX struktura modelu (AutoRegressive Moving Average with eXternal Input)	12
3.5. OE struktura modelu (Output error model structure)	12
4. Významy matic v identifikaci systémů	13
4.1. Identifikace systému	13
4.1.1. Postup při identifikaci lineárního systému	13

4.2.	Identifikace ARMAX modelů	14
4.3.	Metody subspace identifikace	15
4.3.1.	Kroky algoritmu subspace identifikace	16
4.4.	Numerické algoritmy pro subspace identifikace	17
4.4.1.	Přehled	17
4.4.2.	Choleskyho faktorizace	17
4.4.3.	Rychlá QR faktorizace	18
4.4.4.	QR faktorizace	19
5.	Kalmanův filtr	21
6.	Stručný úvod do programu Scilab	25
6.1.	Popis prostředí	25
7.	System vytápění budovy	29
8.	Realizace dat a funkcí	33
8.1.	Funkce a skripty pro zpracování dat	34
8.1.1.	Funkce DataInfo ()	35
8.1.2.	Skript Inicializuj ()	35
8.1.3.	Funkce Kresli ()	36
8.1.4.	Skript KresliVse ()	36
8.1.5.	Funkce NactiData ()	36
8.1.6.	Funkce NahradNaN ()	37
8.1.7.	Funkce Periody ()	37
8.1.8.	Funkce Prevzorkuj ()	37
8.1.9.	Funkce SouvisleUseky ()	38
9.	Realizace	39
9.1.	Předzpracování dat ze senzorů	39
9.2.	Vstupy a výstupy modelu systému	40
9.3.	Identifikace modelu systému	40
9.4.	Hodnocení kvality modelu pro nalezení vhodných parametrů S a N	43
9.5.	Finální výsledky identifikace	45
9.5.1.	Místnost B1	45
9.5.2.	Místnost B2	49
10.	Závěr	53
Přílohy		I
A.	Funkce pro zpracování dat	III
B.	Hodnocení kvality modelů	IX
C.	MPC regulace	XXXV
D.	Příložené CD	XXXVII

SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1. Dynamický systém	6
4.1. Jednoduché schéma systému.	14
4.2. Rozdíly klasické a subspace identifikace.	15
5.1. Stavový model dynamického diskrétního lineárního systému.	21
5.2. Model Kalmanovské predikční filtrace odvozený z popsaného postupu 5.5.	22
6.1. Konzole programu Scilab	26
6.2. Editor Scipad v programu Scilab	26
6.3. Okno nápovědy	27
7.1. Pohled na budovu ČVUT FEL	30
7.2. Schéma systému vytápění (SCADA)	30
7.3. Schéma budovy ČVUT (SCADA)	31
7.4. Stropní vytápění, nákres z původního patentu R. G. Crittalla a J. L. Musgrava (1927)	31
8.1. Výsledek spuštění skriptu <code>Pomoc</code>	34
8.2. Výpis funkce <code>DataInfo(data)</code>	35
8.3. Ukázka formátování grafů s využitím <code>Kresli()</code>	36
8.4. Výstup funkce <code>SouvisleUseky()</code>	38
9.1. Diagram průběhu předzpracování dat	40
9.2. Data pro identifikaci	41
9.3. Schéma modelu systému	42
9.4. Výstupy modelu B1 sever, teplota místnosti	46
9.5. Výstupy modelu B1 sever, teplota místnosti	46
9.6. Výstupy modelu B1 sever, teplota místnosti	47
9.7. Výstupy modelu B1 jih, teplota místnosti	47
9.8. Výstupy modelu B1 jih, teplota místnosti	48
9.9. Výstupy modelu B1 jih, teplota místnosti	48
9.10. Výstupy modelu B2 sever, teplota místnosti	49
9.11. Výstupy modelu B2 sever, teplota místnosti	50
9.12. Výstupy modelu B2 sever, teplota místnosti	50

9.13. Výstupy modelu B2 jih, teplota místnosti	51
9.14. Výstupy modelu B2 jih, teplota místnosti	52
B.1. výstupy modelu B1 sever, teplota místnosti	XII
B.2. výstupy modelu B1 sever, teplota místnosti	XII
B.3. výstupy modelu B1 jih, teplota místnosti	XV
B.4. výstupy modelu B1 jih, teplota místnosti	XV
B.5. výstupy modelu B2 sever, teplota místnosti	XVIII
B.6. výstupy modelu B2 sever, teplota místnosti	XVIII
B.7. výstupy modelu B1 sever, teplota místnosti	XXIII
B.8. výstupy modelu B1 sever, teplota místnosti	XXIV
B.9. výstupy modelu B1 jih, teplota místnosti	XXVII
B.10. výstupy modelu B1 jih, teplota místnosti	XXVII
B.11. výstupy modelu B2 sever, teplota místnosti	XXX
B.12. výstupy modelu B2 sever, teplota místnosti	XXX
B.13. výstupy modelu B2 jih, teplota místnosti	XXXIII
B.14. výstupy modelu B2 jih, teplota místnosti	XXXIII
C.1. Ukázka regulace MPC s použitím modelu systému z této práce	XXXVI

ÚVOD

Tato práce je součástí projektu, který byl vypracováván pro firmu Energocentrum Plus, s.r.o., jenž zajišťuje vytápění budovy Českého vysokého učení technického v Praze v Technické ulici 2. Budova je rozdělena na několik bloků (viz kapitola 8, obrázek 8.4). Byly diskutovány a realizovány možnosti vytápění bloků B1 a B2 uvedené budovy.

Nejdříve se budeme zabývat možnostmi modelování systémů vytápění budov a jejich realizace. Zaměříme se na teoretický rozbor možností identifikací systémů obecně a zhodnotíme výhody a nevýhody ARX/ARMAX modelů a subspace metod identifikace v programu Scilab z hlediska uživatele.

Bude uveden stručný úvod do softwarového nástroje Scilab, který umožnil implementaci potřebných algoritmů, popis některých implementovaných funkcí a popis formy použitých dat pro identifikaci systému vytápění.

Nakonec bude pomocí subspace metod modelován reálný systém vytápění budovy, který bude podroben analýzám, jež určí kvalitu systému. Nejlepší model systému budovy bude dále využit pro návrh regulátorů této soustavy v navazující práci Bc. Jakuba Kubečka–Řízení vytápění budovy.

IDENTIFIKACE - ZÁKLADNÍ POJMY

V této kapitole se vychází z teoretických podkladů tak, jak jsou uvedeny v (Havlena at al. [2]) a v (Havlena [3]).

V oblasti techniky a teorie automatického řízení jde o identifikaci, která nám pomáhá vyznat se ve vlastnostech nejrůznějších systémů, které se vyskytují kolem nás a které chceme lépe poznat. Máme celou řadu možností, jak zvenku zmapovat daný technický objekt a informace následně využít v praxi, například k řízení.

2.1. Objekt

Nejjednodušší je pojem identifikace objektů. To znamená jednoznačné určení jména nebo alespoň identifikačního čísla objektu na základě dostupných informací. Je podstatné, že objekt vybíráme z dovolené množiny objektů, jejíž prvky se liší. K takové identifikaci můžeme použít libovolné dostupné prostředky a má význam zejména mimo oblast techniky. Je důležité nezaměňovat pojem identifikace s pojmy klasifikace či kategorizace. Při klasifikaci, resp. kategorizaci nestojíme o konkrétní určení neznámého objektu, ale pouze o jeho zařazení do správné třídy objektů.

2.2. Parametr

V oblasti techniky dáváme přednost popisu objektů pomocí parametrů. Jedná se o skupinu vlastností, které daný objekt popisují. Někdy se omezujeme na pevný počet vlastností, které jsou vyjádřeny pomocí reálných čísel a uspořádány do vektoru. Výsledkem identifikace je určení číselných hodnot uvedených vlastností, které nazýváme parametry.

2.3. Neznámý systém a jednoduché modelování

Většinou o systémech nevíme téměř nic, a přesto chceme identifikovat jejich parametry. Nezbyvá, než místo skutečného popisu vlastností objektu a vzájemných vztahů mezi nimi použít jednoduchý model, jehož platnost nemůžeme ověřit, ale jehož použití se přesto nabízí. Při tomto přístupu vznikají nejčastější chyby při identifikaci v praxi. Neznámý systém se

modeluje pomocí lineárních nebo kvadratických funkcí, v současné době je také moderní použití neuronových sítí. Lineární systémy jsou jednoduché a v praxi musíme stejně provést linearizaci. Pokud jde o kvalitu výsledku identifikace, je nutné nalézt vhodný model objektu a nepoužívat jednoduché modelování.

2.4. Model s konstantními parametry

Nejjednodušším modelem je model s konstantními parametry. Je to lineární model s jedním parametrem, který se odhaduje. K tomu nám slouží celá řada možností, z níž nejjednodušší je aritmetický průměr. Pokud provádíme průměrování výsledků měření provádíme vlastně identifikaci systému. Aritmetický průměr je také za určitých statistických předpokladů nejlepším možným odhadem jednoho parametru modelu z dat vzniklých opakovaným měřením. Dále je známo, že neurčitost hodnoty průměru je možné určit pomocí chyby měření, což není nic jiného než výběrová směrodatná odchylka. Tu pak stačí vydělit druhou odmocninou z počtu měření a získáme představu o směrodatné odchylce (chybě) průměru, kterou může následně využít ke konstrukci tzv. konfidenčního intervalu, do kterého parametr patří v 95 % případů. Uvedený jednoduchý postup v praxi mnohdy stačí a je založen na předpokladu nezávislosti chyby měření a jejím Gaussově normálním rozdělení. Pokud uvedené předpoklady nejsou splněny, pak je vhodné se poohlédnout po jiných způsobech, jak uvedený parametr odhadnout. Pokud hodnoty řádově kolísají, nabízí se například geometrický průměr. Jiným způsobem je medián, ale i jiné odhady (Huber, Tukey, Hampel, Andrews, Talwar, Hodges-Lehmann) mají své teorie i opodstatnění.

Identifikace parametrů je doménou statistických metod, bez nichž se v praxi neobejdeme.

2.5. Lineární model

Známe-li souvislost mezi jedním vstupem a jedním výstupem, pak můžeme použít jednoduchý lineární model. Hovoříme o prokládání přímky naměřenými daty. Jedná se o minimalizaci toho, jak naměřenými dvojicemi vstup-výstup co nejlépe proložit lineární závislost tak, aby součet druhých mocnin odchylek dat od přímky byl co nejmenší, tedy metoda nejmenších čtverců, která je založena na Gaussově normálním rozdělení chyb.

2.6. Linearizace

Linearizace (někdy také lineární aproximace) je nahrazení části křivky (nebo průběhu funkce) přímkou. Jinak řečeno, jedná se o aproximaci lineární funkcí (jinak také polynomem prvního řádu).

2.7. Kvazilinearizace

Spočívá v tom, že každou linearizovanou rovnici (pro každé měření je jedna) vynásobíme vhodnou kladnou konstantou, která je tím vyšší, čím nižší je hodnota derivace transformační funkce. Tento postup vede k přesnějším odhadům parametrů.

2.8. Gaussova–Newtonova metoda

Nejtěžší identifikace je v případě, že souvislost mezi vstupem a výstupem je nelineární a nelze ji linearizovat. Lze využít metody nelineární regrese, které jsou založeny na minimalizaci součtu čtverců odchylek i v případě, že jde o funkci s více lokálními minimy a dalšími nepříjemnými vlastnostmi. Můžeme využít například metody gradientní včetně konjugovaných gradientů, metody s proměnnou metrikou, metodu pružného simplexu, řízeného náhodného prohledávání nebo metody diferenciální evoluce a genetické optimalizace. Tyto metody lze charakterizovat jako univerzální nástroje, které vyžadují počáteční odhad parametrů (například pomocí linearizace) nebo alespoň dolní a horní meze pro jednotlivé parametry. Pokud takovému systému zadáme formuli popisující daný nelineární model, pak nezbyvá než věřit, že systém najde globální minimum součtu čtverců odchylek v přijatelném čase. Souřadnice minima nejsou nic jiného než právě hledané parametry sledovaného systému. Minimalizace pokutové funkce (součet čtverců odchylek je zvláštním případem pokuty) je nástrojem pro identifikaci parametrů modelů (objektů, systémů). Velmi často se používá Gaussova–Newtonova metoda, která využívá lokální linearizace modelu, ale vyžaduje velmi přesný počáteční odhad parametrů. V obtížných případech využíváme regularizační techniky, při nichž mírně měníme cíl optimalizace, což posune hodnoty parametrů (vychýlený odhad), ale získáme menší chybu jejich identifikace. V kombinaci s Gaussovou–Newtonovou metodou pak hovoříme o Levenbergově–Marquardtově metodě.

2.9. Vícerozměrné systémy

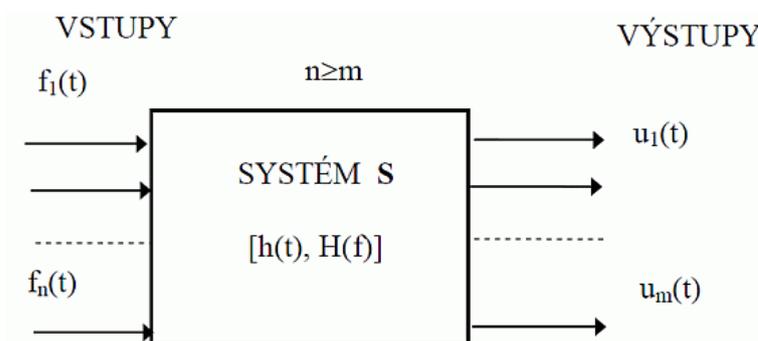
Je nutné měřit všechny vstupy a výstupy v jednom časovém okamžiku a předpokládat, že studovaný systém je statický, tj. nemění se v čase. Tím se předchozí úlohy dále rozšiřují a žádné výrazné obtíže tím navíc nevzniknou. Čím více máme měření, tím přesnější je určení parametrů. I model s více vstupy, výstupy a parametry může být lineární přinejmenším vůči parametrům, pak lze identifikaci realizovat velmi snadno s využitím standardních knihoven v moderních programovacích jazycích. S rostoucím počtem parametrů modelu klesá chyba modelu, tj. míra shody modelu s naměřenými daty.

2.10. Dynamický systém

Dynamický systém je systém (vyčleněný z hlediska chování ve vztahu k času), jehož okamžitý stav závisí na předchozích stavech a vnějších podnětech a vyznačuje se setrvačností i zpožděním reakcí. Jedná se o matematický model s jasně definovanými vstupy a výstupy a se známými počátečními podmínkami.

Na obrázku 2.1 je uvedeno schéma dynamického systému, přičemž $f_n(t)$ jsou vstupní (budicí) vektory, $h(t)$ je impulsní odezva, $H(f)$ je přenosová funkce systému a $u(t)$ je výstupní vektor (odezva).

Dynamický systém je modelem, který více či méně přesně reprezentuje fyzikální strukturu skutečného objektu. Každý fyzikální objekt může mít abstraktní orientovaný model, avšak ne každý abstraktní orientovaný model má fyzikální realizaci. Budeme se zabývat výhradně fyzikálně realizovatelnými modely a pokusíme se o jejich určitou klasifikaci.



Obrázek 2.1.: Dynamický systém

2.11. Klasifikace systémů

Klasifikace systémů je bezprostředně spjata s vlastnostmi operátorových rovnic, které vyjadřují vzájemnou souvislost mezi budícím vektorem $f(t) = [f_1(t), f_2(t), \dots, f_n(t)]^T$ a výstupním vektorem (odezvou) systému $u(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t)]^T$. Jsou-li parametry systému φ obsaženy v operátoru H , lze každé realizaci procesu $f(t)$ přiřadit odezvu pomocí rovnice

$$U(t) = Hf(t) \quad (2.1)$$

Operátor H reprezentuje u dynamických systémů tzv. matice přenosových funkcí. Existuje-li operátor $L = H^{-1}$, lze rovnici (2.1) přepsat do tvaru

$$Lu(t) = f(t). \quad (2.2)$$

Operátor L představuje pohybové rovnice systému a doplňující podmínky pro jednoznačné určení $u(t)$ při daném buzení $f(t)$. Pro mechanické systémy představuje L soustavu diferenciálních rovnic doplněnou počátečními podmínkami.

2.11.1. Lineární systémy

Systémy považujeme za lineární platí-li princip superpozice, tedy když mezi libovolnými budícími vektory f_1, f_2 a odezvami u_1, u_2 platí vztah

$$H(\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2) = \alpha_1 Hf_1 + \alpha_2 Hf_2, \quad (2.3)$$

nebo taky

$$L(\alpha_1 u_1 + \alpha_2 u_2) = \alpha_1 Lu_1 + \alpha_2 Lu_2. \quad (2.4)$$

Kde α_1 a α_2 jsou libovolné konstanty.

2.11.2. Stacionární a nestacionární systémy

Pokud se vlastnosti systému v daném časovém úseku nemění, nazýváme systém stacionárním na tomto časovém úseku. Pokud je časový úsek definován $(-\infty, +\infty)$, je systém stacionární, což znamená, že při jeho analýze nezáleží na volbě počátku.

Děje, probíhající ve stacionárních systémech, lze popsat diferenciálními rovnicemi s konstantními koeficienty, procesy probíhající v nestacionárních systémech, musí být popsány diferenciálními rovnicemi s proměnnými koeficienty.

2.11.3. Autonomní a neautonomní systémy

Pro autonomní systémy je charakteristické, že $f(t) = 0$, to znamená, že kmitavé děje mohou v těchto systémech probíhat jen na úkor vnitřních zdrojů energie, energie akumulované v systému, respektive energie dodané krátkodobým počátečním buzením.

Pokud $f(t) \neq 0$, jsou systémy neautonomní.

2.11.4. Konzervativní a nekonzervativní systémy

Systém nazýváme konzervativním, nemění-li se při jeho pohybu celková mechanická energie. Pokud dochází k disipaci energie, je systém nekonzervativní.

2.11.5. Deterministické a stochastické systémy

Abstraktní orientovaný systém nazýváme deterministickým, je-li jeho chování v budoucnosti jednoznačně určeno počátečními podmínkami v čase t_0 a budoucími hodnotami vstupních signálů v čase $t > t_0$.

Stochastické systémy mají odezvy pro každé $t > t_0$ náhodné. Znalost stavu systému v čase t_0 a znalost stochastických charakteristik vstupních signálů v intervalu $t \in (t_0, t)$ nám umožňuje určit stav systému a odezvu jen s určitou pravděpodobností.

2.11.6. Spojité a diskrétní systémy

Jsou-li vstupní a výstupní signály definovány pro každé t , považujeme systém za spojité.

Je-li systém definován jen v diskrétních časových okamžicích, považujeme systém za diskrétní.

STOCHASTICKÉ METODY IDENTIFIKACE

Tato část se zaměřuje na odhadování parametrů lineárních stochastických systémů s využitím Bayesovského přístupu¹. Kapitola se bude zabývat zejména systémy s jedním výstupem, ale v některých případech bude upozorněno na to, jak lze model modifikovat pro systém s více výstupy. Tyto postupy byly názorně popsány v řadě prací, v této kapitole se vychází z (Havlena at al. [2]).

3.1. Struktury lineárních modelů

Systém je nazván lineární, jestliže je možné jej popsat modelem dle vztahu

$$y(t) = G(q^{-1})u(t) + H(q^{-1})e(t), \quad (3.1)$$

kde G a H jsou aktivační funkce v závislosti na operátoru zpětného posunutí q^{-1} . Operátor s posunutím o d vzorků lze popsat vztahem

$$q^{-d}x(t) = x(t-d), \quad (3.2)$$

kde d je násobek vzorkovací periody. Proměnná $e(t)$ je signál bílého šumu, který je nezávislý na předchozích vstupních hodnotách a který může být charakterizován některou pravděpodobnostní funkcí hustoty. V případě mnohorozměrných systémů jsou proměnné $u(t)$, $y(t)$ a $e(t)$ vektory a G a H jsou matice v závislosti na operátoru q^{-1} .

Jestliže je systém lineární, cílem procedury identifikace je určit dobré ohodnocení dvou přenosových funkcí G a H . Kritériem, které říká, co je „dobrý model“, bude schopnost modelu predikovat o jeden krok dopředu hodnotu s velmi malým rozdílem mezi výstupní hodnotou a požadovanou hodnotou. Pro lineární systém popsany rovnicí (3.1) je jednoduché stanovit, že predikce minimálního rozdílu je dána vztahem

$$\hat{y}(t|t-1) = H^{-1}(q^{-1})G(q^{-1})u(t) + [1 - H^{-1}(q^{-1})]y(t). \quad (3.3)$$

¹Bayesovský přístup považuje neznámé parametry za náhodné veličiny a využívá data k výpočtu (nikoli odhadu) podmíněné hustoty pravděpodobnosti parametrů.

3.1.1. Skutečný systém

Je dán vztahem

$$y(t) = G_0(q^{-1})u(t) + H_0(q^{-1})e_0(t), \quad (3.4)$$

kde $e_0(t)$ je signál bílého šumu nezávislý na vstupním signálu $u(t)$.

3.1.2. Struktura modelu M

Je parametricky vyjádřena množinou kandidátů na model

$$M : \{G(q^{-1}, \Theta), H(q^{-1}, \Theta) \mid \Theta \in D_m\},$$

$$y(t) = G(q^{-1}, \Theta)u(t) + H(q^{-1}, \Theta)e(t), \quad (3.5)$$

kde Θ znamená p přizpůsobitelných parametrů a D_m je podmnožina \mathbb{R}^p prostoru, v němž se provádí hledání modelu. Struktura modelu ve tvaru predikce výstupu je dána vztahem

$$\hat{y}(t \mid t-1, \Theta) = H(q^{-1}, \Theta)G(q^{-1}, \Theta)u(t) + [1 - H^{-1}(q^{-1}, \Theta)]y(t) \quad (3.6)$$

Zde byl zařazen parametr Θ jako argument, což znamená, že struktura modelu představuje množinu modelů. Pokud není jinak dáno, uvažuje se běžně o predikci pouze o jeden krok dopředu, proto můžeme zápis $t-1$ vynechat z hlediska konvence zápisu. Struktura modelu bývá často zapsána v náhradním tvaru

$$\hat{y}(t \mid \Theta) = \varphi^m(t) \Theta, \quad (3.7)$$

kde Θ je vektor parametrů a φ je regresní vektor, který obsahuje poslední vstupy, poslední výstupy nebo signály odvozené od vstupů a výstupů.

Základním požadavkem pro popis skutečného systému je dostatečně velká množina struktur modelů takových, že platí

$$S \in M.$$

Model je konkrétní volba vektoru parametrů

$$\Theta = \hat{\Theta}.$$

3.1.3. Obecný tvar struktury modelu

Je dán vztahem

$$A(q^{-1})y(t) = q^{-d} \frac{B(q^{-1})}{F(q^{-1})} u(t) + \frac{C(q^{-1})}{D(q^{-1})} e(t), \quad (3.8)$$

kde polynomy jsou ve tvaru

$$\begin{aligned} A(q^{-1}) &= 1 + a_1q + \dots + a_nq^{-n} \quad , \\ B(q^{-1}) &= b_0 + b_1q + \dots + b_mq^{-m} \quad , \\ C(q^{-1}) &= 1 + c_1q + \dots + c_kq^{-k} \quad , \\ D(q^{-1}) &= 1 + d_1q + \dots + d_lq^{-l} \quad , \\ F(q^{-1}) &= 1 + f_1q + \dots + f_rq^{-r} \quad . \end{aligned} \quad (3.9)$$

Speciální hodnoty některých polynomů vedou na modely typu **ARX**, **ARMAX** a další, které jsou v následující části kapitoly popsány.

3.2. FIR struktura modelu (The Finite Impulse Response model structure)

Tato struktura modelu je nejjednodušším typem a její popis je dán vztahem

$$A(q^{-1})y(t) = q^{-d}B(q^{-1})u(t) + e(t) \quad (3.10)$$

a predikce výstupu je dána rovnicí

$$\hat{y}(t | \Theta) = q^{-d}B(q^{-1})u(t), \quad (3.11)$$

což může být vyjádřeno v regresním tvaru takto

$$\hat{y}(t | \Theta) = \varphi^T(t)\Theta, \quad (3.12)$$

kde $\varphi(t)$ je regresní vektor definovaný vztahem

$$\varphi(t) = [u(t-d), \dots, u(t-d-m)]^T.$$

Podobně, vektor parametrů Θ je uspořádán takto

$$\Theta = [b_0, \dots, b_m]^T.$$

Pokud je systém stabilní a odezva na impuls odezní přiměřeně rychle, systém může být velmi dobře aproximován pomocí FIR modelu, pokud polynom $B(q^{-1})$ obsahuje prvních m koeficientů impulsní odezvy.

3.3. ARX struktura modelu (AutoRegressive with eXternal input)

ARX struktura modelu je **autoregresní model s externím vstupem**, který je popsán ve zjednodušené verzi zápisu s polynomy a operátorem zpětného posunutí q^{-1}

$$A(q^{-1})y(t) = q^{-d}B(q^{-1})u(t) + e(t). \quad (3.13)$$

Predikci výstupu je možné definovat takto

$$\hat{y}(t | \Theta) = q^{-d}B(q^{-1})u(t) + [1 - A(q^{-1})]y(t) = \varphi^T(t)\Theta, \quad (3.14)$$

kde regresní vektor $\varphi(t)$ a vektor parametrů Θ jsou vyjádřeny vztahy

$$\varphi(t) = [y(t-1), \dots, y(t-n), u(t-d), \dots, u(t-d-m)]^T,$$

$$\Theta = [-a_1, \dots, -a_n, b_0, \dots, b_m].$$

Velmi důležitou vlastností ARX struktury modelu je stabilita predikce výstupní veličiny a to i v případě, pokud je systém nestabilní.

3.4. ARMAX struktura modelu (AutoRegressive Moving Average with eXternal Input)

Tato struktura modelu, která je nazývána **autoregresní model s klouzavým průměrem a s dalším vstupem**, je mnohem obecnější než ARX struktura a je dána následujícím vztahem

$$A(q^{-1})y(t) = q^{-d}B(q^{-1})u(t) + C(q^{-1})e(t). \quad (3.15)$$

Optimální predikce výstupu má tedy tvar

$$\begin{aligned} \hat{y}(t | \Theta) &= q^{-d} \frac{B(q^{-1})}{C(q^{-1})} u(t) + \left[1 - \frac{A(q^{-1})}{C(q^{-1})} \right] y(t) \\ &= q^{-d} B(q^{-1}) u(t) + [1 - A(q^{-1})] y(t) + [C(q^{-1}) - 1] \varepsilon(t, \Theta) \\ &= \varphi^T(t, \Theta) \Theta, \end{aligned} \quad (3.16)$$

kde

$$\varepsilon(t, \Theta) = y - \hat{y}(t | \Theta)$$

představuje chybu predikce (reziduál). Regresní vektor $\varphi(t)$ a vektor parametrů Θ mají tvar

$$\begin{aligned} \varphi(t, \Theta) &= [y(t-1), \dots, y(t-n), u(t-d), \dots, u(t-d-m), \varepsilon(t, \Theta), \dots, \varepsilon(t-k, \Theta)]^T, \\ \Theta &= [-a_1, \dots, -a_n, b_0, \dots, b_m, c_0, \dots, c_k]. \end{aligned}$$

Závislost regresního vektoru na parametrech modelu byla způsobena vložením Θ jako argumentu funkce $\varphi(t)$.

3.5. OE struktura modelu (Output error model structure)

Tento model se využívá jedině tehdy, pokud šum působící na systém je bílý šum měření. Pak je struktura modelu popsána následujícím vztahem

$$y(t) = q^{-d} \frac{B(q^{-1})}{F(q^{-1})} u(t) + e(t). \quad (3.17)$$

Predikce výstupu pro tento systém má jednoduchý tvar

$$\begin{aligned} \hat{y}(t | \Theta) &= q^{-d} \frac{B(q^{-1})}{F(q^{-1})} u(t) \\ &= q^{-d} B(q^{-1}) u(t) + [1 - F(q^{-1})] \hat{y}(t | \Theta) \\ &= \varphi^T(t, \Theta) \Theta, \end{aligned} \quad (3.18)$$

kde

$$\begin{aligned} \varphi(t, \Theta) &= [\hat{y}(t-1 | \Theta), \dots, \hat{y}(t-r | \Theta), u(t-d), \dots, u(t-d-m)]^T, \\ \Theta &= [-f_1, \dots, -f_r, b_0, \dots, b_m]^T. \end{aligned}$$

VÝZNAMY MATIC V IDENTIFIKACI SYSTÉMŮ

4.1. Identifikace systému

Popis subspace metod je podrobně popsán v (De Cock et al. [1]).

Jedná se o nalezení matematického modelu dynamického systému z naměřených dat.

Ve většině případů je jako vyhovující model možné použít **lineární systém**, pro nějž jsou známy dobré techniky identifikace. Pokud je systém nelineární (to je většinou) můžeme provést jeho linearizaci a dále postupovat jako by byl lineární.

Stavová reprezentace lineárního systému diskrétního v čase má tvar:

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= Ax_k + Bu_k + w_k, \\ y_k &= Cx_k + Du_k + v_k, \end{aligned} \quad (4.1)$$

kde

A, B, C a D jsou reálné matice,
 x_k je stavový vektor (dimenze n),
 u_k je vstupní (řídící) vektor (dimenze m),
 y_k je výstupní vektor (dimenze l) a
 $\{w_k\}, \{v_k\}$ jsou poruchy (šumy) ve tvaru

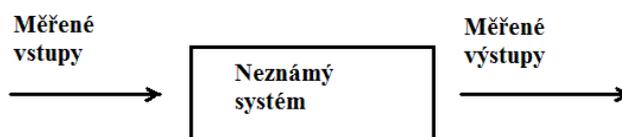
$$\varepsilon \left[\begin{bmatrix} w_p \\ v_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_q^T & v_q^T \end{bmatrix} \right] = \begin{bmatrix} Q & S \\ S^T & R \end{bmatrix} \delta_{pq} \geq 0.$$

4.1.1. Postup při identifikaci lineárního systému

Postup při identifikaci lineárního systému, při kterém jde o to, jak nalézt řád systému n a matice systému A, B, C a D , můžeme rozdělit do dvou základních kroků, kde využijeme:

- vstupních a výstupních (I/O) dat, $\{u_k\}$ a $\{y_k\}$, $k = 1 : t$,
- omezení řádu systému shora označené s .

V dalším postupu je třeba nalézt kovarianční matice Q, R, S . Pro podmínku $w_k = Kv_k$, je třeba zjistit matici Kalmanova zesílení K .



Obrázek 4.1.: Jednoduché schéma systému.

Možné přístupy řešení:

- identifikace ARMAX modelů založené na optimalizaci (PEM)
 - iterativní
 - parametrizační
 nebo dalších metodách, jako např. upravené nejmenší čtverce, metoda chyby predikce atd.
- založené na subspace metodě (N4SID, MOESP, CVA)
 - neiterativní (použití lineární algebry)
 - s jedním parametrem s

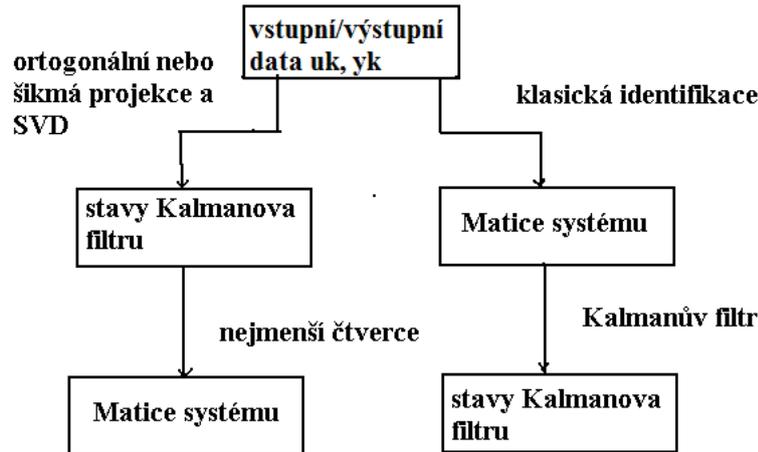
Je třeba poznamenat, že nástroj **Scilab** využívá pro identifikaci toolbox s názvem **SLIDENT**. Toolbox je naprogramován ve Fortran 77 a je součástí balíčku numerické algebry **SLICOT** (Subroutine Library in Control Theory, volně k dispozici na <http://www.slicot.org/>).

V následujícím textu bude nejprve uveden stručný popis metody identifikace ARMAX modelů a dále subspace metody.

4.2. Identifikace ARMAX modelů

Metoda PEM (Prediction Error Method) použitá na model (3.15) odhaduje parametry Θ , které tvoří parametry polynomů (3.9). Rovnice (3.16) vyjadřují přepis modelu do formy prediktoru a parametry tohoto modelu mohou být nalezeny pomocí minimalizace kritéria

$$V_{ARMAX} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left(\frac{1}{C(q^{-1})} [A(q^{-1})y(t) - B(q^{-1})u(t)] \right)^2.$$



Obrázek 4.2.: Rozdíly klasické a subspace identifikace.

Minimum kriteria se řeší pomocí kvazilinearizace.

4.3. Metody subspace identifikace

Podle (De Cock et al. [1]).

Metody subspace identifikace jsou založeny na znalostech z teorie systémů, lineární algebry a statistiky. Jako hlavní pilíře subspace metod identifikace stojí za zmínku:

1. Vektor stavů (stavová sekvence) dynamického systému je určován jako první přímo z dostupných vstupních/výstupních vektorů, bez znalosti modelu. Tento přístup je jednou z hlavních výhod subspace metod identifikace oproti "klasickým" přístupům, které jsou založeny na vstupně/výstupních strukturách. Rozdíly jsou patrné z obrázku 4.2. Při testování algoritmů subspace metod bylo ukázáno, jak lze získat stavy Kalmanova filtru přímo ze vstupních/výstupních dat, pomocí nástrojů lineární algebry (QR a SVD), bez znalosti matematického modelu. Důležitým důsledkem je, že jakmile známe tyto stavy, dostaneme problém identifikace systému ve tvaru lineárních nejmenších čtverců s neznámými maticemi systému a kovarianční matice procesu a chyby získáme z reziduí nejmenších čtverců:

$$\begin{pmatrix} x_{i+1} & x_{i+2} & \cdots & x_{i+j} \\ y_i & y_{i+1} & \cdots & y_{i+j-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i & x_{i+1} & \cdots & x_{i+j-1} \\ u_i & u_{i+1} & \cdots & u_{i+j-1} \end{pmatrix} + \quad (4.2)$$

$$+ \begin{pmatrix} w_i & w_{i+1} & \cdots & w_{i+j-1} \\ v_i & v_{i+1} & \cdots & v_{i+j-1} \end{pmatrix}$$

Stavová sekvence může být stanovena přímo, avšak ve většině variant a implementací je stanovena nepřímou cestou. Jinými slovy můžeme říci, že množina lineárních rovnic (4.2) se dá řešit „nepřímou“, jak bude zřejmé dále, bez přímého výpočtu stavové sekvence samotné. Je-li potřeba, stavové sekvence mohou být počítány přímo.

Dva hlavní kroky algoritmu subspace metod identifikace jsou následující:

(a) Zjistí řád modelu n a odhad stavového vektoru $\hat{x}_i, \hat{x}_{i+1}, \dots, \hat{x}_{i+j}$. Hledání je realizováno typicky pomocí první projekce řádkového prostoru blokových Hankelových matic a následné aplikace SVD.

(b) Řeš problém nejmenších čtverců abys dostal stavové matice:

$$\begin{pmatrix} \hat{A} & \hat{B} \\ \hat{C} & \hat{D} \end{pmatrix} = \min_{A,B,C,D} \left\| \begin{pmatrix} \hat{x}_{i+1} & \hat{x}_{i+2} & \cdots & \hat{x}_{i+j} \\ y_i & y_{i+1} & \cdots & y_{i+j-1} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{x}_i & \hat{x}_{i+1} & \cdots & \hat{x}_{i+j-1} \\ u_i & u_{i+1} & \cdots & u_{i+j-1} \end{pmatrix} \right\|_F^2,$$

kde $\|\cdot\|_F$ znamená Frobeniovu maticovou normu. Odhad kovariančních matic chyb je:

$$\begin{pmatrix} \hat{Q} & \hat{S} \\ \hat{S}^T & \hat{R} \end{pmatrix} = \frac{1}{j} \begin{pmatrix} \rho_{w_i} & \rho_{w_{i+1}} & \cdots & \rho_{w_{i+j-1}} \\ \rho_{v_i} & \rho_{v_{i+1}} & \cdots & \rho_{v_{i+j-1}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \rho_{w_i} & \rho_{w_{i+1}} & \cdots & \rho_{w_{i+j-1}} \\ \rho_{v_i} & \rho_{v_{i+1}} & \cdots & \rho_{v_{i+j-1}} \end{pmatrix}^T,$$

kde $\rho_{w_k} = \hat{x}_{k+1} + \hat{A}\hat{x}_k$ a $\rho_{v_k} = y_k - \hat{C}\hat{x}_k - \hat{D}u_k$ ($k = i, \dots, i+j-1$) jsou rezidua nejmenších čtverců.

2. Metody subspace identifikace plně využívají algoritmy z numerické lineární algebry. Tyto algoritmy jsou velmi robustní, a proto se velmi dobře hodí pro velké datové struktury a systémy vysokého řádu. Navíc metody subspace identifikace nejsou iterativní, nemají problémy s konvergencí.

3. Vzhledem k informacím zmíněným výše je možné říci, že softwarová implementace subspace metod identifikace je uživatelsky přívětivá a jednoduchá k pochopení. Jako příklad: není potřeba přímo zadávat parametry, uživatel není konfrontován s vysoce technickým a teoretickým pozadím problému, jako jsou kanonické parametrizace. Jediný parametr, který stanoví uživatel, je řád systému. Řád systému může být také stanoven bez přispění uživatele, na základě kontroly některých singulárních hodnot.

4.3.1. Kroky algoritmu subspace identifikace

1. Výpočet Hankelovy matice H

$$H = [U_{1,p,N}^T \quad Y_{1,p,N}^T], \quad N \times (m+l)p,$$

kde $p = 2s$, $N = t - p + 1$ a $U_{1,p,N}$ a $Y_{1,p,N}$ jsou bloky Hankelových matic

$$U_{1,p,N} = \begin{bmatrix} u_1 & u_2 & u_3 & \cdots & u_N \\ u_2 & u_3 & u_4 & \cdots & u_{N+1} \\ u_3 & u_4 & u_5 & \cdots & u_{N+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_p & u_{p+1} & u_{p+2} & \cdots & u_{N+p-1} \end{bmatrix}.$$

2. Použijeme QR faktorizaci, $H = QR$, pro data (matice Q není potřeba).
3. Vypočítáme SVD rozklad matice vytvořené z R , $n :=$ počet nenulových singulárních hodnot. Například MOESP algoritmus nalezne SVD rozklad z $R_{ms+1:(2m+l)s, (2m+l)s+1:2(m+l)s}$, zatímco N4SID musí nejdřív počítat šikmou projekci.
4. Nalezneme matice systému z pravých singulárních vektorů a ostatní submatice z R .
5. Nalezneme kovarianční matice použitím reziduí vzniklých při řešení problému nejmenších čtverců.
6. Nalezneme Kalmanovo zesílení pomocí řešení diskrétní maticové algebraické Riccatiho rovnice.

4.4. Numerické algoritmy pro subspace identifikace

4.4.1. Přehled

Používá se zvláštní tvar matice H , která se skládá ze dvou zřetězených bloků Hankelových matic.

Výpočet faktoru R

- Choleskyho faktorizace $H^T H (> 0)$,
- rychlá QR faktorizace založená na posunutí,
- běžná QR faktorizace H .

Zpracování dat

- nesequenční,
- sekvenční (v několika dávkách (batchs)).

4.4.2. Choleskyho faktorizace

1. Vytvoříme matici $M = H^T H$, s využitím blokové struktury Hankelovy matice.
2. Faktor $M = R^T R$ předpokládá $M > 0$.

$$M = \begin{bmatrix} U_{1,p,N} \\ Y_{1,p,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{1,p,N}^T & Y_{1,p,N}^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{uu} & M_{uy} \\ M_{uy}^T & M_{yy} \end{bmatrix}.$$

$$M_{uu} = \begin{bmatrix} u_1 & \cdots & u_N \\ \vdots & & \vdots \\ u_p & \cdots & u_{N+p-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1^T & \cdots & u_N^T \\ \vdots & & \vdots \\ u_p^T & \cdots & u_{N+p-1}^T \end{bmatrix}$$

→skládá se z $p \times p$ submatic tvaru

$$M_{uu}^{i,j} = u_i u_j^T + u_{i+1} u_{j+1}^T + \cdots + u_{i+N-1} u_{j+N-1}^T.$$

Pro nesequenční zpracování dat nechť $\hat{M}_{uu}^{i,j} = 0$. Pro sequenční zpracování dat nechť $\hat{M}_{uu}^{i,j}$ je na počátku nulová matice a každá nová dávka (batch) si $\hat{M}_{uu}^{i,j}$ spočítá. Je potřeba počítat pouze první blok $M_{uu}^{1,j}$ ($j = 1 : p$)

$$M_{uu}^{1,j} = \hat{M}_{uu}^{1,j} + u_1 u_j^T + u_2 u_{j+1}^T + \cdots + u_N u_{j+N-1}^T.$$

Pro zbytek se použije rekurze

$$M_{uu}^{i+1,j+1} = \hat{M}_{uu}^{i+1,j+1} - \hat{M}_{uu}^{i,j} + M_{uu}^{i,j} + u_{i+N} u_{j+N}^T - u_i u_j^T.$$

Ostatní bloky M_{yy} a M_{uy} jsou počítány podle tohoto schématu podobně.

4.4.3. Rychlá QR faktorizace

1. Vytvoříme generátor G matice $M = H^T H$ (předpokládáme že je > 0). G je generátor M jestliže

$$\nabla M := M - Z^T M Z = G^T \Sigma G,$$

kde Z je posunutí matice a $\Sigma = \text{diag}(I_p, -I_q)$. Generátor $H^T H$ můžeme nalézt s využitím blokové struktury Hankelovy matice, případně pomocí QR faktorizace

$$\begin{bmatrix} u_1^T & y_1^T \\ u_2^T & y_2^T \\ \vdots & \vdots \\ u_N^T & y_N^T \end{bmatrix}.$$

2. Vypočítáme Choleskyho faktor R ($M = R^T R$) pomocí Schurova algoritmu

- a) převedeme G do správného tvaru

$$\begin{bmatrix} / & | & / & / & / \\ - & | - & - & - & - \\ 0 & | & / & / & / \\ \vdots & | & / & / & / \\ 0 & | & / & / & / \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} - & G_1 & - \\ 0 & | & G_2 \end{bmatrix},$$

- b) první řádek generátoru ve správném tvaru je také první sloupec Choleskyho faktoru: $R_1 = G_1$,
- c) $\tilde{G} = \begin{bmatrix} G_1^- \\ G_2 \end{bmatrix}$ je generátor Schurova doplňku $M_{22} - M_{21} m_{11}^{-1} M_{12}$ matice

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix},$$

- d) trojúhelníková matice R_2 (R bez prvního řádku a sloupce) je Choleskyho faktor toho samého Schurova doplňku.

4.4.4. QR faktorizace

Pro nesequenční zpracování se jedná o standardní QR faktorizaci (rychlou). Pro nesequenční zpracování je postup:

1. $H = [H_1^T \quad H_2^T \quad \dots \quad H_k^T]^T$,
2. Vypočítáme standardní QR, $H_1 = Q_1 R_1$.
3. for $i = 2 : k$ Aktualizuj R_1 použitím speciální QR

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ H_i \end{bmatrix} = Q_i R_i, \quad \begin{bmatrix} \tilde{R}_1 \\ 0 \end{bmatrix} = R_i.$$

($2(m+l)$ Jsou použity Hausholderovy transformace stejného řádu.)

4. $R := R_1$.

KALMANŮV FILTR

Bude uveden stručný nástin funkce Kalmanova filtru. Více informací lze nalézt v (Kalman [8]) a (Simon [9]).

Podstata Kalmanova filtru vychází z popisu systému podle obrázku 5.1. Vyjdeme ze systému, který je popsán soustavou rovnic

$$x(t+1) = Ax(t) + Bu(t) + v(t), \quad (5.1)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) + e(t), \quad (5.2)$$

kde $x(t)$ je stavová veličina, $u(t)$ je řídicí veličina, $y(t)$ je výstupní veličina, $v(t)$ je poruchová veličina, $e(t)$ je poruchová veličina, A , B , C , D matice systému a $v(t)$, $e(t)$ jsou nekorelované diskrétní bílé šумы s kovariančními maticemi Q a R definovanými operací

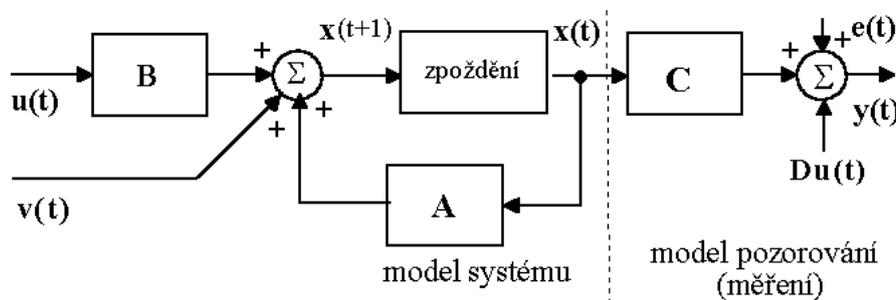
$$E \left\{ \begin{bmatrix} v(t) \\ e(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v(t) \\ e(t) \end{bmatrix}^T \right\} = \begin{bmatrix} Q & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix}. \quad (5.3)$$

Cílem je predikce posloupnosti odhadů stavů $x(t)$ a odpovídající posloupnosti kovariančních matic chyby odhadu

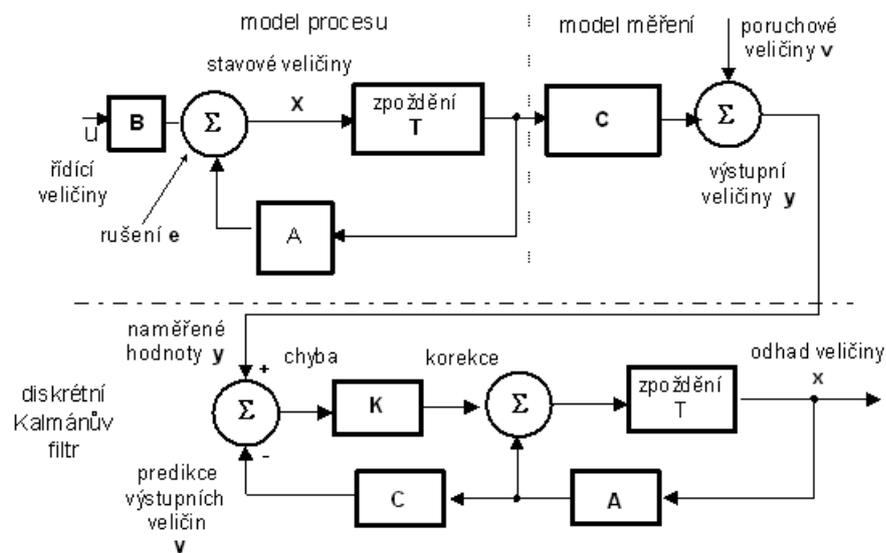
$$P(t) = E \left\{ (x(t) - \hat{x}(t))(x(t) - \hat{x}(t))^T \right\}. \quad (5.4)$$

Predikční povahu Kalmanovy filtrace nejlépe vyjadřuje vztah pro odhad následujících stavů $x(t)$ z předchozích

$$\hat{x}(t|t) = \hat{x}(t|t-1) + K(t)A^{-1}(y(t) - \hat{y}(t|t-1)), \quad (5.5)$$



Obrázek 5.1.: Stavový model dynamického diskrétního lineárního systému.



Obrázek 5.2.: Model Kalmanovské predikční filtrace odvozený z popsaného postupu 5.5.

kde $K(t)$ je Kalmanův zisk (zesílení)

$$K(t) = AP(t|t-1)C^T (CP(t|t-1)C^T + R)^{-1}. \quad (5.6)$$

Jelikož pro predikci hodnoty kovarianční matice chyby odhadu na základě její hodnoty v předchozím kroku platí

$$P(t+1|t) = AP(t|t)A^T + Q, \quad (5.7)$$

Ize ukázat, že Kalmanův zisk je úměrný poměru kovariančních matic Q a R a platí

$$K(t) = AP(t|t-1)C^T (CP(t|t-1)C^T + R) \approx QR^{-1}. \quad (5.8)$$

Vývoj kovarianční matice chyby odhadu je určen Riccatiho rovnicí

$$P(t+1|t) = AP(t|t-1)A^T - K(t)(C^T P(t|t-1)C + R)K^T(t) + Q. \quad (5.9)$$

Rovnice (5.5) a (5.9) představují algoritmus Kalmanova filtru a dají se rozdělit do dvou nezávislých kroků:

Datový (filtrační) krok Kalmanova filtru

Slouží ke zmenšení chyby predikce odhadu stavu dosaženého pomocí časového kroku.

$$\hat{x}(t|t) = \hat{x}(t|t-1) + L^T(t)\varepsilon(t|t-1), \quad (5.10)$$

$$P(t|t) = P(t|t-1) - L^T(t)CP(t|t-1), \quad (5.11)$$

kde $\varepsilon(t|t-1)$ je chyba odhadu výstupu

$$\varepsilon(t|t-1) = y(t) - C\hat{x}(t|t-1) - Du(t) \quad (5.12)$$

a $L^T(t)$ je Kalmanovo zesílení datového kroku

$$L^T(t) = P(t|t-1)C^T [CP(t|t-1)C^T + R]^{-1}. \quad (5.13)$$

Časový (predikční) krok Kalmanova filtru

Pomocí tohoto kroku zjistíme další budoucí (predikovaný) odhad stavu systému.

$$\hat{x}(t+1|t) = A\hat{x}(t|t) + Bu(t), \quad (5.14)$$

$$P(t+1|t) = AP(t|t)A^T + Q. \quad (5.15)$$

Kalmanovo zesílení celého filtru je

$$L(t) = AL^T(t). \quad (5.16)$$

Kalmanův filtr je algoritmus generující posloupnost odhadů stavu $\hat{x}(t|t)$ a kovariančních matic chyb odhadu $P(t|t)$, přičemž odhad stavu $\hat{x}(t|t)$ v každém kroku minimalizuje kritérium

$$J_{LMS} = \text{trace} P(t|t). \quad (5.17)$$

STRUČNÝ ÚVOD DO PROGRAMU SCILAB

Scilab je volně šiřitelný program pro numerické výpočty podobný systému MATLAB. Program byl vytvořen francouzskými vědeckými institucemi INRIA a ENPC. Jeho licence umožňuje bezplatné používání, ale nesplňuje podmínky Open Source Initiative ani Free Software Foundation.

Program umožňuje provádět jak jednoduchou aritmetiku (násobení čísel), tak náročné výpočty. Scilab je například používán pro statistické analýzy, zpracování obrazu, simulace fyzikálních a chemických jevů.

6.1. Popis prostředí

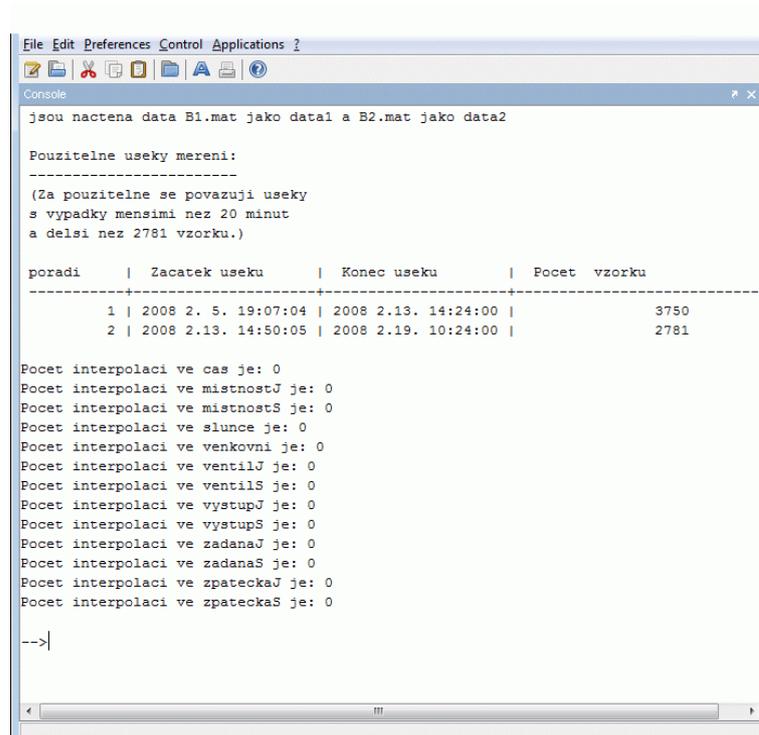
Po spuštění programu vidíme výchozí obrazovku konzole programu, která slouží k přímému zadávání příkazů v textové formě a pro informační výpis funkcí a skriptů ve Scilabu napsaných. Příkaz je vykonán po stisknutí klávesy **Enter**. Pokud za příkazem uvedeme středník výpis do konzole je potlačen.

Pro zápis kódu skriptů a funkcí se používá čistě textový editor SciPad. Skripty se podle konvence Scilabu ukládají s koncovkou **.sce* a funkce s koncovkou **.sci*, avšak není to nutné. Ke spuštění skriptu se použije klávesová kombinace **Ctrl+L**.

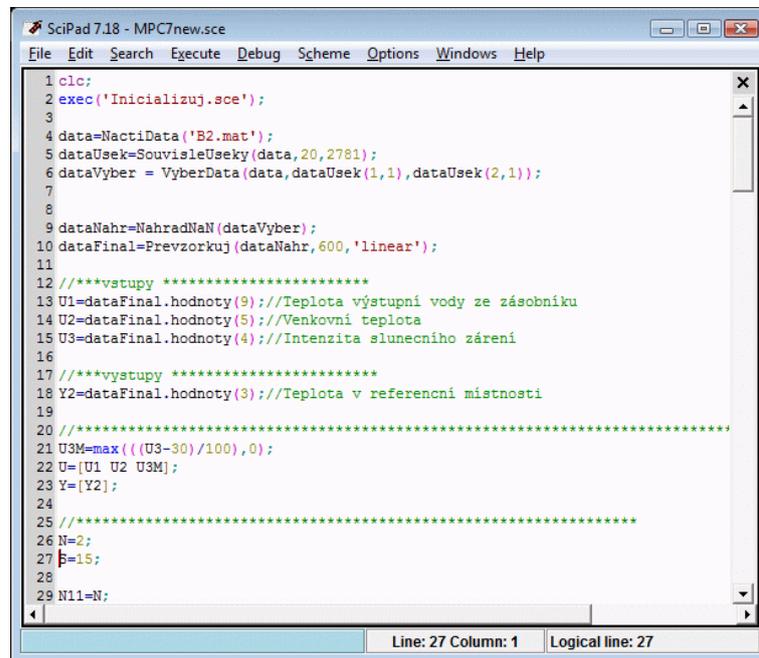
Scilab dále otevírá grafická okna podle potřeby při kreslení grafů a ostatních grafických entit. Tyto entity lze libovolně formátovat.

Scilab	
vývojář	INRIA
aktuální verze	5.0.3 (17. leden, 2009)
OS	GNU/Linux, UNIX, Windows
typ softwaru	Software pro vědeckotechnické výpočty
licence	(blízko k open source, ale nesplňuje podmínky OSI ani FSF)
web	www.scilab.org

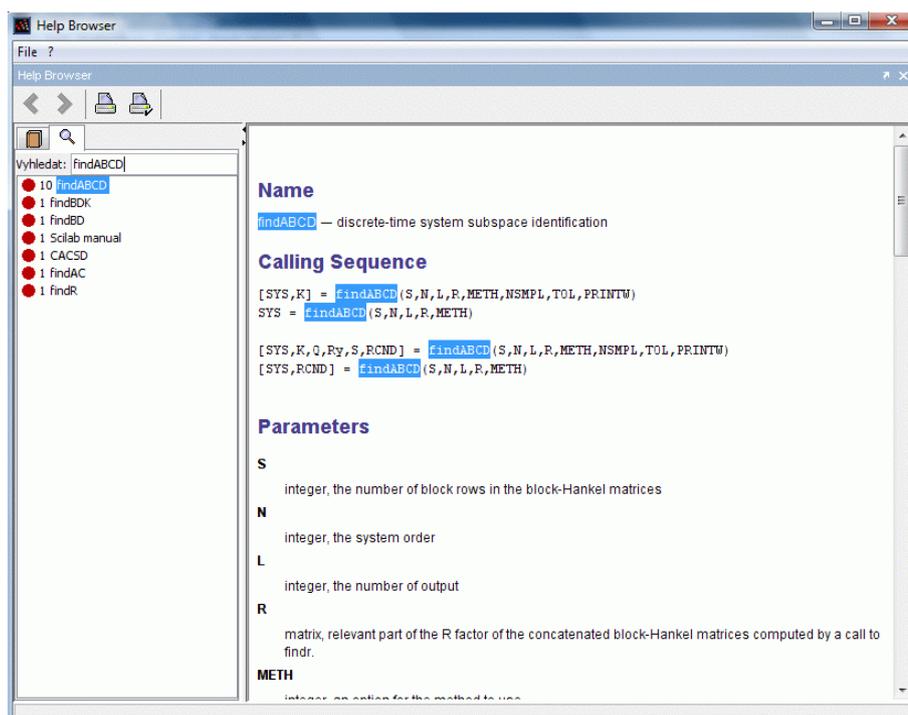
Tabulka 6.1.: Základní údaje o programu Scilab



Obrázek 6.1.: Konzole programu Scilab



Obrázek 6.2.: Editor Scipad v programu Scilab



Obrázek 6.3.: Okno nápovědy

Kontextovou nápovědu lze vyvolat po kliknutí na otazník v nástrojové liště hlavního okna a volby **Scilab Help**, okno nápovědy můžeme vidět na obrázku 6.3.

Scilab obsahuje ještě nástroj pro grafické a modulární zpracování s názvem Scicos, který ale nebyl v této práci použit a nebude tedy popisován.

SYSTÉM VYTÁPĚNÍ BUDOVY

Schéma systému vytápění budovy ČVUT poskytnuté pro účely této práce je vidět na obrázku 7.2. Obrázek zobrazuje blok A3, ale protože schémata a zapojení jsou totožná pro všechny bloky, lze ho jako ilustrační použít i pro náš účel. Identifikace byla prováděna pro bloky B1 a B2. Rozmístění bloků v budově můžeme vidět z obrázku 7.3.

Každý blok má totožný princip vytápění, popis uvedený dále souhlasí se všemi bloky budovy jak je vidět na obrázku. Tato práce se však zabývá pouze identifikací a testováním bloků B1 a B2.

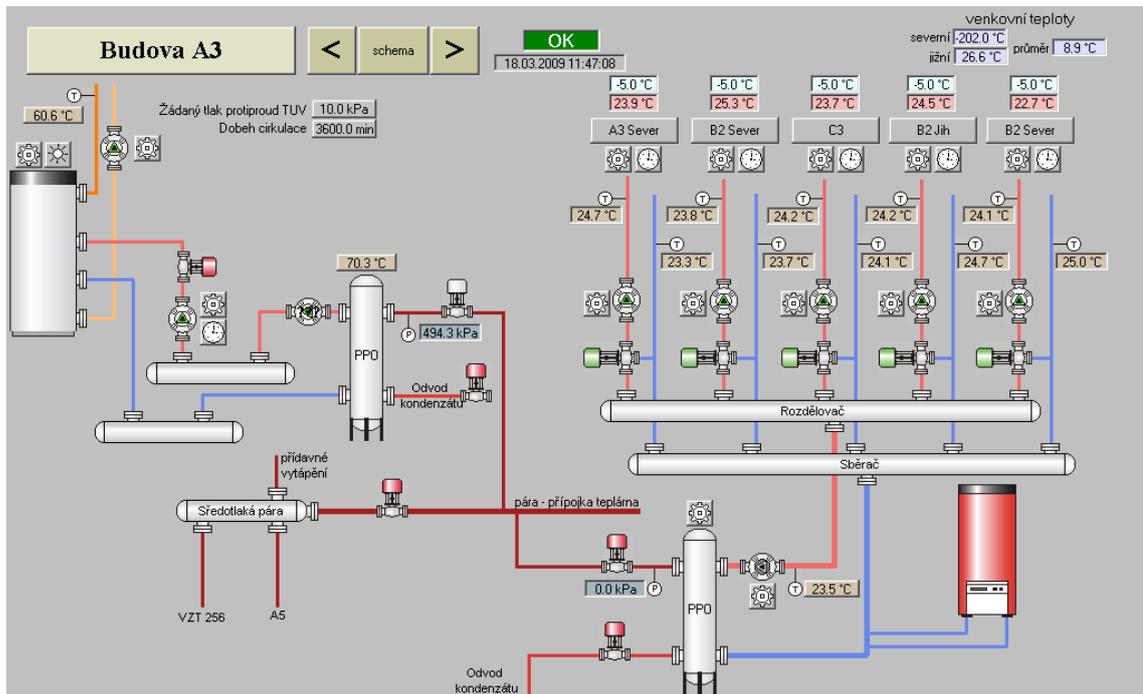
Použitý princip vytápění je tzv. stropní vytápění „Crittall“, jehož schéma je na obrázku 7.4. Systém „Crittall“, vynalezený již ve 20. letech 20. století R. G. Crittallem a J. L. Musgravem (Crittall at al. [11]), byl oblíbeným systémem pro vytápění budov stavěných v 60. a 70. letech minulého století. Topný had z kovových trubek je u tohoto systému zabudován v monolitickém betonovém stropě.

Teplá voda je přiváděna na místo použití pomocí horkovodů, nejedná se tedy o topení pomocí kotlů ani elektrických zařízení. Systém bloků pro připojení teplé otopné vody vidíme na obrázku 7.4 v levé části, touto částí se v dalším popisu již nebudeme zabývat, neboť regulace probíhá až na dalších blocích obsahujících ventily a měřicí prostředky. Blok s názvem PPO¹ je jednotka dodávající teplou vodu do všech větví. Teplá voda z PPO jde dále do rozdělovače teplé otopné vody do jednotlivých větví tedy bloků budovy. Na každém výstupu větve vidíme ventil, který lze nastavit procentuálně podle potřeby otevření či uzavření. Dále je na každé větvi termostat zjišťující teplotu otopné vody. Teplá voda prochází soustavou trubek zabudovaných v jednotlivých místnostech bloků budovy. V každé místnosti je měřena aktuální teplota. Po návratu ochlazené vody je opět měřena teplota této vody termostatem a vrací se do sběrače ochlazené vody. Na sběrači je ještě připojena expanzní nádoba a dále se ochlazená voda vrací zpět do PPO, kde je opětovně ohřáta a celý cyklus se opakuje. Systém dále obsahuje senzory pro měření intenzity slunečního záření, venkovní teploty a automaticky stahuje informace o předpovědi maximální a minimální hodnotě teploty v danou dobu. Více informací o datech lze nalézt v kapitole 8. Všechny hodnoty ze všech senzorů a předpovědi teplot jsou v daném časovém rozmezí ukládány. Tyto hodnoty byly dále použity pro identifikaci modelu systému.

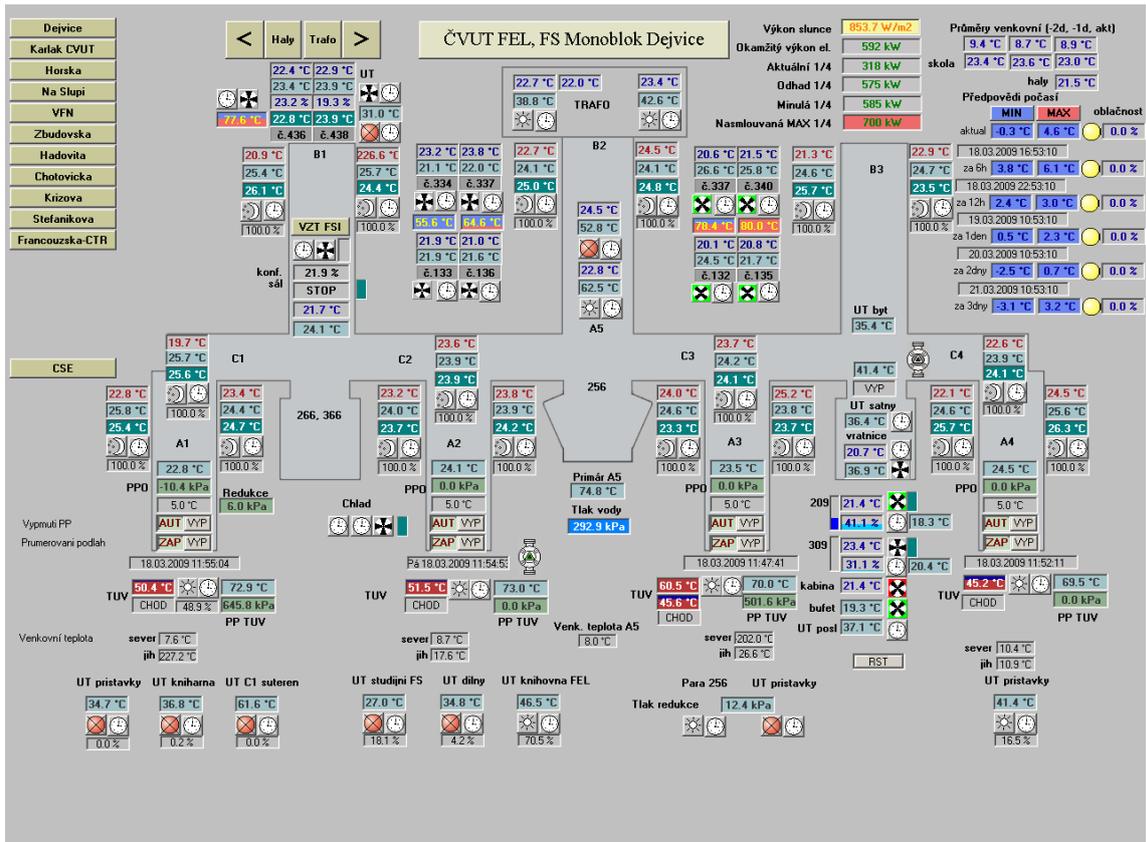
¹Parní Protiproudý Ohříváč



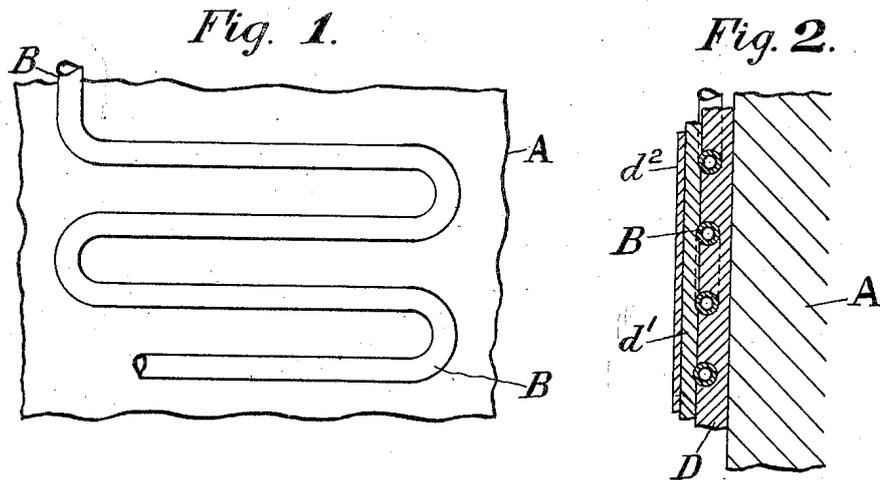
Obrázek 7.1.: Pohled na budovu ČVUT FEL



Obrázek 7.2.: Schéma systému vytápění (SCADA)



Obrázek 7.3.: Schéma budovy ČVUT (SCADA)



Obrázek 7.4.: Stropní vytápění, náčrtek z původního patentu R. G. Crittalla a J. L. Musgrava (1927)

REALIZACE DAT A FUNKCÍ

Byla zpracovávána data pro dva bloky budovy B1 a B2. Data byla dodána v souborech ve formátu *.csv¹. Bylo tedy nutné nalézt takové řešení, které by se dalo využít při zpracování v programu Scilab. Jelikož Scilab nemá žádný prostředek pro konverzi nebo načítání dat z externích jemu neznámých formátů souborů, bylo využito vlastností programu Matlab a jeho funkce umožňující import dat z formátu *.csv. Matlab data uložil jako vektory hodnot pojmenované podle hlavičky obsažené v původním *.csv souboru. Pojmenování nebylo zrovna šťastné, a proto se musela provést ruční editace názvů proměnných. Takto získaný soubor dat byl uložen do nativního formátu Matlabu tedy jako *.mat soubor, protože se ukázalo že Scilab nebude mít problém s načítáním takto formátovaného souboru do svého pracovního prostředí.

Každý soubor dat obsahuje 13 vektorů obsahujících dodaná data a to:

1. `cas` – čas v sekundách
2. `mistnostJ` – teplota v místnosti na jihu ve °C
3. `mistnostS` – teplota v místnosti na severu ve °C
4. `slunce` – slunečn ozáření W/m²
5. `venkovni` – teplota venku ve °C
6. `ventilJ` – procento otevření ventilu na jihu
7. `ventilS` – procento otevření ventilu na severu
8. `vystupJ` – teplota výstupní vody ze zásobníku ve °C na jihu
9. `vystupS` – teplota výstupní vody ze zásobníku ve °C na jihu
10. `zadanaJ` – požadovaná teplota ve °C na jihu
11. `zadanaS` – požadovaná teplota ve °C na severu
12. `zpateckaJ` – teplota zpátečky ve °C na jihu
13. `zpateckaS` – teplota zpátečky ve °C na severu

¹Comma-separated values, hodnoty oddělené čárkami.

```

*
*
jmeno funkce: KresliUseky()
volejte: KresliUseky(data,pocetDni,vektor_nazvu), kde data je struktura dat a vekt
*
*
jmeno funkce: KresliVse()
volejte: KresliVse(data), kde data je struktura dat.*
*
*
jmeno funkce: KresliVybrane()
volejte: KresliVybrane(data,vektor_nazvu), kde data je struktura dat a vektor_nazv
*
*
jmeno funkce: NactiData()
volejte: NactiData('Bn.mat'), kde n jsou data 1 nebo 2.*
*
*
jmeno funkce: NahradNaN()
volejte: NahradNaN(data), kde data je struktura dat*
*
*
jmeno funkce: Perioody()
volejte:[stredni_hodnota , rozptyl] = Perioody(sloupec_dat) *
*
*
jmeno funkce: Prevzorkuj()
volejte: Prevzorkuj(data,perioda, typ), kde data je struktura dat, perioda je cas v
*
*

```

Obrázek 8.1.: Výsledek spuštění skriptu Pomoc

8.1. Funkce a skripty pro zpracování dat

Všechny zde zmiňované funkce a jejich kódy jsou k dispozici v příloze na konci této práce a také na přiloženém CD.

Bylo potřeba připravit funkce, které by zajistily načítání a úpravu dat, která nebyla konzistentní. Muselo být vyřešeno vzorkování dat a doplnění chybějících hodnot v datech.

Jelikož Scilab nemá systém pro správu textových nápověd², bylo nutno vytvořit společnou „kostru“ pro všechny funkce, které budou potom doplněny už pouze samotným kódem funkce.

Pro všechny funkce je možné použít unifikovaný zápis pro vyvolání nápovědy:

- Funkce () – vypíše dlouhou nápovědu funkce,
- Funkce ('help') – vypíše dlouhou nápovědu funkce,
- H=Funkce('gethelp') – vypíše zkrácenou nápovědu funkce.

Pomocí jednoduchého skriptu Pomoc můžeme vypsát zkrácené nápovědy všech funkcí v adresáři.

Výsledek je vidět na obrázku 8.1.

Dále je uveden popis jednotlivých funkcí a skriptů, které byly vytvořeny pro potřeby zpracování a úpravy dat.

²Každá nápověda musí být psána v jeho vlastním formátu a poté také zobrazena v nástroji pro zobrazování nápověd.

```

-->DataInfo(data1)

Pocet promennych: 13

Nazvy promennych:

1. * cas *
2. * mistnostJ *
3. * mistnostS *
4. * slunce *
5. * venkovni *
6. * ventilJ *
7. * ventilS *
8. * vystupJ *
9. * vystupS *
10. * zadanaJ *
11. * zadanaS *
12. * zpateckaJ *
13. * zpateckaS *

Dalsi info: .

Pocatecni cas: 30.1.2008, 11:43:24
Konecny cas: 31.3.2008, 23:55:24

Pocet hodnot v jedne promenne: 27931

Pocet NaN v cas : 0
Pocet NaN v mistnostJ : 5
Pocet NaN v mistnostS : 5
Pocet NaN v slunce : 5

```

Obrázek 8.2.: Výpis funkce DataInfo (data)

8.1.1. Funkce DataInfo()

- DataInfo (data)

Funkce slouží pro výpis informací o datech načtených v daném formátu ve Scilabu. Jako vstupní parametr je třeba uvést formát dat s přesně definovanou danou strukturou³.

Výpis funkce je vidět na obrázku 8.2.

8.1.2. Skript Inicializuj()

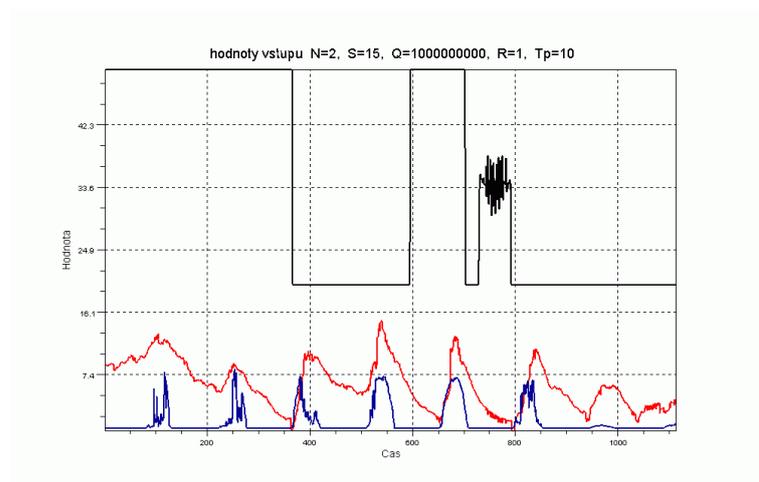
- Inicializuj()

Jednoduchý skript, který automaticky přeloží všechny funkce v aktuálním adresáři do binárního *.bin formátu a načte obě struktury dat do pracovního prostředí Scilabu. Skript pouze ulehčuje práci s daty a hotovými funkcemi které si uživatel vytvoří, jinak by musel každou funkci zvlášť zavádět pomocí příkazu `getf('funkce')` a načtení dat by probíhalo pomocí funkce `NactiData('navezSouboru.mat')`⁴.

Po vykonání skriptu jsou přístupná data jako proměnné **data1** a **data2** i funkce a lze s nimi bez potíží pracovat až do doby než dojde k vymazání paměťového prostoru programu Scilab nebo po jeho ukončení.

³viz kapitola 8.1.5

⁴Popis funkce `NactiData('navezSouboru.mat')` je uveden v kapitole 8.1.5.



Obrázek 8.3.: Ukázka formátování grafů s využitím `Kresli()`

8.1.3. Funkce `Kresli()`

- `Kresli(data, 'nazev')` nebo `Kresli(x, y, 'nazev')`

Funkce pro kreslení všech grafů. Je možné dvojí využití funkce. První možností je, že jako vstupní proměnné slouží **data** načtená pomocí funkce `NactiData()` viz sekce 8.1.5 a názvu proměnné **nazev** viz začátek kapitoly 8. Druhá možnost je, že můžeme vykreslit libovolná data při zadání souřadnic x a y a názvu grafu⁵.

Ukázka formátování grafů je na obrázku 8.3.

8.1.4. Skript `KresliVse()`

- `KresliVse(data)`

Pomocí volání funkce `Kresli()` v cyklu vykreslí všechna data, která máme.

8.1.5. Funkce `NactiData()`

- `NactiData("soubor.mat")`

Načte data z Matlabovského formátu **.mat*, data musí být realizována jako vektory hodnot s daným názvem proměnné. Načítání je realizováno ve Scilabu funkcí `loadmatfile(data)`, která načte data globálně do pracovního prostředí Scilabu. Data jsou následně načtena do listu a uspořádána podle jmen proměnných. Nakonec je vytvořena struktura s proměnnými **nazev** a **hodnoty**. Takto vytvořená struktura dat se využívá ve všech funkcích a datech a přistupuje se k ní pomocí následující syntaxe:

1. Vytvoříme strukturu dat pomocí zavolání `data=NactiData("soubor.mat")`.
2. Pokud chceme vypsat všechny názvy proměnných, použijeme `data.nazev`.

⁵Pokud není název nutný je třeba uvést „prázdný název“.

3. Pokud chceme vypsat všechny proměnné, použijeme `data.hodnoty`.
4. Pro přístup k jednotlivým názvům proměnných využijeme indexy, tedy např. `data.nazev(1)` vypíše první název proměnné.
5. Pro přístup k jednotlivým vektorům proměnných využijeme indexy, tedy např. `data.hodnoty(1)` vypíše první vektor proměnných.
6. Indexy vektorů proměnných a názvů proměnných lze zjistit pomocí funkce `DataInfo()` viz sekce 8.1.1 případně začátek kapitoly 8.

8.1.6. Funkce `NahradNaN()`

- `NahradNaN(data)`

Nahradí hodnoty `NaN`⁶ interpolací (lineární). Hodnota `NaN` znamená výpadek měření dat.

Interpolace se provede tak, že se spočte aritmetický průměr dvou nejbližších sousedních hodnot. Pokud se `NaN` vyskytují na konci nebo na začátku, je provedena interpolace pomocí nejbližší počáteční/koncové hodnoty.

Příklad 1:

```
vektor=[2 4 5 Nan Nan 8 7]
výsledek aplikace NahradNaN(vektor)
vektor=[2 4 5 6.5 7.25 8 7]
```

Příklad 2:

```
vektor=[Nan 4 5 Nan Nan 8 Nan]
výsledek aplikace NahradNaN(vektor)
vektor=[4 4 5 6.5 7.25 8 8]
```

8.1.7. Funkce `Periody()`

- `[stredni_hodnota , rozptyl] = Periody(sloupec_dat)`

Analýza period vzorkování – střední hodnota a rozptyl, výpadky.

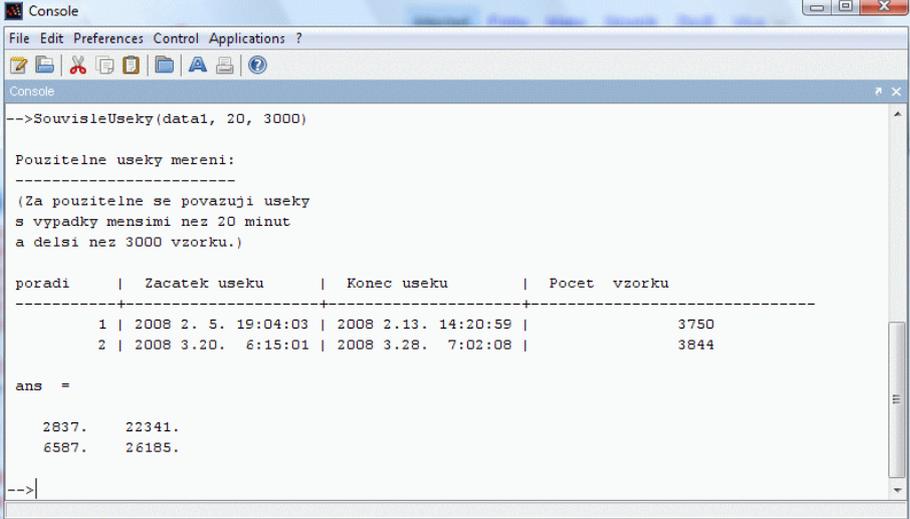
Funkce provede analýzu dat a vypočítá jejich střední hodnotu a rozptyl. Data se zadávají jako sloupec hodnot.

8.1.8. Funkce `Prevzorkuj()`

- `Prevzorkuj(data, perioda, 'typ')`

Periodu zadáváme podle potřeby ve formátu sekund, typ je nutno zadat slovně a to buď interpolace **spline**, nebo **linear**. Dojde k převzorkování dat (lineární nebo spline) tak, aby se doplnily výpadky měření. Před aplikací této funkce je nutno použít funkci `NahradNaN()` viz sekce 8.1.6, aby se data předpřipravila a neměla výpadky měření.

⁶Not a Number



```
-->SouvisleUseky(data1, 20, 3000)

Pouzitelne useky mereni:
-----
(Za pouzitelne se povazuji useky
s vypadky mensimi nez 20 minut
a delsi nez 3000 vzorku.)

poradi | Zacatek useku | Konec useku | Pocet vzorku
-----|-----|-----|-----
      1 | 2008 2. 5. 19:04:03 | 2008 2.13. 14:20:59 |          3750
      2 | 2008 3.20.  6:15:01 | 2008 3.28.  7:02:08 |          3844

ans =

      2837.    22341.
      6587.    26185.
```

Obrázek 8.4.: Výstup funkce SouvisleUseky()

8.1.9. Funkce SouvisleUseky()

- SouvisleUseky(data, max_vypadek, min_delka)

Funkce provede analýzu dat a vrátí počáteční a koncové indexy v zadaném sloupci dat. Zadá se minimální délka a maximální přípustný výpadek a funkce data rozkouskuje.

Ukázka výpisu programu Scilab po zavolání funkce SouvisleUseky(data, max_vypadek, min_delka) je na obrázku 8.4.

REALIZACE

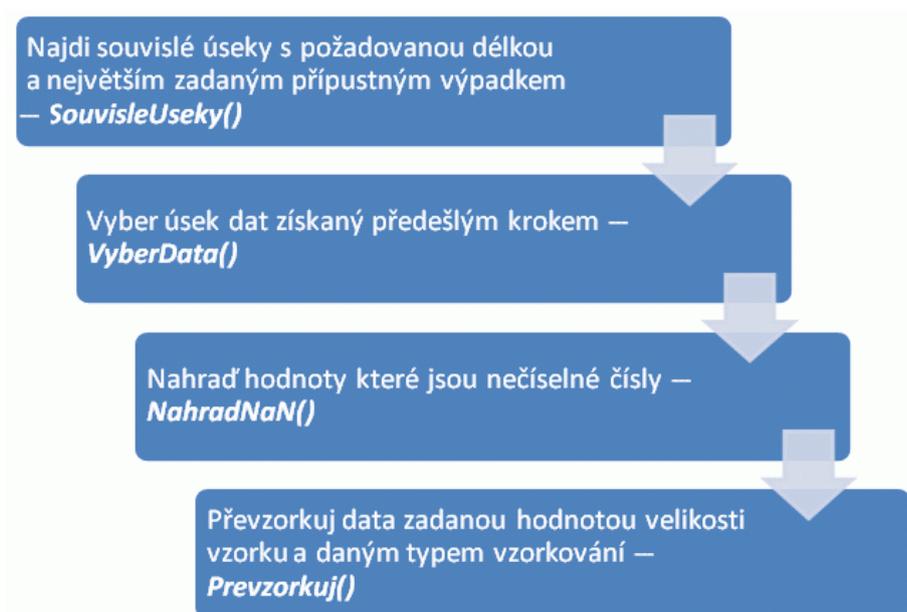
V této kapitole bude popsána skutečná realizace na reálných datech vytápění budovy ČVUT firmou Energocentrum Plus, s.r.o. Při realizaci se vycházelo z teoretických podkladů popsaných v předchozích kapitolách. Jako realizační nástroj byl použit již dříve zmíněný počítačový numerický výpočetní systém Scilab. V průběhu testování se vyskytly některé problémy, které bylo třeba vyřešit a nemusí být zcela v souladu se zmíněnou teorií, která ve většině případů pracuje se zjednodušením.

9.1. Předzpracování dat ze senzorů

Jelikož se ukázalo, že některé úseky dat byly nepoužitelné, data chyběla a také se muselo přistoupit k převzorkování dat, musela být data před samotnou identifikací upravena do použitelné podoby. Na diagramu 9.1 můžeme vidět kroky, kterými data musela projít. Bližší popis funkcí a skriptů zajišťující celý proces úpravy dat je uveden v kapitole 8.

1. Pomocí funkce *SouvisleUseky()* bylo potřeba nalézt blok dat „vcelku“ dle naší volby, která byla stanovena na hodnotu 3000 vzorků (asi jeden týden hodnot) s maximálními výpadky měření hodnot 20 minut. Získáme tak dvě hodnoty, z nichž první udává počáteční hodnotu úseku a druhá konečnou (může se jednat o matici $2 \times n$ v případě, že vhodných úseků je víc).
2. Počáteční a konečné hodnoty úseků dat zadáme do funkce *VyberData()*, jejímž výstupem je už vybraný úsek dat určený k dalšímu zpracování.
3. V takto zpracovaných datech by se mohly vyskytovat nečíselné hodnoty, proto jsou tyto hodnoty nahrazeny čísly pomocí funkce *NahradNaN()*.
4. Finální úpravu bloku dat provedeme pomocí převzorkování funkcí *Prevzorkuj()* se zadanou vzorkovací periodou, pro naše účely byla zvolena hodnota 600 (10 minut).

Celý postup je třeba opakovat ještě jednou, neboť jeden blok dat je potřeba pro identifikaci modelu systému a druhý blok pro ověřování vlastností a správnosti identifikace modelu systému. Samozřejmě je třeba vybrat v kroku 1 vždy odlišné úseky; pokud nebyly nalezeny úseky o stejné délce, byly pro otestování použity kratší, avšak pro identifikaci vždy minimálně 3000 vzorků. Průběhy dat použitých pro identifikaci jsou na obrázku 9.2.



Obrázek 9.1.: Diagram průběhu předzpracování dat

9.2. Vstupy a výstupy modelu systému

Při rozhodování o volbě vstupů a výstupů modelu systému použitých při identifikaci bylo třeba zohlednit použití daných modelů pro řízení systému pomocí prediktivního regulátoru v navazující práci Bc. Jakuba Kubečka (Kubecek [10]).

Po konzultaci ve firmě Energo centrum Plus, s.r.o. byly jako vstupy zvoleny hodnoty maximální a minimální předpovědi teploty a teplota výstupní vody ze zásobníku. Původně uvažovaná intenzita slunečního záření se ukázala být zbytečná, neboť výsledky simulací s použitím a s nepoužitím tohoto vstupu byly zcela totožné a model systému by se pouze stal složitějším bez dalšího přínosu pro následnou kvalitu regulace. Taktéž měřená teplota venku se nedala použít z důvodu neznalosti těchto hodnot do budoucího času, které byly třeba pro predikci řízení.

Jako výstup byl zvolen jediný blok dat, a to teplota v místnosti.

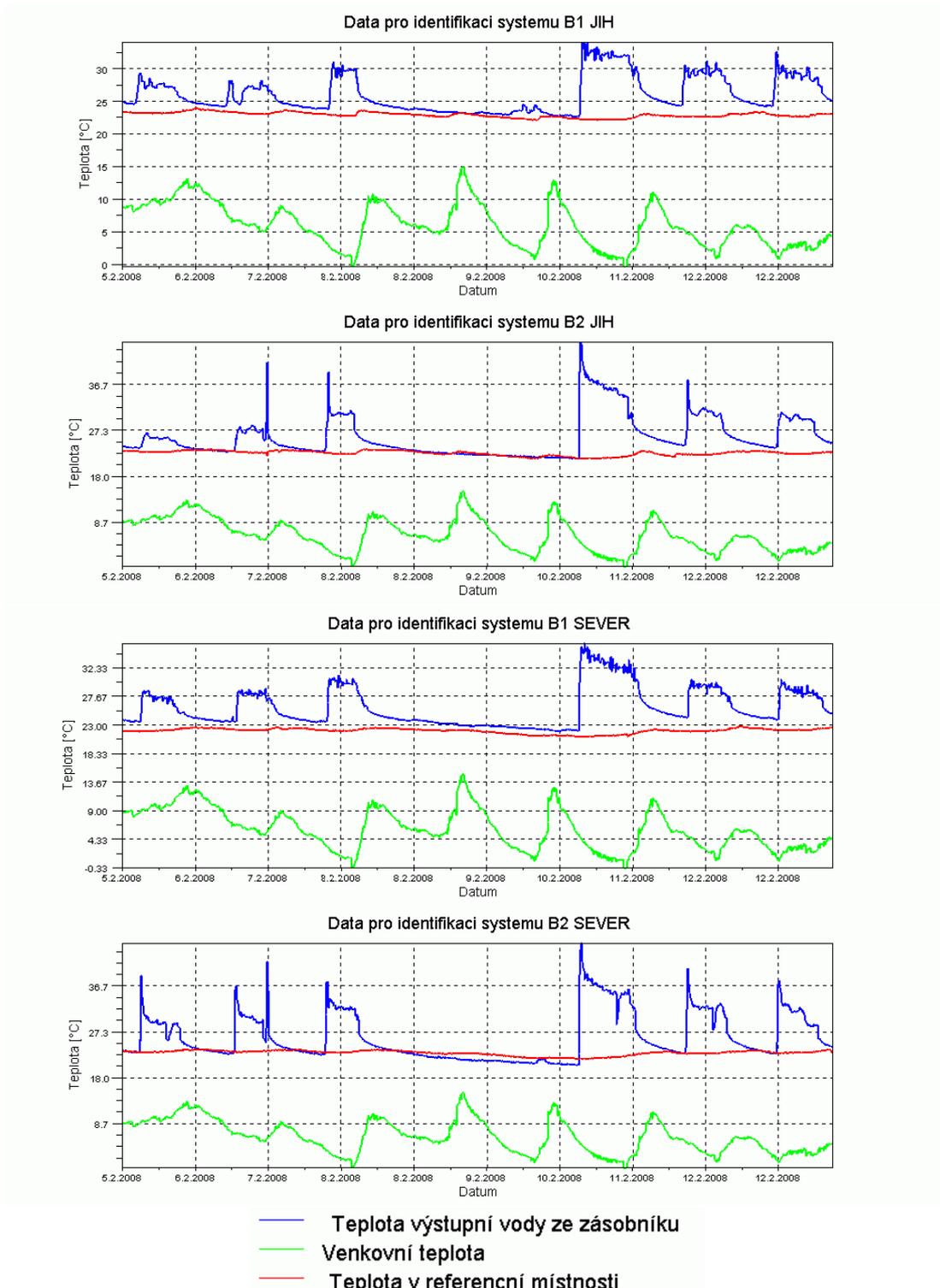
Vznikl tak poměrně jednoduchý typ systému MISO¹ o rozměrech 3×1 , který je schématicky znázorněn na obrázku 9.3.

9.3. Identifikace modelu systému

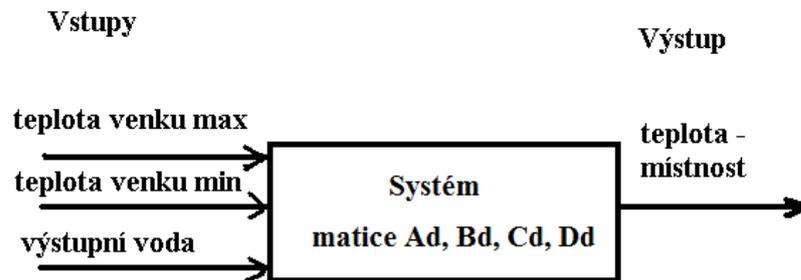
Po zvolení a zpracování vstupních a výstupních dat pomocí postupu uvedeného v kapitole 9.1 se mohlo přistoupit k vlastní identifikaci modelu systému.

Vzhledem k předchozí zkušenosti byla jako identifikační metoda zvolena metoda subspace popsaná v jiné části této práce. Metoda subspace implementovaná v nástroji Scilab je jednodušeji použitelná než metoda ARX/ARMAX modelů, kde je třeba určit mnohem větší množství parametrů potřebných pro identifikaci systému. Metoda subspace vyžadovala

¹Multiple Input Single Output - systém s více vstupy a jedním výstupem



Obrázek 9.2.: Data pro identifikaci



Obrázek 9.3.: Schéma modelu systému

zadání pouze tří parametrů, a to počet řádků bloků v blokové Hankelově matici (v dalším textu zavedeme značení S) a řád systému (v dalším textu zavedeme značení N), poslední parametr R získáme pomocí QR dekompozice, ve Scilabu se počítá přímo k tomu určenou funkcí.

Použitý zápis sloužící k samotné identifikaci je v nástroji Scilab značně jednoduchý

```
[R, N1, SVAL] = findR(S, Y', U')
model = findABCD(S, N, 1, R)
model.X0 = inistate(model, Y, U)
```

přičemž $N1$ je odhad řádu diskrétního modelu, $SVAL$ jsou singulární čísla určená k odhadu řádu modelu, Y je v našem případě vektor výstupních hodnot, U je v našem případě matice $3 \times n$ vstupních hodnot, 1 v druhém řádku znamená, že se jedná o model systému s jedním výstupem. V posledním kroku je potřeba nastavit počáteční stav modelu $X0$.

Výstup funkce *findABCD()* je struktura. Struktura obsahuje matice modelu systému a počáteční stav $X0$. K prvkům struktury přistupujeme pomocí *model.A* případně *model.B*, *model.C*, *model.D* a *model.X0*.

Tímto způsobem jednoduše identifikujeme jakýkoliv systém, pro který známe diskrétní vstupní a výstupní hodnoty.

9.4. Hodnocení kvality modelu pro nalezení vhodných parametrů S a N

Jelikož se ukázalo, že parametr $N1$ zmiňovaný v předchozí kapitole 9.3 se nedá použít, neboť jako výsledek byla vždy vrácena hodnota 1, a to při jakémkoliv nastavení, musela být vypracována kritéria hodnocení kvality modelu a podle nich vybrán model systému s danými vhodnými parametry S a N .

Byly cyklicky generovány modely systému se všemy parametry S a N , kde S nabývalo hodnot od 10 do 100 a N od 1 do 10. (Menší či větší hodnoty způsobovaly chybová hlášení při identifikaci.) Takto získané systémy byly zároveň testovány na jejich kvalitu pomocí dvou kritérií a to

1. tak, aby měl model co nejmenší odchylku od naměřených hodnot výstupů,
2. tak, aby se model hodil pro prediktivní řízení a tedy dostatečně kvalitně „předpovídal“.

První bod byl řešen dvěma způsoby, a to pomocí počítání směrodatné odchylky hodnot naměřených výstupů a hodnot simulovaných výstupů a pomocí chyby aproximace hodnot naměřených výstupů a hodnot simulovaných výstupů. Druhý bod byl řešen pomocí Kalmanova filtru. Je nutno dodat, že oba body byly testovány pomocí testovacích dat, tedy na rozdílných datech, než jsou data použita při identifikaci modelu systému.

Počítání směrodatné odchylky hodnot naměřených výstupů a hodnot simulovaných výstupů

Směrodatná odchylka zhruba řečeno vypovídá o tom, jak moc se od sebe navzájem liší typické případy v souboru zkoumaných čísel. Je-li malá, jsou si prvky souboru většinou navzájem podobné, a naopak velká směrodatná odchylka signalizuje velké vzájemné odlišnosti. Směrodatnou odchylku lze vypočítat pomocí střední hodnoty $E(X)$ a případně i $E(X^2)$

$$\sigma = \sqrt{E\left((X - E(X))^2\right)} = \sqrt{E(X^2) - (E(X))^2},$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2\right) - \bar{x}^2}.$$

Pro počítání směrodatné odchylky obsahuje nástroj Scilab vlastní funkci `st_deviation()`

```
maticeVystupu=[Ymer Ysim];
odchylka=st_deviation(maticeVystupu, 'c');
```

kde Y_{mer} jsou naměřené hodnoty výstupu testovacích dat a Y_{sim} jsou vypočítané hodnoty výstupu testovacích dat získané jako odezva modelu na vstupní testovací hodnoty

```
Ysim=flts(Umer, model).
```

Chyba aproximace hodnot naměřených výstupů a hodnot simulovaných výstupů

Chybou aproximace je běžně označována odchylka přibližné (aproximované) hodnoty od skutečné (přesné) hodnoty. Tuto metodu lze však s úspěchem využít i pro náš případ hodnocení kvality modelů systému, kdy jako aproximovanou hodnotu použijeme simulované hodnoty výstupu modelu a jako přesné hodnoty použijeme naměřené hodnoty. Je-li a přibližná (aproximovaná) hodnota veličiny a b její přesná (skutečná) hodnota, pak absolutní chyba je dána vztahem

$$\varepsilon = |b - a|.$$

Relativní chyba je určena jako

$$\eta = \left| \frac{b - a}{b} \right|.$$

Pro hodnocení kvality modelu systému byla použita relativní chyba v každém jednotlivém bodě (časovém okamžiku), tímto způsobem vznikne vektor relativních chyb, po aplikaci mediánu² na vektor relativních chyb vznikla hodnota, která udávala kvalitu modelu

```
odchylka=median(abs((Ymer-Ysim)./Ymer))
```

Protože odchylka může být kladná i záporná, je potřeba před spočítáním mediánu použít absolutní hodnotu *abs()*.

Výsledky obou použitých metod spolu s modely, které byly podle dané metody nejlepší, jsou k dispozici v příloze.

Hodnocení kvality predikce pomocí Kalmanova filtru

Kalmanův filtr, tak jak je popsán v kapitole 5, byl použit k hodnocení kvality predikce modelu. Realizace datového a časového kroku popsaného v kapitole 5 je v nástroji Scilab následující

```
//----- Datovy krok KF
yp = C*xp + D*u; //odhad vystupu yp(k|k-1)
ep = ys - yp; //chyba odhadu vystupu e(k|k-1)
L = P*C'*inv(C*P*C'+R) //Kalmanovo zesileni
P = P - L*C*P; //kovariancni matice P(k|k)
xp = xp + L*ep; //odhad stavu x(k|k)
yp = C*xp + D*u; //odhad vystupu y(k|k)
//----- Casovy krok KF
xp = A*xp + B*u; //odhad stavu x(k+1|k)
P = A*P*A' + Q; //kovariancni matice P(k+1|k)
```

přičemž matice A , B , C , D byly získány pomocí postupu popsaném v části 9.3, stejně tak počáteční stav označený zde xp . Matice Q a R byly získány jako výstup funkce *sident()*

```
[A, C, B, D, K, Q, R, S, rcnd] = sident(METH, 1, S, N, 1, R, tol, t);
```

²Medián je hodnota, jež dělí řadu podle velikosti seřazených výsledků na dvě stejně početné poloviny.

Vstupy systému jsou zde pojmenovány jako u a měřený výstup jako ys .

Z celého úseku dat, jejichž zvolená délka byla cca 1 týden, se postupně aplikoval Kalmanův filtr vždy v horizontu jednoho dne pro predikci až do konce. Výsledný výstup Kalmanova filtru byl potom hodnocen podobně jako je popsáno v předchozí kapitole 9.4.

Uvedeno je pouze prvních několik nejlepších modelů vybraných pomocí chyby aproximace, na něž byl aplikován Kalmanův filtr. Jsou uvedeny odchylky pro model bez Kalmanova filtru a s filtrem, kde $x_p = x_{mer}$ znamená, že jako počáteční stav byla nastavena hodnota měřeného průběhu a $x_p = x_{sim}$ znamená, že jako počáteční stav byla nastavena hodnota simulovaného průběhu modelu. Některé animace vzniklé aplikací filtru jsou k dispozici na příloženém CD.

Po zhodnocení modelů systémů se ukázalo, že hodnocení pomocí směrodatné odchylky nebylo zcela průkazné a použitelné, byly proto vybrány vyhovující modely pouze pomocí chyby aproximace a vyhodnoceny pomocí Kalmanova filtru. Charakteristiky modelů a tabulky jejich odchylek jsou uvedené v následující kapitole 9.5.

9.5. Finální výsledky identifikace

9.5.1. Místnost B1

Sever

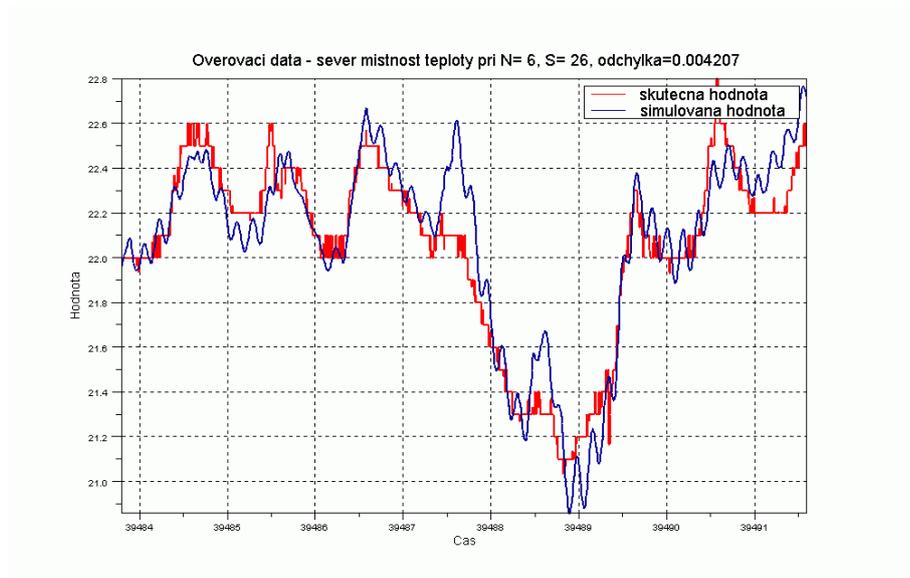
Porovnání odchylek modelů s filtrem a bez filtru:

parametry modelu		odchylky		
N	S	bez Kalm. filtru	s Kalm. filtrem $x_p = x_{mer}$	s Kalm. filtrem $x_p = x_{sim}$
6	26	0.042071	0.0327158	0.0244749
8	27	0.032354	0.0206781	0.0193269
6	82	0.049262	0.0232576	0.0236984

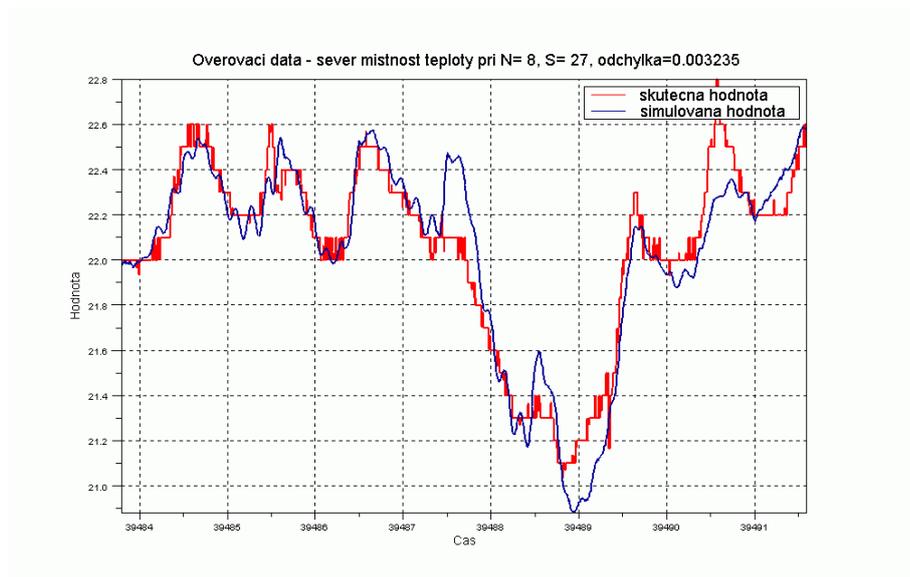
Jih

Porovnání odchylek modelů s filtrem a bez filtru:

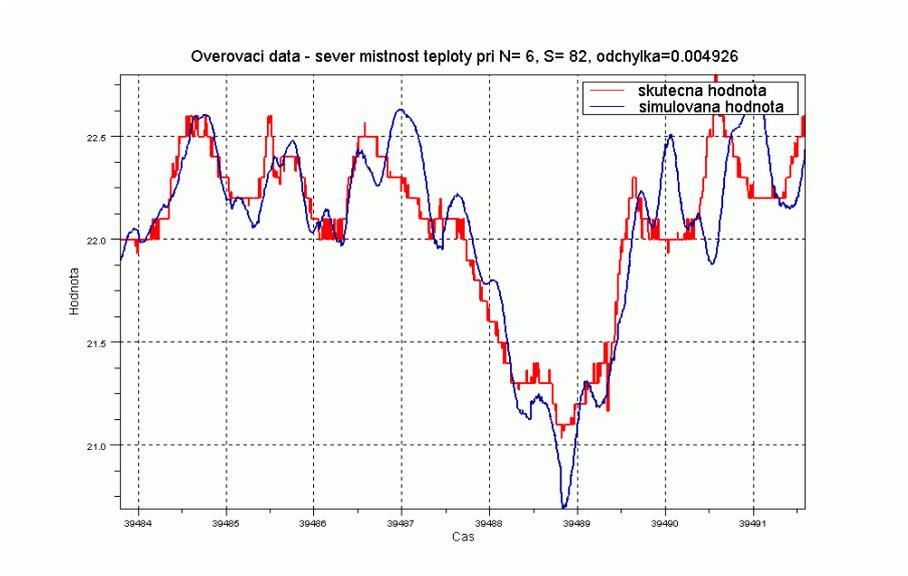
parametry modelu		odchylky		
N	S	bez Kalm. filtru	s Kalm. filtrem $x_p = x_{mer}$	s Kalm. filtrem $x_p = x_{sim}$
5	14	0.62527	0.2289829	0.1757945
3	17	0.054377	0.0185830	0.0186724
9	59	0.053254	0.0279800	0.0236507



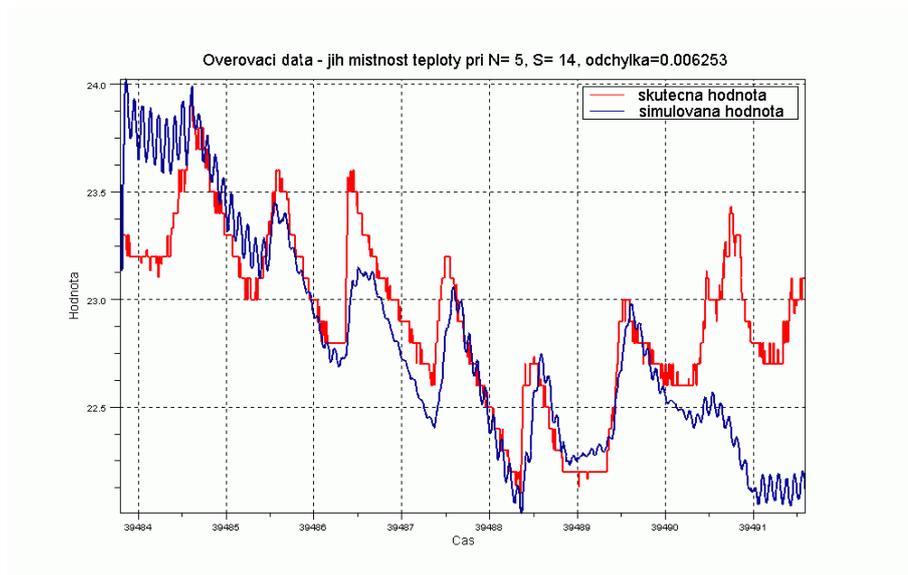
Obrázek 9.4.: Výstupy modelu B1 sever, teplota místnosti



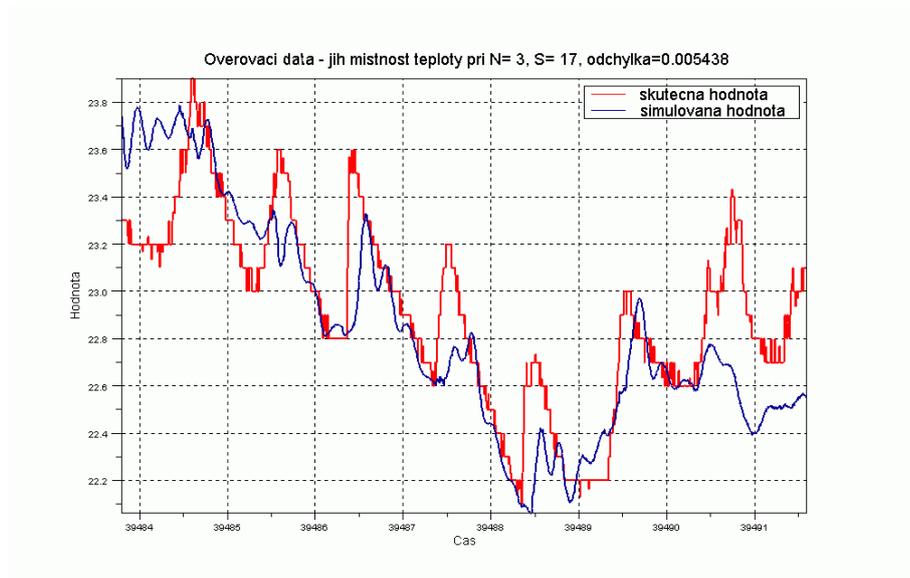
Obrázek 9.5.: Výstupy modelu B1 sever, teplota místnosti



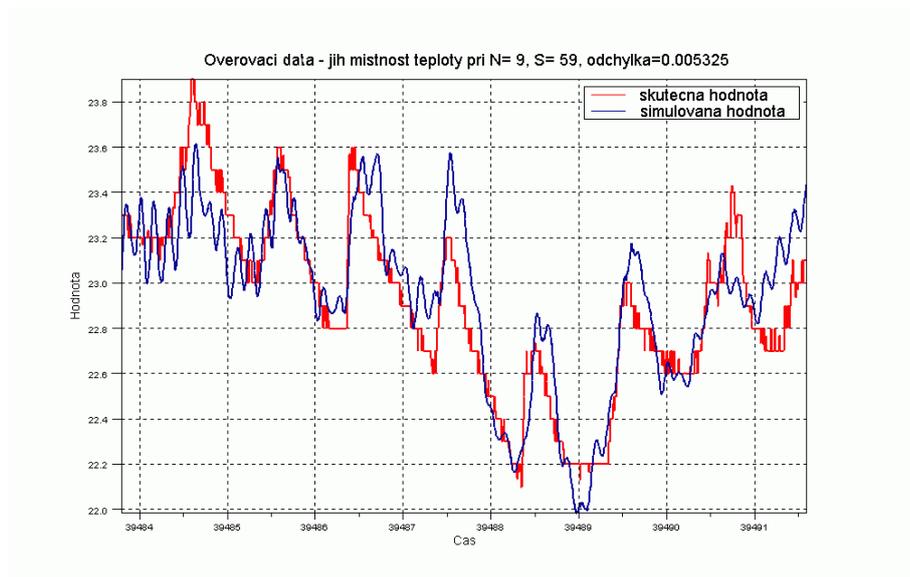
Obrázek 9.6.: Výstupy modelu B1 sever, teplota místnosti



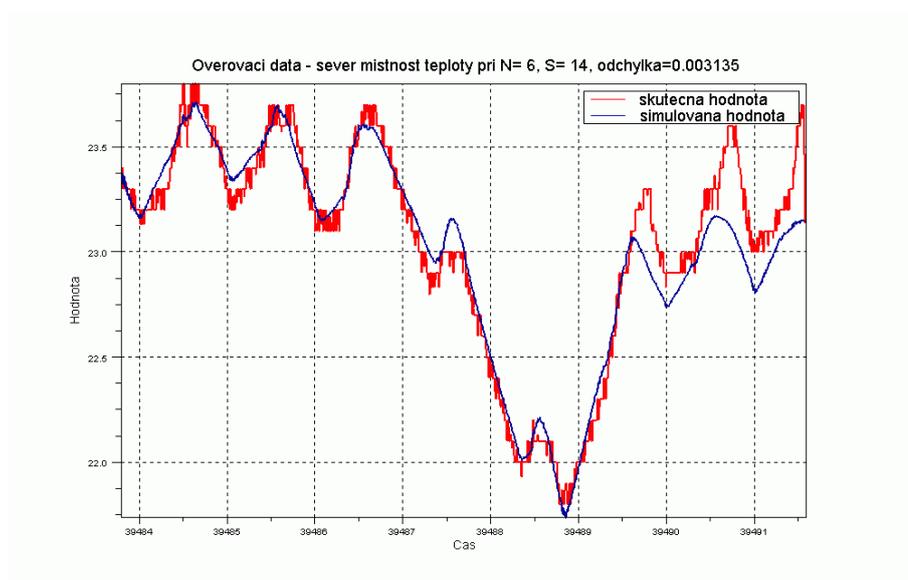
Obrázek 9.7.: Výstupy modelu B1 jih, teplota místnosti



Obrázek 9.8.: Výstupy modelu B1 jih, teplota místnosti



Obrázek 9.9.: Výstupy modelu B1 jih, teplota místnosti



Obrázek 9.10.: Výstupy modelu B2 sever, teplota místnosti

9.5.2. Místnost B2

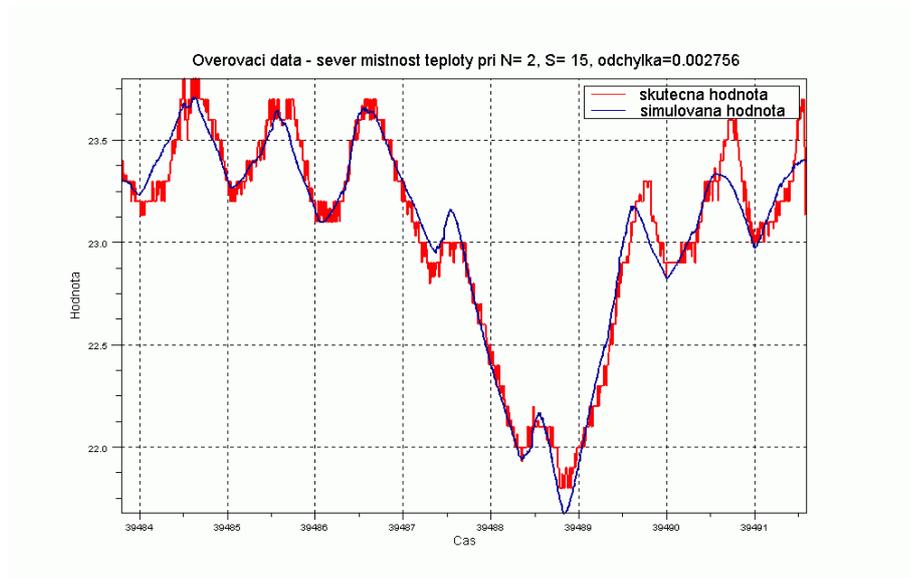
Sever

Porovnání odchylek modelů s filtrem a bez filtru:

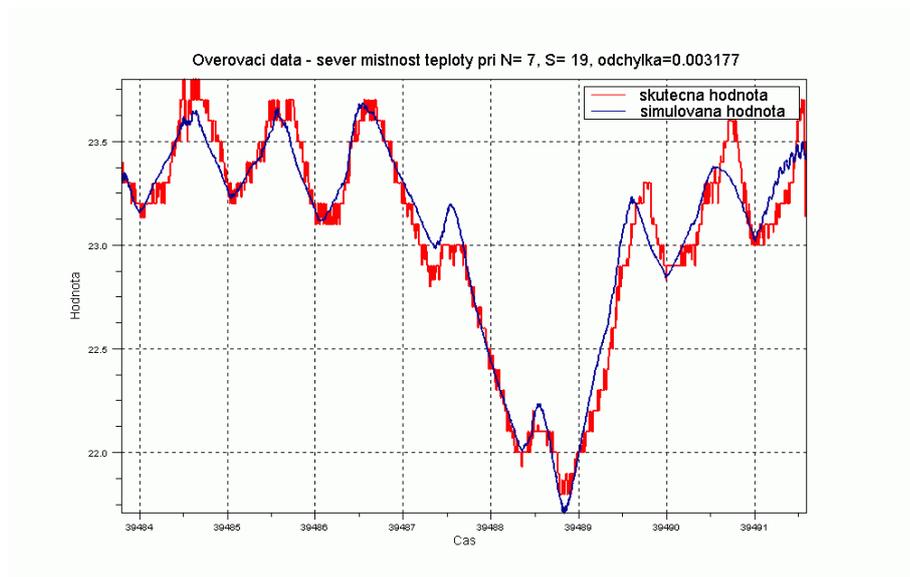
parametry modelu		odchylky		
N	S	bez Kalm. filtru	s Kalm. filtrem $x_p = x_{mer}$	s Kalm. filtrem $x_p = x_{sim}$
6	14	0.031353	0.0333009	0.0290344
2	15	0.027562	0.0271130	0.0267098
8	16	0.31677	0.2704139	4.271D+12
7	19	0.031771	0.0290848	0.0270648
8	19	0.31790	0.1027838	0.1768980
6	20	0.31615	0.1793782	0.1741506

Jih

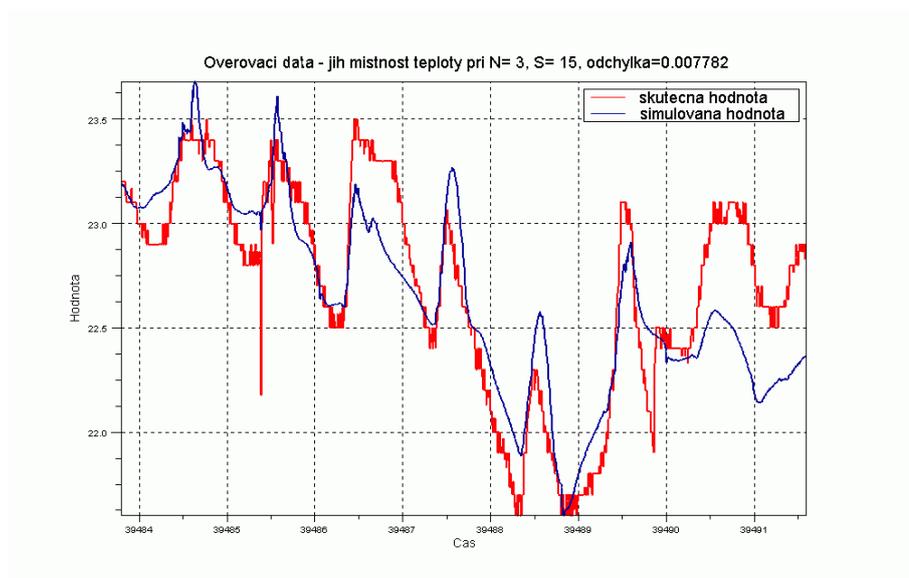
Porovnání odchylek modelů s filtrem a bez filtru:



Obrázek 9.11.: Výstupy modelu B2 sever, teplota místnosti

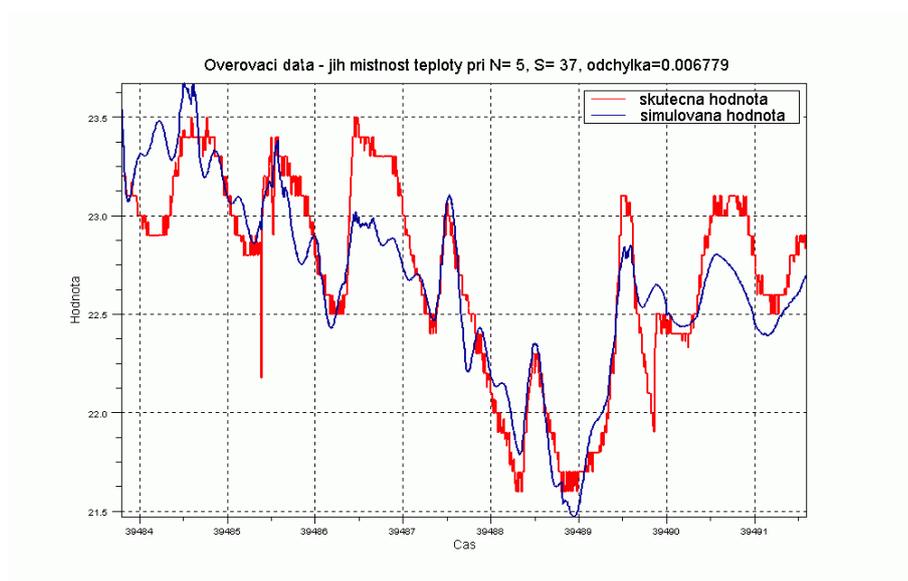


Obrázek 9.12.: Výstupy modelu B2 sever, teplota místnosti



Obrázek 9.13.: Výstupy modelu B2 jih, teplota místnosti

parametry modelu		odchylky		
N	S	bez Kalm. filtru	s Kalm. filtrem $x_p = x_{mer}$	s Kalm. filtrem $x_p = x_{sim}$
3	15	0.077818	0.0241824	0.0243708
3	17	0.078081	0.0305884	0.0301416
5	37	0.067794	0.0278328	0.0276641
5	39	0.075344	0.0347046	0.0331782
5	67	0.079207	0.0435602	0.0477624



Obrázek 9.14.: Výstupy modelu B2 jih, teplota místnosti

ZÁVĚR

Použité metody subspace identifikace se ukázaly jako v praxi velmi dobře uplatnitelné i přesto, že v současné době tyto postupy nejsou rozšířeny ve větší míře; za to může jistě také jejich poměrně nedávné uvedení. K dobrému výsledku jistě přispěl i nástroj numerických výpočtů Scilab, který využívá pro identifikaci knihovnu SLICOT. Scilab jakožto volně přístupný nástroj má uplatnění všude tam, kde je potřeba využít silného výpočetního programu za nulové pořizovací náklady. Oproti např. programu Matlab má jen méně přívětivé uživatelské rozhraní a občas nedodělanou nápovědu, z hlediska použitelnosti ho však v mnoha ohledech předčí.

Při nasazování modelů v praxi v řízení soustavy vytápění pomocí prediktivního regulátoru MPC se ukázalo, že výsledky získané teoreticky neodpovídaly zcela přesně skutečnosti. Vzhledem k tomu, že nebyl vybrán jen jeden model, mohl být použit některý další i když ne zcela nejlepší dle teoretických testů. S tímto modelem si MPC poradilo a dokázalo regulovat s danými požadavky, jak je uvedeno v navazující práci Bc. Jakuba Kubečka (Kubecek [10]). Největší problém byl způsoben jistě nelinearitou modelu, kdy byly testovány modely ověřované při jiných podmínkách, než potom ve skutečnosti byly. Nelinearita by se asi nejlépe vyřešila použitím rozdílných modelů pro rozdílné podmínky, kdy tyto modely by byly jednoduše měněny v reálném čase.

LITERATURA

- [1] Katrien De Cock, Bart De Moor, K.U.Leuven. *Subspace identification methods* [online]. [cit. 2008-09-28]. Dostupný z WWW: <http://www.ece.sunysb.edu/~decock>.
- [2] Doc. Ing. Vladimír Havlena CSc., Prof. Ing. Jan Štecha. *Moderní teorie řízení*. [1999]. Skriptum ČVUT, FEL.
- [3] Doc. Ing. Vladimír Havlena, CSc. *Moderní teorie řízení - Doplnkové skriptum*. [1999]. Skriptum ČVUT, FEL.
- [4] Prof. Ing. Jan Štecha, CSc. *Optimální rozhodování a řízení*. [2000]. Skriptum ČVUT, FEL.
- [5] doc. Ing. Jaromír Kukul, Ph.D. *Identifikace* [online]. [cit. 2008-květen]. Dostupný z WWW: <http://www.automatizace.cz/>.
- [6] Ing. Jolana Škutová. *Neuronové sítě v řízení systémů*. [online]. [2004] Dostupný z WWW: <http://www.fs.vsb.cz/books/NeuronoveSite/>.
- [7] Diana Maria Sima, Vasile Sima, Sabine Van Huffel. Katholieke Universiteit Leuven (Belgium). *Structured Matrices in System Identification* [online]. Dostupný z WWW: www.esat.kuleuven.ac.be/~dsima/presentations/.
- [8] R. E. Kalman. *A new approach to linear filtering and prediction problems, Transactions of the ASME–Journal of Basic Engineering* 82 (Series D). [1960]
- [9] D. Simon. *Optimal State Optimization: Kalman H_∞ and Nonlinear Approaches*. [2006] Wiley and Sons, Inc. Hoboken, NJ, USA.
- [10] Bc. Jakub Kubeček. *Řízení vytápění budovy*. [2009]. Diplomová práce.
- [11] R. G. Crittall and J. L. Musgrave, *Heating and cooling of buildings*. [April 1927] GB Patent No. 210880.

Přílohy

FUNKCE PRO ZPRACOVÁNÍ DAT

Společná kostra všech funkcí

```
function [FirstArgOut, varargout]=DataInfo(varargin)

    chyba='Neni vystup.';
    FirstArgOut=chyba;

    [lhs, rhs]=argn();

    napoveda=0;
    kratkyhelp='kratka napoveda';

    if rhs==0 then
        napoveda = 1;
    else
        napoveda=(varargin(1)=='help');
    end;
    if napoveda then
        printf('*****\n');
        printf('podrobná napoveda;.\n');
        printf('\n');
        printf('Autor: Jiri Mikolasek, 12.10.2008.\n');
        printf('*****\n');
        return(0);
    elseif varargin(1)=='gethelp' then
        FirstArgOut=kratkyhelp;
        return(0);
    end;
```

```
else

////// *****ZACATEK vlastni telo funkce *****

    nejaky kod funkce

////// ***** KONEC vlastni telo funkce *****
end;
endfunction
```

Skript Pomoc ()

```
path=string(getcwd());
funcprot(0);

genlib('a', path);
f=findfiles(path, '*.sci');
fsort=sort(f, 'c');

pom=size(f);
pocetFunkci=pom(1,1);

for i=1:1:pocetFunkci,

vybranaFunkce=fsort(i);

delkaFunkce=length(vybranaFunkce)-4;
jmenoFunkce=strsplit(vybranaFunkce, delkaFunkce);
pom1=jmenoFunkce(1,1);

pom2=pom1+' (gethelp)';

execstr('vypis='+pom1+' (gethelp)');
printf('jmeno funkce: '+pom1+' ()\n %s', vypis);

printf('*\n');

end;
```

Dále jsou uvedeny jednotlivé funkce a skripty, bude uvedena vždy jen část funkce která je v zápise 8.1 označena jako „nejaky kod funkce“.

Funkce DataInfo ()

```
data=varargin(1);
jmenaSloupcu=data.nazev;
N = datenum(2008,1,30,11,43,24); //zacatek je stejny u B1 i B2
rozdilCas=N-data.hodnoty(1)(1);
[Y M D H MI S]=datevec(data.hodnoty(1)(1)+rozdilCas);//zacatek
[Y1 M1 D1 H1 MI1 S1]=datevec(data.hodnoty(1)($)+rozdilCas);//konec
pocetSloupcu=length(jmenaSloupcu);
pocetHodnot=length(data.hodnoty(1));

printf('\n Pocet promennych: %i',pocetSloupcu);
printf('\n ');
printf('\n Nazvy promennych: \n');

for i=1:1:pocetSloupcu
    printf('\n%i. * %s * ',i,jmenaSloupcu(i));

end;

printf('\n ');
printf('\n Dalsi info: .\n');

printf('\n Pocate-
cni cas: %i.%i.%i, %i:%i:%i',D,M,Y,H,MI,S);
printf('\n Konecny cas: %i.%i.%i, %i:%i:%i',D1,M1,Y1,H1,MI1,S1);
printf('\n ');
printf('\n Pocet hod-
not v jedne promenne: %i',pocetHodnot);

printf('\n ');

celkemNaN=0;
for i=1:1:length(data.nazev)
    nan=length(find(isnan(data.hodnoty(i))));
    celkemNaN=celkemNaN+nan;
    printf('\n Pocet NaN v %s : %i',data.nazev(i),nan);
end;
printf('\n ');
printf('\n Pocet NaN celkem: %i',celkemNaN);
printf('\n ');
printf('\n ');printf('\n ');

FirstArgOut=chyba;
```

Skript Inicializuj()

```
path=string(getcwd());
genlib('a', path); //preloz vse do *.bin
data1=NactiData('B1.mat'); // nacteni struktury dat
data2=NactiData('B2.mat');
printf('jsou nactena data B1.mat jako data1 a B2.mat jako data2 \n');
```

Funkce Kresli()

```
if rhs==2 then
data=varargin(1);
nazev=varargin(2);
index=0;
for i=1:1:length(data.nazev)
    if data.nazev(i)==nazev then
        index=i;
    end
end
plot2d(data.hodnoty(1), data.hodnoty(index), 1, frameflag=2, axesflag=4);
else
dataX=varargin(1);
dataY=varargin(2);
nazev=varargin(3);
plot2d(dataX, dataY, frameflag=2, axesflag=4);
end;
f=get("current_figure"); //cely graf
f.figure_size=[1024 768];
f.figure_name=nazev;
f.info_message=nazev;
a=get("current_axes"); // osy
a.thickness=1;
a.grid=[1,1];
p=get("hdl");
pch=p.children;
pch.thickness=2; // cara grafu
pch.polyline_style=2; //styl spojovani grafu
if rhs==2 then
    pch.foreground=9;
else

    pch(1).foreground=9;
    pch(2).foreground=5;
end;
fch=p.parent;
```

```
fch.title.text=nazev; //popis
fch.title.font_size=4;
fch.x_label.text='Cas';
fch.y_label.text='Hodnota';
fch.y_label.font_size=3;
fch.x_label.font_size=3;
```

```
FirstArgOut=chyba;
```

Funkce NactiData ()

```
data=varargin(1);
loadmatfile(data);
fd = matfile_open(data);
jmenaSloupcu=matfile_listvar(fd);
jmenaSloupcuSort=sort(jmenaSloupcu);
nazev=list();
hodnoty=list();
for i=1:1:size(jmenaSloupcuSort,1)
    nazev(i)=jmenaSloupcuSort(i);
    execstr('pom='+jmenaSloupcuSort(i));
    hodnoty(i)=pom;
end
data=struct('nazev',nazev,'hodnoty',hodnoty);
FirstArgOut=data;
```

Funkce Prevezorkuj ()

```
data=varargin(1);
x=data.hodnoty(1);
perioda=varargin(2);
t1=datevec(x(1));
t2=datevec(x($));
pocetSekund=etime(t2,t1);
pocet=pocetSekund/perioda;
pocetPrvku=int(pocet);
x1=datenum([0. 1. 1. 0. 0. 1.]);
x2=datenum([0. 1. 1. 0. 0. 2.]);
jednaSekunda=x2-x1;
noveX=zeros(pocetPrvku,1);
for i=1:1:pocetPrvku
    if i==1 then
        noveX(i)=x(i);
    else
        noveX(i)=noveX(i-1)+(perioda*jednaSekunda);
    end
end
```

```
end;
end;
data.hodnoty(1)=noveX;
if varargin(3)=='linear' then
for i=2:1:length(data.nazev)
data.hodnoty(i)=interp1(x, data.hodnoty(i), noveX, 'linear');
end;
elseif varargin(4)=='spline' then

for i=2:1:length(data.nazev)
data.hodnoty(i)=interp1(x, data.hodnoty(i), noveX, 'spline');
end;

end;
FirstArgOut=data;
```

HODNOCENÍ KVALITY MODELŮ

Několik nejlepších modelů (s nejmenší odchylkou dle daného kritéria) je zvýrazněno tučně a červenou barvou. Pokud je v některém z polí uvedeno Nan (pro případ hodnocení pomocí chyby pomocí směrodatné odchylky) nebo 1. (pro případ hodnocení pomocí chyby aproximace) jedná se o velmi velké číslo které nebylo ani uvedeno z důvodu zcela nevhodného výsledného modelu. Tyto modely jsou potom použity pro hodnocení pomocí Kalmanova filtru uvedeném v závěru kapitoly 8.

Data B1

Tabulky odchylek

Sever, teplota místnosti

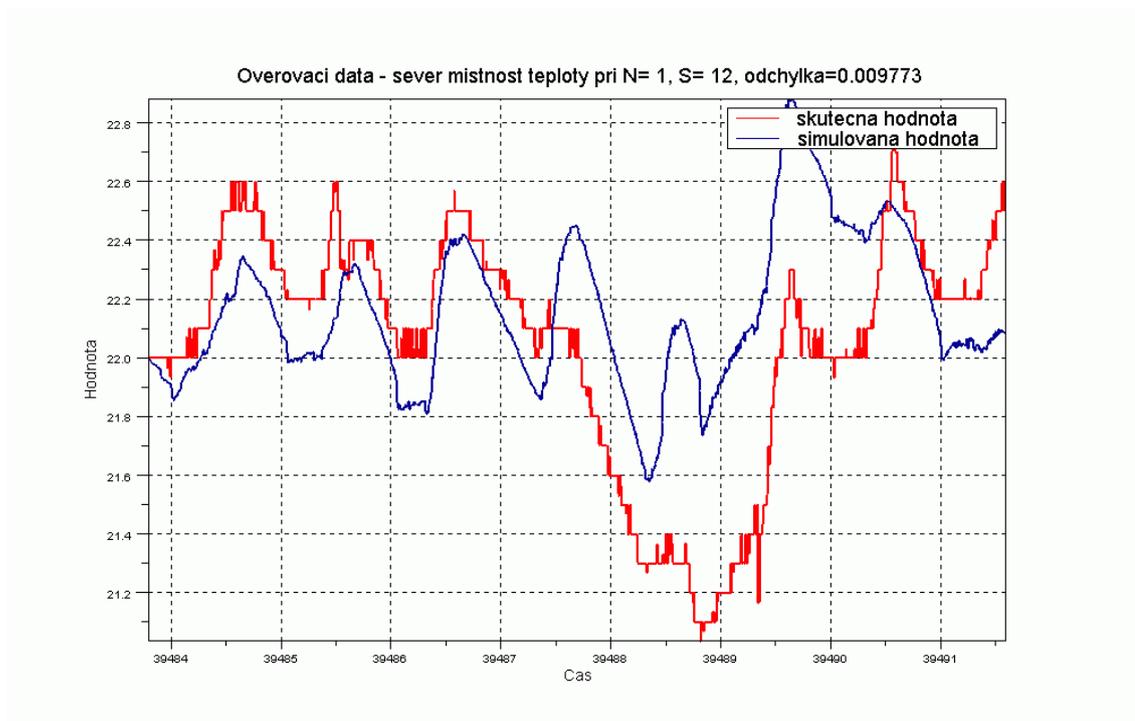
chyby pomocí směrodatné odchylky

S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	Nan	0.4813408	0.6610657	0.4398497	0.5229631	0.4943719	0.9259012	1.1543361	0.6039632	0.5415639
12	0.3406061	0.7662667	0.4544720	0.7565108	1.7251802	Nan	Nan	Nan	Nan	Nan
13	0.3432560	Nan								
14	0.3553824	Nan	7.9969616	1.1074927	2.2044829	1.2644258	Nan	Nan	Nan	Nan
15	0.3516933	Nan	1.3048192	0.7718142	1.932712	2.2878619	Nan	Nan	Nan	Nan
16	0.3523513	Nan	0.7718747	0.562055	3.0956932	0.9443142	4.0403446	6.3083906	4.5628746	Nan
17	0.3582913	0.7409906	0.4368491	1.5402588	0.8142642	4.3454531	Nan	2.8170496	6.1356926	Nan
18	0.3679002	0.6899584	0.6440905	1.2946024	1.3015481	3.1146712	1.3505993	1.3520128	3.0908595	0.9454253
19	0.3751488	1.0955701	0.4268141	1.9814892	3.0522602	3.0814969	1.8830381	6.2214553	Nan	Nan
20	0.3823338	2.6729251	0.5200297	1.6344535	0.7846371	2.8038106	0.4486588	3.576709	1.0249636	3.3229963
21	0.3871930	2.3204154	0.5285563	1.1700626	0.9464658	3.1904026	0.4597293	2.3592927	0.7519940	0.5785226
22	0.3920696	1.7774884	0.5878729	3.562724	1.2629708	Nan	2.4468988	3.2232564	3.3709608	Nan
23	0.3985503	1.9336025	0.4743315	4.4809869	1.8808733	0.7446977	1.5900516	1.0018352	3.3927613	2.1228249
24	0.3963012	2.7473995	0.4114351	2.1521896	3.2864211	2.2836646	1.0829182	0.4558293	8.6058536	5.4385743
25	0.3907842	3.4703191	0.3750933	0.6928666	1.1577471	0.5353946	0.5228562	0.5776980	0.6792945	1.6607929

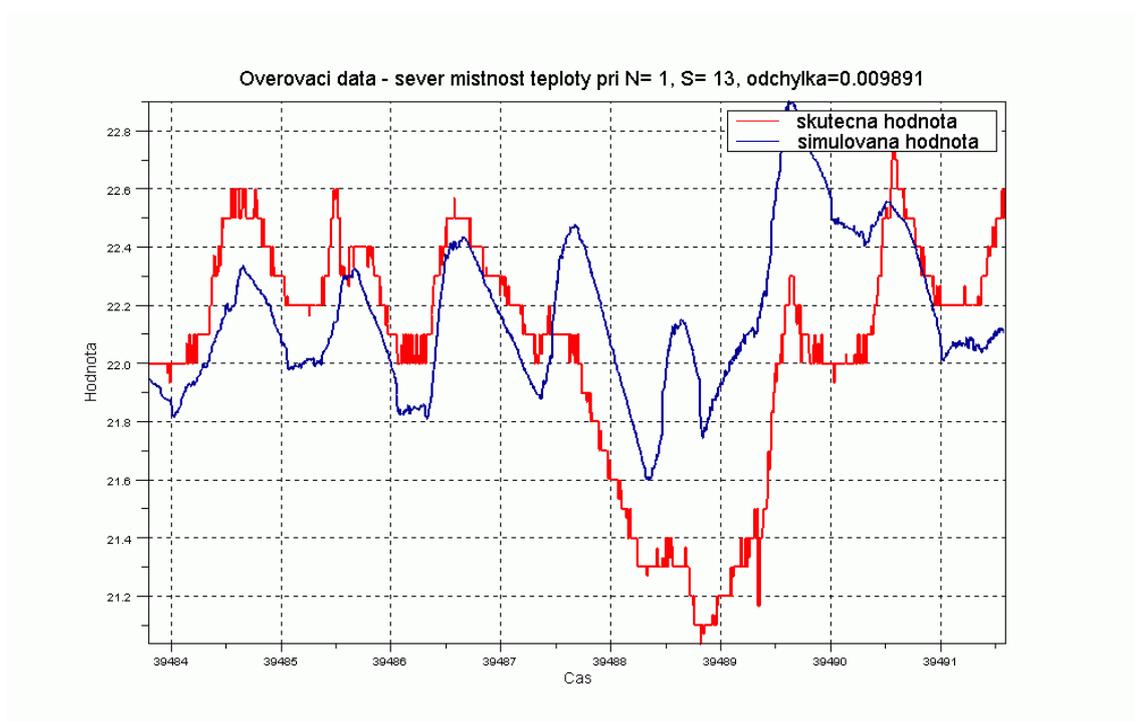
HODNOCENÍ KVALITY MODELŮ

S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
26	0.3915972	5.2118633	0.3969127	0.7076087	0.5939943	0.4089078	0.5034944	0.5011335	0.5377742	1.5868043
27	0.3934567	6.4040459	0.4303104	0.8796688	0.9903554	1.032505	0.6356742	0.4147642	0.6068991	0.4564303
28	0.3933537	5.3353936	0.5855735	1.2855092	0.5407952	0.4645581	0.4486573	0.4550553	0.7775681	0.6541923
29	0.4042819	4.5433034	0.6396225	1.0566	0.5471045	1.0287736	1.3390103	0.6666460	0.4554618	0.5998204
30	0.4095772	3.9156554	0.5536379	0.9779435	0.4994079	0.9113999	0.6372394	0.6999973	0.7609591	0.8997813
31	0.4075652	3.9469903	0.5116285	0.9859987	0.6712485	0.5348694	0.5819160	0.9196082	0.7917072	1.0431301
32	0.4024601	3.9460255	0.4827521	1.5792924	1.0258784	1.9526395	1.4691798	2.8997347	2.8319348	2.6066067
33	0.3942132	3.5161953	0.4490018	2.6616463	3.2732228	3.6453358	4.8037787	4.8490007	8.8166905	6.653627
34	0.3858149	2.976672	0.4626299	2.8464883	3.5671894	3.4305197	5.2548008	8.1483916	4.6604044	3.1064433
35	0.3875976	2.7236068	0.5080760	2.5562669	1.8993622	2.408262	1.7227262	2.0309892	1.0839662	0.6798708
36	0.3771878	2.6574132	0.6551169	2.4470825	1.5437659	2.0614324	1.3192921	1.6844875	1.3883093	0.6967645
37	0.3728735	2.0795623	0.7748239	2.2168705	0.5654973	1.7891923	7.9916351	3.1681967	2.8561773	1.2702483
38	0.3724811	1.7439385	1.1491126	2.0023022	1.4887133	1.937466	Nan	Nan	0.6915671	2.1951511
39	0.3662515	1.7147348	2.0812384	2.2032628	2.2475169	2.7849242	1.4178706	0.8743181	1.6152854	2.4005055
40	0.3605891	1.9069347	2.3460417	2.2457871	8.827405	4.1055653	1.6616356	2.1838807	2.2757728	1.7214837
41	0.3557231	1.9051867	2.5135022	2.1146492	7.2946471	2.8145382	2.1654137	2.4817805	2.7527008	1.4827335
42	0.3545918	2.0129974	2.4007796	2.1441022	2.7308038	1.3776443	0.9196351	1.5100811	1.6179211	1.4247424
43	0.3541531	1.8786935	1.8987366	2.2625936	1.0999606	0.8980973	1.1678328	1.0698709	1.211135	1.2466289
44	0.3539527	1.8070528	1.3248217	2.0710757	0.8764863	0.7982513	0.6807922	0.6366435	0.6023182	0.9526624
45	0.3536639	2.1553407	1.0765901	1.9351363	0.6447970	0.7572179	1.3385229	1.217433	1.1470959	2.4668347
46	0.3530007	2.2746333	0.7811068	2.0483823	0.6456909	0.9312449	0.7224283	0.6309816	1.3947269	2.5349489
47	0.3531097	2.187026	0.7304468	1.7197617	0.5269169	0.8293475	0.6714249	0.6871287	0.6670398	1.3725476
48	0.3530911	2.091339	0.6106491	1.7914956	0.8210070	0.6807883	0.6086146	0.5937071	0.8977064	1.39305
49	0.3529602	1.7811453	0.5948172	1.549099	0.5051303	0.7841763	0.5985763	0.5648784	0.5267533	0.8447487
50	0.3528536	1.4555566	1.4890457	0.9746139	0.5864459	1.2627531	0.6137999	1.008321	0.8410991	0.9562778
51	0.3528364	1.2721448	0.7930475	0.6979154	0.4784488	0.7638425	0.6996737	0.8325102	0.8541156	1.4783801
52	0.3528892	1.005801	0.5213923	0.6323959	0.5713215	0.5604117	0.6716765	6.999769	7.5049394	6.3158074
53	0.3529818	0.9477891	0.8950584	0.5058765	0.9175810	0.5550653	0.6756973	Nan	7.6642705	Nan
54	0.3529650	0.8987641	0.9489522	0.4842192	0.9209697	0.6258471	0.6379421	Nan	8.7470332	3.3648753
55	0.3530990	0.8447171	0.7559516	0.8223991	0.6488231	0.7466793	0.6383467	Nan	9.9331095	3.4178344
56	0.3537706	0.8116148	0.8150939	0.8535056	0.8470274	2.8043014	0.8927530	9.5837437	9.0372416	6.3539768
57	0.354797	0.8161967	0.6716674	1.2005578	0.6977267	7.1296145	3.7751711	9.2420849	Nan	2.486695
58	0.3568940	0.7630644	0.7324876	1.0819537	0.7990777	9.4306349	3.5592652	0.5658217	0.4790259	0.8650488
59	0.3596244	0.7644864	0.6491580	1.3125128	0.6912050	8.7166657	1.351604	3.2519314	0.5572385	1.161014
60	0.3618689	0.7551186	0.5886064	2.4826056	0.7719543	6.1630433	0.9442878	3.3622505	1.288727	1.0106594
61	0.3664820	0.7772216	0.5798378	2.8829701	1.5669022	5.6473479	1.5286063	1.7295175	0.8085912	0.7373311
62	0.3739883	0.7517701	0.6462993	1.6717498	1.9326191	2.9330278	2.6943339	1.0415954	0.7326832	0.5856005
63	0.3859976	0.7199453	0.9330716	8.530101	1.9218124	0.7312569	3.0068713	4.5977997	0.8011437	0.7436800
64	0.3863963	0.7557573	0.7764380	Nan	1.3903338	3.1629979	0.9656514	6.1601302	1.5319085	1.0329305
65	0.3891225	0.7624305	0.7254707	Nan	0.5948527	2.301212	0.7242376	2.4792208	1.4010765	0.8657773
66	0.3904947	0.7307268	0.6992436	8.1871482	0.4788902	2.1110364	1.0624756	1.613558	1.1394807	2.2283006
67	0.4001839	0.6814206	0.7369203	4.2757957	0.6122915	1.6348644	1.2497861	0.6969702	0.8004765	2.1929879
68	0.4039343	0.6894551	0.6926914	2.223373	0.5833137	1.148668	1.458468	0.4854423	0.6959626	2.6902405

S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
69	0.4064763	0.7140549	0.7038045	1.4743121	0.6092023	0.9451561	1.6065554	0.5164668	0.6936269	4.6170303
70	0.4103340	0.7063321	0.7827767	1.1933877	0.7177430	0.8647758	1.9746483	0.8003979	0.6594250	3.1338137
71	0.4139600	0.7373191	0.7885246	0.8507698	0.8538366	0.8221441	1.6580872	0.7513384	0.6971225	2.9911329
72	0.4160627	0.7561084	0.7435627	0.6767634	0.8212296	0.5752687	1.0392014	0.6647788	0.7267534	3.3514451
73	0.4200613	0.7841859	0.7348931	0.4963890	0.6105479	0.5241087	0.7496346	0.6303103	0.7240773	2.3314863
74	0.4255642	0.8190665	0.7422181	0.4221642	0.4937835	0.4992207	0.7212093	0.6079767	0.6689172	1.8570997
75	0.4300160	0.8455294	0.7282608	0.3878689	0.409703	0.4544789	0.7050332	0.6284430	0.7070055	1.5683366
76	0.4301594	0.8856238	0.6431417	0.4085001	0.3885020	0.4137567	0.5892209	0.8566207	0.7350311	1.1922765
77	0.4339013	0.9035461	0.5999226	0.4377468	0.4360912	0.4454372	0.6798090	0.4169315	0.5483803	0.5950728
78	0.4308935	0.9466468	0.5094666	0.4659070	0.4691034	0.4694901	1.021169	0.5112716	0.4832907	0.5836779
79	0.4297582	0.9758637	0.4489577	0.5059169	0.4541883	0.5076913	0.9738664	0.4653758	0.4048051	1.6679755
80	0.4322180	0.987501	0.4268744	0.5708203	0.7014622	0.4972913	1.1660788	0.5664873	0.4623837	1.5191374
81	0.4308802	1.0112428	0.4154566	0.5700790	0.5794207	0.4484358	1.3462117	0.8251852	0.5364101	1.6002212
82	0.4349791	1.020409	0.4146593	0.5125106	0.5692145	0.4291957	1.170489	0.4898319	0.5744891	0.5735613
83	0.4385007	1.0431918	0.4253017	0.4652107	0.6050634	0.4221683	1.0819133	0.5124084	0.7369178	0.4944879



Obrázek B.1.: výstupy modelu B1 sever, teplota místnosti



Obrázek B.2.: výstupy modelu B1 sever, teplota místnosti

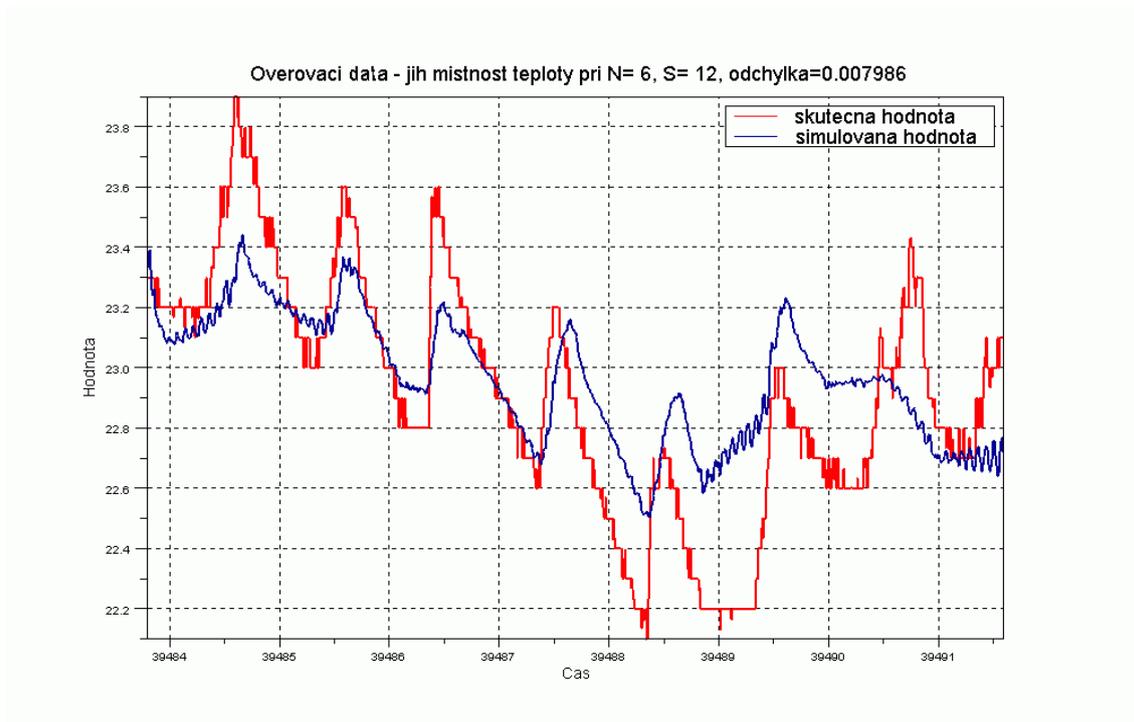
Jih, teplota místnosti

chyby pomocí směrodatné odchylky

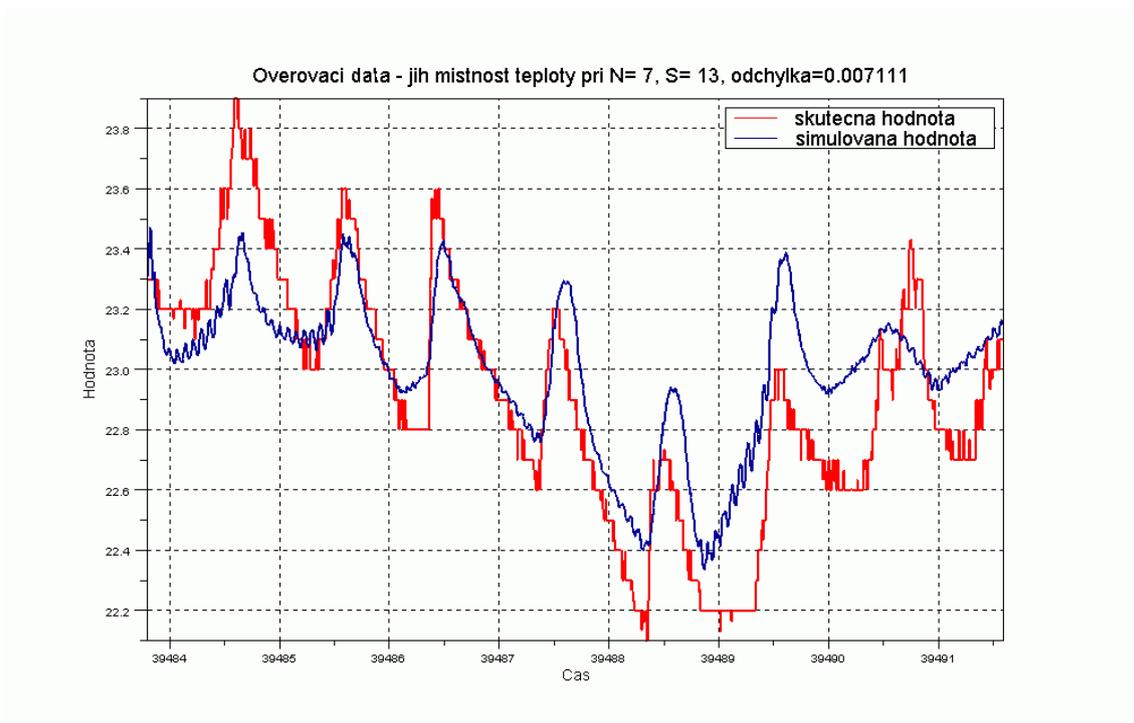
S\N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	Nan	1.1442094	0.8233821	0.9162397	0.8396874	0.4884069	0.8522005	1.3393491	1.9177665
12	0.3327556	0.5079900	2.6390707	0.7754198	Nan	0.3159558	1.3621513	Nan	0.8205217
13	0.3370224	0.8405868	Nan	0.4485578	0.4628458	1.152523	0.3304625	4.2976713	Nan
14	0.3288025	2.039001	6.7090935	Nan	0.4672258	0.5520383	0.7517268	0.3311658	0.6258556
15	0.3266442	5.7799763	0.3730281	0.3754343	Nan	Nan	Nan	Nan	Nan
16	0.3271796	3.4210053	0.4866310	0.4122603	0.5026214	Nan	0.8743300	0.6416624	0.3351429
17	0.3279465	1.51601	0.4302304	0.4983303	0.4191541	1.4826668	0.8497674	1.6253007	0.3395805
18	0.3273677	1.4762759	0.4868130	0.4529145	0.7602706	0.7668268	1.0008861	1.7483857	0.4252583
19	0.3265921	2.7863968	0.4164893	0.4947604	0.6024623	0.3590877	0.3646384	3.6482885	2.5765927
20	0.3319535	2.9624002	0.5086467	1.7462756	0.4035724	0.3967555	1.3874806	3.5914497	1.3508526
21	0.3354383	2.5760202	0.5482204	1.6506455	0.4654083	0.3584129	2.1951834	1.263759	0.9231233
22	0.3314663	2.0378909	0.6391346	1.8519165	0.3641796	0.6098540	6.5936828	Nan	3.706996
23	0.3280075	Nan	0.5032241	3.8714434	1.0665707	0.8239220	1.6154193	1.1515612	4.0950404
24	0.3289270	6.3360851	0.4813244	0.8625357	Nan	3.7158987	6.3290542	1.9728489	1.1622777
25	0.3300845	3.3794553	0.4427403	1.2279065	0.6874361	1.7391465	1.0510089	1.1245165	1.9862297
26	0.3306994	4.8247224	0.4367428	0.6460662	0.5273492	0.4653393	0.5234892	1.2612594	1.6751621
27	0.3330229	5.0696686	0.5621816	0.6410490	0.7167280	0.9983732	5.1475765	0.6687384	6.7789238
28	0.3406360	7.0704736	0.6670908	1.6455789	0.3991463	0.4614181	9.5402325	1.0315171	1.1319087
29	0.3448155	Nan	0.6768374	0.6626506	0.3636721	0.5451577	1.4983035	0.3556478	0.3478032
30	0.3393374	5.7688742	0.6881535	2.2037214	0.5382816	0.5760441	0.9686796	0.4807560	2.0546187
31	0.3420563	2.1484511	2.3384464	0.9161620	1.3573053	0.7846075	3.9508631	0.8511545	3.6052398
32	0.3497227	1.1807335	2.7768863	4.0705235	7.9828426	1.2321943	1.362402	1.2140244	2.4456683
33	0.3614684	1.1585888	4.6294192	5.2801498	5.4570849	1.0504012	0.5958261	2.4538871	2.0605147
34	0.3777148	1.5631255	4.1235265	4.0101723	4.0696612	1.6258374	1.4372364	4.9972741	1.7111529
35	0.3994223	3.1505019	4.6237059	2.8778998	4.7549737	5.1745161	0.8792735	2.6529961	0.9050771
36	0.4319253	3.956562	4.6876872	3.4518198	2.0142738	1.6743397	0.9367157	1.7728764	0.6970215
37	0.4513032	3.3786739	3.9231245	4.2587963	1.5842594	2.5882667	1.0462758	2.426652	0.5000629
38	0.4757397	2.5921273	0.7477306	IV.77	1.2751862	2.4870791	0.8882160	2.1444918	0.3743993
39	0.4886698	2.3689139	1.0830632	3.5993075	1.655544	2.4090118	0.6779364	2.4170599	2.038314
40	0.4876549	1.9452085	1.66851	2.7418264	1.4686716	0.4860806	0.5860198	2.7128618	1.8547483
41	0.4910803	1.841796	2.0736194	0.6893654	1.01279	0.7900345	0.5910337	2.2058971	2.5713388
42	0.5026310	1.8211591	1.4668288	1.7920896	0.5121619	0.9760469	0.6235798	1.4477698	0.5925604
43	0.5234105	1.6968485	1.0774433	2.2822865	0.7286404	0.9898541	0.7429357	0.5236487	0.6459263
44	0.5564583	1.6535533	1.1916265	2.0603052	0.8189519	0.9797931	0.5846525	0.5818715	0.7490047
45	0.5932120	1.3675995	1.0199741	1.1984672	0.6506238	1.0405393	0.6359564	1.534675	0.5240294
46	0.6067542	1.0627644	0.8101159	0.8208178	0.6562691	1.3086892	0.6305910	1.467421	0.8334133
47	0.6219656	0.9541330	0.6868688	0.5864505	0.7186050	0.947172	0.5654202	1.099915	0.7965600
48	0.6260930	0.8408516	0.7811432	0.4738307	0.5913708	0.6668925	0.5741163	1.6722698	0.6024727
49	0.6178652	0.7776933	0.7866932	0.6767018	0.5533303	0.5820067	1.5316268	1.9068698	1.4003775
50	0.6035486	0.7150537	0.7005026	0.9471042	0.5528891	0.7244527	1.7393084	1.1086687	0.7996992

HODNOCENÍ KVALITY MODELŮ

S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
51	0.5946732	0.6819132	0.5648060	0.5868276	0.5462158	0.5917858	2.7110794	1.0060344	0.5520521
52	0.5854806	0.6863616	0.4905039	0.4890960	0.6140294	0.5337594	1.2308334	0.4915637	0.9815902
53	0.5713273	0.6681650	0.5405592	0.4804594	1.1919308	0.5945165	3.771845	0.8592925	0.6035280
54	0.5619235	0.6502808	0.8043944	0.4830262	2.2655782	0.8847002	5.4565613	0.9930090	0.8069379
55	0.5506100	0.6242621	1.6692769	0.4812458	1.8130726	1.5729661	5.3758506	0.8545547	1.0604688
56	0.5342349	0.6453531	2.3812479	0.4957517	0.7053144	1.4655387	3.2662735	0.9888658	0.8285220
57	0.5243242	0.6714666	2.2430329	0.9277003	0.8128728	0.7435792	3.2198272	1.3083776	0.9717235
58	0.5305349	0.7304456	1.3501014	1.6225714	0.8288223	0.5416931	1.9119182	1.1865599	0.5552294
59	0.5593096	0.7162830	0.9518663	1.8351787	0.5392857	1.1402937	0.6687507	0.8008112	0.385179
60	0.5879001	0.6953217	0.7683709	1.9416653	0.5262678	2.2240457	0.5895293	0.9091541	0.7936204
61	0.6142514	0.6236894	0.7248212	1.6651359	0.6320895	3.4360821	0.5176689	0.6138064	0.7696376
62	0.6470591	0.5759521	0.6950264	1.5078037	0.5479399	2.7745538	0.5130091	0.5221529	0.5207012
63	0.6676179	0.5355478	0.6654671	1.45751	0.9437974	2.3978769	0.4648756	0.4890130	0.5739669
64	0.6997057	0.5225412	0.6387147	1.6501868	1.559278	2.1982411	0.4646608	0.7653715	0.6791664
65	0.7238318	0.5335654	0.5999896	1.8065378	1.5419905	2.0002433	0.5100157	0.6793621	1.0534514
66	0.7393446	0.5504306	0.5860055	1.8239513	1.319657	1.2561063	0.6307867	0.4866601	1.2258684
67	0.7513075	0.6888060	0.5340352	1.6941982	1.084649	0.9186277	0.6261239	0.4359038	1.5971169
68	0.7541972	0.8194648	0.5255890	1.4783786	0.8867331	0.8298421	0.6166174	0.4585922	1.6703798
69	0.7531850	0.9525437	0.5340334	1.2763741	0.7454155	0.7317194	0.6795105	0.4451959	1.0243941
70	0.7488453	1.0376915	0.5545372	0.9629061	0.6637296	0.5251612	0.9757172	0.4736517	1.0973145
71	0.7450586	1.1246458	1.1186601	0.5268010	1.641847	0.4498602	0.6569685	0.6520580	3.1160593
72	0.7578624	1.2042084	2.8135835	0.7976021	1.5302521	0.8784614	0.8078122	1.5133559	2.4155169
73	0.7649294	1.1762364	3.8641329	1.8541922	0.6205396	1.4087595	1.7553084	2.1267346	0.7880273
74	0.7721442	1.1646963	3.9745297	2.5679977	1.1863215	1.9725641	2.4843618	1.7739124	1.3889841
75	0.7833613	1.1770081	3.7010918	2.4774172	1.5803637	2.7361606	3.1577866	6.3208102	1.553149
76	0.7937309	1.1071658	3.2314182	2.0215652	1.788418	3.1295235	2.6832685	8.2244432	1.5867661
77	0.7759695	1.126129	2.9335283	1.4565443	1.6039996	3.0057151	2.5957231	7.7002105	1.1751139
78	0.7750141	1.1774772	2.7652192	1.2307804	1.4051527	2.8335689	2.7114133	6.8943245	0.9638069
79	0.7894047	1.1769986	2.4977879	1.195217	1.4228286	3.2323915	2.7391612	6.5401611	0.9404811
80	0.8098900	1.2048933	2.2499059	1.387938	1.5452214	3.9246669	2.6454191	5.8483973	0.8505409
81	0.8330892	1.1936232	1.9982492	1.7004048	1.6195302	4.881	2.4200527	3.5869859	0.8432018
82	0.8592157	1.1704051	1.8885316	1.861605	1.725272	6.2620897	2.673177	2.3103176	0.6616531
83	0.8837786	1.1643071	1.7646147	1.9433361	1.7865858	5.0494376	2.0676246	1.7295281	0.5675347



Obrázek B.3.: výstupy modelu B1 jih, teplota místnosti



Obrázek B.4.: výstupy modelu B1 jih, teplota místnosti

Data B2

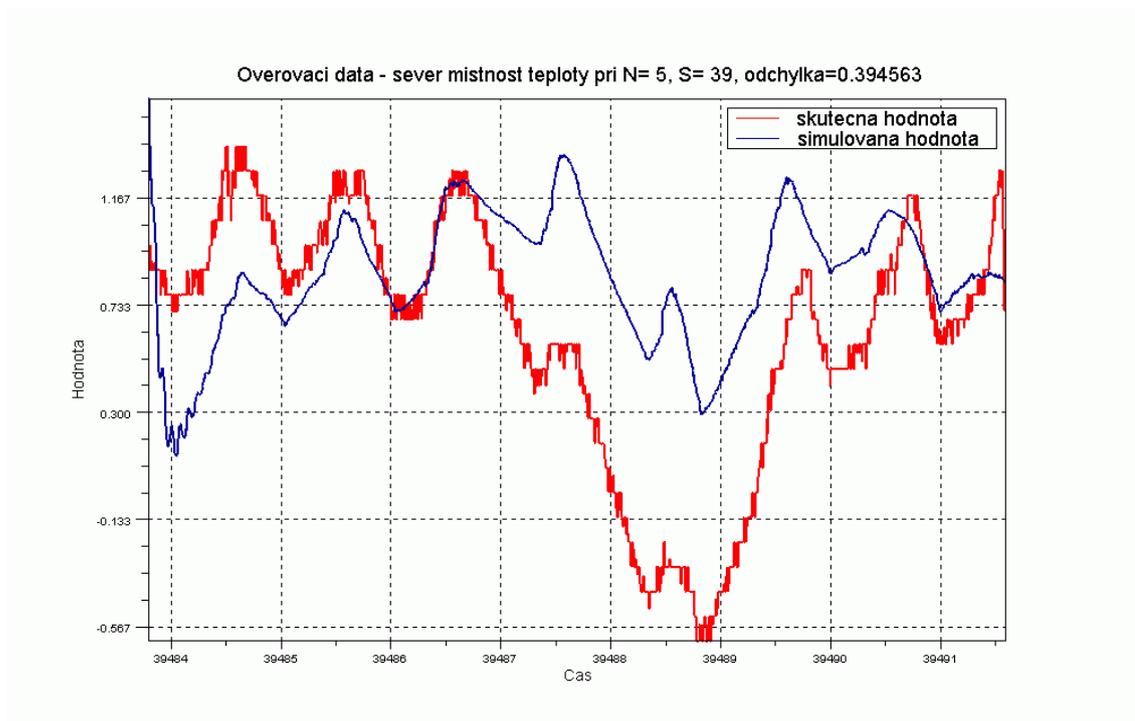
Tabulky odchylek

Sever, teplota místnosti

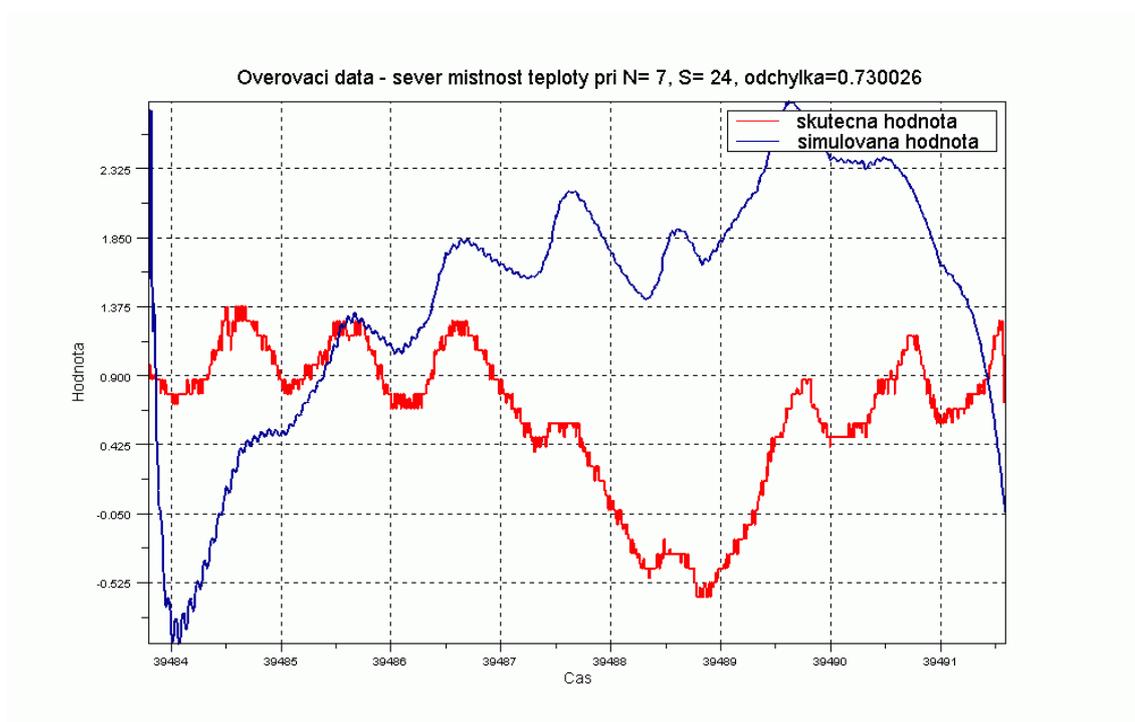
chyby pomocí směrodatné odchylky

S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	Nan	0.7696908	1.55012	2.0032835	5.7525143	0.7041800	1.8752269	0.5793581	1.3293115	0.5301884
12	0.4615043	0.7503906	0.7467129	0.6190218	0.9020936	0.5671184	0.7091487	0.5341627	0.5956149	Nan
13	0.4704550	0.7624881	0.7424101	0.8616990	0.8243346	0.9520579	0.5216282	1.6229559	0.4380108	0.5088610
14	0.4851475	0.6753113	0.6474344	1.1248161	1.0521035	0.4980620	0.4662216	0.4777617	0.5002636	3.3257608
15	0.4815958	0.5091442	0.6545560	0.6776357	0.5225881	0.7907501	0.9945897	0.7519724	Nan	1.5771045
16	0.4890331	0.5249726	1.0112779	1.8264348	1.6259698	1.0331809	0.6745203	0.4844100	0.7846867	4.1374746
17	0.5238356	0.5723693	0.6294668	0.8323612	Nan	Nan	Nan	Nan	Nan	Nan
18	0.5342515	0.5776327	0.5554462	0.6899642	0.5659812	Nan	Nan	Nan	Nan	Nan
19	0.5349796	0.5839242	0.4996631	0.5942999	0.5250366	0.4759053	0.4970381	0.5011758	0.4888670	Nan
20	0.5300346	0.6372933	0.4426769	0.4590735	0.4587985	0.5083317	0.6932393	Nan	0.4519568	9.8880231
21	0.5155286	0.6217555	0.7874266	0.4471190	6.3343198	6.7538215	0.9245923	0.4541612	Nan	5.5378231
22	0.5114249	0.6736745	1.0534755	0.4687093	0.5896868	0.5835785	5.1116606	3.6684638	8.0220585	Nan
23	0.5037226	0.7571672	0.8040892	0.4511581	8.1737965	4.5901106	4.0643199	0.9540948	0.4957787	0.6738075
24	0.4952348	0.7274724	0.6284333	0.4917088	0.6475456	2.1589146	0.4251182	1.548111	6.4916583	Nan
25	0.4896482	0.6606164	0.4553337	0.6620452	2.7231473	0.7456607	0.6672631	0.4697666	2.099609	2.0765829
26	0.4833824	0.5866746	0.4800820	0.6422767	2.2107264	0.8219285	0.4732227	0.5928564	0.4745120	0.5413922
27	0.4915741	0.6083069	0.6239619	0.6541763	0.9364934	0.9832732	0.5561639	0.7089413	0.8221500	0.9722371
28	0.4948862	0.6755909	0.7477394	0.7078695	1.8582468	0.7886445	1.1998423	0.7780134	0.7954055	0.5351379
29	0.5107348	0.7222973	2.0053984	0.7681894	3.0880101	2.6191097	1.2956315	0.6129310	0.5504448	0.7987117
30	0.5207185	0.6360152	1.097553	0.9535488	1.785468	4.0509659	1.5175576	5.0043491	1.2286115	1.0600907
31	0.5325987	0.8074125	1.6311503	1.5173269	3.2982976	2.2808417	5.7862532	6.3325383	3.7521118	1.6381836
32	0.5369739	0.9702475	2.9793519	1.1764897	3.4631825	3.2895777	1.5577533	2.7637757	8.2540936	1.4354517
33	0.5465312	1.1858024	1.4058647	2.5771949	2.0483158	1.5345724	1.654459	1.1707634	1.4073946	5.1814392
34	0.5659907	1.0248925	5.2990598	5.0518953	2.7936202	2.6737858	2.8453596	0.9924376	1.0477164	1.2109737
35	0.5841663	0.9136889	Nan	4.0808186	7.0828068	2.7980047	0.6685772	0.8232171	1.2325724	1.108048
36	0.5871767	0.9451681	3.6798867	8.9306449	3.1870712	Nan	2.8267582	1.0192153	0.6512454	0.6820597
37	0.5848987	0.9673576	1.7258427	5.7500726	2.34247	4.6319556	3.7123051	0.9782688	0.9132208	0.4820502
38	0.5876239	0.9775520	0.8165934	3.2739184	1.5095455	2.7682485	0.5737946	1.1232736	1.5288447	0.4944757
39	0.5989833	1.0669052	0.5573517	4.3156496	0.3971032	1.9115503	0.7418772	1.2858529	1.1336649	1.3042001
40	0.6134184	1.0161658	0.7519336	2.3525711	1.2492381	1.1195969	0.6330700	0.7216180	0.6068197	0.6988290
41	0.6223664	1.0433645	1.1879716	3.3976724	0.4420912	1.1922295	0.8639511	0.4343	0.4636453	0.4547213
42	0.6236548	1.2653209	3.2498814	3.0846124	1.2161315	1.4530977	2.2277675	1.2735557	0.7052781	0.5742718
43	0.6326662	1.8716764	0.8688891	1.298229	1.1513829	1.410509	0.9004788	0.8560946	0.8025365	0.7858411
44	0.6246059	2.0429739	2.577114	3.6958543	2.3979819	0.7386713	0.9511808	1.8816676	0.6179897	0.9619336
45	0.6202331	2.2427188	0.6335215	1.040227	0.4655912	0.4917639	1.1598544	0.6523101	1.327209	0.6353080
46	0.6207515	2.4056757	1.0731466	1.0168854	0.9928908	0.5703835	1.0216471	1.4631094	1.0133626	0.5834156

S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
47	0.6239453	1.9773898	0.5741309	1.050934	1.1595246	0.7438041	0.7907232	0.7884023	0.9143172	0.8262851
48	0.6212588	1.4851129	0.8877627	7.0050347	5.2826237	1.9408259	2.4844842	4.670744	2.5313523	1.5724789
49	0.6200491	2.3588613	1.905638	2.0805045	3.7009451	3.3930368	3.2552491	2.5189038	2.3986218	2.8206101
50	0.6195303	2.3492715	1.3249019	1.2633638	0.9689960	7.6777037	0.5153589	2.6871989	1.673084	0.8050856
51	0.6215746	2.3384224	2.1915529	5.4698957	3.6721851	2.4657239	2.2028195	Nan	8.59175	5.1307357
52	0.6172855	2.2717263	1.785171	3.6786836	5.6820151	2.2082851	2.2104484	2.3229763	3.7455386	3.6995779
53	0.6082913	2.2078327	2.4032911	2.1077271	0.8966156	0.5654993	0.5281158	0.7770235	1.0489692	2.1946899
54	0.599595	2.3073005	1.2140071	1.5551606	0.7980659	0.7808042	0.5059795	0.4958785	0.9417572	1.5847442
55	0.5922550	2.1126338	0.6172326	1.8437145	0.5316973	1.2190742	0.4887032	0.4804074	1.4145797	2.326637
56	0.5843079	1.9266063	0.5413044	2.5226947	0.4844720	2.1224467	1.883381	4.9764818	2.610827	5.7679518
57	0.5797453	1.8218691	0.4792846	3.5396616	0.6636810	3.0238776	3.5705307	3.345862	1.7689274	6.024948
58	0.5861437	1.4814121	0.4743182	4.1351295	1.3629295	5.3701412	1.6168372	8.2744829	2.5994691	6.837161
59	0.5912275	1.2712818	0.5132700	3.4442586	0.4566457	9.052997	0.9716492	4.5025935	3.5294801	6.8991348
60	0.5868917	1.4859769	0.5380434	2.476539	0.5493459	1.4128548	0.5707937	1.0505708	0.5404542	1.2028429
61	0.5800360	1.3406256	0.5375816	1.8995202	1.1877742	0.8673889	1.5509923	0.521159	0.7903137	0.5191839
62	0.5806879	1.3015355	0.5511639	2.0478005	1.1411009	0.5271027	0.5467875	0.4302679	0.8375938	0.6235996
63	0.5827226	1.0174562	0.5731979	2.3830751	0.7869774	0.5988303	0.4739531	0.5160273	0.6075306	0.4511400
64	0.5945189	1.0222169	0.6040736	2.4330863	0.5703913	0.7504978	0.5321818	1.082064	0.5223577	0.7262692
65	0.5826661	1.0172474	0.5894467	2.3960906	0.6714106	0.7657177	0.4539351	0.6420457	0.4625599	0.4788684
66	0.5656129	0.9288535	0.6734735	2.4289254	0.5820831	1.0396288	0.4352385	0.7274148	0.5331520	0.4642030
67	0.5709092	0.9023711	0.8873725	2.7232614	0.5045973	1.2773704	0.4371218	0.5565724	0.4423164	0.4595128
68	0.5797244	0.9684224	1.1336682	2.636689	0.5341798	1.7822613	0.4964354	0.5880950	0.4907643	0.4408264
69	0.5873016	0.8973025	0.9544804	3.0185634	0.5367183	2.6761956	0.4609275	0.5364136	0.4627932	0.4971422
70	0.5953222	0.8623795	0.7047772	3.418466	0.5209945	3.3203105	0.4586815	0.5330223	0.7300572	0.5891943
71	0.6086778	0.8378898	0.6442861	3.5256462	0.5688327	3.4478193	0.5132537	0.6937676	0.6919637	0.5570714
72	0.6162797	0.8964690	0.6948522	4.5712358	0.5475123	4.1530475	0.4560488	0.8812316	0.4762012	0.6386469
73	0.6306855	0.9251388	0.8594673	5.119382	0.6401620	4.9532788	0.5870218	0.8571739	0.6903853	1.210191
74	0.6555367	1.2813919	0.7564836	6.7566989	0.9858406	6.0890037	0.5789597	0.8947190	0.8068687	0.8671009
75	0.6630904	1.5756826	0.8031829	6.863334	0.7783482	6.0548054	0.4835725	1.197138	1.1158548	1.166905
76	0.6751307	1.7088782	1.4875667	6.9821125	0.8176278	4.1865468	0.4770893	1.0963619	1.0722388	1.2142328
77	0.6882547	1.7807808	1.6925557	7.0125052	0.8642616	3.7658027	0.5302091	1.4725666	1.427686	1.0813005
78	0.7068653	1.7432869	1.580152	6.6480773	0.8835002	2.4830645	0.5627534	1.6216925	1.5188206	1.4955941
79	0.7098489	1.7803839	1.1022744	4.9438443	0.7505533	1.6687095	0.4709265	1.6853679	1.1690904	1.4231852
80	0.7143895	1.9396646	1.6279588	5.8579179	0.8828763	1.9810747	0.4988699	2.2060356	0.5063079	1.4115434
81	0.7263914	1.8199088	1.8998699	6.6945095	0.9694750	2.3864175	0.4865974	1.974245	0.5343530	1.4120572
82	0.7335144	1.7132534	1.9606488	6.870005	0.9413897	2.0621141	0.5101117	1.5242313	0.5427741	0.6903496
83	0.7548381	1.6340744	1.8544632	6.2377057	0.8270087	2.0164713	0.7008628	1.5547318	0.4716274	1.0350607



Obrázek B.5.: výstupy modelu B2 sever, teplota místnosti



Obrázek B.6.: výstupy modelu B2 sever, teplota místnosti

Jih, teplota místnosti

chyby pomocí směrodatné odchylky

S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	Nan	2.0426828	2.1245171	3.0712767	0.9669165	3.6933951	1.1892828	2.3839373	4.9436705	0.7767159
12	0.5213420	3.2625567	0.4045299	Nan	0.5015842	Nan	Nan	Nan	Nan	Nan
13	0.5587460	5.1027345	0.5145482	0.5484420	1.2010055	0.5792745	0.921512	4.7232744	1.5069778	0.5397482
14	0.6050261	4.5762567	0.4265372	0.6411815	0.9849982	0.6952432	0.9217022	1.6399922	7.1982157	0.7400190
15	0.6513174	3.4543891	0.4789990	0.5396397	0.7755429	0.6412590	0.8049386	0.5712512	0.5777252	0.4945856
16	0.6733740	3.0788816	0.4314499	0.5982711	0.6983934	0.6905530	0.8743340	0.7541715	0.8623704	6.0150775
17	0.7264059	2.3137673	0.4567777	1.5464769	2.668685	0.8959194	1.0628217	0.6659242	2.8323636	8.4431468
18	0.7704853	1.8356393	0.7744300	0.9860784	2.1627191	2.2724983	2.1600135	2.0777846	1.7335829	2.5517956
19	0.7890254	1.5332488	1.4591926	0.5082383	1.0808711	1.8648925	1.7440285	0.5251523	0.8219605	1.1662223
20	0.8112075	1.6348426	2.2969665	1.7466637	1.3926314	2.0798722	2.2191791	1.6046603	2.8760653	1.2015876
21	0.8328936	2.306065	2.5801015	2.3206646	2.4430081	0.7643858	0.7744496	0.7062762	1.0341722	0.6943587
22	0.8361406	2.6926655	2.3974017	2.2511493	2.1117412	0.8721226	0.7695130	0.5873695	0.7483922	0.6503393
23	0.8596217	2.9831596	1.7946821	1.9786911	1.5873085	1.2225383	0.6117608	0.6369033	0.7845486	0.6095217
24	0.8609984	2.9978993	1.2801362	2.0244279	1.2052382	0.4031973	1.7181024	0.4697152	0.6872595	0.6344587
25	0.8469684	3.0403146	1.3045318	1.7135502	0.9324744	1.7031799	1.9026673	2.0495162	2.1753063	2.0046653
26	0.8248370	3.1901118	1.0847534	1.0329889	0.5401551	2.5771428	3.6122864	3.1010376	2.9881194	2.0465769
27	0.8395519	2.8811605	0.9670159	0.6224906	1.185587	Nan	Nan	4.0475268	2.9785706	2.1927004
28	0.8321253	2.5084496	0.6779543	8.5969609	Nan	Nan	Nan	9.2519622	Nan	Nan
29	0.8170275	2.7801258	0.7698933	5.2384172	2.1254093	1.993321	1.0784169	1.6637066	Nan	3.9827607
30	0.8213928	2.8301804	0.7418843	3.3524869	0.9002433	0.6711477	1.2157342	2.4778182	6.8542693	3.2416711
31	0.8184699	2.6806109	0.6258752	3.309837	1.2553547	0.4992581	0.4442084	0.4547138	0.6136574	0.9010011
32	0.8307204	2.7679364	0.4671394	2.9475207	0.8460209	0.5393402	0.5407546	3.1092139	3.9758187	Nan
33	0.8466636	2.6619964	0.4884577	4.0673674	0.9209885	0.5345173	0.7232339	1.0973075	3.6240185	2.5504871
34	0.8514752	2.9249778	0.6750704	2.5355396	3.4515993	0.4115502	0.6919656	2.1486797	1.1763655	0.6587948
35	0.8695524	3.3432154	0.6798811	2.5522169	3.8268493	0.4028074	0.4124062	0.8139698	0.4739965	0.5082948
36	0.8971800	3.5824979	0.6042476	2.5433995	0.6470000	0.5455788	0.4142739	0.4743968	0.4971576	0.4530580
37	0.9028756	3.7008637	0.7091156	2.0607753	0.4900164	0.6624943	0.5215788	0.6344545	0.5907698	0.6275335
38	0.9163679	3.8310949	0.7165772	2.8148208	0.5976641	0.8256034	0.6738105	0.7667910	0.6946895	0.6813305
39	0.9260706	3.9719023	0.8611597	2.4793213	0.4401583	1.1660267	0.6920144	0.7053632	0.4909347	0.6804661
40	0.9278358	4.0124001	1.015814	Nan	0.8887232	6.9091715	0.8438959	Nan	1.9426536	3.3758148
41	0.9384615	4.0053946	0.9344386	0.4483714	0.8487452	Nan	0.6311863	Nan	8.9857907	9.9416901
42	0.9372777	4.0661121	0.9817485	0.6026389	0.9140739	4.8245275	0.6510292	Nan	8.5709682	Nan
43	0.9291264	4.0297217	1.5165536	0.9586670	1.3257406	6.4044089	3.4885975	8.066171	6.6638644	2.9453431
44	0.9234985	3.9109395	2.0880834	2.2478002	1.9083082	6.741054	2.157265	Nan	1.0611199	3.8238438
45	0.9248627	4.0079084	3.0514801	6.920766	1.7254556	2.770979	0.7713763	2.4599647	4.0464693	9.3876143
46	0.9111772	4.2273661	5.3120793	Nan	5.7167435	3.514942	0.8253022	Nan	3.8951856	4.3730189
47	0.8952314	4.8399109	8.2956921	Nan	Nan	3.421468	0.7189183	1.4864422	1.6013118	2.1998321
48	0.8935639	6.853292	9.6636769	Nan	1.9433978	6.1536605	0.8344653	1.6730439	2.5046771	1.5095775

HODNOCENÍ KVALITY MODELŮ

S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
49	0.8902839	Nan	9.0130332	Nan	0.727561	0.6426947	0.8427501	3.0043492	1.1889901	3.5560079
50	0.8853965	Nan	7.5742363	Nan	1.0820121	1.3182564	1.2178813	1.0582972	1.1612649	1.1137085
51	0.8868941	Nan	6.4588645	Nan	1.5438156	1.8323445	0.8011041	6.4093728	2.8700856	2.9589677
52	0.8770429	Nan	5.1925639	Nan	0.8980840	1.7883197	0.9416967	2.7763292	4.4488194	0.8543708
53	0.9446047	Nan	3.1390557	4.9014583	0.5884370	0.7644971	0.4616433	1.4590929	1.1644214	1.1034454
54	0.9710734	Nan	2.3948603	4.221581	0.6047115	0.6367199	0.4540844	2.5335535	2.0104184	1.7977033
55	1.0000662	Nan	1.8082675	4.085775	0.7619600	0.6761854	0.4489269	2.1523206	2.0741997	1.543544
56	1.0003681	Nan	1.4082166	3.9940467	1.3243393	1.3750908	0.6128383	1.2772666	1.6898089	1.2964592
57	0.9869410	Nan	1.2169249	3.165052	1.3048675	0.9247234	1.0851713	1.4305591	1.2884871	1.2623504
58	0.9945715	Nan	1.3389001	3.6855307	0.9473199	2.2812571	0.5677440	2.1025701	1.568875	1.5911299
59	1.009108	Nan	1.6773785	4.2889599	0.8182589	4.0707411	1.9340764	2.8204294	2.192237	1.2482328
60	1.0318968	Nan	1.9049716	5.108508	0.9791366	6.0894273	2.0277509	4.809982	6.2417359	2.735024
61	1.0549141	Nan	1.874276	6.3100292	0.9166387	7.2620932	2.549955	5.7267516	7.1841679	3.0641771
62	1.0528593	Nan	1.9021338	8.8886361	0.5054926	6.4518453	4.153686	4.451696	5.3716053	2.9676278
63	1.0486816	Nan	1.8507528	Nan	0.4905750	5.3821352	1.8705065	2.9387467	3.516204	3.0515972
64	1.0420179	Nan	1.7563476	9.7117483	0.4697848	4.3691823	0.9223119	1.8088204	2.0858715	1.6659216
65	1.0423091	Nan	1.5445674	8.2397497	0.4302328	3.9051855	1.0992218	1.9665098	1.4956441	1.5068256
66	1.0728839	Nan	1.3887171	6.1334727	0.4060947	3.026735	1.1517062	2.4719877	1.0827669	1.3766978
67	1.1111451	Nan	1.2266172	4.0899689	0.4447784	2.4391112	1.4352322	2.6958991	2.1026375	1.9594923
68	1.1512071	Nan	1.0835883	2.638876	0.4695916	2.2896285	0.8787309	3.5211477	2.5789278	2.7478687
69	1.1943584	9.0408706	0.9169856	1.5192191	0.6269934	2.0548508	1.0284083	4.0771178	1.8253833	3.6237278
70	1.2617144	8.2178038	0.7866887	1.267495	0.9336542	2.3854748	0.9723150	4.7181174	1.2219553	4.8117937
71	1.3145137	7.4097434	0.6681658	1.1043585	0.8384924	2.3764484	1.2459788	4.1614096	1.6245988	2.8778524
72	1.3602993	7.2693043	0.6087229	1.0980988	0.7433284	2.4711431	1.1427586	3.1403002	1.8016457	0.9086032
73	1.4137559	7.11973	0.5742509	1.0910428	0.7511875	3.0601114	0.6623293	2.5668779	1.4321456	1.2951937
74	1.4806799	6.5593386	0.5774608	1.0527222	0.9193082	3.7675728	0.6188156	1.2298951	1.4888702	1.7134869
75	1.5615264	6.0044938	0.5608677	1.0665147	1.5576392	4.1540096	1.6967702	1.1907032	3.2238371	1.5077349
76	1.6079115	5.2699522	0.4433681	1.152491	2.2646842	3.5025899	2.5333519	1.9689129	2.0989749	2.6625393
77	1.6722812	4.2049826	0.7436318	1.2423637	2.5994487	2.6065885	1.9284233	0.7957342	1.9295676	2.9350229
78	1.7316675	3.5736444	0.8555388	1.2457712	3.2941598	2.3207936	0.9914603	3.9334109	5.3182679	2.9230665
79	1.7811096	2.9176878	1.0220672	1.3581618	3.9987877	2.6554225	0.9029770	Nan	4.1688729	4.0193328
80	1.831469	2.1974296	1.6168427	1.4350544	4.8070401	2.3951618	0.7977583	Nan	1.5364437	3.9724966
81	1.8952631	1.9800649	2.2446471	1.6208302	5.3730873	2.0184509	0.7376383	6.463654	2.214268	3.6289798
82	1.9480656	1.8863354	2.7509347	1.669829	5.1361821	1.8726303	2.1503143	4.165386	1.2296936	4.5392102
83	1.9980066	2.1125557	3.0358742	1.3220475	4.4656002	1.6245501	2.8970234	4.7444921	1.1357124	4.3168304

Data B1

Tabulky odchylek

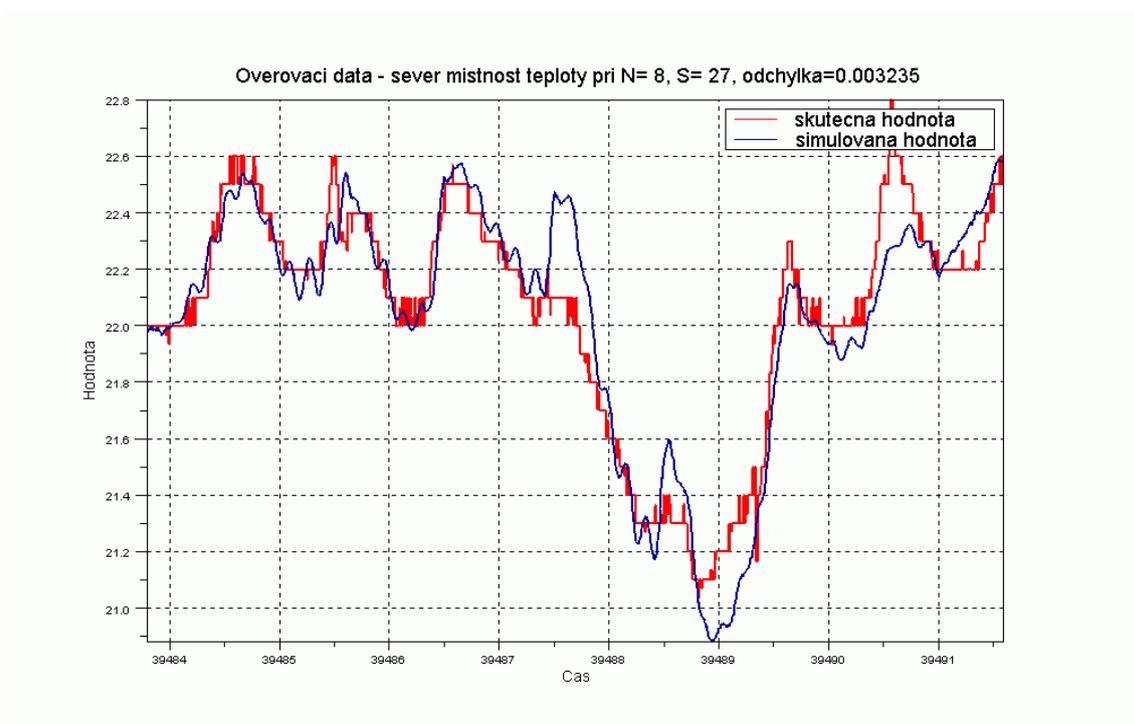
Sever, teplota místnosti

chyby pomocí chyby aproximace

S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	0.9558	0.0119628	0.0159695	0.0091751	0.0308631	0.0225803	0.0642394	0.0681582	0.0250538	0.0150573
12	0.0097728	0.0391690	0.0168973	0.0483647	0.1126526	1.	1.	1.	1.	1.
13	0.0098910	0.9403731	0.7395149	1.027774	1.2651762	0.9998693	0.9903615	1.000002	1.	0.9999999
14	0.0111564	1.0021955	0.7598084	0.0404869	0.1348945	0.0635873	1.0008093	1.	1.	1.
15	0.0106674	1.0009065	0.0759653	0.0249936	0.0817420	0.0722801	1.	1.	1.0000782	1.
16	0.0108830	1.0019298	0.0443233	0.0185235	0.2224343	0.0359802	0.1792282	0.3081679	0.2385786	0.9901660
17	0.0116072	0.0255839	0.0183100	0.0925742	0.0417165	0.3241780	0.5435998	0.1663861	0.3146947	1.
18	0.0127203	0.0243592	0.0241957	0.0527398	0.0673766	0.1865294	0.0760306	0.0910182	0.1809653	0.0438873
19	0.0134066	0.0507587	0.0135826	0.1060517	0.1458965	0.1609297	0.1202361	0.5891279	0.7426192	2.8546441
20	0.0142898	0.1523151	0.0163650	0.0614570	0.0237679	0.1949915	0.0107787	0.2103209	0.0545787	0.2075422
21	0.0150383	0.1258701	0.0179865	0.0494735	0.0347518	0.1993333	0.0055353	0.1454798	0.0226403	0.0145474
22	0.0156302	0.0989118	0.0234315	0.1735352	0.0495506	0.3869483	0.1200478	0.3368148	0.1422907	1.
23	0.0161930	0.1089899	0.0145017	0.2162312	0.1222753	0.0161526	0.0823014	0.0731434	0.2108958	0.1382054
24	0.0159329	0.1460033	0.0119395	0.0946603	0.3350983	0.1433171	0.0621161	0.0144620	3.7461627	0.8137857
25	0.0153201	0.1789325	0.0122411	0.0291745	0.0650059	0.0242536	0.0223583	0.0164539	0.0222677	0.0938158
26	0.0153445	0.2490281	0.0142386	0.0174688	0.0229875	0.0042071	0.0198904	0.0247332	0.0357217	0.0697043
27	0.0154855	0.2894372	0.0183508	0.0229368	0.0611071	0.0500510	0.0212471	0.0032354	0.0334606	0.0128975
28	0.0153178	0.2577174	0.0278634	0.0518198	0.0137383	0.0169061	0.0143983	0.0061134	0.0442258	0.0268474
29	0.0166594	0.2299135	0.0323410	0.0366179	0.0181233	0.0658595	0.0796528	0.0388009	0.0151994	0.0302753
30	0.0171674	0.2070291	0.0264913	0.0266829	0.0118483	0.0552569	0.0333720	0.0266668	0.0284716	0.0459160
31	0.0167420	0.2074451	0.0242046	0.0290888	0.0166919	0.0116425	0.0121399	0.0431741	0.0185303	0.0374384
32	0.0160069	0.2058320	0.0213819	0.0866025	0.0591871	0.0838745	0.0494173	0.1444635	0.1586743	0.0830526
33	0.0149974	0.1857035	0.0143782	0.1478784	0.1967145	0.1732794	0.2695933	0.2429772	0.8072489	0.4901214
34	0.0140850	0.1574476	0.0112125	0.1526685	0.2335977	0.1585913	0.3868238	0.7548427	0.3195995	0.2166865
35	0.0140715	0.1411581	0.0101896	0.1324630	0.1142660	0.0934983	0.0840470	0.0649829	0.0271077	0.0210979
36	0.0130190	0.1316572	0.0121270	0.1222096	0.0906187	0.0612774	0.0473992	0.0430853	0.0323923	0.0181753
37	0.0128191	0.0976953	0.0182359	0.1071614	0.0154236	0.0557003	0.3582292	0.1517853	0.1365978	0.0620839
38	0.0127366	0.0677464	0.0293508	0.0784488	0.0809846	0.0910628	0.4458164	0.5686605	0.0130482	0.1137531
39	0.0123624	0.0565434	0.1232029	0.0834680	0.1290030	0.1479288	0.0548592	0.0347472	0.0772376	0.1287719
40	0.0120372	0.0591705	0.1612695	0.0857938	0.4199172	0.2181757	0.0774327	0.1042286	0.1133619	0.0743487
41	0.0121060	0.0599957	0.1647945	0.0716965	0.3719251	0.1165313	0.1249068	0.1262750	0.1594762	0.0610972
42	0.0123983	0.0697482	0.1312108	0.0704037	0.1635813	0.0389467	0.0369392	0.0767216	0.0809586	0.0663512
43	0.0124873	0.0789238	0.0970999	0.0760145	0.0426026	0.0248486	0.0522482	0.0435024	0.0560404	0.0551742
44	0.0124866	0.0872886	0.0465057	0.0819800	0.0226846	0.0252359	0.0220453	0.0175518	0.0142553	0.0352958
45	0.0124739	0.1021387	0.0321418	0.0820076	0.0160099	0.0167568	0.0606522	0.0511858	0.0542265	0.1432270
46	0.0124128	0.0984881	0.0188947	0.0810013	0.0159842	0.0361561	0.0241205	0.0107069	0.0809712	0.1448331
47	0.0123891	0.0985434	0.0175897	0.0820683	0.0138241	0.0310740	0.0166177	0.0154499	0.0148835	0.0741020
48	0.0123857	0.0844985	0.0093537	0.0813333	0.0427202	0.0182513	0.0167439	0.0120062	0.0338783	0.0846658
49	0.0124026	0.0634979	0.0114055	0.0668455	0.0199457	0.0322392	0.0179943	0.0155367	0.0099760	0.0285146
50	0.0123099	0.0450960	0.0829170	0.0439569	0.0176501	0.0627865	0.0205960	0.0417357	0.0235162	0.0300442
51	0.0123152	0.0332865	0.0297219	0.0251568	0.0111001	0.0303473	0.0281713	0.0280680	0.0317164	0.0855065
52	0.0123619	0.0262295	0.0142766	0.0181453	0.0193316	0.0134833	0.0309879	0.3181263	0.3019962	0.2428789
53	0.0122763	0.0243461	0.0534751	0.0154747	0.0464831	0.0183445	0.0308598	0.4616858	0.3471372	0.4923508

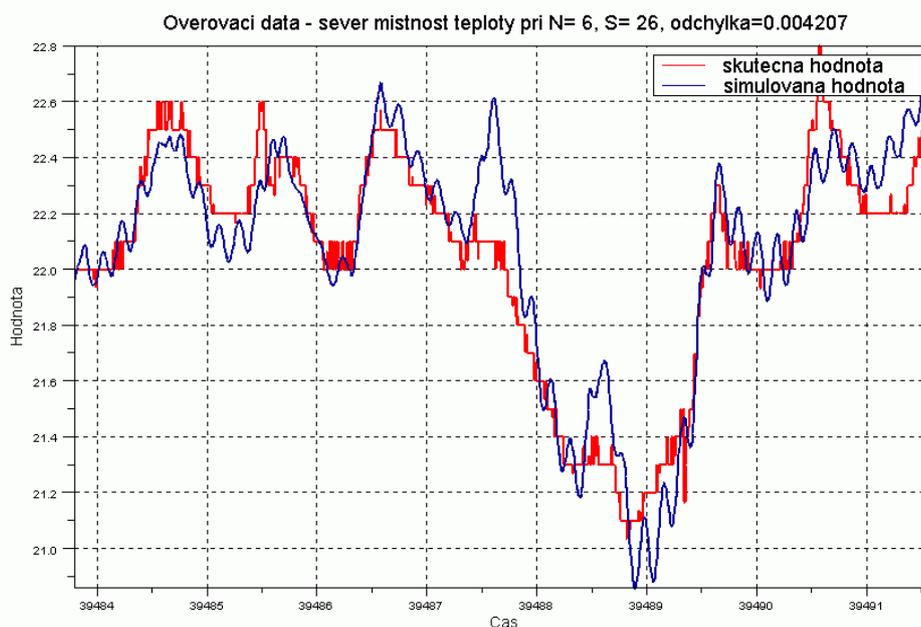
HODNOCENÍ KVALITY MODELŮ

S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
54	0.0122542	0.0223922	0.0584221	0.0115126	0.0505254	0.0237358	0.0201327	0.4838597	0.3721456	0.1994470
55	0.0121781	0.0202923	0.0443173	0.0309069	0.0328391	0.0284312	0.0160605	0.3970204	0.3805452	0.1830979
56	0.0123414	0.0190642	0.0506746	0.0295487	0.0499649	0.1534463	0.0353205	0.4154930	0.3891364	0.3202412
57	0.0124922	0.0191245	0.0390839	0.0513539	0.0390916	0.3154159	0.2011364	0.3838515	0.4456968	0.1402108
58	0.0130003	0.0171157	0.0426224	0.0348178	0.0466889	0.3612714	0.1704262	0.0247431	0.0133140	0.0357592
59	0.0129755	0.0170187	0.0303729	0.0443615	0.0374825	0.3213156	0.0534978	0.1694195	0.0233466	0.0557127
60	0.0129313	0.0168354	0.0226270	0.1357463	0.0332206	0.2300818	0.0296008	0.0949388	0.0595649	0.0326753
61	0.0130283	0.0184266	0.0202800	0.1675574	0.0623870	0.2305758	0.0538168	0.1144895	0.0370045	0.0316770
62	0.0128266	0.0175942	0.0217023	0.0632842	0.0982257	0.1504162	0.0840547	0.0679957	0.0319891	0.0248348
63	0.0122099	0.0163913	0.0388102	0.3831650	0.1056510	0.0322397	0.1107988	0.2013109	0.0294687	0.0246197
64	0.0119801	0.0179155	0.0276695	0.5047174	0.0707854	0.1138267	0.0281193	0.2936220	0.0600381	0.0366662
65	0.0117474	0.0180530	0.0249412	0.4780374	0.0214431	0.0914681	0.0403017	0.1437677	0.0551352	0.0346573
66	0.0115687	0.0170978	0.0227390	0.4167520	0.0169509	0.1042771	0.0637753	0.0972923	0.0546773	0.1300487
67	0.0108712	0.0151159	0.0263266	0.2601288	0.0298376	0.0840668	0.0822615	0.0337663	0.0322713	0.1487106
68	0.0106286	0.0156046	0.0243138	0.1430644	0.0225162	0.0586700	0.0966014	0.0128857	0.0259092	0.1789278
69	0.0103498	0.0165492	0.0246251	0.0936819	0.0250864	0.0512694	0.1051184	0.0178254	0.0232710	0.2398671
70	0.0102475	0.0163459	0.0313169	0.0751820	0.0341510	0.0517475	0.1217218	0.0231672	0.0178685	0.1423609
71	0.0099322	0.0176726	0.0321389	0.0569568	0.0497569	0.0535175	0.0969104	0.0234584	0.0194289	0.1605180
72	0.0097995	0.0188559	0.0282047	0.0445181	0.0504762	0.0363935	0.0529060	0.0221210	0.0271382	0.1582387
73	0.0098947	0.0203173	0.0270391	0.0275698	0.0341343	0.0309527	0.0335954	0.0199929	0.0301566	0.1227315
74	0.0100194	0.0228668	0.0274145	0.0182546	0.0243949	0.0267071	0.0321000	0.0196325	0.0249368	0.0930085
75	0.0102759	0.0249910	0.0260835	0.0087863	0.0143578	0.0223809	0.0294461	0.0174220	0.0280873	0.0759545
76	0.0102648	0.0279507	0.0201602	0.0085282	0.0077132	0.0174374	0.0196994	0.0422825	0.0303506	0.0509726
77	0.0102048	0.0295012	0.0182793	0.0095534	0.0084103	0.0167250	0.0287149	0.0069940	0.0142576	0.0168161
78	0.0101432	0.0328760	0.0150972	0.0101894	0.0087498	0.0110509	0.0550610	0.0278866	0.0086558	0.0281671
79	0.0101439	0.0352735	0.0092011	0.0109276	0.0104320	0.0089335	0.0527388	0.0130672	0.0071088	0.0888754
80	0.0099728	0.0361734	0.0069213	0.0157673	0.0232795	0.0075121	0.0662747	0.0225762	0.0127216	0.0932021
81	0.0099191	0.0374785	0.0079994	0.0164806	0.0201141	0.0069820	0.0728286	0.0462706	0.0204366	0.106295
82	0.0101193	0.0379077	0.0088049	0.0121261	0.0179394	0.0049262	0.0594001	0.0191845	0.0260478	0.0243645
83	0.0103414	0.0388209	0.0115903	0.0088384	0.0273617	0.0068256	0.0548269	0.0145442	0.0407713	0.0240626
84	0.0105013	0.0382835	0.0101991	0.0067234	0.0250846	0.0070018	0.0442848	0.0155904	0.0409551	0.0210796
85	0.0106030	0.0381967	0.0089654	0.0058709	0.0201772	0.0062723	0.0317510	0.0504935	0.0228515	0.0126504
86	0.0104652	0.0378431	0.0097612	0.0072354	0.0217341	0.0067843	0.0253871	0.0843417	0.0139569	0.0311572
87	0.0103097	0.0386866	0.0114617	0.0070879	0.0156907	0.0064488	0.0187191	0.0811109	0.0111796	0.0293939
88	0.0101940	0.0390090	0.0121994	0.0062681	0.0138817	0.0075342	0.0157214	0.0314905	0.0075001	0.0376349
89	0.0103568	0.0367048	0.0095582	0.0060311	0.0144582	0.0098556	0.0147666	0.0606580	0.0102902	0.0310551
90	0.0103857	0.0342966	0.0074386	0.0047658	0.0155446	0.0148972	0.0134010	0.0863191	0.0087375	0.0231559
91	0.0107340	0.0326852	0.0056599	0.0064207	0.0173647	0.0597713	0.0650321	0.0662930	0.0098727	0.0395496
92	0.0110913	0.0312988	0.0059191	0.0067536	0.0207705	0.0768799	0.0354780	0.0328997	0.0138879	0.0478321
93	0.0111734	0.0298756	0.0064698	0.0055858	0.0175363	0.0617753	0.0268670	0.0299448	0.0089821	0.0288483
94	0.0114749	0.0282359	0.0076382	0.0063792	0.0121824	0.0596819	0.0234480	0.0288692	0.0132944	0.0276835
95	0.0113106	0.0257716	0.0078290	0.0104039	0.0103407	0.0507264	0.0154240	0.0131960	0.0204541	0.0335728
96	0.0112646	0.0242061	0.0081405	0.0122693	0.0097079	0.0305585	0.0130857	0.0077341	0.0158275	0.0180422



Obrázek B.7.: výstupy modelu B1 sever, teplota místnosti

S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
97	0.0116699	0.0226236	0.0095003	0.0121397	0.0098036	0.0108753	0.0190155	0.0164317	0.0189693	0.0110311
98	0.0120645	0.0209558	0.0105445	0.0113826	0.0118552	0.0268934	0.0284652	0.0169946	0.0198373	0.0089973
99	0.0125567	0.0195010	0.0114871	0.0123306	0.0174817	0.0445519	0.0366853	0.0171073	0.0179359	0.0190326
100	0.0126337	0.0178714	0.0110403	0.0178234	0.0198297	0.0509634	0.0456021	0.0159810	0.0142640	0.0220151



Obrázek B.8.: výstupy modelu B1 sever, teplota místnosti

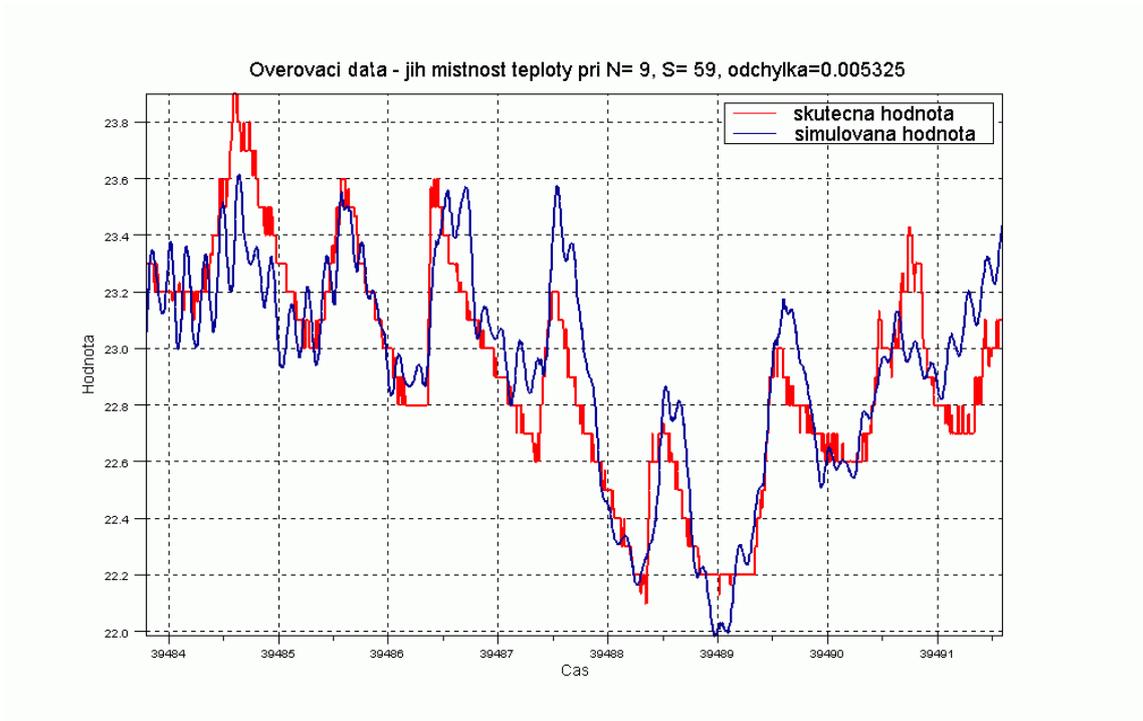
Jih, teplota místnosti

chyby pomocí chyby aproximace

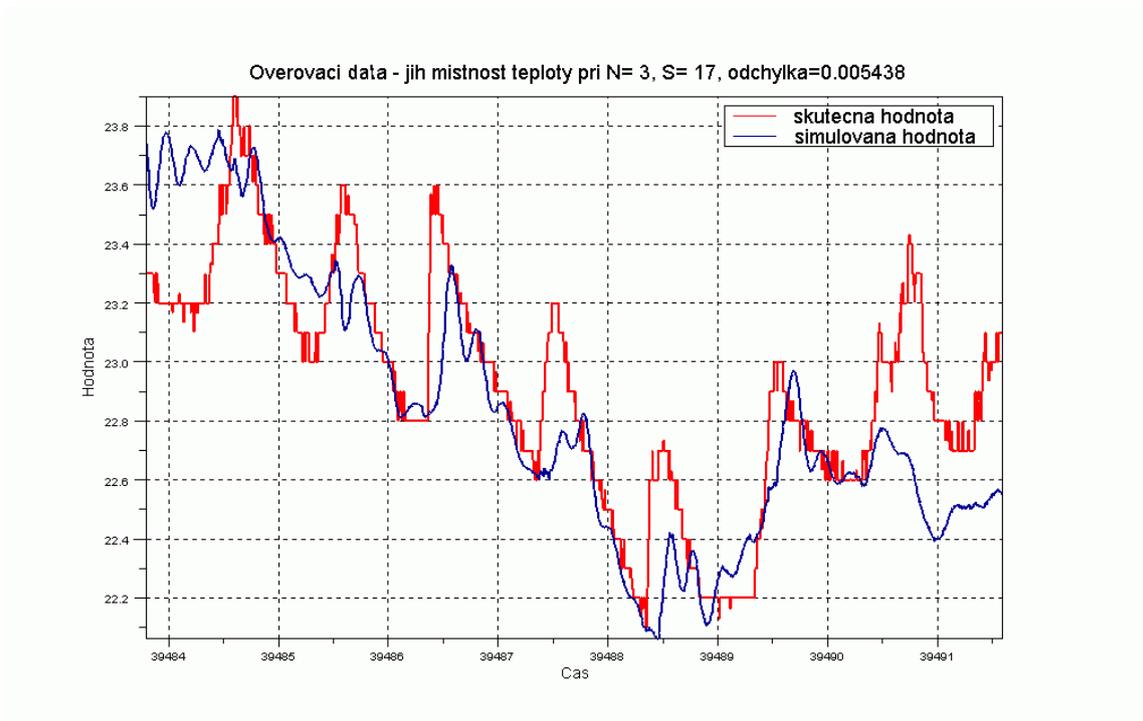
S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	0.9542	0.0451153	0.0267565	0.0435557	0.0340719	0.0076843	0.0236171	0.0699375	0.0805592
12	0.0102302	0.0084553	0.1523435	0.0232501	1.0988756	0.0079856	0.0556818	1.0107442	0.0475645
13	0.0096540	0.0360160	1.	0.0076793	0.0084114	0.0740220	0.0071105	0.0625661	1.
14	0.0100203	0.0951406	0.3090363	1.0784877	0.0062527	0.0114626	0.0235606	0.0161281	0.0141338
15	0.0107833	0.2833980	0.0099663	0.0170470	0.7475859	1.32352	0.6863588	0.9997817	1.5643856
16	0.0111817	0.1640853	0.0097381	0.0278910	0.0280592	0.5975121	0.0282689	0.0195200	0.0077332
17	0.0113971	0.0687177	0.0054377	0.0353869	0.0082001	0.0538447	0.0291930	0.0793492	0.0173490
18	0.0112214	0.0705366	0.0089109	0.0321735	0.0266486	0.0399928	0.0373779	0.1060683	0.0063398
19	0.0106879	0.1418126	0.0231197	0.0169020	0.0148117	0.0135901	0.0079677	0.2056342	0.196184
20	0.0130280	0.1488683	0.0209810	0.0962487	0.0103144	0.0143979	0.0664674	0.1299376	0.0752197
21	0.0138720	0.1306698	0.0140803	0.0870048	0.0098468	0.0098446	0.1003818	0.0706381	0.0360108
22	0.0125380	0.1072502	0.0177666	0.1153508	0.0091734	0.0439457	0.3367338	0.3446674	0.1981858
23	0.0103326	0.4188961	0.0166689	0.2479774	0.0539866	0.0501351	0.0969625	0.0766086	0.2200285
24	0.0097950	0.1501294	0.0187940	0.0527598	3.8180332	0.2159131	0.3069480	0.0789034	0.0611696
25	0.0100858	0.1932725	0.0120557	0.0500869	0.0257093	0.0765354	0.0500756	0.0500571	0.1076731
26	0.0103261	0.2562254	0.0109054	0.0186620	0.0216447	0.0305547	0.0092130	0.0342954	0.1046184
27	0.0103982	0.2737867	0.0142574	0.0215827	0.0287364	0.0608118	0.2460036	0.0381915	0.3897851

S\N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
28	0.0101428	0.3564105	0.0201981	0.0883164	0.0189693	0.0144316	0.3621732	0.0453674	0.0466546
29	0.0101835	0.4441711	0.0198337	0.0321109	0.0143395	0.0229599	0.0580927	0.0084295	0.0168335
30	0.0116689	0.2864951	0.0161880	0.1003480	0.0294380	0.0328481	0.0340444	0.0231054	0.1302128
31	0.0118901	0.1313982	0.1342655	0.0543829	0.0568250	0.0471664	0.0780605	0.0446036	0.1852213
32	0.0109378	0.0745994	0.1595327	0.2000892	0.3150806	0.0840453	0.0672990	0.0336617	0.1281828
33	0.0111765	0.0757168	0.2443643	0.2557882	0.2933343	0.0706704	0.0169109	0.0909606	0.1124292
34	0.0120242	0.0995510	0.2285528	0.2106117	0.2393818	0.1117595	0.0825841	0.1894945	0.1065205
35	0.0121025	0.1834367	0.2375682	0.1603637	0.2572237	0.2606769	0.0302447	0.0919723	0.0316034
36	0.0119341	0.2505157	0.2528621	0.1669551	0.1303233	0.1058669	0.0395180	0.0603998	0.0171833
37	0.0117622	0.233768	0.2075372	0.2554338	0.0890242	0.1352244	0.0402537	0.1193759	0.0228607
38	0.0110941	0.1261332	0.0236541	0.3170641	0.0510533	0.1134879	0.0239243	0.0782248	0.0137132
39	0.0106017	0.0978348	0.0398031	0.2314541	0.0610438	0.1136514	0.0205338	0.0913764	0.0862971
40	0.0105970	0.0742356	0.0543264	0.1650386	0.0545595	0.0086680	0.0168765	0.1184662	0.0947929
41	0.0109218	0.0808379	0.1300818	0.0319449	0.0290960	0.0234216	0.0195013	0.0876509	0.1288972
42	0.0109644	0.0863386	0.0620875	0.0904373	0.0184237	0.0304350	0.0118963	0.0434761	0.0135841
43	0.0108064	0.0733526	0.0618493	0.1059349	0.0454817	0.0339142	0.0174992	0.0147272	0.0245833
44	0.0110045	0.0994423	0.0731442	0.1092837	0.0468704	0.0216991	0.0148247	0.0123905	0.0363168
45	0.0121750	0.0842165	0.0606924	0.0563124	0.0256180	0.0221592	0.0184661	0.0435449	0.0232427
46	0.0125432	0.0564701	0.0464762	0.0308746	0.0164716	0.0229348	0.0172583	0.0333475	0.0304852
47	0.0131050	0.0492430	0.0389786	0.0131895	0.0133953	0.0190086	0.0132375	0.0281587	0.0316349
48	0.0131708	0.0419326	0.0438796	0.0147319	0.0156191	0.0140578	0.0099916	0.0553220	0.0144243
49	0.0129750	0.0367441	0.0422895	0.0367688	0.0145226	0.0165927	0.0695228	0.0686556	0.0694345
50	0.0125638	0.0337243	0.0352091	0.0577802	0.0118101	0.0310659	0.0888280	0.0289038	0.0365973
51	0.0121811	0.0315961	0.0258573	0.0258713	0.0107823	0.0191417	0.1241210	0.0268610	0.0297325
52	0.0118683	0.0256519	0.0197559	0.0106408	0.0214206	0.0121179	0.0804945	0.0180339	0.0636496
53	0.0115546	0.0230455	0.0248430	0.0078217	0.0664770	0.0216076	0.1868975	0.0161350	0.0381145
54	0.0112101	0.0228304	0.0370203	0.0065305	0.1477273	0.0413097	0.3036933	0.0445551	0.0502830
55	0.0109661	0.0225594	0.0911281	0.0107678	0.0980214	0.0966972	0.3117728	0.0319022	0.0688867
56	0.0110129	0.0198236	0.1492856	0.0113715	0.0314794	0.0948013	0.1885179	0.0246049	0.0561515
57	0.0110270	0.0186744	0.1438769	0.0263631	0.0166885	0.0414422	0.1732034	0.0682475	0.0631464
58	0.0109725	0.0179699	0.0790357	0.0570156	0.0243811	0.0098106	0.1072927	0.0581623	0.0321052
59	0.0111373	0.0176250	0.0540276	0.0704910	0.0153724	0.0608118	0.0300228	0.0317772	0.0053254
60	0.0119899	0.0175447	0.0363015	0.0744879	0.0224430	0.1201953	0.0168475	0.0390318	0.0279161
61	0.0126996	0.0182214	0.0310752	0.0592915	0.0275159	0.1912768	0.0182247	0.0128093	0.0274234
62	0.0138256	0.0194128	0.0273672	0.0522716	0.0193553	0.1402777	0.0178254	0.0073361	0.0114044
63	0.0142447	0.0202208	0.0248740	0.0535197	0.0321484	0.1159642	0.0135501	0.0087787	0.0106036
64	0.0156780	0.0187167	0.0235065	0.0788808	0.0915032	0.1105591	0.0156564	0.0278004	0.0170826
65	0.0169972	0.0154813	0.0210800	0.0986152	0.0851027	0.1084436	0.0219113	0.0211427	0.0426824
66	0.0176003	0.0138677	0.0202933	0.1026232	0.0653896	0.0672353	0.0323948	0.0073572	0.0560083
67	0.0182798	0.0169487	0.0170343	0.0987692	0.0400074	0.0423007	0.0305431	0.0072843	0.0883071
68	0.0184595	0.0241416	0.0153741	0.0867226	0.0280913	0.0356320	0.0281736	0.0111809	0.0958297
69	0.0183864	0.0334445	0.0162066	0.0715503	0.0219119	0.0283913	0.0334738	0.0131629	0.0295861
70	0.0181196	0.0392138	0.0138882	0.0434028	0.0295927	0.0112326	0.0580512	0.0158615	0.0442014

S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
71	0.0179613	0.0455181	0.0449176	0.0108211	0.0916952	0.0091645	0.0373791	0.0170708	0.1520469
72	0.0186454	0.0508909	0.1326869	0.0331517	0.0891621	0.0397146	0.0321848	0.0663998	0.1331869
73	0.0190581	0.0495654	0.1838828	0.0830831	0.0150272	0.0724595	0.0986374	0.1151939	0.0278084
74	0.0194336	0.0490160	0.1846170	0.1188606	0.0489362	0.1032077	0.1470163	0.0894661	0.0569128
75	0.0201992	0.0499791	0.1798521	0.1153705	0.0847030	0.1362543	0.1786155	0.2769875	0.0860251
76	0.0208635	0.0458012	0.1712690	0.0904586	0.0975867	0.1494244	0.1511255	0.3435423	0.0833814
77	0.0197208	0.0471338	0.1483270	0.0608193	0.0890410	0.1409973	0.1461048	0.3369858	0.0558499
78	0.0196861	0.0508596	0.1330988	0.0496400	0.0748553	0.1327827	0.1504197	0.2962293	0.0426027
79	0.0205090	0.0509563	0.1116884	0.0484766	0.0740944	0.1606400	0.1513963	0.2818374	0.0398437
80	0.0218925	0.0525815	0.1022763	0.0564310	0.0826929	0.1926529	0.1481301	0.2522410	0.0345899
81	0.0236099	0.0518829	0.0997093	0.0737904	0.0875396	0.2195238	0.1354086	0.1673866	0.0336966
82	0.0252217	0.0500490	0.0991597	0.0828478	0.0961225	0.2589278	0.1508550	0.1040733	0.0169121
83	0.0268926	0.0498674	0.0957861	0.0869294	0.1001613	0.2401135	0.1108448	0.0714339	0.0102380
84	0.0286234	0.0478860	0.0921891	0.0868221	0.1022086	0.1695167	0.0830975	0.0548031	0.0121478
85	0.0296694	0.0479988	0.0892777	0.0935964	0.1023683	0.1265213	0.0254497	0.0427104	0.0127277
86	0.0313123	0.0427202	0.0819115	0.1022763	0.1015934	0.1038013	0.0114525	0.0239554	0.0088400
87	0.0333558	0.0409161	0.0738249	0.1084323	0.0977396	0.0858931	0.0090071	0.0221050	0.0097754
88	0.0351904	0.0395872	0.0637520	0.1098250	0.0904091	0.0760244	0.0091976	0.0211322	0.0078986
89	0.0370110	0.0373361	0.0625306	0.1021954	0.0725324	0.0517987	0.0083087	0.0228780	0.0137866
90	0.0378162	0.0353174	0.0612069	0.0938583	0.0551725	0.0410078	0.0087655	0.0340059	0.0356467
91	0.0389363	0.0324511	0.0577525	0.0850054	0.0438859	0.0406853	0.0084824	0.0456310	0.0557607
92	0.0390625	0.0302151	0.0553394	0.0780581	0.0356677	0.0346755	0.0157823	0.0501899	0.0714186
93	0.0392526	0.0279496	0.0554203	0.0680499	0.0338575	0.0282632	0.0215533	0.0608538	0.0753225
94	0.0395806	0.0262056	0.0532103	0.0589534	0.0308142	0.0264057	0.0194538	0.0626625	0.0718291
95	0.0403924	0.0249339	0.0498241	0.0534584	0.0208190	0.0279085	0.0118463	0.0591377	0.0841379
96	0.0410227	0.0239469	0.0477470	0.0470686	0.0146331	0.0284374	0.0088926	0.0623301	0.0974364
97	0.0412717	0.0228829	0.0460622	0.0419099	0.0097686	0.0227260	0.0141275	0.0632278	0.1078629
98	0.0423415	0.0235360	0.0458319	0.0381678	0.0079318	0.0206924	0.0199341	0.0871040	0.1151879
99	0.0432640	0.0252893	0.0461929	0.0361426	0.0083513	0.0211753	0.0269097	0.1046506	0.0901211
100	0.0442603	0.0267438	0.0442054	0.0351066	0.0082909	0.0220727	0.0460345	0.0966560	0.0653175



Obrázek B.9.: výstupy modelu B1 jih, teplota místnosti



Obrázek B.10.: výstupy modelu B1 jih, teplota místnosti

Data B2

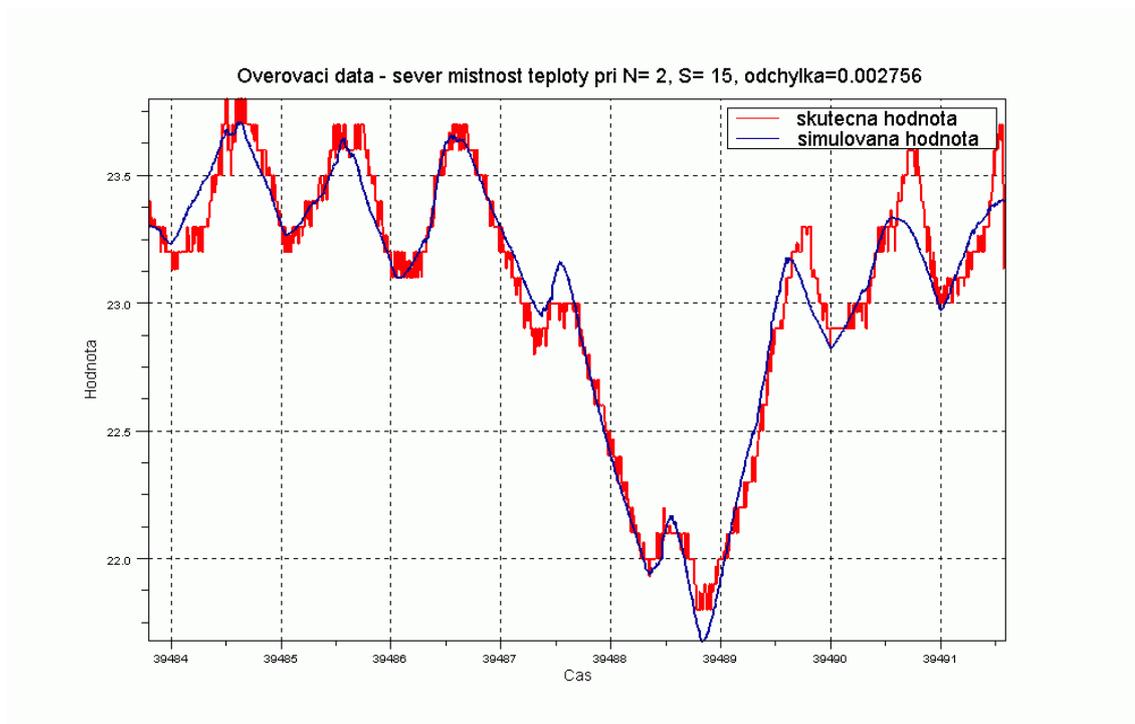
Tabulky odchylek

Sever, teplota místnosti

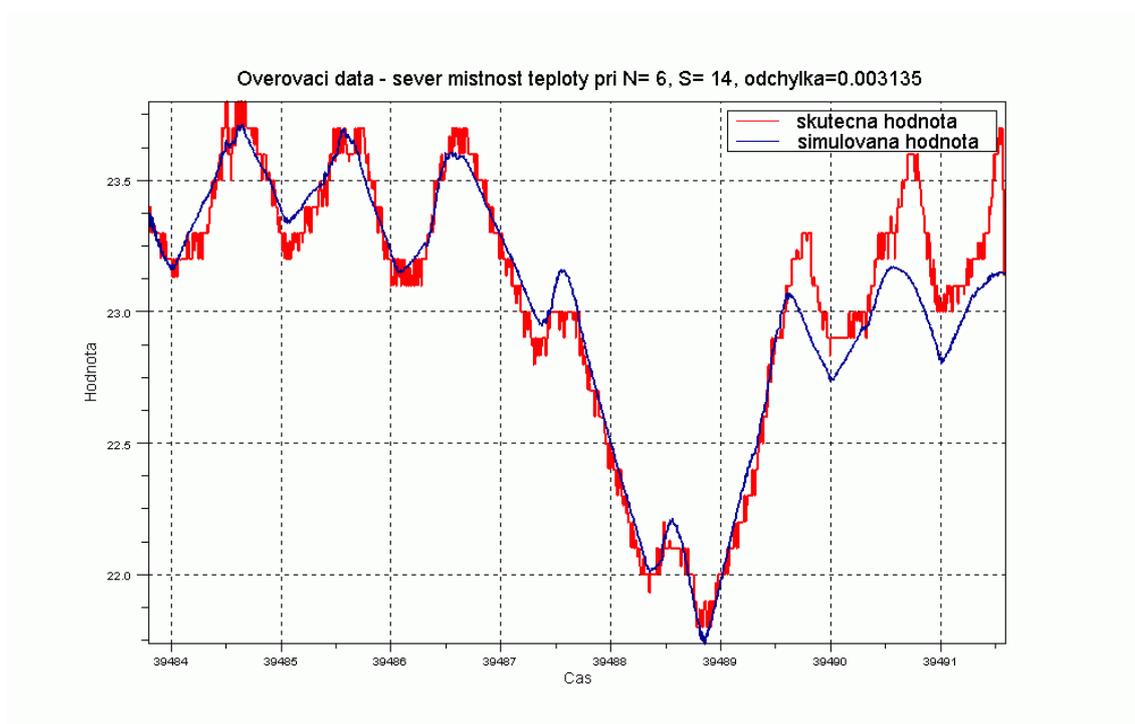
chyby pomocí chyby aproximace

S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	0.9536	0.0216084	0.0645890	0.0981361	0.3555572	0.0204855	0.1050255	0.0095899	0.0713056	0.0075960
12	0.0063993	0.0246326	0.0238008	0.0139732	0.0398383	0.0072876	0.0371619	0.0075676	0.0101044	1.
13	0.0067385	0.0238056	0.0223413	0.0322774	0.0306887	0.0356838	0.0044527	0.0913845	0.0113217	0.0035364
14	0.0069753	0.0181106	0.0157054	0.0555595	0.0488134	0.0031353	0.0051589	0.0043211	0.0172610	0.2130220
15	0.0067950	0.0027562	0.0166071	0.0187337	0.0037098	0.0281868	0.0448146	0.0263224	0.9976668	0.0848558
16	0.0068034	0.0111965	0.0473815	0.0991227	0.0812074	0.0478947	0.0184869	0.0031677	0.0278167	0.2425275
17	0.0067806	0.0086070	0.0144670	0.0345120	0.9959746	1.	1.	1.	1.	1.
18	0.0067683	0.0071974	0.0275263	0.0221292	0.0064343	0.6674865	1.	1.	1.	1.
19	0.0067351	0.0086693	0.0038685	0.0108175	0.0032684	0.0062575	0.0031771	0.0031790	0.0039760	0.9305307
20	0.0066195	0.0159703	0.0068996	0.0137415	0.0166023	0.0031615	0.0169460	0.8339111	0.0111083	0.0378727
21	0.0065658	0.0123853	0.0519544	0.0075300	0.3144864	0.3060927	0.0583583	0.0076010	1.107604	0.2751335
22	0.0065075	0.0134340	0.0688424	0.0137011	0.0350629	0.0359777	0.2432819	0.2133868	0.3734864	0.4384689
23	0.0065588	0.0261372	0.0530840	0.0135624	0.3613387	0.2501099	0.2124441	0.0349172	0.0063401	0.0141105
24	0.0068897	0.0199920	0.0377322	0.0095178	0.0318502	0.1536337	0.0117362	0.0763292	0.0762308	0.2904256
25	0.0068880	0.0166807	0.0143827	0.0157666	0.1496752	0.0257882	0.0153225	0.0217169	0.1343748	0.1320258
26	0.0070385	0.0086919	0.0037460	0.0137267	0.1156670	0.0320124	0.0070795	0.0093718	0.0179374	0.0258695
27	0.0069974	0.0114812	0.0127902	0.0146662	0.0349583	0.0408632	0.0066139	0.0189803	0.0267023	0.0364994
28	0.0069474	0.0166503	0.0228589	0.0185529	0.1049503	0.0259097	0.0537510	0.0252937	0.0245160	0.0051027
29	0.0069289	0.0205123	0.0961775	0.0231308	0.1739848	0.1365589	0.0693244	0.0100368	0.0128263	0.0459620
30	0.0070637	0.0136743	0.0713767	0.0394669	0.1144618	0.2609089	0.0991573	0.2645003	0.0440663	0.0341559
31	0.0071854	0.0284704	0.1038506	0.0862217	0.1861108	0.1462571	0.5450456	0.5911283	0.2901546	0.0801698
32	0.0073336	0.0426549	0.1754922	0.0758413	0.1729816	0.1779078	0.0720004	0.1241915	0.2746470	0.0386614
33	0.0074629	0.0569545	0.0449632	0.1045326	0.1272756	0.0766278	0.0898499	0.0465836	0.0538144	0.2099583
34	0.0083057	0.0468428	0.2310671	0.2128999	0.1478322	0.1433568	0.1500588	0.0164310	0.0210422	0.0366647
35	0.0088285	0.0378423	0.7704531	0.2955669	0.3229860	0.1876366	0.0139795	0.0328234	0.0651440	0.0593534
36	0.0088828	0.0403803	0.2118616	1.1673524	0.1875933	0.7521112	0.1952061	0.0392828	0.0148693	0.0181325
37	0.0088023	0.0416766	0.1101767	0.5247130	0.1461992	0.3143097	0.2677763	0.0395759	0.0301255	0.0044171
38	0.0088882	0.0419017	0.0548798	0.2026603	0.0993894	0.1486443	0.0080129	0.0479756	0.0696979	0.0078229
39	0.0094728	0.0450230	0.0350749	0.3046852	0.0143869	0.0931351	0.0214677	0.0583550	0.0500766	0.0623324
40	0.0101059	0.0431316	0.0500428	0.1270741	0.0752107	0.0470040	0.0129243	0.0207044	0.0114866	0.0196416
41	0.0105476	0.0441162	0.0806010	0.18254	0.0232600	0.0486702	0.0280848	0.0122553	0.0103878	0.0072542
42	0.0106284	0.0540470	0.1925182	0.1861766	0.0821469	0.0625588	0.1284567	0.0397953	0.0189149	0.0094494
43	0.0110958	0.0921781	0.0355014	0.0466065	0.0372818	0.0851611	0.0387295	0.0353165	0.0321555	0.0255334
44	0.0107348	0.0994786	0.1183429	0.1574085	0.1077442	0.0427892	0.0275021	0.1090109	0.0084784	0.0651016
45	0.0104175	0.1213305	0.0167617	0.0396668	0.0139053	0.0123128	0.0663011	0.0195367	0.0434050	0.0388195
46	0.0104831	0.1101055	0.0341162	0.0310149	0.0313106	0.0082286	0.0465490	0.0799489	0.0250271	0.0166763

S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
47	0.0106282	0.1119823	0.0072408	0.0628239	0.0689369	0.0318718	0.0199240	0.0257997	0.0311111	0.0343705
48	0.0105497	0.0901437	0.0455058	0.2495881	0.25579	0.0823421	0.1180046	0.2550113	0.1294797	0.0684728
49	0.0105436	0.1270505	0.0846828	0.1305509	0.2449065	0.2387598	0.2095213	0.1055732	0.0941871	0.1735665
50	0.0105152	0.1048408	0.0292717	0.0529995	0.0573678	0.4236034	0.0180428	0.1368781	0.0746779	0.0526159
51	0.0106519	0.1252662	0.1190128	0.6754531	0.2067794	0.1468790	0.1321835	0.3779690	0.3693866	0.2587908
52	0.0103752	0.1259911	0.0696290	0.2329491	0.2763540	0.1393637	0.1495632	0.1540244	0.2369781	0.2529945
53	0.0098880	0.1201912	0.1273405	0.0993697	0.0290730	0.0238807	0.0049066	0.0283988	0.0482525	0.1320096
54	0.0095779	0.1261854	0.0486120	0.0694653	0.0257279	0.0535886	0.0244462	0.0078044	0.0381736	0.0853262
55	0.0092633	0.1201471	0.0109102	0.0722032	0.0259826	0.0483653	0.0054920	0.0085882	0.0649369	0.1129394
56	0.0090325	0.1155139	0.0075152	0.1029533	0.0056793	0.1133010	0.0927211	0.1711660	0.1524568	0.2606505
57	0.0088066	0.1089034	0.0049777	0.1662320	0.0157041	0.1123180	0.1657805	0.1838576	0.1066319	0.2131279
58	0.0091068	0.0871238	0.0128160	0.2154696	0.0689948	0.2430015	0.0848011	0.3270911	0.1569259	0.6109925
59	0.0092064	0.0722639	0.0125199	0.1757357	0.0125207	0.7879607	0.0387677	0.4376692	0.2713892	0.7913548
60	0.0091131	0.0859285	0.0059524	0.1154245	0.0242477	0.0827165	0.0071482	0.0541673	0.0090281	0.0628173
61	0.0089093	0.0760779	0.0086648	0.0816001	0.0776633	0.0333128	0.0872195	0.0052826	0.0515020	0.0074055
62	0.0089142	0.0714132	0.0091209	0.0897928	0.0785494	0.0086308	0.0316195	0.0129063	0.0570958	0.0354929
63	0.0089819	0.0519637	0.0160996	0.1128229	0.0441335	0.0163892	0.0183299	0.0123878	0.0339727	0.0137403
64	0.0094472	0.0521268	0.0177032	0.1242733	0.0301060	0.0174067	0.0166070	0.0385449	0.0157687	0.0194839
65	0.0089752	0.0520676	0.0156176	0.1191320	0.0374137	0.0237846	0.0169920	0.0398880	0.0162502	0.0190688
66	0.0082110	0.0495115	0.0241548	0.1137594	0.0258971	0.0456790	0.0147737	0.0474970	0.0298419	0.0188915
67	0.0085071	0.0502739	0.0434598	0.1364278	0.0085752	0.0617914	0.0144437	0.0304225	0.0088872	0.0197656
68	0.0089394	0.0489241	0.0631912	0.1357854	0.0106771	0.0884731	0.0087759	0.0129470	0.0109258	0.0092465
69	0.0092911	0.0376648	0.0487020	0.1622663	0.0122672	0.1241013	0.0083523	0.0101405	0.0082283	0.0078538
70	0.0095412	0.0297850	0.0288645	0.1911273	0.0108818	0.1600259	0.0085452	0.0094535	0.0177915	0.0105847
71	0.0101182	0.0167491	0.0228235	0.2029590	0.0124946	0.1583118	0.0118484	0.0164817	0.0146056	0.0081373
72	0.0105783	0.0154566	0.0224729	0.2372917	0.0132614	0.2391712	0.0093376	0.0292189	0.0067779	0.0116648
73	0.0118069	0.0177486	0.0294212	0.3036125	0.0135451	0.2943731	0.0136255	0.0305426	0.0169182	0.0554756
74	0.0138699	0.0333706	0.0246758	0.3736865	0.0358282	0.3908759	0.0142952	0.0363726	0.0291798	0.0367175
75	0.0143643	0.0524860	0.0266856	0.2662288	0.0234750	0.3619002	0.0123650	0.0598032	0.0528335	0.0588443
76	0.0153345	0.0639919	0.0650899	0.2712237	0.0266525	0.1883198	0.0122805	0.0522263	0.0539005	0.0657364
77	0.0161918	0.0695285	0.0761954	0.2814262	0.0291192	0.1698583	0.0105919	0.0789394	0.0765787	0.0526949
78	0.0174400	0.0695353	0.0718640	0.2775663	0.0302621	0.1272574	0.0110825	0.0891436	0.0820202	0.0852121
79	0.0176300	0.0732769	0.0377057	0.2280008	0.0231225	0.0812892	0.0072510	0.0977463	0.0436007	0.0767069
80	0.0178886	0.0826231	0.0797634	0.2586365	0.0265633	0.0972715	0.0181115	0.1310301	0.0125583	0.0681728
81	0.0186584	0.0762377	0.0968059	0.2646964	0.0335339	0.1312297	0.0133670	0.1138175	0.0244874	0.0648925
82	0.0190824	0.0722402	0.1021184	0.3134586	0.0330795	0.1150691	0.0098248	0.0776855	0.0274469	0.0140247
83	0.0205229	0.0684610	0.0915056	0.4105455	0.0288741	0.1124107	0.0171975	0.0819176	0.0099717	0.0452190



Obrázek B.11.: výstupy modelu B2 sever, teplota místnosti



Obrázek B.12.: výstupy modelu B2 sever, teplota místnosti

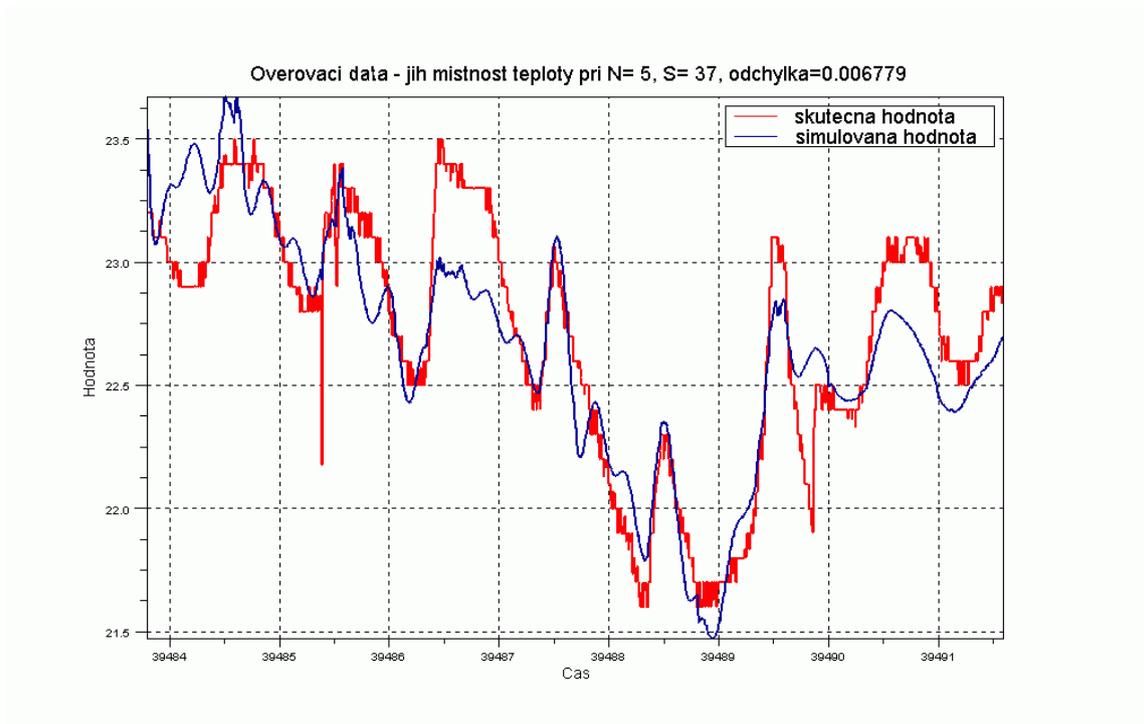
Jih, teplota místnosti

chyby pomocí chyby aproximace

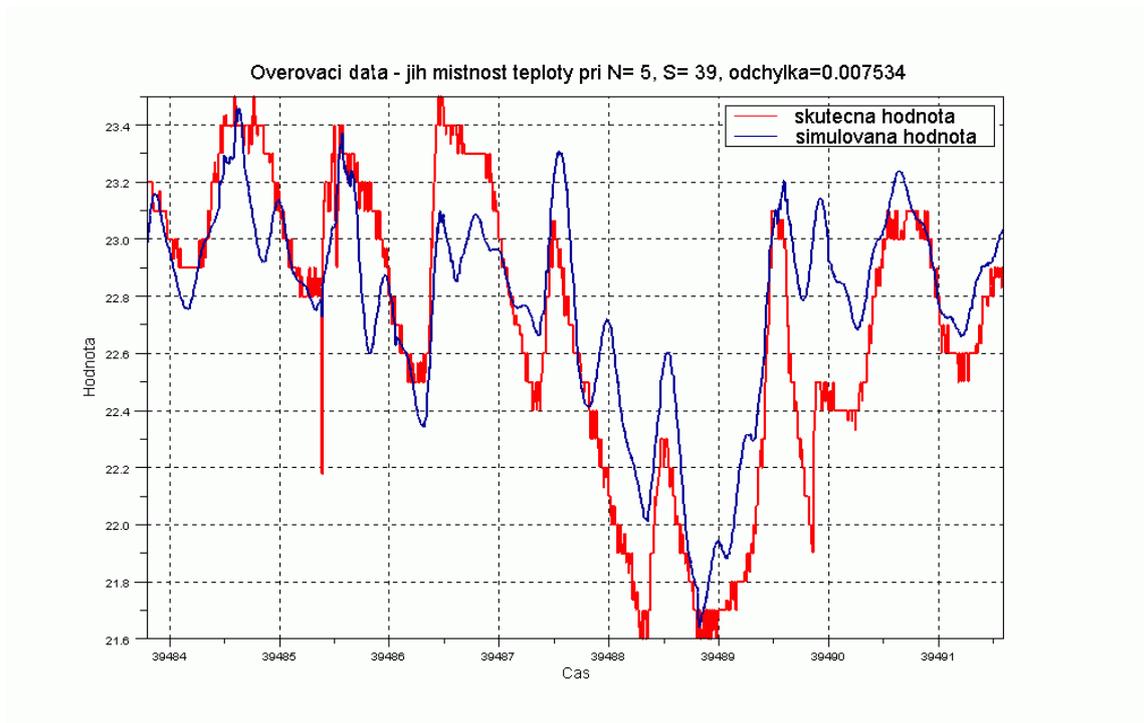
S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	0.9544	0.0896395	0.0483050	0.2138372	0.0517766	0.2076123	0.0543960	0.1289666	0.4761516	0.0210379
12	0.0083967	0.2229431	0.0165616	0.9300485	0.0089256	1.0000069	1.5907068	1.	1.	1.
13	0.0098795	0.3751907	0.0328523	0.0263360	0.0557970	0.0093074	0.0382625	0.3001247	0.0882399	0.0084746
14	0.0113291	0.3088474	0.0094803	0.0434562	0.0350348	0.0198087	0.0322026	0.0825230	0.3400204	0.0212161
15	0.0136012	0.2363377	0.0077818	0.0334659	0.0241441	0.0142515	0.0255764	0.0363240	0.0336296	0.0245648
16	0.0147459	0.1959863	0.0085842	0.0404432	0.0179638	0.0153253	0.0273958	0.0204802	0.0263591	0.3683757
17	0.0180290	0.1397444	0.0078081	0.1091944	0.1704749	0.0281139	0.0475311	0.0188352	0.1808464	1.160005
18	0.0208582	0.1080710	0.0267845	0.0658158	0.1227934	0.1560193	0.1381365	0.1059415	0.0930329	0.1816325
19	0.0217536	0.0869221	0.0775451	0.0107326	0.0388110	0.1263421	0.1154890	0.0296692	0.0298942	0.0548193
20	0.0229281	0.0960238	0.1767622	0.1220114	0.0772212	0.1379412	0.1585947	0.0974516	0.2159142	0.0651790
21	0.0241467	0.1500046	0.2059445	0.1775669	0.1748078	0.0280478	0.0288601	0.0221520	0.0513105	0.0215688
22	0.0243971	0.1760042	0.1817453	0.1641530	0.153971	0.0362470	0.0268640	0.0130015	0.0559915	0.0449700
23	0.0255653	0.1942989	0.1201707	0.1389147	0.1012625	0.0624629	0.0424231	0.0441707	0.0511841	0.0414513
24	0.0256888	0.1964413	0.0666832	0.1442290	0.0629925	0.0128446	0.1228232	0.0112954	0.0480034	0.0432126
25	0.0248059	0.1988077	0.0627352	0.1101710	0.0388502	0.1208654	0.1341064	0.1417348	0.1450258	0.1385249
26	0.0237250	0.2038330	0.0433105	0.0500139	0.0083443	0.1680661	0.2161616	0.1905348	0.1817686	0.1365695
27	0.0245029	0.1809096	0.0374964	0.0132735	0.0785386	1.	1.6334381	0.1890624	0.2502680	0.0912754
28	0.0241459	0.1519426	0.0165245	0.4411183	1.1112894	1.	1.4724986	1.1114325	1.	1.
29	0.0233127	0.1687209	0.0253429	0.2535956	0.1129708	0.1237627	0.0411671	0.0606084	0.1117218	0.1615447
30	0.0236010	0.1717409	0.0243318	0.1641717	0.0392642	0.0190261	0.0636212	0.1703647	0.2248228	0.2161843
31	0.0235305	0.1635537	0.0158583	0.1425289	0.0835037	0.0251222	0.0130849	0.0107145	0.0149153	0.0655156
32	0.0240665	0.1683392	0.0141183	0.1648972	0.0590944	0.0247166	0.0318107	0.2072998	0.2441598	0.4887064
33	0.0247941	0.1645434	0.0248852	0.3925564	0.0388128	0.0295369	0.0525068	0.0590534	0.2202875	0.1763295
34	0.0250358	0.1811758	0.0458484	0.1484890	0.2875616	0.0138618	0.0183153	0.1435444	0.0584798	0.0210666
35	0.0260389	0.2064655	0.0467489	0.1489269	0.2397415	0.0111436	0.0145732	0.0270290	0.0126040	0.0098694
36	0.0275173	0.2214693	0.0399787	0.1425278	0.0169098	0.0101056	0.0145065	0.0256587	0.0105617	0.0094882
37	0.0279110	0.2293034	0.0502900	0.1133526	0.0067794	0.0184023	0.0091969	0.0147807	0.0126463	0.0397517
38	0.0286507	0.2394756	0.0511716	0.2024409	0.0129458	0.0267351	0.0174563	0.0228211	0.0191638	0.0182568
39	0.0291468	0.2549636	0.0621599	0.2749253	0.0075344	0.0527404	0.0195060	0.0203121	0.0101107	0.0195159
40	0.0292279	0.2632733	0.0717989	0.1029812	0.0326387	0.4298353	0.0289509	2.1481625	0.1209819	0.2414204
41	0.0298367	0.2659554	0.0684363	0.0265209	0.0296266	2.153657	0.0152355	3.537737	1.4681722	2.4316813
42	0.0297303	0.2756088	0.0714621	0.0171915	0.0342774	0.2525799	0.0128904	0.9679983	0.3304823	0.8124654
43	0.0292800	0.2806155	0.1019494	0.0256350	0.0639516	0.3175807	0.1991780	0.3384259	0.2956927	0.1323678
44	0.0289496	0.2810731	0.1313343	0.1514362	0.0873684	0.3285747	0.0980168	0.4172794	0.0619274	0.1764144
45	0.0289896	0.3156055	0.1750879	0.3393993	0.0910343	0.1610349	0.0457112	0.1355803	0.2107629	0.3803098
46	0.0282458	0.3689687	0.2393837	0.4986324	0.2696687	0.2027660	0.0263283	0.4168799	0.2478479	0.2279676
47	0.0272976	0.4937204	0.3592381	0.4828508	0.4793612	0.1872834	0.0196479	0.0942356	0.1032037	0.0899429
48	0.0272124	0.9386043	0.3902948	0.5092079	0.1025677	0.3952468	0.0284099	0.1053726	0.0932869	0.0665406

HODNOCENÍ KVALITY MODELŮ

S/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
49	0.0270362	2.8760003	0.3835972	0.5416457	0.0364101	0.0259782	0.0518514	0.1464752	0.0808816	0.3581492
50	0.0267582	2.4339972	0.3430138	1.7177626	0.0717955	0.0836656	0.0827003	0.0635476	0.0724835	0.0715183
51	0.0268654	1.8551751	0.2963012	1.8853055	0.0970111	0.1172817	0.0482778	0.6300785	0.1372315	0.1840431
52	0.0263703	1.674462	0.2359195	1.7697959	0.0542380	0.1116246	0.0630689	0.1621637	0.2566537	0.0308528
53	0.0298224	1.7977354	0.175567	0.3852044	0.0243217	0.0424842	0.0110903	0.0815382	0.0548039	0.0528226
54	0.0310604	1.927422	0.1381839	0.2998726	0.0261774	0.0349474	0.0123261	0.1714064	0.1312299	0.1127001
55	0.0324711	2.3133367	0.1126142	0.273822	0.0430510	0.0407749	0.0153086	0.1402293	0.1496112	0.0940935
56	0.0325223	2.8035426	0.0859619	0.2598659	0.0853598	0.0917957	0.0146604	0.0685079	0.1062483	0.0686651
57	0.0318716	2.5021098	0.0762954	0.2165097	0.0841611	0.0305876	0.0463353	0.0768431	0.0609579	0.0643834
58	0.0322739	1.7964134	0.0857329	0.2436127	0.0601401	0.1482612	0.0125957	0.1408579	0.0932886	0.0983676
59	0.0329781	1.900234	0.1102557	0.2887655	0.0415308	0.3889885	0.1248913	0.2023935	0.1391747	0.0517341
60	0.0341315	2.4755916	0.1195172	0.4528236	0.0580911	0.7042457	0.1245575	0.4839234	0.6892054	0.1582096
61	0.0354202	3.0919786	0.1163116	0.7224131	0.0566776	0.9120548	0.1794090	0.6028863	0.8280027	0.2071978
62	0.0353312	3.359356	0.1197413	1.4341298	0.0227654	0.7096912	0.3401638	0.3572751	0.5119179	0.2059384
63	0.0351766	3.0164925	0.1184422	2.4927481	0.0229135	0.4814842	0.1071076	0.1474515	0.2682047	0.2128954
64	0.0347642	2.9189923	0.1107816	1.8761599	0.0225477	0.3723244	0.0383071	0.0696272	0.1246821	0.0922516
65	0.0347565	2.9948129	0.0983155	1.2754368	0.0186956	0.3306476	0.0521597	0.0943269	0.0601891	0.0753972
66	0.0364984	3.2028143	0.0889963	0.6662753	0.0150803	0.2126821	0.0569448	0.1367283	0.0426300	0.0501422
67	0.0386175	2.6878212	0.0763377	0.303809	0.0079207	0.1321999	0.0779395	0.1473004	0.0988431	0.1068734
68	0.0407841	2.234113	0.0655569	0.1087352	0.0099829	0.1140169	0.0274765	0.2195936	0.1224755	0.1734523
69	0.0431983	1.5569307	0.0529141	0.0558544	0.0168683	0.0849269	0.0305566	0.2633460	0.0927299	0.2403849
70	0.0469362	1.191175	0.0440199	0.0299142	0.0293452	0.1154432	0.0307117	0.3291562	0.0632525	0.3568351
71	0.0497526	0.9365095	0.0359248	0.0196316	0.0352706	0.1277406	0.0557633	0.2243904	0.0997699	0.1642657
72	0.0521219	0.8787184	0.0316282	0.0208356	0.0380916	0.1486106	0.0484090	0.1531916	0.1105590	0.0324413
73	0.0551210	0.8235773	0.0288830	0.0203599	0.0424742	0.2351705	0.0180494	0.1461677	0.0908684	0.0337698
74	0.0588086	0.6691551	0.0284345	0.0178581	0.0533579	0.3321447	0.0258832	0.0458286	0.0947503	0.0557881
75	0.0633264	0.5394789	0.0262299	0.0211735	0.0898198	0.3837444	0.0940545	0.0635401	0.1778651	0.0499627
76	0.0658433	0.4143101	0.0176542	0.0264645	0.1290878	0.2794789	0.1242802	0.1318372	0.1113158	0.1602607
77	0.0694305	0.2642552	0.0179463	0.0369763	0.1757156	0.1802764	0.0890960	0.0445023	0.1023332	0.1715135
78	0.0725600	0.1742603	0.0234958	0.0294593	0.2226409	0.1555036	0.0378017	0.3750041	0.2617259	0.1900115
79	0.0752518	0.1054773	0.0479795	0.0376592	0.2920713	0.1877535	0.0313042	1.3037672	0.2930638	0.3806521
80	0.0780777	0.0796722	0.0989641	0.0450487	0.4049440	0.1632881	0.0251767	1.2372899	0.0619335	0.3477575
81	0.0814432	0.0678050	0.1406061	0.0662247	0.5507659	0.1189645	0.0226819	0.5051731	0.1113771	0.3890353
82	0.0843592	0.0489787	0.1554755	0.0791127	0.3837757	0.1184684	0.0961756	0.4128645	0.0617517	0.3822726
83	0.0868626	0.0402734	0.1836385	0.0710534	0.2589922	0.1031445	0.1325716	0.3908004	0.0569878	0.2745938



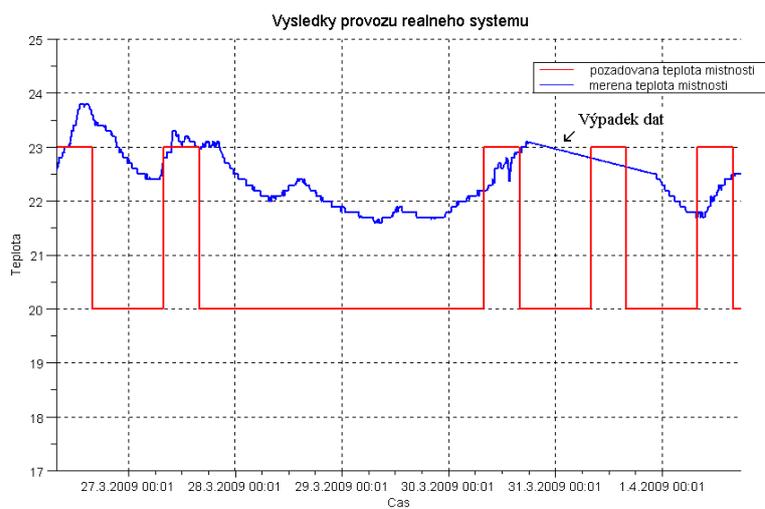
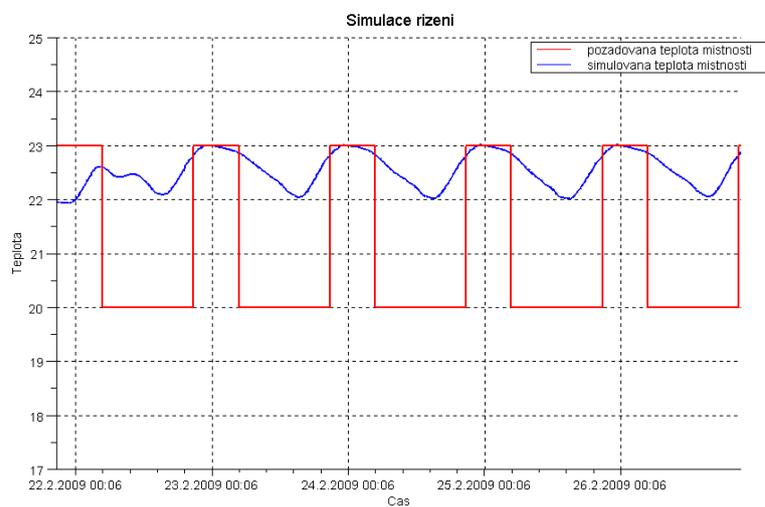
Obrázek B.13.: výstupy modelu B2 jih, teplota miestnosti



Obrázek B.14.: výstupy modelu B2 jih, teplota miestnosti

PŘILOHA
C

MPC REGULACE



Obrázek C.1.: Ukázka regulace MPC s použitím modelu systému z této práce

PŘILOŽENÉ CD

Součástí této práce je CD obsahující použitý a vytvořený software, funkce, skripty, obrázky a animace. Bližší popis jednotlivých částí je možné nalézt v příslušných kapitolách. Struktura CD obsahuje následující složky:

- **Scilab** – instalační soubory softwarového nástroje Scilab
- **funkce** – použité funkce a skripty popsané v kapitole 8
- **identifikace** – dodatečné skripty použité při identifikaci systému vycházející z kapitoly 9
- **kalmanFlt** – Kalmanův filtr popsaný v kapitole 9
- **modely** – uložené modely
- **obrazky** – srovnávací obrázky identifikovaných systémů a animace při aplikaci Kalmanova filtru z kapitoly 9