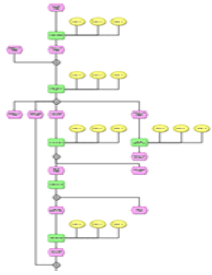




**Národní informační středisko  
pro podporu kvality**



# Využití umělých neuronových sítí pro řešení predikčních, regresních a klasifikačních problémů

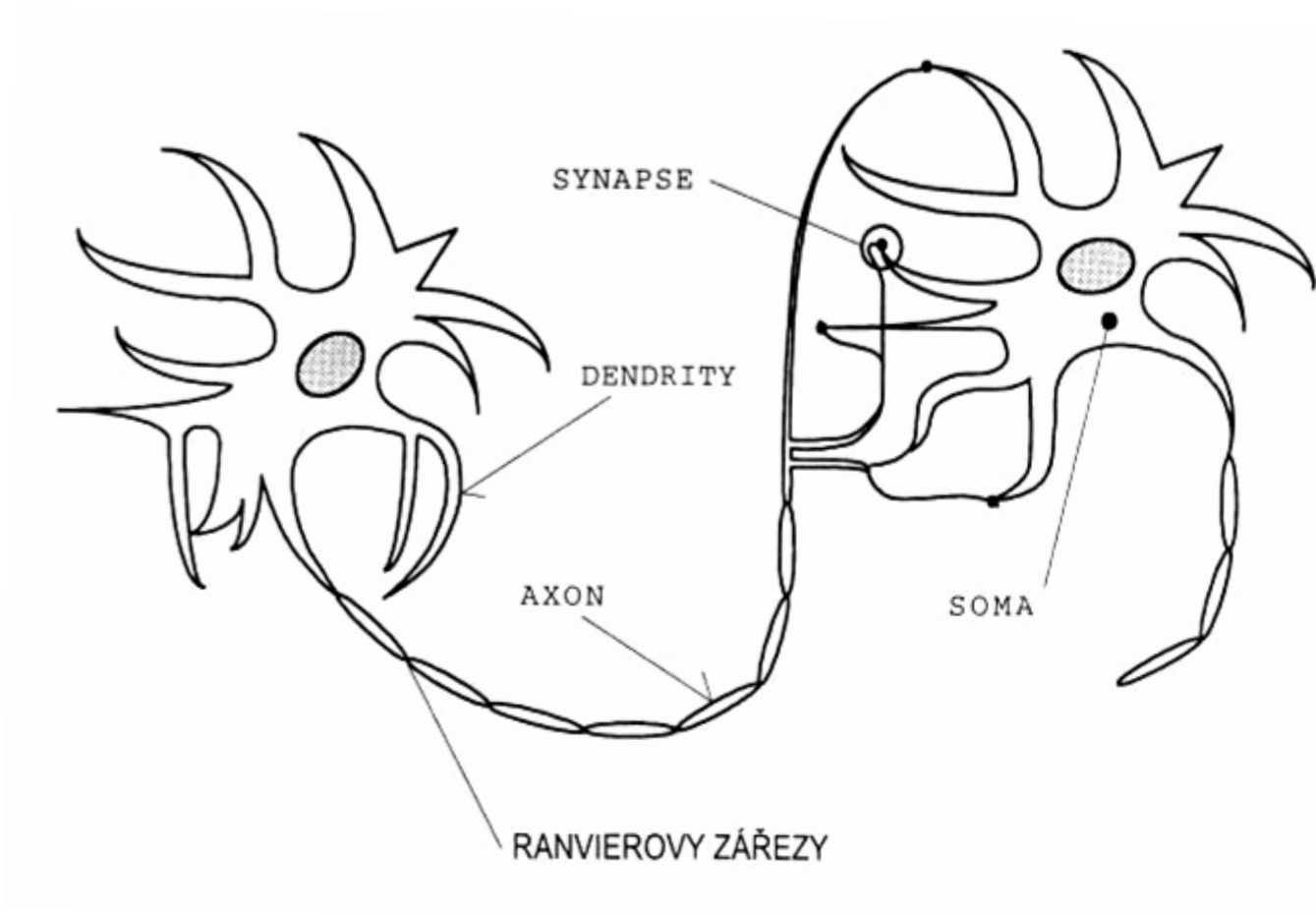
Olga Tůmová

Lukáš Kupka

## Umělé neuronové sítě

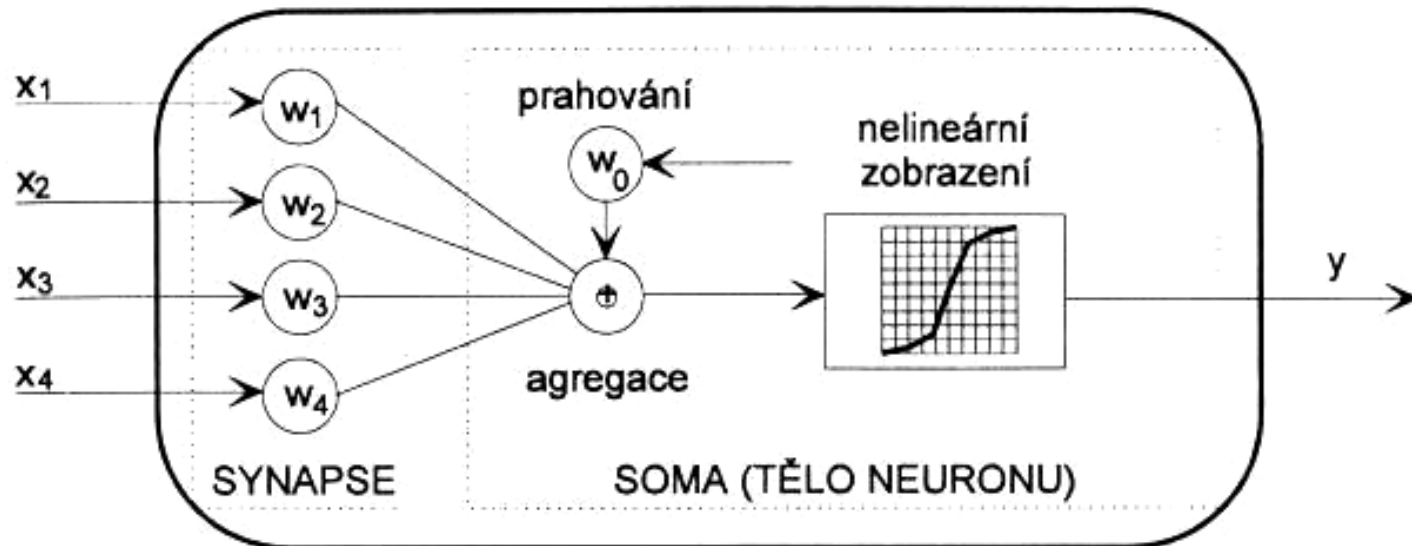
- podstata umělých neuronových sítí je založena na racionálním napodobení struktury a principů činnosti biologických neuronových sítí pomocí technických nebo programových prostředků
- nekonvenční přístup k řešení problémů
- není nutné znát přesně algoritmus řešení, ale postačí znalost jistého počtu příkladů, jejichž řešení je známé
- s velkým rozvojem informačních technologií je možné simulovat poměrně složité neuronové sítě i na běžných osobních počítačích

# Biologický neuron

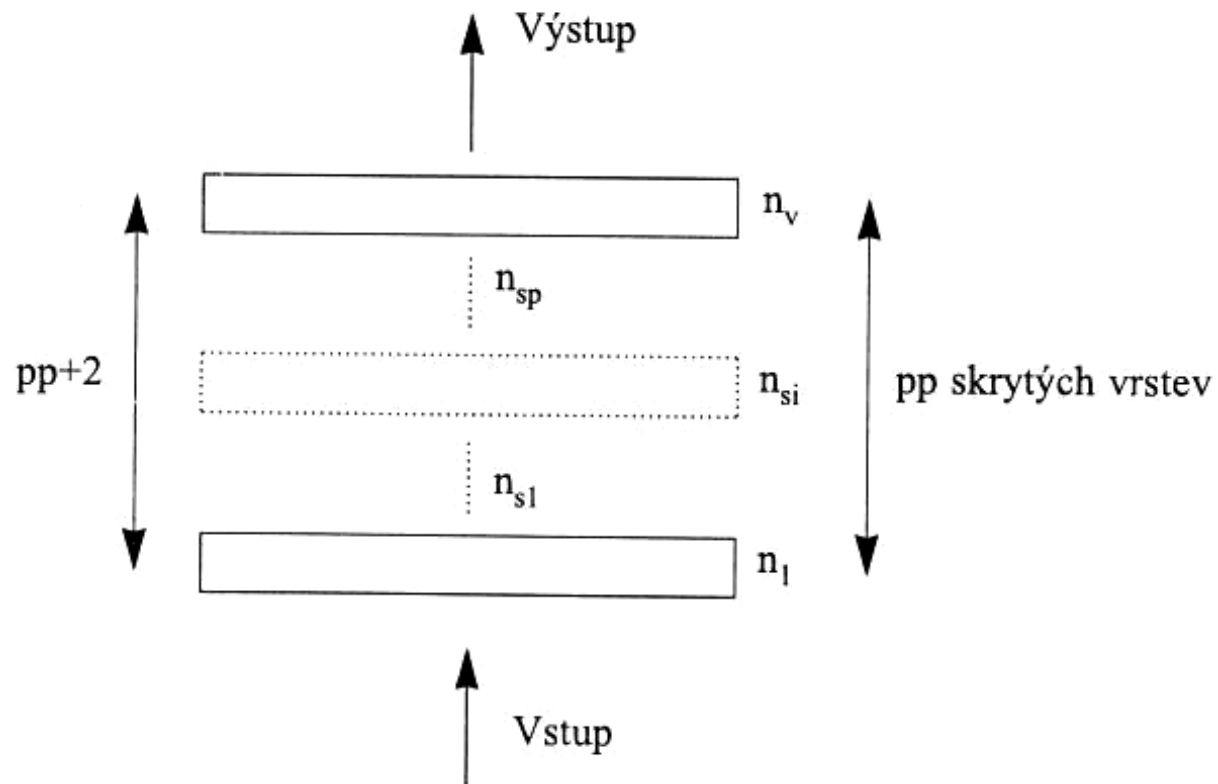




# Matematický neuron



# Schéma vrstevnaté neuronové sítě



# Rozdělení neuronových sítí

- s pevně stanovenými vahami – rozpoznávání vzorů
- učení s učitelem – problémy regresního a klasifikačního typu
- učení bez učitele (samoorganizační / se soutěžním učením) – problémy predikční a klasifikační

# Predikční problém

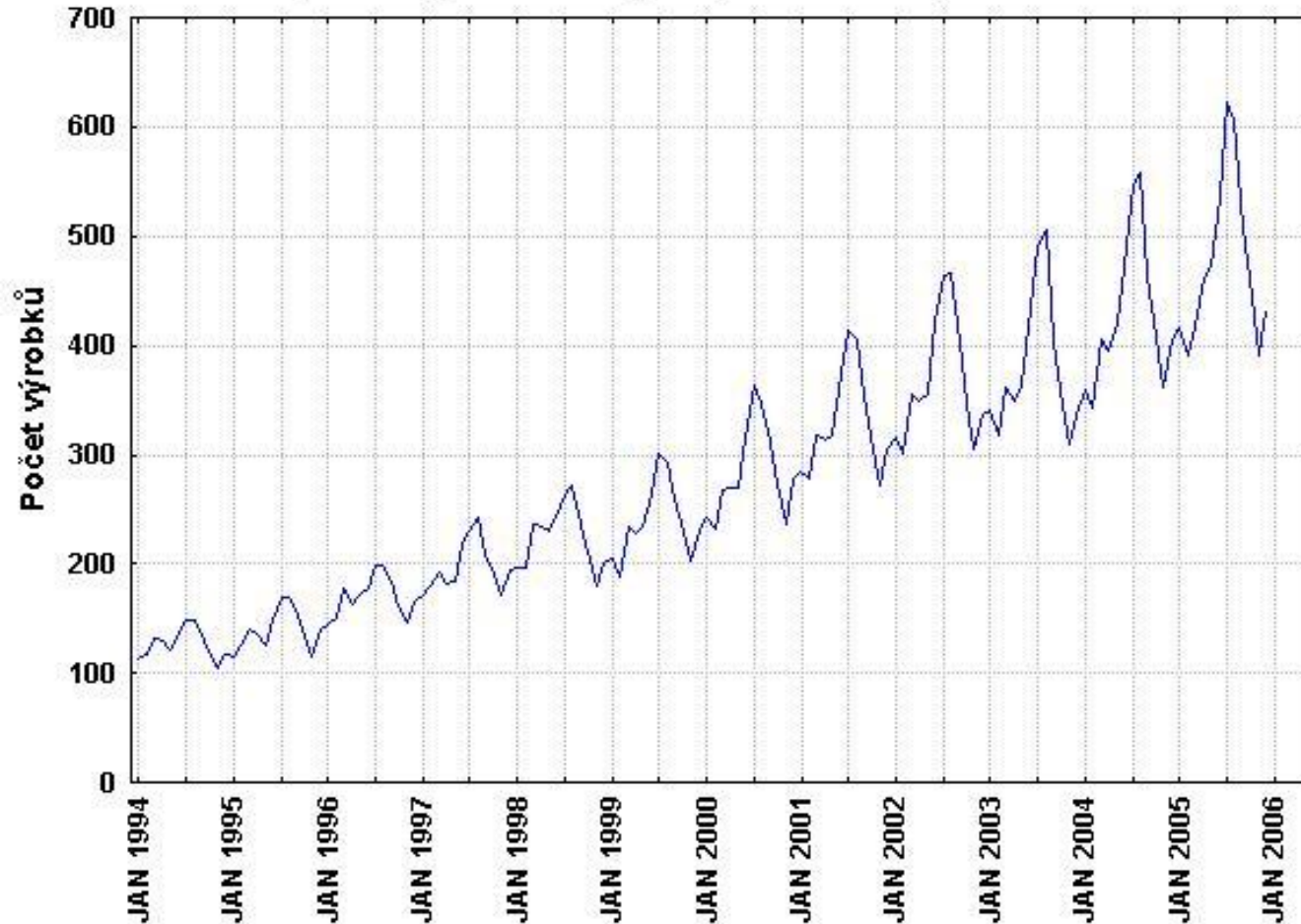
- velice důležité, protože předpovězení trendu výroby snižuje riziko příchodu neočekávané situace, a tím i úsporu finančních prostředků, které by se musely využít na její zvládnutí
- podstatně užitečnější než např. regulační diagramy, které začínají reagovat až v okamžiku nástupu dané situace (chyby)

## Predikční problém

- interpretace na modelovém příkladu – Box-Jenkinsova časová řada
- využití SW STATISTICA v.7.0
- vliv použitého modelu neuronové sítě na přesnost predikce
- vliv klestění na přesnost predikce

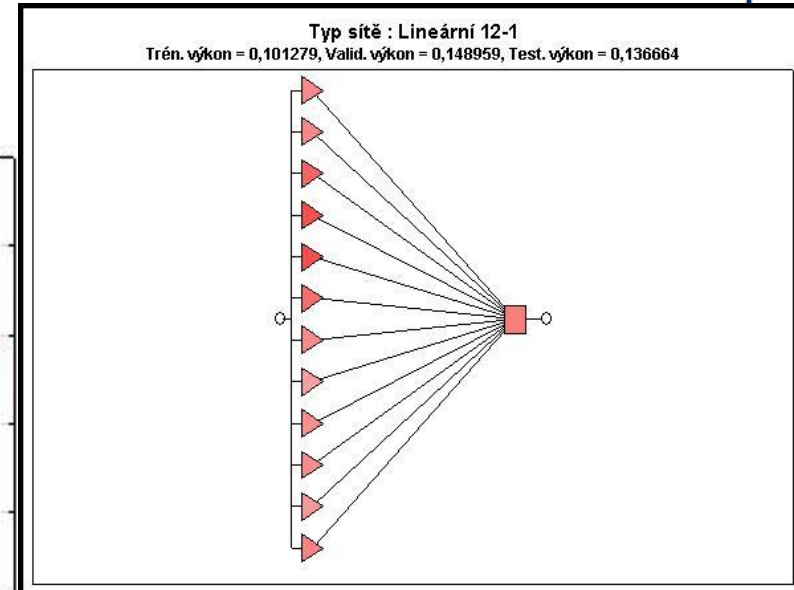
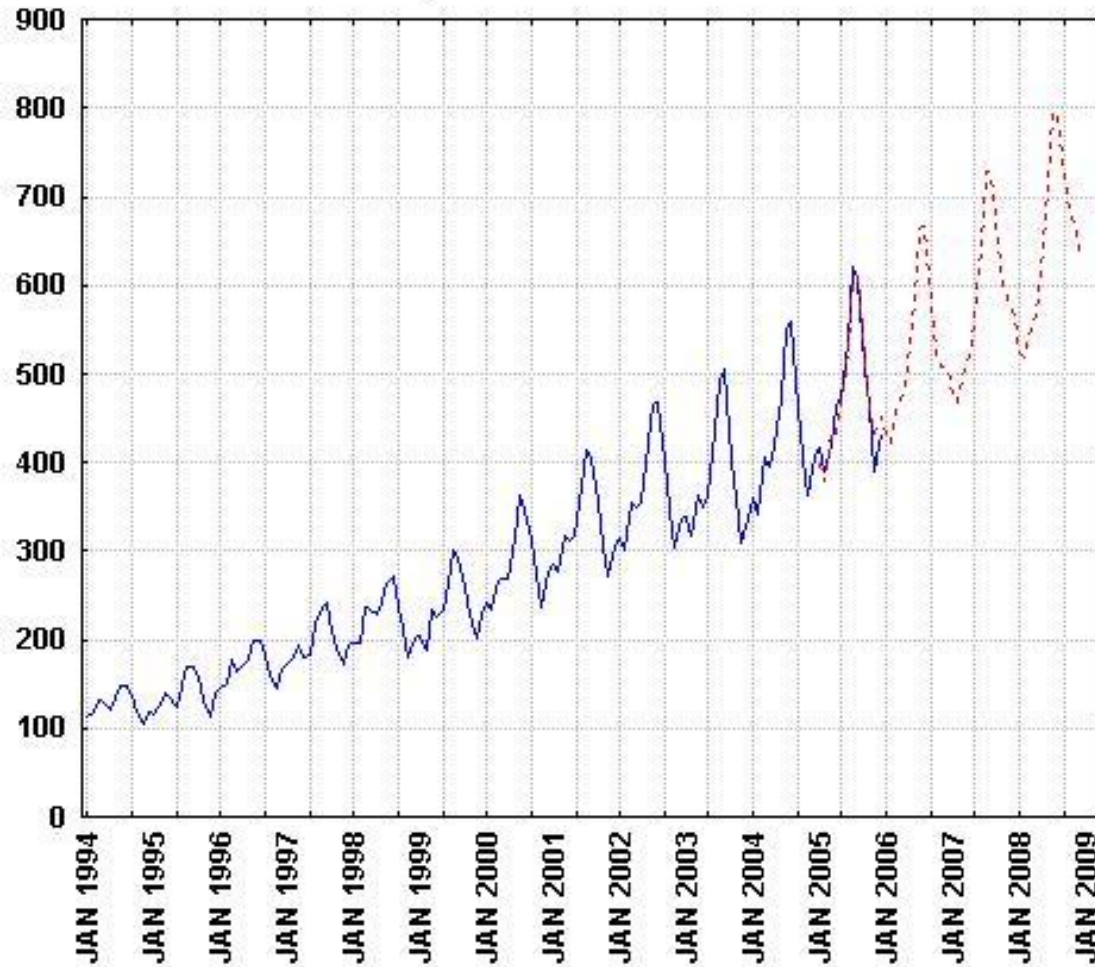
# Grafická podoba vstupních dat

Graf počtu vyprodukovaných výrobků za roky 1994-2005



# Predikce pomocí lineární NS

Predikční problém - Lineární NS 12-1

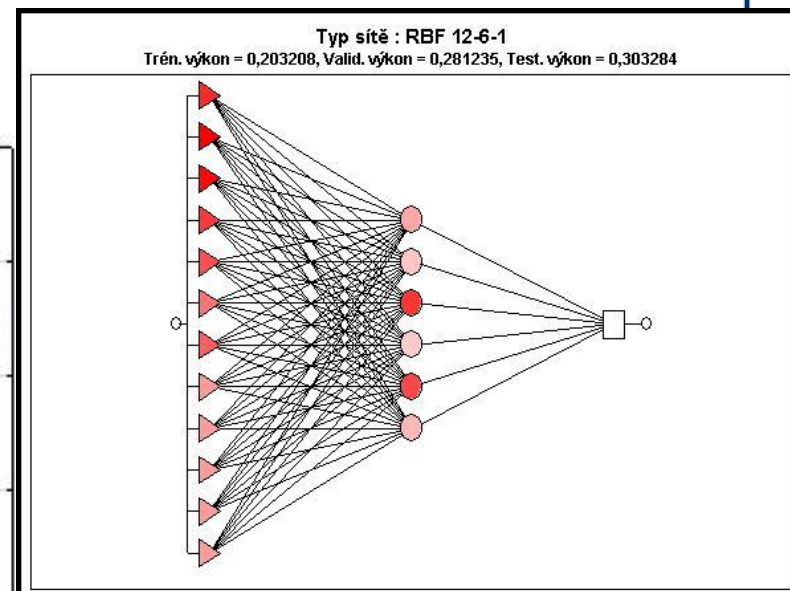
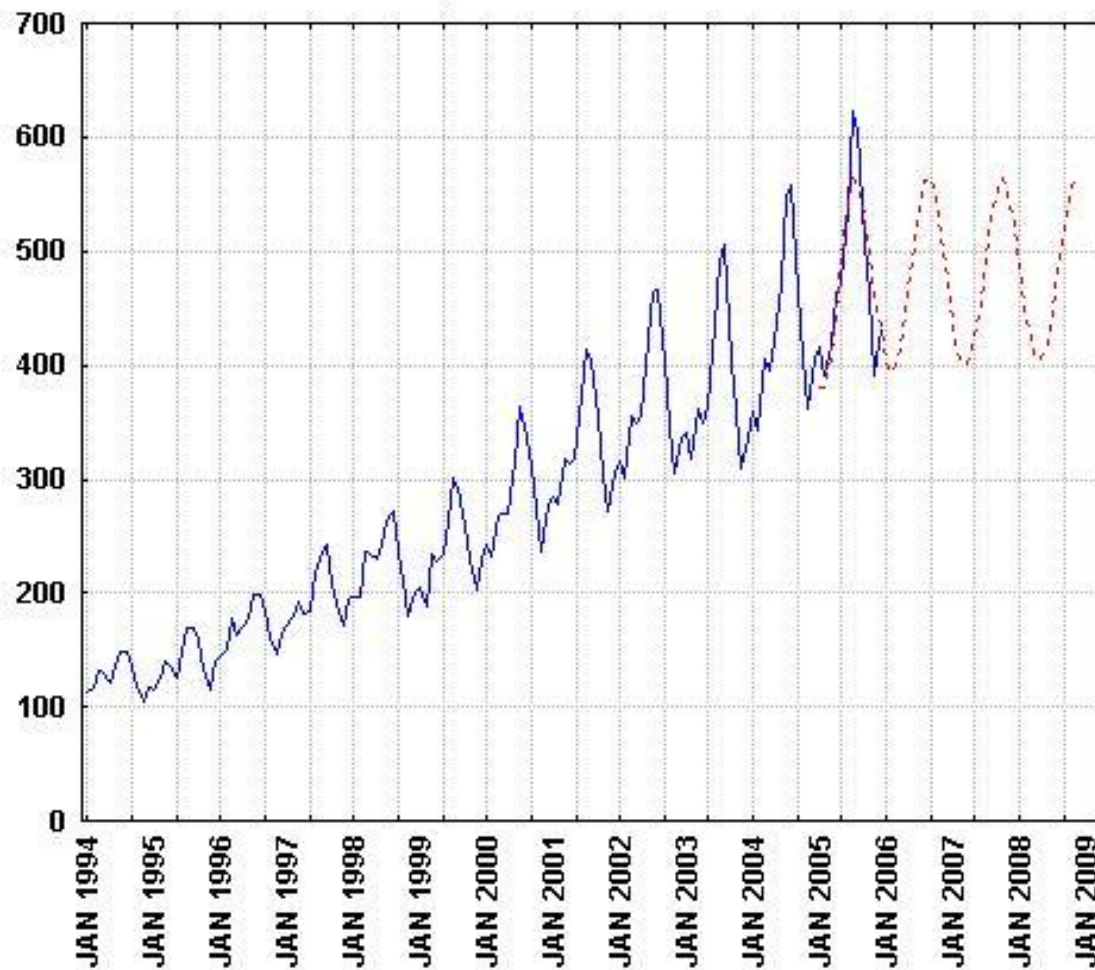


— Počet výrobků  
 - - - Predikce



# Predikce pomocí sítě RBF

Predikční problém - síť RBF 12-6-1

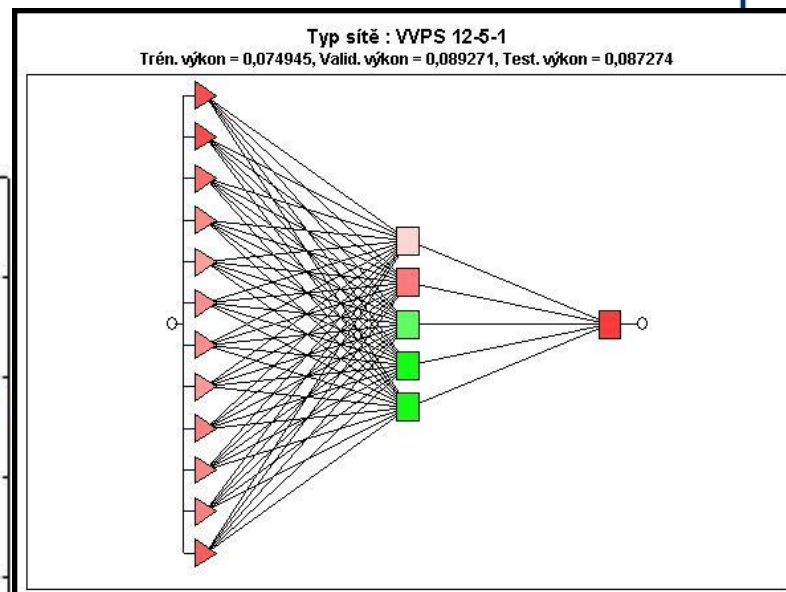
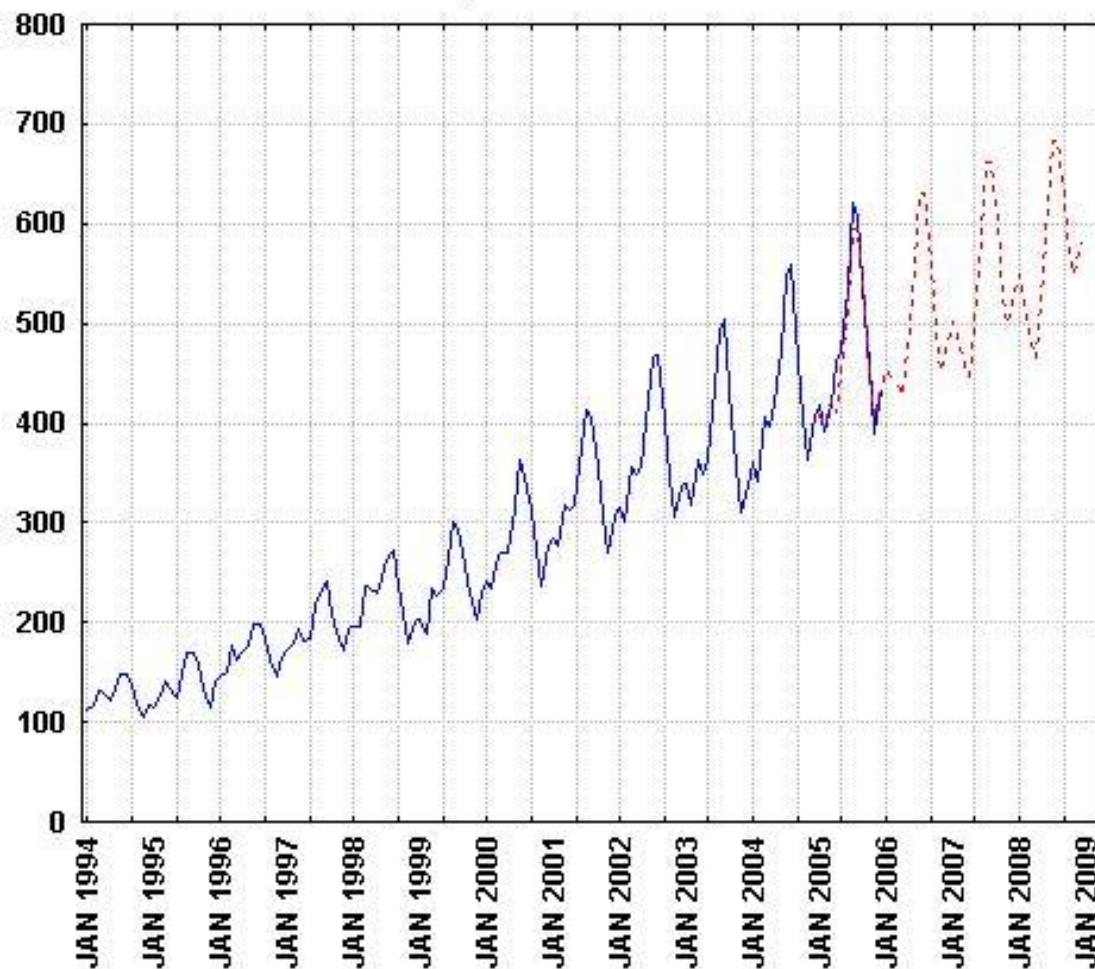


— Počet výrobků  
 - - - Predikce



# Predikce pomocí 3vrstvé sítě

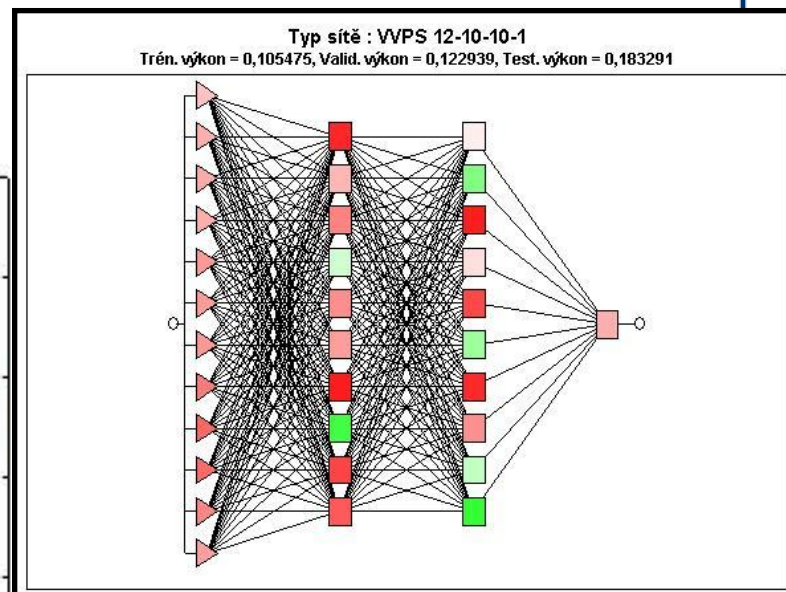
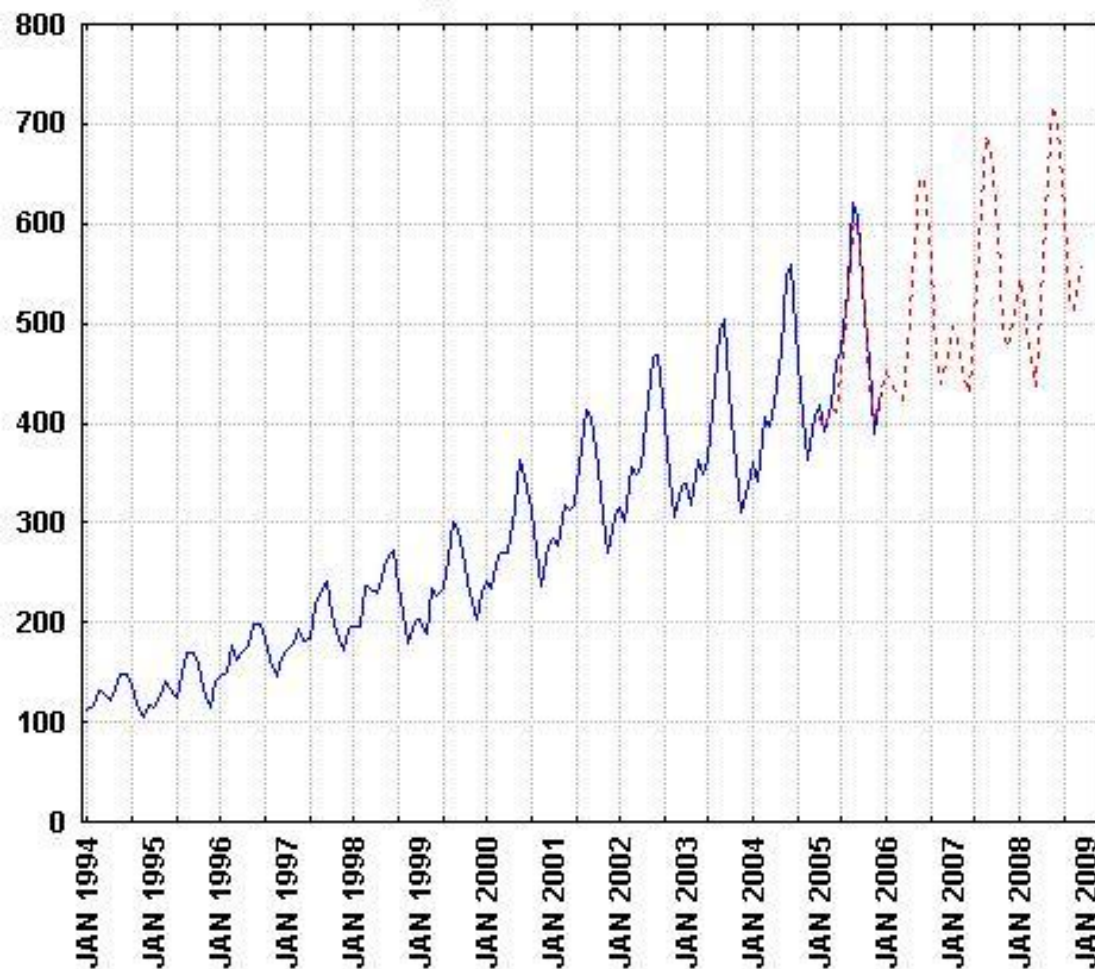
Predikční problém - VVPS 12-5-1



— Počet výrobků  
- - - Predikce

# Predikce pomocí 4vrstvé sítě

Predikční problém - VVPS 12-10-10-1



— Počet výrobků  
 - - - Predikce

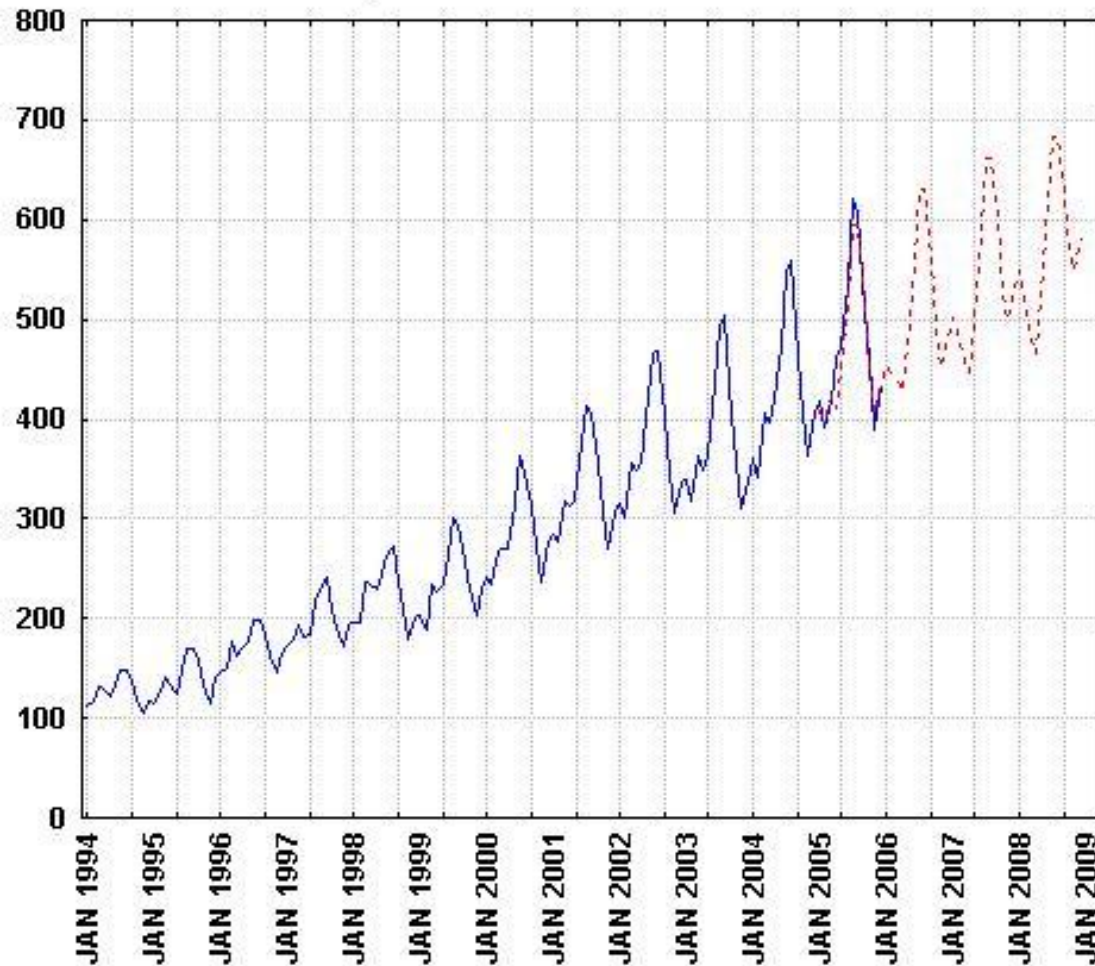


## Vliv použitého modelu NS na přesnost predikce

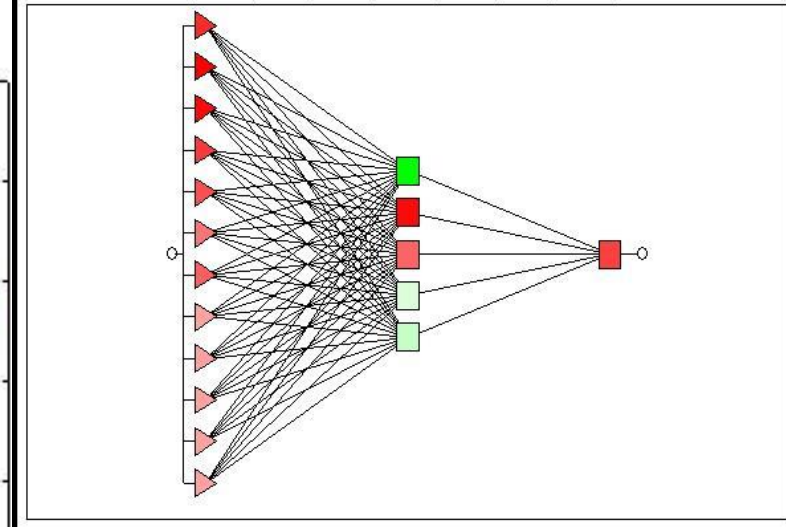
- lineární NS – jednoduchá, ale naučila se vzrůstající trend a základní periodicitu,
- síť RBF – nehodí se pro úlohy predikčního typu, její správné využití je pro řešení úloh klasifikačního typu
- VVPS – nejlepší schopnost predikce, způsobeno vysokým počtem neuronů a spojů; 4vrstvá VVPS je nejpřesnější

# Predikce 3vrstvé sítě s klestěním 0

Predikční problém - VVPS 12-5-1 - klestění 0



Typ sítě : VVPS 12-5-1  
Trén. výkon = 0,113167, Valid. výkon = 0,087420, Test. výkon = 0,124687

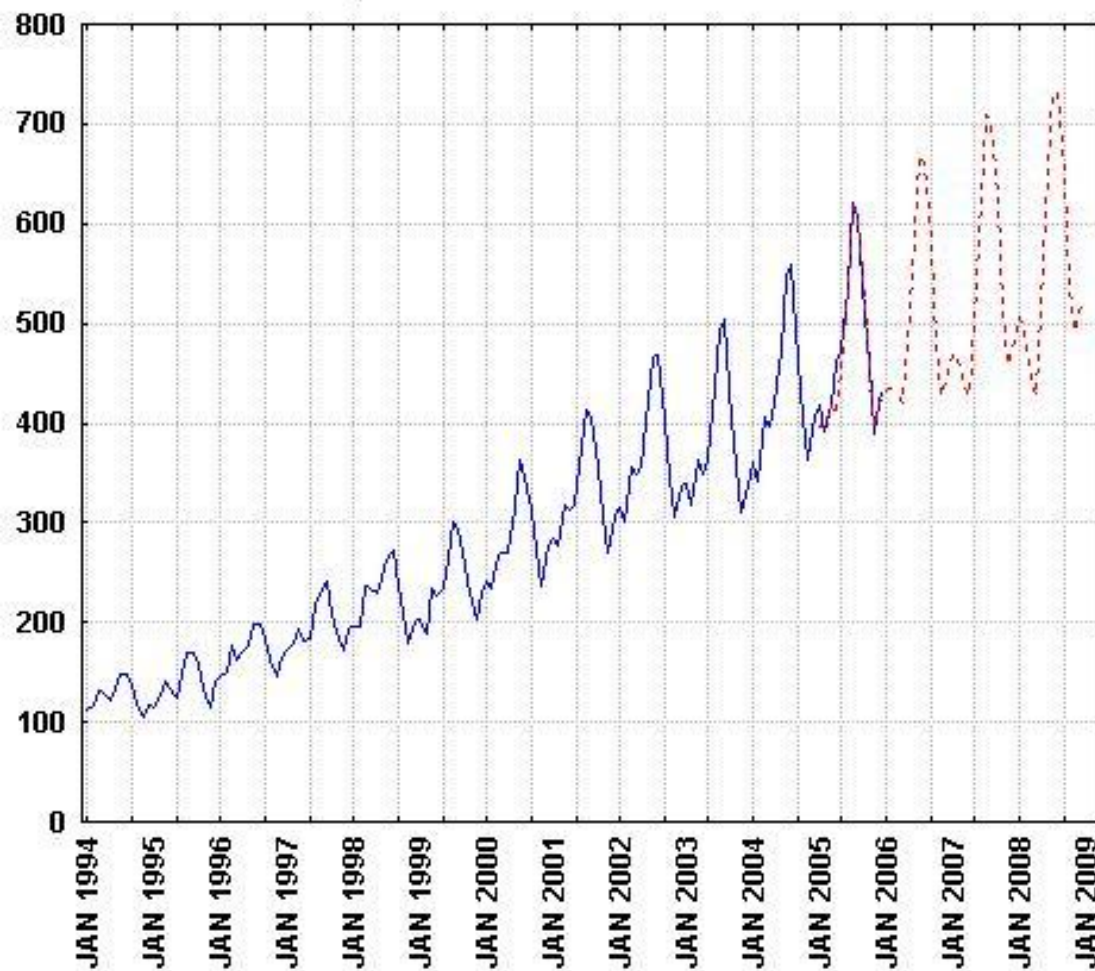


— Počet výrobků  
- - - Predikce

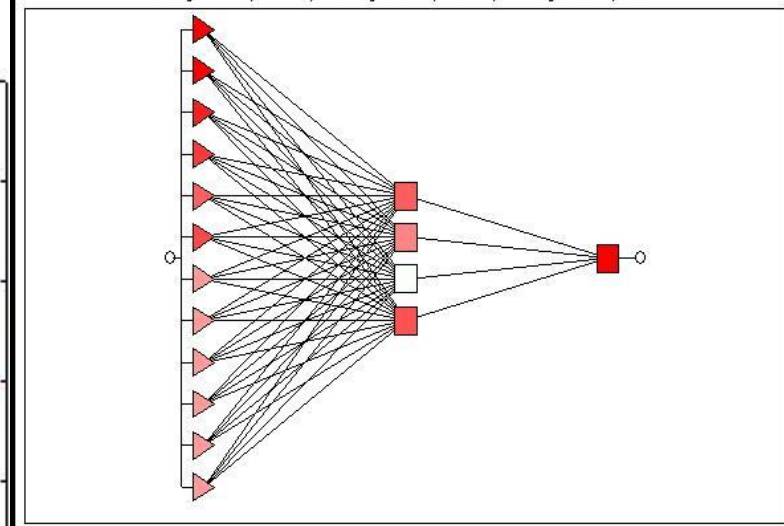


# Predikce 3vrstvé sítě s klestěním 0,1

Predikční problém - VVPS 12-5-1 - klestění 0.1



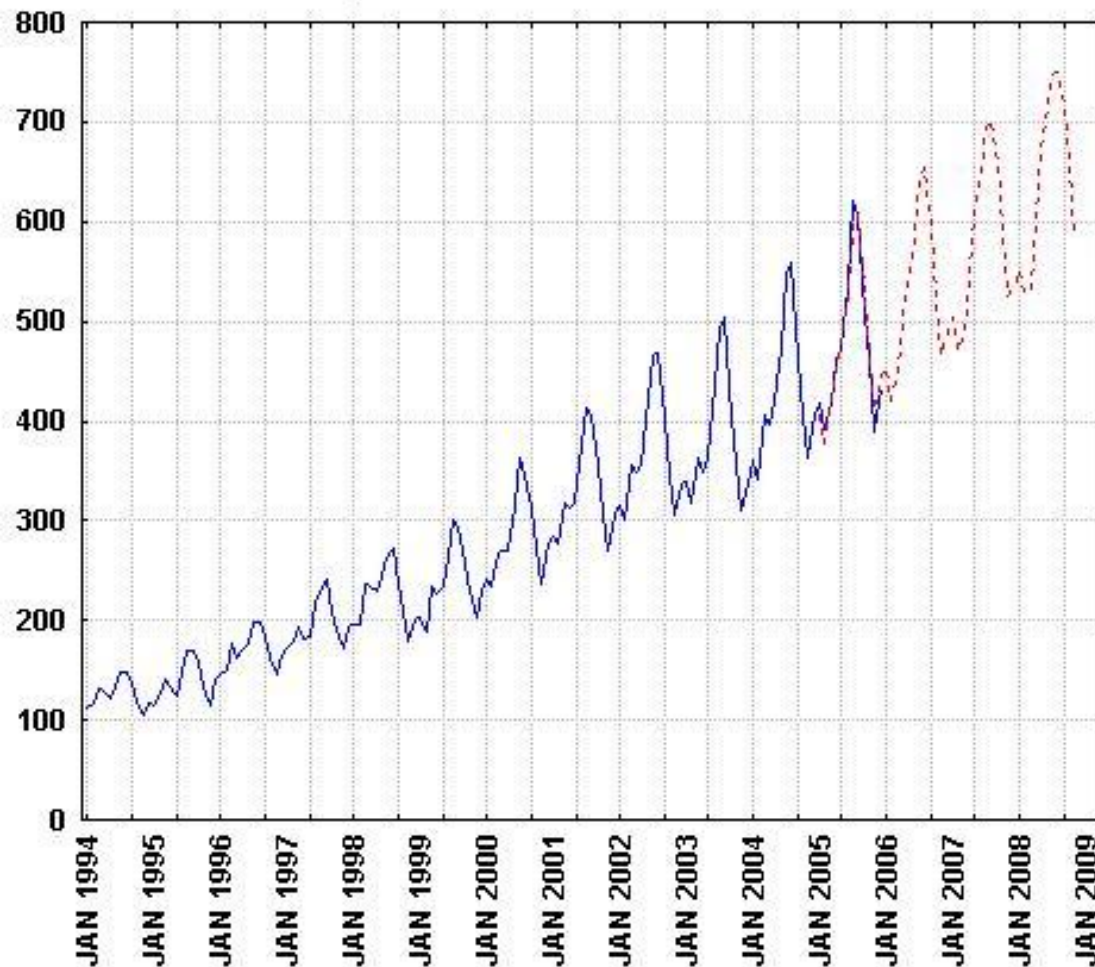
Typ sítě : vykleštěná VVPS (0.1) 12-5-1 -> 12-4-1  
 Trén. výkon = 0,125489, Valid. výkon = 0,136152, Test. výkon = 0,185223



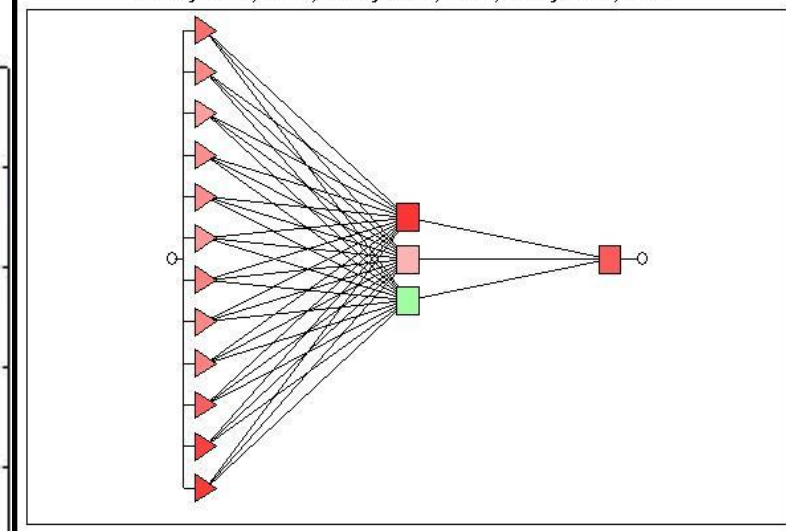
— Počet výrobků  
 - - - Predikce

# Predikce 3vrstvé sítě s klestěním 0,2

Predikční problém - VVPS 12-5-1 - klestění 0.2



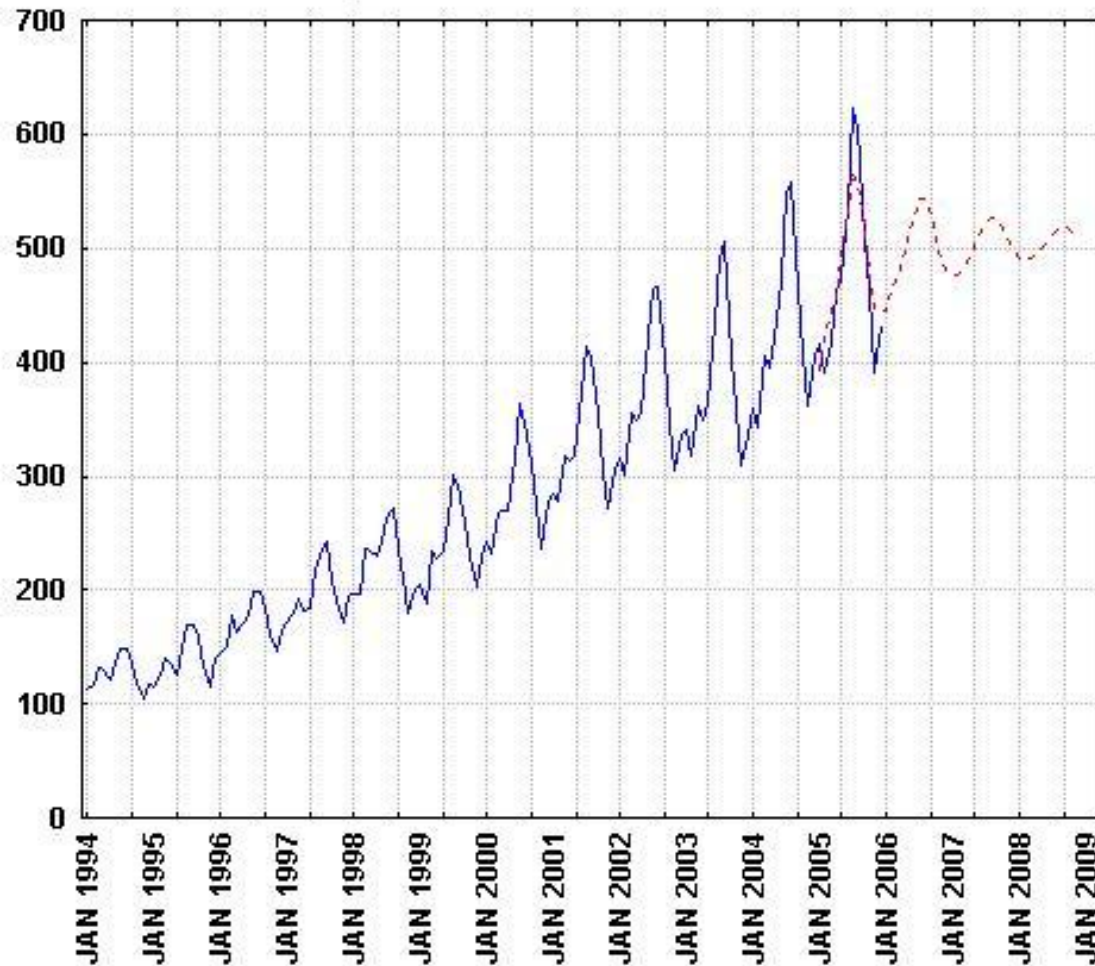
Typ sítě : vykleštěná VVPS (0.2) 12-5-1 -> 12-3-1  
 Trén. výkon = 0,142713, Valid. výkon = 0,157529, Test. výkon = 0,212256



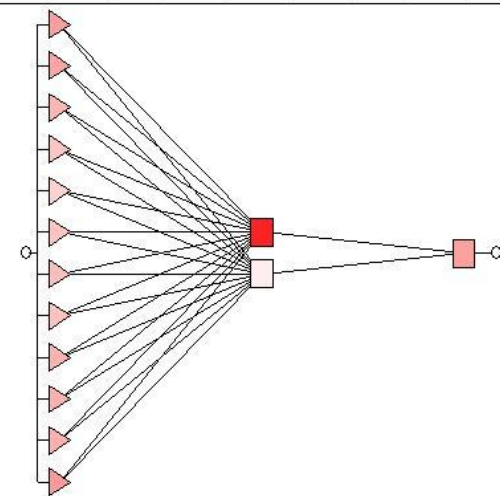
— Počet výrobků  
 - - - Predikce

# Predikce 3vrstvé sítě s klestěním 0,5

Predikční problém - VVPS 12-5-1 - klestění 0.5



Typ sítě : vykleštěná VVPS (0.5) 12-5-1 -> 12-2-1  
 Trén. výkon = 0,185226, Valid. výkon = 0,173159, Test. výkon = 0,220156

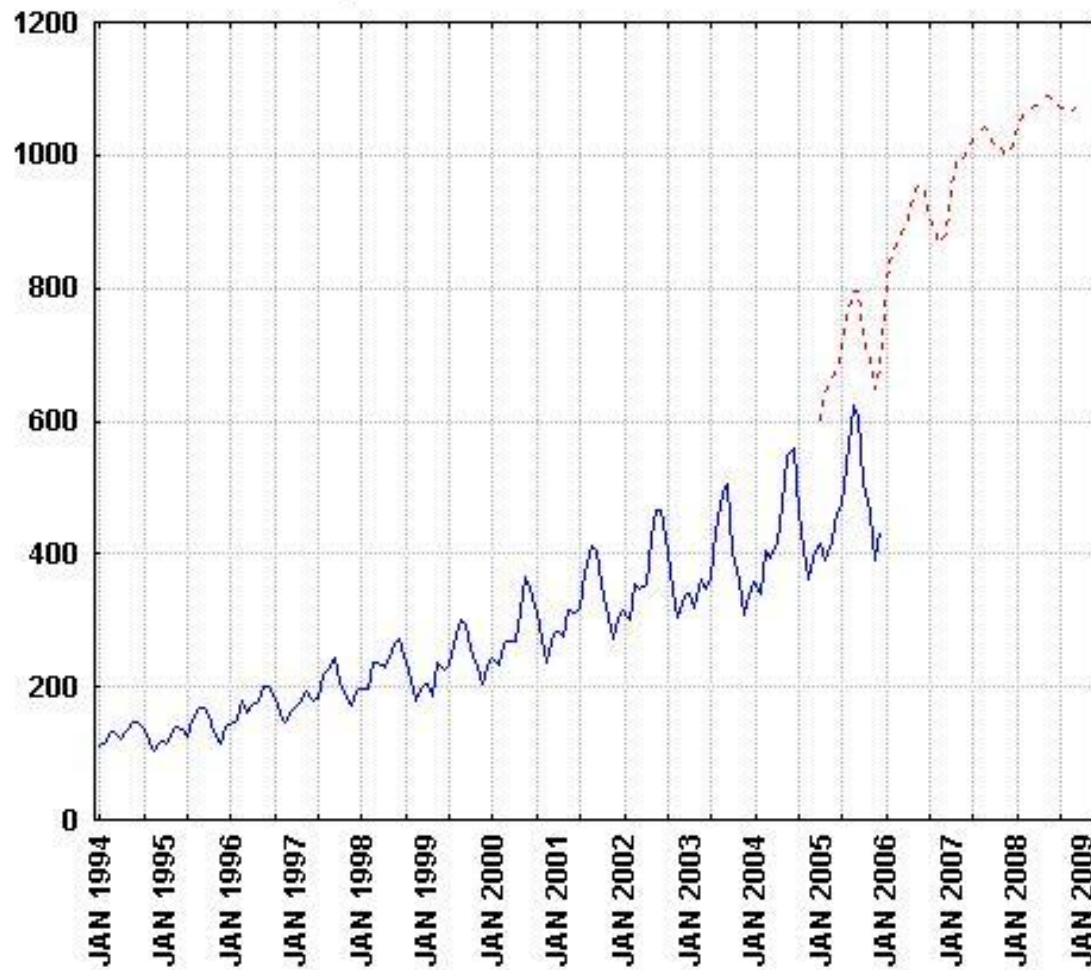


— Počet výrobků  
 - - - Predikce

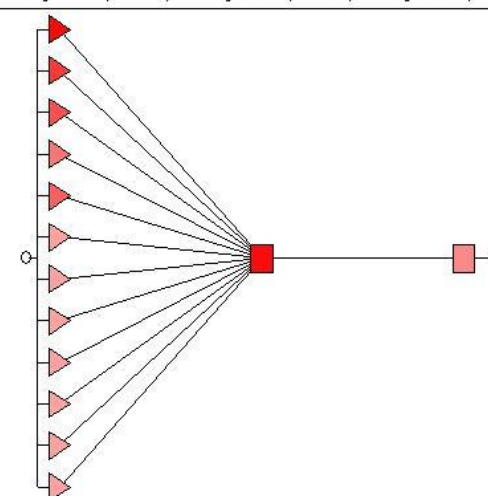


# Predikce 3vrstvé sítě s klestěním 0,6

Predikční problém - VVPS 12-5-1 - klestění 0.6



Typ sítě : vyklestěná VVPS (0.6) 12-5-1 -> 12-1-1  
 Trén. výkon = 0,217945, Valid. výkon = 0,195662, Test. výkon = 0,238452

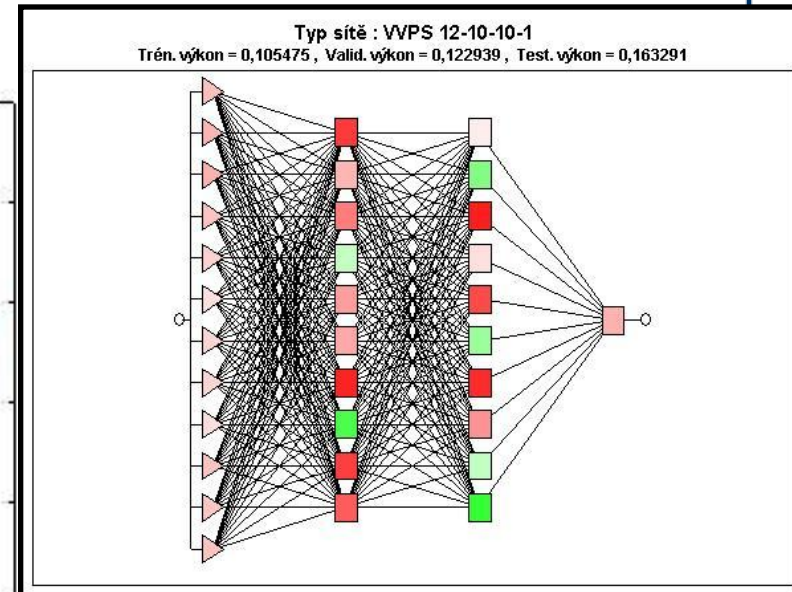
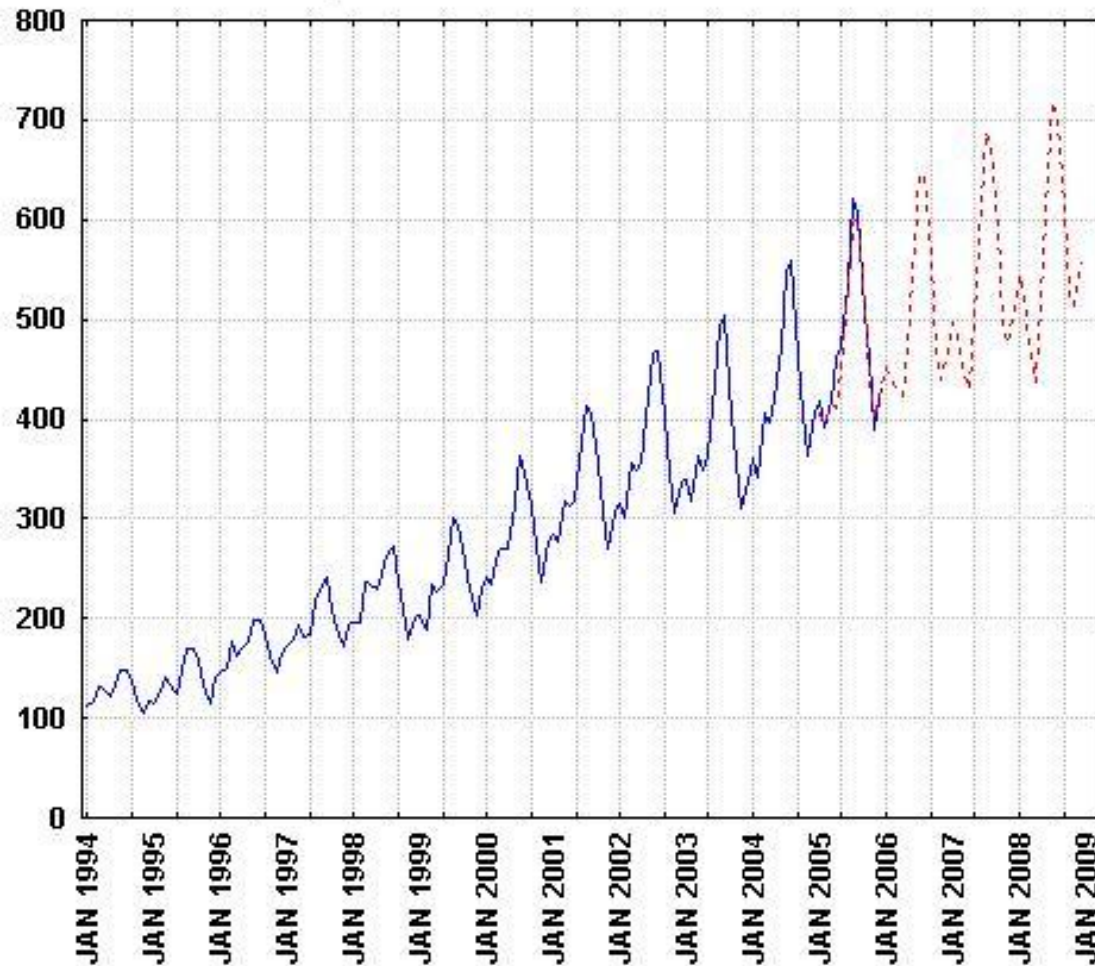


— Počet výrobků  
 - - - Predikce



# Predikce 4vrstvé sítě s klestěním 0

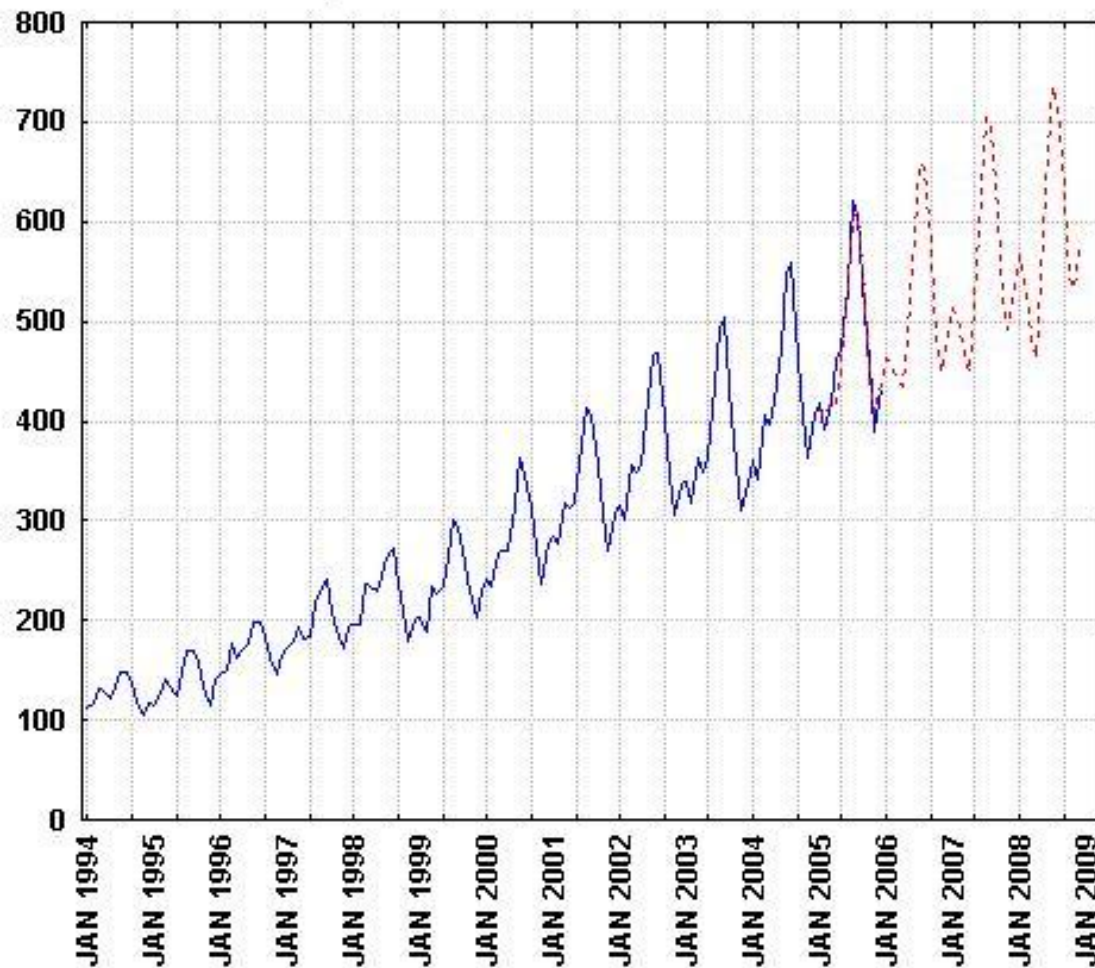
Predikční problém - VVPS 12-10-10-1 - klestění 0



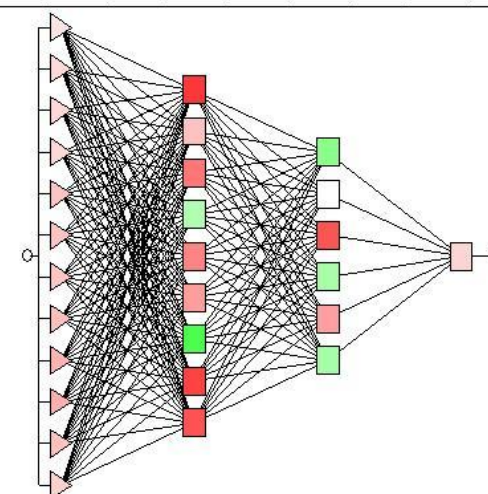
— Počet výrobků  
- - - Predikce

# Predikce 4vrstvé sítě s klestěním 0,1

Predikční problém - VVPS 12-10-10-1 - klestění 0.1



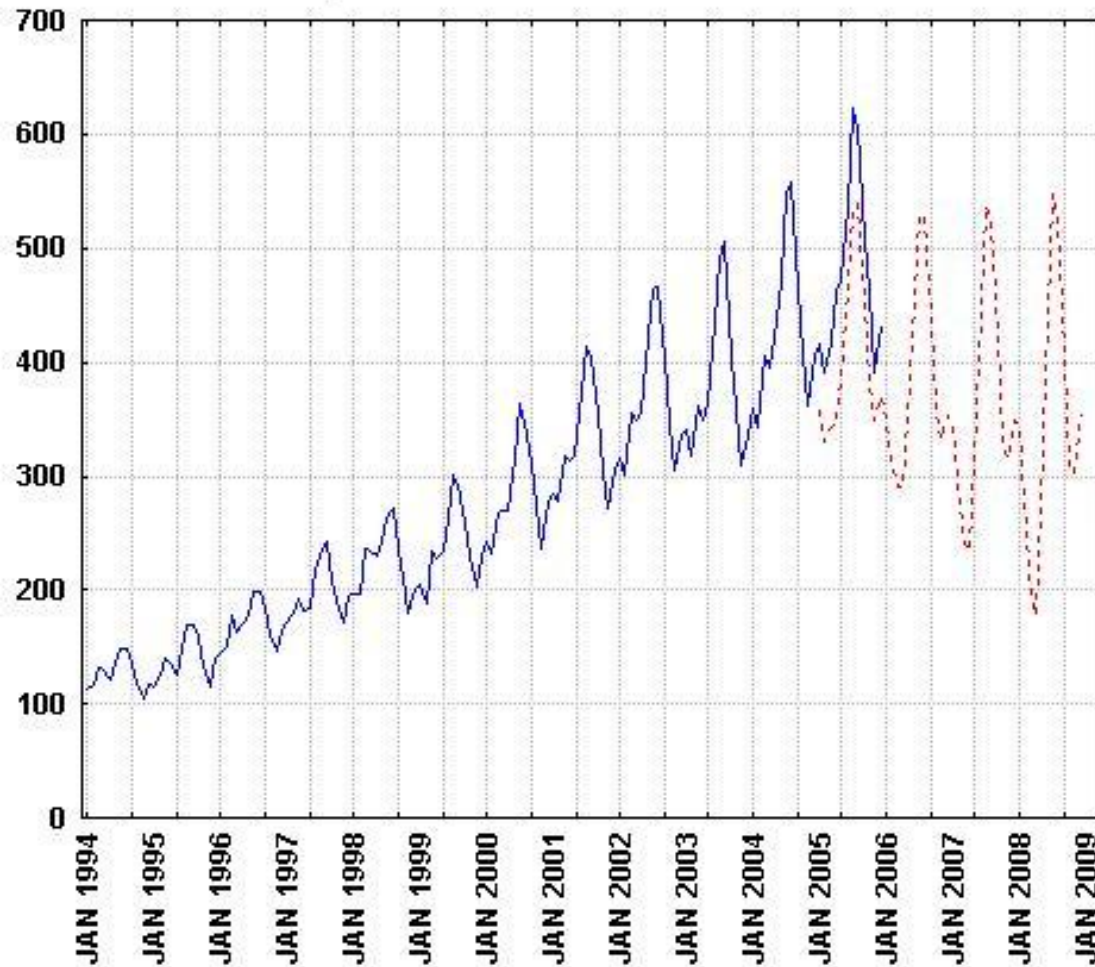
Typ sítě : vykleštěná VVPS (0.1) 12-10-10-1 → 12-9-6-1  
 Trén. výkon = 0,136377, Valid. výkon = 0,156332, Test. výkon = 0,189736



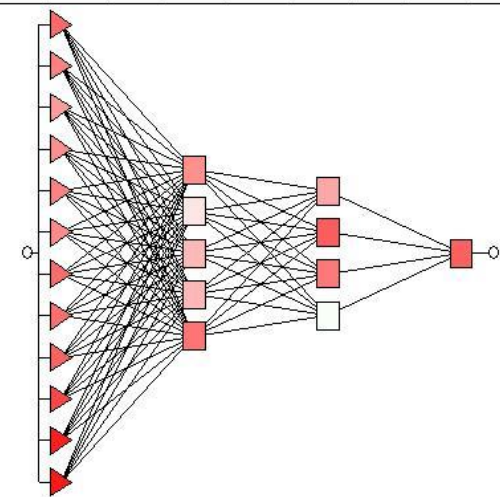
— Počet výrobků  
 - - - Predikce

# Predikce 4vrstvé sítě s klestěním 0,2

Predikční problém - VVPS 12-10-10-1 - klestění 0.2



Typ sítě : vykleštěná VVPS (0.2) 12-10-10-1 → 12-5-4-1  
 Trén. výkon = 0,192713, Valid. výkon = 0,205362, Test. výkon = 0,229341

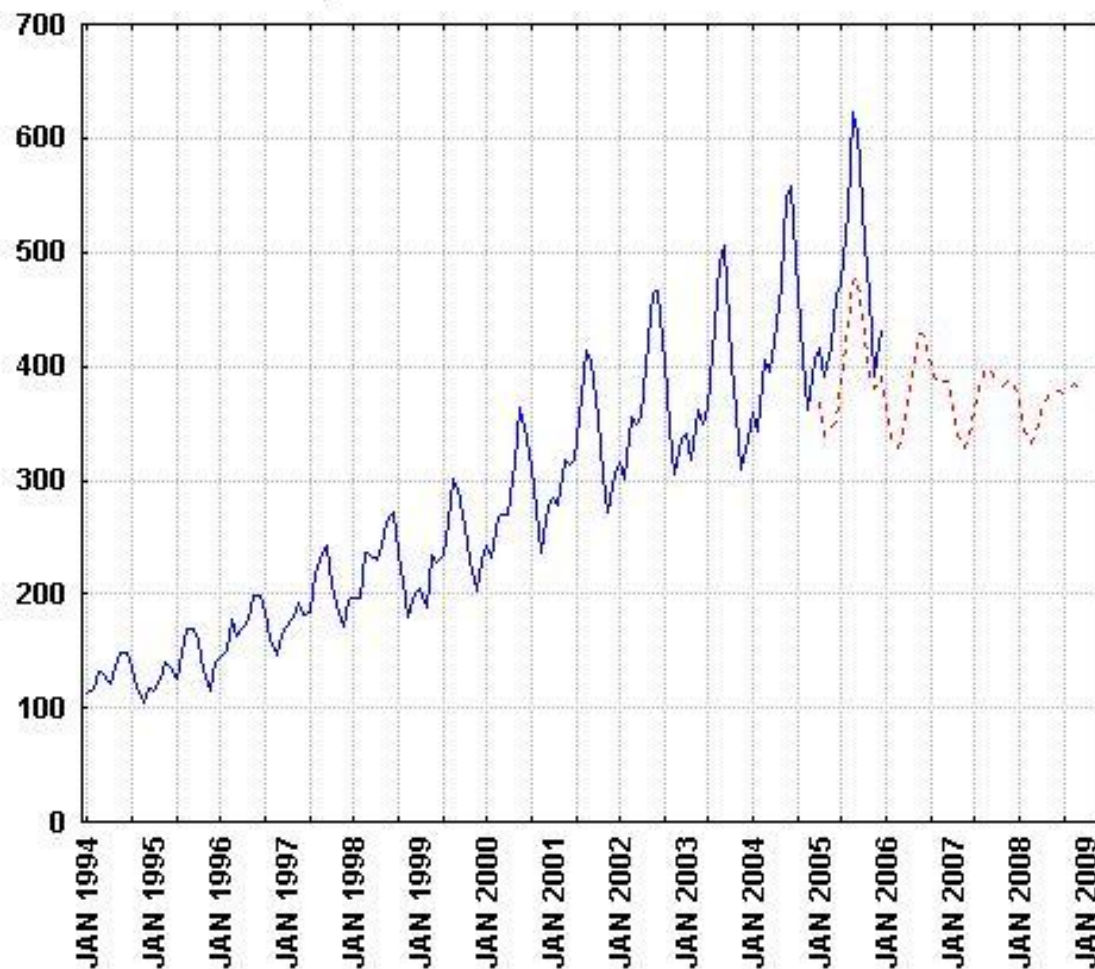


— Počet výrobků  
 - - - Predikce

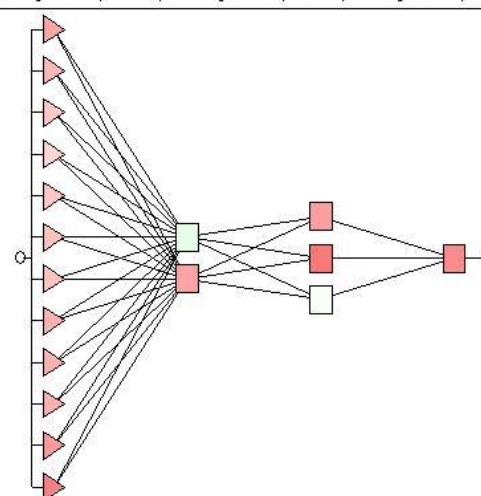


# Predikce 4vrstvé sítě s klestěním 0,3

Predikční problém - VVPS 12-10-10-1 - klestění 0.3



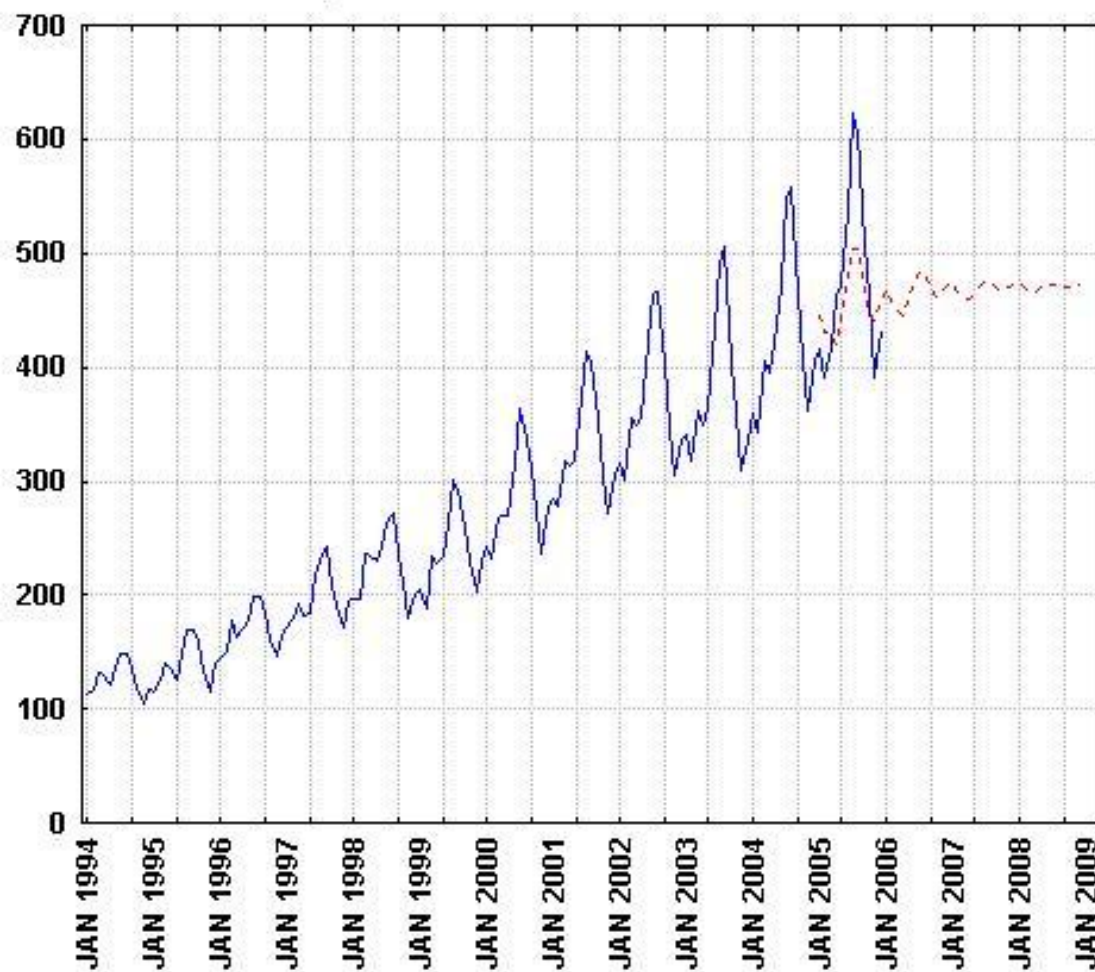
Typ sítě : vykleštěná VVPS (0.3) 12-10-10-1 → 12-2-3-1  
 Trén. výkon = 0,440182, Valid. výkon = 0,489677, Test. výkon = 0,526673



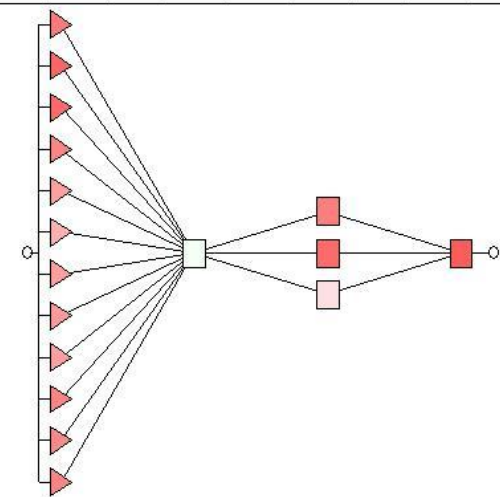
— Počet výrobků  
 - - - Predikce

# Predikce 4vrstvé sítě s klestěním 0,4

Predikční problém - VVPS 12-10-10-1 - klestění 0.4



Typ sítě : vykleštěná VVPS (0.4) 12-10-10-1 → 12-1-3-1  
 Trén. výkon = 0,617995, Valid. výkon = 0,695520, Test. výkon = 0,710229



— Počet výrobků  
 - - - Predikce

## Vliv klestění na přesnost predikce

- v tomto případě 3vrstvá PS provádí predikci poměrně přesně až do hodnoty 0,4; naproti tomu 4vrstvá PS jen do hodnoty 0,1
- 4vrstvá PS je mnohem citlivější na klestění vzhledem k nízkým synaptickým vahám
- metodika klestění se provádí většinou pouze při plánované fyzické realizaci NS

# Regresní problém

- testování a diagnostika MEMS čipů
- testování a diagnostika MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) čipů je velice důležitá, ale v současné době velice časově náročná procedura
- použití MEMS akcelerometrů v zařízeních airbagů — nutnost 100% povýrobní kontroly
- klíčový prvek — mikronosník, jehož průhyb tvoří jádro celého senzoru

- použití neuronových sítí je v tomto případě velice vhodné, protože lze využít jejich hlavní výhodu — absence přesného algoritmu řešení
- začátek řešení problematiky — 6ti měsíční stáž v **Grenoblu**, Francie na fakultě **ENSIMAG** (Ecole Nationale Supérieure d'Informatique et de Mathématiques Appliquées de Grenoble), přidružené **výzkumné laboratoře TIMA** (Techniques of Informatics and Microelectronics for computer Architecture)



# Současný stav

## Vibrační testování MEMS

- jediná opravdu spolehlivá a odladěná metodika testování
- je zapotřebí nákladný a přesný zdroj mechanického chvění, specifický pro každý typ senzorů
- velice náročné na čas i obsluhu

## Elektrické/pseudonáhodné testování MEMS

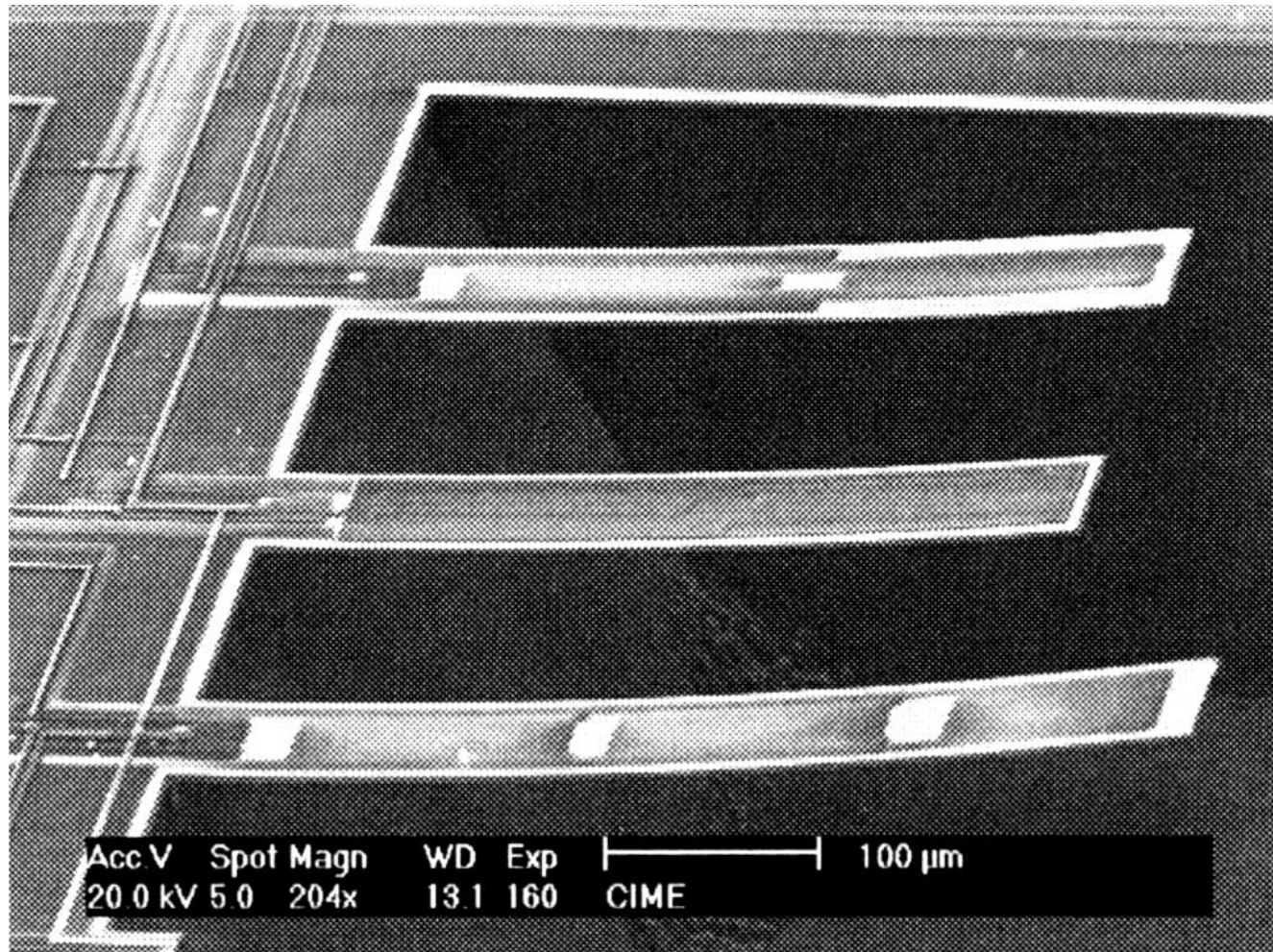
- časově i cenově výhodnější
- implementace přímo do čipu
- vstupní signál — sekvence impulsů nebo jediný velice krátký puls s vysokou amplitudou
- výstupní signál — impulsová odezva
- **!!! NEVÝHODA** — není zcela odladěno

## Zvolený postup řešení

- vytvořit přesný fyzikální model MEMS akcelerometru v Matlab/Simulink a vygenerovat dostatečné množství IR
- ověření nepřítomnosti skrytých závislostí ve vstupních datech
- vybrat správný druh a velikost neuronové sítě a provést její úspěšné natrénování

- provést eliminaci redundantních vstupů do maximální možné míry při současném zachování přesnosti celé sítě
- ověřit finální neuronové sítě pomocí neznámých, nově vygenerovaných hodnot
- všechny tyto operace provést pomocí SW Matlab v.7 a STATISTICA v. 7.1, resp. pomocí jejich modulů Neuronové sítě
- porovnat možnosti a vlastnosti řešení pomocí jednotlivých softwarů

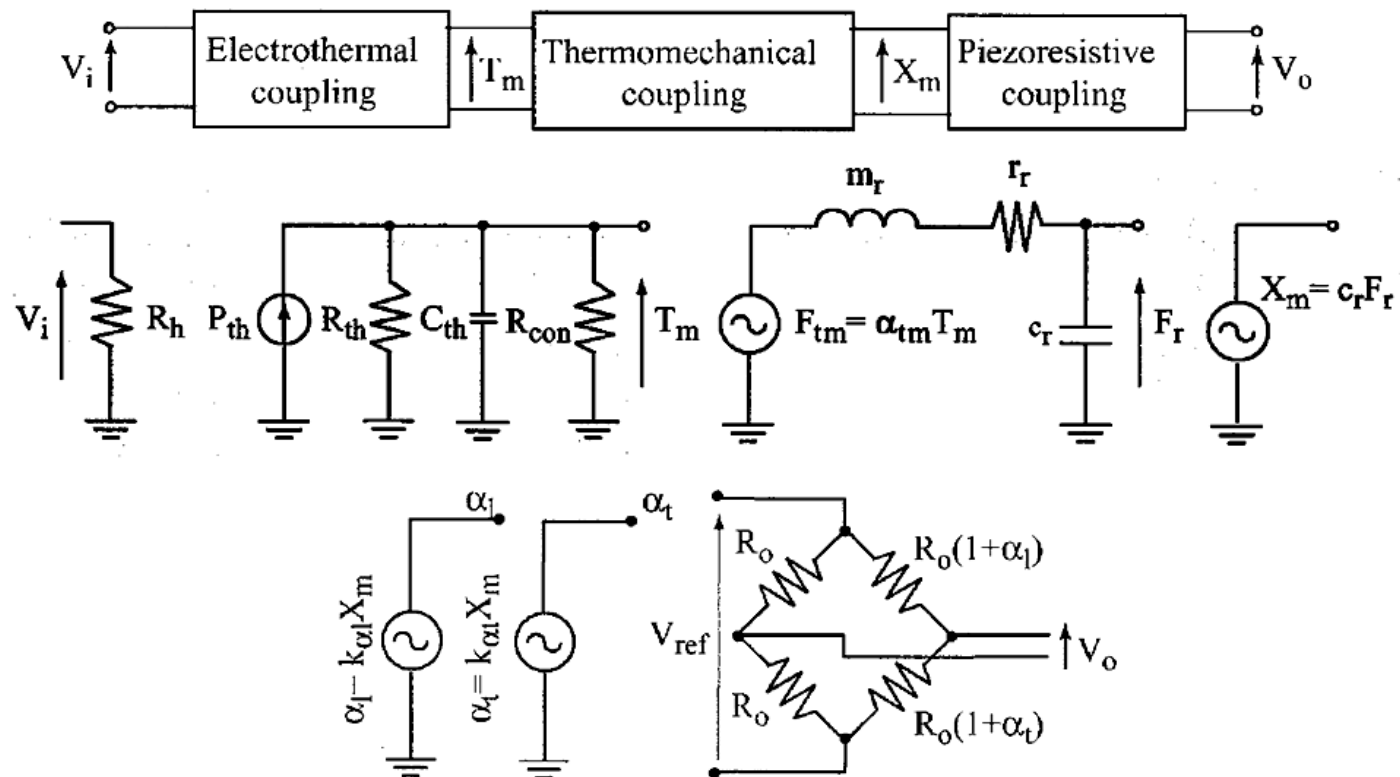
# Konstrukční provedení MEMS nosníků





# MEMS model chování

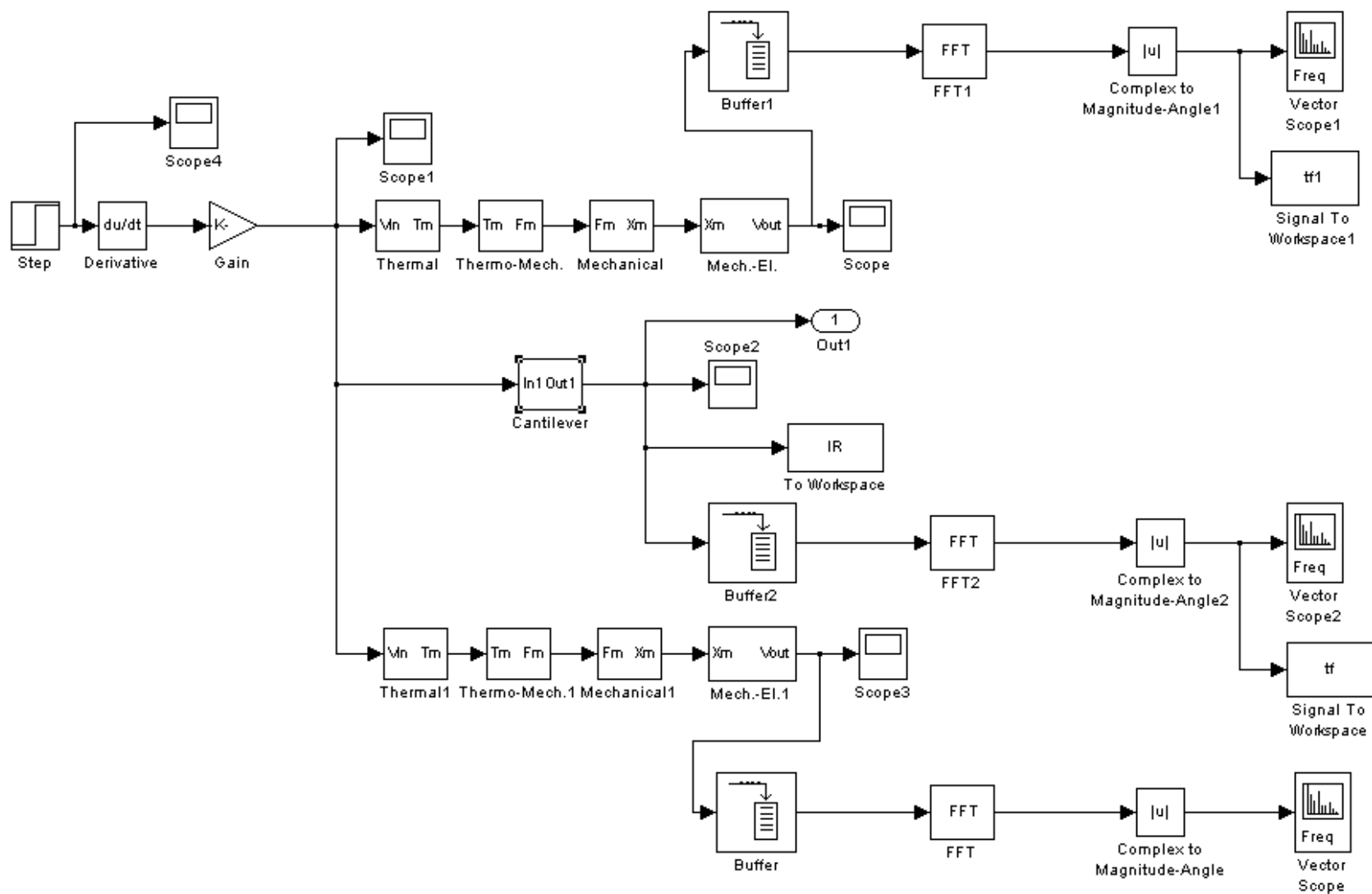
- elektro-tepelná vazba pro vybuzení
- tepelně-mechanická vazba pro průhyb nosníku
- piezorezistivní vazba pro změnu odporu jako fce prohnutí nosníku
- elektrický Wheatstoneův můstek na výstupu



## Modelování čipu v Matlab/Simulink

- fyzické měření nemožné
- původní model — nefunkční, absence testovacích větví, špatné nastavení jednotlivých vazeb
- rozměry nosníku — délka  $l = 600 \mu\text{m}$ , šířka  $b = 200 \mu\text{m}$ , tloušťka  $e = 5 \mu\text{m}$
- každý fyzikální parametr nosníku má toleranci výroby  $\pm 10 \%$

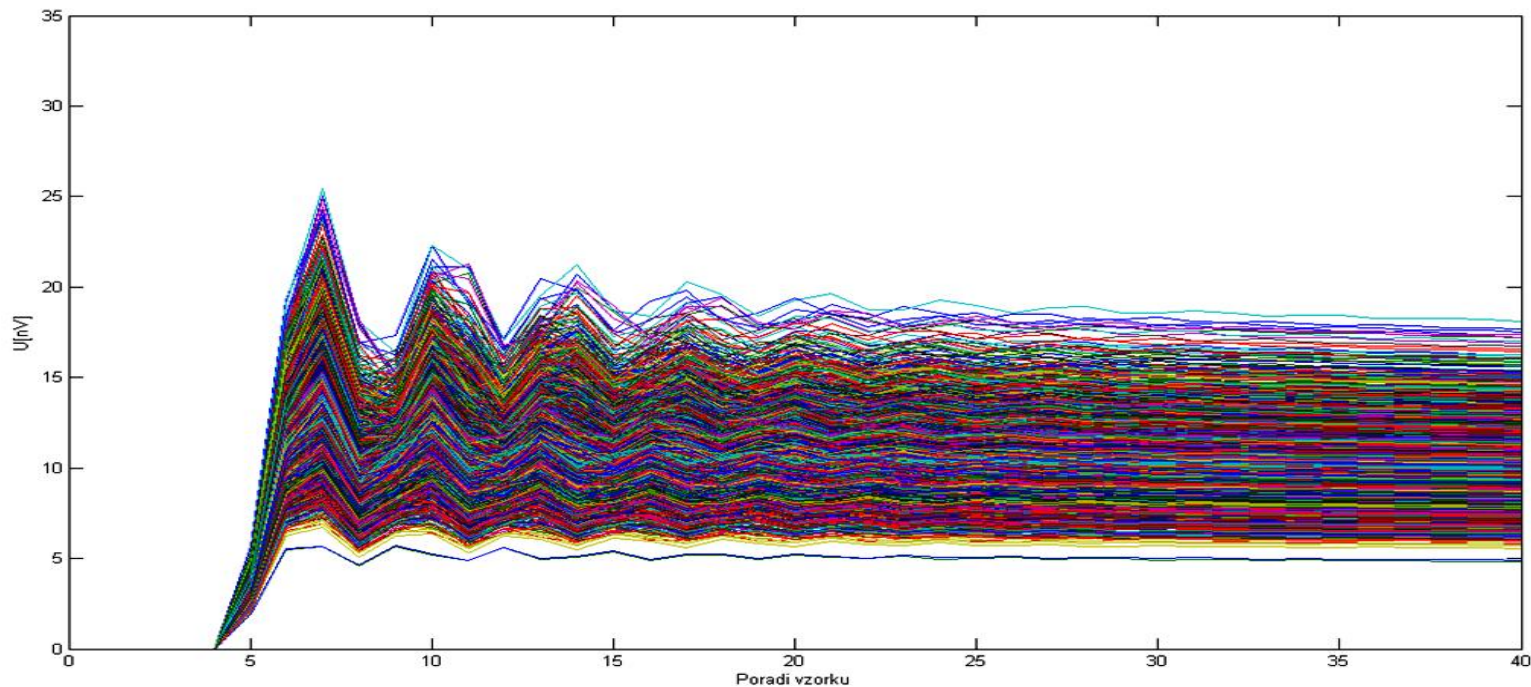
# Výsledný model čipu





# Generování dat

- vygenerování 1000 IR se 40 vzorky a k nim 1000 příslušných sledovaných parametrů (*ss zisk*,  $f_{th}$ ,  $f_m$ )
- po vygenerování — normalizace  $1 \cdot 10^9$



# Ověření nepřítomnosti skrytých závislostí ve vstupních datech

## Matlab

- porovnání hodnot MSE v testovací množině při různých kombinacích skupin
- použitá síť — MLPN 40-4-4-3

Kombinace sítí			MSE test mn.
AB	C	D	1,05E-04
	D	C	1,09E-04
AC	B	D	1,08E-04
	D	B	1,03E-04
AD	B	C	1,06E-04
	C	B	1,07E-04
BC	A	D	1,02E-04
	D	A	1,08E-04
BD	A	C	1,10E-04
	C	A	1,05E-04
CD	A	B	1,06E-04
	B	A	1,08E-04

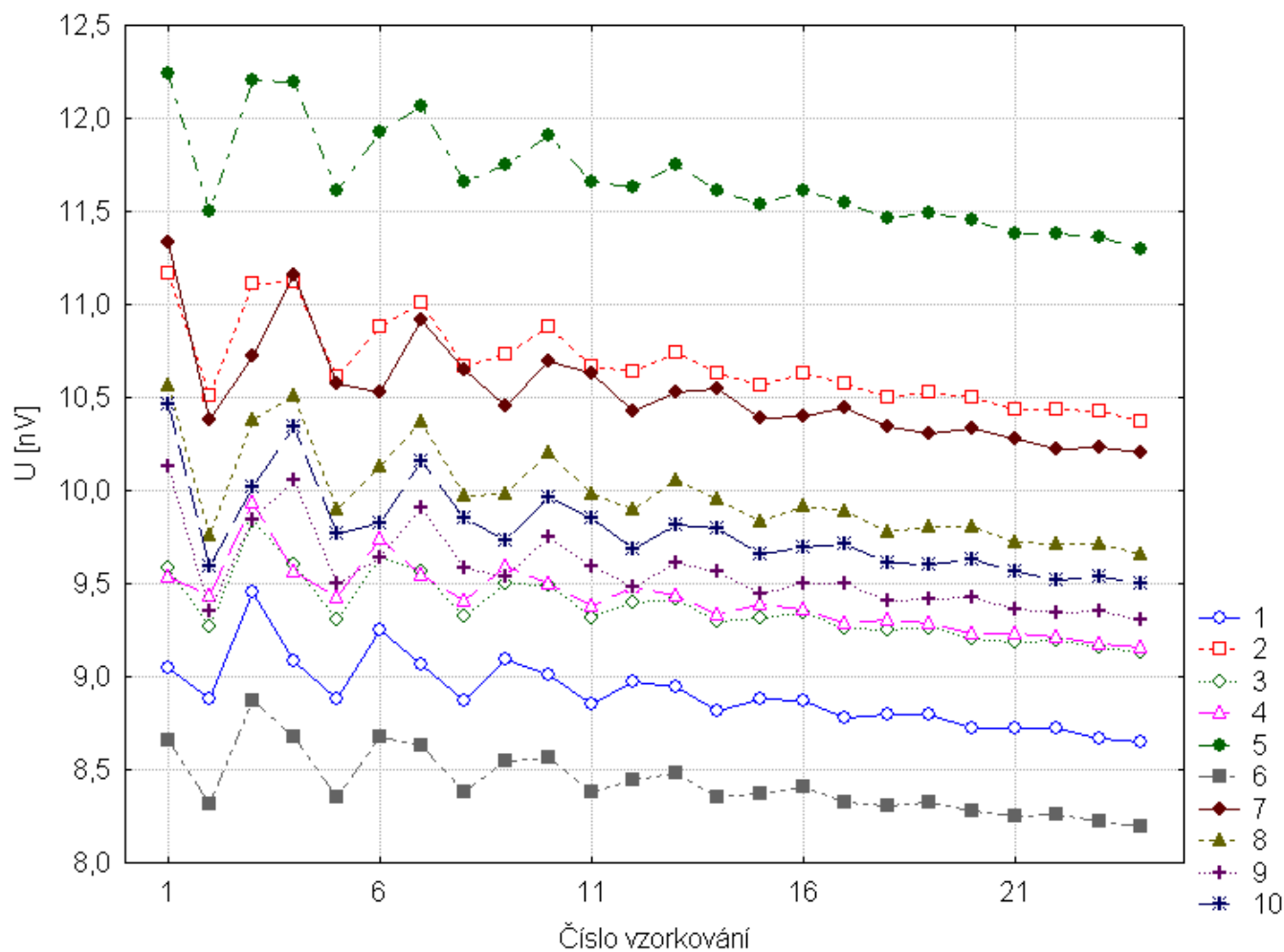


# STATISTICA

- korelační matice
- analýza časových řad — odfiltrování trendové, cyklické a sezónní složky a poté použití *t-testu* a *F-testu*



# Analýza časových řad



Useknuté impulsově odezvy



# Výsledky t-testu a F-testu

t-testy; <u>grupováno</u> :											
Prom2											
Skup. 1: A											
Skup. 2: B											
Proměnná	Průměr A	Průměr B	t	sv	p	Poč.plat A	Poč.plat B	Sm.odch. A	Sm.odch. B	F- poměr rozptyly	p rozptyly
Prom1	0,005144	0,0071	-0,19346		0,84708	24	24	0,03494	0,0355	1,0353	0,9334

- střední hodnoty ani rozptyly se na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  významně statisticky neliší
- žádný výskyt systematických chyb

## Výběr velikosti sítě

- jediná možná — vícevrstvá perceptronová síť (MLPN)

## Matlab

- optimální architektura — MSE testovací množiny je minimální
- vítězné sítě — 40-5-3 a 40-5-5-3

# Tabulky se všemi kombinacemi vstupů

Počet neuronů	MSE trén. mn.	MSE test. mn.
1	1,70E-03	1,40E-03
2	3,10E-04	3,40E-04
3	6,17E-05	7,54E-05
4	4,26E-05	6,10E-05
5	4,08E-05	6,00E-05
6	4,02E-05	8,20E-05
7	4,00E-05	1,20E-04
8	4,00E-05	1,26E-04
9	3,97E-05	1,34E-04
10	3,85E-05	1,41E-04

&lt;== 3vrstvá MLPN

 4vrstvá  
MLPN  
 ↓  
 ▼

## MSE trénovací množina

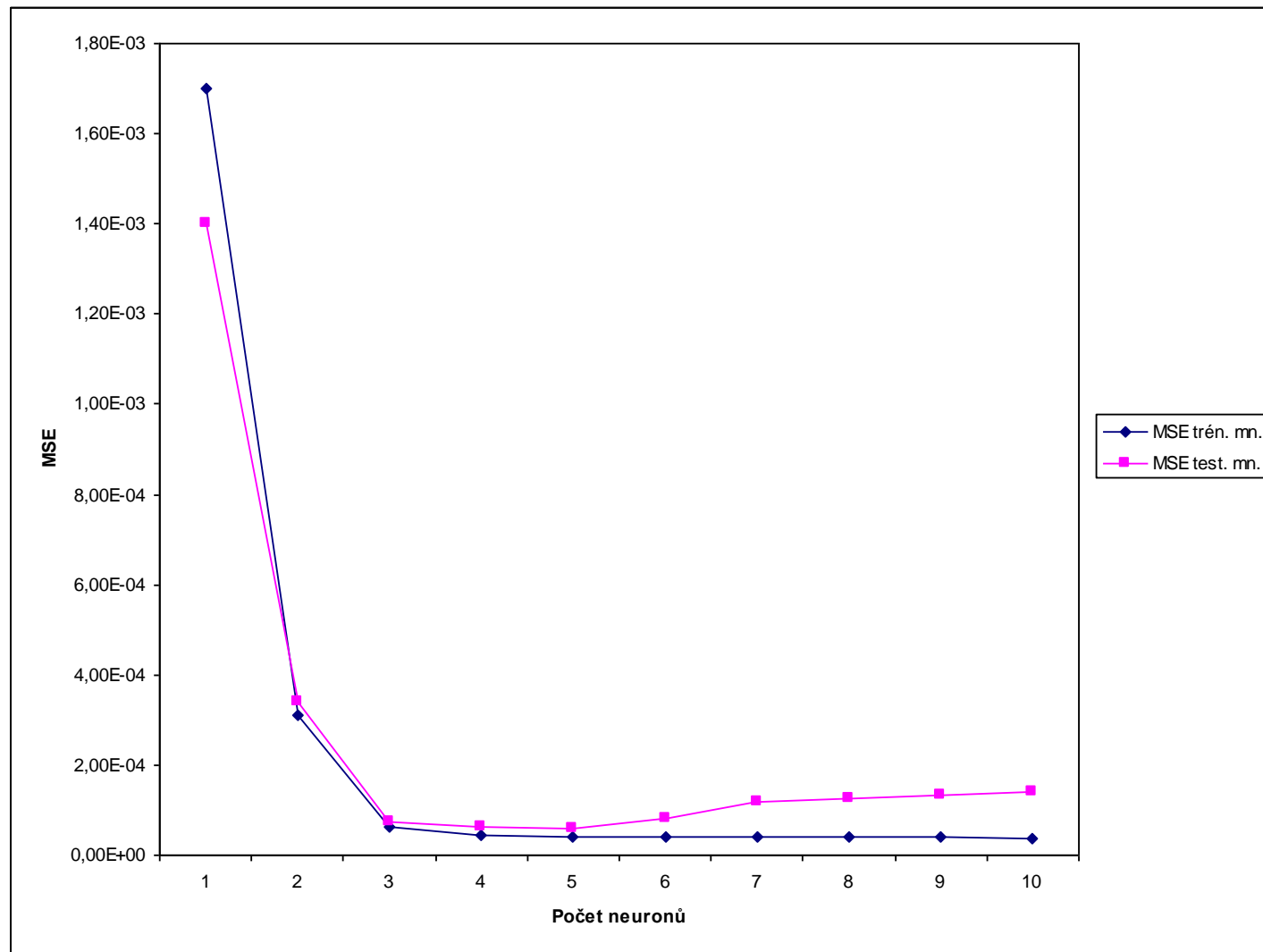
Počet neuronů	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	druhá vrstva
1	1,73E-03	1,70E-03	1,71E-03	1,67E-03	1,62E-03	1,65E-03	1,70E-03	1,68E-03	1,65E-03	1,63E-03	
2	1,71E-03	3,07E-04	3,01E-04	3,00E-04	3,10E-04	3,02E-04	3,00E-04	3,00E-04	3,02E-04	3,06E-04	
3	1,68E-03	3,00E-04	4,32E-05	4,28E-05	4,03E-05	4,09E-05	4,10E-05	4,04E-05	4,05E-05	4,15E-05	
4	1,70E-03	3,11E-04	4,28E-05	4,26E-05	4,07E-05	4,11E-05	4,01E-05	3,84E-05	3,91E-05	3,98E-05	
5	1,71E-03	3,09E-04	4,25E-05	4,20E-05	3,95E-05	3,94E-05	3,98E-05	3,90E-05	3,88E-05	3,87E-05	
6	1,73E-03	3,05E-04	4,22E-05	4,15E-05	4,02E-05	3,98E-05	3,99E-05	3,99E-05	3,87E-05	3,93E-05	
7	1,70E-03	3,01E-04	4,14E-05	4,12E-05	4,02E-05	3,98E-05	3,86E-05	3,86E-05	3,85E-05	3,81E-05	
8	1,70E-03	3,02E-04	4,12E-05	4,15E-05	4,01E-05	3,90E-05	3,92E-05	3,90E-05	3,90E-05	3,87E-05	
9	1,67E-03	3,00E-04	4,02E-05	4,07E-05	4,00E-05	3,90E-05	3,92E-05	3,90E-05	3,82E-05	3,85E-05	
10	1,71E-03	3,00E-04	4,01E-05	4,03E-05	3,97E-05	3,88E-05	3,83E-05	3,84E-05	3,81E-05	3,83E-05	

první vrstva

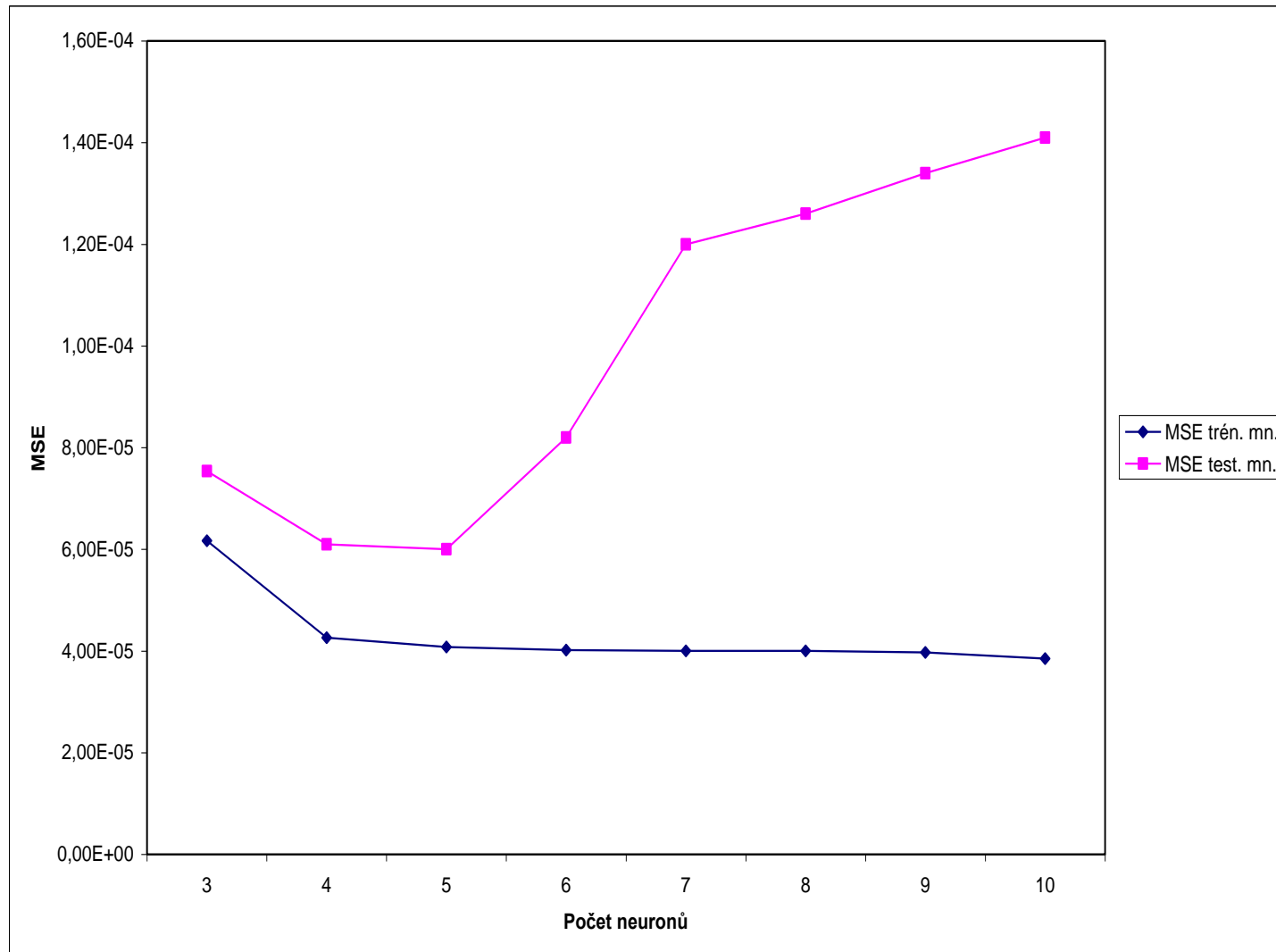
## MSE testovací množina

Počet neuronů	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	druhá vrstva
1	1,80E-03	1,81E-03	1,84E-03	1,84E-03	1,84E-03	1,82E-03	1,83E-03	1,80E-03	1,84E-03	1,90E-03	
2	1,81E-03	3,87E-04	3,91E-04	3,98E-04	4,02E-04	4,16E-04	4,12E-04	4,21E-04	4,22E-04	4,26E-04	
3	1,79E-03	3,92E-04	1,41E-04	1,12E-04	1,20E-04	1,38E-04	1,20E-04	1,21E-04	1,34E-04	1,44E-04	
4	1,80E-03	3,87E-04	1,19E-04	9,93E-05	1,09E-04	1,31E-04	1,30E-04	1,22E-04	1,31E-04	1,42E-04	
5	1,80E-03	3,85E-04	1,12E-04	1,08E-04	1,04E-04	1,30E-04	1,31E-04	1,33E-04	1,35E-04	1,43E-04	
6	1,78E-03	3,82E-04	1,18E-04	1,12E-04	1,19E-04	1,22E-04	1,34E-04	1,34E-04	1,37E-04	1,51E-04	
7	1,80E-03	3,81E-04	1,20E-04	1,10E-04	1,21E-04	1,25E-04	1,29E-04	1,30E-04	1,41E-04	1,55E-04	
8	1,81E-03	3,80E-04	1,20E-04	1,11E-04	1,25E-04	1,33E-04	1,35E-04	1,36E-04	1,42E-04	1,60E-04	
9	1,78E-03	3,78E-04	1,21E-04	1,15E-04	1,20E-04	1,30E-04	1,37E-04	1,40E-04	1,53E-04	1,57E-04	
10	1,80E-03	3,74E-04	1,23E-04	1,17E-04	1,21E-04	1,38E-04	1,40E-04	1,44E-04	1,50E-04	1,54E-04	

# Graf MSE 3vrstvé MLPN

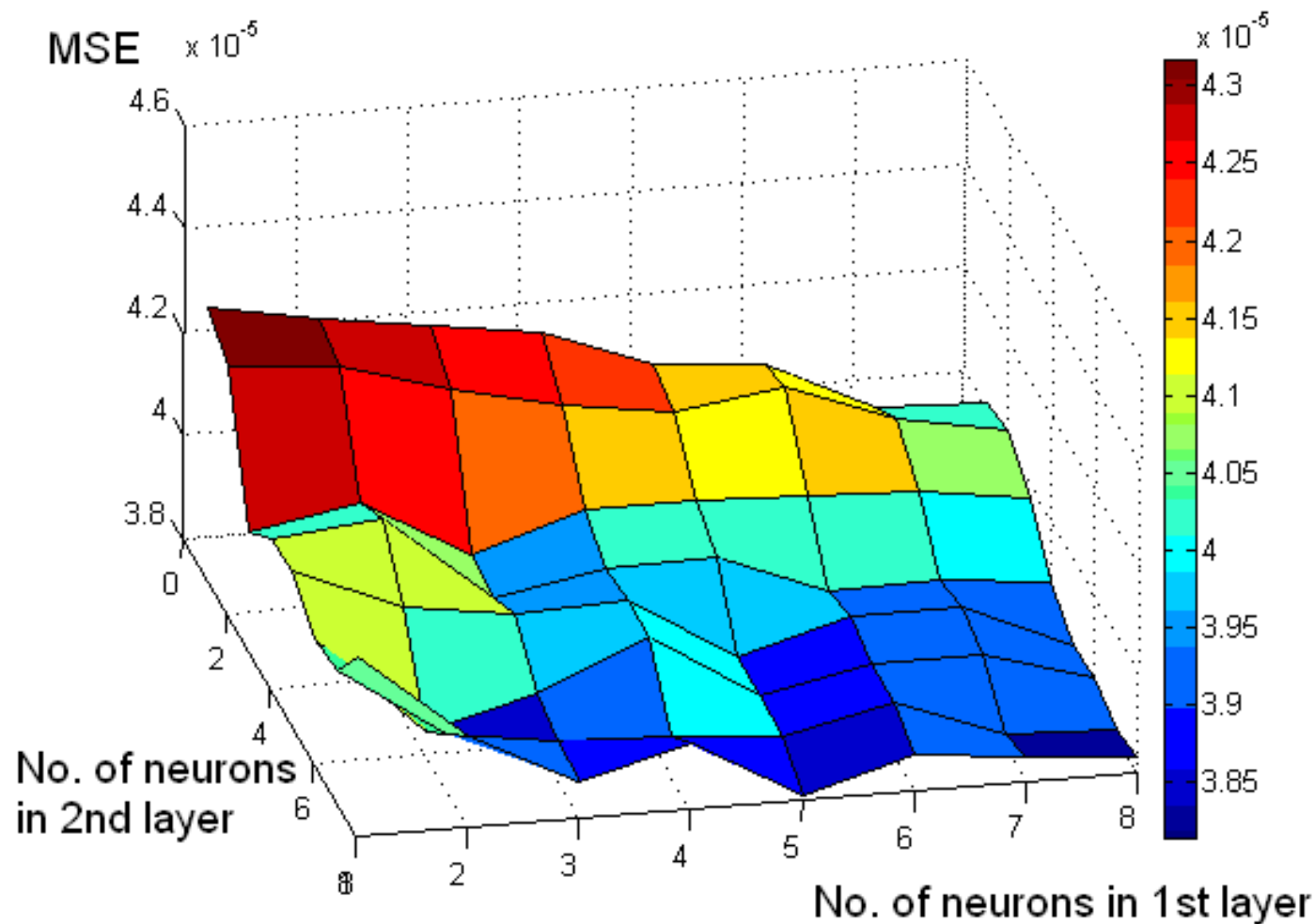


# Graf MSE 3vrstvé MLPN — detail

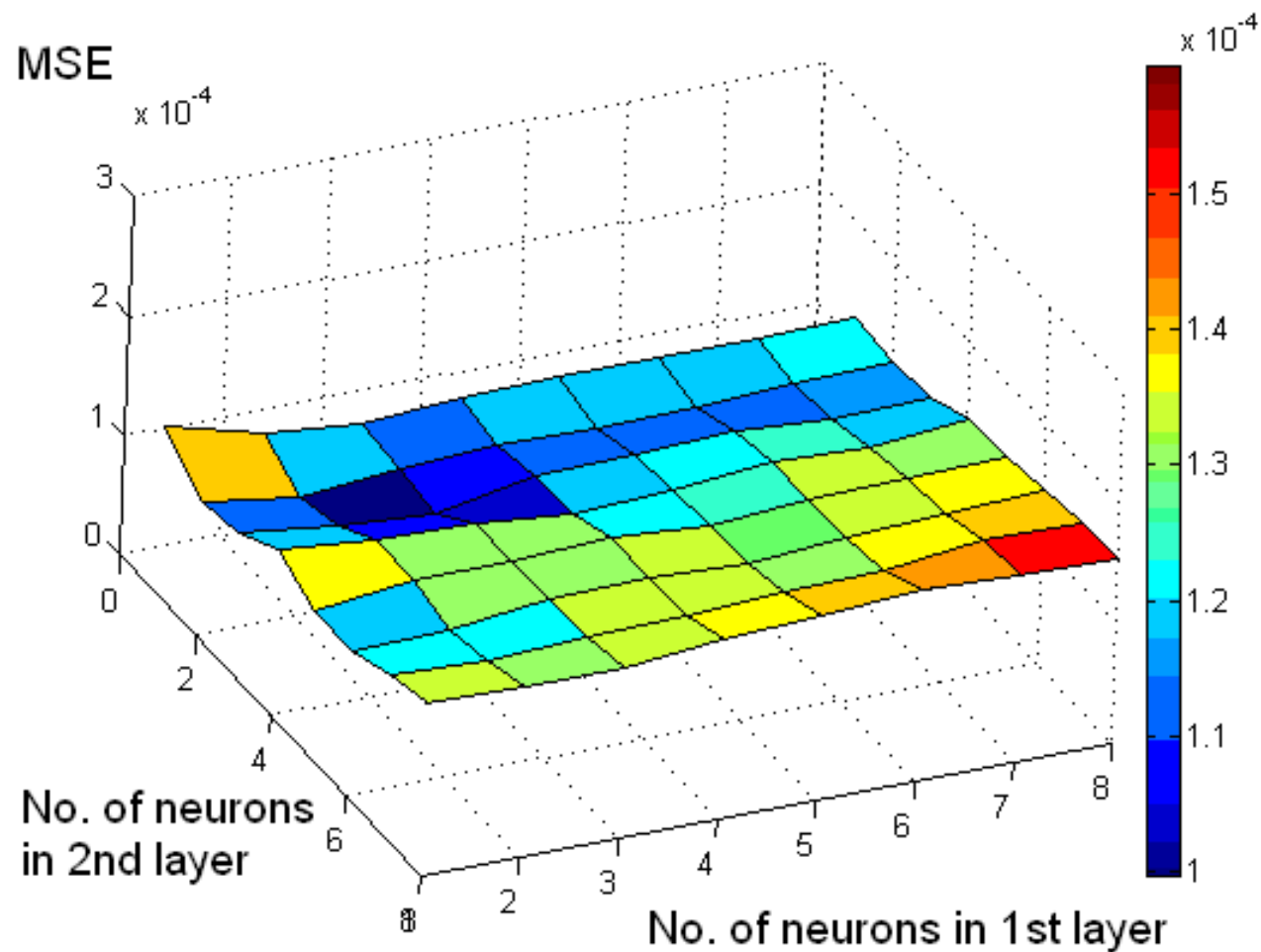




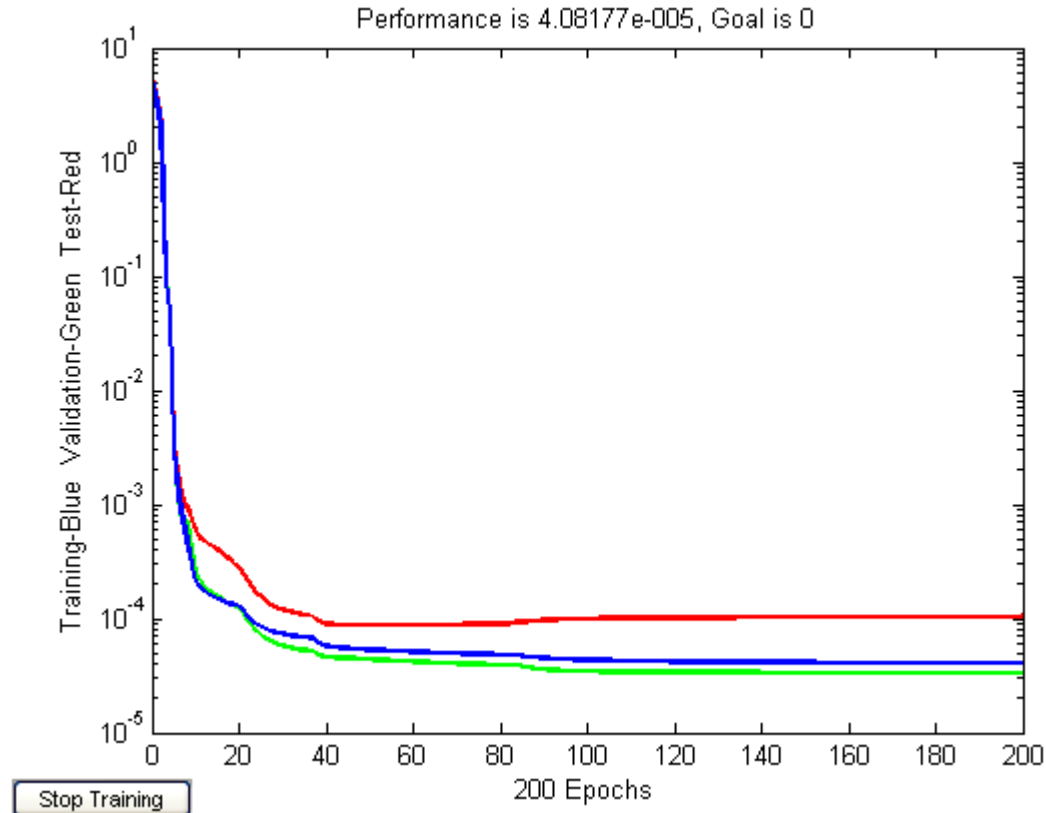
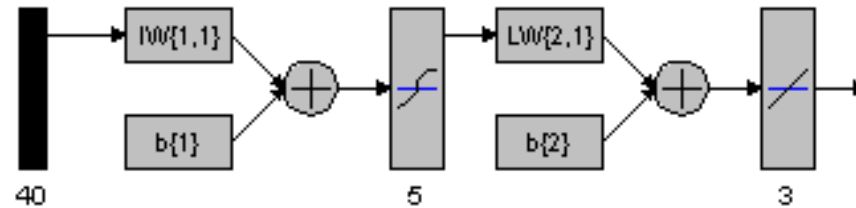
# Graf MSE 4vrstvé MLPN – Trénovací množina



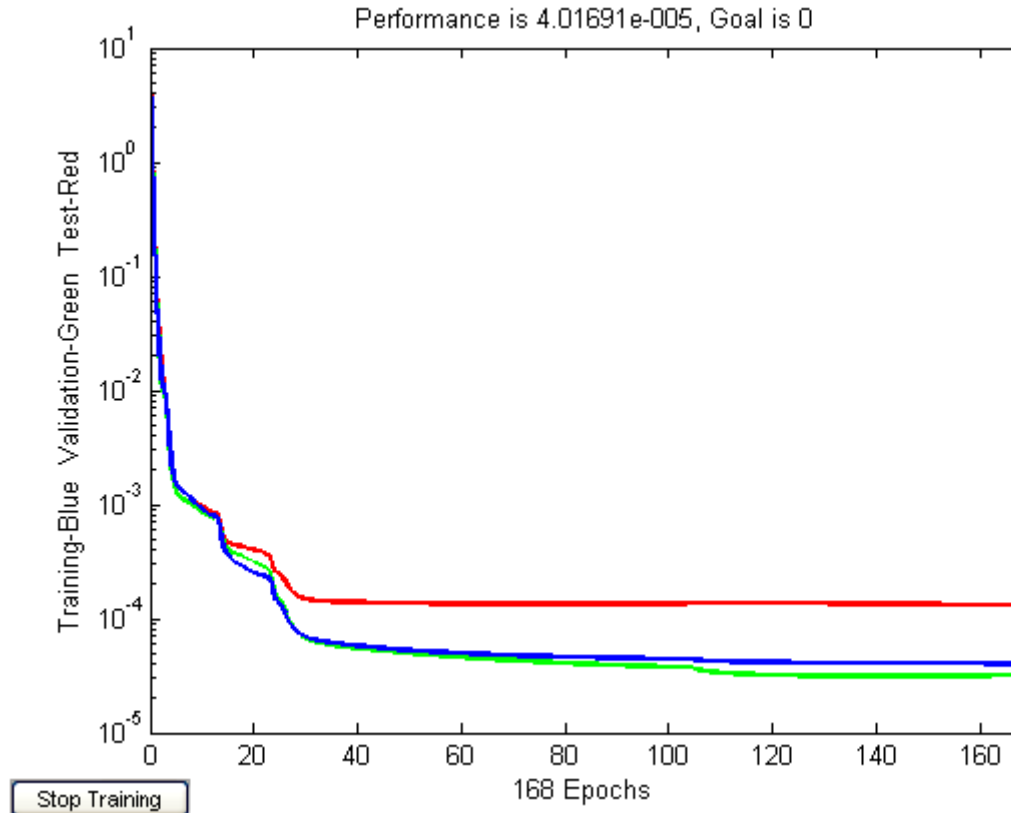
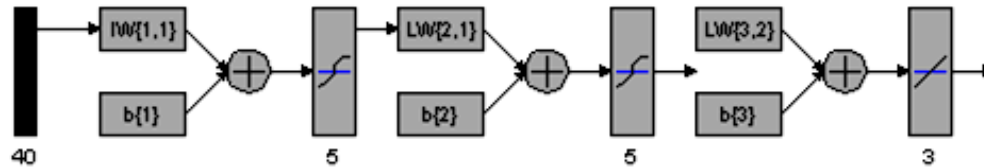
# Graf MSE 4vrstvé MLPN – Testovací množina



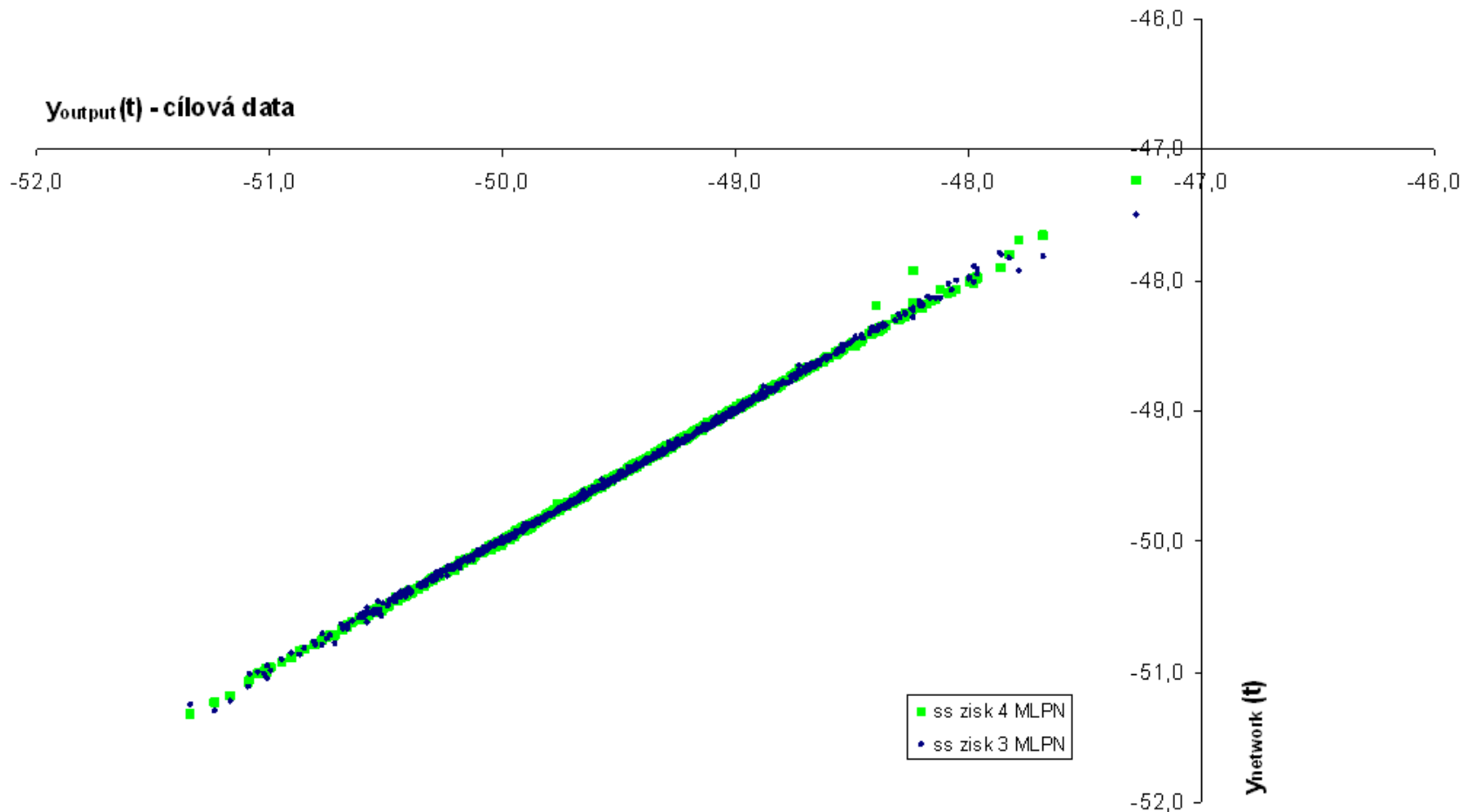
# Vítězná 3vrstvá síť



# Vítězná 4vrstvá síť

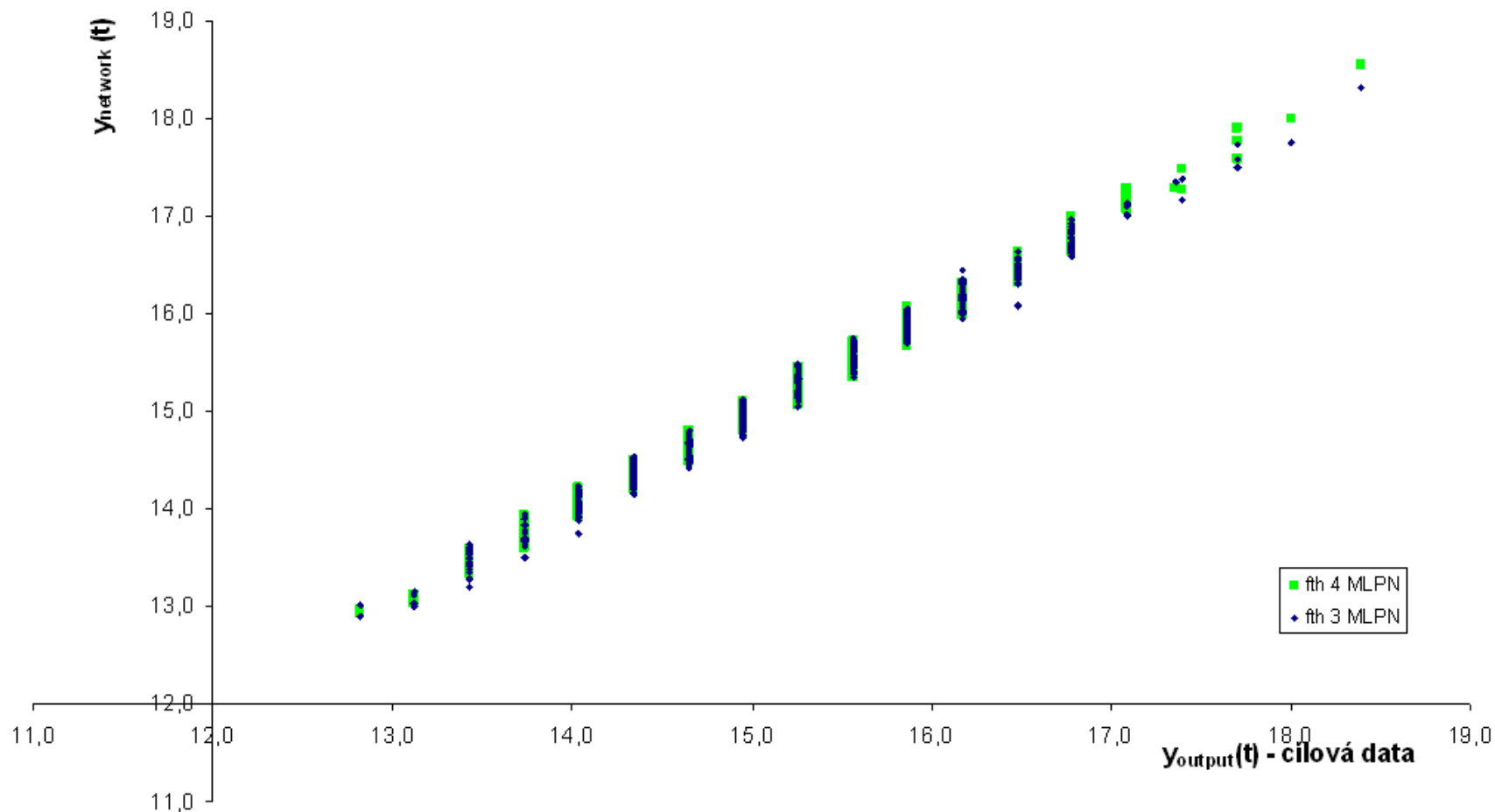


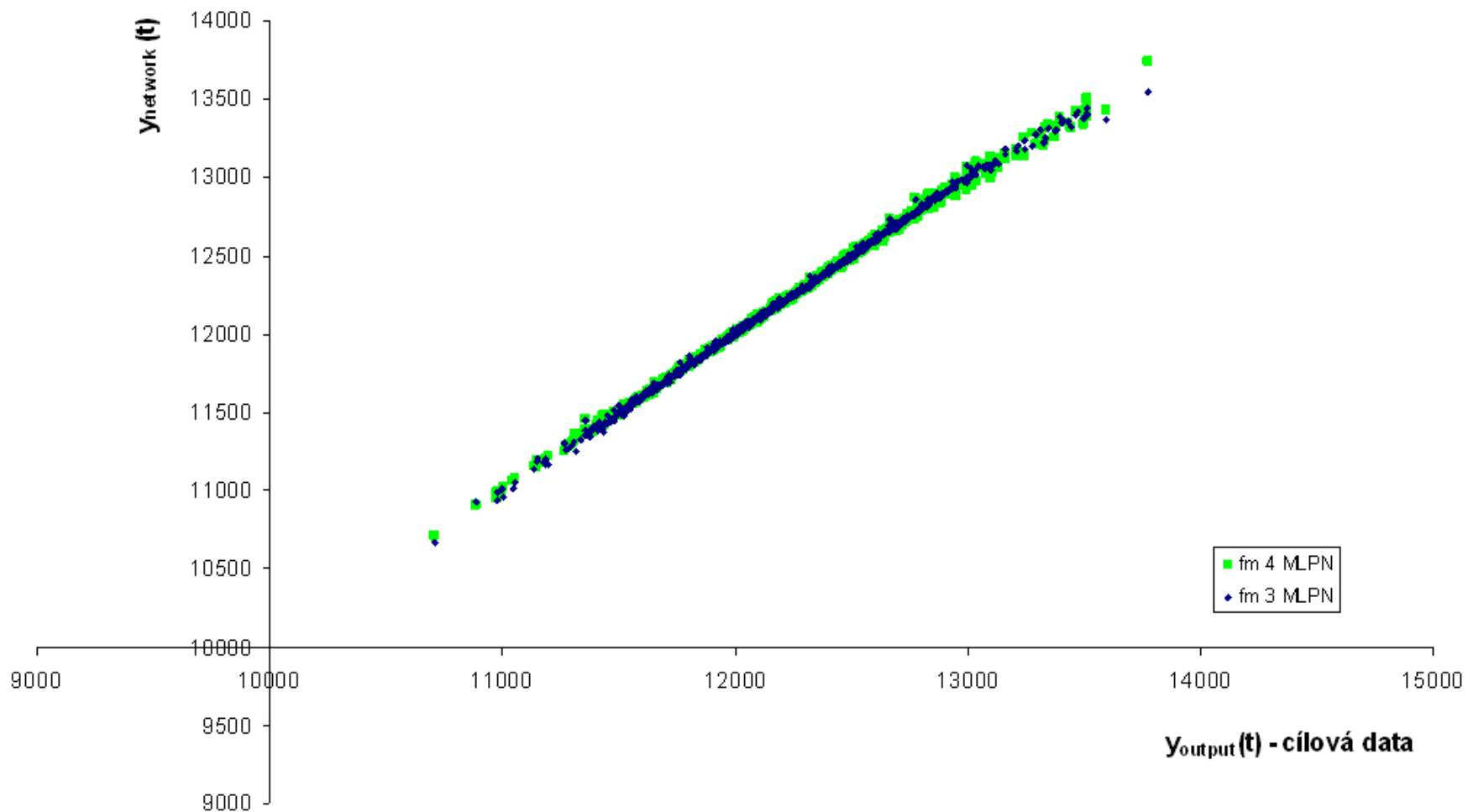
# Ověření aproximačních schopností sítí



ss zisk

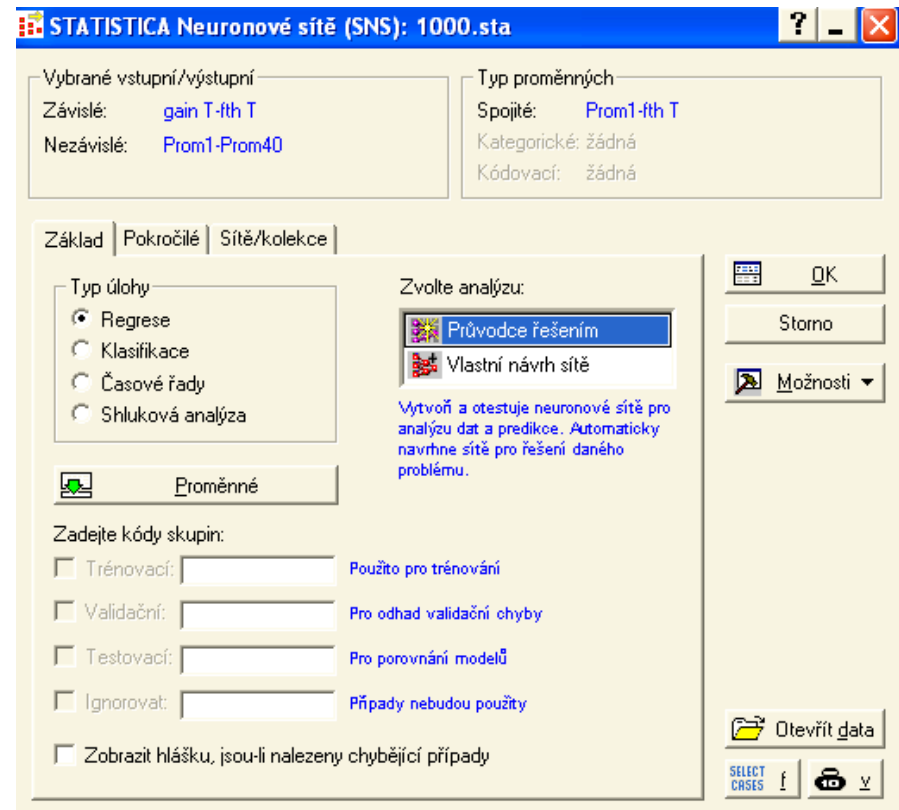


 $f_{th}$

 $f_m$

# STATISTICA

- komfortnější uživatelské rozhraní oproti Matlabu
- existence **Průvodce řešením**



# Vítězné sítě — 40-5-3 a 40-5-5-3

Výsledky: 1000.sta

Číslo	Typ sítě	Trén. výkon	Valid. výkon	Test. výkon	Trén. chyba	V
16	WVPS 40:40-2-3:3	0,302649	0,286896	0,316340	0,088370	0
17	WVPS 40:40-3-3:3	0,226234	0,171182	0,223906	0,061741	0
18	WVPS 40:40-4-3:3	0,208362	0,193901	0,208333	0,049632	0
19	WVPS 40:40-5-3:3	0,224770	0,215168	0,212828	0,045638	0
20	WVPS 40:40-5-3:3	0,151558	0,142650	0,141549	0,041268	0

OK  
Storno  
Možnosti

Choete-li uchovat sítě a vrátit se do vstupního dialogu, klikněte na OK. Ve vstupním dialogu lze sítě upravovat, ukládat či trénovat, lze generovat

Základ | Pokročilé | Předpovědi | Rezidua | Grafy | Citlivost | Popisné statistiky

Popisné statistiky

Shnutí

Souhrnné statistiky

Matice záměn

Výsledky: 1000.sta

Číslo	Typ sítě	Trén. výkon	Valid. výkon	Test. výkon	Trén. chyba
26	WVPS 40:40-2-3:3:3	0,294364	0,339109	0,281792	0,088557
27	WVPS 40:40-4-3:3:3	0,346087	0,391346	0,350783	0,085610
28	WVPS 40:40-4-4:3:3	0,271973	0,309298	0,268416	0,079993
29	WVPS 40:40-5-4:3:3	0,455812	0,522189	0,473499	0,072172
30	WVPS 40:40-5-5:3:3	0,210444	0,201109	0,213576	0,060999

OK  
Storno  
Možnosti

Choete-li uchovat sítě a vrátit se do vstupního dialogu, klikněte na OK. Ve vstupním dialogu lze sítě upravovat, ukládat či trénovat, lze generovat kód C++ nebo SVB, nebo spouštět vytvořené modely s novými daty.

Zvolit model  
Výběr případů

Vynechání ChD

Celé případy

Substituce průměrem

Základ | Pokročilé | Předpovědi | Rezidua | Grafy | Citlivost | Popisné statistiky

Popisné statistiky

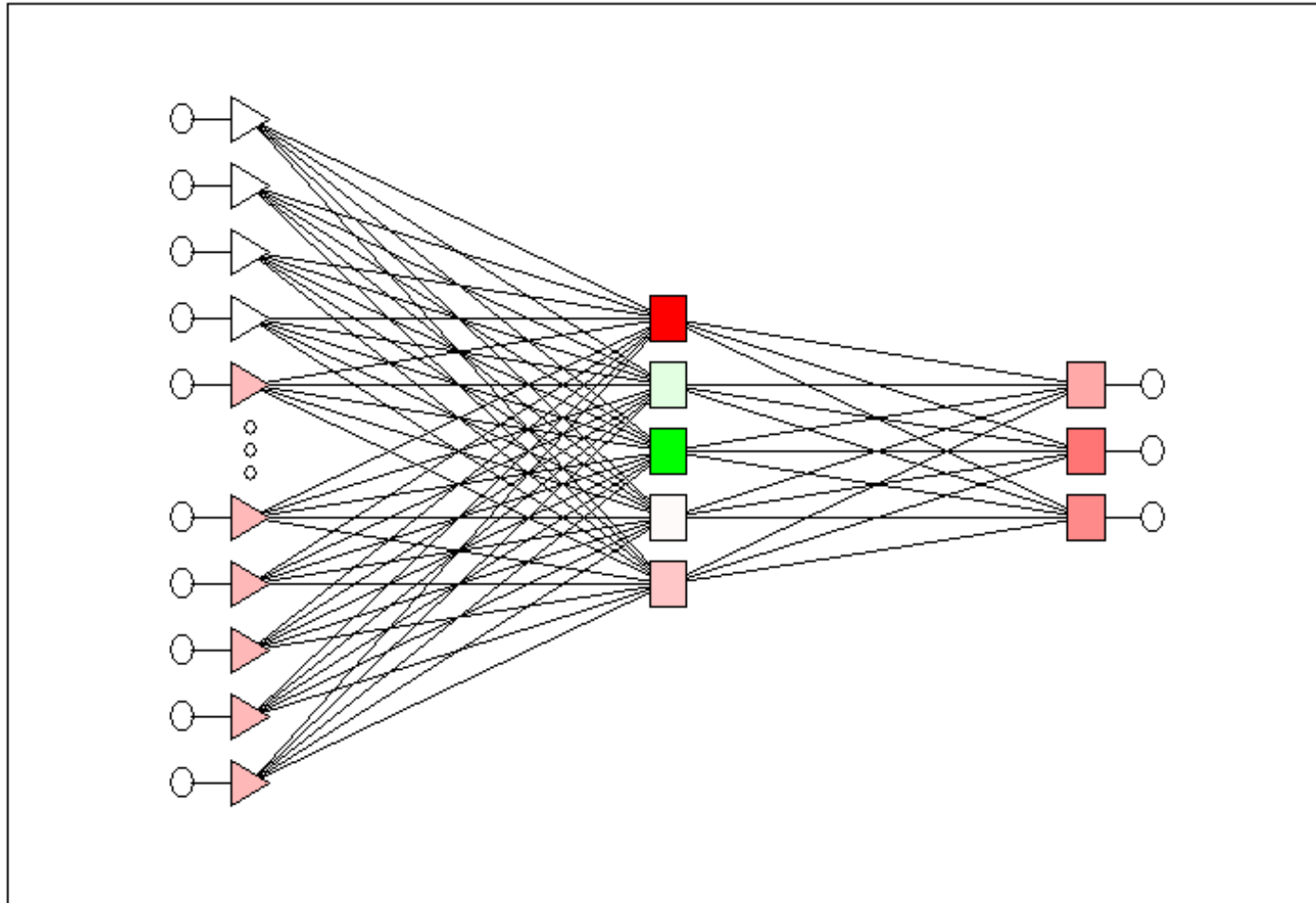
Shnutí

Souhrnné statistiky

Matice záměn

# Vítězná 3vrstvá síť

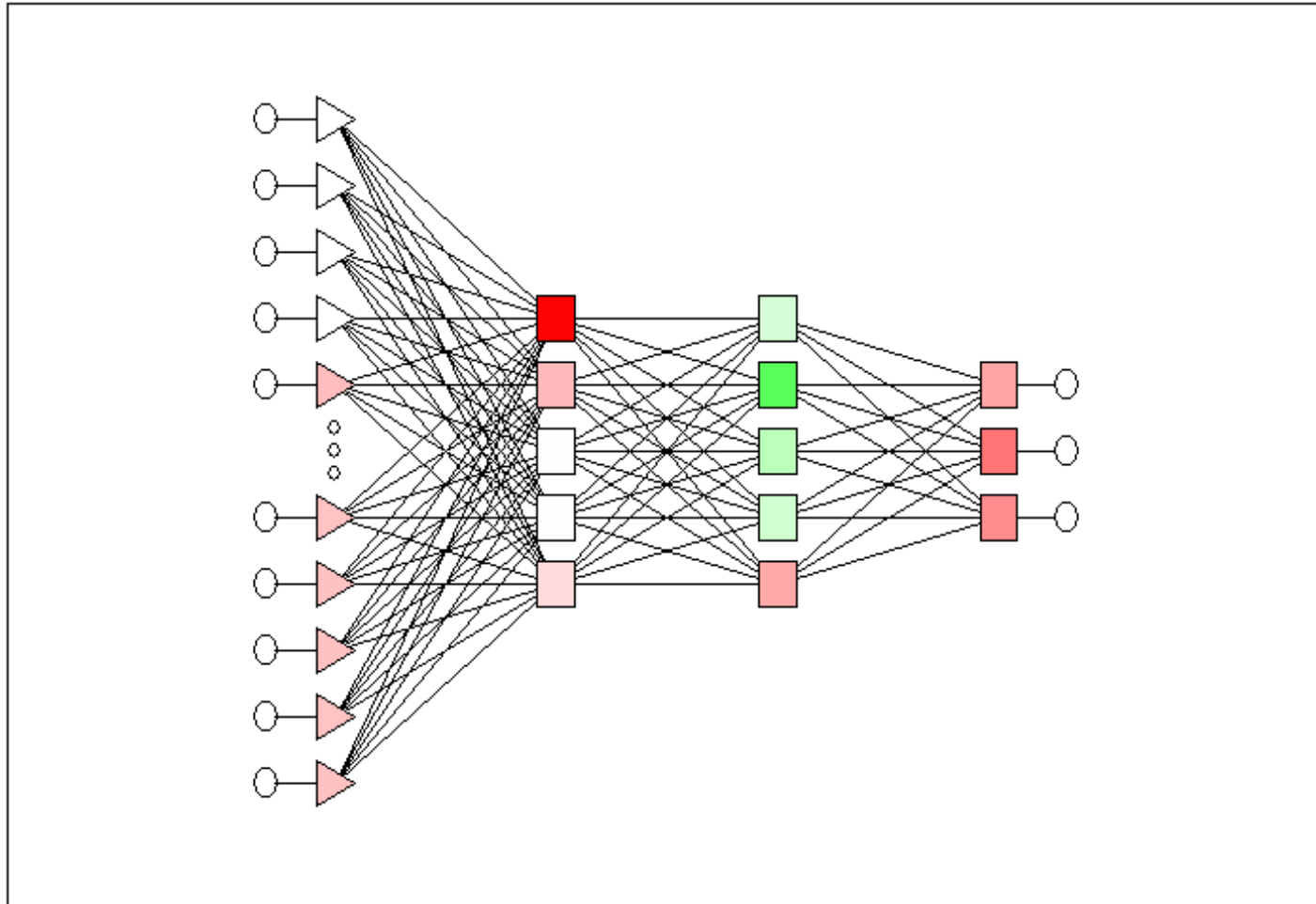
Typ sítě : WPS 40:40-5-3:3 , Číslo = 20  
Trén. výkon = 0,151558 , Valid. výkon = 0,142850 , Test. výkon = 0,141549



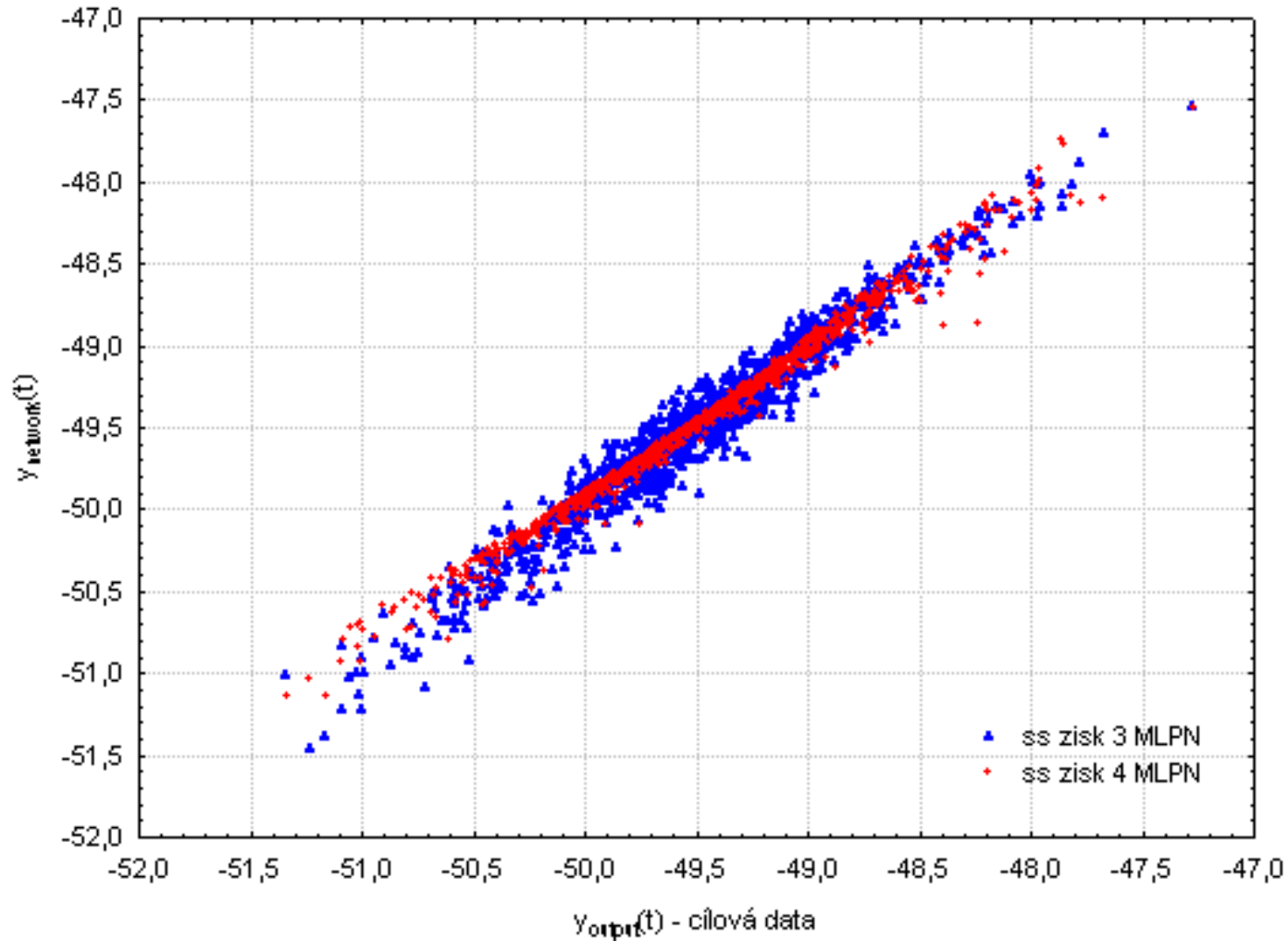


# Vítězná 4vrstvá síť

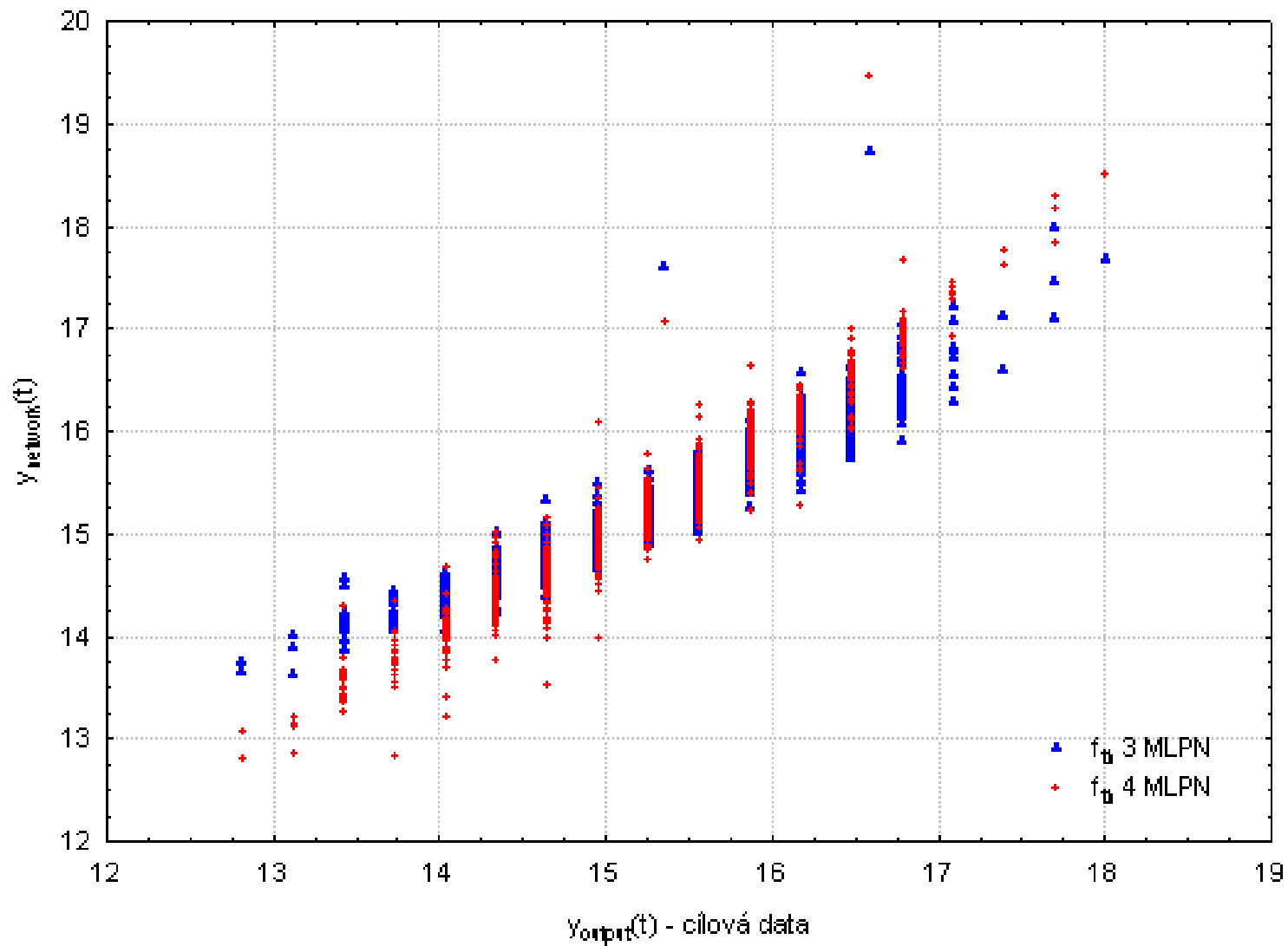
Typ sítě : WPS 40:40-5-5-3:3 , Číslo = 30  
Trén. výkon = 0,210444 , Valid. výkon = 0,201109 , Test. výkon = 0,213576

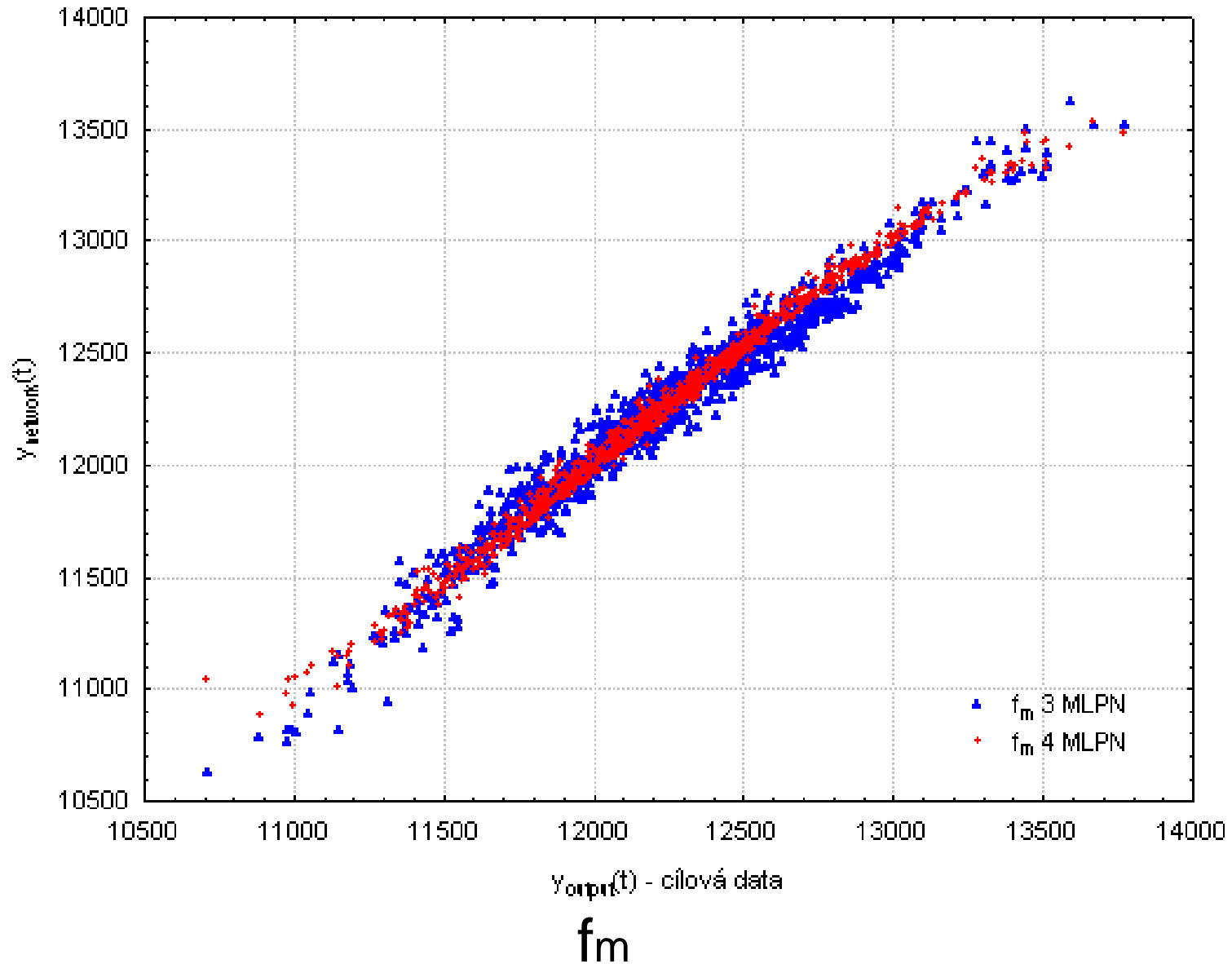


# Ověření aproximačních schopností sítí



ss zisk

 $f_{\theta}$



# Kleštění vstupů vítězných sítí

## Matlab

- Metoda *Přírůstkové měření* — počítání vlivu každého vstupu, napříč natrénovanými neurony ve skrytých vrstvách, na hodnotu výstupu

$$C_{jk} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{hid}} \frac{w_{ij}}{\sum_{l=1}^{N_{in}} |w_{il}|} W_{jk}}{\sum_{m=1}^{N_{in}} \left( \sum_{j=1}^{N_{hid}} \frac{w_{ij}}{\sum_{l=1}^{N_{in}} |w_{il}|} W_{jk} \right)} \quad \text{a} \quad S_3 \left( \left. \begin{matrix} \\ \\ \end{matrix} \right) \right) C_i = \sum_{k=1}^{N_{out}} |C_{jk}|,$$

# Klešticí proces u 3vrstvé sítě

1	0,00000
2	0,00000
3	0,00000
4	0,00000
5	0,22640
6	0,05065
7	0,06996
8	0,09659
9	0,08088
10	0,11566
11	0,12139
12	0,10192
13	0,08324
14	0,05341
15	0,16131
16	0,08260
17	0,04836
18	0,08097
19	0,08081
20	0,05681
21	0,08198
22	0,07600
23	0,08304
24	0,04768
25	0,08284
26	0,11892
27	0,06824
28	0,06204
29	0,05278
30	0,06142
31	0,06458
32	0,05781
33	0,06031
34	0,06047
35	0,11069
36	0,05512
37	0,10214
38	0,07675
39	0,09605
40	0,07020

setříděná data

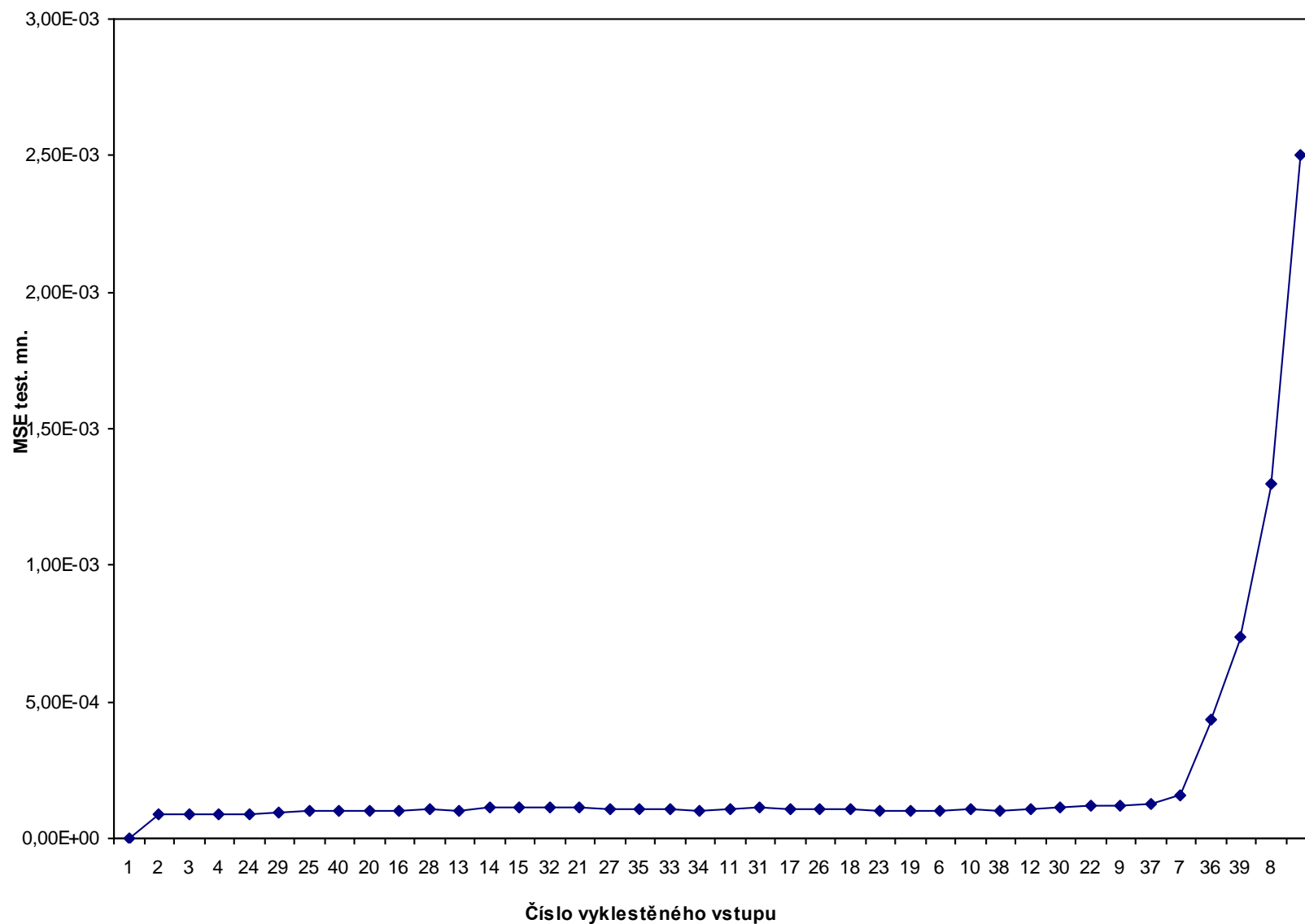
1	0,00000
2	0,00000
3	0,00000
4	0,00000
24	0,04768
17	0,04836
6	0,05065
29	0,05278
14	0,05341
36	0,05512
20	0,05681
32	0,05781
33	0,06031
34	0,06047
30	0,06142
28	0,06204
31	0,06458
27	0,06824
7	0,06996
40	0,07020
22	0,07600
38	0,07675
19	0,08081
9	0,08088
18	0,08097
21	0,08198
16	0,08260
25	0,08284
23	0,08304
13	0,08324
39	0,09605
8	0,09659
12	0,10192
37	0,10214
35	0,11069
10	0,11566
26	0,11892
11	0,12139
15	0,16131
5	0,22640



Pořadí klešticí	Číslo vyklešticího vstupu	MSE test. mn.
1	1	9,00E-05
2	2	9,00E-05
3	3	9,00E-05
4	4	9,00E-05
5	24	9,50E-05
6	29	9,80E-05
7	25	1,02E-04
8	40	9,80E-05
9	20	1,02E-04
10	16	1,04E-04
11	28	9,92E-05
12	13	1,14E-04
13	14	1,16E-04
14	15	1,15E-04
15	32	1,11E-04
16	21	1,09E-04
17	27	1,06E-04
18	35	1,05E-04
19	33	1,02E-04
20	34	1,09E-04
21	11	1,13E-04
22	31	1,05E-04
23	17	1,04E-04
24	26	1,07E-04
25	18	1,02E-04
26	23	1,02E-04
27	19	9,98E-05
28	6	1,07E-04
29	10	1,02E-04
30	38	1,07E-04
31	12	1,13E-04
32	30	1,21E-04
33	22	1,22E-04
34	9	1,26E-04
35	37	1,55E-04
36	7	4,36E-04
37	36	7,38E-04
38	39	1,30E-03
39	8	2,50E-03
40	5	



# Graf MSE v průběhu klestění



# Klestící proces u 4vrstvé sítě

1	0,00000
2	0,00000
3	0,00000
4	0,00000
5	0,15342
6	0,04828
7	0,03654
8	0,06189
9	0,08518
10	0,04490
11	0,06919
12	0,07233
13	0,04287
14	0,05758
15	0,06359
16	0,03993
17	0,01793
18	0,04836
19	0,04530
20	0,01795
21	0,01440
22	0,02931
23	0,05162
24	0,03999
25	0,04857
26	0,04346
27	0,03448
28	0,05905
29	0,04182
30	0,04613
31	0,03484
32	0,06968
33	0,03008
34	0,06305
35	0,03196
36	0,03774
37	0,06715
38	0,04163
39	0,05953
40	0,06393

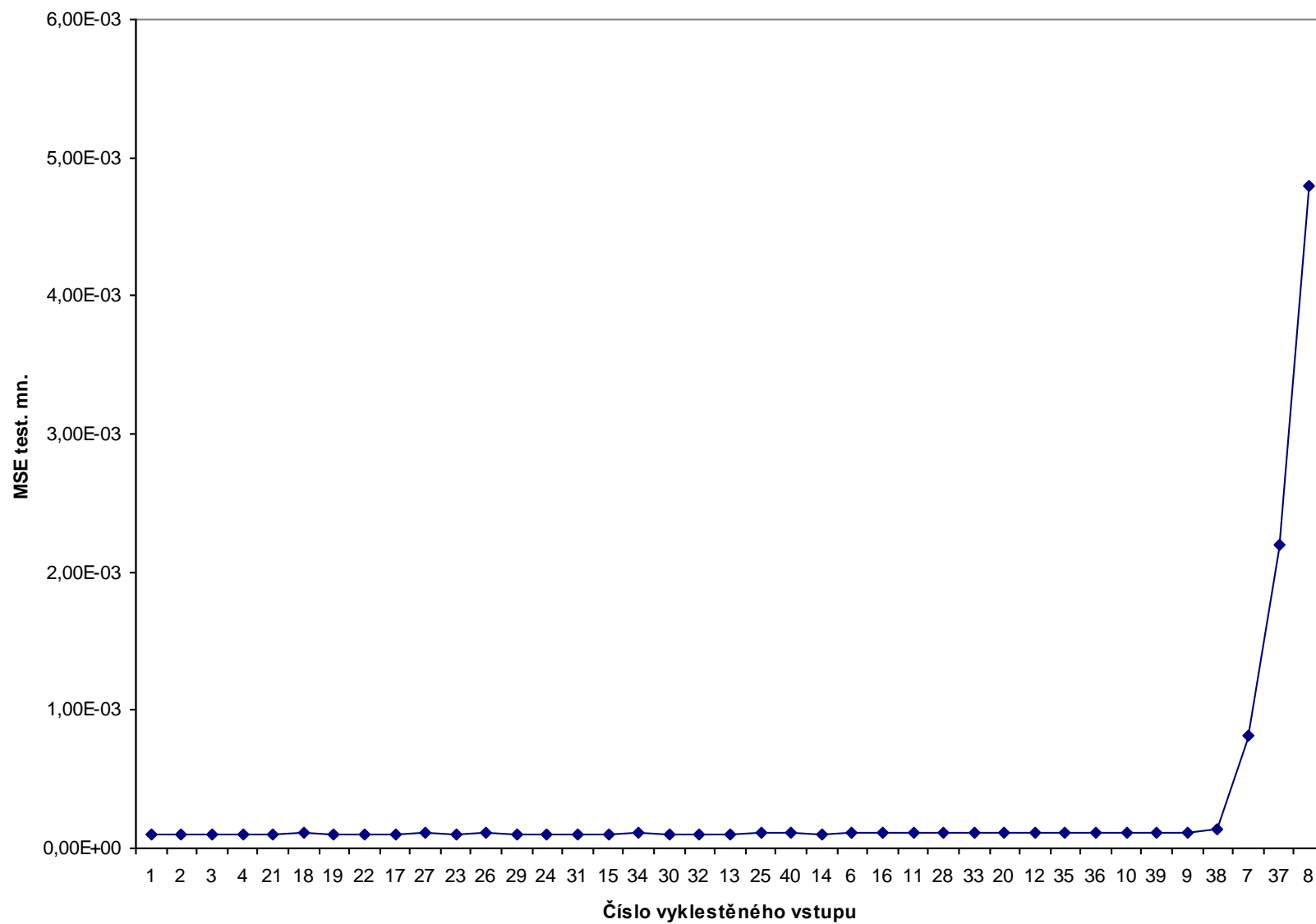
setříděná data

1	0,00000
2	0,00000
3	0,00000
4	0,00000
21	0,01440
17	0,01793
20	0,01795
22	0,02931
33	0,03008
35	0,03196
27	0,03448
31	0,03484
7	0,03654
36	0,03774
16	0,03993
24	0,03999
38	0,04163
29	0,04182
13	0,04287
26	0,04346
10	0,04490
19	0,04530
30	0,04613
6	0,04828
18	0,04836
25	0,04857
23	0,05162
14	0,05758
28	0,05905
39	0,05953
8	0,06189
34	0,06305
15	0,06359
40	0,06393
37	0,06715
11	0,06919
32	0,06968
12	0,07233
9	0,08518
5	0,15342



Pořadí klestění	Číslo vyklestěného vstupu	MSE test. mn.
1	1	1,04E-04
2	2	1,04E-04
3	3	1,04E-04
4	4	1,04E-04
5	21	1,02E-04
6	18	1,08E-04
7	19	1,06E-04
8	22	1,00E-04
9	17	1,06E-04
10	27	1,07E-04
11	23	9,98E-05
12	26	1,10E-04
13	29	1,05E-04
14	24	1,06E-04
15	31	1,02E-04
16	15	1,04E-04
17	34	1,07E-04
18	30	9,99E-05
19	32	1,02E-04
20	13	1,04E-04
21	25	1,07E-04
22	40	1,08E-04
23	14	1,06E-04
24	6	1,09E-04
25	16	1,07E-04
26	11	1,10E-04
27	28	1,11E-04
28	33	1,10E-04
29	20	1,11E-04
30	12	1,11E-04
31	35	1,10E-04
32	36	1,11E-04
33	10	1,12E-04
34	39	1,11E-04
35	9	1,12E-04
36	38	1,37E-04
37	7	8,21E-04
38	37	2,20E-03
39	8	4,80E-03
40	5	

# Graf MSE v průběhu klestění

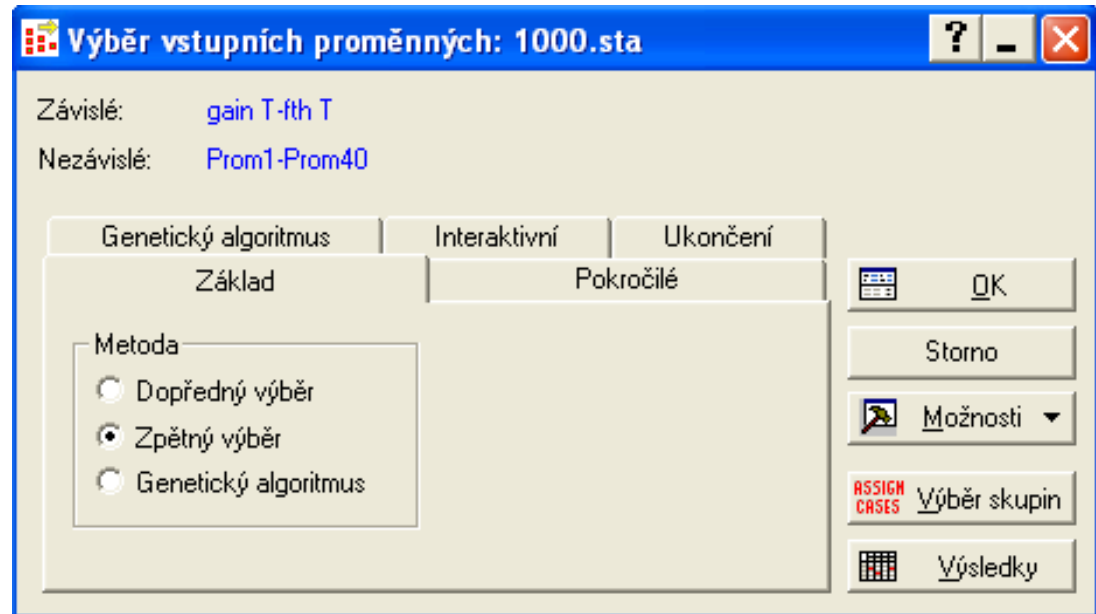


## Výsledky klestícího procesu

- síť 40-5-3 byla zjednodušena na 6-5-3, kde jako vstupy jsou vzorky z IR č. 5, 7, 8, 36, 37 a 39
- síť 40-5-5-3 byla zjednodušena na 4-5-5-3, kde jako vstupy jsou vzorky z IR č. 5, 7, 8 a 37

# STATISTICA

- použití “hrubé síly” — řada experimentů s různými kombinacemi vstupů



- po eliminaci vstupů zhruba na 1/3 původního počtu pokračování pomocí metody **Genetického algoritmu**



# 3vrstvá MLPN — metoda Zpětného výběru

	Chyba	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40												
23.36	1.083330	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	-	A	-	-	-												
24.1	1.083842	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	A											
24.2	1.083605	-	-	-	-	A	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	A										
24.5	1.083724	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A										
24.6	1.083493	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A										
24.9	1.084195	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A									
24.12	1.083603	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A									
24.13	1.083828	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A								
24.16	1.084216	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A								
24.19	1.083896	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A								
24.22	1.083384	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A							
24.23	1.083229	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A							
24.25	1.083048	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A						
24.26	1.083199	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A						
24.29	1.083081	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A					
24.36	1.083013	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
25.1	1.083724	-	-	-	-	A	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
25.2	1.083483	-	-	-	-	A	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
25.5	1.083605	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
25.6	1.083368	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
25.9	1.084088	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
25.12	1.083481	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
25.13	1.083712	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
25.16	1.084110	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
25.19	1.083781	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
25.22	1.083256	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
25.23	1.083097	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
25.25	1.082911	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
25.26	1.083066	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25.29	1.082945	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26.1	1.083829	-	-	-	-	A	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
26.2	1.083583	-	-	-	-	A	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26.5	1.083709	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26.6	1.083464	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26.9	1.084205	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26.12	1.083581	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26.13	1.083817	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26.16	1.084226	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26.19	1.083889	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26.22	1.083349	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26.23	1.083187	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26.26	1.083155	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26.29	1.083030	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Konečný	1.081260	-	-	-	-	A	A	A	A	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	



# 3vrstvá MLPN — metoda Genetického algoritmu

	Chyba	5	6	7	8	9	10	13	20	23	27	33	36	37	39
50.24	1,156957	A	A	-	A	-	-	A	-	-	A	A	A	A	-
50.25	1,152768	A	A	A	-	A	-	A	A	A	A	A	-	-	A
50.26	1,154851	A	A	A	A	-	A	A	A	A	-	A	A	A	A
50.27	1,150842	A	A	A	A	-	A	A	A	A	A	-	-	A	A
50.28	1,152900	A	A	A	A	-	-	A	A	A	A	-	-	-	A
50.29	1,153534	A	A	A	-	-	-	A	-	-	A	A	A	-	A
50.30	1,159408	A	A	A	A	-	-	A	-	-	A	A	A	A	A
50.31	1,154965	A	A	A	-	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
50.32	1,150660	A	A	-	-	A	-	A	A	A	A	A	-	-	A
50.33	1,150819	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	-	-	-
50.34	1,154597	A	-	-	-	A	-	A	-	-	A	A	A	-	A
50.35	1,151465	A	A	A	-	A	-	A	A	A	-	A	-	-	A
50.36	1,148209	A	A	A	-	A	A	A	A	A	-	A	-	-	A
50.37	1,154551	-	-	A	A	A	-	-	A	A	A	A	-	-	-
50.38	1,159276	A	A	-	A	A	A	A	A	A	-	A	A	A	-
50.39	1,149399	A	A	A	A	-	-	A	A	A	A	-	-	-	A
50.40	1,151418	-	A	-	-	A	-	A	-	-	A	A	A	-	A
50.41	1,149550	A	A	A	A	-	-	A	A	A	A	-	-	-	A
50.42	1,155445	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	A	A	A
50.43	1,151405	A	A	A	A	-	-	A	-	A	A	A	A	-	A
50.44	1,151461	A	A	A	A	-	A	-	-	-	A	A	A	-	A
50.45	1,150721	A	A	-	-	A	A	-	A	-	A	A	A	A	A
50.46	1,150953	A	A	A	A	A	-	A	A	-	A	A	A	A	-
50.47	1,155447	A	A	A	A	A	A	A	A	A	-	-	-	-	A
50.48	1,151662	A	-	A	A	-	A	A	A	A	-	A	A	A	A
50.49	1,157877	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	A	-	-
50.50	1,154520	A	-	A	A	A	A	-	A	A	A	A	A	-	A
51.1	1,149399	-	-	A	A	-	A	A	-	A	-	A	A	A	-
51.2	1,149440	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	-	A	A	-
51.3	1,149496	-	A	-	-	A	-	A	A	-	A	A	A	-	A
51.4	1,149388	A	-	A	-	A	-	A	-	A	A	A	A	-	-
51.5	1,149242	-	A	A	A	-	-	A	-	-	A	A	A	-	-
51.6	1,149585	A	A	-	A	-	A	A	A	A	-	A	-	-	A
51.7	1,149550	-	-	A	-	A	-	A	A	-	-	A	A	-	A
51.8	1,150064	-	-	-	-	A	-	A	A	A	A	A	-	-	A
51.9	1,150013	A	A	A	A	-	A	A	A	A	A	A	-	-	A
51.10	1,149591	-	-	-	-	A	-	A	A	A	A	-	-	-	A
51.11	1,149674	A	-	-	-	A	A	-	A	-	A	A	A	-	A
51.12	1,149651	A	-	A	-	A	A	A	-	A	-	A	A	-	A
51.13	1,149514	A	A	-	-	A	A	A	-	A	-	A	-	-	A
51.14	1,149624	A	A	A	-	A	A	A	A	A	A	A	-	-	A
Konečný	1,145309	A	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A

# 4vrstvá MLPN — metoda Zpětného výběru

	Chyba	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
30.26	1,176938	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	A	A	-	-	A	A		
30.29	1,176748	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	A	A	-	-	A	A	
30.30	1,176581	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	A	A	-	-	A	A	
30.32	1,176604	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	A	A	-	-	A	A		
30.33	1,176597	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	A	A	-	A	-	-	A	A	-	-	A	A		
30.35	1,176525	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A		
30.36	1,176578	-	-	-	-	A	A	A	-	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	A	A	-	-	-	A	A	
30.39	1,176554	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	A	A	-	-	-	A	
30.40	1,176539	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	
31.14	1,176270	-	-	-	-	A	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A		
31.17	1,176532	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A		
31.20	1,176688	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A		
31.23	1,176625	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	
31.26	1,176458	-	-	-	-	A	-	A	A	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	
31.29	1,176264	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	
31.30	1,176091	-	-	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	
31.32	1,176115	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	-	-	A	-	-	-	A	A	
31.33	1,176107	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	-	-	-	A	-	-	A	A	
31.36	1,176088	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	-	-	-	A	A	
31.39	1,176064	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	-	A	
31.40	1,176048	-	-	-	-	-	-	A	A	A	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	
32.14	1,176023	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-	
32.17	1,176291	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-
32.20	1,176430	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-
32.23	1,176387	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-
32.26	1,176216	-	-	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-
32.29	1,176017	-	-	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	A	A	-	-	A	-	-	A	-
32.30	1,175839	-	-	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	
32.32	1,175864	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-
32.33	1,175856	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-
32.36	1,175836	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	A	-
32.39	1,175811	-	-	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-
33.14	1,176025	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-
33.17	1,176300	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-
33.20	1,176443	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-
33.23	1,176400	-	-	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-
33.26	1,176224	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-
33.29	1,176020	-	-	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-
33.30	1,175837	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	-	-	-	-
33.32	1,175863	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-
33.33	1,175854	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-	-	-
33.36	1,175834	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-
Konečný	1,173211	-	-	-	-	A	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

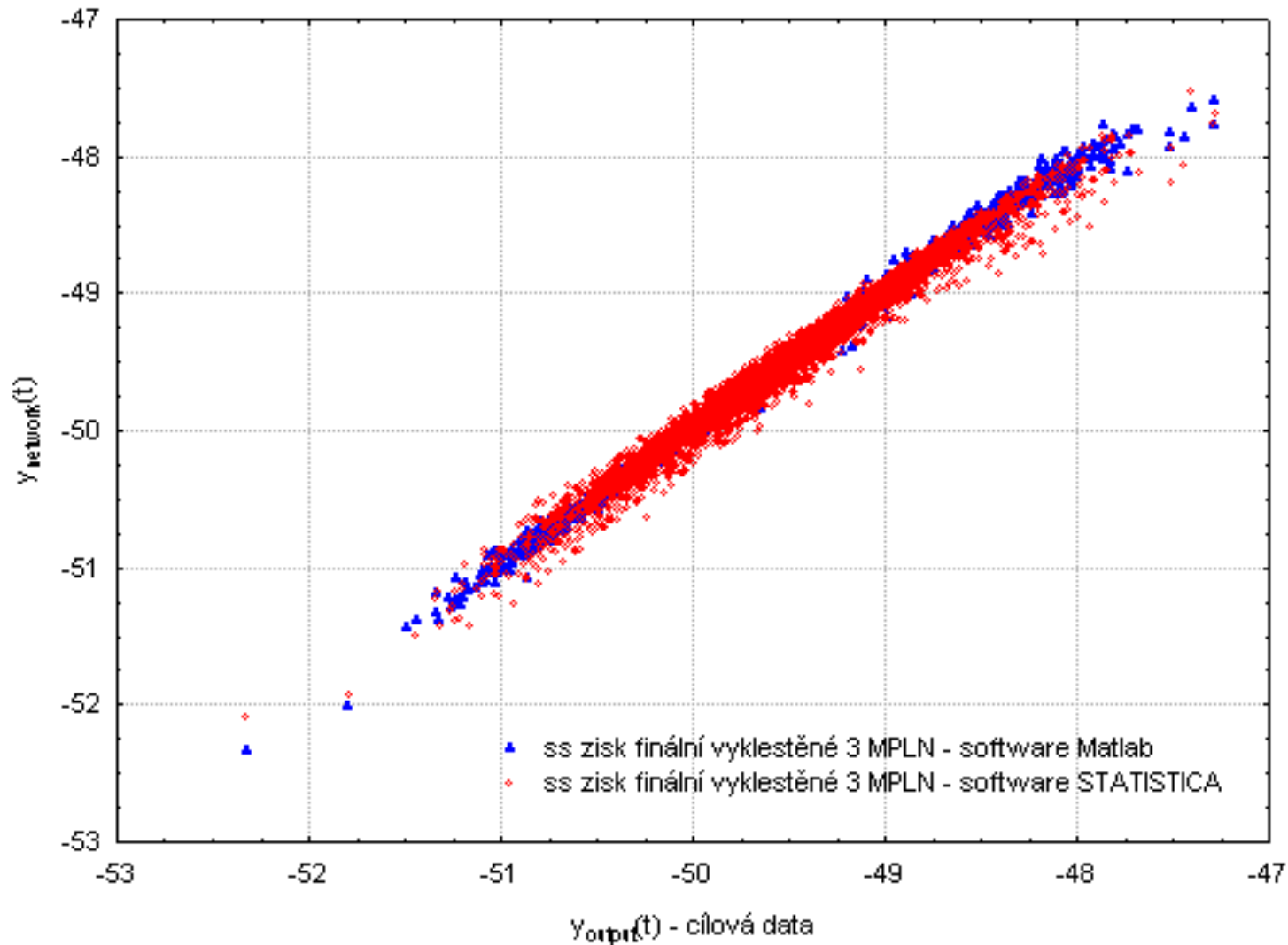
# 4vrstvá MLPN — metoda Genetického algoritmu

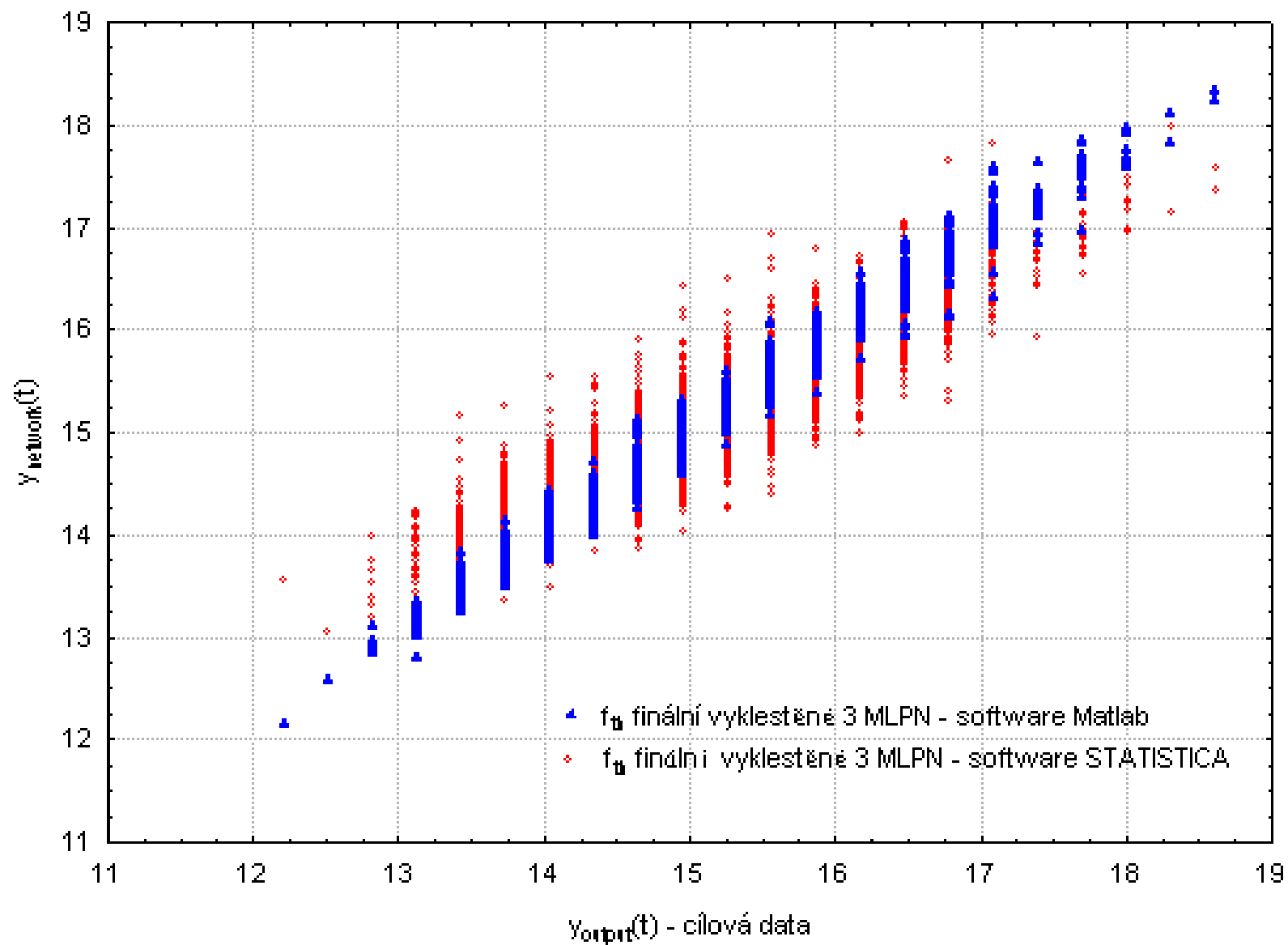
	Chyba	5	6	7	8	14	17	23	26	29	32	36	37	38	40
36.49	1,209222	A	A	A	A	-	A	A	A	-	A	A	A	A	A
36.50	1,208275	A	-	-	-	-	A	A	A	A	A	-	A	A	A
37.1	1,208238	A	-	A	-	-	A	A	A	A	-	A	A	-	A
37.2	1,208462	A	A	-	-	-	A	A	A	A	A	A	A	A	A
37.3	1,208984	A	-	A	-	-	A	-	A	A	-	A	-	A	A
37.4	1,208429	A	A	A	-	-	A	A	A	A	A	A	-	A	A
37.5	1,208525	A	A	A	-	-	A	-	A	-	-	-	A	A	-
37.6	1,209396	A	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	A	A	A
37.7	1,208078	-	A	A	-	-	A	-	-	A	A	-	-	-	A
37.8	1,209324	A	A	A	A	-	A	-	-	-	-	-	A	-	-
37.9	1,208844	A	A	A	A	-	-	-	-	A	-	A	-	-	-
37.10	1,208865	A	A	A	A	-	A	-	-	-	A	-	A	-	A
37.11	1,208680	A	-	A	-	-	-	-	-	A	-	A	A	A	A
37.12	1,208364	A	A	A	-	-	A	A	-	A	A	-	A	A	-
37.13	1,208620	A	A	-	-	-	A	A	-	A	-	A	A	-	-
37.14	1,210102	A	-	-	-	-	A	A	-	-	-	-	A	-	A
37.15	1,208970	A	A	-	-	-	A	A	-	A	-	A	A	-	A
37.16	1,210411	A	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	A	-	A
37.17	1,208419	A	A	A	-	-	A	A	-	-	-	-	A	A	A
37.18	1,208540	A	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-	A	-	A
37.19	1,208738	-	-	A	-	-	-	A	-	-	A	-	A	A	A
37.20	1,210506	A	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	A
37.21	1,208579	-	A	A	-	-	-	-	-	-	A	A	A	-	A
37.22	1,208218	A	A	A	-	-	-	-	-	A	A	A	-	-	-
37.23	1,208153	A	-	-	-	-	-	-	-	A	A	A	A	A	A
37.24	1,208511	A	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	A
37.25	1,208509	A	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A
37.26	1,208540	A	-	-	-	-	-	A	A	A	A	-	A	-	A
37.27	1,208572	A	-	-	-	-	-	A	A	A	A	-	A	A	-
37.28	1,208739	-	A	A	A	-	-	A	A	-	-	-	-	A	A
37.29	1,210258	-	-	-	A	-	-	-	A	A	-	A	-	-	-
37.30	1,210803	A	-	-	-	-	-	A	A	-	A	A	-	-	A
37.31	1,208205	-	A	-	A	-	-	A	A	A	A	-	-	A	A
37.32	1,207939	-	-	A	-	-	-	A	-	A	A	A	-	A	A
37.33	1,209449	-	A	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	A	-
37.34	1,208922	A	-	-	-	-	-	-	-	A	A	-	-	A	A
37.35	1,207925	-	-	A	-	-	-	-	-	A	A	A	-	-	A
37.36	1,209515	A	A	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	A	-
37.37	1,208291	-	-	-	-	-	A	-	-	A	A	-	A	-	A
37.38	1,209462	A	-	A	-	-	A	-	A	-	A	A	-	-	-
37.39	1,208569	A	A	A	A	-	A	-	A	A	A	A	-	A	-
37.40	1,209002	A	A	-	-	A	A	-	-	A	-	A	A	A	-
37.41	1,208395	A	-	-	A	A	A	-	A	A	A	-	A	A	-
37.42	1,208197	-	A	A	-	A	A	-	A	A	-	-	A	A	A
Konečný	1,193790	A	-	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A

## Výsledky klestícího procesu

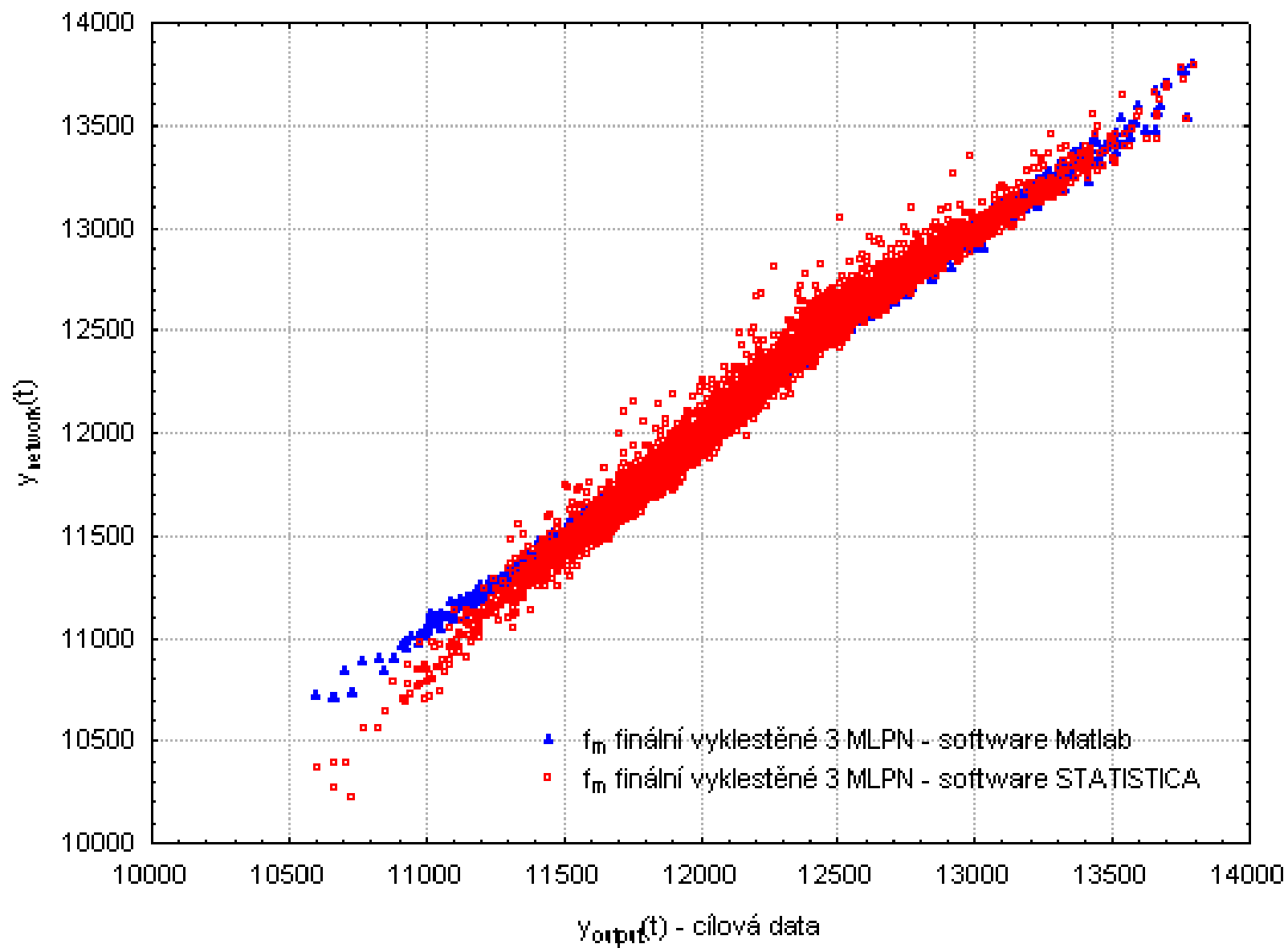
- síť 40-5-3 byla zjednodušena na 6-5-3, kde jako vstupy jsou vzorky z IR č. 5, 7, 8, 36, 37 a 39.
- síť 40-5-5-3 byla zjednodušena na 5-5-5-3, kde jako vstupy jsou vzorky z IR č. 5, 7, 8, 37 a 38.

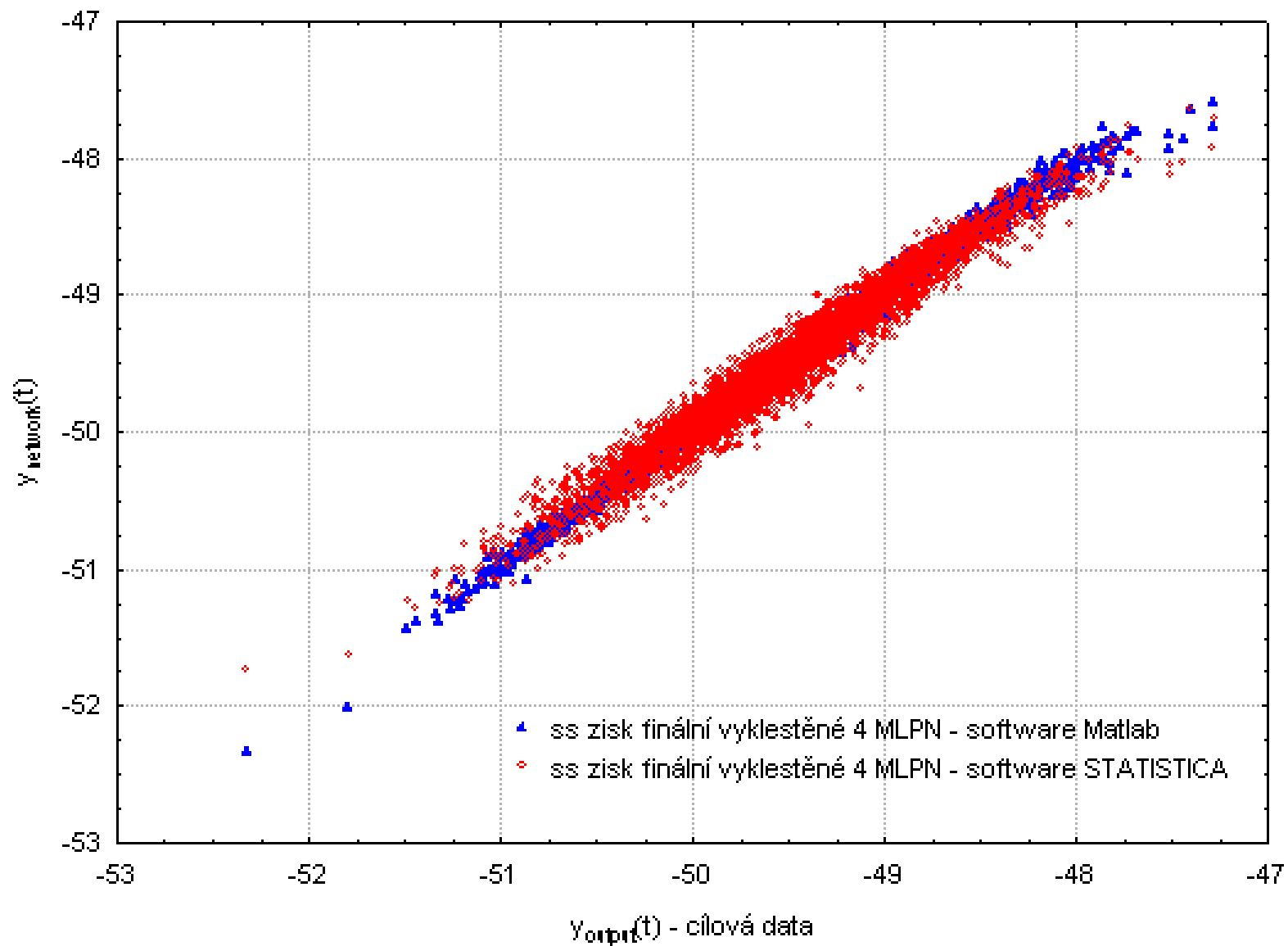
# Porovnání aproximačních vlastností jednotlivých finálních sítí

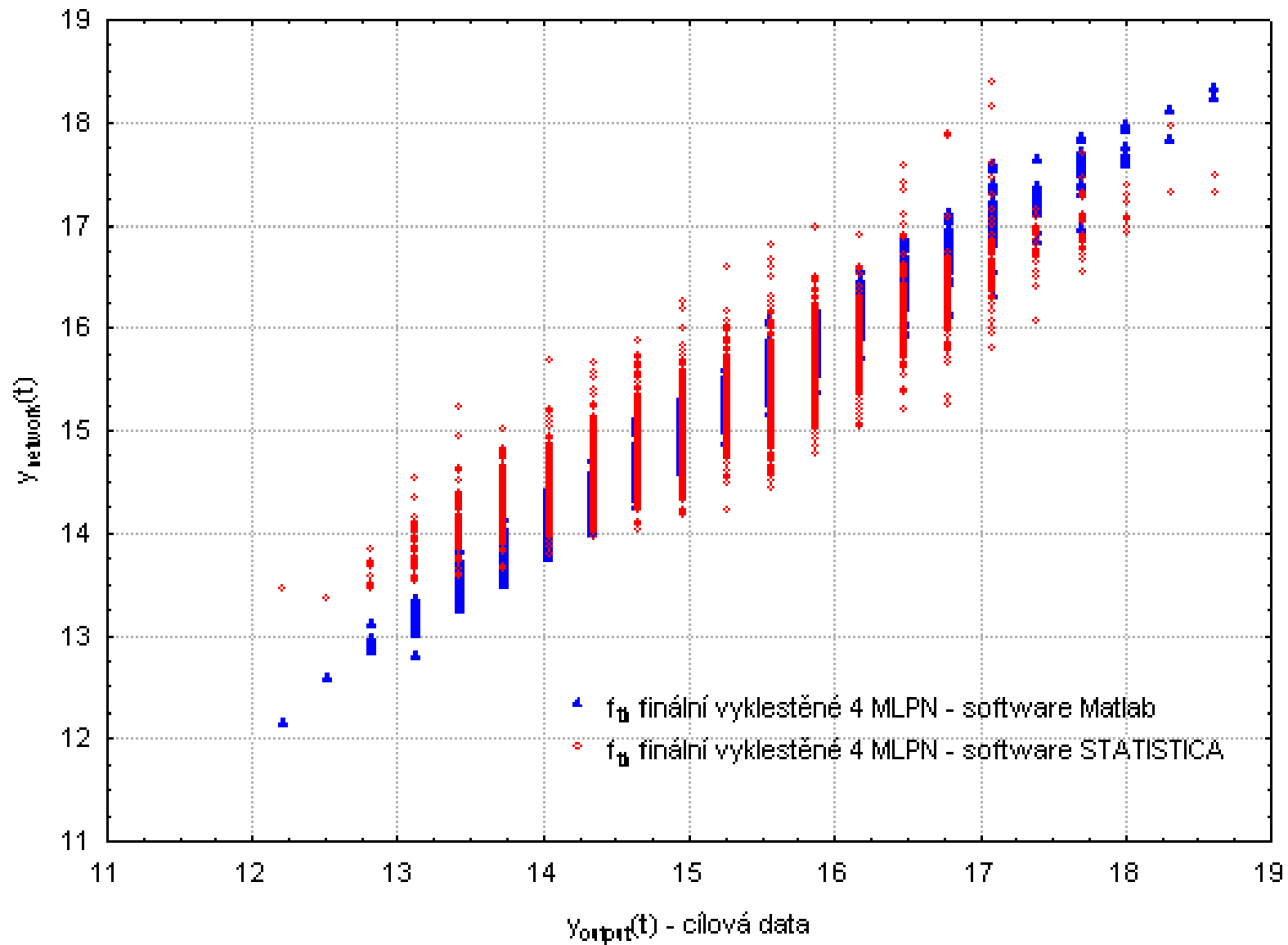


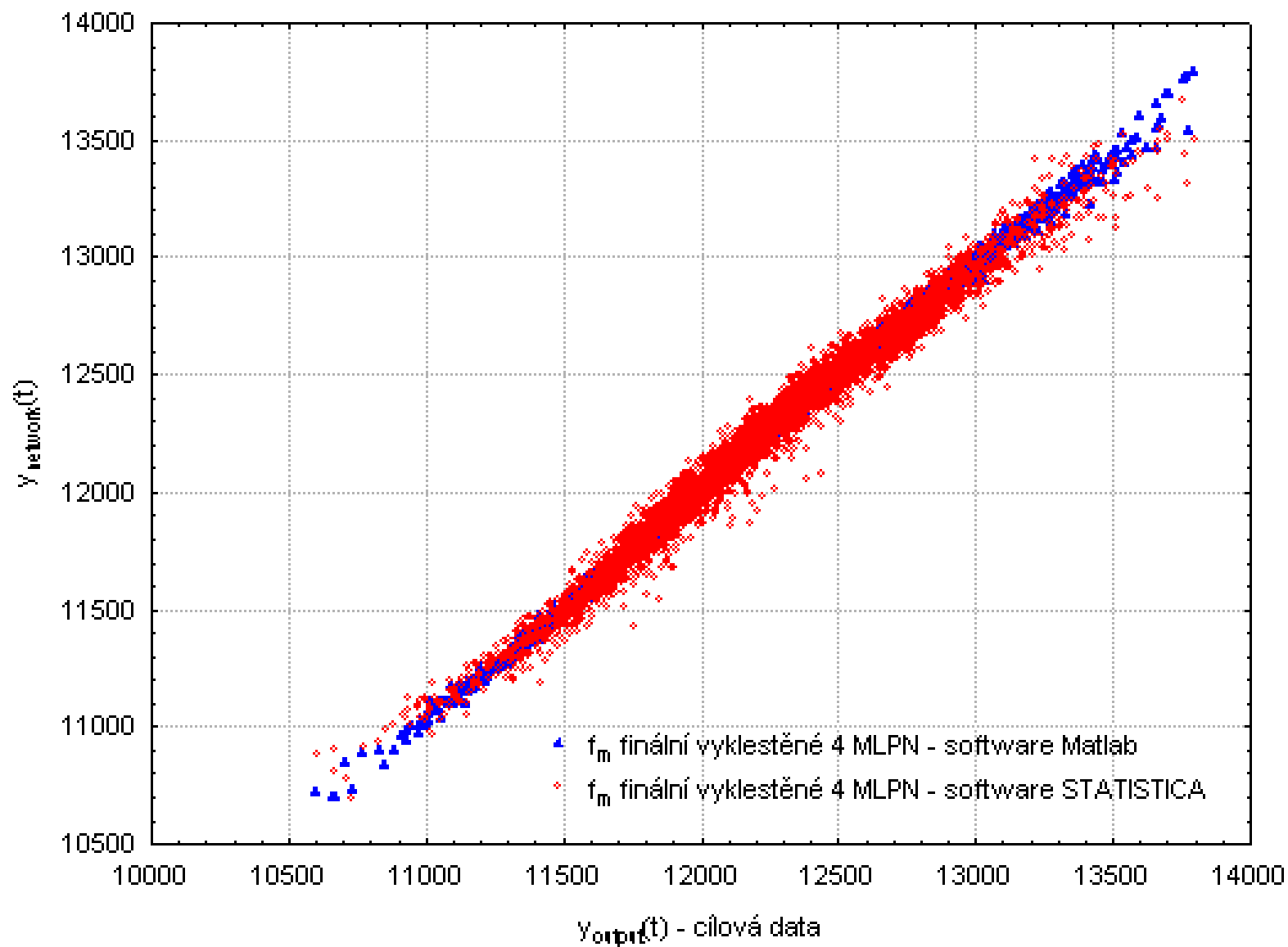












# Zhodnocení jednotlivých SW

## Matlab

- + lepší aproximační schopnost programovací SW
- vyšší nároky na uživatele

# STATISTICA

- + více detailních nastavení  
příjemné uživatelské rozhraní
- horší aproximační schopnost  
pokročilé funkce jen pro zkušené uživatele



## Zhodnocení řešení

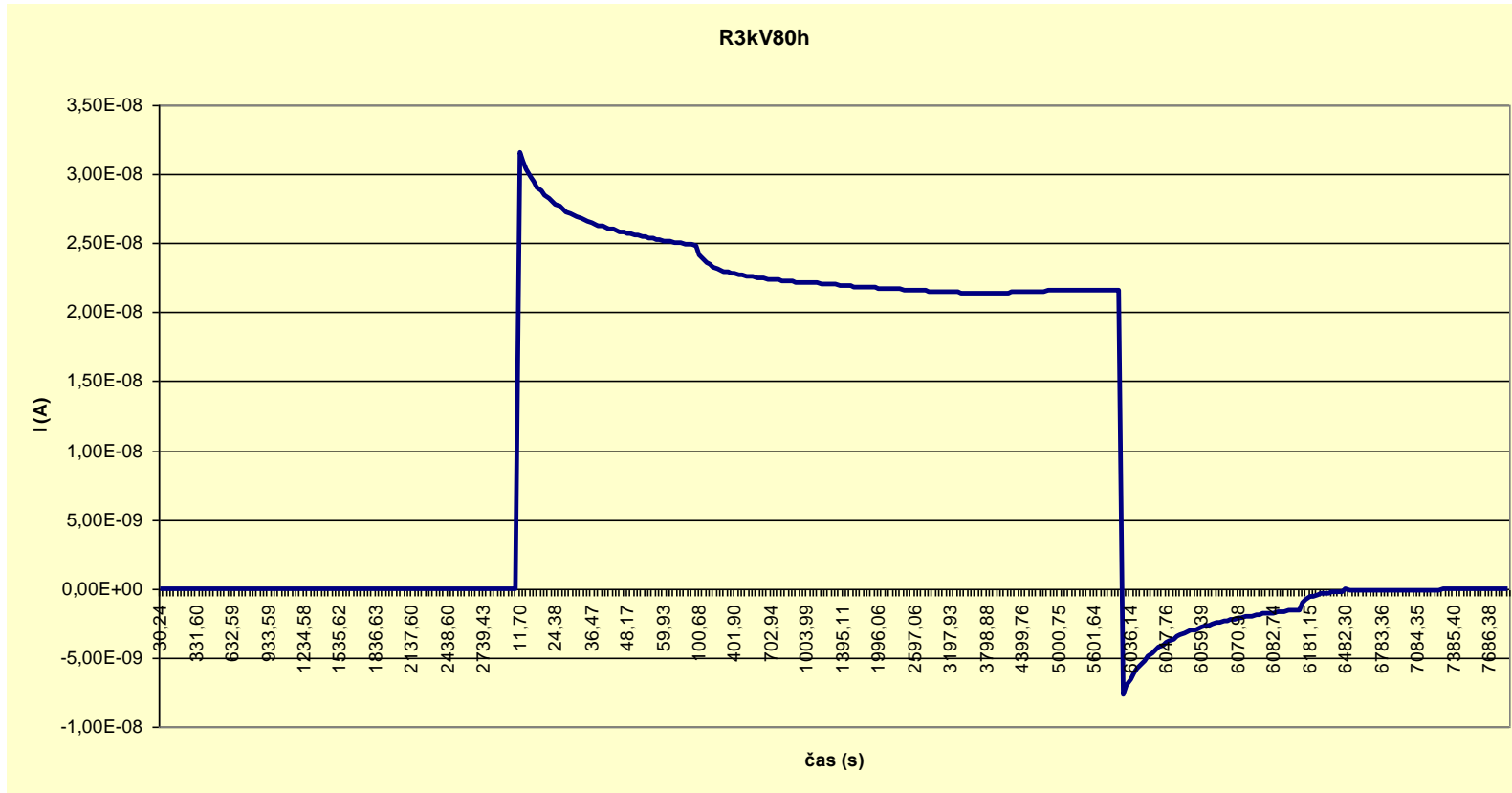
- jedná se o další krok v diagnostice a testování MEMS akcelerometrů
- návrh řešení, jehož realizace nevyžaduje žádné nákladné přístroje
- perspektivní směr testování MEMS akcelerometrů

- použití neuronových sítí pro testování a diagnostiku MEMS akcelerometrů je v podstatě další krok v této oblasti
- lze úspěšně využít hlavní výhody neuronových sítí — absence přesného algoritmu řešení
- nejlepší nalezené sítě 40-5-3 a 40-5-5-3 byly klestícím procesem zjednodušeny až na finální architekturu 6-5-3 a 4-5-5-3 v případě Matlabu, resp. na 6-5-3 a 5-5-5-3 v případě SW STATISTICA

## Klasifikační problém

- soubor absorpčních a resorpčních křivek po různém stupni namáhání – několik hodnot přiloženého napětí a časů
- použití umělých neuronových sítí pro inteligentní klasifikaci výsledných průběhů do skupin
- využití postupu učení sítí bez učitele – samoorganizační NS

# Typický průběh zpracovávaných křivek



# Základní analýza dat - Absorpce

	Absorpce													
	Vzorek 1		Vzorek 2		Vzorek 3		Vzorek 4		Vzorek 5		Průměr	Min	Max	Podíl Max/Min
Dodaný stav	11,48	1,80E-09	11,60	2,02E-09	11,66	1,94E-09	11,57	2,06E-09	11,58	1,90E-09	1,94E-09	1,80E-09	2,06E-09	1,15
3kV80h	11,57	1,18E-08	11,70	3,16E-08	11,66	2,98E-08	11,60	2,59E-08	11,65	3,70E-08	2,72E-08	1,18E-08	3,70E-08	3,13
3kV140h	11,53	1,74E-08	11,64	2,23E-08	11,52	6,13E-09	11,64	1,71E-08	11,55	8,14E-09	1,42E-08	6,13E-09	2,23E-08	3,63
3kV200h	11,62	2,16E-08	11,53	1,29E-08	11,55	1,48E-08	11,49	1,56E-08	11,81	1,47E-08	1,59E-08	1,29E-08	2,16E-08	1,67
3kV280h	11,58	1,45E-08	11,58	1,00E-08	11,59	1,48E-08	11,77	2,51E-08	11,71	2,01E-08	1,69E-08	1,00E-08	2,51E-08	2,50
3,5kV50h	11,83	2,79E-08	11,80	5,61E-08	11,80	3,24E-08	11,73	1,71E-08	11,60	5,89E-09	2,79E-08	5,89E-09	5,61E-08	9,52
3,5kV80h	11,90	4,93E-08	11,72	6,11E-07	11,82	6,03E-08	11,90	4,13E-08	11,84	3,93E-08	1,60E-07	3,93E-08	6,11E-07	15,54
3,5kV140h	11,80	1,22E-08	11,73	1,52E-08	11,80	2,04E-08	11,78	1,65E-08	11,75	7,41E-09	1,43E-08	7,41E-09	2,04E-08	2,75
4kV20h	11,74	1,17E-08	11,79	3,34E-09	11,75	1,46E-08	11,79	1,11E-08	11,76	2,45E-09	8,64E-09	2,45E-09	1,46E-08	5,96
4kV50h	11,73	1,84E-08	11,85	2,16E-08	11,89	3,72E-08	11,66	1,92E-08	11,83	5,45E-08	3,02E-08	1,84E-08	5,45E-08	2,96
4kV80h	11,88	3,10E-08	11,90	7,60E-08	11,83	4,63E-08	11,89	4,51E-08	11,82	4,21E-08	4,81E-08	3,10E-08	7,60E-08	2,45
4,5kV8h	11,62	1,69E-08	11,72	3,35E-08	11,73	4,31E-08	11,82	1,67E-07	11,72	2,23E-08	5,66E-08	1,69E-08	1,67E-07	9,93
4,5kV20h	11,70	2,99E-09	11,67	1,54E-08	11,58	5,58E-09	11,75	4,16E-09	11,55	7,06E-09	7,04E-09	2,99E-09	1,54E-08	5,15
5kV7h	11,60	8,91E-09	11,60	9,89E-09	11,50	1,19E-08	11,53	1,88E-08	11,59	1,28E-08	1,25E-08	8,91E-09	1,88E-08	2,11
5kV14h	11,71	3,30E-08	11,66	1,27E-07	11,58	1,88E-08	11,65	5,29E-08	11,65	1,81E-08	5,00E-08	1,81E-08	1,27E-07	7,03
T stab	11,66	2,97E-09	11,63	2,42E-09	11,73	2,74E-09	11,67	2,36E-09	11,68	2,34E-09	2,57E-09	2,34E-09	2,97E-09	1,27

# Základní analýza dat - Resorpce

## Resorbce

Vzorek 1

Vzorek 2

Vzorek 3

Vzorek 4

Vzorek 5

Průměr

Min

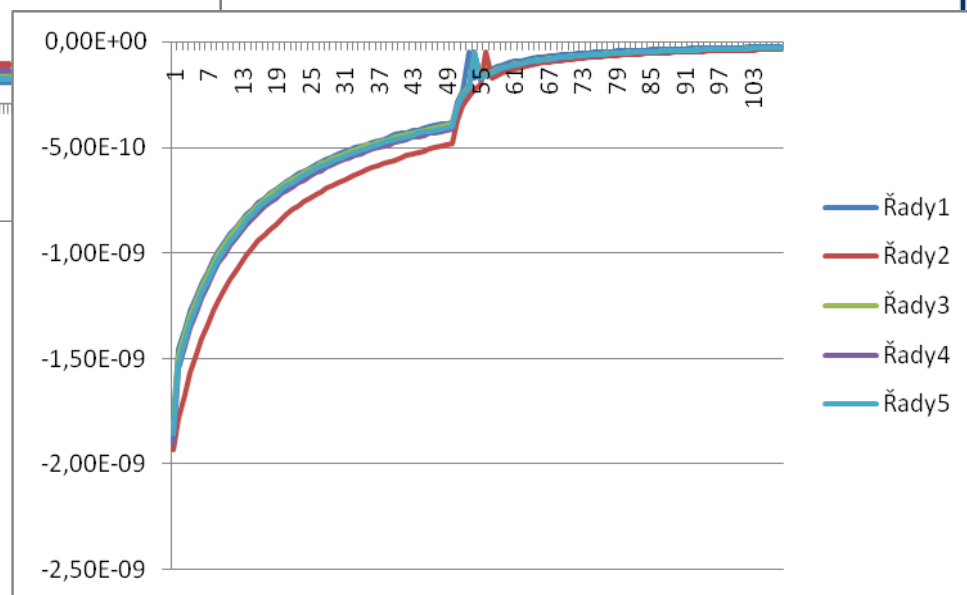
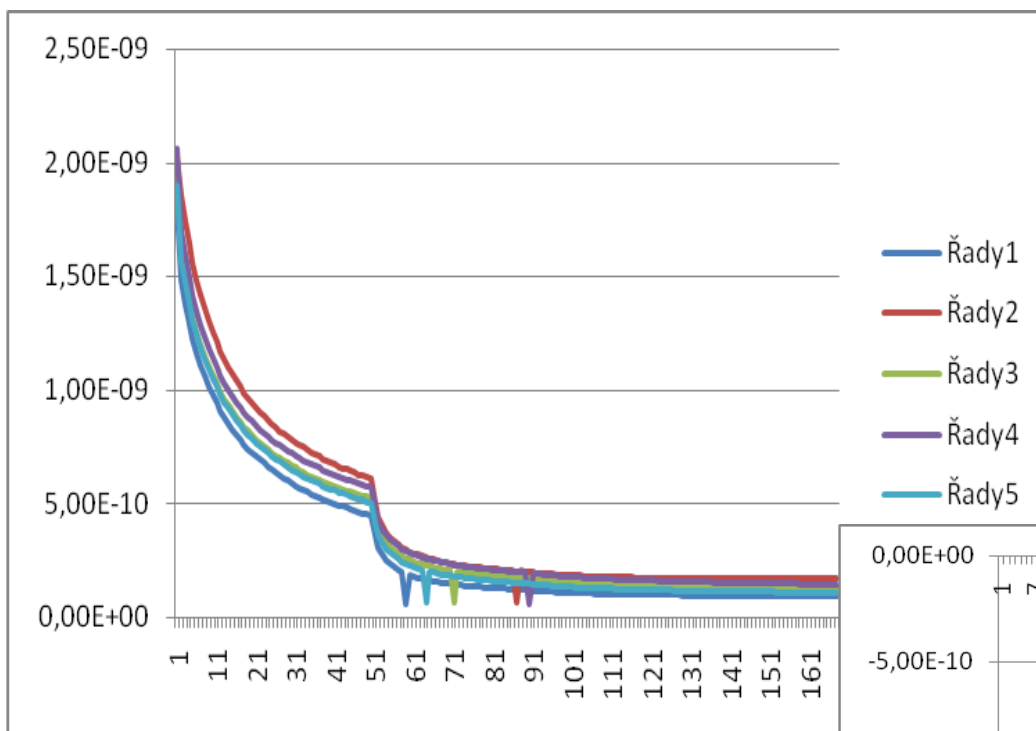
Max

Podíl Min/Max

Dodaný stav	6037,51	-1,78E-09	6040,37	-1,93E-09	6041,76	-1,81E-09	6041,58	-1,90E-09	6040,19	-1,85E-09
3kV80h	6032,09	-7,60E-09	6033,79	-7,69E-09	6033,77	-7,38E-09	6032,25	-6,53E-09	6032,55	-7,88E-09
3kV140h	6032,41	-5,65E-09	6032,51	-5,79E-09	6032,38	-4,09E-09	6033,77	-5,21E-09	6033,90	-5,28E-09
3kV200h	6032,56	-8,03E-09	6032,70	-5,79E-09	6032,53	-5,37E-09	6032,59	-4,76E-09	6041,25	-5,35E-09
3kV280h	6037,92	-7,01E-09	6038,96	-5,23E-09	6038,15	-6,18E-09	6039,25	-7,53E-09	6040,32	-6,09E-09
3,5kV50h	6041,17	-5,46E-09	6039,37	-5,47E-09	6038,37	-6,19E-09	6040,18	-5,49E-09	6038,88	-5,12E-09
3,5kV80h	6041,24	-4,93E-09	6039,30	-1,50E-08	6039,35	-8,19E-09	6041,63	-6,59E-09	6039,82	-6,53E-09
3,5kV140h	6041,70	-7,85E-09	6039,80	-6,21E-09	6041,81	-6,27E-09	6041,47	-7,06E-09	6041,32	-5,18E-09
4kV20h	6040,75	-6,13E-09	6041,57	-2,69E-09	6041,65	-5,90E-09	6041,69	-5,30E-09	6042,04	-2,17E-09
4kV50h	6041,55	-8,09E-09	6041,53	-7,66E-09	6040,99	-8,28E-09	6040,24	-6,81E-09	6041,27	-1,25E-08
4kV80h	6041,21	-8,48E-09	6040,18	-9,61E-09	6039,81	-8,61E-09	6040,63	-6,94E-09	6040,46	-7,44E-09
4,5kV8h	6038,47	-4,88E-09	6038,61	-5,92E-09	6038,87	-7,80E-09	6041,24	-8,12E-09	6038,97	-6,54E-09
4,5kV20h	6040,98	-2,47E-09	6040,72	-7,55E-09	6038,33	-4,46E-09	6040,93	-3,46E-09	6033,29	-5,10E-09
5kV7h	6033,52	-5,94E-09	6033,39	-5,51E-09	6030,82	-6,39E-09	6032,58	-6,79E-09	6032,35	-5,54E-09
5kV14h	6032,93	-6,67E-09	6032,76	-1,41E-08	6032,19	-7,05E-09	6032,44	-1,02E-08	6033,44	-6,42E-09
T stab	6039,85	-2,52E-09	6039,79	-2,21E-09	6041,43	-2,36E-09	6040,11	-2,19E-09	6039,74	-2,10E-09

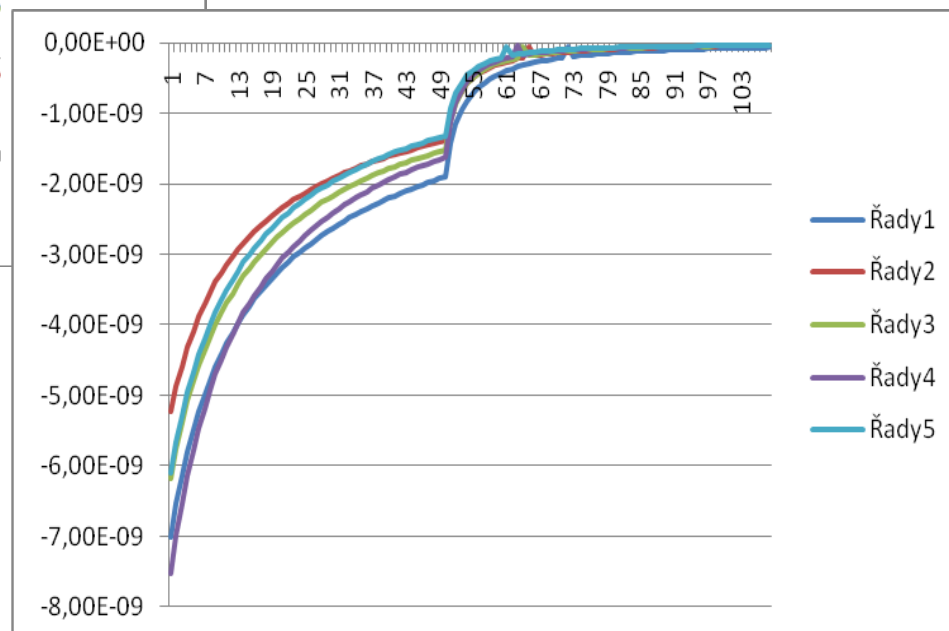
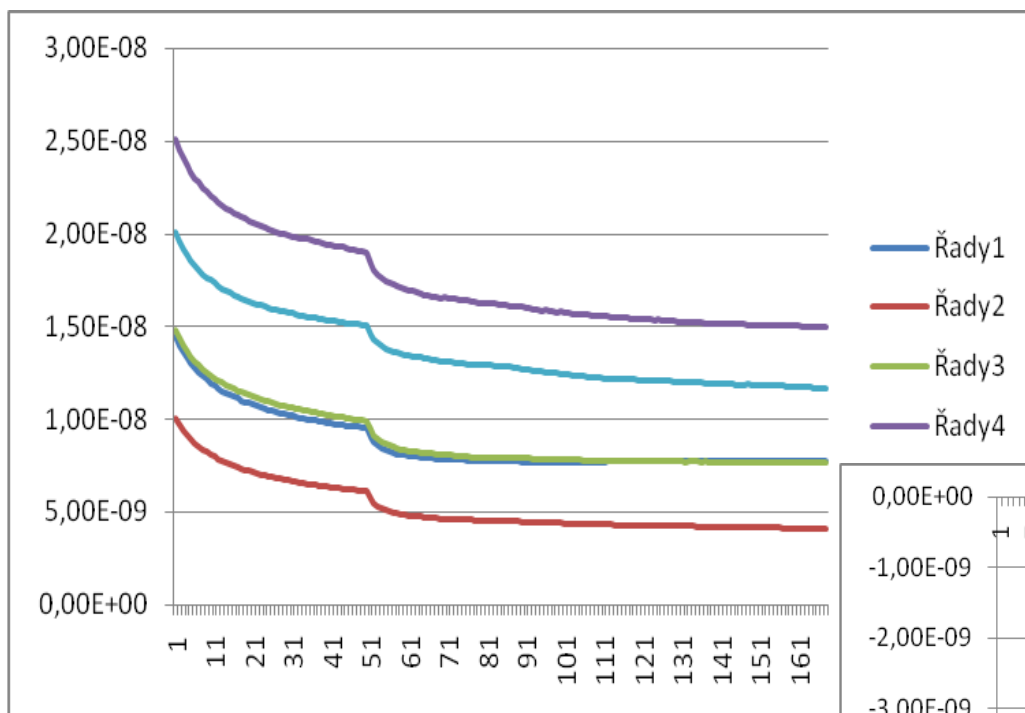
-1,85E-09	-1,93E-09	-1,78E-09	1,08
-7,42E-09	-7,88E-09	-6,53E-09	1,21
-5,20E-09	-5,79E-09	-4,09E-09	1,42
-5,86E-09	-8,03E-09	-4,76E-09	1,69
-6,41E-09	-7,53E-09	-5,23E-09	1,44
-5,55E-09	-6,19E-09	-5,12E-09	1,21
-8,24E-09	-1,50E-08	-4,93E-09	3,04
-6,51E-09	-7,85E-09	-5,18E-09	1,52
-4,44E-09	-6,13E-09	-2,17E-09	2,83
-8,67E-09	-1,25E-08	-6,81E-09	1,84
-8,21E-09	-9,61E-09	-6,94E-09	1,39
-6,65E-09	-8,12E-09	-4,88E-09	1,66
-4,61E-09	-7,55E-09	-2,47E-09	3,06
-6,03E-09	-6,79E-09	-5,51E-09	1,23
-8,89E-09	-1,41E-08	-6,42E-09	2,20
-2,28E-09	-2,52E-09	-2,10E-09	1,20

# Grafické znázornění vstupních dat

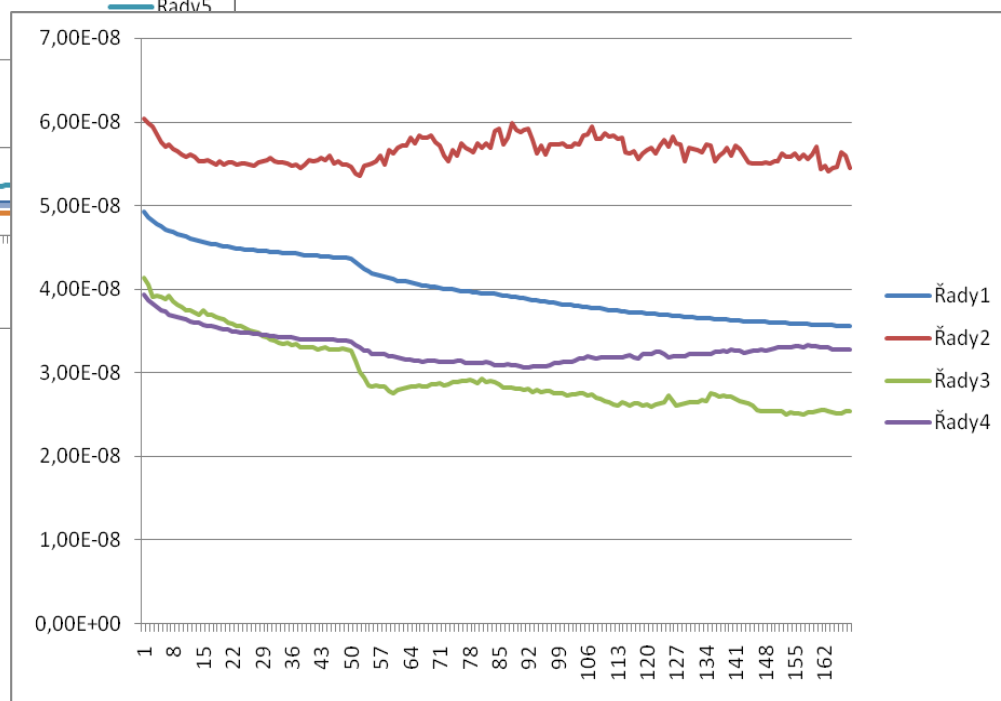
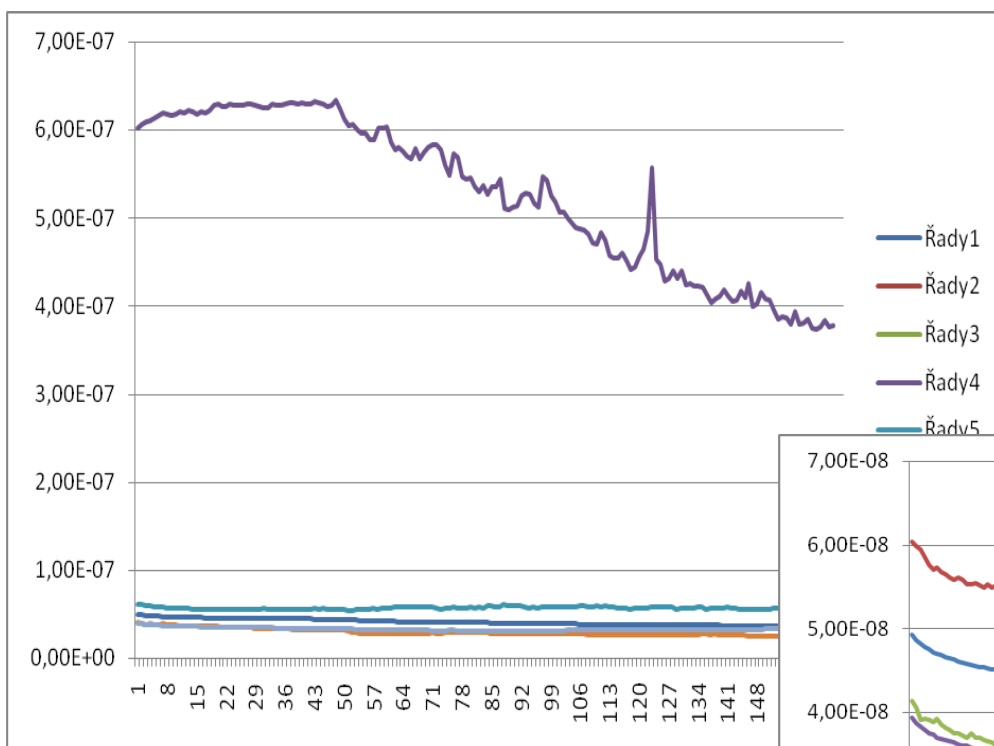




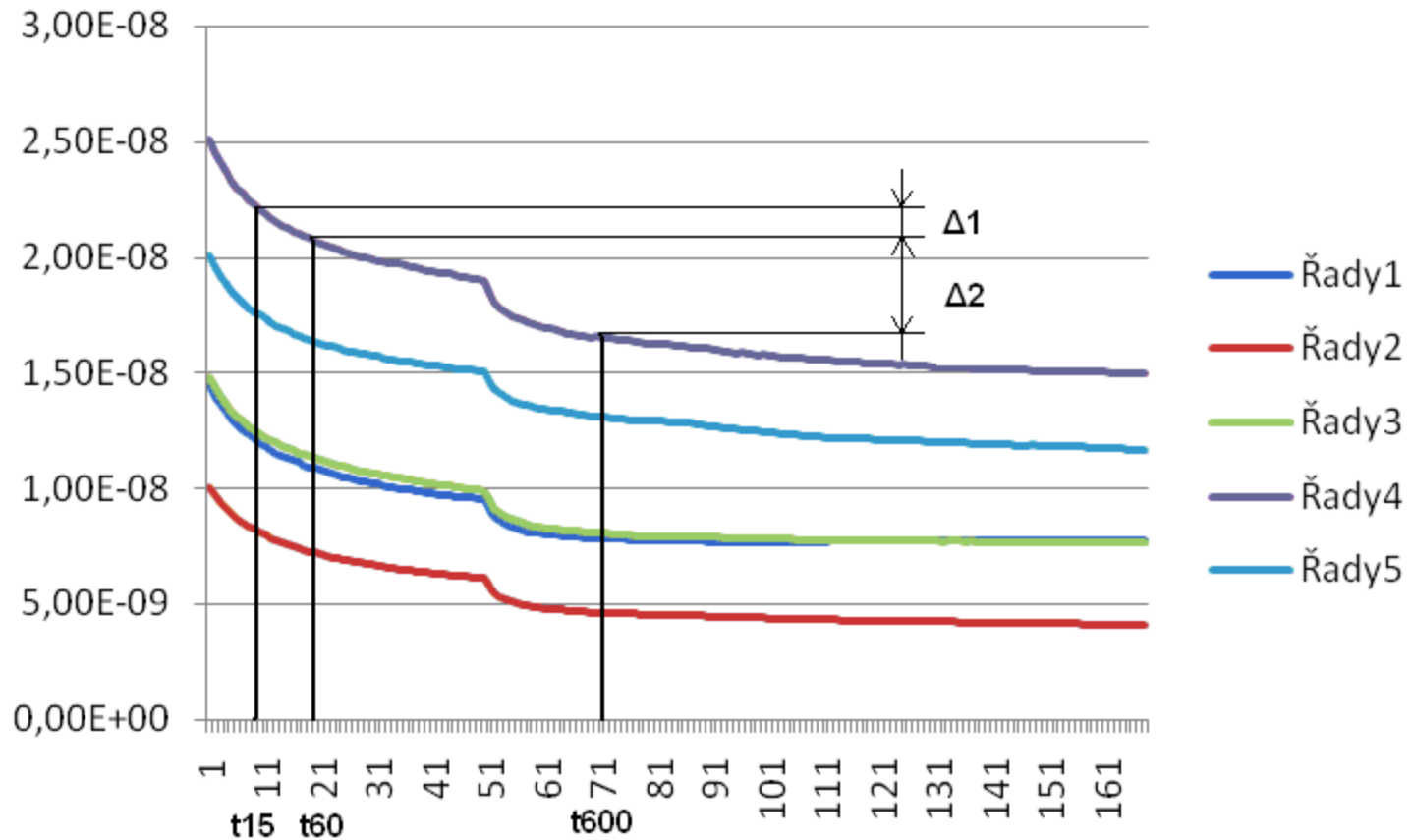
# Grafické znázornění dat – 3kV 280h



# Grafické znázornění dat – 3,5kV 80h



# Způsob řešení problému



## Postup řešení

- výpočetní operace s daty – zjištění  $\Delta$
- řešení pomocí programu Matlab v. 7.0
- vytvoření samoklasifikační neuronové sítě Learning Vector Quantization (LVQ) network
- po nalezení správného algoritmu řešení porovnání výsledků při vstupu absorpčních  $\Delta$ , resorpčních  $\Delta$  a dále přímo hodnot  $I$  v t15, 60 a 600 (bez  $\Delta$ )
- ***tento problém je v současnosti v řešení***

Děkuji za pozornost

tumova@ket.zcu.cz

lkupka@ket.zcu.cz