

Univerzita Pardubice  
Fakulta ekonomicko-správní

**Modelování predikce ozonu pomocí RBF  
neuronových sítí**

**Marcela Vaňkátová**

Diplomová práce

2011

Univerzita Pardubice  
Fakulta ekonomicko-správní  
Akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Marcela VAŇKÁTOVÁ**  
Osobní číslo: **E09837**  
Studijní program: **N6209 Systémové inženýrství a informatika**  
Studijní obor: **Informatika ve veřejné správě**  
Název tématu: **Modelování predikce ozónu pomocí RBF neuronových sítí**  
Zadávací katedra: **Ústav systémového inženýrství a informatiky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Analyzujte vstupní data (parametry) pro následující predikci.  
Charakterizujte RBF neuronové sítě z hlediska aproximace a predikce.  
Navrhněte model na predikci ozónu.  
Verifikujte navržený model.  
Uskutečňte analýzu výsledků.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**KVASNIČKA, V. a kol.:** Úvod do teorie neuronových sítí. Iris, Bratislava, 1997.

**HAYKIN, S.:** Neural Networks: A Comprehensive Foundation. 2nd edition, New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1999, 842s.

Vedoucí diplomové práce:

**prof. Ing. Vladimír Olej, CSc.**

Ústav systémového inženýrství a informatiky

Datum zadání diplomové práce: **5. října 2010**

Termín odevzdání diplomové práce: **6. května 2011**

doc. Ing. Renáta Myšková, Ph.D.

děkanka

L.S.

doc. Ing. Jiří Krupka, Ph.D.

vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 5. října 2010

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona, zejména ze skutečnosti, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 17.4.2011

Marcela Vaňkátová

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Vladimíru Olejovi, CSc. za odbornou pomoc, připomínky a podporu při vypracovávání této diplomové práce.

## **NÁZEV**

Modelování predikce ozonu pomocí RBF neuronových sítí

## **ANOTACE**

Diplomová práce se zabývá modelováním dopředné neuronové sítě typu RBF (radiální bazická funkce) pro predikci ozonu. K procesu učení neuronové sítě slouží data získaná z ozonové stanice Pardubice – Dukla. Cílem práce je podat ucelený náhled na problematiku ozonu spolu s návrhem modelu pro predikci ozonu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

ozon, RBF neuronová síť, predikce, SPSS Clementine

## **TITLE**

Prediction of Ozone Modelling by RBF Neural Networks

## **ANNOTATION**

This thesis deals with modeling of forward type neural network RBF (radial basic function) for the prediction of ozone. The process of neural networks are used ozone data from station Pardubice - Dukla. The goal is to provide a comprehensive view on the issue of ozone together with a draft model for the prediction of ozone.

## **KEYWORDS**

ozone, RBF neural network, prediction, SPSS Clementine

## OBSAH

ÚVOD .....	9
1. ATMOSFÉRA.....	10
2. ULTRAFIALOVÉ ZÁŘENÍ.....	12
3. OZONOVÁ VRSTVA .....	13
3.1. Ozon.....	13
3.2. Stratosférický ozon .....	13
3.2.1. Měření ozonu.....	14
3.2.2. Solární a ozonová observatoř (SOO) Hradec Králové.....	20
3.3. Troposférický ozon.....	22
3.4. Látky poškozující ozonovou vrstvu Země.....	26
3.4.1. Montrealský protokol .....	29
3.5. Ozonová díra.....	29
3.5.1. Aktuální informace o ozonové díře.....	31
3.6. Klady a zápory ozonu .....	34
3.7. Legislativní opatření ČR.....	36
3.8. Shrnutí kapitoly .....	37
4. NEURONOVÉ SÍTĚ.....	38
4.1. RBF NEURONOVÉ SÍTĚ .....	40
4.2. Aktivační funkce.....	42
4.3. Učení RBF .....	44
4.4. Centra RBF neuronů.....	45
4.5. Shrnutí kapitoly .....	47
5. PREDIKCE OZONU POMOCÍ RBF NEURONOVÝCH SÍTÍ.....	48
5.1. Předzpracování .....	49
5.2. Návrh modelu predikce ozonu.....	52
5.2.1. Poměr 50:50 .....	56

5.2.2.	Poměr 60:40 .....	60
5.2.3.	Poměr 70:30 .....	65
5.2.4.	Poměr 80:20 .....	69
5.2.5.	Poměr 90:10 .....	74
5.3.	Porovnání výsledků .....	79
5.4.	Shrnutí kapitoly .....	85
6.	ZÁVĚR.....	86
7.	ZDROJE.....	87
8.	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	91
9.	SEZNAM TABULEK.....	91
10.	SEZNAM GRAFŮ .....	92
11.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....	94



## ÚVOD

Diplomová práce se zabývá problematikou predikce ozonu s využitím RBF (Radial Basis Function) neuronové sítě. Problematika ozonu je v posledních letech stále zmiňovaný problém. Je třeba neustále sledovat stav ozonu a to nejen stratosférického, který tvoří ozonovou vrstvu Země, ale také troposférického, který člověku nejvíce škodí. Troposférický ozon v ovzduší vzniká vlivem lidské činnosti, predikce se bude tedy týkat právě tohoto ozonu.

Práce je členěna do pěti hlavních kapitol. První kapitola podává ucelený přehled o jednotlivých vrstvách atmosféry. Druhá kapitola se týká slunečního záření. Je zde snaha nastínit problém pronikání škodlivého záření na Zemi. Toto záření má vliv nejen na člověka, ale i na rostlinstvo a zvířata. Třetí kapitola je nejvíce rozsáhlá, neboť poukazuje na problematiku ozonu. Pojednává o stratosférickém a troposférickém ozonu, vysvětluje rozdíl mezi nimi a to nejen v působení, ale také ve vzniku. Dále pojednává o možnostech měření ozonu a o látkách, které ozon poškozují. U ozonu nesmí chybět zmínka o ozonové díře a také legislativě, která se této problematice věnuje. Čtvrtá kapitola věnována neuronovým sítím, konkrétně definuje, co neuronové sítě jsou, jaké je jejich členění a možné využití. Kapitola se dále konkrétně zabývá určitým typem neuronové sítě a to RBF neuronovou sítí. Tato síť je použita pro modelování, proto je v kapitole zmíněno vedle základních charakteristik, také učení této sítě. Poslední kapitola se zabývá samotnou predikcí ozonu v navrženém modelu. Je zde uvedeno potřebné předzpracování dat, výběr vhodných atributů, dále nastavení neuronové sítě a výsledky samotné predikce.

Cílem diplomové práce je podat ucelený náhled na problematiku ozonu spolu s návrhem modelu pro predikci ozonu pomocí RBF neuronových sítí.

## 1. ATMOSFÉRA

Tato kapitola představuje atmosféru z hlediska jejího rozčlenění do jednotlivých sfér. Každá sféra se od ostatních odlišuje. Největší pozornost je věnována troposféře a stratosféře, které jsou stěžejní pro další výklad v následujících kapitolách.

Země je obklopena vrstvou plynů, které říkáme atmosféra. Atmosféra nám zajišťuje vzduch, který dýcháme, a také nás chrání před škodlivými účinky slunečního záření. Vlastní váha Země spolu s gravitační silou zajišťují, že se plyny nerozptýlí ve vesmíru. Jde o směs deseti různých plynů, kde převážnou složku tvoří dusík (78%) a kyslík (21%). Zbývající jedno procento tvoří argon, oxid uhličitý, helium a neon. Tyto plyny chemicky nereagují s ostatními látkami, jsou netečné. Atmosféru dále tvoří např. oxid siřičitý, amoniak, oxid uhelnatý, ozon a vodní páry. Atmosféra mimo těchto složek obsahuje také nečistoty a zplodiny, sopečný popel a prach [1].

Nedá se přesně určit hranice, kde končí atmosféra, odhaduje se však výška několika tisíc kilometrů. Směs plynů a drobných částic je rozdělena do pěti základních vrstev. Tyto vrstvy jsou troposféra, stratosféra, mezosféra, termosféra a exosféra. Jednotlivé vrstvy (příloha 1) mezi sebou nepřecházejí jednorázově, jsou od sebe odděleny tzv. mezivrstvami [2].

### Troposféra

Jde o vrstvu, která je nejbližší Zemi, ale u povrchu nedosahuje stále konstantní výšky. Průměrně sahá do vzdálenosti jedenácti kilometrů, ovšem na pólech je to osm kilometrů a nad rovníkem dokonce osmnáct kilometrů. V této části atmosféry je koncentrace ovzduší 70 – 80%. Je zde obsažena téměř veškerá vodní pára, ale i prach zemského povrchu. Jde o teplou vrstvu atmosféry, protože je zahřívána slunečními paprsky, které se odrážejí od povrchu Země [1]. Teplota klesá v troposféře o 6.5 °C na jeden kilometr výšky. Pokles zastaví až tropopauza, která tvoří horní hranici troposféry [2].

Vše co je spojováno s počasím na Zemi, se děje právě v troposféře. Část této vrstvy zaujímá i biosféra, která umožňuje život. Pro představu sahá do výšky, kam vyletí ptáci a do hloubek oceánů. Existují v ní vztahy mezi rostlinami a živočichy, které zajišťují život. Atmosféra si koloběh života udržovala stovky tisíc let, ale v důsledku působení lidské činnosti, dochází k narušování života na Zemi. Objevuje se skleníkový efekt (oteplování

Země), jedovaté zplodiny, ubývání ozonové vrstvy a kyselé deště (spojení oxidu dusíku s oxidem siřičitým za vzniku kyseliny sírové a dusičné) [1].

### Stratosféra

Průměrná výška stratosféry je zhruba padesát kilometrů nad zemským povrchem. Do dvaceti kilometrů je teplota ve vrstvě stabilní, ovšem nad touto hladinou začíná teplota stoupat. Teplota je zde vyšší než v troposféře. Náhlý růst teploty si lze vysvětlit stále se zvyšujícím pohlcováním škodlivého ultrafialového záření ozonem. Někdy se také tato vrstva pro svou schopnost pohlcovat záření označuje jako ozonosféra. Především v té oblasti, kde dochází k růstu teploty, tedy od dvaceti do padesáti kilometrů. Vědci varují, že dochází k porušování ozonové vrstvy a tím slábne ochranný štít Země [2].

### Mezosféra

Nad stratosférou se vyskytuje vrstva stratopauzy, která je silná deset kilometrů. Teprve nad stratopauzou je mezoféra, která dosahuje až do výšky osmdesáti kilometrů. Teplota v této vrstvě velice klesá, a to až na hodnotu  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Následuje dvoukilometrová mezopauza, nejchladnější oblast celé atmosféry [2].

### Termosféra

Termosféra leží ve výšce okolo sta kilometrů a je rozdělena na dvě části - ionosféru a magnetosféru. V ionosféře způsobuje sluneční záření ionizaci (částice získávají elektrický náboj). Magnetosféra je hranicí zemského magnetického pole. Termosféra je dále charakteristická přibývajícím teplotou s růstem vzdálenosti od zemského povrchu. Nad čtyři sta kilometrů dosahuje vrstva teploty až  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  [1], [2].

### Exosféra

Jde o poslední vrstvu v atmosféře, která se vyskytuje na samém okraji termosféry. Molekuly jsou v exosféře velice daleko od sebe, takže atmosféra plynule přechází v meziplanetární prostor [2].

## 2. ULTRAFIALOVÉ ZÁŘENÍ

Tato kapitola se v krátkosti snaží přiblížit sluneční záření. Každý ví, že bez slunečního svitu by nebyl možný život. Je však nutné si uvědomit i negativní stránky záření, před kterými se musí člověk chránit. Problémem poslední doby se stává pronikání škodlivého UVC záření na Zemi. Toto záření je škodlivé nejen pro člověka a zvířata, ale také pro rostliny, na které působí až toxicky. Kapitola se snaží poukázat na problém pronikání záření vlivem poškození atmosféry.

Ultrafialové záření (UV) je elektromagnetické vlnění, které je součástí slunečního záření. Nachází se mezi viditelným světlem a rentgenovým zářením. Vlnová délka UV záření je od 100 – 400 nm. Ultrafialové záření lze rozdělit do tří skupin [3]:

- a) Ultrafialové záření typu A (UVA, 315 – 400 nm)
- b) Ultrafialové záření typu B (UVB, 280 – 315 nm)
- c) Ultrafialové záření typu C (UVC, 280 – 100 nm)

Dlouhovlnné záření UVA je pro člověka celkem neškodné. Právě toto záření má za následek zhnědnutí kůže, které vzniká krátce po ozáření (opálení). Tento efekt je krátkodobý a kůže svou barvu rychle ztrácí.

Pokud se člověk vystavuje záření UVB, dochází k změnám na kůži. Začnou se tvořit puchýřky, kůže zčervená a je bolestivá na dotek. Působením intenzivního UVB záření, lidé riskují vznik zhoubných onemocnění, tedy rakoviny. Kromě kůže poškozuje toto záření i zrak, konkrétně způsobuje zánět spojivek a šedý zákal oční čočky, jenž může způsobit i slepotu. Mimo člověka a zvířat má záření vliv i na rostlinstvo. Na nižší organismy působí UV záření velice toxicky, negativně působící složkou je převážně UVC záření, proto se můžeme setkat s tímto zářením například při sterilizaci a dezinfekci. Poškozuje také malé organismy vznášející se v moři, které tvoří plankton. Ten je základem potravinových řetězců v oceánu a narušení tohoto systému by mělo silný dopad na život v přírodě [2], [3], [4].

Ultrafialové záření typu C (UVC) záření by mělo být absorbováno atmosférou a na zemský povrch tedy nedopadat. Jde o záření, které je považováno za nejvíce rizikové pro život. V posledních letech na Zemi proniká i toto záření, převážně díky poškození atmosféry. Konkrétně jde o zeslabování ozonové vrstvy.

### 3. OZONOVÁ VRSTVA

Existence ozonové vrstvy byla zjištěna koncem 19. století, na základě studie ultrafialového slunečního záření dopadajícího na zemský povrch. Ukázalo se, že v části spektra 290 – 320 nm právě ozon toto záření z velké části pohlcuje. Dalšími studiemi vyvstala skutečnost, že koncentrace ozonu je při zemském povrchu příliš nízká. Vědci se domnívali, že větší koncentrace bude ve vyšších vrstvách atmosféry [5].

#### 3.1. Ozon

Ozon ( $O_3$ ) je chemickou modifikací kyslíku. Jeho molekula je tvořena třemi atomy kyslíku, kdežto kyslík je tvořen pouze dvěma atomy. Za normálních podmínek se ozon vyskytuje v plynném skupenství a jeho hustota je 1.65. Hustota kyslíku je 1. Jde o látku, která je málo rozpustná ve vodě. Při 0 °C se ve 100 ml vody rozpustí pouze 0.1 g ozonu. Bod varu ozonu je při teplotě -111.9 °C a tvoří tmavomodrou kapalinu. V plynném stavu je ozon nestabilní látkou, která se rozkládá na jeden atom kyslíku a dvouatomovou molekulu kyslíku. Střední doba života se liší od teploty, kde se ozon vyskytuje. Při 20 °C je doba života asi 3 dny, zatímco při -15 °C je to 8 dnů a při -50 °C jsou to dokonce 3 měsíce. Lze tedy vyvodit závěr, že čím je teplota nižší, tím má ozon delší dobu života, je stabilnější. Spolu s fluorem je ozon nejsilnější oxidační činidlo, čehož se využívá v chemii a také v průmyslu [5].

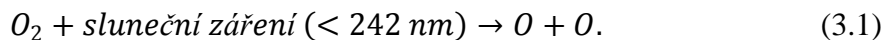
Ve volné přírodě vzniká ozon z dvouatomového kyslíku různými fotochemickými procesy vlivem slunečního záření nebo při přirozených elektrických výbojích. Ozon se vyskytuje v atmosféře ve dvou oblastech. Zhruba z 80 – 90 % se nachází ve stratosféře, zbývajících 10 – 20 % je v troposféře [5].

#### 3.2. Stratosférický ozon

Stratosféra se velice často nazývá ozonosférou. Toto pojmenování vzniklo hlavně z toho důvodu, že se zde tvoří velice potřebný ozon, který chrání naši planetu před škodlivým slunečním zářením. Pokud by tato vrstva neexistovala, nebyl by možný život na Zemi. Lidé by umírali na nemoci způsobené ozářením, rostliny by nemohly růst a život by se stal velice problematickým až nemožným.

Celkové množství ozonu ve stratosféře je kolem 3 miliard tun. Toto množství se může zdát veliké, ale je to pouze 0.00006 % atmosféry. Největší koncentrace ozonu se vyskytuje ve výšce zhruba 32 kilometrů nad povrchem Země. V této výšce může být koncentrace ozonu až 0.0015 % [6].

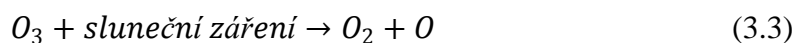
Stratosférický ozon se vyskytuje ve výškách zhruba mezi 20 až 35 km. Ve stratosféře vzniká ozon působením slunečního záření, které má vlnovou délku menší než 242 nm. Toto záření je schopno štěpit molekulu kyslíku na atomární kyslík [5]



Takto vzniklé atomy kyslíku pak reagují s dalšími molekulami kyslíku a vzniká ozon. Vznik stratosférického ozonu je definován následující vztahem [5]



Ozon se nehromadí, ale dochází k jeho dalšímu rozkladu za přítomnosti ultrafialového a viditelného záření [5]



Uvedené vztahy demonstrují proces vzniku a rozkladu ozonu. Jde o dynamickou rovnováhu, díky které se v atmosféře udržuje určité množství ozonu. Vlivem proudění dochází k přesunu ozonu především od rovníku směrem k pólům. Dokonce existují i rozdíly mezi severní a jižní polokoulí, pokud jde o hromadění ozonu. Ty jsou způsobeny sférickou cirkulací, jež je následkem rozdílného pevninského rozdělení na obou polokoulích. V průběhu roku tedy dochází ke kolísání průměrných hodnot ozonu díky geografickým podmínkám a výškovým cirkulacím [5].

Ozon ke svému vzniku potřebuje zmíněné záření, jež pohlcuje, a tím dochází k aktivaci reakce. Pohlcování nežádoucího ultrafialového záření (UVB, UVC) je jedním z jeho hlavních pozitivních vlastností. Důsledkem tohoto absorbování dochází také k ohřívání a tepelné stabilizaci stratosféry. Rovnováha ve vzniku a zániku ozonu, spolu s výskytem molekul a atomů kyslíku se stanovuje velice rychle. Ve vyšší stratosféře jsou to sekundy a v dolní stratosféře jde spíše o dny [5], [7].

### 3.2.1. Měření ozonu

Lze tvrdit, že fyzikální stav ozonové vrstvy popisují dva základní parametry, tedy celkový ozon a ozonový profil. Celkový ozon vyjadřuje obsah ozonu ve vertikálním sloupci atmosféry, kde zemský povrch tvoří základnu a vrcholem je vnější hranice atmosféry. Množství celkového ozonu se měří v Dobsonových jednotkách, používá se zkratka DU. Jedna DU je definována jako 0.01 mm silná vrstva sloupce ozonu,

vytvořená ozonem za normálních podmínek. Normální podmínky jsou definovány při teplotě 0 °C a tlaku 1013 hPa [9]. Ozonový profil charakterizuje koncentraci ozonu ve směsi atmosférických plynů, a to v různých výškách nad zemským povrchem. Na základě [8] je tvrzeno, že: „Měření vertikálních profilů je důležité především ke studiu vlivu regionálních cirkulačních podmínek a termodynamických procesů na změny v ozonové vrstvě ve spodní stratosféře, [8].

Zatím nebylo zmíněno, jak se měří množství ozonu v atmosféře. Největší rozmach přišel po 1. světové válce, kdy se začaly vyvíjet přístroje, které umožňovaly analyzovat změny v ultrafialové části spektra slunečního záření po průchodu ozonovou vrstvou. Tato zařízení počítala tloušťku ozonové vrstvy, tedy množství ozonu ve vertikálním sloupci atmosféry [9].

V roce 1924 G. Dobson zkonstruoval první spolehlivé zařízení na měření celkového ozonu. Standardním přístrojem k měření ozonu se tedy stal Dobsonův spektrofotometr. Ovšem v současné době dochází k postupnému nahrazování Brewerovým spektrofotometrem [5].

Dobsonův spektrofotometr je manuálně ovládaný dvojitý monochromátor (přístroj, který separuje z bílého (polychromatického) světla určitou část s danou vlnovou délkou). Princip spočívá v rozkladu dopadajícího slunečního záření pomocí optických hranolů. Celý tento elektrický a optický systém je uložen v litinovém korpusu z kovové slitiny s minimální tepelnou roztažností. Spektrometr je umístěn na pohyblivém podkladu nebo vozíku a je chráněn termoizolačním krytem. Paprsky slunečního záření jsou nasměrovány do přístroje pomocí optického tubusu, pod kterým se nachází křemenný difusor. Z ultrafialové části spektra jsou soustavou clon a fixních štěrbin vybrány tři páry vlnových délek se silnou a slabou absorpcí ozonem. Intenzity jejich spektrálního toku vytvářejí na fotodiodě elektrický signál, který je detekován vnějším mikroampérmetrem. Ozon se měří s časovým krokem jedné minuty. Dobsonův spektrofotometr měří ozon jak pomocí přímého slunečního záření, tak i pomocí rozptýleného. Pro lepší představu je uveden obrázek Dobsonova spektrofotometru (obr. 1) [9], [10].



Obr. 1 Dobsonův spektrofotometr č. D074 používaný v ČHMÚ k měření celkového ozonu, zdroj: [9]

Měření spektrofotometrem a záznam dat provádí vyškolený operátor, jde tedy o ručně prováděný způsob měření. Operátor musí zaznamenat potřebná data, která poté slouží jako vstupní data pro výpočet celkového ozonu. Výpočty se provádějí na počítačích pomocí softwaru, jenž je založen na výpočtových rovnicích a kalibračních konstantách [9].

V posledních letech je Dobsonův spektrofotometr postupně nahrazován Brewerovým spektrofotometrem, jenž je modernější. Tento moderní spektrofotometr je plně automatizován. Jedná se opět o monochromátor, který rozkládá dopadající sluneční záření pomocí mřížky. Hlavní rozdíl oproti Dobsonovu spektrofotometru je v tom, že Brewerův je schopen analyzovat širší rozpětí vlnových délek. Z ultrafialové části spektra je soustavou štěrbin vybráno pět vlnových délek, které mají různou absorpci ozonu. Jde tedy o složitý optoelektronický přístroj, uzavřený ve vodotěsném a temperovaném pouzdře, do kterého proniká sluneční záření vstupním okénkem. Celý přístroj je umístěn na nosiči na stabilní trojnožce. Během dne přístroj neustále sleduje azimut slunce, což je zajištěno pohybem nosiče a jednotlivých částí optického systému. Pohyb umožňují krokové motůrky ovládané řídicím počítačem, jenž je umístěn mimo spektrofotometr. Tento počítač také snímá a registruje měřené údaje a provádí celkový výpočet ozonu.



Je zřejmé, že manipulaci s přístrojem může provádět jen vyškolený specialista. U Brewerových spektrofotometrů se objevuje překážka, v jeho širším rozšíření využití především v rozvojových zemích, a to technologicky náročný a drahý servis. Na obr. 2 je vyobrazen Brewerův spektrofotometr [8], [9].

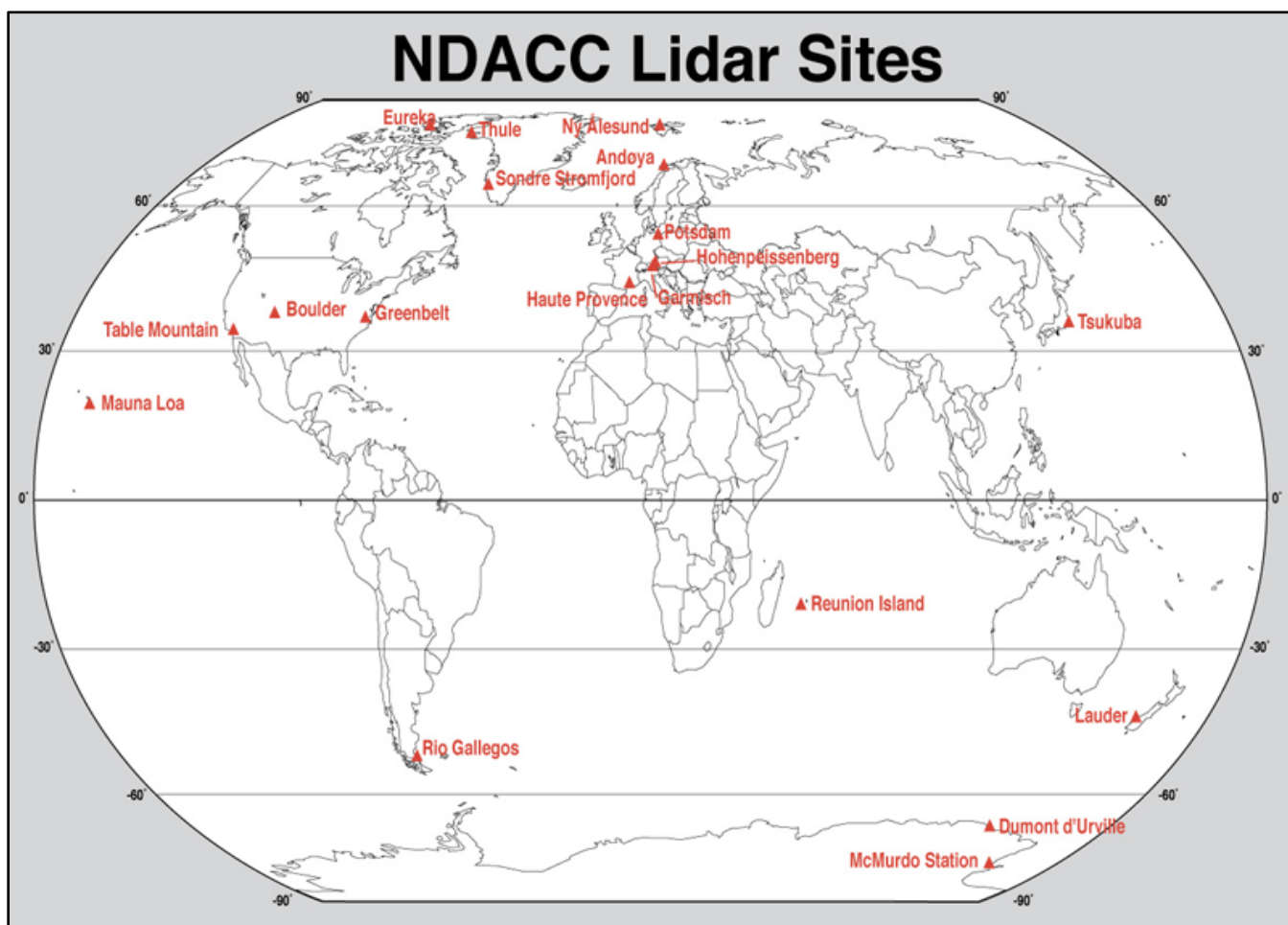


Obr. 2 Brewerův spektrofotometr MK-III č.B184, zdroj: [9]

V roce 2005 bylo k pravidelným měřením nasazeno přibližně kolem 100 Brewerových spektrofotometrů. Na řadě stanic jsou využívány oba typy těchto spektrofotometrů, z důvodu zjištění homogenity datových řad celkového ozonu po výměně přístrojů. Pro potřeby přesného měření je třeba, aby přístroje byly pravidelně kalibrovány. Za tímto účelem byla zřízena kalibrační centra. Pro Dobsonův spektrofotometr v USA a pro Brewerův v Kanadě [8].

V současné době se začínají uplatňovat i jiné způsoby měření. Neustále se vyvíjí přístroje založené na aktivní atmosférické spektroskopii. Konkrétně jde o lidary (Light Detection And Ranging), které používají DIAL (Differential Absorption Laser) technologii. Podle [8] „tyto pulzní lasery emitují do atmosféry monochromatické paprsky s vlnovými délkami odlišně rozptýlenými ozonem. Analýza intenzity a časového posunu detekovaného zpětného signálu umožňuje stanovit vertikální rozložení koncentrace ozonu

v jednotlivých hladinách ozonové vrstvy do výšky 50 km s rozlišovací přesností několika set metrů, [8].



Obr. 3 Lidarové stanice NDACC, zdroj: [11]

V současné době existuje 27 lidarových zařízení umístěných po celém světě. Dvacet tři z těchto zařízení je umístěno v sedmnácti stanicích NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change). Další čtyři jsou mobilní systémy, které slouží k ověřování a srovnávání získaných hodnot. Na obr. 3 jsou vyobrazeny lidarové stanice patřící do NDACC [11].

Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (NDACC) je mezinárodní síť pro detekci změn v atmosféře. Je složena z více než sedmdesáti vysoce kvalitních výzkumných stanic, které slouží pro pozorování a pochopení fyzikálních a chemických stavů v troposféře, stratosféře a mezosféře. Tato síť patří mezi hlavní přispěvatele v celosvětovém úsilí v oblasti výzkumu atmosféry [11].

Velice dobře je na tom také vývoj zařízení, které měří vertikální profil ozonu pomocí mikrovlnných technologií. V tomto případě už ovšem nejde o aktivní

spektroskopii, nýbrž o pasivní. Kvůli technické náročnosti a nákladnosti lidarového a mikrovlnného měření se tyto způsoby zjišťování množství ozonu uplatňují pouze jen na omezeném počtu observatoří [8].

Dalším typem měření ozonu je tzv. In-situ měření vertikálních profilů. Zde se ve vertikálním sloupci určuje ozon pomocí chemické analýzy vzorků vzduchu odebraných přímo v různých výškách nad zemským povrchem. Nejznámějším a nejrozšířenějším typem tohoto měření jsou ozonové sondáže. Ozonové sondy jsou vynášeny pomocí balónů do výšek až kolem 30 km. Během stoupání dochází k nasávání okolního vzduchu a měření koncentrace ozonu. Tyto naměřené hodnoty jsou poté pomocí radiového signálu vysílány do pozemních zařízení, které ozonové údaje zpracovávají společně s údaji geografickými a výškovými. V určité výšce dojde k prasknutí balonu a sonda se snese k zemi na padáčku. Nejčastějším typem ozonové sondy je typ ECC (Electrochemical Cell). K měření tato sonda využívá reakce rozkladu jodidu draselného ozonem. Analyzátor během reakce měří množství uvolněných iontů jódu. Díky tomu pak lze určit změny koncentrace nasátého ozonu. Tento způsob měření ozonového profilu je velice přesný, ovšem neumožňuje zaznamenávat hodnoty v horní stratosféře. Balony totiž jen zřídka dosáhnou výšky 35 km a výše [8].

V posledních desetiletích došlo k značnému rozšíření především leteckého měření. Na letadla se umísťují chemické analyzátory a UV fotometry, které během letu umožňují provádět chemický a spektrometrický rozbor okolního vzduchu. V rámci projektu MOZAIC se tato zařízení umísťovala převážně na letadla dálkových linek. Za zmínku stojí i experimentální raketové měření [8].

Mimo již zmíněných způsobů zjišťování hodnot ozonu by nemělo být opomenuto velice přínosné družicové měření. Distanční způsob měření je velice přínosný převážně pro jeho možnost získávání informací i v oblastech rozsáhlých oceánů, kde není možné získat data z pozemních stanic. Rok 1978 je považován za prvopočátek prvního systematického družicového měření ozonové vrstvy. Do vesmíru byla vypuštěna řada měřících zařízení, která postupem doby neustále zvyšovala svou technickou úroveň a možnosti přesného měření. Mezi nejdůležitější družicová měření, která se používají k mapování stavu ozonu, patří především databáze získané ze systémů [8]:

- Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS), NASA, 1978 – 2002
- Stratospheric Aerosol and Gas Experiment (SAGE), NASA, 1979 – 2010
- Solar Backscatter Ultraviolet (SBUV), NASA, 1979 – 2010

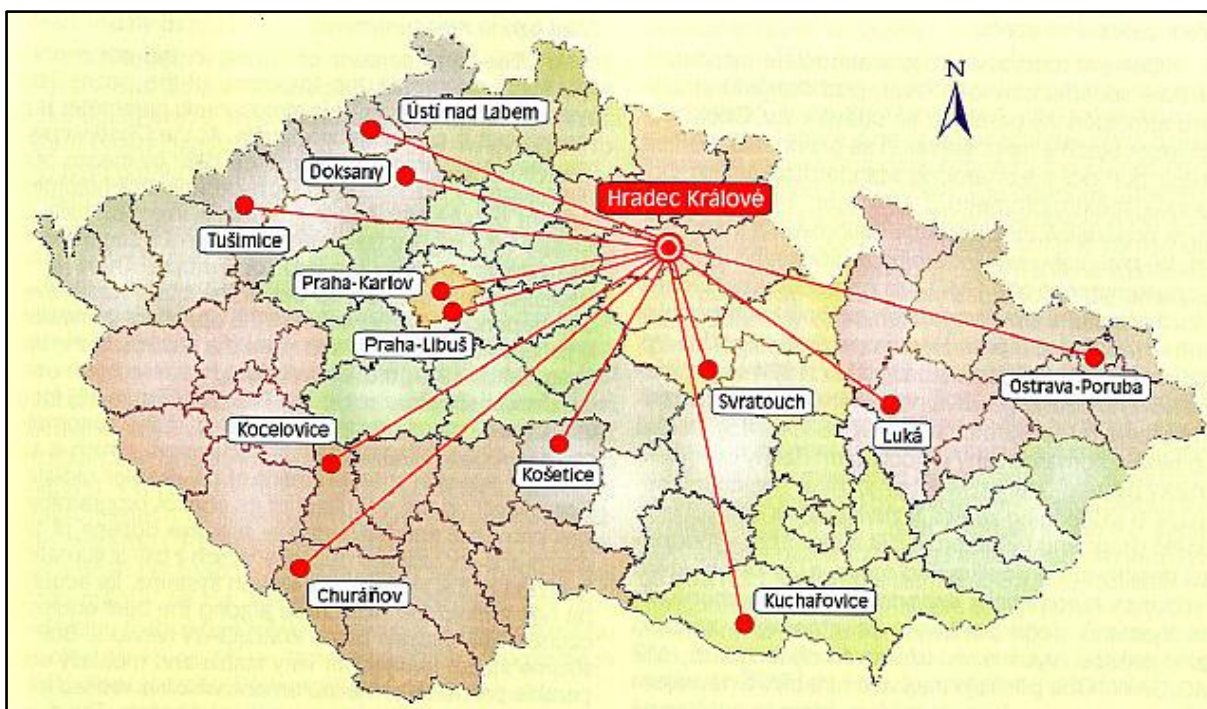
- Global Ozone Monitoring Experiment (GOME I, II), ESA/EUMETSAT, 1996 – 2016
- Ozone Monitoring Instrument (OMI), NASA/ESA, 2004- 2009

K měření se na družicích používají spektrální radiometry. Na základě [8] lze princip měření ozonu definovat následovně: „Radiometry měří vlnové délky v různých oblastech slunečního spektra nebo mikrovlnného vyzařování molekul vzduchu, na kterých dochází k odlišné absorpci a rozptylu ozonem.“ Kombinací získaných spektrálních intenzit lze pomocí fyzikálních modelů určovat tloušťku ozonové vrstvy společně s rozložením koncentrace ozonu ve vertikálním sloupci. Družicová měření mají své výhody a to především v možnostech měření ozonu v horní stratosféře, kam se ozonové sondy nemohou nikdy dostat. V dolní stratosféře ovšem nedosahují takové přesnosti oproti měřením z pozemních stanic či ozonových sond. Další nevýhoda může nastat v případě poruchy zařízení, které se nachází na oběžné dráze Země. Pozemní stanice jsou přesnější ovšem nerovnoměrně rozložená, oproti tomu družicové měření je méně přesné, ale umožňuje získat globální informace o stavu ozonu. Pro možnosti vědeckých výzkumů a kvalitnějšího monitorování vznikla potřeba využít předností obou typů měření a získat tak komplexní databázi, jak z časového tak geologického hlediska [8].

### **3.2.2. Solární a ozonová observatoř (SOO) Hradec Králové**

Solární ozonová observatoř ČHMÚ v Hradci Králové byla původně založena jako Bioklimatologická observatoř Státního meteorologického ústavu. Za datum vzniku se považuje rok 1951, kdy zanikla stanice Lesního úřadu a byla zde potřeba vybudovat novou observatoř. Od svého vzniku, roku 1951, až do současnosti je observatoř umístěna v objektu Hvězdárny a planetária v Hradci Králové, kde má ČHMÚ pronajaté potřebné místnosti, část střešní terasy a pozemku. Důležitým mezníkem měření v observatoři bylo zapojení do Mezinárodního geofyzikálního roku (MGR, 1957 – 1959). Od roku 1957 započalo mimo měření slunečního záření také pravidelné měření přízemního ozonu chemickou metodou. Začalo se vyvíjet úsilí o získání Dobsonova spektrofotometru na měření celkového ozonu v atmosféře. Observatoř tento spektrofotometr získala v roce 1959, ale použitelný byl až v roce 1961 po potřebné kalibraci. První hodnoty byly naměřeny v roce 1962 a od té doby jsou zasílány do Světového ozonového datacentra v Torontu. Dalším mezníkem, který ovlivnil činnost observatoře, byla účast na Mezinárodním roku klidného slunce (MRKS, 1964 – 1965). V průběhu 60. a 70. let

observatoř disponovala potřebnými datovými soubory, o jejichž získání se zasloužil celý vědecký tým v čele s Dr. Jaroslavem Píchou. Tyto soubory umožňovaly provádět první studie vlastností pole slunečního záření na území republiky. V průběhu let se observatoř neustále přejmenovávala, ale teprve od roku 1990 nese název Solární a ozonová observatoř a je samostatným oddělením Úseku meteorologie a klimatologie ČHMÚ. Počátkem 90. let došlo k důležitým změnám v činnosti observatoře. Pracovníci SOO mohli volně navazovat kontakty se zahraničními partnery z vyspělých zemí a mohli tak rychle zvyšovat odbornou úroveň pracoviště. Rychlý rozvoj nastal také v důsledku používání výpočetní techniky a možnosti autentizace všech typů měření. V roce 1994 byl pořízen nový přístroj na měření ozonu, Brewerův spektrofotometr. Kromě monitoringu slunečního záření a stavu ozonu, řídí pracoviště SOO i funkci radiační sítě ČHMÚ. V roce 2001 radiační síť tvořilo třináct stanic, jmenovitě jde o stanice v Ústí nad Labem, Doksy, Tušimice, Praha-Karlovy, Praha-Libuš, Kocelovice, Churáňov, Košetice, Kuchařovice, Svatouch, Luká, Ostrava-Poruba, Hradec Králové (obr. 4) [12].



Obr. 4 Radiační síť ČR, zdroj: [12]

Během své existence SOO spolupracovala s desítkami domácích i zahraničních institucí. V průběhu své dosavadní šedesátileté existence observatoř neustále rozvíjela svou odbornou činnost a zapojila se velkého množství nejrůznějších projektů. Dnes je toto specializované pracoviště hodnoceno českou i zahraniční odbornou veřejností jako kvalitní zdroj dat a informací o stavu ozonové vrstvy na území ČR. V následující tabulce

(tabulka 1) jsou zachyceni partneři, se kterými SOO navázala dlouhodobou spolupráci nebo významně přispěli k jejímu rozvoji [12].

Tabulka 1 Partneři SOO-HK, zdroj: [12], autor

<b>PARTNEŘI VE SPOLUPRÁCI S SOO-HK</b>	<b>ODBORNÁ NÁPLŇ PRACOVISTĚ</b>
Oddělení aerologických a přízemních pozorování ČHMÚ Praha-Libuš	Zavedení a pravidelná realizace měření vertikální koncentrace ozonu v atmosféře pomocí chemických balonových sond od r. 1987
Observatoř GAW ČHMÚ Košetice	Zavedení a udržování dlouhodobého měření slunečního záření, včetně biologicky aktivní UV radiace
Pobočka ČHMÚ Hradec Králové	Provádění meteorologických měření a monitorování některých složek znečištění atmosféry na SOO pro potřeby pobočky
Katedra meteorologie a ochrany prostředí MFF-UK Praha	Poskytování výsledků radiačních a ozonových měření
Ústav fyziky atmosféry AV ČR Praha	Poskytování výsledků radiačních a ozonových měření pro výzkumné práce
Světové kalibrační centrum Dobsonových spektrofotometrů, Bouldet, USA	Školení pracovníků SOO-HK v technologiích servisu a oprav Dobsonových spektrofotometrů a v jejich kalibracích
Světové ozonové a UV datové centrum SMO, Toronto, Kanada	Předávání ozonových měření do světové databanky SMO
Světové radiační datové centrum SMO Petrohrad	Předávání vybraných souborů měření slunečního záření z území ČR
Meteorologická observatoř Hohenpeissenberg, SRN	Společné zajišťování funkce Evropského ozonového kalibračního centra a realizace mezinárodních srovnání Dobsonových spektrofotometrů z evropského regionu
Meteorologická observatoř Postupim, SRN	Asistence při zavádění ozonových měření na observatoři v HK a při standardizaci kalibrací v 60. - 70. letech
Oddělení výzkumu vyšší atmosféry, Maďarská meteorologická služba, Budapešť	Kalibrace národního radiačního standardu ČR v 80. - 90. letech
Aerologická observatoř Slovenského hydrometeorologického ústavu, Poprad-Gánovce	Spolupráce při zavádění měření celkového ozonu, společné kalibrace Brewerových spektrofotometrů

### 3.3. Troposférický ozon

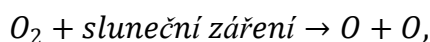
Troposférický ozon se nachází ve výšce stovek metrů až jednoho kilometru nad povrchem Země. Vznik tohoto ozonu je nejvíce patrný v oblastech se znečištěným

ovzduším. Mezi znečišťující látky, které podporují produkci troposférického ozonu, patří hlavně těkavé organické sloučeniny, oxidy dusíku a pak také oxid uhelnatý a methan. Některé tyto látky vznikají v důsledku provozu motorových vozidel a spalováním fosilních paliv. Lze tedy tvrdit, že za vznik tohoto ozonu může člověk. Běžná koncentrace troposférického ozonu je několik desítek  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ovšem v oblastech se znečištěným ovzduším jsou to stovky  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . V troposféře a v přízemních vrstvách se ozon tvoří fotochemickými reakcemi nejrůznějších látek. Významné jsou převážně oxidy dusíku, které souhrnně označujeme jako  $\text{NO}_x$ , dále je to oxid uhelný (CO), methan a těkavé organické látky. Troposférický ozon vzniká stejně jako ve stratosféře, tedy reakcí mezi dvouatomovým a atomovým kyslíkem [5]



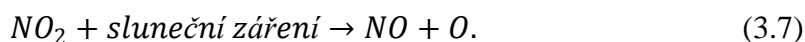
Molekul kyslíku je ve vzduchu nadbytek, horší je to ovšem s jednoatomovým kyslíkem, který je hlavním činitelem, jenž určuje koncentraci ozonu. Způsob vzniku tohoto atomárního kyslíku je hlavním rozdílem mezi vznikem  $\text{O}_3$  v troposféře a stratosféře. Atomární kyslík vzniká dvěma způsoby, tedy [5]:

- a) fotodisociací  $\text{O}_2$  vlivem slunečního záření (převládá ve stratosféře, kapitola 3.2.)



(3.6)

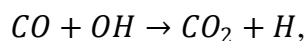
- b) fotodisociace oxidu dusičitého ( $\text{NO}_2$ )

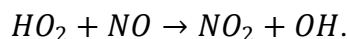


V troposféře dochází ještě k dalším reakcím, a to k reakci mezi vzniklým ozonem a oxidem dusnatým za vzniku oxidu dusičitého ( $\text{NO}_2$ ) a kyslíku ( $\text{O}_2$ )



Tato soustava rovnic tvoří rovnovážný systém, který se v troposféře ustavuje velmi rychle. Koncentrace ozonu je závislá na intenzitě slunečního záření a na celkovém poměru koncentrací oxidu dusičitého a oxidu dusnatého. Je třeba zajistit další reakci, při které by se oxid dusnatý, jenž vzniká v důsledku spalování a provozu motorových vozidel, neustále oxidoval na oxid dusičitý. Toho se dosáhne díky tzv. peroxyradikálům (např.  $\text{HO}_2$ ). Reakce (3.5), (3.7) a (3.9) tvoří reakční systém, podle kterého se řídí vznik ozonu v troposféře [5]





Roli spouštěcího mechanismu pro tvorbu přízemního ozonu přebírá globální radiace, délka slunečního záření, teplota, množství a poměr látek, které jsou přítomné při vzniku ozonu. Dále také nadmořská výška a aktuální stav ozonu. Nesmí být opomenuty ani atmosférické aerosoly [13].

V následující části bude více přiblížen vznik a význam některých látek, které se účastní vzniku troposférického ozonu. Konkrétně půjde o atmosférické aerosoly (PM 10), oxidy dusíku, oxid siřičitý a oxid uhelnatý. Představení těchto látek je významné i z hlediska jejich dopadu na živočichy a rostliny (kapitola 3.6).

Atmosférický aerosol je definovaný jako soubor tuhých a kapalných částic o rozměru 1 nm až 100 $\mu$ m. Tyto částice mohou být přirozeného nebo antropogenního původu, ovšem převážně vznikají jako negativní produkt lidské činnosti. Přirozeným zdrojem jsou výbuchy sopek, prach unášený větrem nebo lesní požáry a také tzv. bioaerosol, který zahrnuje organismy, jako jsou například bakterie, viry, houby, spory a pyl. Nejvýznamnějším antropogenním zdrojem jsou spalovací procesy. Jde hlavně o spalování v motorech automobilů, elektrárnách a dalších vysokoteplotních procesech. Aerosol může dále vznikat při chemických reakcích plynných látek. Z důvodů působení těchto částic na zdraví člověka, byly definovány velikostní skupiny aerosolů označované jako PM. Běžně se vyskytují částice PM 10, PM 2.5 a PM 1.0. Aerosol PM 10 v sobě obsahuje PM 2.5 a ten v sobě zahrnuje PM 1.0. Velice často jsou tyto částice označovány jako prachové [14].

Mezi oxidy dusíku, které ovlivňují troposférický ozon, patří oxid dusnatý a dusičitý, jak již bylo zmíněno výše. Oxid dusnatý je bezbarvý plyn bez zápachu a oxid dusičitý je červenohnědý plyn štiplavého zápachu. Emise oxidů dusíku je v nynější době velkým problémem. Hlavním zdrojem je spalování biomasy a paliv (z 55% provoz motorových vozidel). Dosahuje se vysoké teploty hoření a dochází k oxidaci vzdušného dusíku. Dalším zdrojem jsou chemické procesy, kde jsou přítomny zmiňované oxidy, které mohou unikat do ovzduší [15].

Oxid siřičitý je bezbarvý plyn s typickým pronikavým zápachem. Jde o látku, která je dobře rozpustná ve vodě. Výroba tohoto oxidu se provádí při spalování fosilních paliv v elektrárnách, rafinériích a při provozu motorových vozidel. V přírodě vzniká výbuchem sopek nebo při lesních požárech podobně jako aerosoly. Oxid siřičitý se používá při bělení



nebo jako dezinfekčního prostředku. V dnešní době klesá koncentrace  $\text{SO}_2$  v ovzduší díky přijaté legislativě [16].

Oxid uhelnatý je bezbarvý, hořlavý a prudce jedovatý plyn bez známek zápachu. Vzniká jako produkt při nedokonalém spalování materiálů, které obsahují uhlíkovou složku. Oxid uhelnatý se používá v hutnictví a také jako složka při výrobě chemikálií. Tento oxid je dále obsažen v cigaretovém kouři, ovšem neopomenutelným zdrojem jsou opět motorová vozidla. V dnešní době již nepoužívaný svítíplyn byl také zdrojem oxidu uhelnatého. Tento zdroj tepla a světla byl kvůli CO jedovatý, a proto byl nahrazen zemním plynem [17].

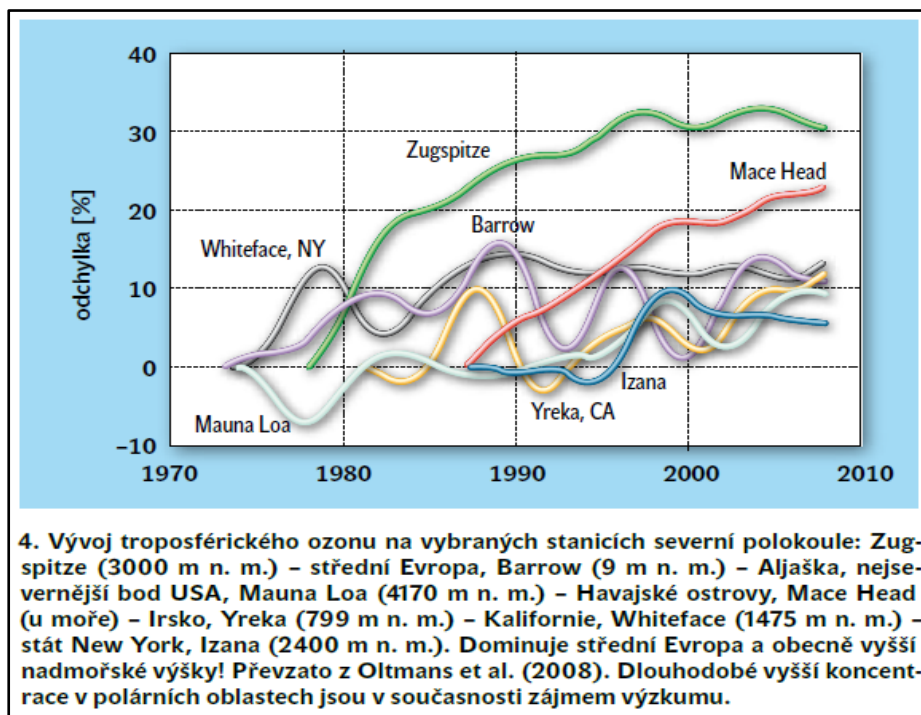
Zmíněné látky jsou v převážné většině výsledkem nekvalitního spalování paliv spolu s provozem motorových vozidel. V místech, kde je silný automobilový provoz tedy můžeme očekávat větší výskyt troposférického ozonu, protože je zde vyšší koncentrace látek, jež podporují jeho vznik.

Na základě výzkumu, jenž byl prováděn v jihozápadních Čechách, bylo prokázáno, že existuje silná závislost mezi přízemním ozonem a globální radiací, jež byla naměřena horskými stanicemi. Dle [13] lze tvrdit: „Ve vyšších nadmořských výškách tak pravděpodobně při oslabení ozonové vrstvy vznikají dlouhodobé vysoké koncentrace, a tím pak vzrůstá globální radiace ve spodní části atmosféry.“ V letním období, kdy teplota vzrůstá nad  $30^\circ\text{C}$ , vzrůstá i průměrná koncentrace ozonu až o  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [13].

Mimo stratosférického ozonu zde existuje i troposférický ozon, který má toxické účinky jak na rostliny, tak na živočichy, tedy i člověka. Změny, které probíhají v atmosféře, mají dopad na ozonovou vrstvu a tudíž i na množství stratosférického ozonu. Koncentrace troposférického ozonu se zhruba nachází na 34 ppb (parts per billion - přibližně odpovídá koncentraci 1 mg látky v  $1 \text{ m}^3$  roztoku). Podle dostupných modelů vzrostla koncentrace nejvíce na severní polokouli (80%), na jižní polokouli je situace o něco lepší (50%). Je dokázáno, že se dnešní koncentrace oproti době před průmyslovou revolucí zdvojnásobila, ba až dokonce ztrojnásobila [5]. Na základě obr. 5 je vidět, že: „Nejprudší vzrůst zátěže byl zaznamenán ve středních zeměpisných šířkách severní hemisféry, a to především ve vyšších nadmořských výškách“ [13].

Troposférický ozon vzniká jak přirozeně, tak vlivem člověka. Jak již bylo zmíněno, člověk se velice podílí na vzniku troposférického ozonu a ten mu pak škodí, dokonce poškozuje i některé materiály. Mimo jiné zvyšující se koncentrace přispívá k oteplování Země, což má dalekosáhlé důsledky, které může člověk pociťovat již v dnešní době.

Dochází k tání ledovců, zvyšuje se hladina moří, objevují se ve větší míře ničivé přírodní úkazy.



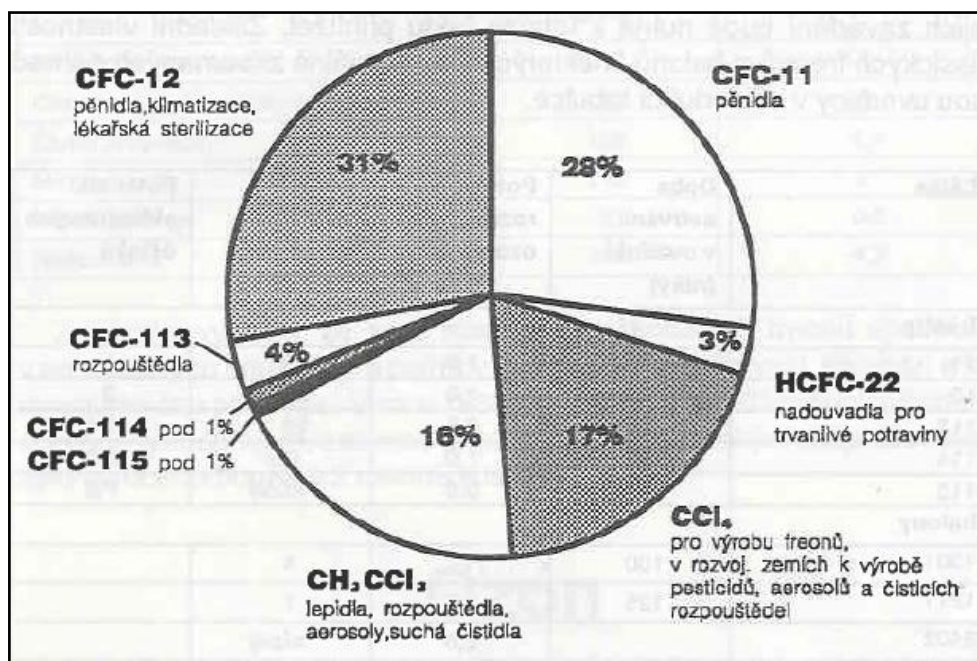
Obr. 5 Vývoj troposférického ozonu - severní polokoule, zdroj: [13]

### 3.4. Látky poškozující ozonovou vrstvu Země

Člověk v současnosti žije spotřebním životním stylem, touží po neustálém pokroku a jen zřídka se dívá, jak tím působí na okolní přírodu. Ať jde o narušování zelených porostů nebo ohrožování čistoty ovzduší. Lze říci, že narušení zeleně může člověk jistým způsobem vykompenzovat a zasadit jiné porosty, obnova není tak zdlouhavá oproti obnově čistoty ovzduší. S problematikou znečišťování ovzduší souvisí i problém úbytku ozonové vrstvy Země v stratosféře a tvorba nežádoucího ozonu v troposféře. Obě tyto skutečnosti jsou důsledkem nežádoucí lidské činnosti.

První obavy z projevu lidské činnosti na ozonovou vrstvu se objevily v sedmdesátých letech v souvislosti s rozvojem nadzvukových letadel. Vyplynula otázka, zda oxidy dusíku a vodní páry z výfukových plynů nepoškodí ozonovou vrstvu. Tyto obavy se skutečně potvrdily, ovšem množství oxidů dusíku, které se do stratosféry dostávají leteckou dopravou, jsou oproti množství, které se do ní dostává přírodními procesy značně malé. Přestože se ukázaly jako zbytečné, zapříčinily podceňování nebezpečných látek (freonů), které poškození ozonové vrstvy Země opravdu způsobují. Prvními studiemi reakcí freonů s ovzduším se zabývali F. S. Rowland a M. J. Molina.

Pojem freony je obchodní označení pro skupinu látek, které chemicky představují chlorfluoralkany, a jejichž molekuly jsou složeny z atomů fluoru, chloru a uhlíku. Freony jsou plynné nebo kapalné látky, které se běžně v přírodě nevyskytují. Vznikají uměle a mohou v ovzduší přetrvávat velice dlouho, protože mají nízkou reaktivitu. Freony se dostávají až do stratosféry, kde působením ultrafialového slunečního záření dochází k odštěpování chloru, který pak rozkládá ozon. Jde o katalytickou reakci, což je chemický proces, při kterém se katalyzátor chemické reakce účastní, ale nespotřebovává se, neboť se následujícími reakcemi stále obnovuje. Jeden atom chloru dokáže rozložit až 10 000 molekul ozonu ve stratosféře. Jak již bylo řečeno, freony nevznikají samovolně v přírodě, ale při celé řadě průmyslových činností. V průmyslových technologiích se uplatňují jejich kladné vlastnosti, jako je chemická stálost, schopnost snadného zkapalnění a nejedovatost. Tyto látky se používají jako chladicí prostředky v mrazničkách, chladničkách a klimatizacích. Freony jsou plynatěsně uzavřeny v chladicím okruhu, kde dochází k jejich zkapalnění a odpaření. Při tomto použití by nemělo docházet k jejich úniku do ovzduší. Při likvidaci zařízení by se mělo postupovat podle předem definovaného postupu, kdy dochází k odčerpání chladicích látek. Další jmenovanou vlastností je nejedovatost a netečnost, proto se používají jako hnací plyny v aerosolových sprejích. Při použití sprejů dochází k uvolnění freonů do ovzduší. V nynější době je snaha nahrazovat tyto hnací látky jinými plyny. Další použití je jako tzv. nadouvadlo při výrobě pěnových umělých hmot, konkrétně k vytvoření malých bublinek v hmotě. V poslední době se rozšířilo používání freonů jako čisticího prostředku a rozpouštědla. Na následujícím obr. 6, je znázorněno využití nejčastěji se vyskytujících freonů [18].



Obr. 6 Využití freonů, zdroj: [18]

Freonům jsou velice podobné halony, které kromě fluoru a chloru obsahují i atomy bromu. Podobnost tkví ve složení a vlastnostech. Jde o látky, které také velice poškozují ozonovou vrstvu Země. Právě přítomnost bromu dělá z halonů nebezpečné látky pro ozon. Halony se používají v požární technice a jsou používány pouze pro tzv. „kritické použití“, jenž zahrnuje požární ochranu v letectví a vojenství. V tabulce 2 jsou patrné dopady některých freonů a halonů na rozrušování a ničení ozonu [19].

Tabulka 2 Působení freonů a halonů, zdroj: [18], [19], autor

Látka	Doba setrvání v ovzduší (roky)	Potencionální rozrušování ozonu	Podíl na ničení ozonu (%)
<b>Freony (CFC)</b>			
trichlorfluormetan	77	1	45
dichlordifluormetan	139	1	26
trichlortrifluoretan	90	0,8	26
dichlortetrafluoretan	200	1	0,9
chlorpentafluoretan	400	0,6	nízký
<b>Halony</b>			
bromtrifluormetan	100	11	4
chlorbromdifluormetan	125	2,7	1
chlorid uhličitý	76	1	7
trichlorethan	8	0,1	5

### **3.4.1. Montrealský protokol**

Celým názvem Montrealský protokol o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu, jež byl přijat 16. září 1987, je prováděcím protokolem k Vídeňské smlouvě o ochraně ozonové vrstvy. Vídeňská smlouva byla přijata na konferenci OSN pro životní prostředí 22. března 1985. Oba tyto dokumenty mají přesně definovat, které látky porušují ozonovou vrstvu Země a také vyloučit jejich další používání ve výrobě. Na druhém zasedání stran Montrealského protokolu, byly přijaty Změny a Dodatek k Montrealskému protokolu o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu. Toto rozšíření se týkalo počtu halogenových chlorovodíků (CFC – freonů) z dosavadních pěti látek na patnáct. Dále se stanovilo dalších třicet dva, které byly zařazeny mezi potenciální látky ohrožující ozonovou vrstvu. Tento dodatek je znám pod pojmem Londýnský dodatek, podle místa kde byl přijat roku 1990. Při čtvrtém zasedání roku 1992 v Kodani byla přijata další velmi přísná opatření. Tato opatření byla reakcí na zjištěné oslabení ozonové vrstvy nad severní Evropou o 10 až 15 %. Došlo ke zkrácení doby konečného používání halonů do 1. 1. 1994 a halogenových CFC do 1. 1. 1996. Mezi regulované látky se zařadily další chemikálie používané k ošetřování obilí. Dodatek je znám pod označením Kodaňský dodatek. K dalším změnám v Montrealském protokolu došlo dále v letech 1997 a 1999, konkrétně šlo o Montrealský a Pekingský dodatek [20].

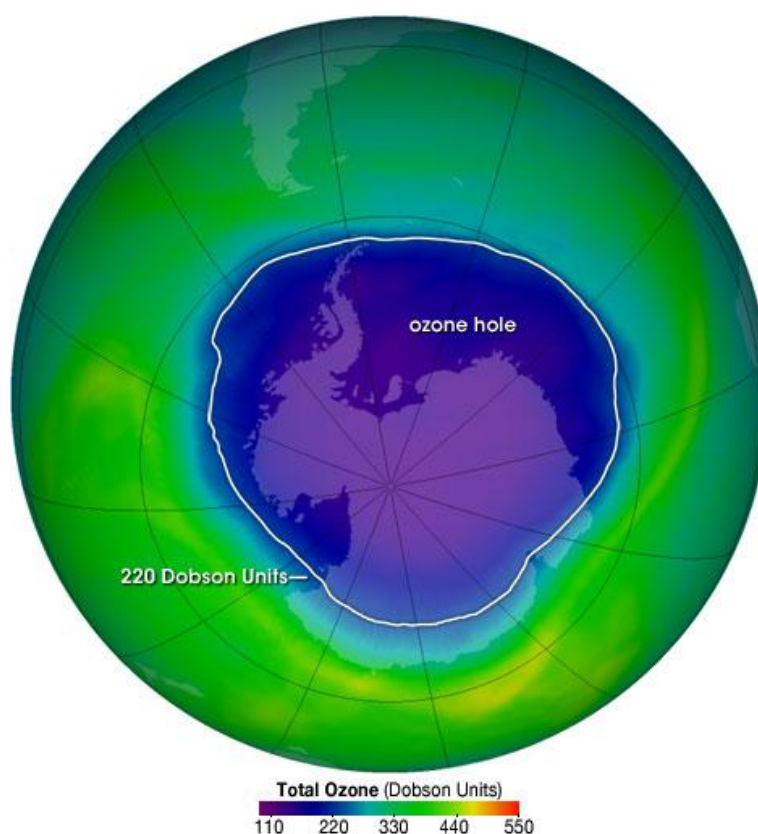
Pekingský dodatek znamenal výzvu zastavit pašování látek poškozující ozonovou vrstvu, protože ilegální obchod s těmito látkami se stal nejobjemnější po obchodu s drogami. Dodatek se také zaměřoval na omezení spotřeby látek v Rusku a dalších transformujících ekonomikách [21].

V České republice platí zákon v oblasti ochrany ovzduší č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší. Zmíněný zákon stanovuje především práva a povinnosti provozovatelů zdrojů, jež znečišťují ovzduší, poškozují ozonovou vrstvu a působí klimatické změny [19].

### **3.5. Ozonová díra**

V současné době je velmi probíraným tématem z hlediska ochrany života na Zemi. Ozonová díra není technicky vzato „dírou“ v plném slova smyslu. Jde o oblast s mimořádně vyčerpanou hladinou ozonu ve stratosféře. Poprvé se objevila možnost její existence v roce 1985, kdy skupina vědců Farman, Gardier a Shanklin zveřejnila v časopise Nature své jarní pozorování stavu ozonu nad Antarktidou. Svým výzkumem poprvé poukázali na to, že dochází ke změnám koncentrace ozonu na naší planetě.

Použitím satelitních přístrojů vědci získávají denní záznamy a obrázky o stavu ozonu nad arktickou oblastí. Na následujícím obr. 7 je vyobrazena ozonová díra, snímek byl získán 4. října 2004. Modrofialová plocha je oblast s velmi nízkou koncentrací ozonu. Díky historickým záznamům bylo zjištěno, že celková hodnota sloupce ozonu s hodnotou 220 Dobsonových jednotek a nižší nebyla před rokem 1979 naměřena. Celková hodnota ozonu pod 220 Dobsonových jednotek je výsledkem katalytické ztráty ozonu. Toto množství je považováno za hranici, která představuje ozonovou díru (bílá linie na obr. 7) [22].



Obr. 7 Ozonová díra, zdroj: [22]

Ozonová díra je způsobena chemikáliemi, jež jsou zmíněny v kapitole 3.4 V nižší atmosféře tyto látky přetrvávají celá léta, dokonce i desetiletí. Tato dlouhá životnost umožňuje některým freonům a halonům, aby se dostaly až do atmosféry [22].

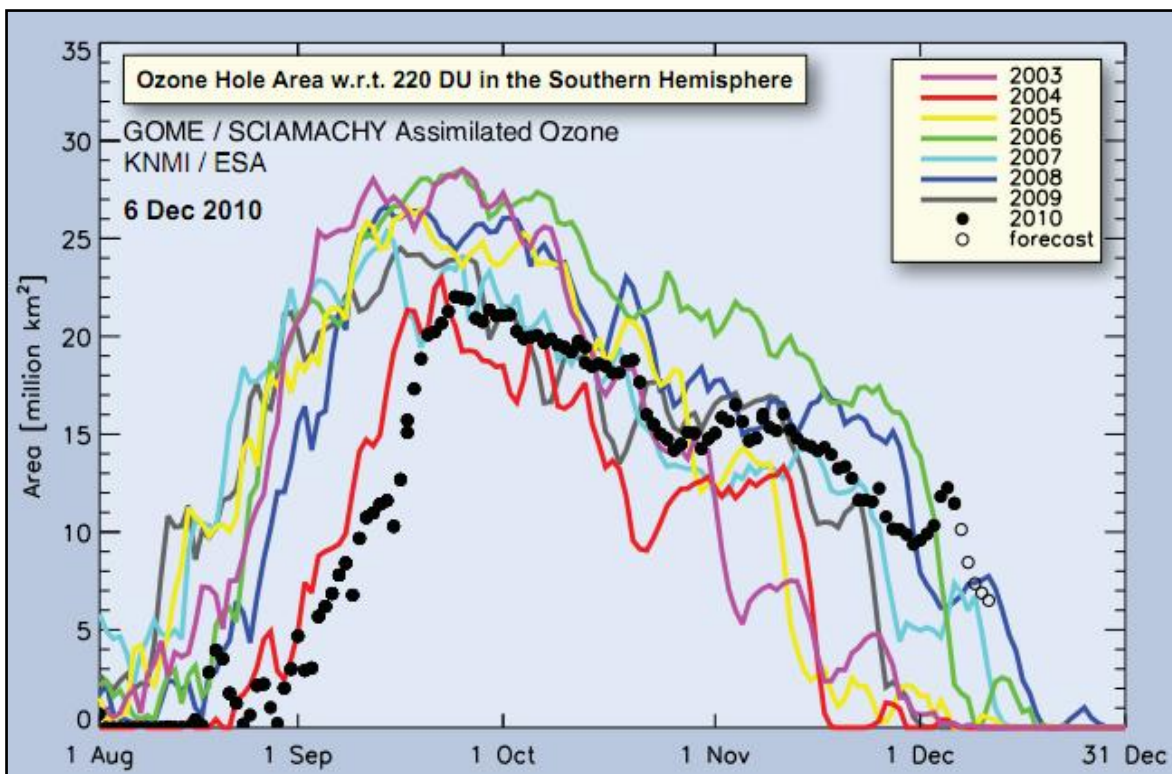
V atmosféře se tyto sloučeniny mohou udržet pouze při velmi nízké teplotě. Po oteplení se mění na neškodné sloučeniny. Ve stratosféře, působením ultrafialového světla, dochází k rozbití vazeb v molekulách. Volné atomy chloru a bromu se účastní sérií reakcí, které ničí ozon. Destrukce ozonu patří mezi fotochemické reakce a je k ní tedy nutné světlo. Z toho plyne, že reakce může nad Antarkidou probíhat jen v určitém období, kdy není polární noc. Stratosféra musí být dostatečně studená a musí do ní pronikat

sluneční záření. Ozonová díra nad Antarktidou vzniká koncem srpna a je zde do poloviny listopadu. Mohla by být položena otázka, proč se zrovna nad jižním pólem objevila ozonová díra a nad severním nikoli. Odpovědí na tuto otázku by bylo, že průměrné roční teploty nad Antarktidou jsou nižší než nad Arktidou. Nicméně v roce 1995 byly objeveny ozonové díry i nad Arktidou a částí severní Evropy, ne ovšem v takovém rozsahu jako nad jižním pólem [1], [23].

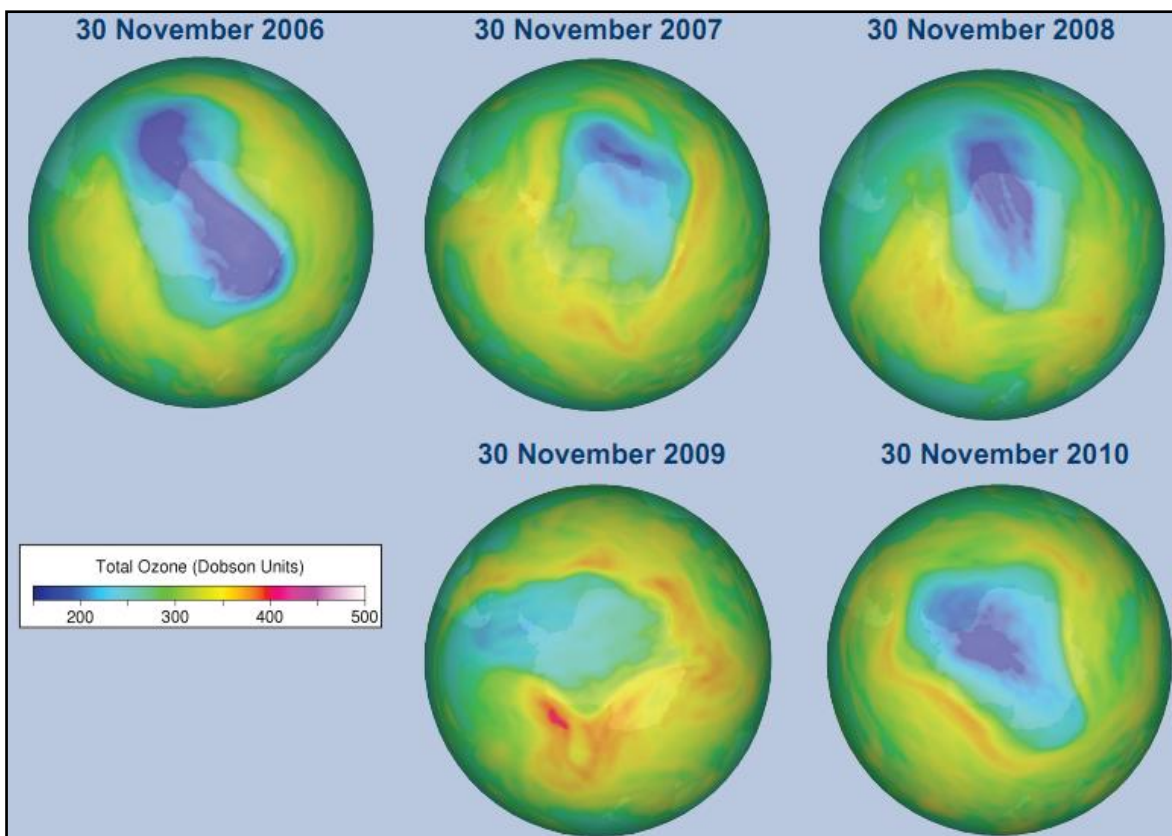
### **3.5.1. Aktuální informace o ozonové díře**

Následující kapitola se bude snažit nastínit aktuální stav ozonové díry. Za aktuální bude považováno měření z konce roku 2010. Na následujícím obr. 8 je zaznamenána velikost plochy ozonové díry nad Antarktidou od roku 2003 až do roku 2010. Rok 2010 je zachycen černými tečkami. Bílé tečky představují předpověď pro dalších pět dnů. Tato předpověď je založena na údajích získaných ze satelitních přístrojů GOME a SCIAMACHY. Oproti některým dřívějším rokům, se může na základě obrázku konstatovat, že oblast ozonové díry se zmenšila. Toto tvrzení lze podložit i na základě snímků ozonové díry v letech 2006 – 2010, zachycené na obr. 9. Snímky byly získány ze satelitu AURA. Po porovnání velikosti plochy ozonové díry a snímků na obr. 9, bylo zjištěno, že např. v roce 2006 byla ozonová díra největší, a to podle obou pozorování. Naopak listopad roku 2007, 2009 a 2010 jsou si velice podobné, jednotlivé křivky se v místech dokonce překrývají [24].

Vedle velikosti nežádoucí ozonové díry nad Antarktidou, se vědci také zabývají její tloušťkou. Konkrétně jde o definování deficitu ozonové vrstvy uvnitř ozonové díry. Deficit odpovídá množství ozonu (megatuny), které musí být přidáno k ozonové díře tak, aby celkový sloupec ozonu byl 220 DU i v těch oblastech, kde tomu tak není. Záznam na obr. 10 uvádí množství tohoto deficitu na Antarktidě v letech 2003 – 2010 v období od srpna do prosince. Hodnoty získané pro potřeby vytvoření grafu, byly získány ze satelitních měření stanic GOME, SCIAMACHY, KNMI a ESA. I podle tohoto obrázku, lze tvrdit, že situace je velmi příznivá oproti předcházejícím letům. Za výjimku se považuje jen rok 2004, který se podle vyobrazení na obr. 10 nachází nejvíce pod úrovní roku 2010 [24].

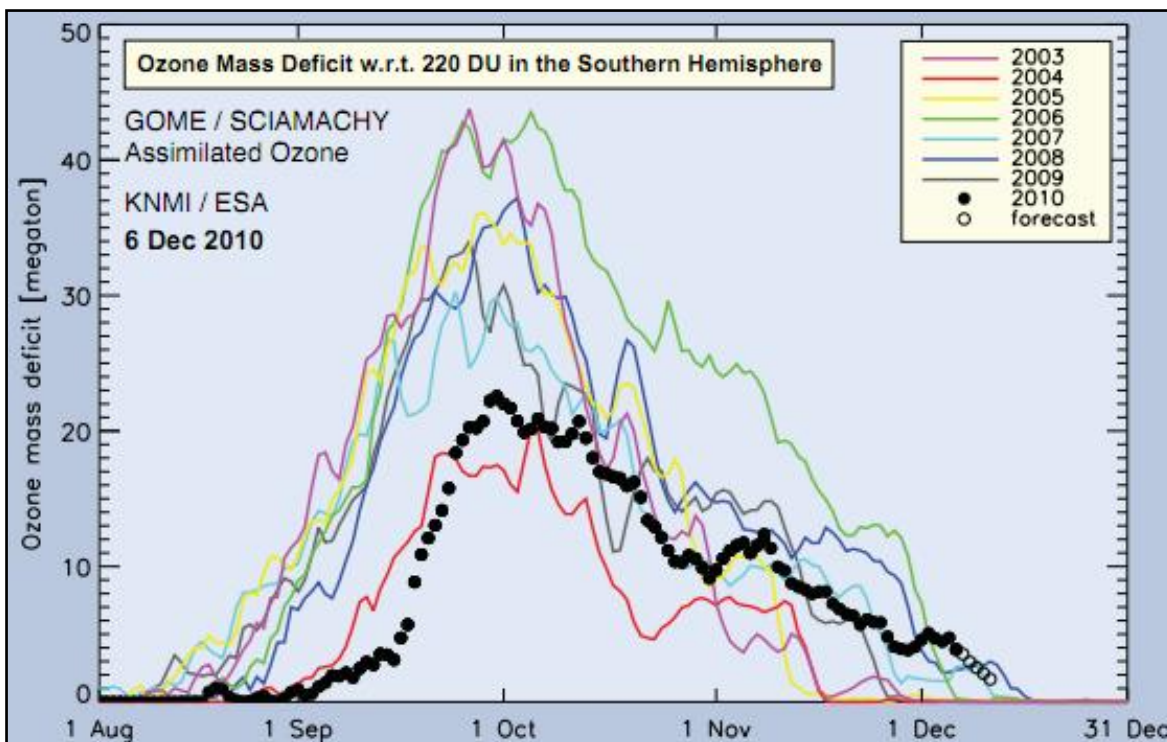


Obr. 8 Rozsah ozonové díry 2003 - 2010, zdroj: [24]



Obr. 9 Snímky ozonové díry 2006 - 2010, zdroj: [24]

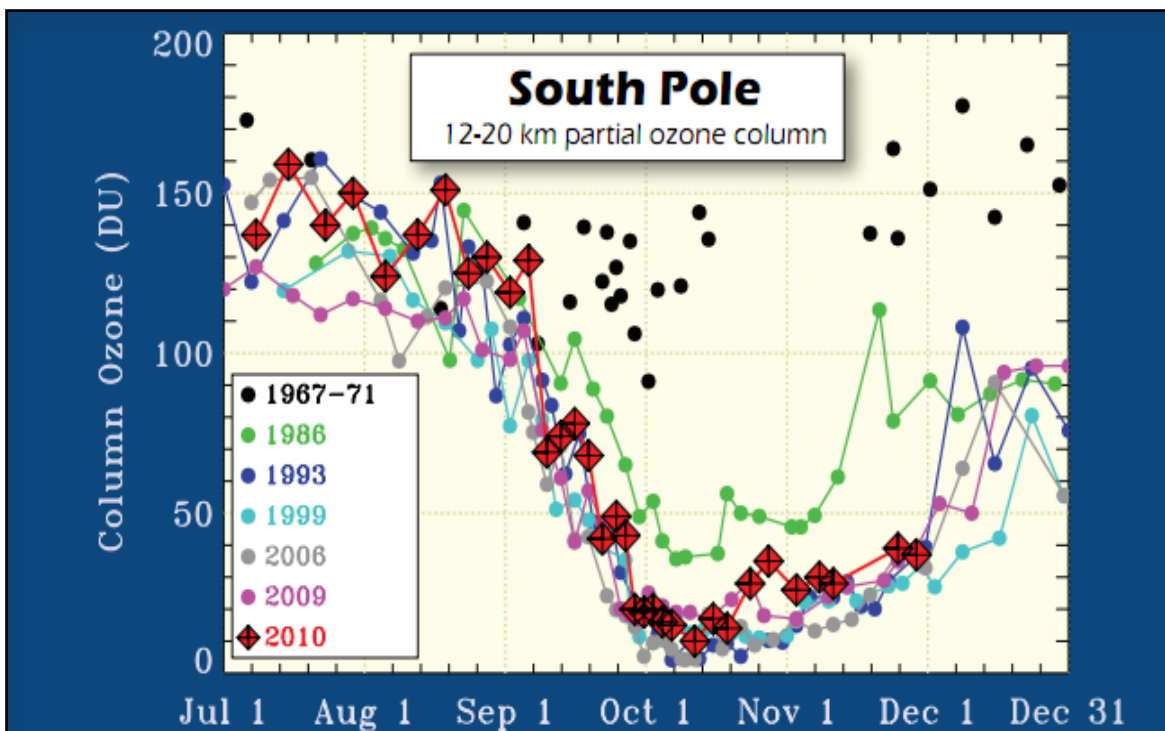




Obr. 10 Deficit ozonu nad Antarktidou, zdroj: [24]

Pro uzavření této podkapitoly bude uvedeno poslední velice důležité měření, a to množství ozonu nad jižním pólem opět za období 2003 - 2010. Konkrétně jde o měření ve sloupci ve výšce 12 – 20 km, data za rok 2010 jsou v grafu vynesena jako červené diamanty (obr. 11). Z grafu je patrné, že v roce 2010 se stav ozonové díry oproti předchozímu roku o trochu zlepšil. Ovšem v porovnání s 60. – 80. lety 19. století, je stav ozonové díry alarmující. V období měsíců říjen a listopad se stav ozonu dostal až pod 50 DU, což je velice zneklidňující. Množství ozonu se přijetím legislativy bude neustále zlepšovat, ovšem je to běh na dlouhou trať. Což dokazují i dosavadní zjištěné výsledky stavu ozonové díry z hlediska jejího plošného rozsahu, množství či deficitu ozonu [24].

Všechna důležitá data jsou získávána buď satelitním měřením, anebo díky observatořím, které jsou situovány přímo na Antarktidě. Počet observatoří, které se zabývají měřením ozonu nad Antarktidou, bylo k roku 2010 celkem sedmnáct. Jejich přesné umístění je znázorněno na mapě v příloze 2.



Obr. 11 Množství ozonu nad Antarktidou, zdroj: [24]

### 3.6. Klady a zápory ozonu

V této části je třeba zopakovat, že existují dva druhy ozonu. Přízemní ozon nacházející se v troposféře vzniká převážně vlivem lidské činnosti a je člověku škodlivý. Způsobuje mu převážně dýchací obtíže. Prachové částice (aerosoly) se usazují v dýchacích cestách. Větší částice se zachytávají v nose a nezpůsobují takové problémy jako malé částice, které se usazují v průduškách nebo mohou vstupovat přímo do plicních sklípků. Dlouhodobé vdechování atmosférických aerosolů je zdraví škodlivé a snižuje délku života člověka. Způsobuje převážně chronickou bronchitidu, plicní choroby a dokonce i rakovinu plic. Aerosoly působí i na životní prostředí, zaprášení listů rostlin zmenšuje jejich aktivní plochu. Další látkou, která zhoršuje zdravotní stav člověka a živočichů, jsou oxidy dusíku. Oxidy dusíky působí na zdraví lidí pouze při větší koncentraci, za to jsou více nebezpečné. Způsobují podráždění dýchacích cest, oxid může vázat krevní barvivo a tak zhoršit přenos kyslíku z plic do tkání, následně způsobit i smrt. V přírodě větší koncentrace oxidů dusíku způsobuje poškození rostlin, plísňe a jejich větší náchylnost na nemoci. Podobné účinky má i oxid uhelnatý, též se váže na krevní barvivo a patří mezi skleníkové plyny. Oxid siřičitý negativně působí na dýchací cesty a oči člověka. V přírodě je složkou kyselých dešťů, které ničí rostliny. Kladné stránky

troposférického ozonu se hledají velice těžko, dá se říci, že žádné nejsou [14], [15], [16], [17].

Oproti troposférickému ozonu je ten stratosférický nezbytný pro život na Zemi. Jak již bylo řečeno, chrání Zemi před škodlivým UV zářením. Zeslabení ozonové vrstvy je považováno za globální problém. Pokud dojde k úbytku ozonu a dochází k pronikání škodlivého UVB záření, objevují se zdravotní problémy u lidí a zvířat, chráněné nejsou ani rostliny.

Studiemi a pokusy na zvířatech bylo prokázáno, že zvýšená intenzita UV záření zvyšuje riziko vzniku melanomových nádorů. Jiný faktor vnějšího prostředí, který by mohl vyvolat rakovinu kůže, nebyl nalezen. Vedle možnosti vzniku rakoviny UV záření negativně působí i na zrakový orgán. Při dlouhém působení záření na oči, vzniká zákal oční čočky, který se vyvíjí v důsledku poškození očních buněk. Vedle zákalu UVC záření způsobuje zánět spojivek a rohovek. UVB záření způsobuje podobné poškození, ovšem dochází k pronikání i rohovkou. UV záření patří mezi rizikové faktory světelného poškození oka. Jde sice o faktor méně významný, ale i malé dávky mohou uspišit vznik očního zákalu [5].

Škodlivé UVB záření působí i na rostliny, ovšem každý druh rostliny je jinak citlivý. Citlivé rostliny při intenzivním záření mají kratší stonek, malé listy, celkově jsou tedy slabé. Fotosyntéza u takovýchto rostlin probíhá pomaleji, membrány rostlin jsou narušené. Ozáření působí na membrány jako poškození chladem, dochází k dezorganizaci a změnám v propustnosti membrán. Z tohoto důvodu, že největší snížení intenzity ozonu je na jižním pólu, kde se vyskytuje jen velmi málo vyšších rostlin, převážná většina výzkumu se týká nižších porostů. Některé rostliny pokud byly vystaveny záření delší dobu, vykazovaly zpočátku pomalý růst, ovšem po několika týdnech se jejich růst obnovil a postupoval rychleji. Některé rostliny se tedy dokázaly přizpůsobit stávajícím podmínkám, nelze tedy říct, že výrazné zeslabení ozonové vrstvy by vedlo k zániku rostlin na Zemi, ovšem došlo by k změnám v ekosystému planety [5], [6].

Záření samozřejmě prochází také vodním sloupcem, UVB záření může proniknout až do hloubky 10 m, biologické důsledky tohoto proniknutí jsou ovšem zjistitelné i v hloubce 20 - 30 m. Došlo k úbytku a zřídnutí fytoplanktonu, který tvoří základ životního řetězce na Zemi [5].

### 3.7. Legislativní opatření ČR

Legislativní opatření České republiky k problematice poškozování ozonové vrstvy se začaly formulovat již za existence České a Slovenské Federativní Republiky. Roku 1990 vláda ČSFR schválila svým usnesením přístup k Vídeňské úmluvě a k Montrealskému protokolu. Česká republika zaslala dopis generálnímu tajemníkovi OSN se žádostí o sukcesi ČR do Montrealského protokolu. Pojem sukcese znamená nahrazení jednoho státu druhým v odpovědnosti za mezinárodní vztahy území [25]. Sukcese České republiky byla uvedena v platnost datem 1. 1. 1994. Po přijetí Montrealské protokolu a Vídeňské úmluvy, bylo nutno dostát závazkům z přijetí plynoucích. Vláda musela přijmout potřebná legislativní opatření. Prvním právním předpisem, který se zaměřoval na ochranu ozonové vrstvy Země, byl zákon č.211/1993 Sb. Podstatou tohoto zákona bylo stanovení termínů zákazu výroby a dovozu nejvíce nebezpečných látek narušujících ozonovou vrstvu, spolu s výrobou látek je obsahujících. Dále byly zavedeny poplatky za dovoz a vývoz těchto nebezpečných surovin. Tento zákon plně nepokrýval požadavky Montrealského protokolu, zvláště potom dodatků. V roce 1994 byl Ministerstvem životního prostředí připraven nový návrh zákona. Tento zákon č. 86/1995 Sb., o ochraně ozonové vrstvy Země, vstoupil v platnost 1. 7. 1995 a zrušil zákon č. 211/1993 Sb. Zákon je především zaměřen na etapovité regulování výroby a dovozu zákonem stanovených látek. Zákon umožňuje výjimečné použití regulovaných látek v nutných případech, kde není adekvátní náhrada. Především v zajištění ochrany zdraví a života lidí, obrany a bezpečnosti státu. Je zde posílena převážně kontrolní činnost a zvýšení poplatků za vývoz a dovoz látek stanovených zákonem. Od roku 1995 prošel tento zákon mnohými úpravami, i v důsledku rozšiřování Montrealského protokolu a dalších dodatků. Významným mezníkem byl vstup ČR do Evropské unie, dne 1. 5. 2004. Tímto dnem vstoupilo na našem území v platnost nařízení Evropského společenství č. 2037/2000, o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu. Toto nařízení bylo později zrušeno a nahrazeno novým nařízením č. 1005/2009. V platnosti byla pouze ponechána národní právní úprava zajišťovaná zákonem č.86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a později vyhláška č. 279/2009 Sb., o předcházení emisí regulovaných látek a fluorovaných skleníkových plynů [5] [28].

Nejnovější aktualizací práva na ochranu ozonové vrstvy, je zákon č. 483/2008 Sb., o ochraně ovzduší [26]. Podle [27] je změna definována takto: „Novela zákona souvisí s přijetím nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 842/2006 o některých fluorovaných skleníkových plynech, včetně jeho prováděcích nařízení Komise,

přijatých v dubnu 2008, a s provedením některých jeho ustanovení na národní úrovni, stejně jako s dalšími důsledky, které vyplývají z přijetí tohoto nařízení v oblasti ochrany ozonové vrstvy. Změna zákona kompletně nahrazuje dosavadní hlavu III (Ochrana ozonové vrstvy Země) a hlavu IV (Ochrana klimatického systému Země).“.

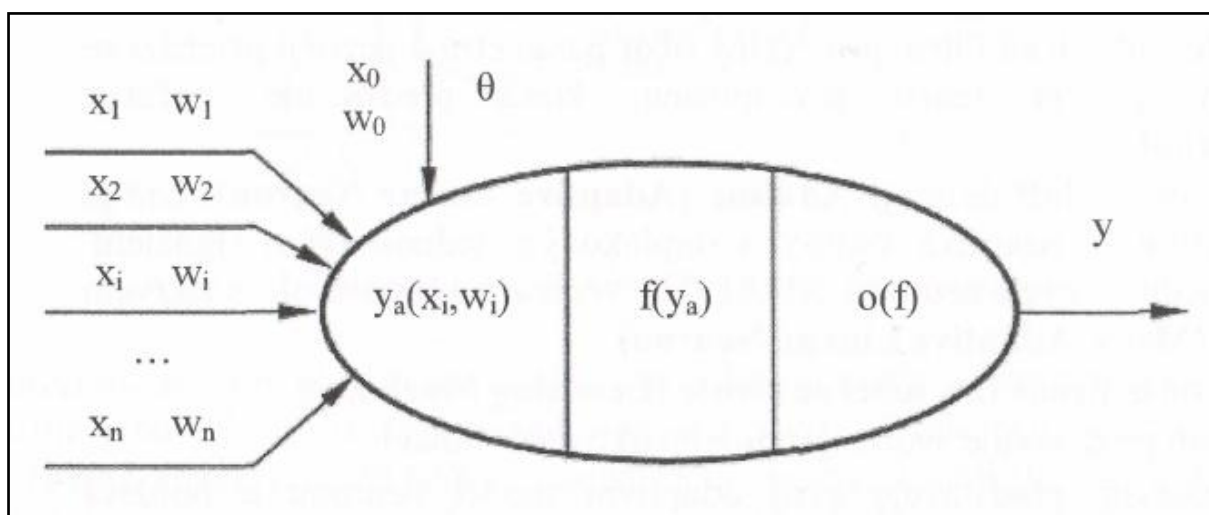
### **3.8. Shrnutí kapitoly**

Třetí kapitola se zaměřuje na vysvětlení problematiky ozonové vrstvy. Proto, aby si čtenář dokázal udělat úsudek o dnešním stavu, musí pochopit, jak funguje mechanismus vzniku a zániku ozonu. Vedle toho je důležité podat vysvětlení o rozdílu mezi stratosférickým a troposférickým ozonem. Nejde o tentýž ozon, jeden od druhého se liší nejen svou funkcí a dopadem na člověka, ale také svým vznikem. V současné době existují různé metody měření stratosférického ozonu, který je potřeba chránit před látkami, které ho poškozují. Za zmínku stojí Dobsonův spektrofotometr a jeho následník Brewerův spektrofotometr. Látkám poškozujícím ozonovou vrstvu je věnována jedna podkapitola společně s podkapitolou o legislativních opatřeních. Ať jde o Montrealskou smlouvu či o zákony na ochranu ozonové vrstvy v České republice. V rámci České republiky je zmíněna solární a ozonová observatoř v Hradci Králové, která má velký význam i ve světovém měřítku při měření ozonu. Za připomenutí stojí i celosvětový problém poškození ozonové vrstvy, čímž je ozonová díra. Tato práce se snaží přiblížit stav ozonové díry nad Antarktidou za poslední období spolu se současnou hladinou ozonu. Dopady poškození ozonové vrstvy Země na živočichy a rostliny jsou zohledněny v podkapitole kladů a záporů ozonu. Celá třetí kapitola podává ucelený přehled o ozonové vrstvě a ozonu samotném.

## 4. NEURONOVÉ SÍTĚ

Tato kapitola vysvětlí základní principy neuronových sítí. Kapitola bude mít za úkol odpovědět na otázky, co jsou to vlastně neuronové sítě, z čeho se skládají, jak se člení a kde se používají.

Neuronová síť dostala svůj název podle základní stavební jednotky, neuronu. Neuron umělé neuronové sítě je ve své funkci kopií neuronu v přírodních neuronových sítích. Každý přírodní neuron má spousty vstupů tzv. dendritů a pouze jeden výstup, axon. Všechny vstupy jsou připojeny na výstupy jiných neuronů. K jednomu neuronu v lidském mozku může být připojeno až 5000 jiných neuronů. Neurony reagují na velikost podráždění na dendritech, které vedou vzruch do buňky. Axony jsou zakončeny tzv. synapsemi, které zajišťují přenos informací mezi neurony. Každý neuron má prahovou hodnotu, jejíž překročení zajišťuje tzv. aktivaci buňky. U neuronů umělé neuronové sítě je tomu podobně (obr. 12). Též jsou zde vstupy a výstupy a aktivační funkce neuronu, která má za úkol převést hodnotu vstupního potenciálu na výstupní hodnotu z neuronu. Aktivační funkce se liší podle zadané problematiky, podle polohy neuronu v síti či druhu neuronové sítě. Za nejčastěji používané funkce se uvádí skoková, lineární, po částech lineární, sigmoidální, hyperbolicko - tangenciální či gaussovská funkce [29], [30].



Obr. 12 Neuron umělé neuronové sítě, zdroj: [29]

Prvky neuronu jsou [29]:

- $x_i$  - vstupy neuronu, výstupy předcházející vrstvy
- $w_i$  - synaptické váhy
- $n$  - počet neuronů
- $\theta$  - práh neuronu

- $y_a$  - vstupní potenciál neuronu
- $f$  - aktivační funkce
- $o$  - výstupní funkce neuronu
- $y$  - výstup neuronu.

Pod pojmem neuronové sítě si lze představit matematické modely, které napodobují činnost přirozené neuronové sítě v lidském mozku. Tak jako lidský mozek je schopen učit se a řešit nové úkoly, tak i umělé neuronové sítě mají tuto schopnost. Jejich přínosem je tedy možnost simulovat některé funkce lidského myšlení. Podstatou je modelování struktury a činnosti biologických neuronových sítí. Základní a nejvíce hodnocenou vlastností, pro kterou jsou neuronové sítě ceněny, je schopnost učit se a schopnost zevšeobecňovat. Učení je dvojího typu a rozděluje se na dvě fáze. Jde o učení s učitelem a bez učitele a fázi učení a života. Učení neuronové sítě se dá srovnat s adaptací neuronové sítě. Je definované jako proces, při kterém se mění parametry, neboli váhy na základě pravidel, které jsou dány typem učení neuronové sítě. Množina vstupních dat se obvykle rozděluje na dvě části, na testovací a na trénovací data. Trénovací množina se používá ve fázi učení, testovací množina se uplatňuje ve fázi života a to za účelem otestování získaných znalostí v průběhu učení. Správný výběr trénovacích dat je velice důležitý pro dobré naučení sítě, tento krok se nesmí podcenit. Učení tedy spočívá v opakovaném přikládání vzorů požadovaného chování sítě na vstup a hledání optimálního nastavení parametrů (vektoru vah  $w$ ), při kterém bude chyba neuronové sítě minimální. Chyba je definována jako rozdíl mezi vstupem a výstupem neuronové sítě. Je třeba v krátkosti zmínit rozdíl mezi učením s učitelem a bez něj. Učení s učitelem vyžaduje lidskou podporu, tzn., že je nám znám požadovaný výsledný stav, kterého chceme dosáhnout, a je tedy přiveden na vstup sítě. V případě učení bez učitele tomu tak není. Nezná se požadovaný výsledný stav a síť nedostává žádnou informaci od učitele. Tuto informaci si síť odvozuje ze svého výstupu pomocí zpětné vazby [29], [30].

Učení umělých neuronových sítí je chápáno jako Achillova pata většího rozšíření umělých neuronových sítí. Do umělého neuronu vstupují informace podobně jako do biologického neuronu, rozhodování se děje na základě důležitosti jednotlivých vstupů. Podle vah každého vstupu, dochází k rozhodování o tom, jaká informace je důležitá pro nejlepší rozhodnutí. Člověk se učí celý život, informace do přírodní neuronové sítě přicházejí a postupem času dokáže síť získané informace zkušeně vyhodnotit podle jejich

důležitosti (vah). Umělou neuronovou sít' je to třeba naučit. Musíme jí tedy poskytnout data a naučit ji přidělovat důležitost těmto datům. Podle [30]: „Existuje na to disciplína, nazývaná data mining, což je zjednodušeně řečeno dolování pro daný problém důležitých informací.“ [30].

Pro potřeby této práce se autor podrobněji zaměří na RBF neuronové sítě, které patří mezi dopředné neuronové sítě. Pod pojmem dopředná neuronová sít' se skrývá rozdělení neuronů do jednotlivých vrstev. Neurony mezi jednotlivými vrstvami jsou mezi sebou propojeny tak, že výstup jednoho neuronu se stává vstupem neuronu v další vrstvě. Jednotlivé vrstvy se nazývají vstupní vrstva (input layer), skrytá vrstva (hidden layer) a výstupní vrstva (output layer). Vstupní a výstupní vrstva je pouze jedna, ovšem podle složitosti modelovaného systému lze zvolit více skrytých vrstev. Pro potřeby této práce bude postačovat volba pouze jedné skryté vrstvy u RBF neuronové sítě [29].

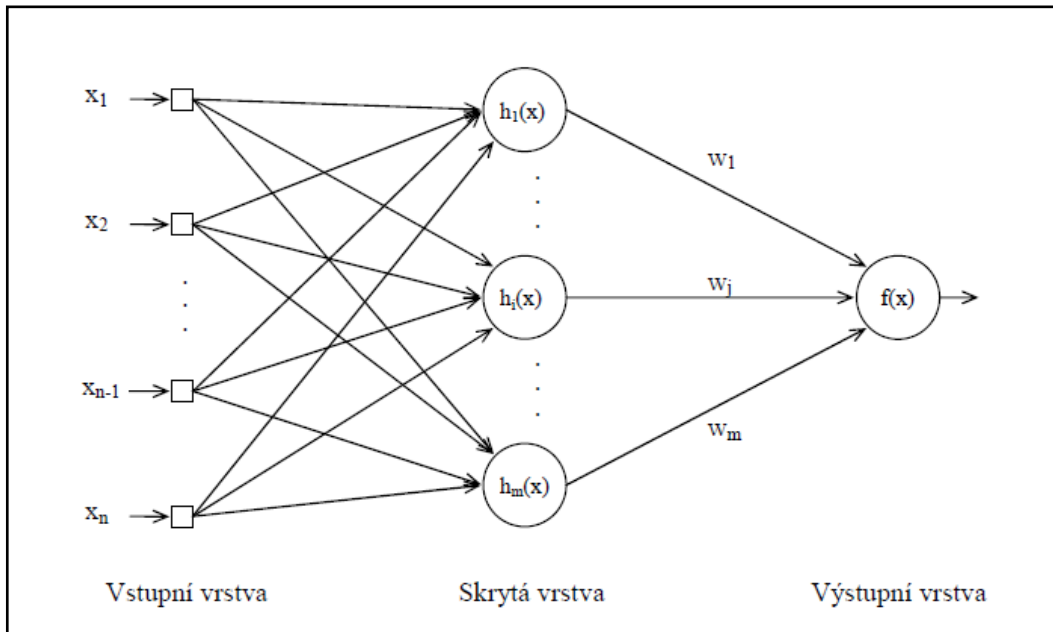
#### 4.1. RBF NEURONOVÉ SÍTĚ

Neuronové sítě typu RBF (Radial Basis Function) dostaly název podle aktivační funkce ve svých neuronech, tedy podle radiální bázové funkce. Jde o dopřednou neuronovou sít' s dopředným šířením signálu, není zde cyklus. RBF neuronová sít' je definována jako třívrstvá. Přičemž první vrstva je definována jako vstupní. Jejím hlavním úkolem je pouze zprostředkovat přenos hodnot vstupního vektoru  $x = (x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_m)$  k RBF neuronům. Každá ze složek vektoru  $x$  je vstupní hodnotou pro aktivační funkci v RBF neuronu. Ve vstupní vrstvě se tedy nevyskytují neurony. Jde pouze o vrstvu, která zajišťuje přivedení vstupních hodnot. Mezi vstupní a skrytou vrstvou nejsou použity váhy synapsí. Prostřední vrstva se nazývá skrytá a má zásadní význam pro funkci sítě. Právě zde dochází k transformaci vstupního signálu pomocí radiální bazické funkce. Neuronové sítě RBF mohou mít právě jednu skrytou vrstvu. Důvodem je, že každá z hodnot vstupního vektoru  $x$  je použita jako parametr aktivační funkce  $H = \{h_1(x), h_2(x), \dots, h_i(x), \dots, h_q(x)\}$ . Neurony ve výstupní vrstvě reprezentují vážený součet všech výstupů jdoucích ze skryté vrstvy. Aktivační funkce neuronů ve výstupní vrstvě je nejčastěji lineární. Podmínkou správné funkce RBF sítě je propojení všech neuronů ve všech vrstvách. Grafické vyobrazení RBF neuronové sítě je na obr. 13 a 14. Matematický zápis vyjadřující RBF neuronovou sít' je

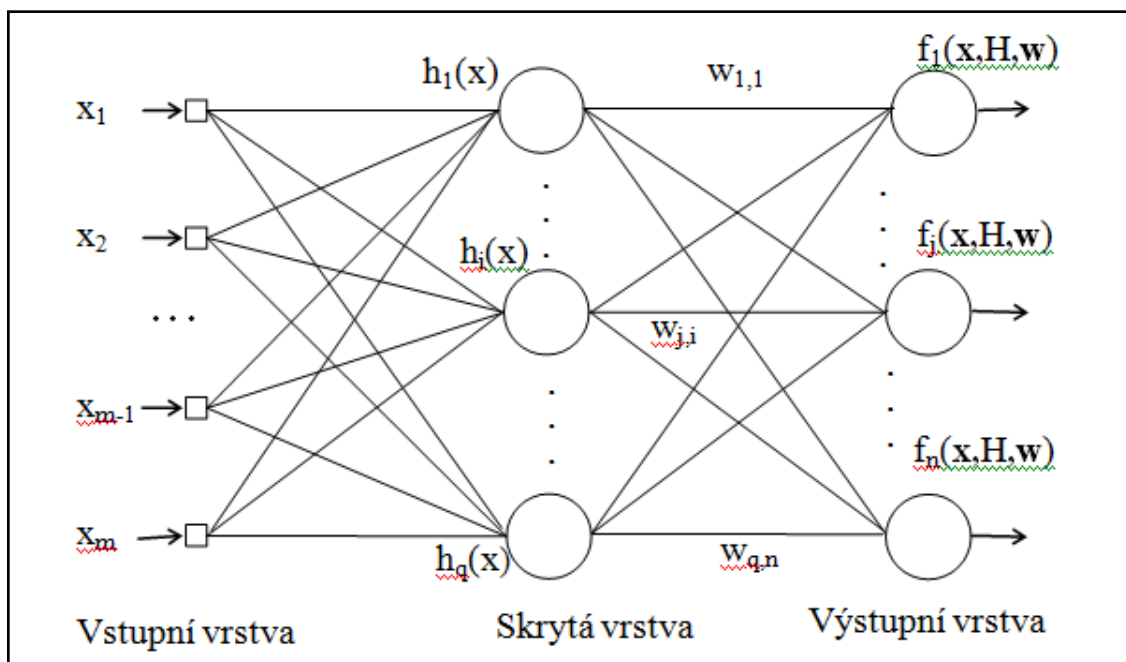
$$f(x) = w_0 + \sum_{i=1}^m w_i h_i(x), \quad (5.1)$$



kde  $w_i$  jsou váhy synapsí a  $h_i(x)$  aktivační funkce ve skryté vrstvě [31].



Obr. 13 Neuronová síť RBF pro predikci, zdroj: [32]



Obr 14 Neuronová síť RBF pro klasifikaci, zdroj: [31]

Neuronové síť RBF lze aplikovat jak na predikci, tak na klasifikaci, což je patrné na obrázcích výše. Pro potřeby této práce se bude na RBF neuronové síť pohlížet z hlediska predikce. Neuronové síť RBF jsou považovány za přirozené predikátory, protože predikce je prováděna funkcemi, které mají vliv pouze na konečnou funkci v okolí centra RBF neuronů a ne v celém rozsahu funkce.

## 4.2. Aktivační funkce

Z předchozí podkapitoly plyne, že aktivační funkcí RBF neuronů jsou radiální bazické funkce. Radiální funkce jsou typické tím, že monotónně klesají či stoupají s rostoucí vzdáleností od centra  $c_i$  aktivační funkce RBF neuronu. Tyto funkce patří mezi zvláštní třídu matematických funkcí. Obecný vztah pro radiální funkci lze zapsat následovně,

$$h(x) = \varphi \left( \frac{\sqrt{(x-c)^2(x-c)}}{|r|} \right), \quad (5.2)$$

kde:  $x$  ... vstupní vektor,

$c$  ... centrum RBF neuronu,

$r$  ... poloměr funkce.

Matematický zápis (5.2) bude aplikován při použití vícerozměrného vstupního vektoru, pokud bude použit jednorozměrný vstupní vektor, vztah se zjednoduší na tvar [32]

$$h(x) = \varphi \left( \left| \frac{x-c}{r} \right| \right). \quad (5.3)$$

Jako aktivační funkci užívají neurony ve skryté vrstvě např. [33]:

Gaussovu aktivační funkci

$$\varphi(x) = e^{-x^2} \quad (5.4)$$

Multikvadratickou aktivační funkci

$$\varphi(x) = \sqrt{1+x^2} \quad (5.5)$$

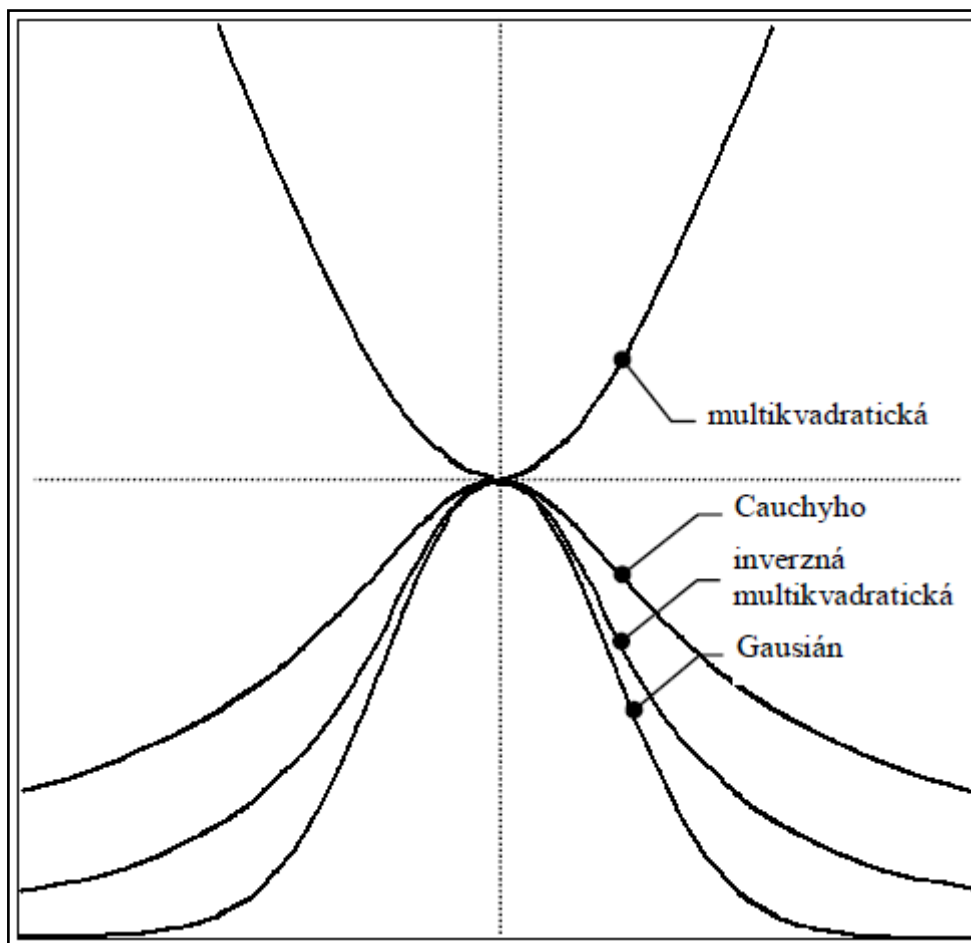
Inverzní multikvadratickou aktivační funkci

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} \quad (5.6)$$

Cauchyho aktivační funkce

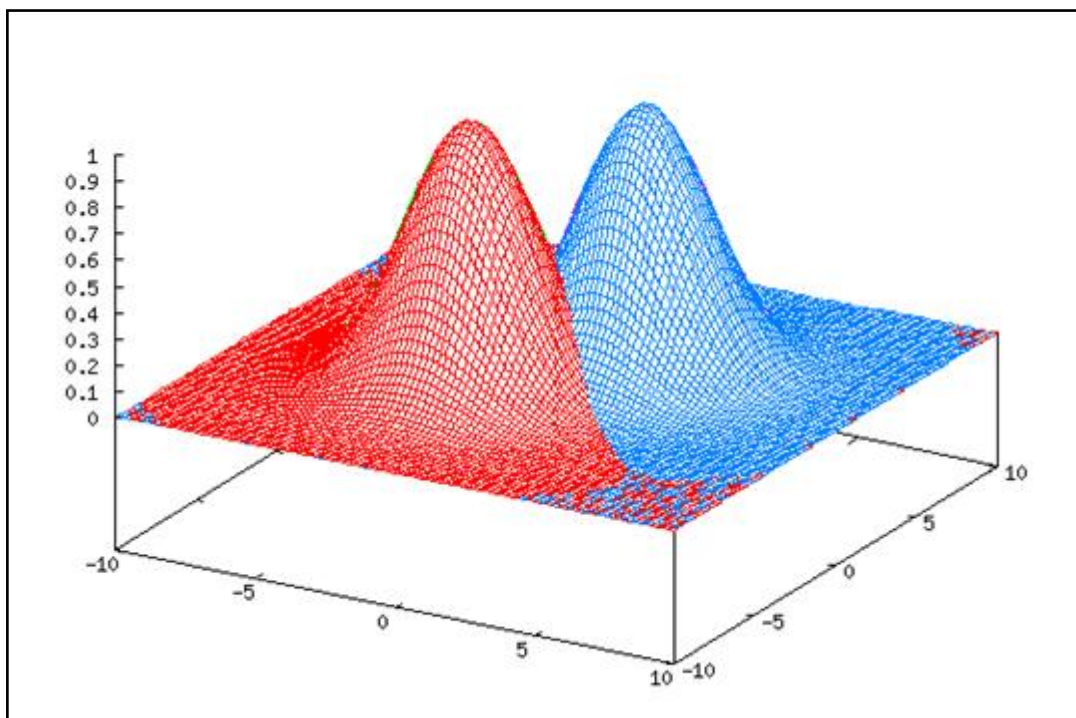
$$\varphi(x) = \frac{1}{1+x} \quad (5.7)$$

Pro lepší představu o průběhu jednotlivých aktivačních funkcí je uveden obr. 15.



Obr. 15: Průběh aktivačních funkcí, zdroj: [33]

Gaussova aktivační funkce je považována za nejvíce používanou, proto na následujícím obr. 16 bude uveden výstup v případě jejího použití, kde je znázorněn výstup dvou neuronů v RBF neuronové síti s Gaussovou aktivační funkcí, kdy vstupem byl dvourozměrný vektor. Středů těchto dvou neuronů leží na souřadnici  $[-2,-2]$  a  $[2,2]$ , šířka  $r$  je rovna 4 [34].



Obr. 16 Výstup při použití Gaussovy funkce u dvourozměrného vstupu, zdroj: [34]

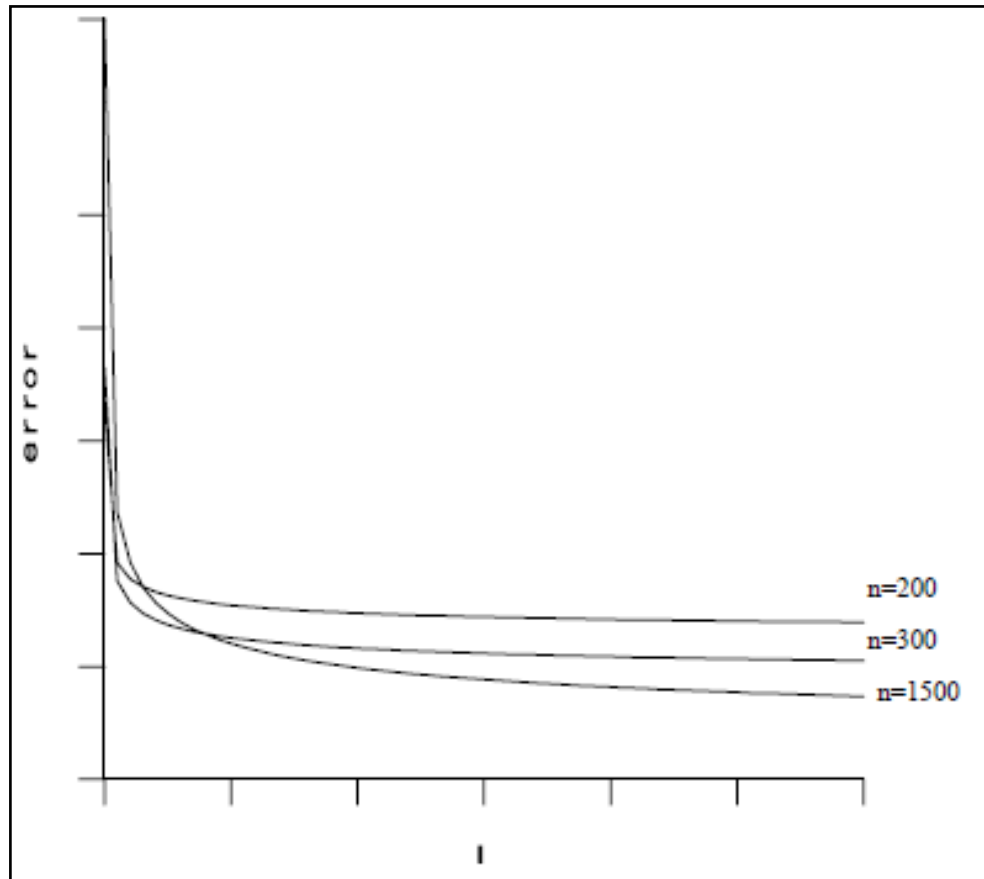
### 4.3. Učení RBF

Jak již bylo zmíněno výše, RBF neuronové sítě patří mezi dopředné sítě a podle toho se také definuje proces učení. Neuronové sítě RBF se učí podle učení s učitelem. Jde o dynamický proces, který je rozdělen do několika kroků:

- a) stanovení počtu center RBF neuronů, definování jejich pozic,
- b) zjištění poloměru center, nastavení vah mezi skrytou a výstupní vrstvou, definice strmosti RBF.

Učení v RBF neuronové síti probíhá rychle, což je považováno za značnou výhodu. Problém který může nastat při učení, je správné stanovení počtu neuronů v skryté vrstvě. Tento počet velmi výrazně ovlivňuje rychlost učení spolu s přesností modelu. Pokud se zvolí příliš velký počet neuronů skryté vrstvy, hrozí problém zvaný přeučení neuronové sítě. V takové situaci dochází k tomu, že neuronová síť dokáže rozpoznat pouze ty vzory, které se naučila a u vzorů které se liší, to nesvede. Takováto síť je nevhodná pro další použití. Stanovení správného počtu neuronů je tedy bráno jako východisko při sestavování RBF neuronové sítě. Touto problematikou se ve své práci zabývali i Partha Niyogi a Federico Girosi. Na základě svých průzkumů, došli k následujícím závěrům o stanovení počtu RBF neuronů [32], [36]:

- a) Stanovený počet neuronů má vliv na průběhu trénovací chyby.
- b) S rostoucím počtem neuronů ve skryté vrstvě dochází k tomu, že trénovací chyba pozvolně konverguje k nule, obr. 17, kde  $n$  je počet RBF neuronů a  $l$  je množina trénovacích dat.



Obr. 17 Vliv počtu RBF neuronů a trénovací množiny na trénovací chybu, zdroj: [36]

- c) Pokles trénovací chyby je patrný pouze tehdy, roste-li počet neuronů pomaleji než množství dat v trénovací množině.
- d) Za optimální množství neuronů ve skryté vrstvě pro definovanou trénovací množinu dat je považována přibližně třetí odmocnina z této trénovací množiny dat.

#### 4.4. Centra RBF neuronů

V dalším kroku učení RBF neuronové sítě je třeba definovat centra RBF neuronů. Nabízí se několik možností, jak výběr provést. V této práci budou zmíněny dva způsoby. Pro výběr center je důležité, aby trénovací množina vstupních dat opravdu charakterizovala tato data. Určení center totiž velice ovlivňuje správnost procesu učení v možnosti použití nižšího počtu neuronů ve skryté vrstvě. Při volbě se nejčastěji uplatňuje proces náhodné

volby. Vedle toho se můžeme setkat také s využitím metody K-means, která patří mezi samoorganizující učící proces (self-organized learning process) [35].

Metoda náhodného výběru – tato metoda je považována za rozumnou volbu, při dobře zvolené trénovací množině vstupních dat. Vstupní trénovací množina musí dobře reprezentovat data neuronové sítě. V případě této metody je jako radiální bazická funkce zvolena Gaussova funkce

$$G(\|x - c_i\|^2) = \exp\left(-\frac{m_1}{d_{max}^2} \|x - t_i\|^2\right), i = 1, 2, \dots, m_1, \quad (5.8)$$

kde  $c_i$  jsou centra Gaussovy funkce,  $m_1$  je počet center a hodnota  $d_{max}$  vyjadřuje vzdálenost mezi jednotlivými centry neuronů. Metoda náhodné volby definuje fixní sklon radiální bazické funkce (Gaussova). Tento sklon je definován jako podíl

$$\sigma = \frac{d_{max}}{\sqrt{2m_1}}. \quad (5.9)$$

Tato formulace zajišťuje, že jednotlivé radiální bazické funkce nejsou příliš strmé ani ploché. Přílišná strmota a plochost funkcí je považována za extrémní, tudíž by bylo dobré se jim vyvarovat [35].

Pro naučení RBF neuronové sítě je dobré, když je počet neuronů ve skryté vrstvě co nejnižší, ovšem při použití této metody to není vždy možné. Problém nastává u většího množství dat, kdy dochází k velice rychlému nárůstu počtu neuronů. Síť se poté učí pomaleji a roste její složitost. Dá se tedy tvrdit, že metoda náhodného výběru center RBF neuronů není vhodná pro větší množství vstupních dat [35].

K-means - je takový algoritmus, který pro centra radiální bazické funkce bere pouze takový vstupní prostor, kde jsou přítomna významná data. Zápis  $\{c_k(n)\}_{k=1}^{m_1}$  je označení pro centra RBF pro  $n$ -tou iteraci algoritmu. Proměnná  $m_1$  je počet radiálních bazických funkcí. V některých případech určení vhodné hodnoty  $m_1$  může vyžadovat experimentování. Celý proces K-means algoritmu lze zapsat do pěti základních kroků [35]:

1. Inicializace – výběr náhodných hodnot pro počáteční centra  $c_k(0)$ , jediné omezení je vtom, že hodnoty se od sebe musí lišit,
2. Vzorkování – zanesení vektoru  $x$  ze vstupního prostoru s určitou pravděpodobností, vektor  $x$  je vstupem algoritmu v  $n$ -té iteraci,
3. Odpovídající podobnost – parametr  $k(x)$  definuje index nejlepší shody centra pro vstupní vektor  $x$

$$k(x) = \arg \min_k \|x(n) - c_k(n)\|, k = 1, 2, \dots, m_1, \quad (5.10)$$

kde  $c_k(n)$  je centrum  $k$ -té radiální bazické funkce v iteraci  $n$ ,

4. Aktualizace – pro nastavení center radiálních bazických funkcí se využívá pravidla

$$c_k(n + 1) = c_k(n) + \mu[x(n) - c_k(n)], \quad k = k(x) \quad (5.11)$$

parametr  $\mu$  definuje rychlost učení a leží v rozmezí  $0 < \mu < 1$ .

5. Pokračování – pokud dojde k přírůstku  $n$  o 1, znamená to návrat do druhého kroku, procedura pokračuje, dokud nebudou pozorovány žádné nápadné změny v centrech  $c_k$ .

Za nevýhodu metody K-means se dá považovat fakt, že řešení se nachází pouze v lokálním optimu. Metoda je vhodná pro použití i u většího množství vstupních dat.

#### 4.5. Shrnutí kapitoly

Kapitola číslo čtyři podává shrnující informace o podstatě neuronových sítí. Poukazuje na podobnost s nervovou buňkou nejen z hlediska stavby, ale také v podstatě získávání důležitých informací z okolního světa. Je důležité zmínit, na jakém principu neuronové sítě pracují, jakými způsoby jsou schopné se učit a podávat výsledky. V krátkosti jsou definovány dopředné neuronové sítě.

Kapitola dále podrobněji charakterizuje RBF neuronové sítě, popisuje funkce jednotlivých vrstev a blíže pojednává o radiální bazické funkci. Význam RBF neuronových sítí je v odlišném způsobu jejich učení. Této problematice je věnována celá podkapitola, ve které je přesněji popsán postup nalezení správného počtu neuronů ve skryté vrstvě a možnosti nalezení center RBF.

## 5. PREDIKCE OZONU POMOCÍ RBF NEURONOVÝCH SÍTÍ

Na základě získaných údajů ze stanice ČHMÚ č. 1465 Pardubice - Dukla (tabulka 3), které se týkají problematiky troposférického ozonu, bude vytvořen model pro predikci ozonu. Stanice poskytla celkem 679 dat, které bylo nutno upravit do požadovaného formátu pro další zpracování. Z hlediska velkého rozsahu dat je v tabulce 3 uvedena pouze 1/30 z celkového souboru dat.

Tabulka 3 Původní data stanice ČHMÚ č. 1465 Pardubice Dukla, zdroj: autor

SO <sub>2</sub>	PM 10	PM 2.5	NO <sub>x</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	CO	den	měsíc	pracovní den	rychlost větru	vlhkost
41.7	16.2	12.1	40.1	7	32.4	530.5	1	1	1	5.7	85
19.3	23.8	14.9	32.2	3.8	29.1	584.9	2	1	1	4	93
9.4	30.4	22.2	37.2	4.9	29.6	658.2	3	1	1	1.7	85
10.2	77.9	53.5	60.3	12.3	41.5	985.1	4	1	1	1.7	89
13.7	78.2	59.2	30.1	3.5	24.7	854.4	5	1	1	2	89
18.3	60.8	44.7	21.2	0.8	19.9	757.8	6	1	0	3.7	80
10.7	44.6	31	21.5	1.3	19.5	675.9	7	1	0	5.3	77
19.7	48.7	33.6	28.2	1.7	25.5	697.1	1	1	1	2	64
25.2	77.4	55.3	47.1	4.9	39.7	921	2	1	1	0.7	76
12.6	69	47.1	42.2	3.6	37	946.5	3	1	1	1.7	87
5.1	20.5	15.1	45.9	8.5	32.9	755.5	4	1	1	2.7	97
5.7	6.3	3.7	15.3	1.2	13.5	627.4	5	1	1	4.7	96
4.9	7.3	5	8.2	0.5	7.4	544.8	6	1	0	7.3	80
7.2	21.3	14.7	34.3	5.3	26.2	660.8	7	1	0	5	93
12.9	29.2	20.5	27.9	4.7	20.7	811	1	1	1	2.7	83
13.8	30.7	23.8	22.5	1.9	19.7	777.7	2	1	1	3	86
17	23.3	17	24.9	1.8	22.1	746	3	1	1	3.7	90
19.8	93.9	71.7	38.2	2.1	34.9	1327.5	4	1	1	1.3	75
20.6	149	112.4	72.9	11.2	59	1606.5	5	1	1	1	87
34.5	138.9	108.4	37.6	3.3	33.5	1342.3	6	1	0	2	80
13.6	54.6	44	19.5	1.5	18.1	1019.3	7	1	0	5.3	90
11.4	35.3	24.7	26.7	2.1	24.3	909.9	1	1	1	6.3	84
tlak	sluneční svit	teplota	směr větru	O <sub>3</sub> t-1	O <sub>3</sub> t-2	O <sub>3</sub> t-3	O <sub>3</sub> t-4	O <sub>3</sub> t-5	O <sub>3</sub> t-6	O <sub>3</sub> (y)	
987.2	3.5	1	29.7	49.5	34.9	28.3	36	50.3	50.3	70.4	
992.3	0	0.2	27.7	34.9	28.3	36	50.3	50.3	70.4	44.7	
998.3	1.4	0.4	34	28.3	36	50.3	50.3	70.4	44.7	33.1	
1006.1	4.7	-3.3	25.3	36	50.3	50.3	70.4	44.7	33.1	20.4	
1004	4.1	-7.2	10	50.3	50.3	70.4	44.7	33.1	20.4	49.2	
1004.5	6.6	-5.3	10.7	50.3	70.4	44.7	33.1	20.4	49.2	79.1	
1006.2	7.2	-5.5	10.7	70.4	44.7	33.1	20.4	49.2	79.1	89.5	
1006.9	8	-5.2	8.3	44.7	33.1	20.4	49.2	79.1	89.5	75.4	
1006.8	6.5	-4.8	7.3	33.1	20.4	49.2	79.1	89.5	75.4	68	
1000.6	0.9	-0.8	11.3	20.4	49.2	79.1	89.5	75.4	68	64.9	
992.8	0	3.2	16.7	49.2	79.1	89.5	75.4	68	64.9	28.8	
974.7	0	6.2	19	79.1	89.5	75.4	68	64.9	28.8	56.2	
963.6	0	2.8	25.7	89.5	75.4	68	64.9	28.8	56.2	73.6	
970.2	1.9	-1.5	25	75.4	68	64.9	28.8	56.2	73.6	45.2	
978.7	0.6	-1.6	24.3	68	64.9	28.8	56.2	73.6	45.2	56.8	
984.1	0	-0.5	12.3	64.9	28.8	56.2	73.6	45.2	56.8	53.7	
991.3	0	-0.9	29.7	28.8	56.2	73.6	45.2	56.8	53.7	55.2	
984.8	8.5	-6.5	6	48.9	67.4	69.4	68.2	72.4	98.2	93.8	
983.8	1.5	-7.5	15	67.4	69.4	68.2	72.4	98.2	93.8	54.6	
979.1	5.9	-3.9	22	69.4	68.2	72.4	98.2	93.8	54.6	113.5	
983.4	0	-3.7	30.3	68.2	72.4	98.2	93.8	54.6	113.5	105.8	
986.9	0	-3.5	27.7	72.4	98.2	93.8	54.6	113.5	105.8	78.1	



Celkem bylo stanicí poskytnuto 23 parametrů, jejichž závislost lze vyjádřit vztahem

$$y = f(x_1^t, x_2^t, x_3^t, \dots, x_m^t), \text{ kde } m = 23. \quad (5.1)$$

Data je třeba dále upravit pro potřeby softwaru SPSS Clementine, v němž budou prováděny jednotlivé experimenty pro hledání optimálního nastavení RBF neuronové sítě spolu se samotnou predikcí.

### 5.1. Předzpracování

Z hlediska toho, že získané údaje o naměřených hodnotách oxidu siřičitého (SO<sub>2</sub>), atmosférickém aerosolu (PM 10, PM 2.5), oxidech dusíku (NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub>), oxidu uhelnatém (CO), dne, měsíce, větru, vlhkosti, tlaku, slunečního svitu, teploty a ozonu jsou nestejnorodé, je třeba je dále upravit. Liší se převážně ve svých měrných jednotkách. Je proto nutné hodnoty jednotlivých ukazatelů vyjádřit tak, aby byly souměřitelné. Pro potřeby úpravy byla použita standardizace, která je založena na dvou krocích. V prvním kroku se musí vypočítat střední hodnota  $\bar{z}_j$  j-tého znaku  $z_j$  a směrodatnou odchylku  $s_j$  pro  $n$  objektů

$$\bar{z}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{ij}, \quad (5.2)$$

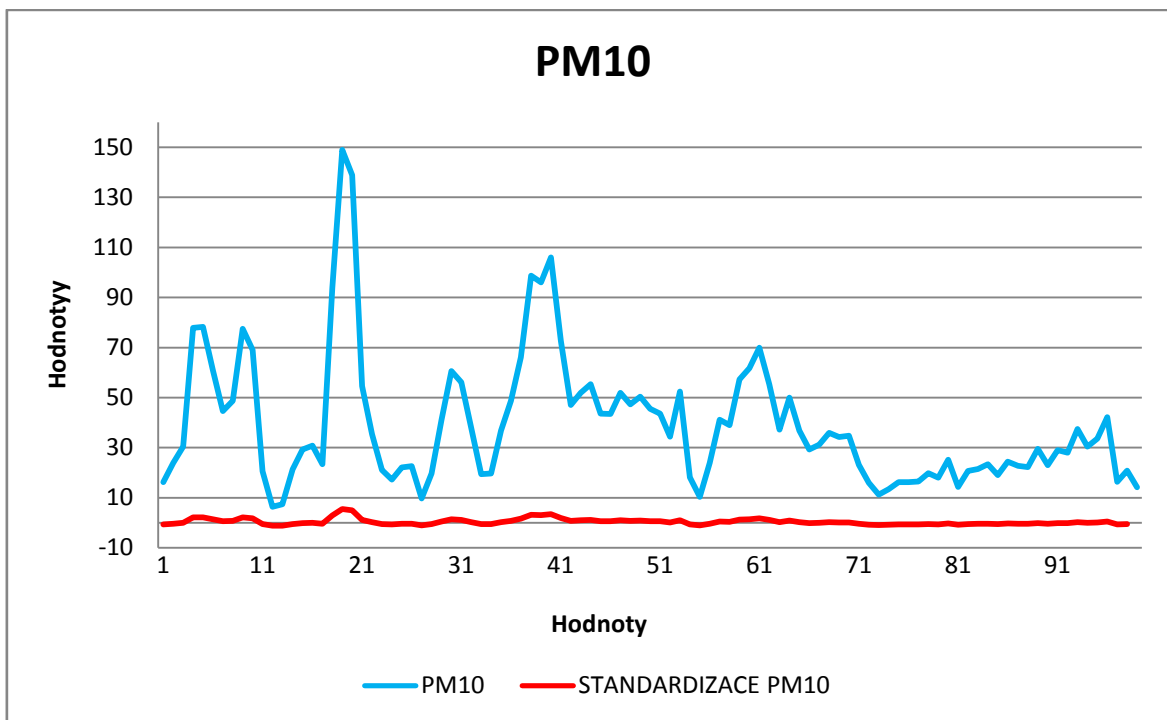
$$s_j = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_{ij} - \bar{z}_j)^2 \right]^{1/2}. \quad (5.3)$$

V druhém kroku dojde k samotnému přepočtu na standardizované hodnoty podle následujícího vztahu (6.3) [37]

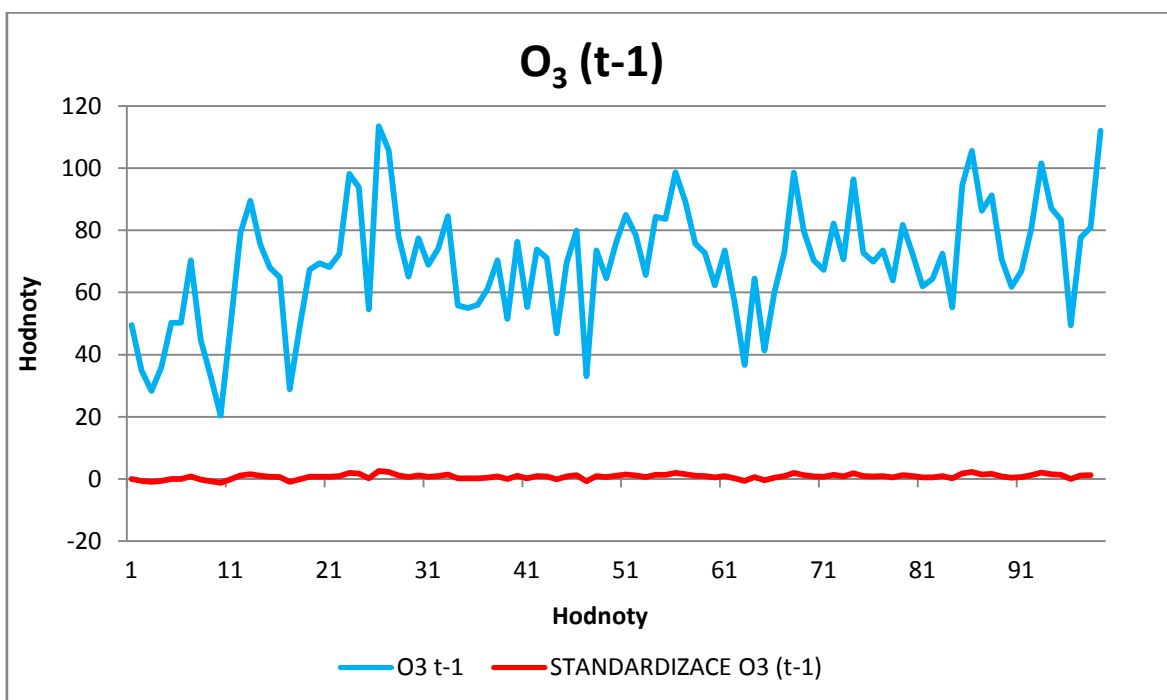
$$x_{ij} = \frac{z_{ij} - \bar{z}_j}{s_j}. \quad (5.4)$$

Data nejsou od sebe řádově vzdálena, proto autor nevidí potřebu data dále upravovat, tedy normalizovat.

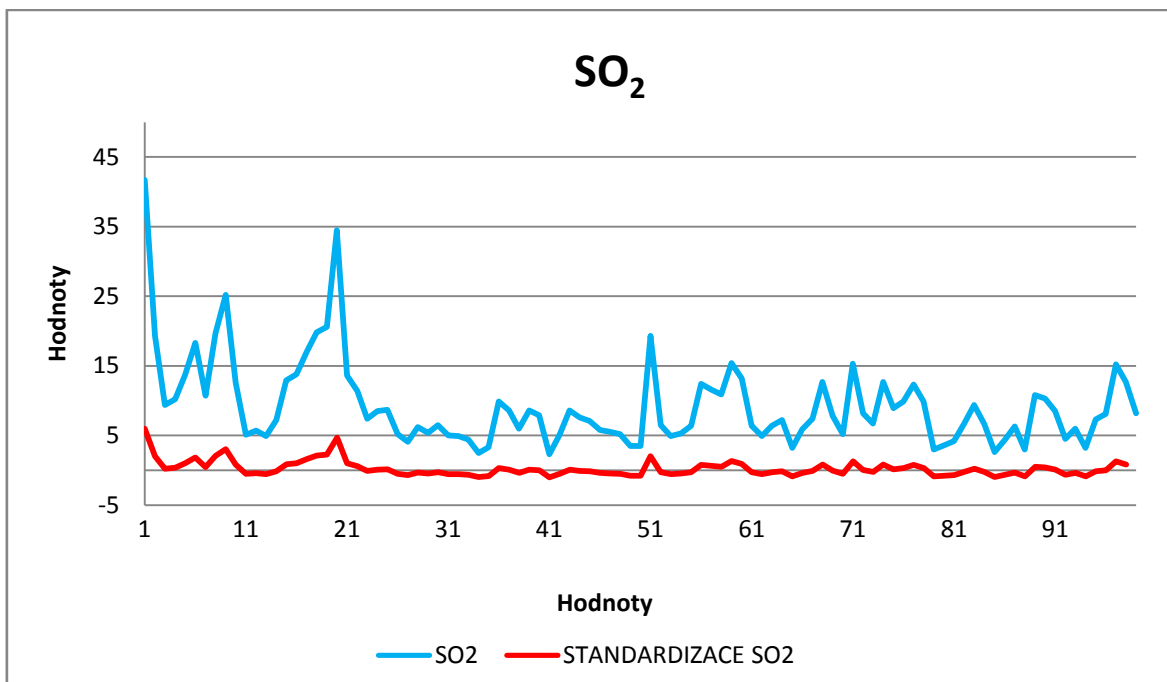
Pro lepší názornost, jak vypadají původní a standardizovaná data, jsou v grafech 1, 2, 3 a 4 znázorněny průběhy čtyř vybraných časových řad (PM 10, O<sub>3</sub> t-1, SO<sub>2</sub> a sluneční svit).



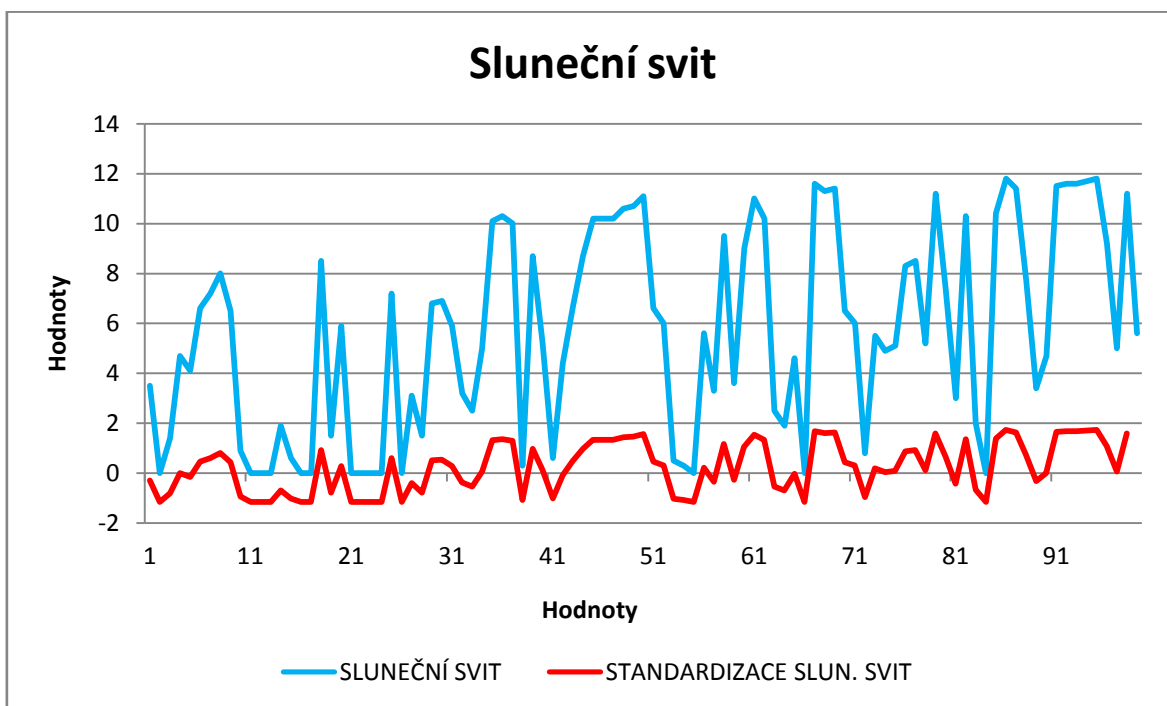
Graf 1 Průběh časové řady PM 10, zdroj: autor



Graf 2 Průběh časové řady  $O_3(t-1)$ , zdroj: autor



Graf 3 Průběh časové řady SO<sub>2</sub>, zdroj: autor



Graf 4 Průběh časové řady Sluneční svit, zdroj: autor

Dále u původních dat byla provedena korelace, jež se provádí pro potřeby odhalení silných závislostí mezi daty. Pokud se tato závislost vyskytne, hodnota je větší než 0.8. Proměnné mezi sebou korelují a je nutno vyloučit jeden parametr. Korelace mezi daty je nežádoucí, má za následek, že pokud dojde ke změně jednoho parametru, dojde

ke změně i druhého závislého parametru. Korelační tabulka je uvedena v příloze 3. V následující tabulce 4 je zobrazena korelační tabulka, která zachycuje pouze parametry, které mezi sebou korelují. Na základě zjištěné korelace vyloučíme parametr PM 2.5, který koreluje s PM 10, NO<sub>x</sub> jež koreluje s NO a NO<sub>2</sub>. Dále hodnoty O<sub>3</sub> t - 2 až t - 6, které mezi sebou korelují navzájem. Z původních 23 parametrů vlivem úprav bude do navrhovaného modelu použito 16 parametrů, čemuž odpovídá následující funkce

$$y = f(x_1^t, x_2^t, x_3^t, \dots, x_m^t), \text{ kde } m = 16. \quad (5.5)$$

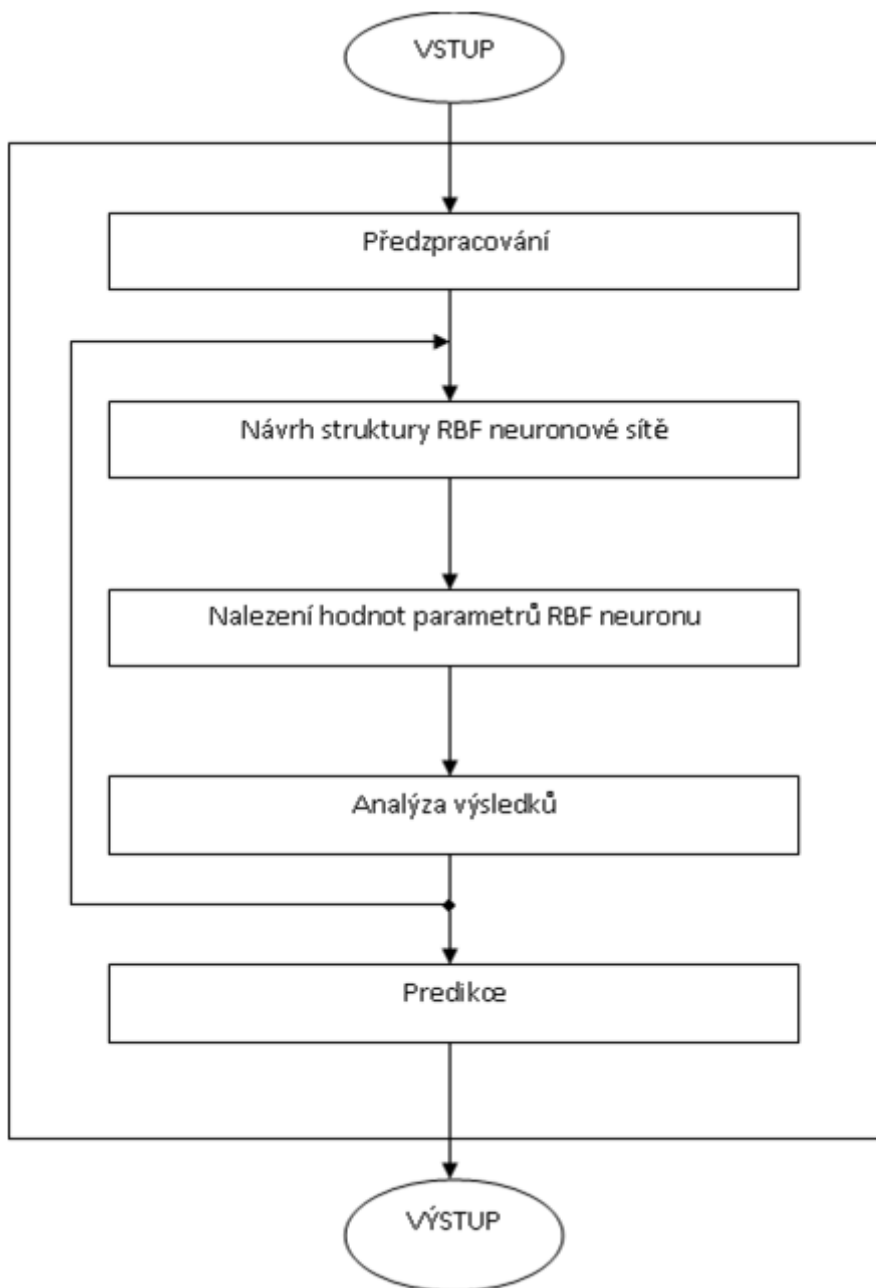
Tabulka 4 Korelační tabulka, zdroj: autor

	SO <sub>2</sub>	PM 10	PM2,5	Nox	NO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub> t-1	O <sub>3</sub> t-2	O <sub>3</sub> t-3	O <sub>3</sub> t-4	O <sub>3</sub> t-5	O <sub>3</sub> t-6
SO <sub>2</sub>	1.000	0.324	0.343	0.204	0.124	0.341	-0.098	-0.101	-0.117	-0.092	-0.085	-0.142
PM10	0.324	1.000	0.960	0.543	0.443	0.669	-0.232	-0.223	-0.200	-0.171	-0.160	-0.205
PM2,5	0.343	0.960	1.000	0.587	0.472	0.721	-0.274	-0.259	-0.233	-0.203	-0.195	-0.241
Nox	0.204	0.543	0.587	1.000	0.943	0.785	-0.391	-0.359	-0.338	-0.337	-0.340	-0.415
NO	0.124	0.443	0.472	0.943	1.000	0.595	-0.379	-0.356	-0.339	-0.347	-0.359	-0.431
NO <sub>2</sub>	0.341	0.669	0.721	0.785	0.595	1.000	-0.332	-0.289	-0.268	-0.268	-0.268	-0.348
CO	0.008	0.413	0.428	0.422	0.353	0.381	-0.056	-0.041	-0.026	-0.011	-0.014	-0.048
den	-0.038	-0.039	-0.027	-0.161	-0.140	-0.186	0.063	0.044	-0.018	-0.045	-0.074	-0.014
měsíc	-0.108	-0.109	-0.132	-0.009	0.086	-0.076	-0.344	-0.361	-0.378	-0.387	-0.403	-0.413
prac. den	0.069	0.095	0.070	0.218	0.183	0.265	-0.045	-0.010	0.050	0.059	0.037	-0.017
rychl. větru	0.016	-0.431	-0.406	-0.289	-0.251	-0.384	0.084	0.075	0.072	0.056	0.073	0.194
vlhkost	0.197	0.183	0.219	0.317	0.300	0.321	-0.482	-0.457	-0.423	-0.453	-0.500	-0.571
tlak	0.206	0.343	0.348	0.286	0.248	0.394	-0.256	-0.239	-0.250	-0.260	-0.281	-0.328
slun. svit	-0.149	0.053	-0.007	-0.152	-0.129	-0.141	0.398	0.378	0.348	0.373	0.390	0.423
teplota	-0.337	-0.353	-0.456	-0.492	-0.388	-0.580	0.526	0.506	0.501	0.504	0.508	0.530
směr větru	0.261	-0.400	-0.363	-0.150	-0.148	-0.172	0.039	0.080	0.079	0.065	0.050	0.047
O <sub>3</sub> t-1	-0.098	-0.232	-0.274	-0.391	-0.379	-0.332	1.000	0.801	0.695	0.651	0.612	0.605
O <sub>3</sub> t-2	-0.101	-0.223	-0.259	-0.359	-0.356	-0.289	0.801	1.000	0.805	0.687	0.651	0.605
O <sub>3</sub> t-3	-0.117	-0.200	-0.233	-0.338	-0.339	-0.268	0.695	0.805	1.000	0.799	0.686	0.643
O <sub>3</sub> t-4	-0.092	-0.171	-0.203	-0.337	-0.347	-0.268	0.651	0.687	0.799	1.000	0.799	0.677
O <sub>3</sub> t-5	-0.085	-0.160	-0.195	-0.340	-0.359	-0.268	0.612	0.651	0.686	0.799	1.000	0.796
O <sub>3</sub> t-6	-0.142	-0.205	-0.241	-0.415	-0.431	-0.348	0.605	0.605	0.643	0.677	0.796	1.000

## 5.2. Návrh modelu predikce ozonu

Pro potřebu tvorby modelu bude použit program SPSS Clementine, konkrétně neuronové sítě typu RBF. Proces predikce ozonu je posloupnost několika kroků, které jsou patrně v návrhu na obr. 18. Krok předzpracování byl již zmíněn v předcházející podkapitole. Výsledkem tohoto kroku je definování správného počtu vstupních atributů v požadovaném tvaru. Dalším krokem podle modelu je návrh struktury RBF neuronové

sítě. Následně je potřebné stanovit počet RBF neuronů  $q$  v skryté vrstvě. V modelu mezi sebou budou porovnávány počty 50, 80, 100, 125 a 150 neuronů.



Obr. 18 Návrh modelu predikce ozonu, zdroj: autor

Dále je nutné najít optimální hodnotu parametru  $v$  a  $\mu$ , které se nastavují v prostředí SPSS Clementine. Parametr  $v$  reprezentuje výběr RBF center a zajišťuje tak správné přiřazení neuronů v skryté vrstvě k datům vstupujících do RBF neuronové sítě. Parametr  $\mu$  umožňuje překročení lokálního extrému v procesu učení a umožňuje následné pokračování v procesu učení. Vlivem experimentů bude stanoveno rozmezí jednotlivých parametrů. Parametry, které budou pro jednotlivé experimenty konstantní, jsou počet cyklů, na kterých

se metoda zastaví a maximální procentuální možnost překrytí jednotlivých neuronů ve skryté vrstvě. Cykly jsou dány konstantou 600 a povolené překrytí je do 50%. V prostředí SPSS Clementine je možné pro neuronové síť nadefinovat parametr *Eta*, vyjadřující rychlost učení. Ovšem pro RBF zůstává tato hodnota konstantní.

V této části je potřebné zmínit problém rozdělení dat na trénovací a testovací množinu,  $A = A_{train} \cup A_{test}$ . Provedení tohoto rozkladu patří mezi první základní problémy při aplikaci neuronových sítí. Trénovací množina by měla obsahovat ty objekty z množiny  $A$ , které dobře reprezentují ostatní podobné objekty zahrnuté v testovací množině  $A_{test}$ . Pro potřeby rozdělení je nutné použít metodu (shluková analýza, Kohonenovy samoorganizující mapy, náhodný výběr), která rozloží množinu  $A$  na shluky, které obsahují podobné objekty

$$A = C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_p, \quad (5.5)$$

kde  $p$  je počet shluků a kde  $i$ -tý shluk  $C_i$  obsahuje  $n_i$  objektů z množiny  $A$ , tedy

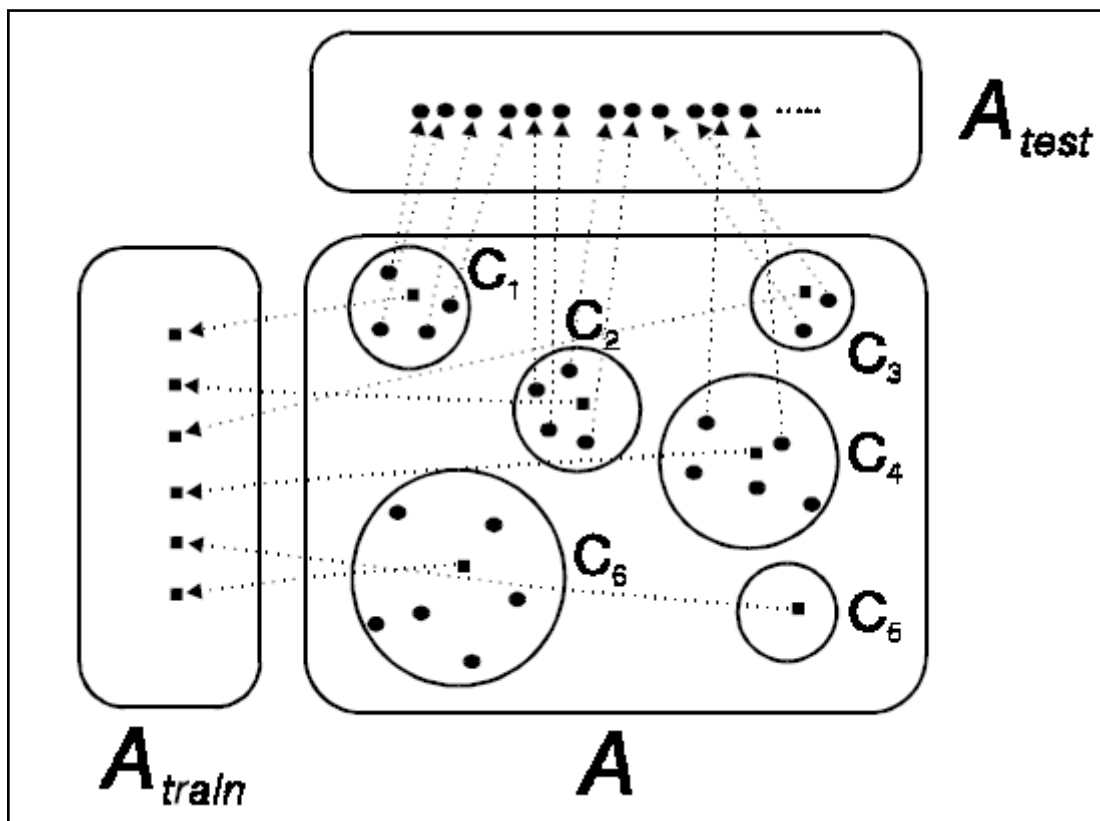
$$C_i = \{o_1^{(i)}, o_2^{(i)}, \dots, o_{n_i}^{(i)}\} \subset A. \quad (5.6)$$

Je zde předpoklad, že objekt  $o_1^{(i)} \in C_i$  je objekt z  $i$ -tého shluku  $C_i$ , který leží nejbližší k jeho centru. Tento objekt je reprezentant objektů ze shluku  $C_i$ . Trénovací a testovací množina je určena objekty

$$A_{train} = \{o_1^{(1)}, o_1^{(2)}, \dots, o_1^{(p)}\}, \quad (5.7)$$

$$A_{test} = (C_1 - \{o_1^{(1)}\}) \cup (C_2 - \{o_1^{(2)}\}) \cup \dots \cup (C_p - \{o_1^{(p)}\}).$$

Trénovací množina je složená ze všech reprezentantů shluků a testovací množina z ostatních objektů (obr. 19) [38].



Obr 19 Schematické znázornění rozkladu množiny objektů na trénovací a testovací množinu, zdroj: [38]

V rámci navrhnutého modelu bylo pro rozdělení množiny dat na testovací a trénovací zvolen náhodný výběr. Konkrétně byl použit v prostředí SPSS Clementine uzel Partition, kde byly poměry nastaveny:

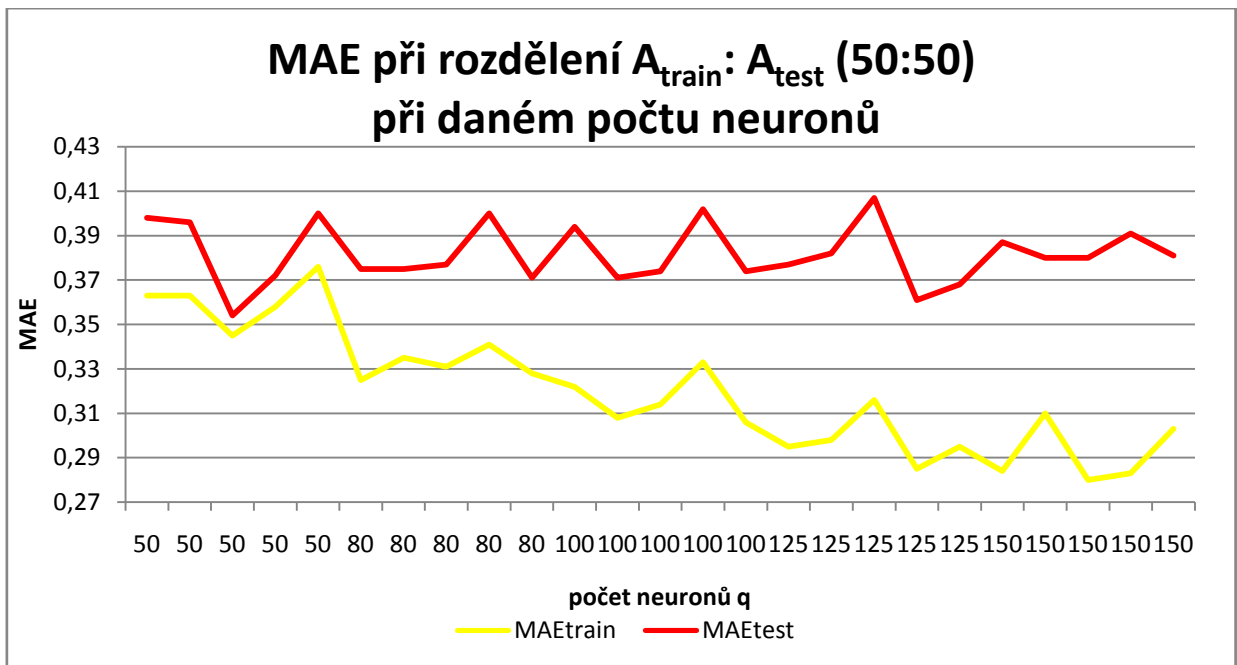
- 50:50,
- 60:40,
- 70:30,
- 80:20,
- 90:10.

V následujících podkapitolách budou prezentovány výsledky pro jednotlivá rozdělení. Bude zkoumáno, jaké je vhodné nastavení jednotlivých parametrů. Pro každý poměr testovacích a trénovacích dat se vyberou nejvhodnější parametry a poté dojde k jejich vzájemnému porovnání.

### 5.2.1. Poměr 50:50

Jedním ze zadaných poměrů, pro rozdělení vstupní množiny dat, byl poměr 50:50. Při tomto rozdělení byla zkoumána závislost mezi počtem neuronů a MAE (Mean Absolute Error), dále závislost mezi MAE a parametrem  $\mu$  a  $v$ . MAE, tedy střední absolutní chyba, říká, že čím nižší je její hodnota, tím lepší je shoda mezi modelem a experimentálními daty.

Vztah mezi počtem neuronů a MAE je patrný v grafu 5. Jak je zřejmé, menší chyba je u trénovacích dat a postupně stále klesá. U testovacích dat chyba osciluje v konstantním rozmezí. MAE se s rostoucím počtem neuronů stále snižuje. Za nejlepší se na základě získaných výsledků, vyobrazených v grafu 5, jeví počet neuronů rovný 150.

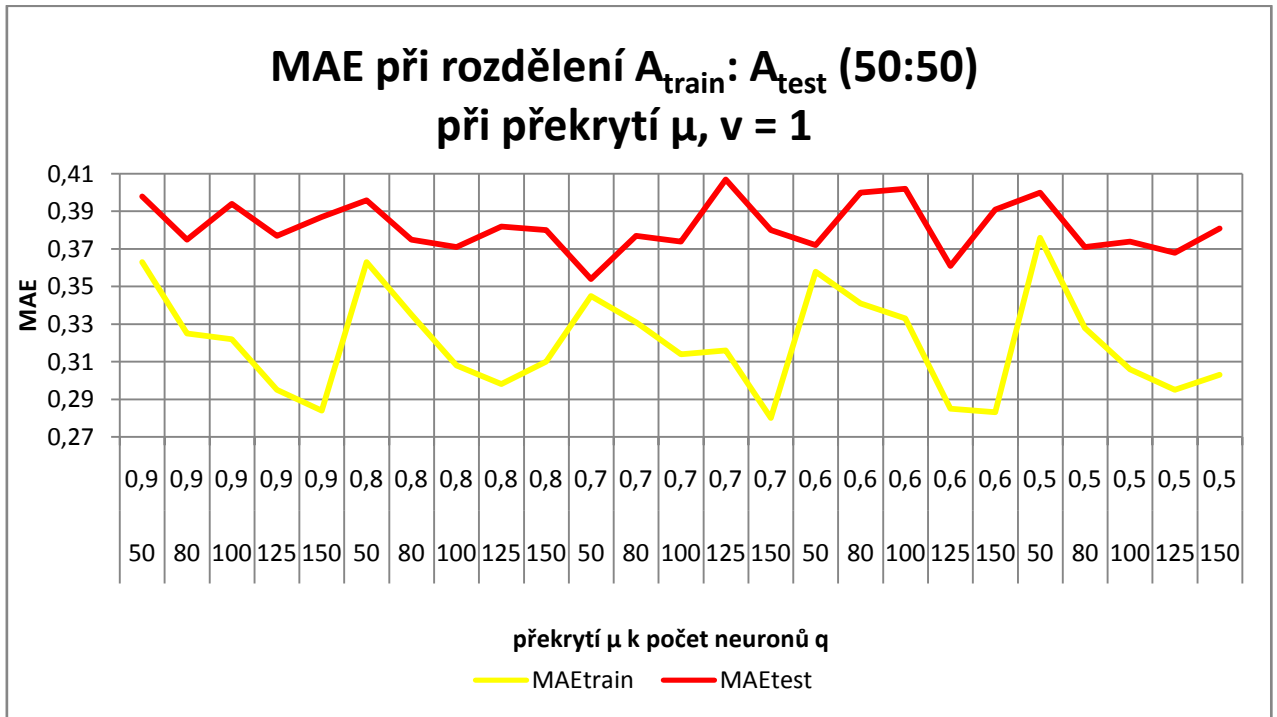


Graf 5 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}} : A_{\text{test}}$  (50:50) při daném počtu neuronů, zdroj: autor

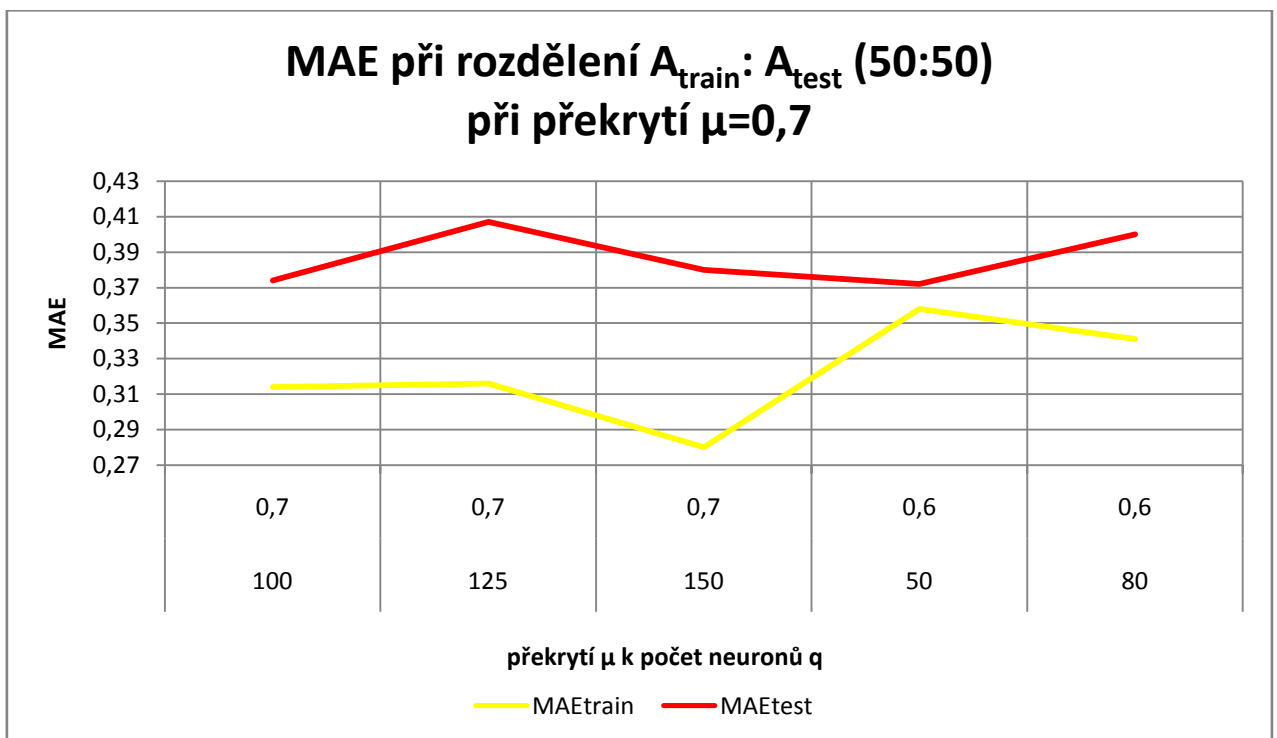
V grafu 6 je sledována závislost mezi MAE a parametrem  $\mu$  při konstantním nastavení  $v$ . Na základě provedených experimentů bylo pro parametr  $v$  stanoveno rozmezí od 1 – 5, protože s rostoucí hodnotou dochází k růstu MAE. Hodnoty překrytí se mění v rozmezí 0.5 – 0.9, hodnota MAE se s klesající hodnotou parametru nesnižovala. Vždy je v grafu mimo těchto hodnot zachycen i počet neuronů  $q$  pro příslušnou hodnotu. Parametr  $v$  zůstává pro následující průběhy konstantní, jeho hodnota je nastavena na 0.7. Tato hodnota byla zjištěna experimentálně a jeví se jako optimální. V grafu 6 mají trénovací data nižší hodnotu oproti testovacím. Průběh je oscilující, u trénovacích dat je větší rozdíl mezi nejnižší a nevyšší MAE, oproti datům testovacím. Nejnižší MAE pro trénovací data



je při počtu neuronů  $q = 150$  a hodnotě  $\mu = 0.7$ . Tato hodnota je 0.28. Nejnižší MAE pro testovací data je při počtu neuronů  $q = 50$  a hodnotě  $\mu = 0.7$ . Tato hodnota je 0.354. Pro lepší názornost je průběh MAE při nastavení  $\mu = 0.7$  znázorněn samostatně v grafu 7.



Graf 6 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (50:50) při překrytí  $\mu, v = 1$ , zdroj: autor



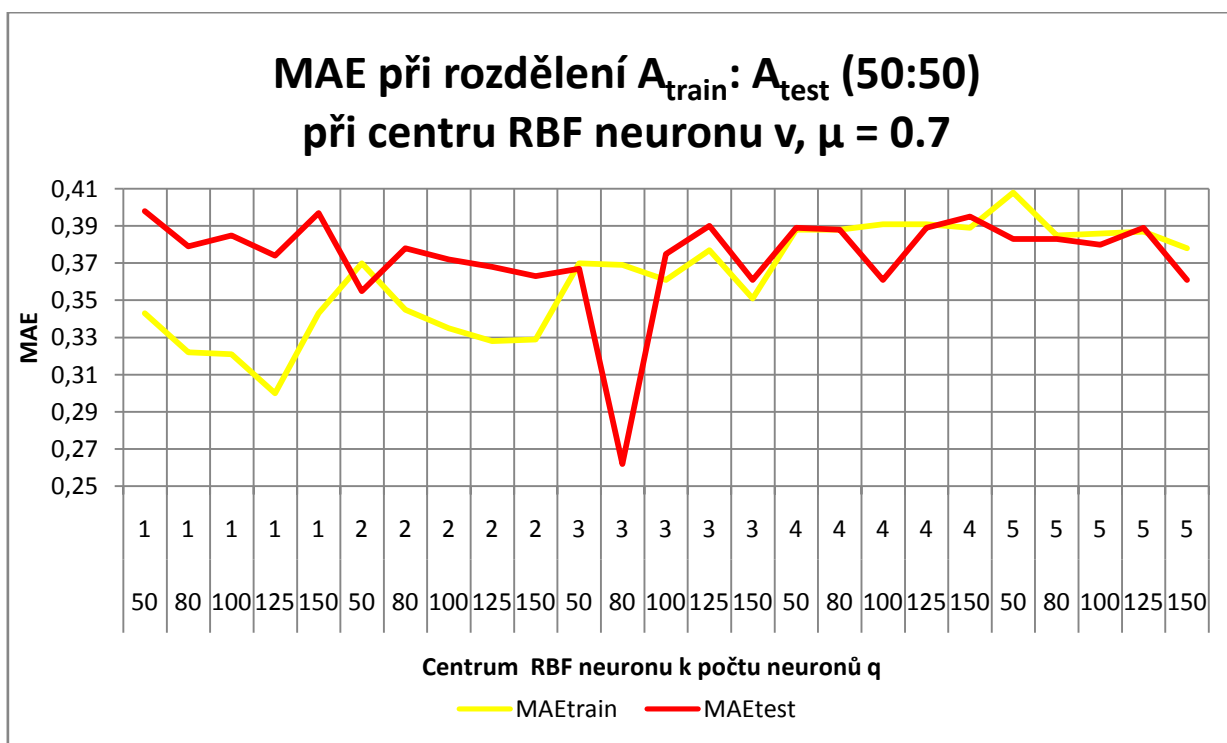
Graf 7 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (50:50) při překrytí  $\mu=0,7$ , zdroj: autor

Nejlepší výsledky pro změnu parametru  $\mu$  jsou patrné v tabulce 5. Nejnižší chyba s nejlepší hledanou hodnotou parametru je vyznačena žlutě.

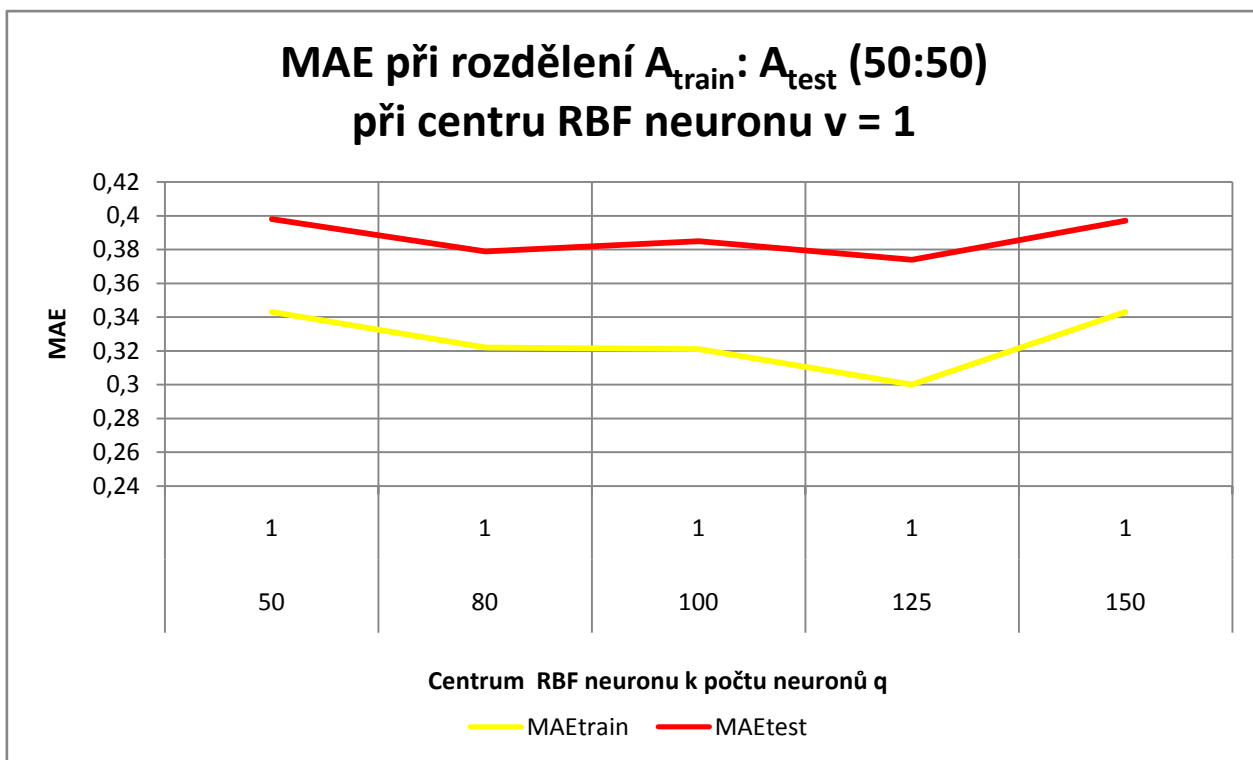
Tabulka 5 Nejlepší výsledky pro změnu  $\mu$ , poměr 50:50, zdroj: autor

q	$\mu$	v	MAE <sub>train</sub>	q	$\mu$	v	MAE <sub>test</sub>
50	0.7	1	0.345	50	0.7	1	0.354
80	0.9	1	0.325	80	0.5	1	0.371
100	0.5	1	0.306	100	0.8	1	0.371
125	0.6	1	0.285	125	0.6	1	0.361
150	0.7	1	0.28	150	0.7	1	0.38

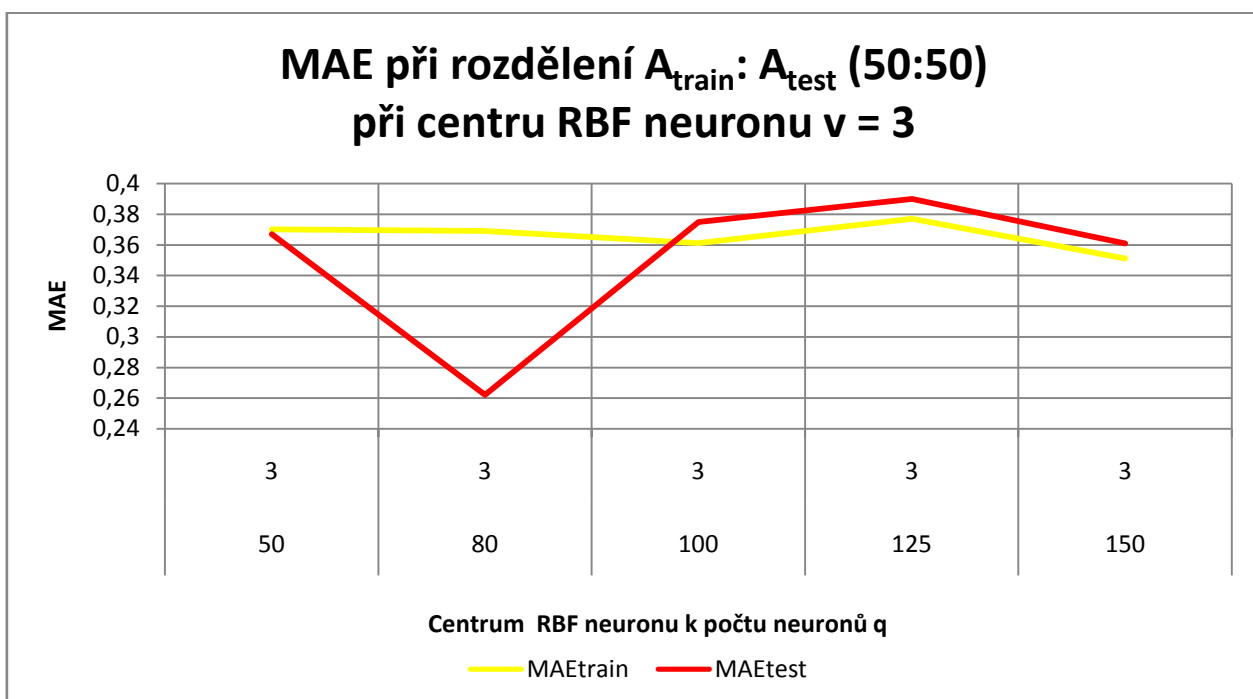
V grafu 8 je vyobrazen průběh MAE trénovacích a testovacích dat v závislosti na změně parametru  $v$ . Hodnota překrytí byla experimentálně zjištěna a nastavena na konstantu 0.7. Ve všech oblastech grafu není křivka MAE<sub>train</sub> pod úrovní MAE<sub>test</sub>, dochází k tomu, že MAE trénovacích dat má větší hodnotu než MAE testovacích dat. Nejnižší hodnota MAE pro trénovací množinu při počtu neuronu  $q=125$  a  $v=1$  je 0.3. Pro testovací množinu je nejnižší MAE rovna 0.262. Nastavení parametrů se ovšem liší, počet neuronů je  $q=80$  a  $v=1$ . Pro lepší názornost jsou průběhy chyb zaznamenány v grafu 9 pro nejnižší MAE<sub>train</sub> a v grafu 10 pro nejnižší MAE<sub>test</sub>.



Graf 8 MAE při rozdělení  $A_{train} : A_{test}$  (50:50) při centru RBF neuronu  $v, \mu = 0.7$ , zdroj: autor



Graf 9 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}} : A_{\text{test}}$  (50:50) při centru RBF neuronu  $v = 1$ , zdroj: autor



Graf 10 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}} : A_{\text{test}}$  (50:50) při centru RBF neuronu  $v = 3$ , zdroj: autor

Nejlepší výsledky podle nastavených parametrů při konstantním  $\mu$  jsou patrné v tabulce 6. Nejnižší chyba s nejlepší hledanou hodnotou je vyznačena žlutě.

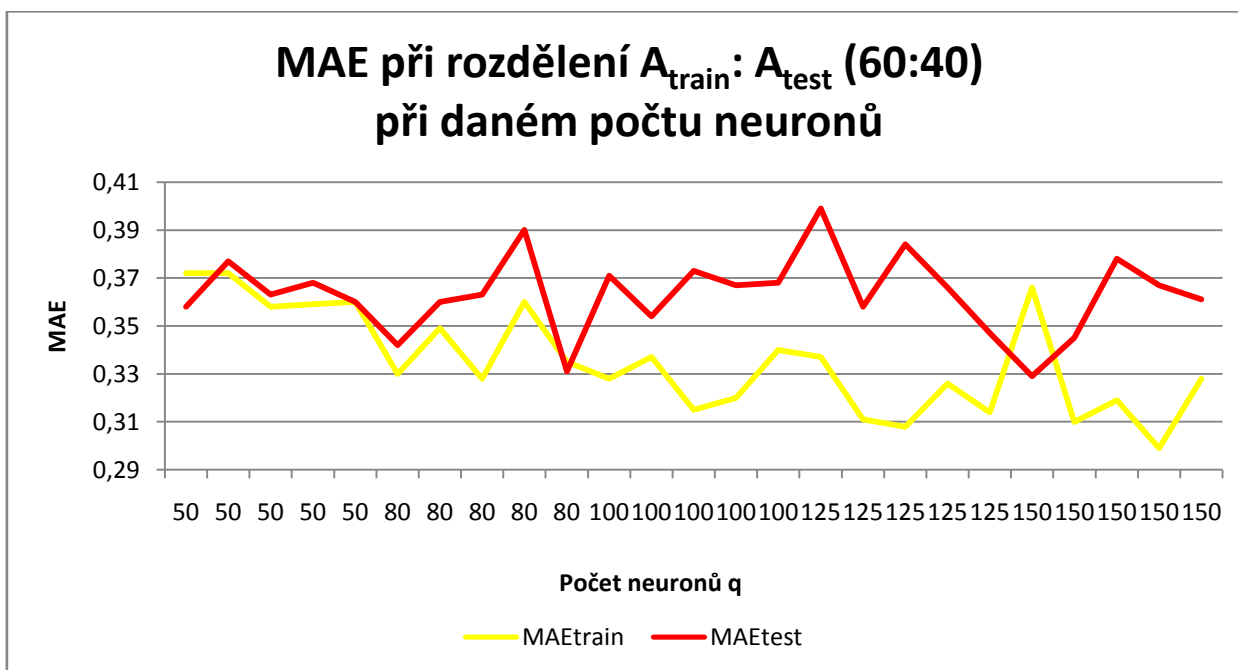
Tabulka 6 Nejlepší výsledky pro změnu  $v$ , poměr 50:50, zdroj: autor

$q$	$\mu$	$v$	MAE <sub>train</sub>	$q$	$\mu$	$v$	MAE <sub>test</sub>
50	0.7	1	0.343	50	0.7	2	0.355
80	0.7	1	0.322	80	0.7	3	0.262
100	0.7	1	0.321	100	0.7	4	0.361
125	0.7	1	0.3	125	0.7	2	0.368
150	0.7	1	0.329	150	0.7	3	0.361

V příloze 4 jsou zobrazeny výsledky zkoumání pro definované počty neuronů  $q$ , rozdělení množiny dat v poměru  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (50:50) a to vždy při zachování jednoho parametru  $v$  nebo  $\mu$  konstantním.

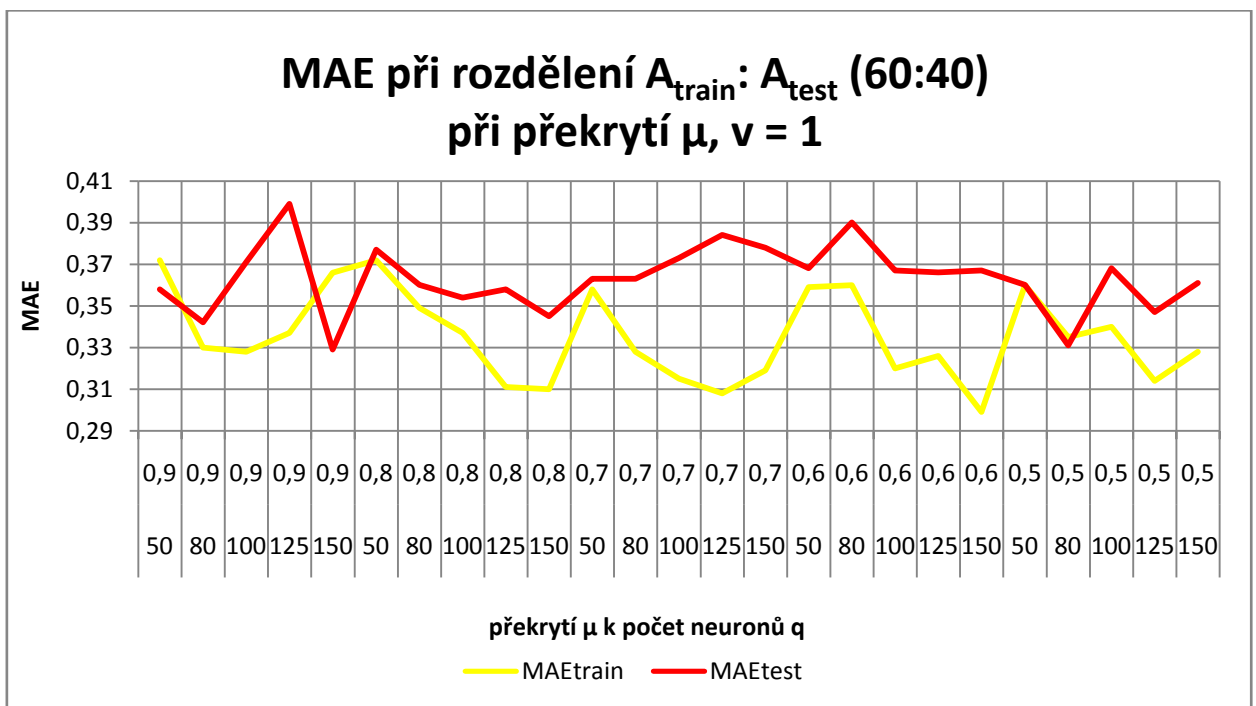
### 5.2.2. Poměr 60:40

Dalším poměrem, podle kterého byla vstupní data rozdělena, je poměr 60:40. Při tomto rozdělení byla zkoumána závislost mezi MAE a počtem neuronů. Tento vztah je vyobrazen v grafu 11, trénovací množina dat má žlutý průběh a testovací množina červený. Z grafu 11 je patrné, že v některých úsecích dochází k převýšení trénovací množiny nad množinu testovací. Nejvíce patrný je tento stav při hodnotě 150 neuronů. Nejnižší hodnoty MAE jak u trénovacích, tak u testovacích dat jsou v oblasti hodnot 150 neuronů. Tato skutečnost je zachycena i v grafu 11.

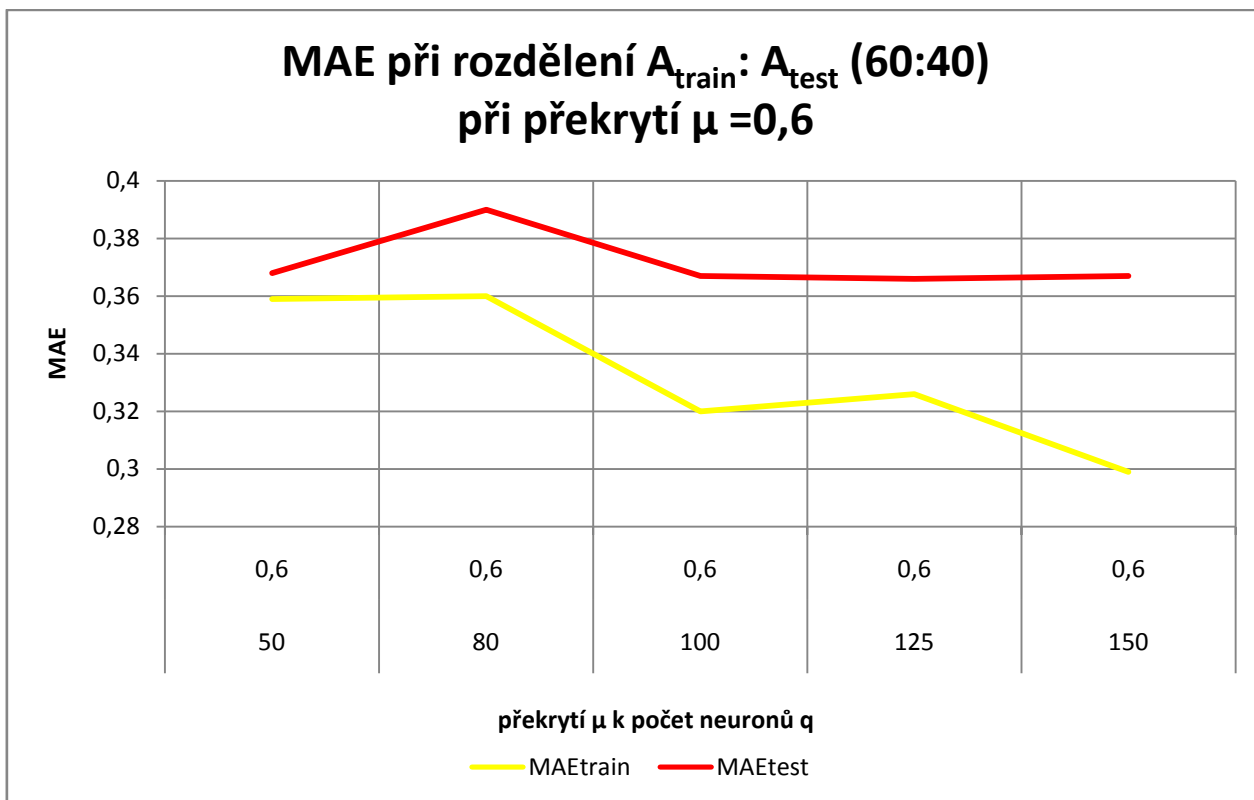


Graf 11 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (60:40) při daném počtu neuronů, zdroj: autor

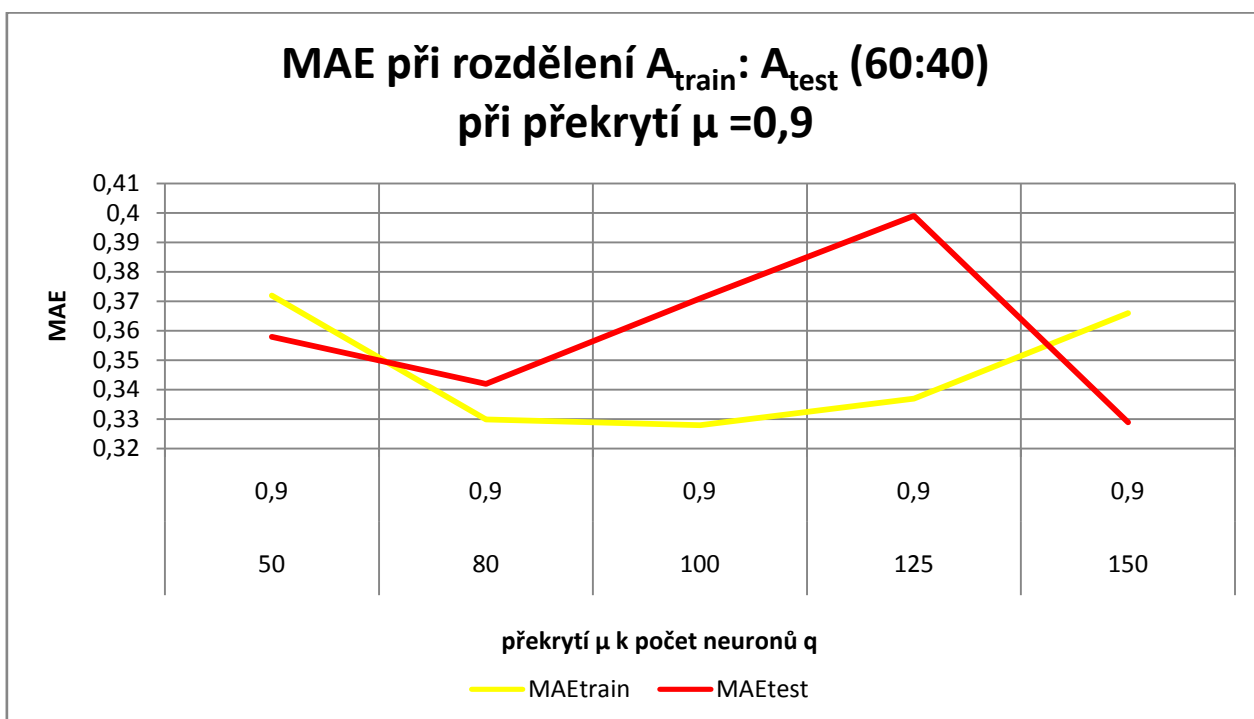
V grafu 12 je zachycena závislost mezi MAE a hodnotami překrytí  $\mu$ , při konstantním nastavení počtu center neuronů  $v = 1$ . Hodnoty překrytí  $\mu$  se pohybují v rozmezí 0.9 – 0.5. MAE trénovacích dat je ve většině případů nižší než u testovacích. Největší výkyv je patrný při  $\mu = 0.9$ ,  $q = 150$ . Při tomto nastavení trénovací data mají vyšší hodnotu než testovací. Nejnižší MAE, tedy 0.299 pro trénovací data, je při počtu neuronů 150 a hodnotě  $\mu = 0.6$ . Nejnižší MAE pro testovací data je při počtu neuronů  $q = 150$  a hodnotě  $\mu = 0.9$ . Tato hodnota je 0.329. Pro lepší názornost je průběh MAE testovací a trénovací množiny při nastavení  $\mu = 0.6$  a  $\mu = 0.9$  znázorněn v grafu 13 a 14.



Graf 12 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (60:40) při překrytí  $\mu$ ,  $v = 1$ , zdroj: autor



Graf 13 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}} : A_{\text{test}}$  (60:40) při překrytí  $\mu = 0,6$ , zdroj: autor



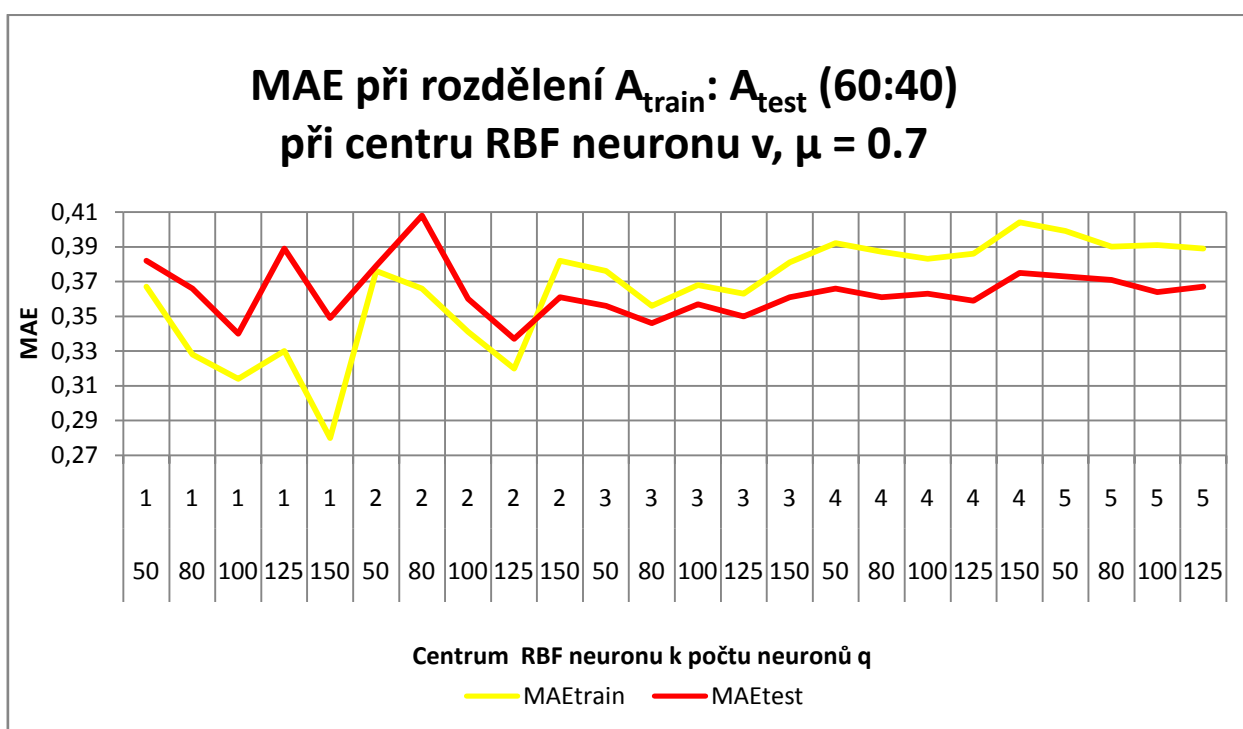
Graf 14 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}} : A_{\text{test}}$  (60:40) při překrytí  $\mu = 0,9$ , zdroj: autor

Nejlepší výsledky podle nastavených parametrů při konstantním  $v$  jsou patrné v tabulce 7. Nejnižší chyba s nejlepší hledanou hodnotou je vyznačena žlutě.

Tabulka 7 Nejlepší výsledky pro změnu  $\mu$ , poměr 60:40, zdroj: autor

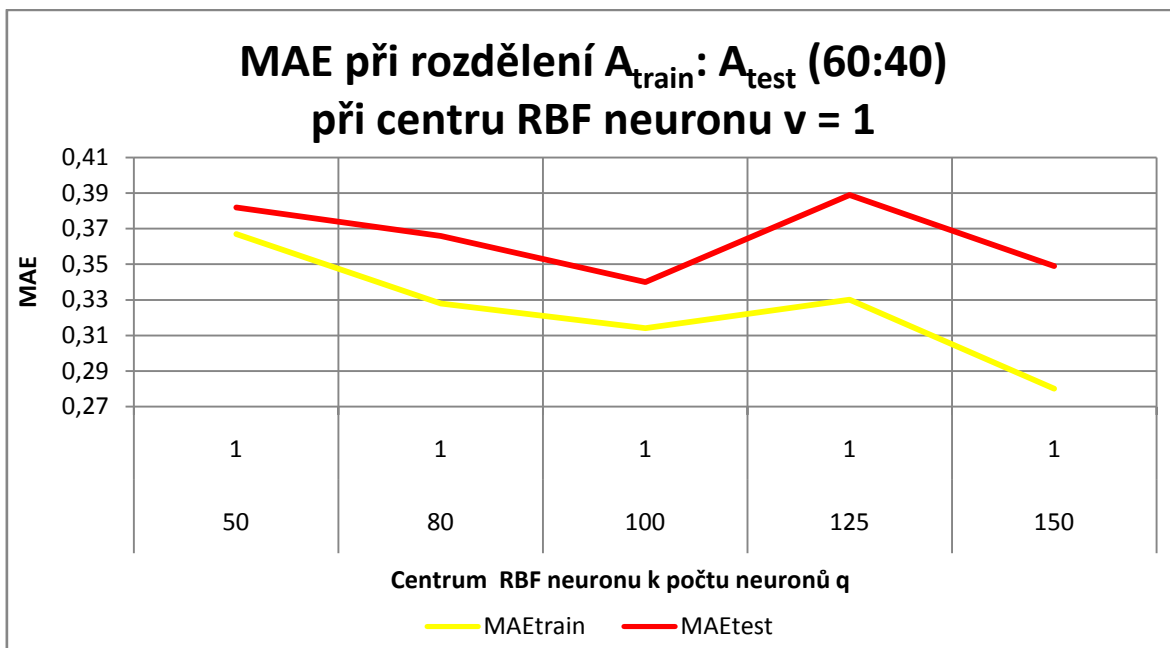
q	$\mu$	v	MAE <sub>train</sub>	q	$\mu$	v	MAE <sub>test</sub>
50	0.7	1	0.358	50	0.9	1	0.358
80	0.7	1	0.328	80	0.5	1	0.331
100	0.7	1	0.315	100	0.8	1	0.354
125	0.7	1	0.308	125	0.5	1	0.347
150	0.6	1	0.299	150	0.9	1	0.329

V grafu 15 je vyobrazen průběh MAE trénovacích a testovacích dat v závislosti na změně parametru  $v$ . Hodnota překrytí byla experimentálně zjištěna a nastavena na 0.7. Ve všech oblastech grafu nejsou hodnoty u trénovacích dat nižší než u testovacích. Zlom nastává při hodnotě  $v = 2$ , od této hodnoty mají trénovací data vyšší hodnotu MAE oproti testovacím. Nejnižší hodnota MAE pro trénovací množinu při počtu neuronu  $q = 150$  a  $v = 1$  je 0.28. Pro testovací množinu je nejnižší MAE při počtu neuronů  $q = 150$  a  $v = 2$  rovna hodnotě 0.337.

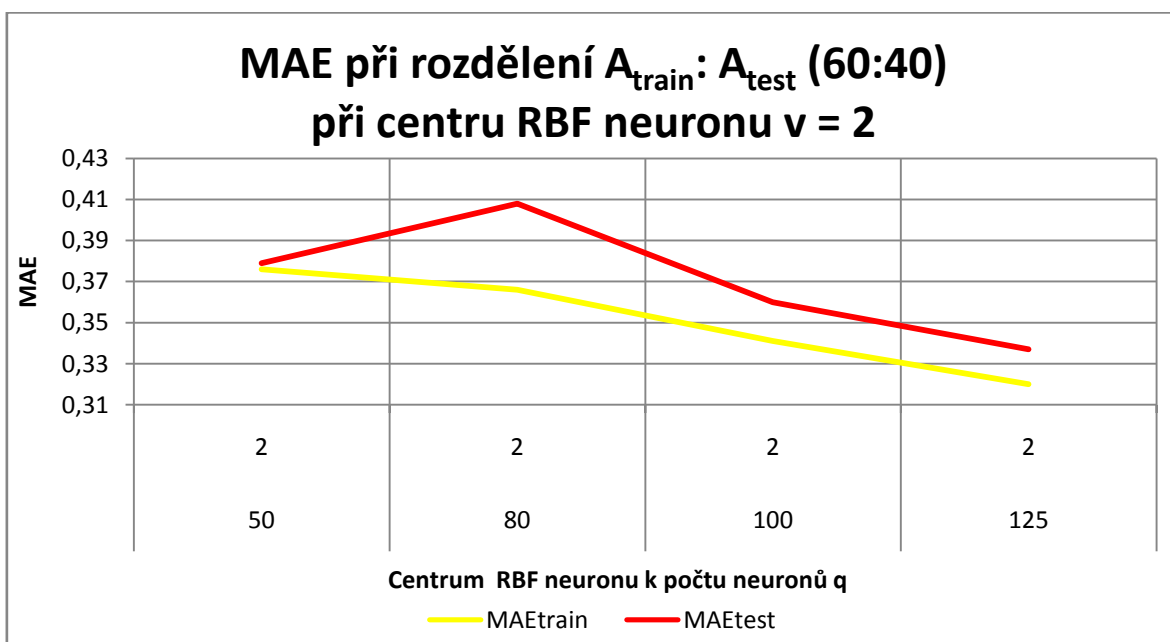


Graf 15 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (60:40) při centru RBF neuronu  $v, \mu = 0.7$ , zdroj: autor

Pro lepší názornost jsou průběhy chyb zaznamenány v grafu 16 pro nejnižší MAE<sub>train</sub> a v grafu 17 pro nejnižší MAE<sub>test</sub>.



Graf 16 MAE při rozdělení  $A_{train} : A_{test}$  (60:40) při centru RBF neuronu  $v = 1$ , zdroj: autor



Graf 17 MAE při rozdělení  $A_{train} : A_{test}$  (60:40) při centru RBF neuronu  $v = 2$ , zdroj: autor

Nejlepší výsledky podle nastavených parametrů při konstantním  $\mu$  jsou patrné v tabulce 8. Nejnižší chyba s nejlepší hledanou hodnotou je vyznačena opět žlutě.



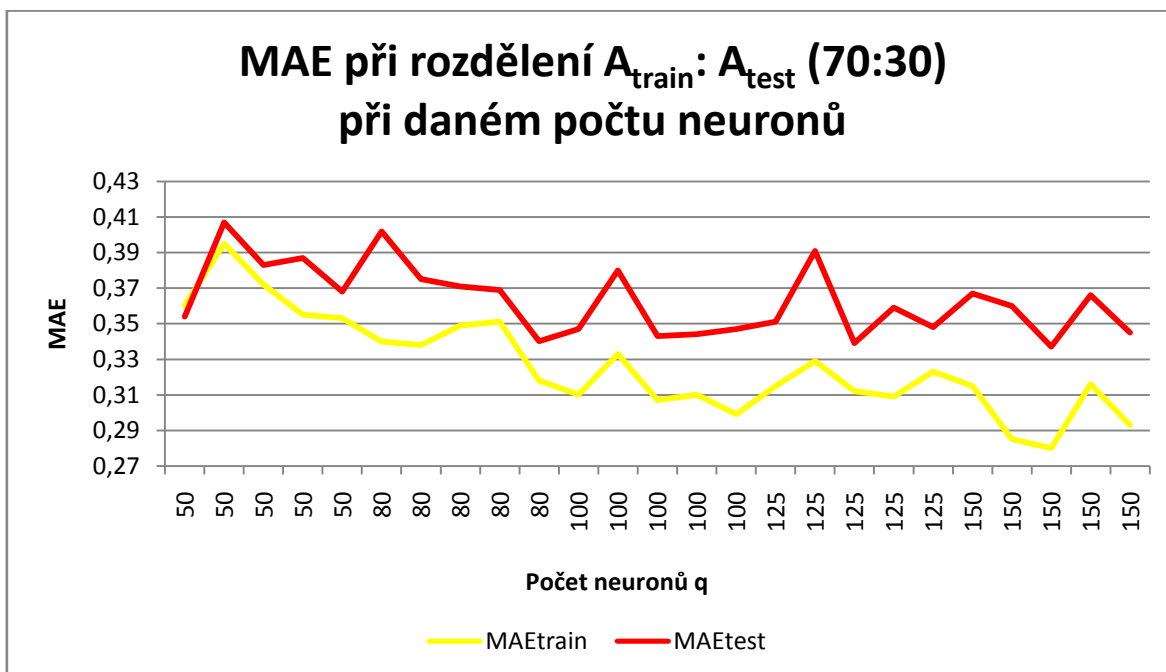
Tabulka 8 Nejlepší výsledky pro změnu  $v$ , poměr 60:40, zdroj: autor

$q$	$\mu$	$v$	MAEtrain	$q$	$\mu$	$v$	MAEtest
50	0.7	1	0.367	50	0.7	3	0.361
80	0.7	1	0.328	80	0.7	3	0.356
100	0.7	1	0.314	100	0.7	1	0.34
125	0.7	1	0.33	125	0.7	3	0.357
150	0.7	1	0.28	150	0.7	2	0.337

V příloze 5 jsou zobrazeny výsledky zkoumání pro definované počty neuronů  $q$ , rozdělení množiny dat v poměru  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (60:40) a to vždy při zachování jednoho parametru  $v$  nebo  $\mu$  konstantním.

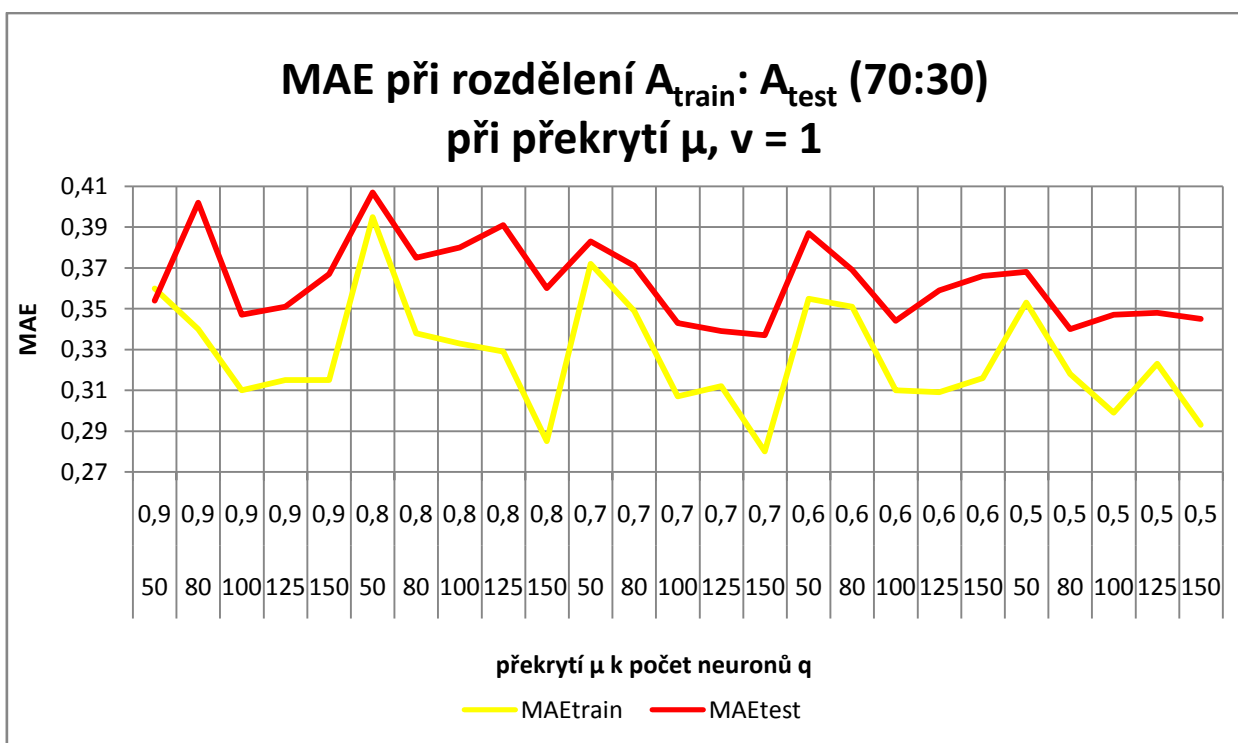
### 5.2.3. Poměr 70:30

Třetím poměrem, podle kterého byla vstupní data rozdělena, je poměr 70:30. Při tomto rozdělení byly zkoumány stejné závislosti jako v předchozích podkapitolách. V první řadě vztah mezi MAE a počtem neuronů. Tato závislost je zaznamenána v grafu 18. Průběh chyby testovací množiny je větší oproti průběhu chyby trénovací množiny a tuto skutečnost zachycuje graf 18. Nejnižší hodnoty MAE jak u trénovacích, tak u testovacích dat jsou v oblasti počtu 150 neuronů.

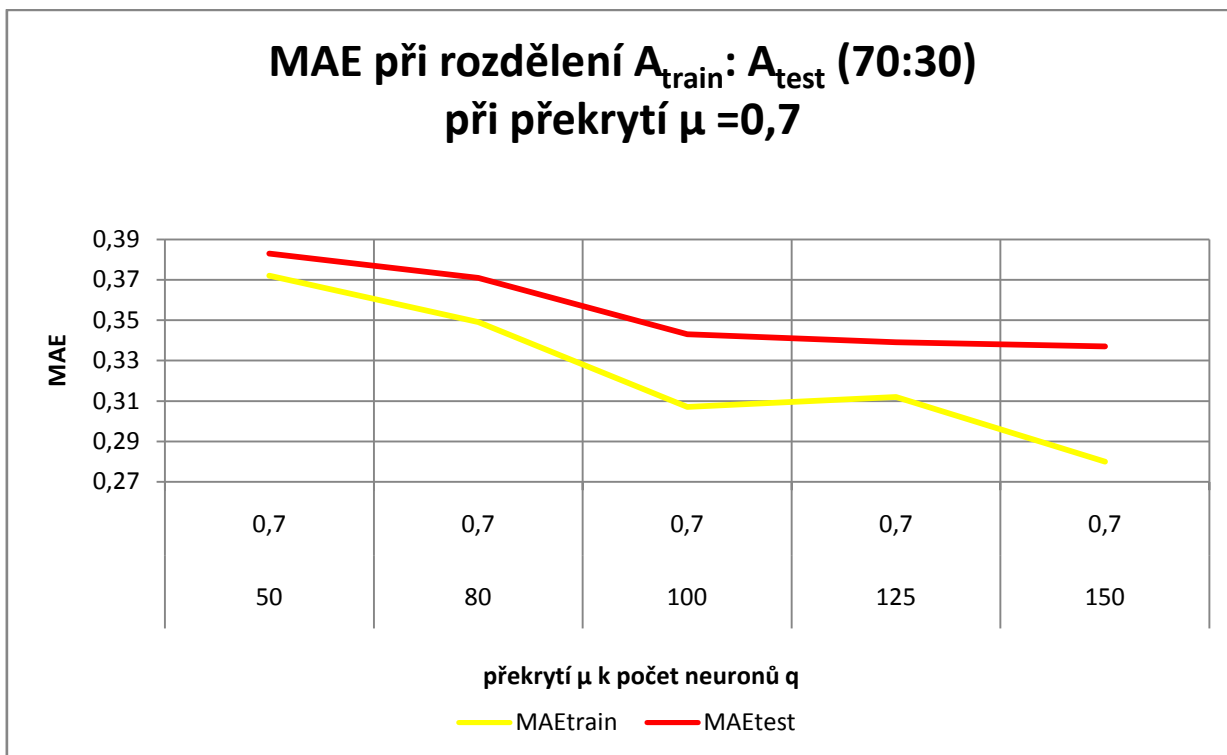


Graf 18 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (70:30) při daném počtu neuronů, zdroj: autor

V grafu 19 je zachycena závislost mezi MAE a hodnotami překrytí  $\mu$ , při konstantním nastavení počtu center neuronů  $v = 1$ . Hodnoty překrytí  $\mu$  se pohybují v rozmezí 0.9 – 0.5. MAE trénovacích dat je nižší než u testovacích, což znázorňuje žlutá křivka v grafu 19. Pro trénovací data je nejnižší MAE při počtu neuronů 150 a hodnotě  $\mu = 0.7$ . Tato hodnota je 0.28. Pro testovací data je nejnižší chyba při počtu neuronů  $q = 150$  a hodnotě  $\mu = 0.7$ . Tato hodnota je 0.337. Pro lepší názornost je průběh MAE pro testovací a trénovací množinu při nastavení  $\mu = 0.7$  znázorněn v grafu 20.



Graf 19 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}} : A_{\text{test}}$  (70:30) při překrytí  $\mu$ ,  $v = 1$ , zdroj: autor



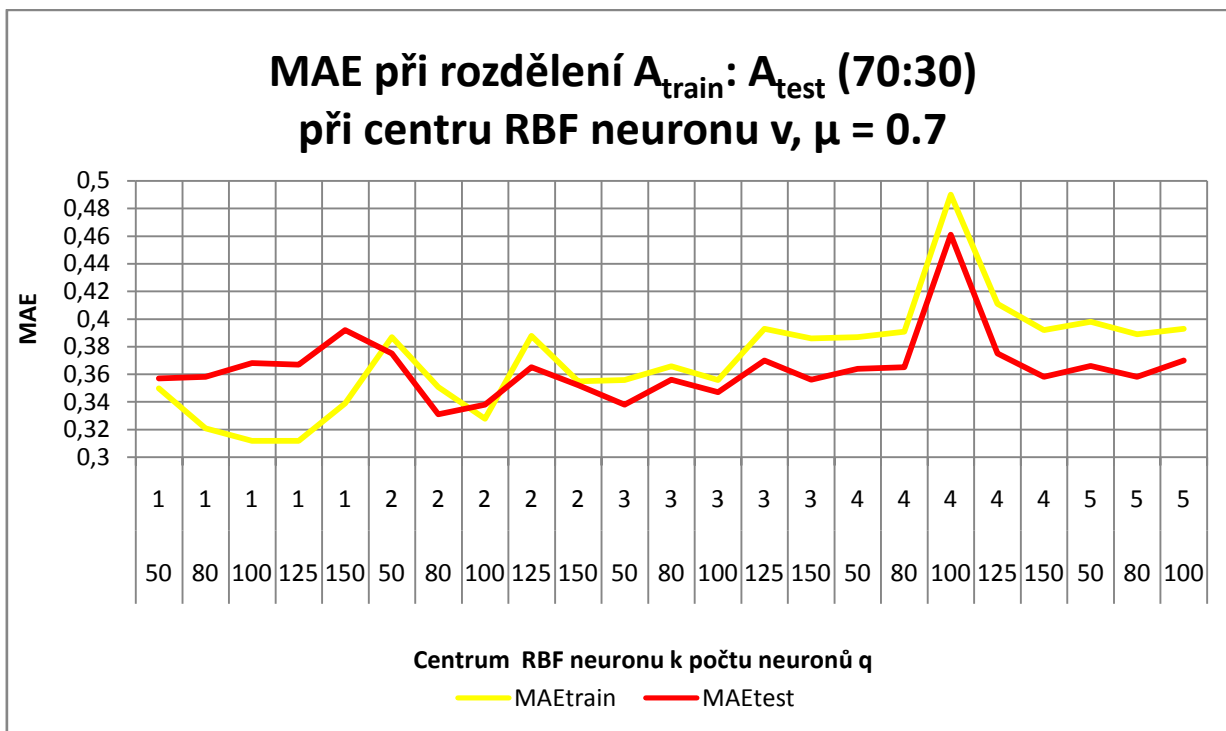
Graf 20 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (70:30) při překrytí  $\mu = 0,7$ , zdroj: autor

Nejlepší výsledky podle nastavených parametrů při konstantním  $v$  jsou patrné v tabulce 9. Nejnižší chyba s nejlepší hledanou hodnotou je vyznačena žlutě.

Tabulka 9 Nejlepší výsledky pro změnu  $\mu$ , poměr 70:30, zdroj: autor

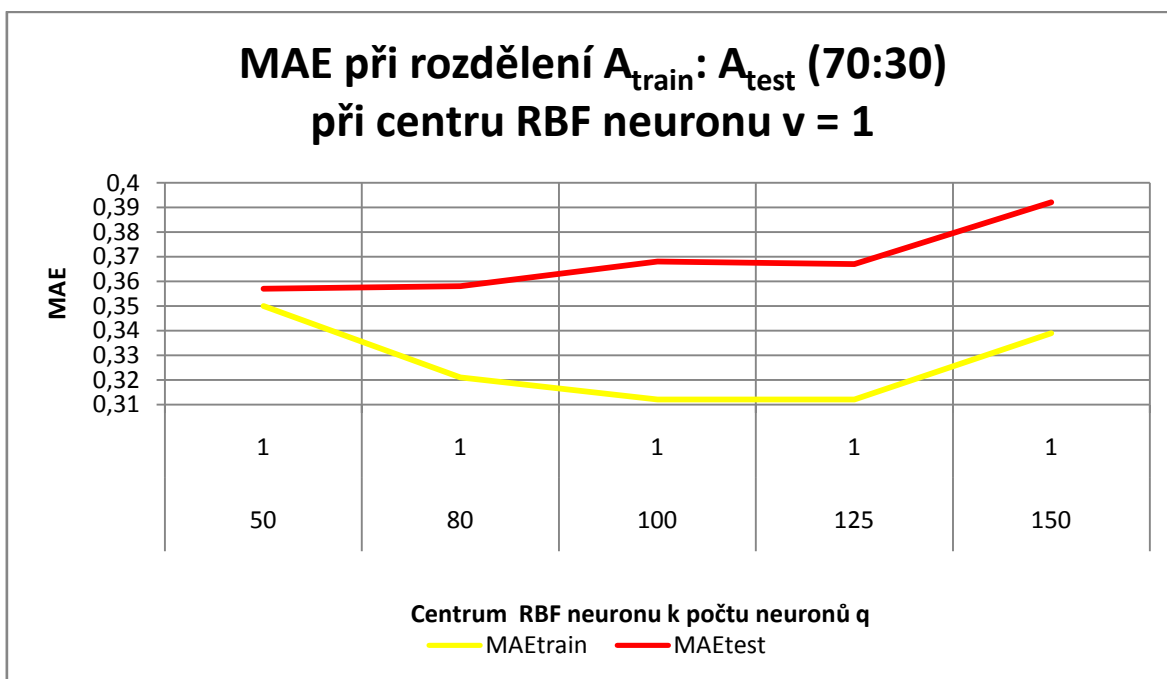
q	$\mu$	v	MAEtrain	q	$\mu$	v	MAEtest
50	0.5	1	0.353	50	0.9	1	0.354
80	0.5	1	0.318	80	0.5	1	0.34
100	0.5	1	0.299	100	0.5	1	0.343
125	0.6	1	0.309	125	0.7	1	0.339
150	0.7	1	0.28	150	0.7	1	0.337

V grafu 21 je zachycen průběh MAE trénovacích a testovacích dat v závislosti na změně parametru  $v$ . Překrytí bylo experimentálně zjištěna a nastaveno na hodnotu 0.7. Při změně parametru  $v$  na hodnotu 2 v rozdělení 70:30 dochází k tomu, že MAE trénovací množiny má větší hodnotu než MAE testovací množiny. Tato skutečnost poté platí pro celý průběh chyby, což je patrné v grafu 21. Nejnižší hodnota MAE pro trénovací množinu při počtu neuronu  $q = 100$  a  $v = 1$  je 0.312. Stejná chyba byla naměřena také pro počet neuronů  $q = 125$  a  $v = 1$ . Pro testovací množinu je nejnižší MAE při počtu neuronů  $q = 80$  a  $v = 2$  rovna hodnotě 0.331.

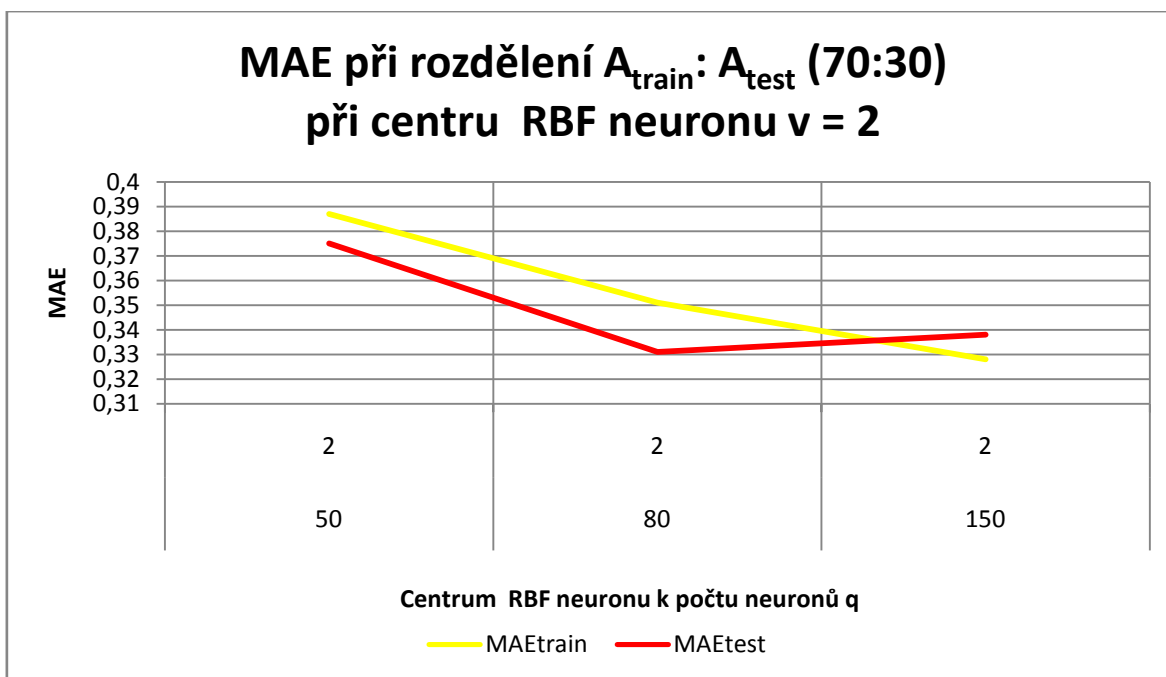


Graf 21 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (70:30) při centru RBF neuronu  $v, \mu = 0.7$ , zdroj: autor

Pro lepší názornost jsou uvedeny jednotlivé grafy pro nejnižší MAE jak pro testovací, tak pro trénovací množinu dat. Průběh MAE<sub>train</sub> s nejnižší hodnotou je zobrazen v grafu 22, průběh MAE<sub>test</sub> v grafu 23.



Graf 22 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (70:30) při centru RBF neuronu  $v = 1$ , zdroj: autor



Graf 23 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (70:30) při centru RBF neuronu  $v = 2$ , zdroj: autor

Nejlepší výsledky podle nastavených parametrů při konstantním  $\mu$  jsou patrné v tabulce 10. Nejnižší chyba s nejlepší hledanou hodnotou je vyznačena žlutě.

Tabulka 10 Nejlepší výsledky pro změnu  $v$ , poměr 70:30, zdroj: autor

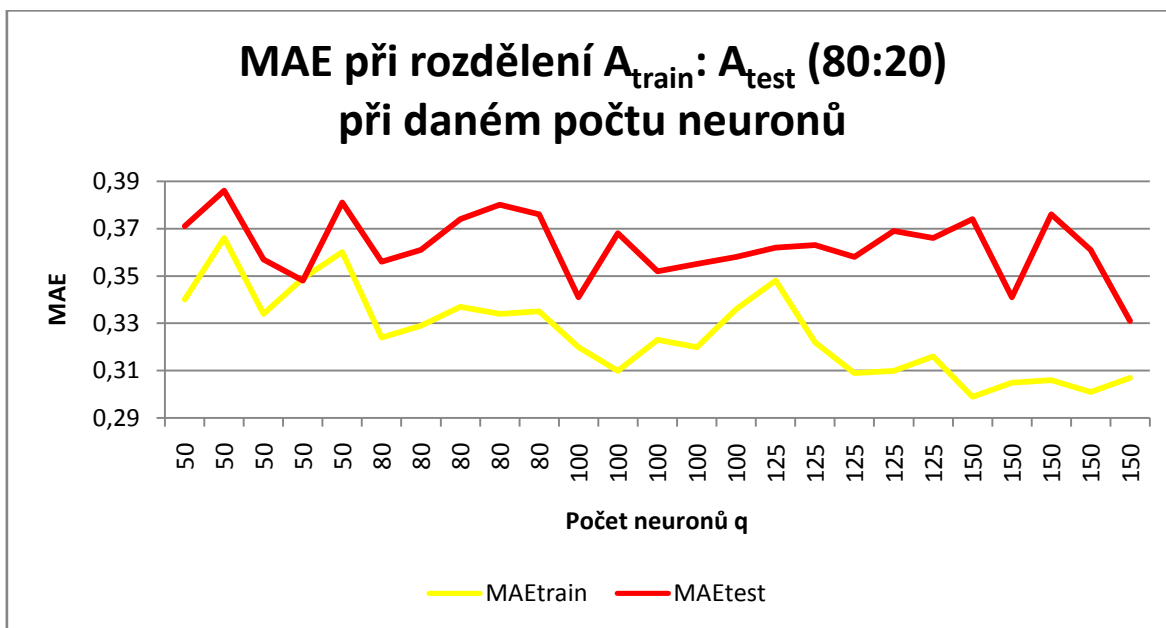
q	$\mu$	v	MAE <sub>train</sub>	q	$\mu$	v	MAE <sub>test</sub>
50	0.7	1	0.35	50	0.7	1	0.357
80	0.7	1	0.321	80	0.7	2	0.331
100	0.7	1	0.312	100	0.7	3	0.338
125	0.7	1	0.312	125	0.7	3	0.356
150	0.7	2	0.328	150	0.7	2	0.338

V příloze 6 jsou zobrazeny výsledky zkoumání pro definované počty neuronů  $q$ , rozdělení množiny dat v poměru  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (70:30) a to vždy při zachování jednoho parametru  $v$  nebo  $\mu$  konstantním.

#### 5.2.4. Poměr 80:20

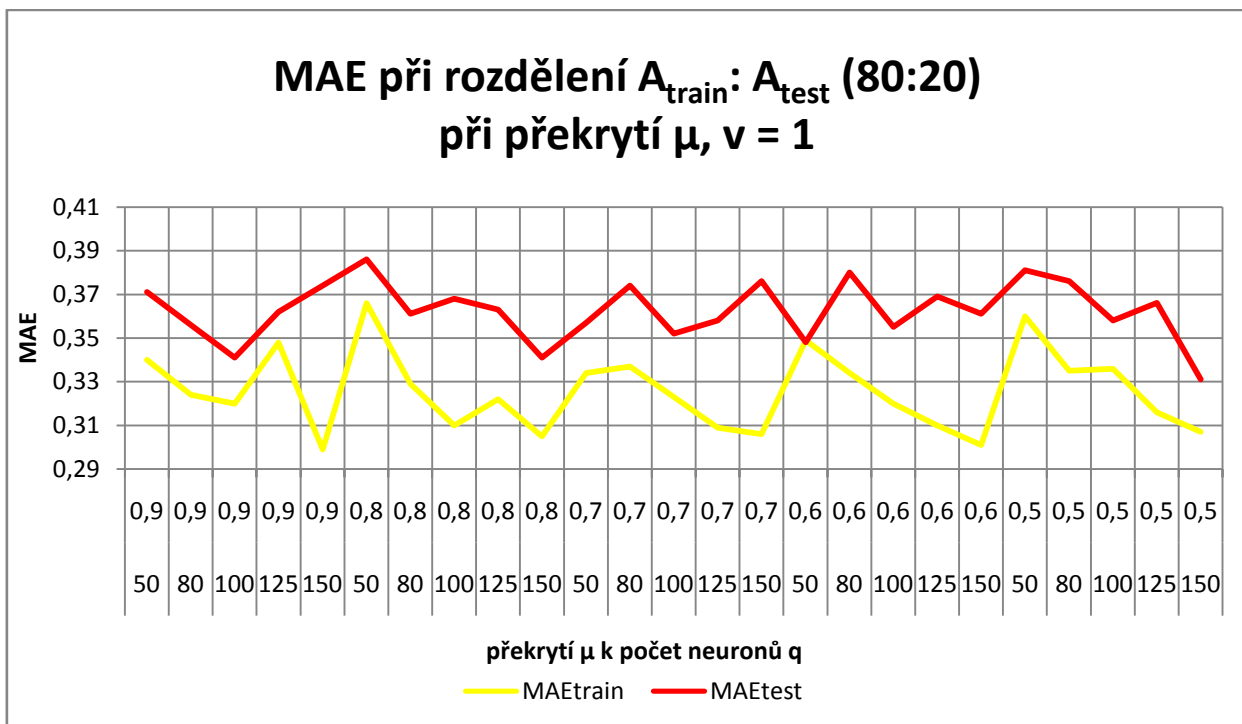
Následujícím poměrem, podle kterého byla vstupní data rozdělena, je poměr 80:20. Při tomto rozdělení byly zkoumány závislosti mezi MAE a počtem neuronů  $q$ , překrytím  $\mu$  a centrem neuronů  $v$ . Závislost mezi MAE a počtem neuronů je zaznamenána v grafu 24. Průběh MAE testovací množiny je větší oproti MAE trénovací množiny a tato skutečnost

je zachycena v grafu 24. Nejnižší hodnoty chyby jak u trénovacích, tak u testovacích dat jsou v oblasti počtu 150 neuronů.



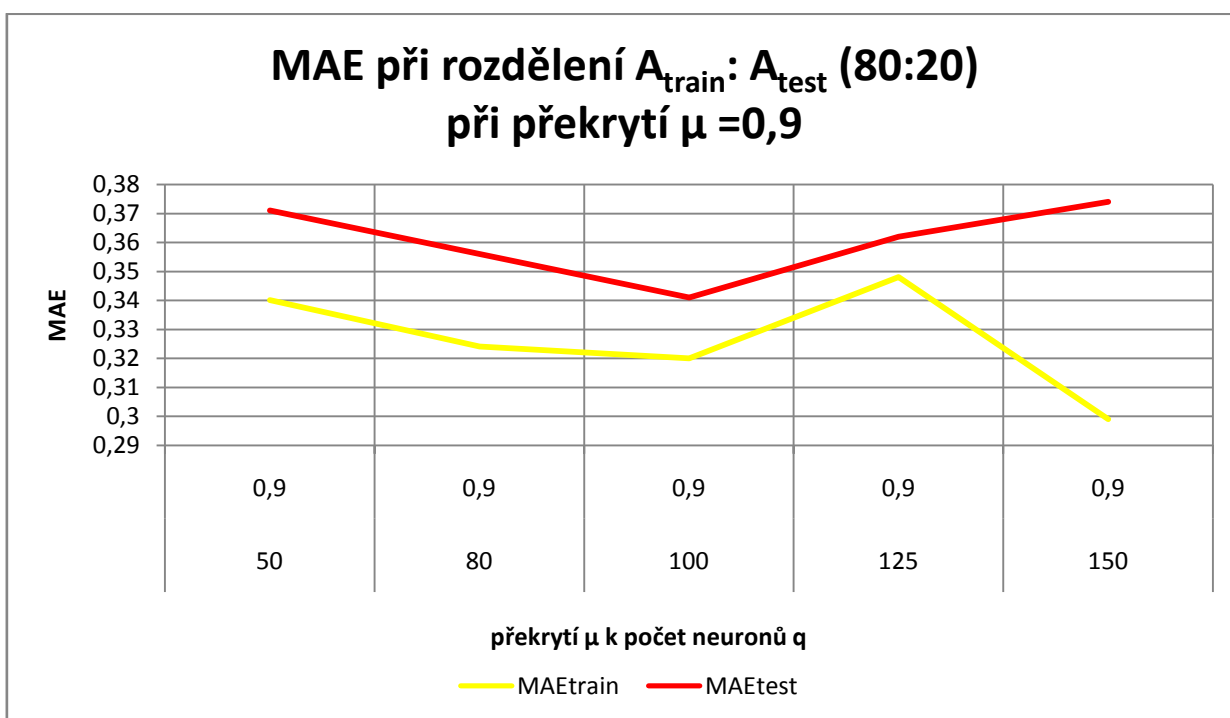
Graf 24 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (80:20) při daném počtu neuronů, zdroj: autor

Graf 25 zachycuje závislost mezi MAE a hodnotami překrytí  $\mu$ , při konstantním nastavení počtu center neuronů  $v$ . Konstanta je rovna hodnotě 1. Hodnoty překrytí  $\mu$  se pohybují v rozmezí 0.9 – 0.5. MAE trénovacích dat je nižší než u testovacích, což znázorňuje žlutá křivka v grafu 25. U trénovacích dat je nejnižší chyba při počtu neuronů  $q = 150$  a hodnotě  $\mu = 0.9$ . Tato hodnota je 0.299. Pro testovací data je nejnižší chyba opět při počtu neuronů  $q = 150$  a hodnotě  $\mu = 0.5$ . Tato hodnota je 0.331.

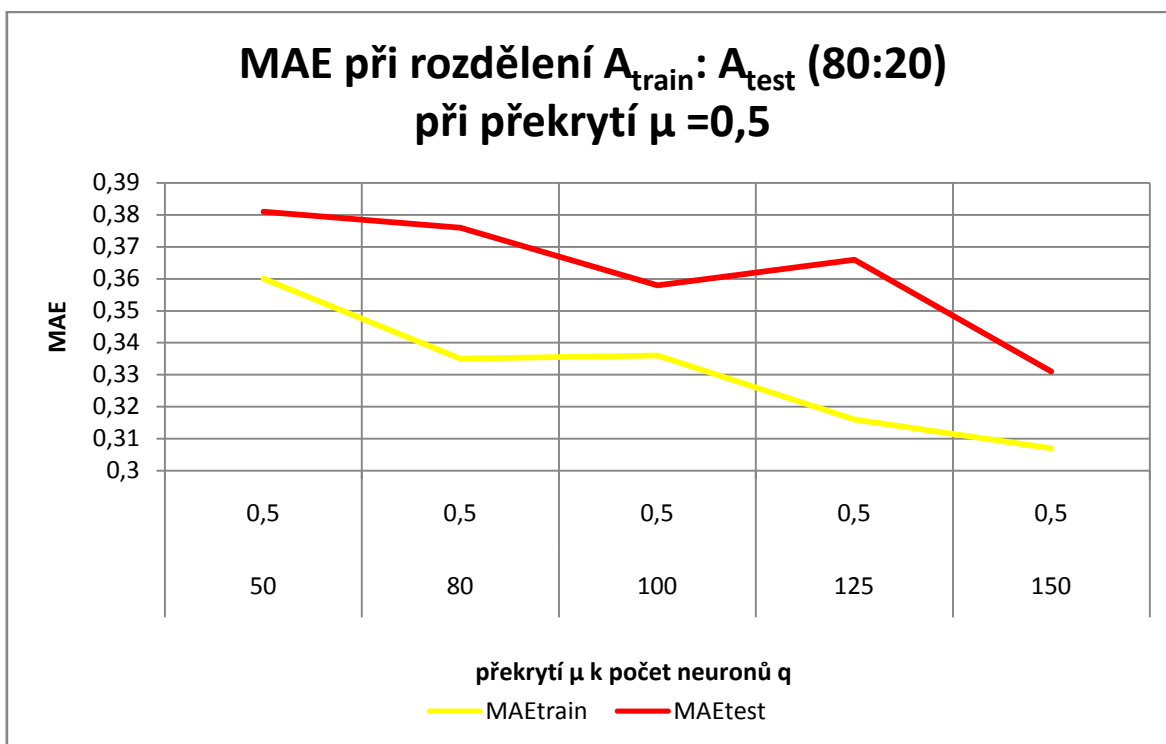


Graf 25 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (80:20) při překrytí  $\mu, \nu = 1$ , zdroj: autor

Pro lepší názornost je průběh  $MAE_{\text{train}}$  při nastavení  $\mu = 0,9$  znázorněn v grafu 26 a průběh  $MAE_{\text{test}}$  při nastavení  $\mu = 0,5$  v grafu 27.



Graf 26 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (80:20), zdroj: autor



Graf 27 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (80:20) při překrytí  $\mu = 0,5$ , zdroj: autor

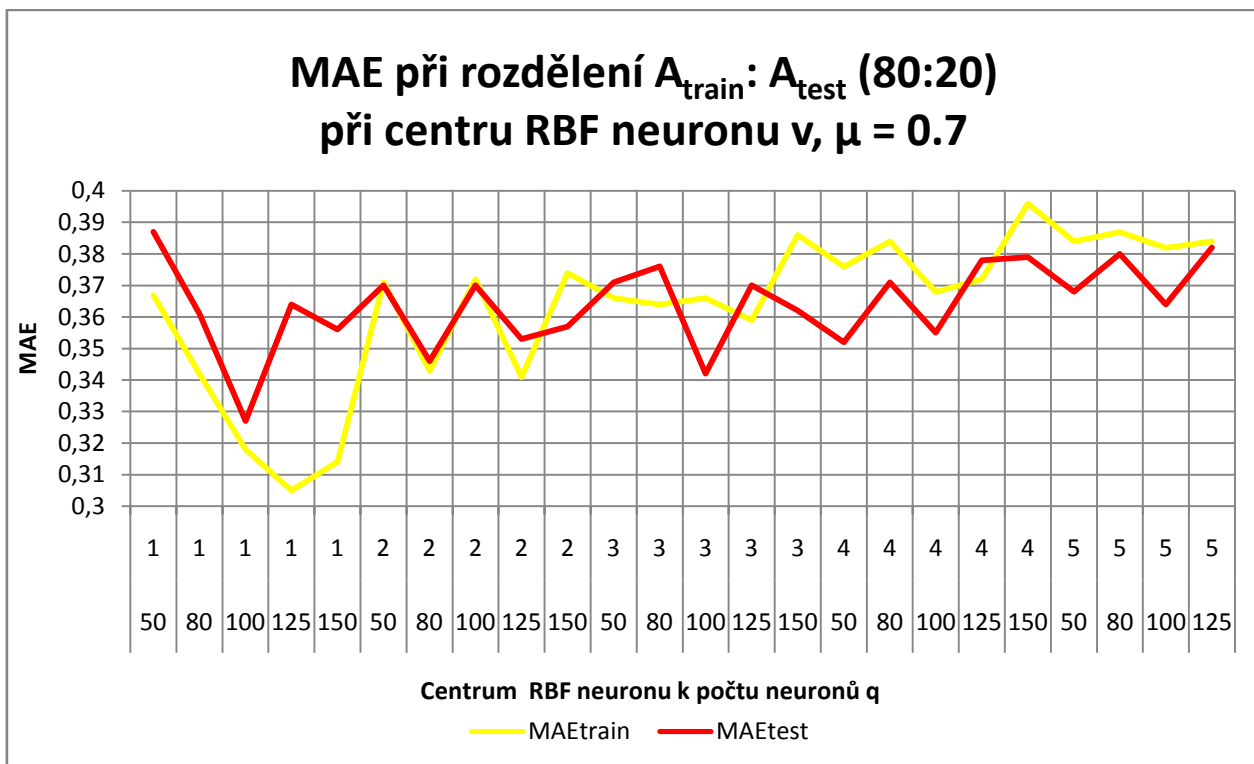
Nejlepší výsledky podle nastavených parametrů při konstantním  $v$  jsou patrné v tabulce 11. Nejnižší chyba s nejlepší hledanou hodnotou je vyznačena žlutě.

Tabulka 11 Nejlepší výsledky pro změnu  $\mu$ , poměr 80:20, zdroj: autor

q	$\mu$	v	MAEtrain	q	$\mu$	v	MAEtest
50	0.7	1	0.334	50	0.6	1	0.348
80	0.9	1	0.324	80	0.9	1	0.356
100	0.8	1	0.31	100	0.9	1	0.341
125	0.7	1	0.309	125	0.7	1	0.358
150	0.9	1	0.299	150	0.5	1	0.331

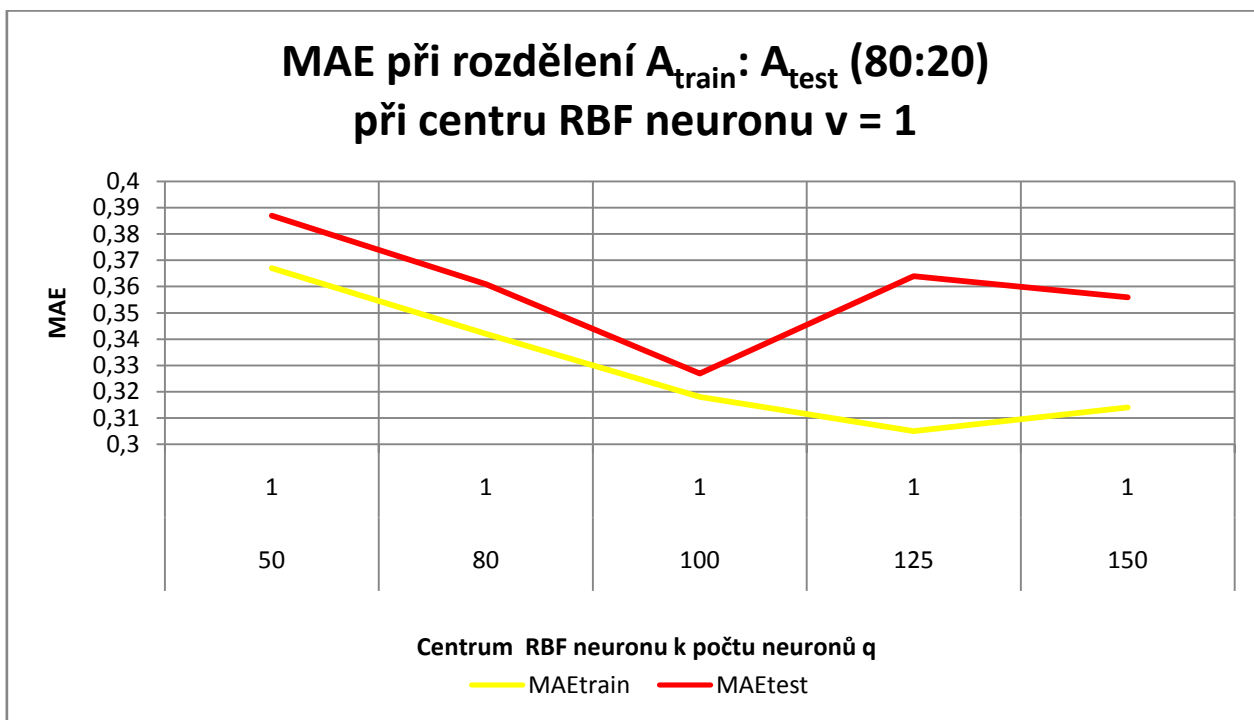
V grafu 28 je zachycen průběh MAE trénovacích a testovacích dat v závislosti na změně parametru  $v$ . Překrytí bylo na základě experimentů nastaveno na hodnotu 0.7. V grafu 28 je počáteční průběh trénovací chyby nižší než testovací, a to při hodnotě parametru  $v = 1$ . Po změně této hodnoty na  $v = 2$ , došlo k vyrovnání MAE u obou množin. Se zvyšujícím se počtem neuronů  $q$  se rozdíly v MAE prohlubují a průběh již není vyrovnaný. S rostoucím parametrem  $v$ , je MAE trénovací množiny stále větší oproti MAE testovací množiny, což je patrné v grafu 28. Nejnižší hodnota chyby pro trénovací množinu při počtu neuronu  $q = 125$  a  $v = 1$  je 0.305. Nejnižší hodnota chyby pro testovací množinu při počtu neuronu  $q = 100$  a  $v = 1$  je 0.327





Graf 28 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (80:20), zdroj: autor

Pro lepší názornost jsou průběhy  $MAE_{\text{train}}$  a  $MAE_{\text{test}}$  se zohledněním nejnižší hodnoty a nastavení  $\nu = 1$  znázorněny v grafu 29.



Graf 29 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (80:20) při centru RBF neuronu  $\nu = 1$ , zdroj: autor

Nejlepší výsledky podle nastavených parametrů při konstantním  $\mu$  jsou patrné v tabulce 12. Nejnižší chyba s nejlepší hledanou hodnotou je vyznačena žlutě.

Tabulka 12 Nejlepší výsledky pro změnu  $v$ , poměr 80:20, zdroj: autor

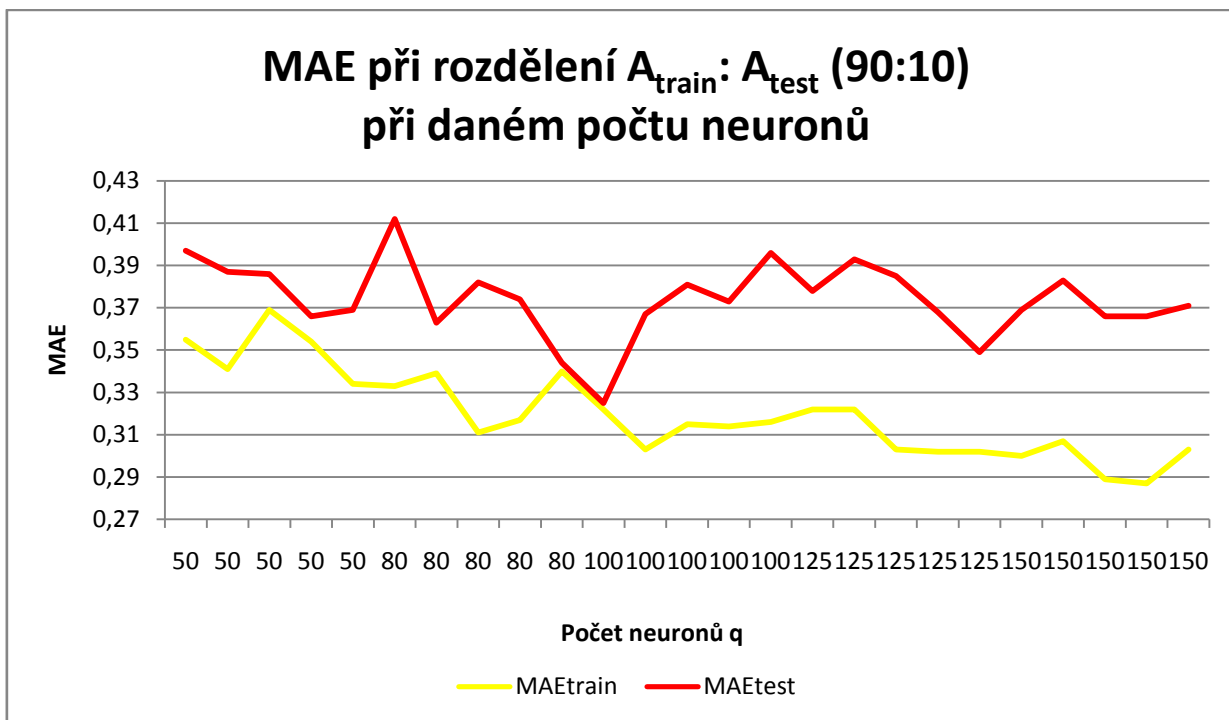
$q$	$\mu$	$v$	MAE <sub>train</sub>	$q$	$\mu$	$v$	MAE <sub>test</sub>
50	0.7	1	0.367	50	0.7	3	0.357
80	0.7	1	0.342	80	0.7	2	0.346
100	0.7	1	0.318	100	0.7	1	0.327
125	0.7	1	0.305	125	0.7	3	0.342
150	0.7	1	0.314	150	0.7	2	0.353

V příloze 7 jsou zobrazeny výsledky zkoumání pro definované počty neuronů  $q$ , rozdělení množiny dat v poměru  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (80:20) a to vždy při zachování jednoho parametru  $v$  nebo  $\mu$  konstantním.

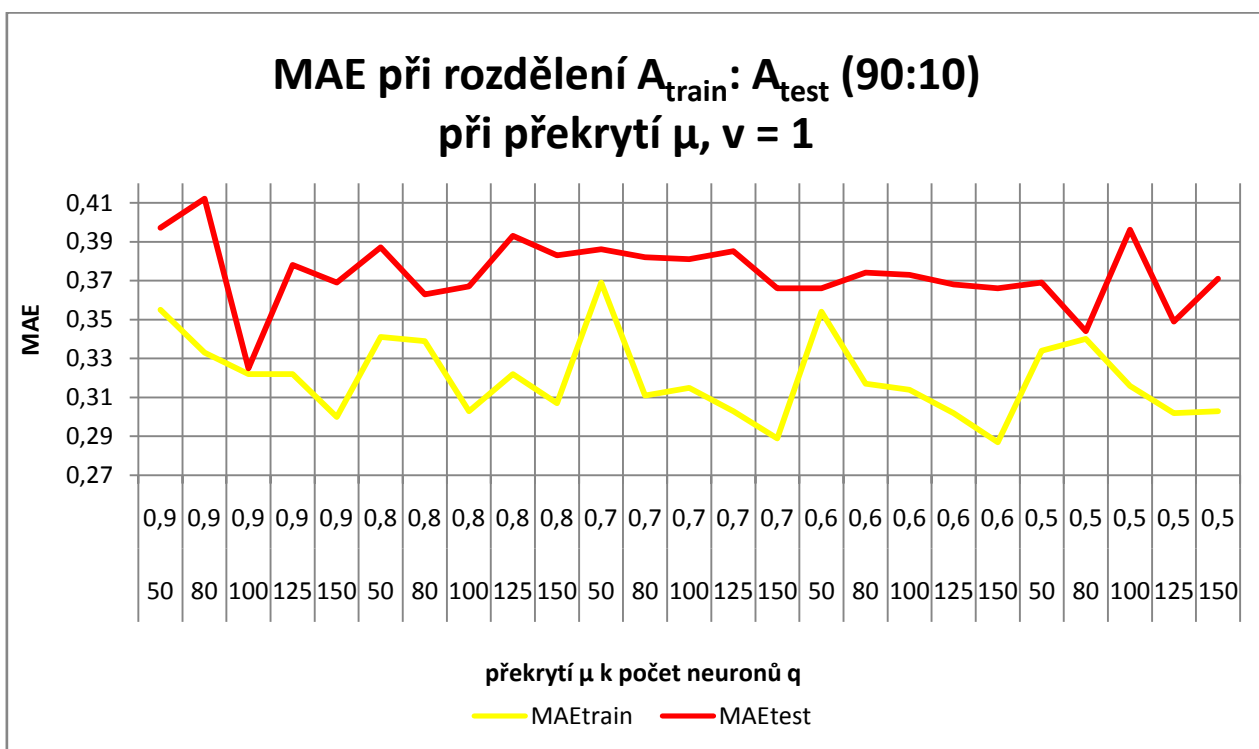
### 5.2.5. Poměr 90:10

Posledním poměrem, podle kterého byla vstupní data rozdělena, je poměr 90:10. Při tomto rozdělení byly zkoumány stejné závislosti jako v předchozích podkapitolách, tedy vztah mezi MAE a počtem neuronů  $q$ , překrytím  $\mu$  a centrem neuronů  $v$ . Závislost mezi MAE a počtem neuronů je zaznamenána v grafu 30. Průběh chyby testovací množiny je větší oproti chybě trénovací množiny, tato skutečnost je zobrazena pomocí červené a žluté křivky (graf 30). Oproti předcházejícím porovnáním nastává při rozdělení 90:10 změna, nejnižší chyba u trénovacích a testovacích dat není vykázána při stejném počtu neuronů. V předešlých závěrech byly nejnižší chyby nalezeny při počtu 150 neuronů. V tomto případě to platí pouze pro trénovací data. U testovacích je nejnižší hodnota chyby zaznamenána při 100 neuronech.

V grafu 31 je zachycena závislost mezi MAE a hodnotami překrytí  $\mu$ , při konstantním nastavení počtu center neuronů  $v$ . Konstanta je rovna hodnotě 1. Hodnoty překrytí  $\mu$  se pohybují v rozmezí 0.9 – 0.5. Chyba u trénovací množiny je nižší než u testovacích, což znázorňuje graf 31. U trénovacích dat je nejnižší chyba při počtu neuronů  $q = 150$  a hodnotě  $\mu = 0.6$ . Tato hodnota je 0.287. Pro testovací data je nejnižší chyba při počtu neuronů  $q = 100$  a hodnotě  $\mu = 0.9$ . Tato hodnota je rovna 0.325.

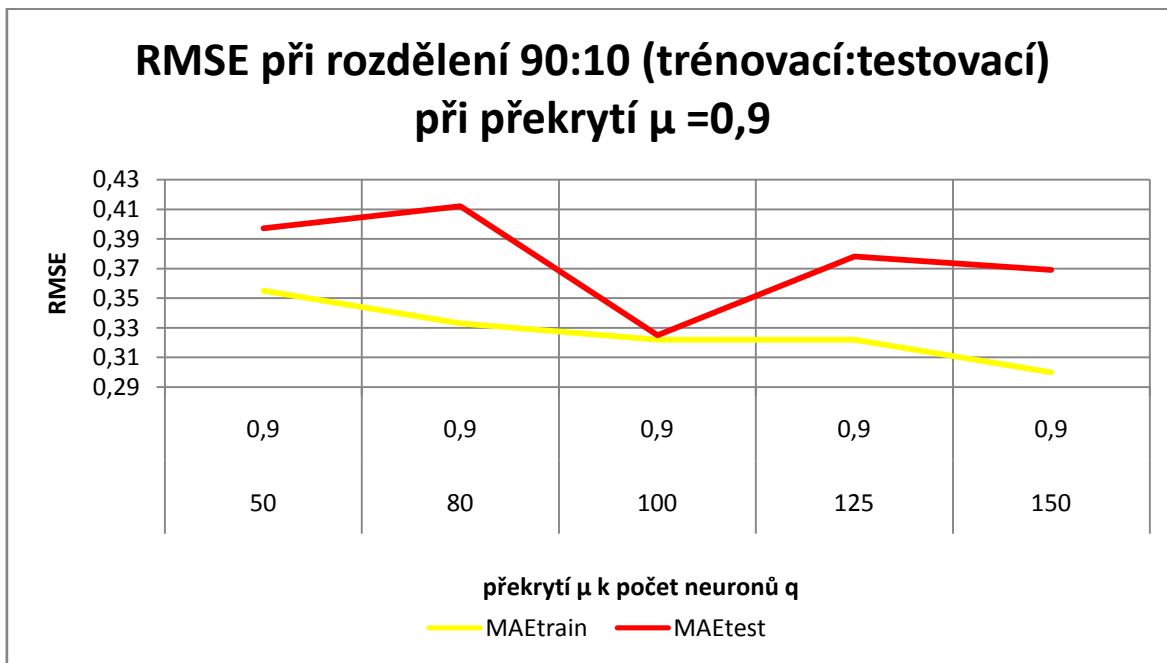


Graf 30 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}} : A_{\text{test}}$  (90:10) při daném počtu neuronů, zdroj: autor

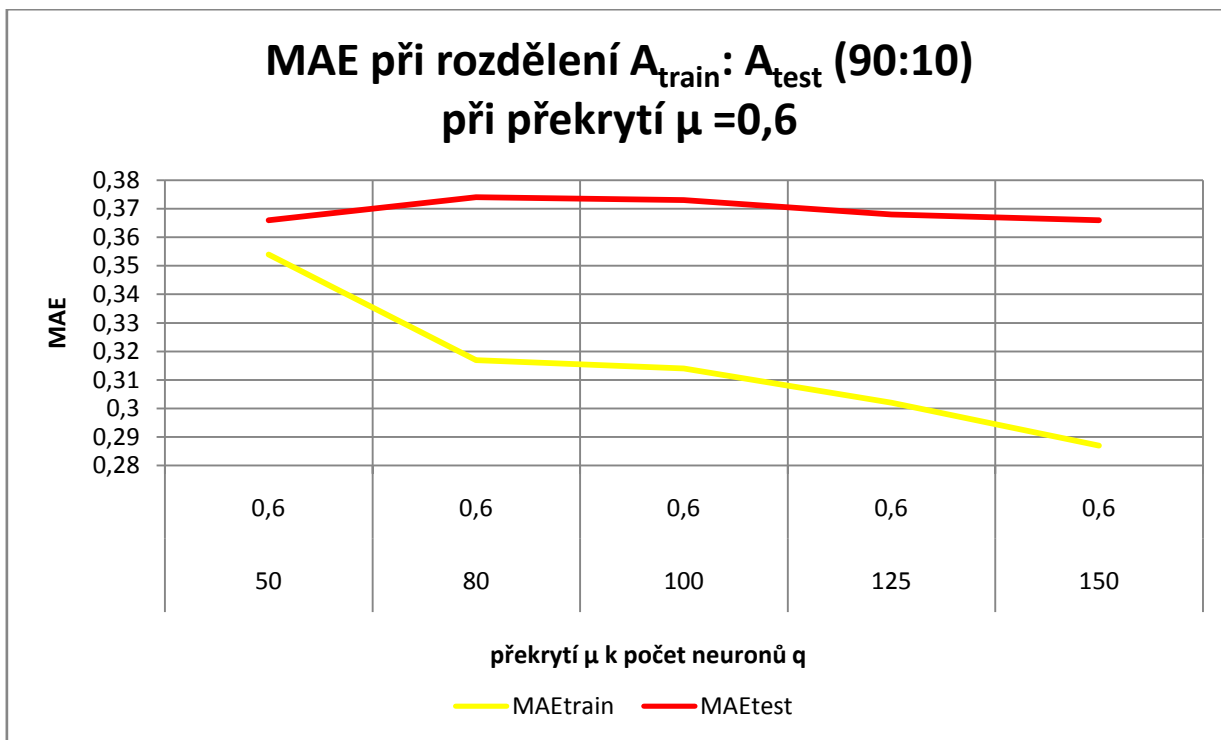


Graf 31 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}} : A_{\text{test}}$  (90:10) při překrytí  $\mu, \nu = 1$ , zdroj: autor

Pro lepší názornost je průběh  $MAE_{test}$  při nastavení  $\mu = 0.9$  znázorněn v grafu 32 a průběh  $MAE_{train}$  při nastavení  $\mu = 0.6$  v grafu 33.



Graf 32 MAE při rozdělení  $A_{train} : A_{test}$  (90:10) při překrytí  $\mu = 0,9$ , zdroj: autor



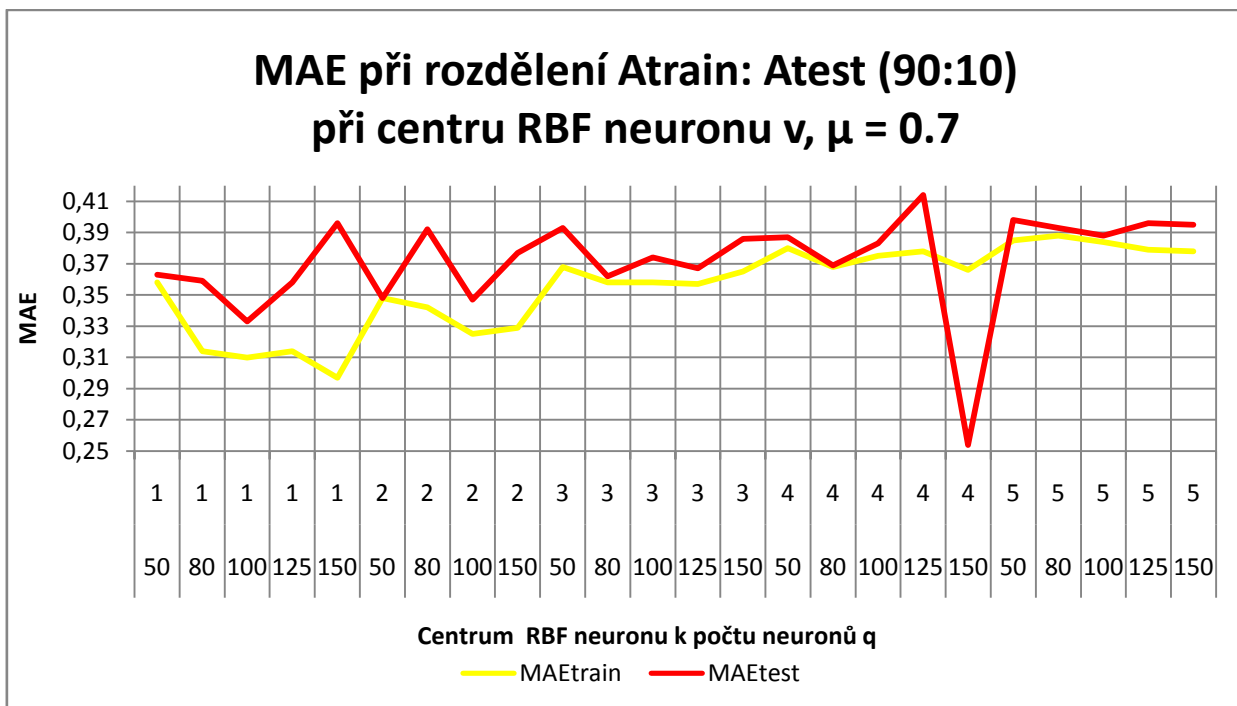
Graf 33 MAE při rozdělení  $A_{train} : A_{test}$  (90:10) při překrytí  $\mu = 0,6$ , zdroj: autor

Nejlepší výsledky podle nastavených parametrů při konstantním  $v$  jsou patrné v tabulce 13. Nejnižší chyba s nejlepší hledanou hodnotou je vyznačena žlutě.

Tabulka 13 Nejlepší výsledky pro změnu  $\mu$ , poměr 90:10, zdroj: autor

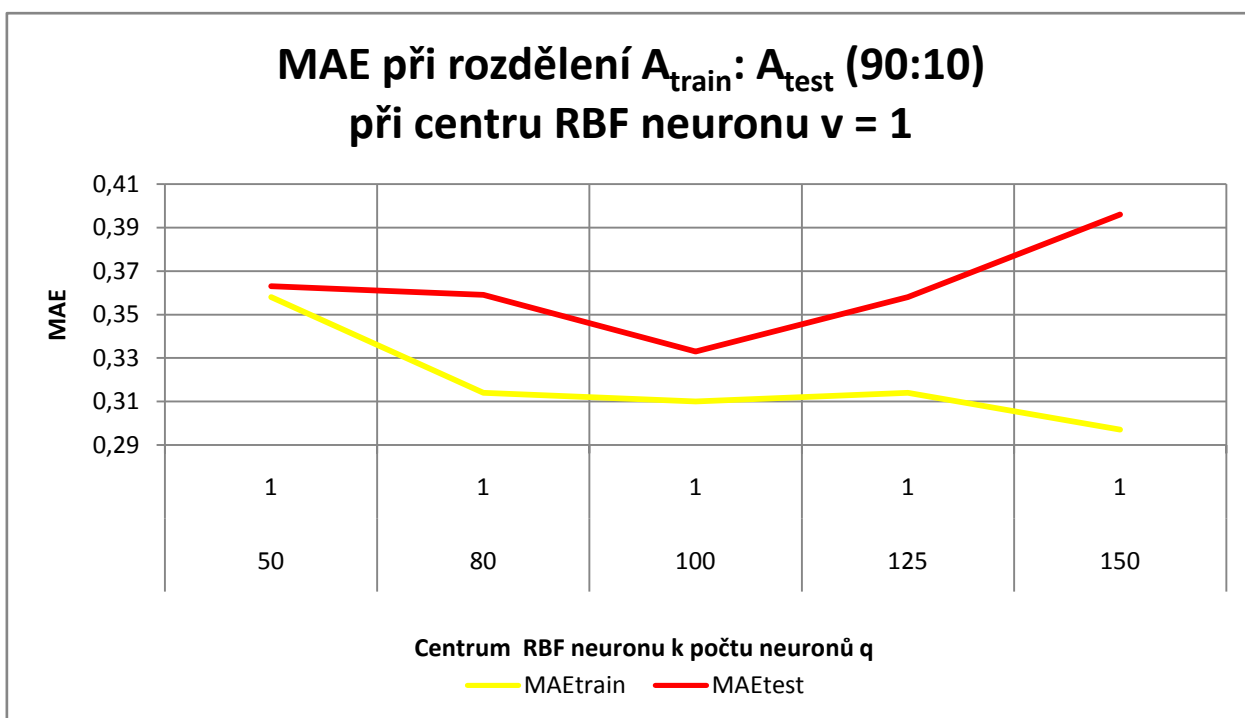
<b>q</b>	<b><math>\mu</math></b>	<b>v</b>	<b>MAEtrain</b>	<b>q</b>	<b><math>\mu</math></b>	<b>v</b>	<b>MAEtest</b>
50	0.5	1	0.334	50	0.6	1	0.366
80	0.7	1	0.311	80	0.5	1	0.344
100	0.8	1	0.303	100	0.9	1	0.325
125	0.5	1	0.302	125	0.5	1	0.349
150	0.6	1	0.287	150	0.6	1	0.366

V grafu 34 je zachycen průběh MAE trénovacích a testovacích dat v závislosti na změně parametru  $v$ . Překrytí bylo na základě experimentů nastaveno na hodnotu 0.7. V grafu 34 je počáteční průběh trénovací chyby nižší než testovací. Při změně hodnoty překrytí na  $v = 3$ , došlo k pozvolnému vyrovnávání MAE trénovacích dat s MAE testovacích dat. Největší výkyv nastal při hodnotě  $v = 4$  a  $q = 125$ , kdy se chyba testovacích dat dostala na svou nejnižší hodnotu a trénovací chyba je v tomto jediném momentu vyšší. V dalším průběhu došlo k ustálení na předcházející stav, trénovací chyba klesla pod testovací (graf 34). Nejnižší hodnota MAE pro trénovací množinu dat při počtu neuronu  $q = 150$  a  $v = 1$  je 0.297. Nejnižší hodnota MAE pro testovací množinu dat při počtu neuronu  $q = 150$  a  $v = 4$  je 0.254.

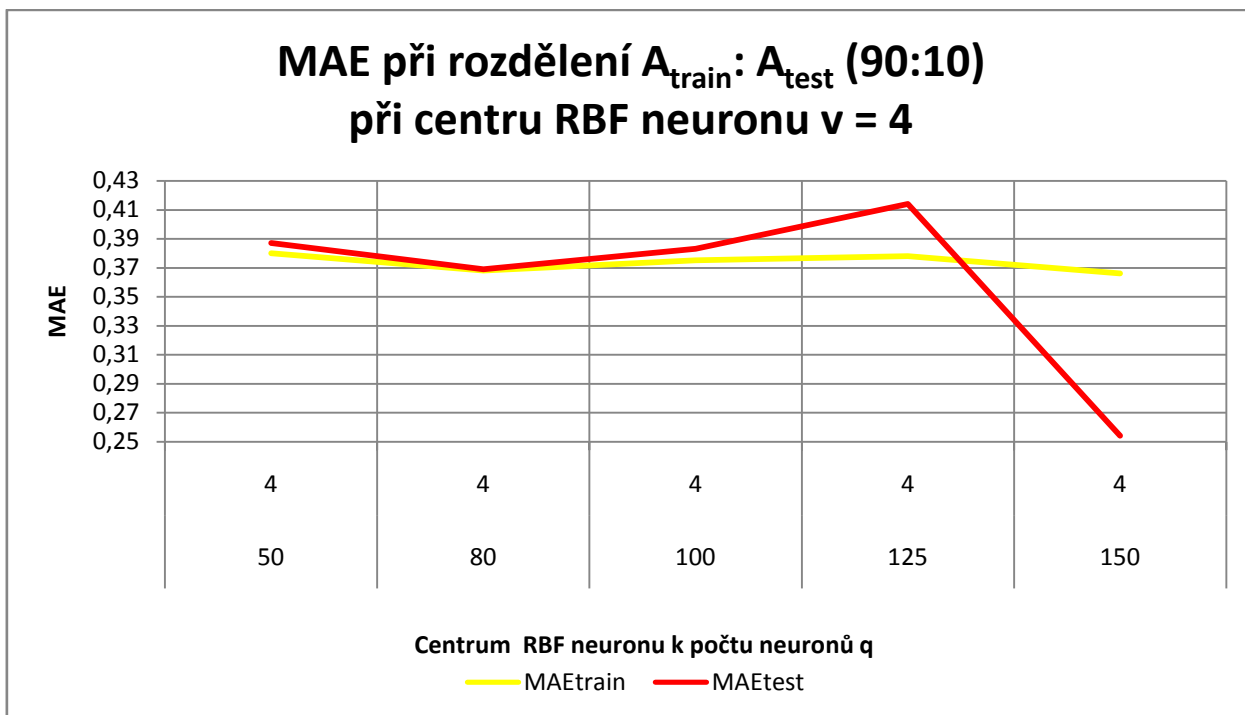


Graf 34 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (90:10) při centru RBF neuronu  $v, \mu = 0.7$ , zdroj: autor

Pro lepší názornost je průběh  $MAE_{\text{train}}$  při nastavení  $v = 1$  znázorněn v grafu 35 a průběh  $MAE_{\text{test}}$  při nastavení  $v = 4$  v grafu 36.



Graf 35 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$  (90:10) při centru RBF neuronu  $v = 1$ , zdroj: autor



Graf 36 MAE při rozdělení  $A_{\text{train}} : A_{\text{test}}$  (90:10) při centru RBF neuronu  $v = 4$ , zdroj: autor

Nejlepší výsledky podle nastavených parametrů při konstantním  $\mu$  jsou patrné v tabulce 14. Nejnižší chyba s nejlepší hledanou hodnotou je vyznačena žlutě.

Tabulka 14 Nejlepší výsledky pro změnu  $v$ , poměr 90:10, zdroj: autor

$q$	$\mu$	$v$	MAEtrain	$q$	$\mu$	$v$	MAEtest
50	0.7	2	0.348	50	0.7	2	0.348
80	0.7	1	0.314	80	0.7	1	0.359
100	0.7	1	0.31	100	0.7	1	0.333
125	0.7	1	0.314	125	0.7	1	0.358
150	0.7	1	0.297	150	0.7	4	0.254

V příloze 8 jsou zobrazeny výsledky zkoumání pro definované počty neuronů  $q$ , rozdělení množiny dat v poměru  $A_{\text{train}} : A_{\text{test}}$  (90:10) a to vždy při zachování jednoho parametru  $v$  nebo  $\mu$  konstantním.

### 5.3. Porovnání výsledků

Na základě zjištěných měření lze vytvořit dvě shrnující tabulky (tabulka 15 a 16), které podávají přehled o nejlepších výsledcích pro různé hodnoty parametru  $q$ ,  $v$  a  $\mu$  při odlišném poměru mezi trénovací a testovací množinou. Červenou barvou jsou zde vyznačeny nejnižší hodnoty MAE a jim odpovídající hledané parametry.

Tabulka 15 zaznamenává nejlepší výsledky při konstantním nastavení parametru  $v$ .

Tabulka 15 Souhrnné výsledky při konstantním  $v$ , zdroj: autor

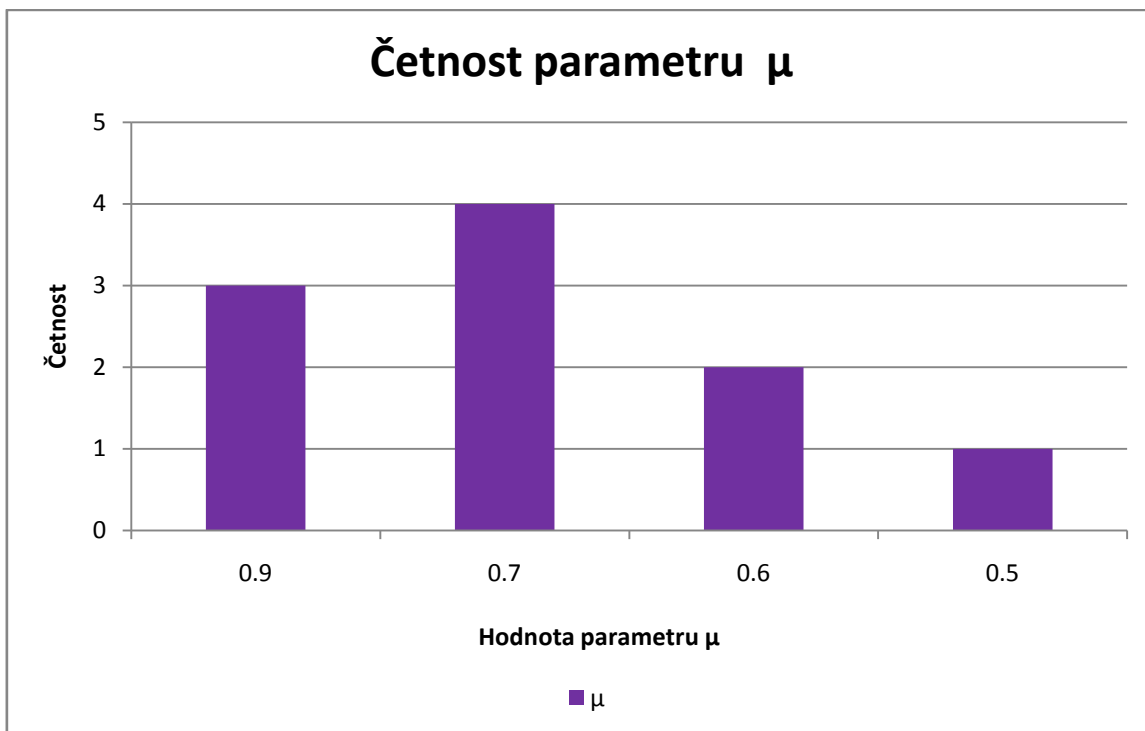
$q$	$\mu$	$v$	MAEtrain	$q$	$\mu$	$v$	MAEtest	Atrain:Atest
50	0.7	1	0.345	50	0.7	1	0.354	50 : 50
80	0.9	1	0.325	80	0.5	1	0.371	50 : 50
100	0.5	1	0.306	100	0.8	1	0.371	50 : 50
125	0.6	1	0.285	125	0.6	1	0.361	50 : 50
150	0.7	1	0.28	150	0.7	1	0.38	50 : 50
50	0.7	1	0.358	50	0.9	1	0.358	60 : 40
80	0.7	1	0.328	80	0.5	1	0.331	60 : 40
100	0.7	1	0.315	100	0.8	1	0.354	60 : 40
125	0.7	1	0.308	125	0.5	1	0.347	60 : 40
150	0.6	1	0.299	150	0.9	1	0.329	60 : 40
50	0.5	1	0.353	50	0.9	1	0.354	70 : 30
80	0.5	1	0.318	80	0.5	1	0.34	70 : 30
100	0.5	1	0.299	100	0.5	1	0.343	70 : 30
125	0.6	1	0.309	125	0.7	1	0.339	70 : 30
150	0.7	1	0.28	150	0.7	1	0.337	70 : 30
50	0.7	1	0.334	50	0.6	1	0.348	80 : 20
80	0.9	1	0.324	80	0.9	1	0.356	80 : 20
100	0.8	1	0.31	100	0.9	1	0.341	80 : 20
125	0.7	1	0.309	125	0.7	1	0.358	80 : 20
150	0.9	1	0.299	150	0.5	1	0.331	80 : 20
50	0.5	1	0.334	50	0.6	1	0.366	90 : 10
80	0.7	1	0.311	80	0.5	1	0.344	90 : 10
100	0.8	1	0.303	100	0.9	1	0.325	90 : 10
125	0.5	1	0.302	125	0.5	1	0.349	90 : 10
150	0.6	1	0.287	150	0.6	1	0.366	90 : 10

Nejvhodnější nastavení parametrů  $q$  a  $\mu$  (při konstantním  $v$ ) podle provedených experimentů, je na hodnotě

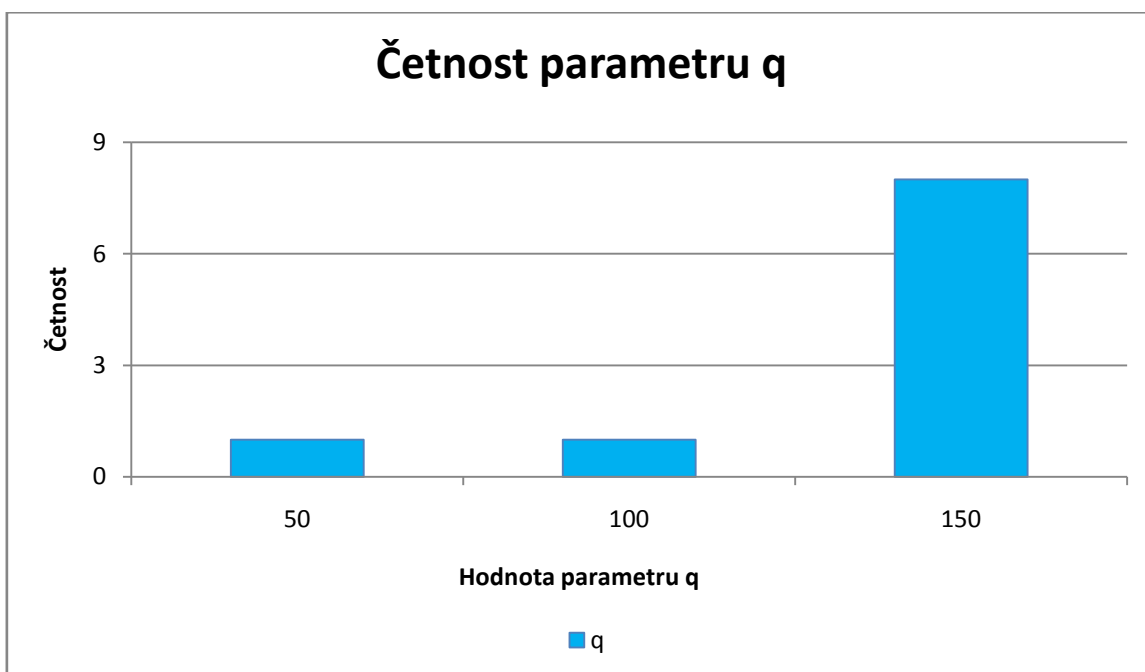
- $q = 150$ ,
- $\mu = 0.7$ ,

tento závěr byl vyvozen na základě tabulky 15. Pro přehlednost četnosti jednotlivých parametrů byly sestaveny grafy 37 a 38, které potvrzují volbu nastavení.





Graf 37 Četnost parametru  $\mu$ , zdroj: autor



Graf 38 Četnost parametru  $q$  při konstantním  $v$ , zdroj: autor

Tabulka 16 zaznamenává nejlepší výsledky při konstantním nastavení parametru  $\mu$ .

Tabulka 16 Souhrnné výsledky při konstantním  $\mu$ , zdroj: autor

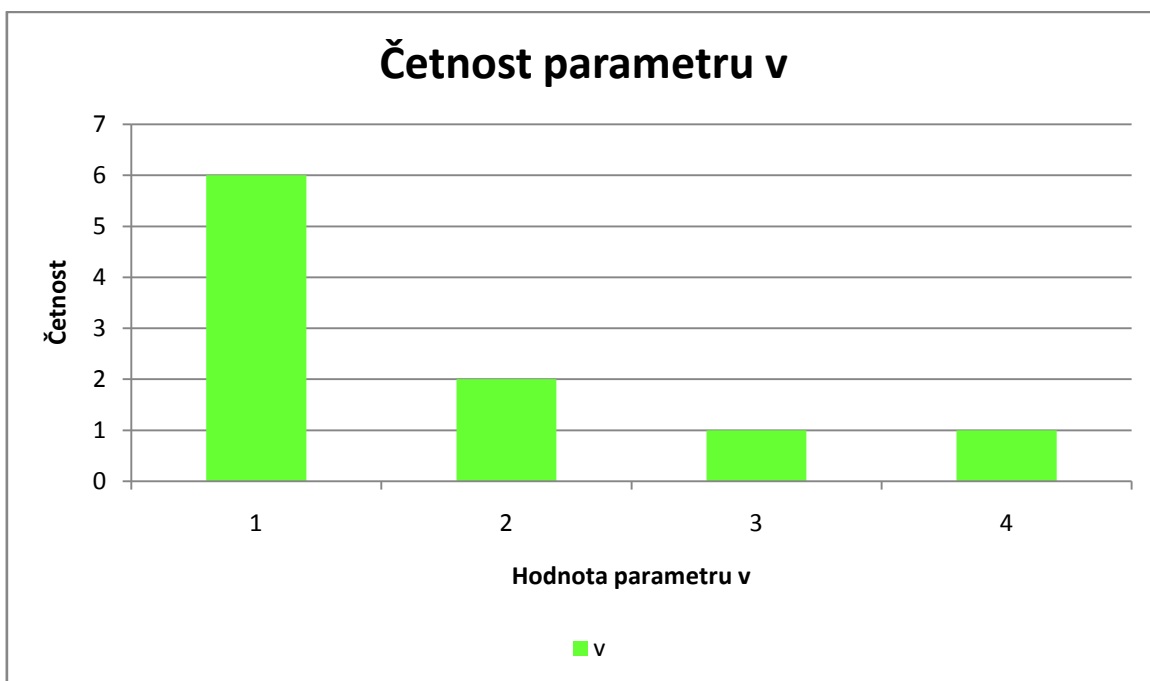
q	$\mu$	v	MAEtrain	q	$\mu$	v	MAEtest	Atrain:Atest
50	0.7	1	0.343	50	0.7	2	0.355	50 : 50
80	0.7	1	0.322	80	0.7	3	0.262	50 : 50
100	0.7	1	0.321	100	0.7	4	0.361	50 : 50
125	0.7	1	0.3	125	0.7	2	0.368	50 : 50
150	0.7	1	0.329	150	0.7	3	0.361	50 : 50
50	0.7	1	0.367	50	0.7	3	0.361	60 : 40
80	0.7	1	0.328	80	0.7	3	0.356	60 : 40
100	0.7	1	0.314	100	0.7	1	0.34	60 : 40
125	0.7	1	0.33	125	0.7	3	0.357	60 : 40
150	0.7	1	0.28	150	0.7	2	0.337	60 : 40
50	0.7	1	0.35	50	0.7	1	0.357	70 : 30
80	0.7	1	0.321	80	0.7	2	0.331	70 : 30
100	0.7	1	0.312	100	0.7	3	0.338	70 : 30
125	0.7	1	0.312	125	0.7	3	0.356	70 : 30
150	0.7	2	0.328	150	0.7	2	0.338	70 : 30
50	0.7	1	0.367	50	0.7	3	0.357	80 : 20
80	0.7	1	0.342	80	0.7	2	0.346	80 : 20
100	0.7	1	0.318	100	0.7	1	0.327	80 : 20
125	0.7	1	0.305	125	0.7	3	0.342	80 : 20
150	0.7	1	0.314	150	0.7	2	0.353	80 : 20
50	0.7	2	0.348	50	0.7	2	0.348	90 : 10
80	0.7	1	0.314	80	0.7	1	0.359	90 : 10
100	0.7	1	0.31	100	0.7	1	0.333	90 : 10
125	0.7	1	0.314	125	0.7	1	0.358	90 : 10
150	0.7	1	0.297	150	0.7	4	0.254	90 : 10

Nejvhodnější nastavení parametrů  $q$  a  $v$  (při konstantním  $\mu$ ) podle provedených experimentů, je na hodnotě

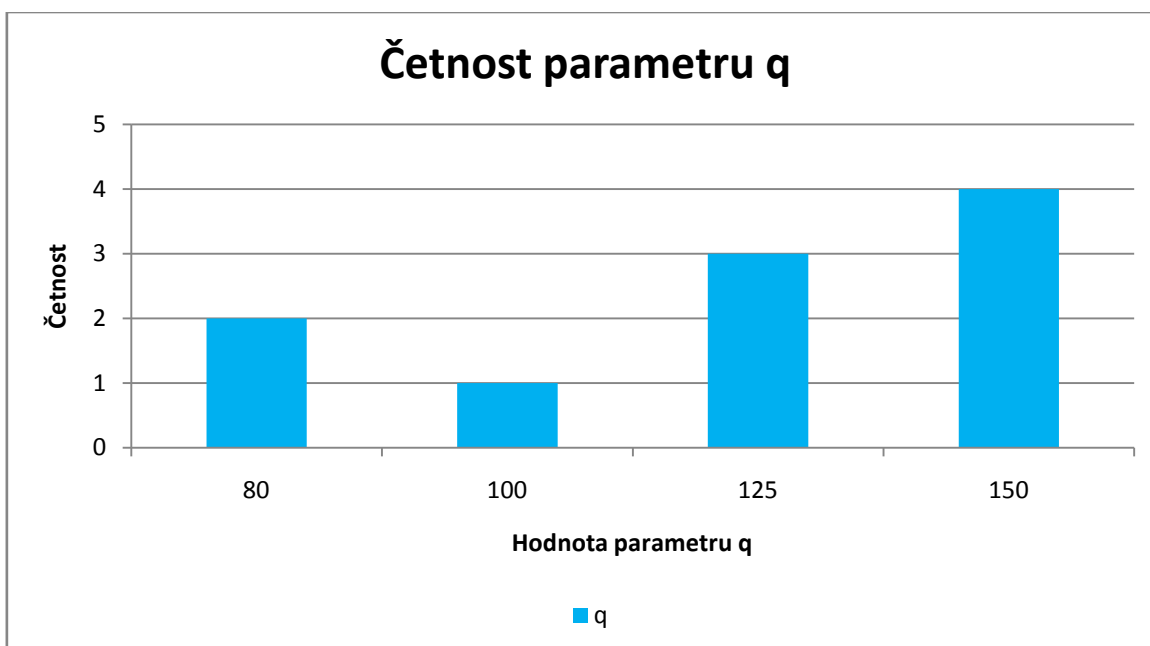
- $q = 150$ ,
- $v = 1$ ,

tento závěr byl vyvozen na základě tabulky 16. Pro přehlednost četnosti jednotlivých parametrů byly sestaveny grafy 39 a 40, které potvrzují volbu nastavení.

Za adekvátní rozdělení pro nastavení sítě je považován poměr  $A_{\text{train}} : A_{\text{test}}$  (70:30). Tento poměr vyplynul ze získaných výsledků experimentů.



Graf 39 Četnost parametru v, zdroj: autor

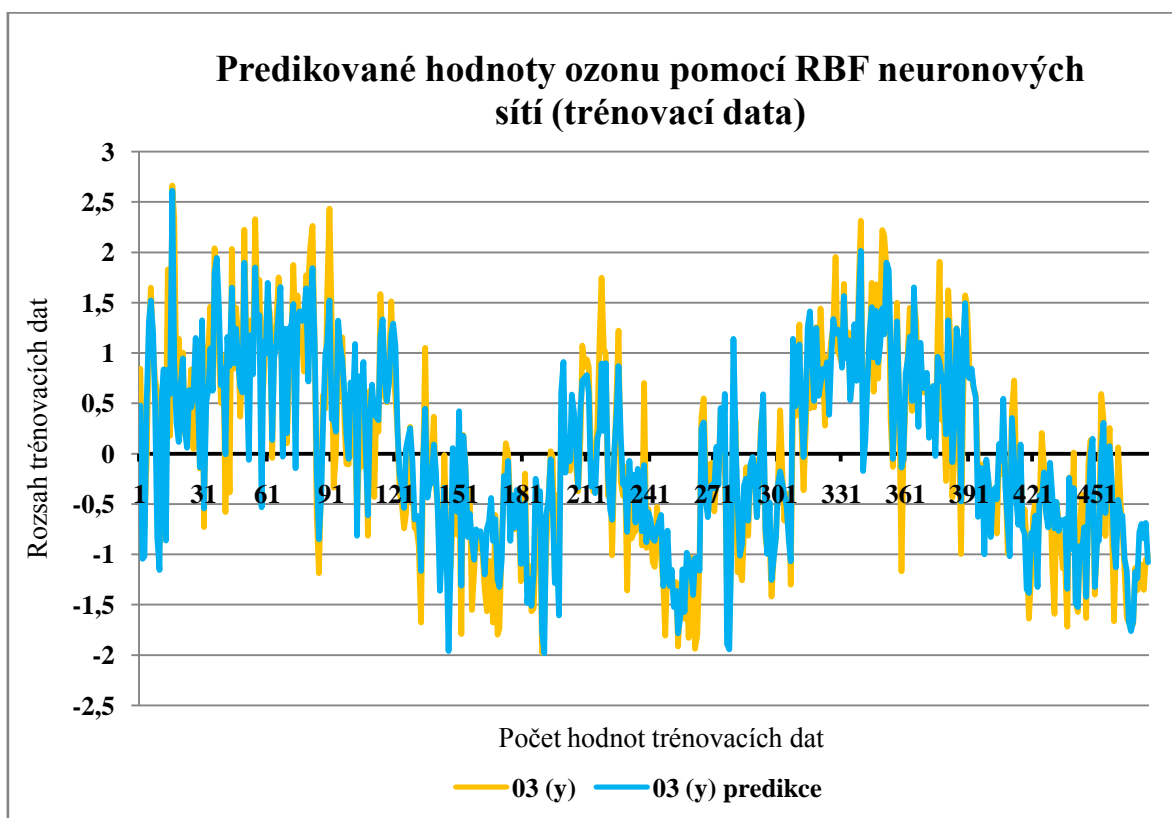


Graf 40 Četnost parametru q při konstantním  $\mu$ , zdroj: autor

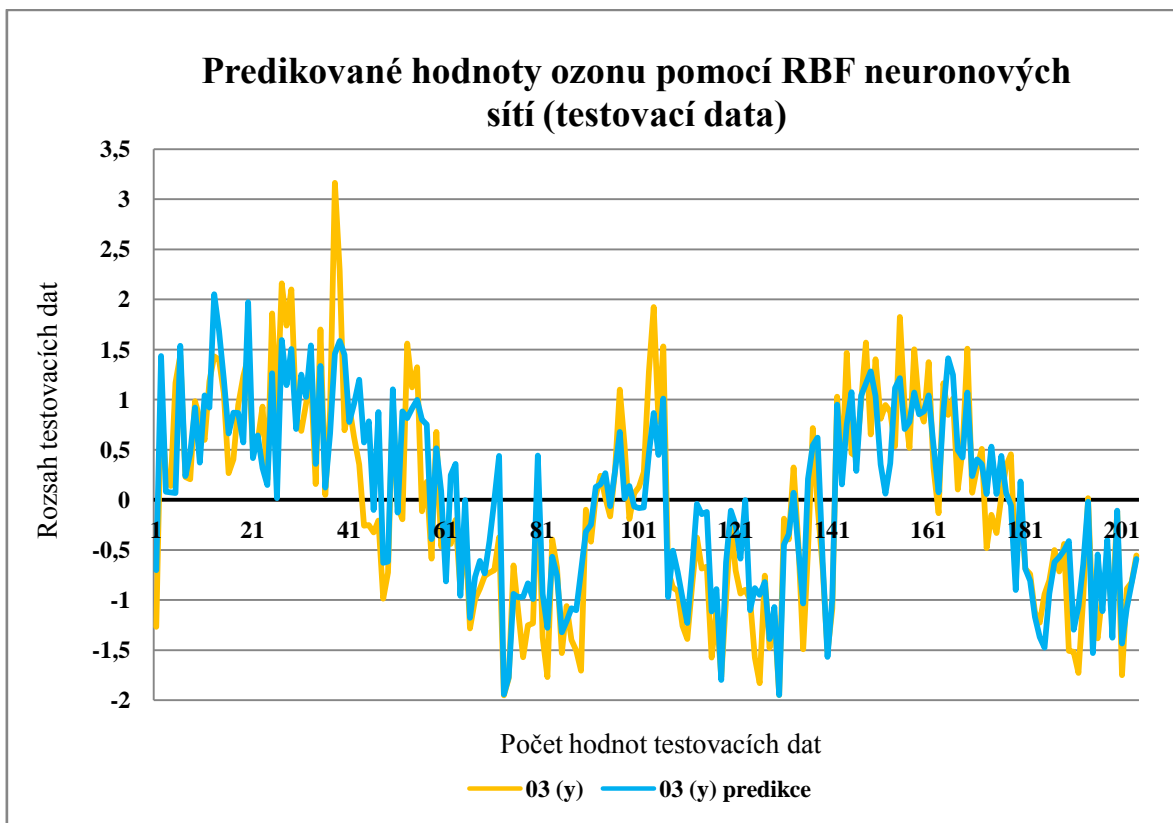
Na základě nejlepších zjištěných výsledků byly nastaveny jednotlivé parametry na dané hodnoty a proveden proces predikce troposférického ozonu v SPSS Clementine. Predikce byla úspěšně dokončena a její průběh je patrný v grafu 41 a 42. Grafy zaznamenávají průběh stavu ozonu, který měl autor k dispozici, spolu s predikovaným

vývojem. Původní data zachycují období necelých dvou let měření. Podle výsledků predikce lze tvrdit, že stav troposférického ozonu se bude v následujících letech jen zlepšovat.

Toto tvrzení lze podložit i tím, že se neustále zpřisňují a sledují hodnoty škodlivých látek v ovzduší. Ve stanici ČHMÚ č. 1465 v oblasti Pardubice Dukla, kde byla pořízena původní data, lze očekávat pozvolné zlepšení stavu troposférického ozonu.



Graf 41 Predikované hodnoty ozonu pomocí RBF neuronových sítí (trénovací data), zdroj: autor



Graf 42 Predikované hodnoty ozonu pomocí RBF neuronových sítí (testovací data), zdroj: autor

## 5.4. Shrnutí kapitoly

Kapitola se věnuje problematice predikce ozonu. Upřesňuje zpracování a výběr dat pro potřebu softwaru SPSS Clementine. Vysvětluje jednotlivé parametry, které jsou potřebné pro správné nastavení RBF neuronové sítě. Některé hodnoty parametrů je třeba hledat, proto kapitola prezentuje jednotlivé výsledky potřebné pro správné nastavení RBF neuronové sítě, která bude využita pro predikci. Ke konci kapitoly jsou zobrazeny výsledné predikované hodnoty troposférického ozonu.

## 6. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo pojednat o problematice ozonu a navrhnout vhodný model pro jeho predikci pomocí RBF neuronové sítě. Data pro predikci se získala ze stanice Pardubice Dukla, hodnoty se konkrétně týkaly troposférického ozonu. Pro potřeby modelu autor data předzpracoval a vybral vhodné atributy.

Samotný návrh modelu spolu s rozdělením vstupní množiny dat na trénovací a testovací byl proveden v prostředí SPSS Clementine. Experimentálně se hledal vhodný poměr mezi množinou trénovací a testovací, dále optimální nastavení RBF neuronové sítě. Kvalitu jednotlivých výsledků a navrhnutého modelu hodnotila střední absolutní chyba MAE. Na základě nalezených vhodných parametrů sítě se provedla samotná predikce. Závěrem lze říci, že stanovené cíle diplomové práce byly splněny.

## 7. ZDROJE

- [1] Atmosféra. *Svět poznání : Informace a zajímavosti pro celou rodinu*. 1998, 2, s. 119-122. ISSN 1211-9369.
- [2] OBROUČKA, K.: *Ochrana ovzduší I. : (zdroje a látky znečišťující ovzduší)*. Vyd. 1. Ostrava : Vysoká škola podnikání, 2003. 81 s. ISBN 80-86764-00-1.
- [3] Kolektiv pracovníků SZÚ. *Státní zdravotní ústav* [online]. 2010 [cit. 2010-12-23]. UV záření, SZÚ. Dostupné z WWW: <<http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/koupani-ve-volne-prirode/uv-zareni>>.
- [4] Ozonová vrstva. *Svět poznání : Informace a zajímavosti pro celou rodinu*. 1998, 104, s. 297-298. ISSN 1211-9369.
- [5] LIPPERT, E.: *Ozonová vrstva země : vznik, funkce, poškozování a jeho důsledky, možnosti nápravy*. Praha : Vesmír, 1995. 154 s. ISBN 80-901131-5-X.
- [6] NEWMAN, P. A. : *Ozone Hole Watch* [online]. 2009-11-08 [cit. 2011-02-09]. Ozone Facts. Dostupné z WWW: <<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/ozone.html>>.
- [7] BOHÁČEK, I. Dobrý a špatný ozon. *Vesmír* [online]. 2005, 8, [cit. 2011-02-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.vesmir.cz/clanky/clanek/id/6387>>.
- [8] ACHRER, J, et al.: *Ochrana ozonové vrstvy v České republice: 20 let od podepsání Montrealského protokolu* [online]. Praha : Ministerstvo životního prostředí, [2007] [cit. 2011-02-14]. Dostupné z WWW: <[http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/13E1E9511891FAD0C1257359003AA1B3/\\$file/publikace-ozon\\_web.pdf](http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/13E1E9511891FAD0C1257359003AA1B3/$file/publikace-ozon_web.pdf)>. ISBN :978-80-7212-471-8.
- [9] TOLASZ, R.: *Portal.chmi* [online]. 2007 [cit. 2011-02-09]. Měření celkového ozonu v atmosféře. Dostupné z WWW: <[http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ozon/Dobson\\_Brewer\\_Popis.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ozon/Dobson_Brewer_Popis.pdf)>.
- [10] *Laboratorní průvodce* [online]. 2011 [cit. 2011-02-09]. Laboratorní encyklopedie. Dostupné z WWW: <<http://www.labo.cz/sl/vy10.htm>>.
- [11] *Ndacc-lidar.org* [online]. 24 September 2009 [cit. 2011-02-14]. NDACC lidar working group. Dostupné z WWW: <<http://ndacc-lidar.org/index.php?id=40/Participating+sites.htm>>.
- [12] VANÍČEK, K.: *Solární a ozonová observatoř Hradec Králové*. Praha : Nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu, 2001. 38 s. ISBN 80-85813-83-1.

- [13] WALDHAUSEROVÁ, P.: Když ozon škodí. *Vesmír* [online]. 2008/12, 87, [cit. 2011-01-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.vesmir.cz/clanek/kdyz-ozon-skodi>>.
- [14] IRZ-integrovaný registr znečišťovní [online]. 2008 [cit. 2010-10-22]. Ohlašované látky - Poléťavý prach (PM10). Dostupné z WWW: <[http://www.irz.cz/obsah/latky/poletavy\\_prach](http://www.irz.cz/obsah/latky/poletavy_prach)>.
- [15] IRZ-integrovaný registr znečišťování [online]. 2008 [cit. 2010-10-22]. Ohlašované látky - Oxidy dusíku (NOx/NO2). Dostupné z WWW: <[http://www.irz.cz/obsah/latky/oxidy\\_dusiku](http://www.irz.cz/obsah/latky/oxidy_dusiku)>.
- [16] Environment Agency [online]. září 2010 [cit. 2010-10-22]. Sulphur dioxide. Dostupné z WWW: <[http://www.environment\\_agency.gov.uk/business/topics/pollution/433.aspx](http://www.environment_agency.gov.uk/business/topics/pollution/433.aspx)>.
- [17] MAREK, L.: *Použití inhalovaného oxidu dusnatého v respiračním selhání u dětí* [online]. Brno : Masarykova Univerzita, Lékařská fakulta, 2008. 113 s. Dizertační práce. Masarykova Univerzita. Dostupné z WWW: <[http://is.muni.cz/th/19345/lf\\_d/Pouziti\\_inhalovaneho\\_oxidu\\_dusnateho\\_v\\_respiracnim\\_selhani\\_u\\_deti.pdf](http://is.muni.cz/th/19345/lf_d/Pouziti_inhalovaneho_oxidu_dusnateho_v_respiracnim_selhani_u_deti.pdf)>.
- [18] JECH, Č.: V zájmu života ochraňujme ozónovou vrstvu. 1. vyd. Brno : Děti Země, 1992. 31 s.
- [19] Ministerstvo životního prostředí [online]. 2011 [cit. 2011-02-25]. Praktické informace. Dostupné z WWW: <[http://www.mzp.cz/cz/prakticke\\_informace](http://www.mzp.cz/cz/prakticke_informace)>.
- [20] KOTAŠKA, M.; DOBIÁŠOVSKÝ, J.; ŘEHÁČEK, V.: *Montrealský protokol o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu, a jeho plnění v České republice*. 1. vydání. Praha : Nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu, 1994. 50 s. ISBN 80-85813-09-2.
- [21] KOLÁŘOVÁ, H.: *Czp.cuni* [online]. 2007 [cit. 2011-02-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.czp.cuni.cz/knihovna/freony.pdf>>.
- [22] NEWMAN, P.: *Ozone Hole Watch* [online]. 19 November 2009 [cit. 2011-02-28]. What is the Ozone Hole?. Dostupné z WWW: <<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/hole.html>>.
- [23] KOZUBEK, S.; KOZUBEK, M.: *Ozonová díra : Ohrožení pro lidstvo?*. Brno : CCB Brno, 1993. 95 s. ISBN 80-85825-03-1.



- [24] *World Meteorological Organization : Working together in weather, climate and water* [online]. 7 December 2010 [cit. 2011-02-28]. Antarctic Ozone Bulletin. Dostupné z WWW: <<http://www.wmo.int/pages/prog/arep/documents/ant-bulletin-4-2010.pdf>>.
- [25] *Epravo.cz* [online]. 1999-2011 [cit. 2011-03-05]. Sdělení Ministerstva zahraničních věcí o Vídeňské úmluvě o sukcesi států ve vztahu ke smlouvám. Dostupné z WWW: <<http://www.epravo.cz/top/zakony/sbirka-zakonu/sdeleni-ministerstva-zahranicnich-veci-o-videnske-umluve-o-sukcesi-statu-ve-vztahu-ke-smlouvam-14082.html?mail>>. ISSN 1213-189X.
- [26] *Sagit : Nakladatelství ekonomické a právní literatury Ostrava* [online]. 1996-2011 [cit. 2011-03-05]. Sbírka zákonů. Dostupné z WWW: <<http://www.sagit.cz/pages/sbirkatxt.asp?sn=y&hledany=z%E1kon+86%2F1995+Sb%2E+o+ochran%EC+ozonov%E9+vrstvy+Zem%EC&zdroj=sb08483&cd=76&typ=r>>.
- [27] *Sagit : Nakladatelství ekonomické a právní literatury Ostrava* [online]. 1996-2011 [cit. 2011-03-05]. ZÁKON č. 483/2008 Sb., - Anotace. Dostupné z WWW: <[http://www.sagit.cz/pages/zpravodajtxtanot.asp?cd=167&typ=r&zdroj=../\\_anotace/sb08483a](http://www.sagit.cz/pages/zpravodajtxtanot.asp?cd=167&typ=r&zdroj=../_anotace/sb08483a)>.
- [28] *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2008-2011 [cit. 2011-03-05]. Národní a mezinárodní legislativa. Dostupné z WWW: <[http://www.mzp.cz/cz/narodni\\_mezin%C3%A1rodní\\_legislativa](http://www.mzp.cz/cz/narodni_mezin%C3%A1rodní_legislativa)>.
- [29] OLEJ, V.; HÁJEK, P.: *Úvod do umělé inteligence : Moderní přístupy, Distanční opora*. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2010. 98 s.
- [30] Jak fungují umělé neuronové sítě?. 21. *STOLETÍ EXTRA*. 22.4.2009, léto, s. 72-73.
- [31] OLEJ, V.; HÁJEK, P.: *Municipal Creditworthiness Modelling by Radial Basis Function Neural Networks and Sensitive Analysis their Inputs Parametrs*. 19th International Conference on Artificial Neural Network, ICANN 2009, 14-17 September, Limassol, Cyprus, Alippi, C., Polycarpou, M., Panayiotou, Ch., Ellinas, G., Eds., Springer Berlin Heidelberg New York, 2009, pp.505-514, ISSN 0302-9743, ISBN 3-642-04276-7.
- [32] KOKEŠ, R.: *Modelování bonity obcí pomocí RBF neuronových sítí : Predikční modely* [online]. Pardubice, 2008. 64 s. Diplomová práce. Univerzita Pardubice. Dostupné z WWW:

<[http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/29185/1/KokesR\\_Modelovani%20bonity\\_VO\\_2008.pdf](http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/29185/1/KokesR_Modelovani%20bonity_VO_2008.pdf)>.

- [33] FABUŠ, M.: *RBF neuronové sítě a genetické algoritmy* [online]. Bratislava, 1998. 52 s. Diplomová práce. Univerzita Komenského Bratislava. Dostupné z WWW: <<http://diplomovka.sme.sk/zdroj/2522.pdf>>.
- [34] MRÁZ, M.: *Cs.felk.cvut* [online]. 29.4.2002 [cit. 2011-03-09]. Neuročipy. Dostupné z WWW: <<http://cs.felk.cvut.cz/~mrazm/spa/index.html>>.
- [35] HAYKIN, S.: *NEURAL NETWORKS : A Comprehensive Foundation*. 2nd edition, New Jersey : Prentice Hall, 1999. 823 s. ISBN 81-7808-300-0.
- [36] NIYOGLI, P., GIROSI, F.: *On the Relationship Between Generalization Error, Hypothesis Complexity, and Sample Complexity for Radial Basis Functions* [online]. February 1994 [cit. 2011-03-11]. Dostupný z WWW: <<http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/6624/AIM-1467.pdf?sequence=2>>.
- [37] ŽÁK, L.: Shluková analýza. *Automatizace* [online]. Březen 2004, 47, 3, [cit. 2011-03-25]. Dostupný z WWW: <[http://www.volny.cz/elzet/Libor/Aut\\_cl\\_1.pdf](http://www.volny.cz/elzet/Libor/Aut_cl_1.pdf)>.
- [38] KVASNIČKA, V. a kol. *Úvod do teórie neuronových sietí*. Bratislava: IRIS, 1997. 285 s. ISBN 80-88778-30-1.

## 8. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Dobsonův spektrofotometr č. D074 používaný v ČHMÚ k měření celkového ozonu, zdroj: [9] .....	16
Obr. 2 Brewerův spektrofotometr MK-III č.B184, zdroj: [9] .....	17
Obr. 3 Lidarové stanice NDACC, zdroj: [11] .....	18
Obr. 4 Radiační síť ČR, zdroj: [12] .....	21
Obr. 5 Vývoj troposférického ozonu - severní polokoule, zdroj: [13] .....	26
Obr. 6 Využití freonů, zdroj: [18].....	28
Obr. 7 Ozonová díra, zdroj: [22] .....	30
Obr. 8 Rozsah ozonové díry 2003 - 2010, zdroj: [24].....	32
Obr. 9 Snímky ozonové díry 2006 - 2010, zdroj: [24] .....	32
Obr. 10 Deficit ozonu nad Antarktidou, zdroj: [24] .....	33
Obr. 11 Množství ozonu nad Antarktidou, zdroj: [24] .....	34
Obr. 12 Neuron umělé neuronové sítě, zdroj: [29].....	38
Obr. 14 Neuronová síť RBF pro klasifikaci, zdroj: [31] .....	41
Obr. 13 Neuronová síť RBF pro predikci, zdroj: [32].....	41
Obr. 15: Průběh aktivačních funkcí, zdroj: [33].....	43
Obr. 16 Výstup při použití Gaussovy funkce u dvourozměrného vstupu, zdroj: [34] .....	44
Obr. 17 Vliv počtu RBF neuronů a trénovací množiny na trénovací chybu, zdroj: [36] ....	45
Obr. 18 Návrh modelu predikce ozonu, zdroj: autor .....	53
Obr. 19 Schematické znázornění rozkladu množiny objektů na trénovací a testovací množinu, zdroj: [38] .....	55

## 9. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Partneři SOO-HK, zdroj: [12], autor .....	22
Tabulka 2 Působení freonů a halonů, zdroj: [18], [19], autor .....	28
Tabulka 3 Původní data stanice ČHMÚ č. 1465 Pardubice Dukla, zdroj: autor.....	48
Tabulka 4 Korelační tabulka, zdroj: autor .....	52
Tabulka 5 Nejlepší výsledky pro změnu $\mu$ , poměr 50:50, zdroj: autor.....	58
Tabulka 6 Nejlepší výsledky pro změnu $\nu$ , poměr 50:50, zdroj: autor .....	60
Tabulka 7 Nejlepší výsledky pro změnu $\mu$ , poměr 60:40, zdroj: autor .....	63
Tabulka 8 Nejlepší výsledky pro změnu $\nu$ , poměr 60:40, zdroj: autor .....	65
Tabulka 9 Nejlepší výsledky pro změnu $\mu$ , poměr 70:30, zdroj: autor.....	67

Tabulka 10 Nejlepší výsledky pro změnu $\nu$ , poměr 70:30, zdroj: autor .....	69
Tabulka 11 Nejlepší výsledky pro změnu $\mu$ , poměr 80:20, zdroj: autor .....	72
Tabulka 12 Nejlepší výsledky pro změnu $\nu$ , poměr 80:20, zdroj: autor .....	74
Tabulka 13 Nejlepší výsledky pro změnu $\mu$ , poměr 90:10, zdroj: autor .....	77
Tabulka 14 Nejlepší výsledky pro změnu $\nu$ , poměr 90:10, zdroj: autor .....	79
Tabulka 15 Souhrnné výsledky při konstantním $\nu$ , zdroj: autor .....	80
Tabulka 16 Souhrnné výsledky při konstantním $\mu$ , zdroj: autor .....	82

## 10. SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Průběh časově řady PM 10, zdroj: autor .....	50
Graf 2 Průběh časově řady $O_3(t-1)$ , zdroj: autor .....	50
Graf 3 Průběh časově řady $SO_2$ , zdroj: autor .....	51
Graf 4 Průběh časově řady Sluneční svit, zdroj: autor .....	51
Graf 5 MAE při rozdělení $A_{train}: A_{test}$ (50:50) při daném počtu neuronů, zdroj: autor .....	56
Graf 6 MAE při rozdělení $A_{train}: A_{test}$ (50:50) při překrytí $\mu$ , $\nu = 1$ , zdroj: autor .....	57
Graf 7 MAE při rozdělení $A_{train}: A_{test}$ (50:50) při překrytí $\mu=0,7$ , zdroj: autor .....	57
Graf 8 MAE při rozdělení $A_{train}: A_{test}$ (50:50) při centru RBF neuronu $\nu$ , $\mu = 0.7$ , zdroj: autor .....	58
Graf 9 MAE při rozdělení $A_{train}: A_{test}$ (50:50) při centru RBF neuronu $\nu = 1$ , zdroj: autor .....	59
Graf 10 MAE při rozdělení $A_{train}: A_{test}$ (50:50) při centru RBF neuronu $\nu = 3$ , zdroj: autor .....	59
Graf 11 MAE při rozdělení $A_{train}: A_{test}$ (60:40) při daném počtu neuronů, zdroj: autor .....	60
Graf 12 MAE při rozdělení $A_{train}: A_{test}$ (60:40) při překrytí $\mu$ , $\nu = 1$ , zdroj: autor .....	61
Graf 13 MAE při rozdělení $A_{train}: A_{test}$ (60:40) při překrytí $\mu = 0,6$ , zdroj: autor .....	62
Graf 14 MAE při rozdělení $A_{train}: A_{test}$ (60:40) při překrytí $\mu = 0,9$ , zdroj: autor .....	62
Graf 15 MAE při rozdělení $A_{train}: A_{test}$ (60:40) při centru RBF neuronu $\nu$ , $\mu = 0.7$ , zdroj: autor .....	63
Graf 16 MAE při rozdělení $A_{train}: A_{test}$ (60:40) při centru RBF neuronu $\nu = 1$ , zdroj: autor .....	64
Graf 17 MAE při rozdělení $A_{train}: A_{test}$ (60:40) při centru RBF neuronu $\nu = 2$ , zdroj: autor .....	64
Graf 18 MAE při rozdělení $A_{train}: A_{test}$ (70:30) při daném počtu neuronů, zdroj: autor .....	65
Graf 19 MAE při rozdělení $A_{train}: A_{test}$ (70:30) při překrytí $\mu$ , $\nu = 1$ , zdroj: autor .....	66

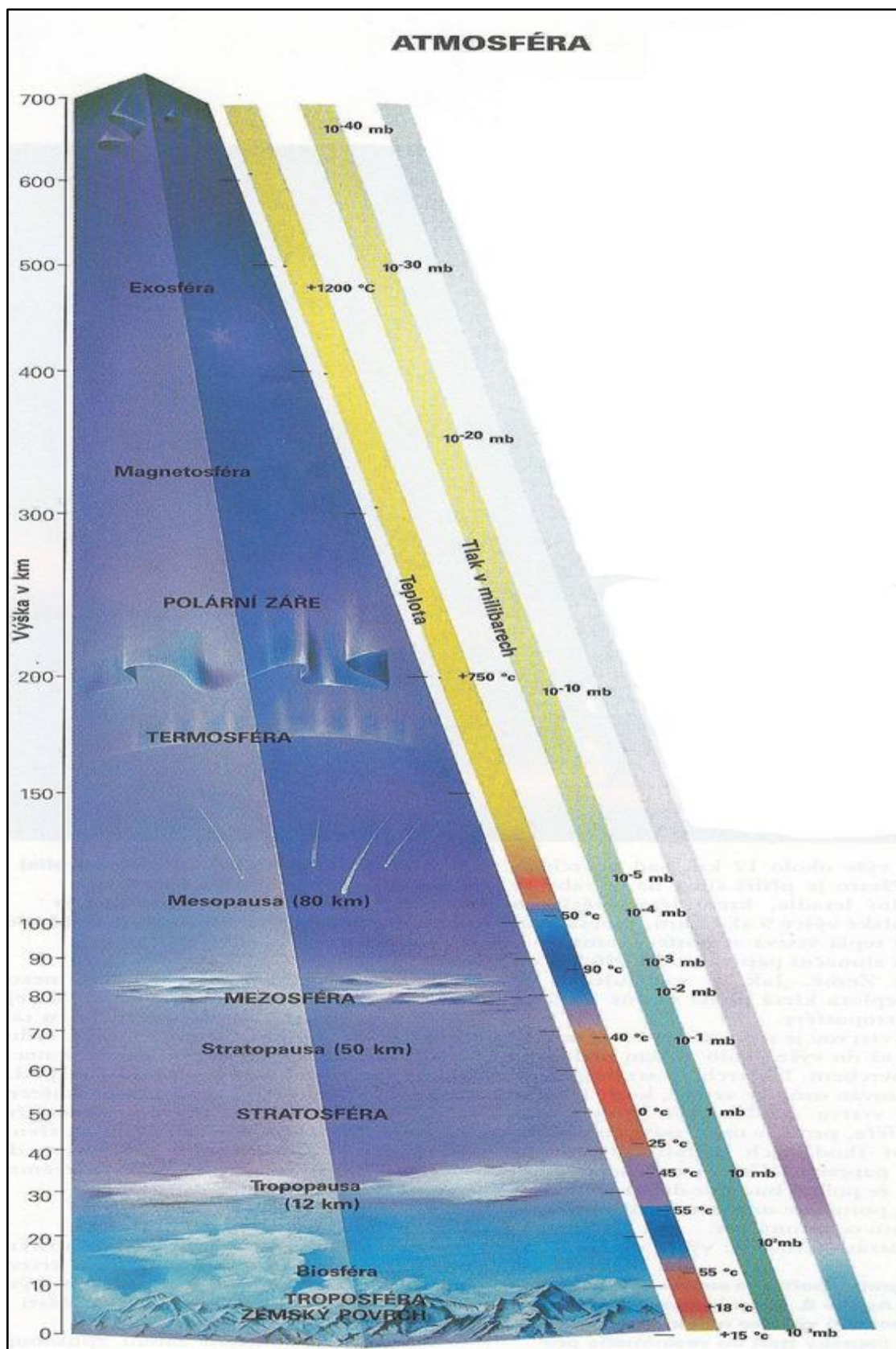
Graf 20 MAE při rozdělení $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$ (70:30) při překrytí $\mu = 0,7$ , zdroj: autor .....	67
Graf 21 MAE při rozdělení $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$ (70:30) při centru RBF neuronu $v$ , $\mu = 0.7$ , zdroj: autor .....	68
Graf 22 MAE při rozdělení $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$ (70:30) při centru RBF neuronu $v = 1$ , zdroj: autor	68
Graf 23 MAE při rozdělení $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$ (70:30) při centru RBF neuronu $v = 2$ , zdroj: autor .....	69
Graf 24 MAE při rozdělení $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$ (80:20) při daném počtu neuronů, zdroj: autor .....	70
Graf 25 MAE při rozdělení $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$ (80:20) při překrytí $\mu$ , $v = 1$ , zdroj: autor .....	71
Graf 26 MAE při rozdělení $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$ (80:20), zdroj: autor .....	71
Graf 27 MAE při rozdělení $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$ (80:20) při překrytí $\mu = 0,5$ , zdroj: autor .....	72
Graf 28 MAE při rozdělení $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$ (80:20), zdroj: autor .....	73
Graf 29 MAE při rozdělení $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$ (80:20) při centru RBF neuronu $v = 1$ , zdroj: autor .....	73
Graf 30 MAE při rozdělení $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$ (90:10) při daném počtu neuronů, zdroj: autor .....	75
Graf 31 MAE při rozdělení $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$ (90:10) při překrytí $\mu$ , $v = 1$ , zdroj: autor .....	75
Graf 32 MAE při rozdělení $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$ (90:10) při překrytí $\mu = 0,9$ , zdroj: autor .....	76
Graf 33 MAE při rozdělení $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$ (90:10) při překrytí $\mu = 0,6$ , zdroj: autor .....	76
Graf 34 MAE při rozdělení $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$ (90:10) při centru RBF neuronu $v$ , $\mu = 0.7$ , zdroj: autor .....	78
Graf 35 MAE při rozdělení $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$ (90:10) při centru RBF neuronu $v = 1$ , zdroj: autor .....	78
Graf 36 MAE při rozdělení $A_{\text{train}}: A_{\text{test}}$ (90:10) při centru RBF neuronu $v = 4$ , zdroj: autor .....	79
Graf 37 Četnost parametru $\mu$ , zdroj: autor .....	81
Graf 38 Četnost parametru $q$ při konstantním $v$ , zdroj: autor .....	81
Graf 39 Četnost parametru $v$ , zdroj: autor .....	83
Graf 40 Četnost parametru $q$ při konstantním $\mu$ , zdroj: autor .....	83
Graf 41 Predikované hodnoty ozonu pomocí RBF neuronových sítí (trénovací data), zdroj: autor .....	84
Graf 42 Predikované hodnoty ozonu pomocí RBF neuronových sítí (testovací data), zdroj: autor .....	85

## 11. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

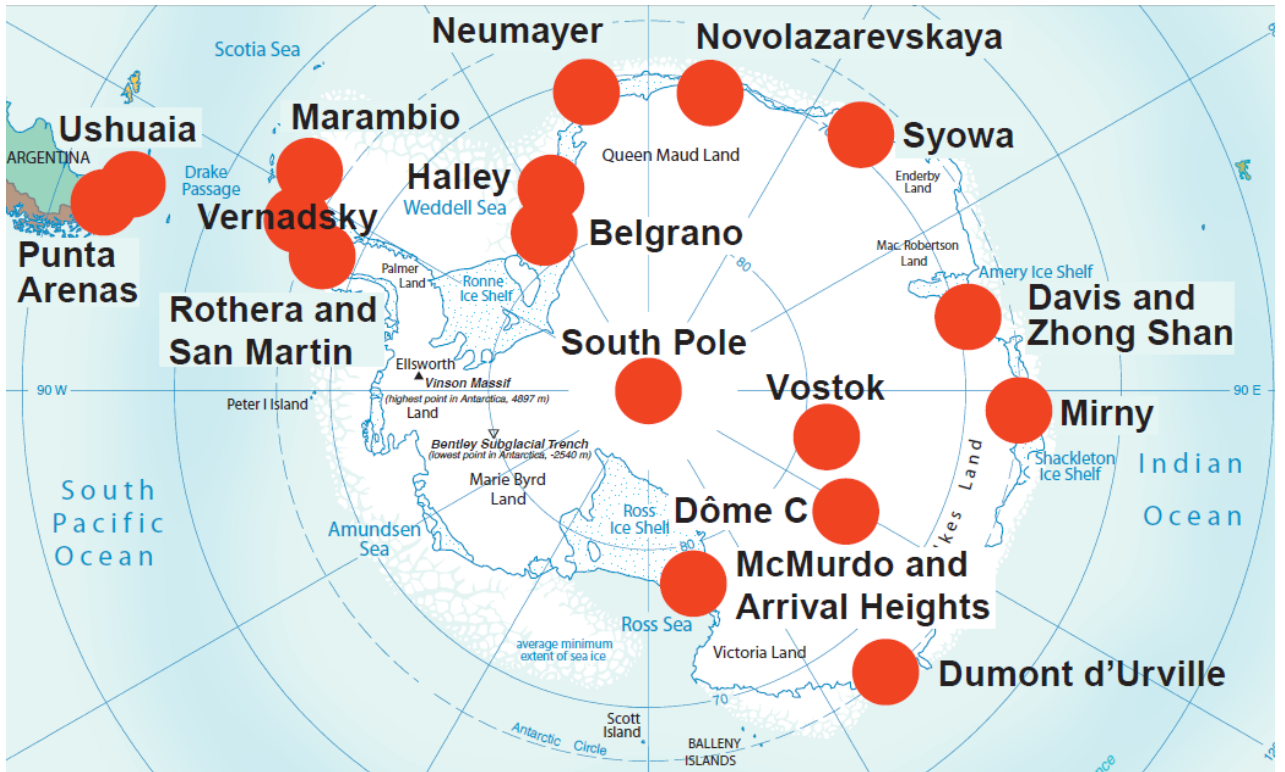
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
ČSFR	Česká a Slovenská Federativní Republika
DIAL	Differential Absorption Laser
DU	Dobson Unit
ECC	Electrochemical Cell
ESA	European Space Agency
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
GAW	Global Atmosphere Watch
GOME	Global Ozone Monitoring Experiment
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
MAE	Mean Absolute Error
MOZAIC	Measurement of OZone and water vapour by Airbus in-service airCraft
MRKS	Mezinárodním Roku Klidného Slunce
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDACC	Network for the Detection of Atmospheric Composition Change
OSN	Organizace spojených národů
RBF	Radial Basis Function
SAGE	Stratospheric Aerosol and Gas Experiment
SCIAMAHCY	SCanning Imaging Absorption spectroMeter for AtmosphericCartographY
SMO	Světové meteorologické organizace
SOO	Solární a ozonová observatoř
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SRN	Spolková republika Německo
TOMS	Total Ozone Mapping Spectrometer
USA	United States of America
UVA	UltraViolet - Ultrafialové záření typu A
UVB	UltraViolet - Ultrafialové záření typu B
UVC	UltraViolet - Ultrafialové záření typu C

# PŘÍLOHY

## Příloha 1 Členění atmosféry



Příloha 2 Ozonové observatoře na Antarktidě





Příloha 3 Korelační tabulka

	SO2	PM10	PM2,5	Nox	NO	NO2	CO	den	měsíc	prac. den	rychl. větru	vlhkost	tlak	slun. svit	teplota	směr větru	O3 t-1	O3 t-2	O3 t-3	O3 t-4	O3 t-5	O3 t-6
<b>SO2</b>	1.000	0.324	0.343	0.204	0.124	0.341	0.008	-0.038	-0.108	0.069	0.016	0.197	0.206	-0.149	-0.337	0.261	-0.098	-0.101	-0.117	-0.092	-0.085	-0.142
<b>PM10</b>	0.324	1.000	0.960	0.543	0.443	0.669	0.413	-0.039	-0.109	0.095	-0.431	0.183	0.343	0.053	-0.353	-0.400	-0.232	-0.223	-0.200	-0.171	-0.160	-0.205
<b>PM2,5</b>	0.343	0.960	1.000	0.587	0.472	0.721	0.428	-0.027	-0.132	0.070	-0.406	0.219	0.348	-0.007	-0.456	-0.363	-0.274	-0.259	-0.233	-0.203	-0.195	-0.241
<b>Nox</b>	0.204	0.543	0.587	1.000	0.943	0.785	0.422	-0.161	-0.009	0.218	-0.289	0.317	0.286	-0.152	-0.492	-0.150	-0.391	-0.359	-0.338	-0.337	-0.340	-0.415
<b>NO</b>	0.124	0.443	0.472	0.943	1.000	0.595	0.353	-0.140	0.086	0.183	-0.251	0.300	0.248	-0.129	-0.388	-0.148	-0.379	-0.356	-0.339	-0.347	-0.359	-0.431
<b>NO2</b>	0.341	0.669	0.721	0.785	0.595	1.000	0.381	-0.186	-0.076	0.265	-0.384	0.321	0.394	-0.141	-0.580	-0.172	-0.332	-0.289	-0.268	-0.268	-0.268	-0.348
<b>CO</b>	0.008	0.413	0.428	0.422	0.353	0.381	1.000	-0.025	-0.370	0.054	-0.147	0.151	0.013	-0.005	-0.189	-0.144	-0.056	-0.041	-0.026	-0.011	-0.014	-0.048
<b>den</b>	-0.038	-0.039	-0.027	-0.161	-0.140	-0.186	-0.025	1.000	0.028	-0.790	0.039	-0.004	0.027	0.005	-0.003	0.000	0.063	0.044	-0.018	-0.045	-0.074	-0.014
<b>měsíc</b>	-0.108	-0.109	-0.132	-0.009	0.086	-0.076	-0.370	0.028	1.000	-0.033	-0.153	0.250	0.159	-0.174	-0.007	-0.014	-0.344	-0.361	-0.378	-0.387	-0.403	-0.413
<b>prac. den</b>	0.069	0.095	0.070	0.218	0.183	0.265	0.054	-0.790	-0.033	1.000	-0.012	-0.003	-0.009	-0.002	-0.007	0.017	-0.045	-0.010	0.050	0.059	0.037	-0.017
<b>rychl. větru</b>	0.016	-0.431	-0.406	-0.289	-0.251	-0.384	-0.147	0.039	-0.153	-0.012	1.000	-0.103	-0.395	-0.245	0.009	0.504	0.084	0.075	0.072	0.056	0.073	0.194
<b>vlhkost</b>	0.197	0.183	0.219	0.317	0.300	0.321	0.151	-0.004	0.250	-0.003	-0.103	1.000	0.061	-0.701	-0.519	0.148	-0.482	-0.457	-0.423	-0.453	-0.500	-0.571
<b>tlak</b>	0.206	0.343	0.348	0.286	0.248	0.394	0.013	0.027	0.159	-0.009	-0.395	0.061	1.000	0.117	-0.291	-0.202	-0.256	-0.239	-0.250	-0.260	-0.281	-0.328
<b>slun. svit</b>	-0.149	0.053	-0.007	-0.152	-0.129	-0.141	-0.005	0.005	-0.174	-0.002	-0.245	-0.701	0.117	1.000	0.487	-0.328	0.398	0.378	0.348	0.373	0.390	0.423
<b>teplota</b>	-0.337	-0.353	-0.456	-0.492	-0.388	-0.580	-0.189	-0.003	-0.007	-0.007	0.009	-0.519	-0.291	0.487	1.000	0.006	0.526	0.506	0.501	0.504	0.508	0.530
<b>směr větru</b>	0.261	-0.400	-0.363	-0.150	-0.148	-0.172	-0.144	0.000	-0.014	0.017	0.504	0.148	-0.202	-0.328	0.006	1.000	0.039	0.080	0.079	0.065	0.050	0.047
<b>O3 t-1</b>	-0.098	-0.232	-0.274	-0.391	-0.379	-0.332	-0.056	0.063	-0.344	-0.045	0.084	-0.482	-0.256	0.398	0.526	0.039	1.000	0.801	0.695	0.651	0.612	0.605
<b>O3 t-2</b>	-0.101	-0.223	-0.259	-0.359	-0.356	-0.289	-0.041	0.044	-0.361	-0.010	0.075	-0.457	-0.239	0.378	0.506	0.080	0.801	1.000	0.805	0.687	0.651	0.605
<b>O3 t-3</b>	-0.117	-0.200	-0.233	-0.338	-0.339	-0.268	-0.026	-0.018	-0.378	0.050	0.072	-0.423	-0.250	0.348	0.501	0.079	0.695	0.805	1.000	0.799	0.686	0.643
<b>O3 t-4</b>	-0.092	-0.171	-0.203	-0.337	-0.347	-0.268	-0.011	-0.045	-0.387	0.059	0.056	-0.453	-0.260	0.373	0.504	0.065	0.651	0.687	0.799	1.000	0.799	0.677
<b>O3 t-5</b>	-0.085	-0.160	-0.195	-0.340	-0.359	-0.268	-0.014	-0.074	-0.403	0.037	0.073	-0.500	-0.281	0.390	0.508	0.050	0.612	0.651	0.686	0.799	1.000	0.796
<b>O3 t-6</b>	-0.142	-0.205	-0.241	-0.415	-0.431	-0.348	-0.048	-0.014	-0.413	-0.017	0.194	-0.571	-0.328	0.423	0.530	0.047	0.605	0.605	0.643	0.677	0.796	1.000

Příloha 4 Výsledky jednotlivých parametrů pro poměr 50:50

POČET NEURONŮ $q$	$\mu$	$\nu$	$MAE_{train}$	$MAE_{test}$	$A_{train}:A_{test}$	POČET NEURONŮ $q$	$\mu$	$\nu$	$MAE_{train}$	$MAE_{test}$	$A_{train}:A_{test}$
50	0.90	1	0.363	0.398	50 : 50	50	0.7	1.00	0.343	0.398	50 : 50
50	0.80	1	0.363	0.396	50 : 50	50	0.7	2.00	0.37	0.355	50 : 50
50	0.70	1	0.345	0.354	50 : 50	50	0.7	3.00	0.37	0.367	50 : 50
50	0.60	1	0.358	0.372	50 : 50	50	0.7	4.00	0.388	0.389	50 : 50
50	0.5	1	0.376	0.4	50 : 50	50	0.7	5.00	0.408	0.383	50 : 50
80	0.90	1	0.325	0.375	50 : 50	80	0.7	1.00	0.322	0.379	50 : 50
80	0.80	1	0.335	0.375	50 : 50	80	0.7	2.00	0.345	0.378	50 : 50
80	0.70	1	0.331	0.377	50 : 50	80	0.7	3.00	0.369	0.262	50 : 50
80	0.60	1	0.341	0.4	50 : 50	80	0.7	4.00	0.388	0.388	50 : 50
80	0.5	1	0.328	0.371	50 : 50	80	0.7	5.00	0.385	0.383	50 : 50
100	0.90	1	0.322	0.394	50 : 50	100	0.7	1.00	0.321	0.385	50 : 50
100	0.80	1	0.308	0.371	50 : 50	100	0.7	2.00	0.335	0.372	50 : 50
100	0.70	1	0.314	0.374	50 : 50	100	0.7	3.00	0.361	0.375	50 : 50
100	0.60	1	0.333	0.402	50 : 50	100	0.7	4.00	0.391	0.361	50 : 50
100	0.5	1	0.306	0.374	50 : 50	100	0.7	5.00	0.386	0.38	50 : 50
125	0.90	1	0.295	0.377	50 : 50	125	0.7	1.00	0.3	0.374	50 : 50
125	0.80	1	0.298	0.382	50 : 50	125	0.7	2.00	0.328	0.368	50 : 50
125	0.70	1	0.316	0.407	50 : 50	125	0.7	3.00	0.377	0.39	50 : 50
125	0.60	1	0.285	0.361	50 : 50	125	0.7	4.00	0.391	0.389	50 : 50
125	0.5	1	0.295	0.368	50 : 50	125	0.7	5.00	0.387	0.389	50 : 50
150	0.90	1	0.284	0.387	50 : 50	150	0.7	1.00	0.343	0.397	50 : 50
150	0.80	1	0.31	0.38	50 : 50	150	0.7	2.00	0.329	0.363	50 : 50
150	0.70	1	0.28	0.38	50 : 50	150	0.7	3.00	0.351	0.361	50 : 50
150	0.60	1	0.283	0.391	50 : 50	150	0.7	4.00	0.389	0.395	50 : 50
150	0.5	1	0.303	0.381	50 : 50	150	0.7	5.00	0.378	0.361	50 : 50

Příloha 5 Výsledky jednotlivých parametrů pro poměr 60:40

POČET NEURONŮ $q$	$\mu$	$\nu$	$MAE_{train}$	$MAE_{test}$	$A_{train}:A_{test}$	POČET NEURONŮ $q$	$\mu$	$\nu$	$MAE_{train}$	$MAE_{test}$	$A_{train}:A_{test}$
50	0.90	1	0.372	0.358	60 : 40	50	0.7	1.00	0.367	0.382	60 : 40
50	0.80	1	0.372	0.377	60 : 40	50	0.7	2.00	0.376	0.379	60 : 40
50	0.70	1	0.358	0.363	60 : 40	50	0.7	3.00	0.382	0.361	60 : 40
50	0.60	1	0.359	0.368	60 : 40	50	0.7	4.00	0.381	0.361	60 : 40
50	0.5	1	0.36	0.36	60 : 40	50	0.7	5.00	0.404	0.375	60 : 40
80	0.90	1	0.33	0.342	60 : 40	80	0.7	1.00	0.328	0.366	60 : 40
80	0.80	1	0.349	0.36	60 : 40	80	0.7	2.00	0.366	0.408	60 : 40
80	0.70	1	0.328	0.363	60 : 40	80	0.7	3.00	0.376	0.356	60 : 40
80	0.60	1	0.36	0.39	60 : 40	80	0.7	4.00	0.392	0.366	60 : 40
80	0.5	1	0.335	0.331	60 : 40	80	0.7	5.00	0.399	0.373	60 : 40
100	0.90	1	0.328	0.371	60 : 40	100	0.7	1.00	0.314	0.34	60 : 40
100	0.80	1	0.337	0.354	60 : 40	100	0.7	2.00	0.341	0.36	60 : 40
100	0.70	1	0.315	0.373	60 : 40	100	0.7	3.00	0.356	0.346	60 : 40
100	0.60	1	0.32	0.367	60 : 40	100	0.7	4.00	0.387	0.361	60 : 40
100	0.5	1	0.34	0.368	60 : 40	100	0.7	5.00	0.39	0.371	60 : 40
125	0.90	1	0.337	0.399	60 : 40	125	0.7	1.00	0.33	0.389	60 : 40
125	0.80	1	0.311	0.358	60 : 40	125	0.7	2.00	no	no	60 : 40
125	0.70	1	0.308	0.384	60 : 40	125	0.7	3.00	0.368	0.357	60 : 40
125	0.60	1	0.326	0.366	60 : 40	125	0.7	4.00	0.383	0.363	60 : 40
125	0.5	1	0.314	0.347	60 : 40	125	0.7	5.00	0.391	0.364	60 : 40
150	0.90	1	0.366	0.329	60 : 40	150	0.7	1.00	0.28	0.349	60 : 40
150	0.80	1	0.31	0.345	60 : 40	150	0.7	2.00	0.32	0.337	60 : 40
150	0.70	1	0.319	0.378	60 : 40	150	0.7	3.00	0.363	0.35	60 : 40
150	0.60	1	0.299	0.367	60 : 40	150	0.7	4.00	0.386	0.359	60 : 40
150	0.5	1	0.328	0.361	60 : 40	150	0.7	5.00	0.389	0.367	60 : 40

Příloha 6 Výsledky jednotlivých parametrů pro poměr 70:30

POČET NEURONŮ $q$	$\mu$	$\nu$	$MAE_{train}$	$MAE_{test}$	$A_{train}:A_{test}$	POČET NEURONŮ $q$	$\mu$	$\nu$	$MAE_{train}$	$MAE_{test}$	$A_{train}:A_{test}$
50	0.90	1	0.36	0.354	70 : 30	50	0.7	1.00	0.35	0.357	70 : 30
50	0.80	1	0.395	0.407	70 : 30	50	0.7	2.00	0.387	0.375	70 : 30
50	0.70	1	0.372	0.383	70 : 30	50	0.7	3.00	0.388	0.365	70 : 30
50	0.60	1	0.355	0.387	70 : 30	50	0.7	4.00	0.393	0.37	70 : 30
50	0.5	1	0.353	0.368	70 : 30	50	0.7	5.00	0.411	0.375	70 : 30
80	0.90	1	0.34	0.402	70 : 30	80	0.7	1.00	0.321	0.358	70 : 30
80	0.80	1	0.338	0.375	70 : 30	80	0.7	2.00	0.351	0.331	70 : 30
80	0.70	1	0.349	0.371	70 : 30	80	0.7	3.00	0.355	0.352	70 : 30
80	0.60	1	0.351	0.369	70 : 30	80	0.7	4.00	0.386	0.356	70 : 30
80	0.5	1	0.318	0.34	70 : 30	80	0.7	5.00	0.392	0.358	70 : 30
100	0.90	1	0.31	0.347	70 : 30	100	0.7	1.00	0.312	0.368	70 : 30
100	0.80	1	0.333	0.38	70 : 30	100	0.7	2.00	no	no	70 : 30
100	0.70	1	0.307	0.343	70 : 30	100	0.7	3.00	0.356	0.338	70 : 30
100	0.60	1	0.31	0.344	70 : 30	100	0.7	4.00	0.387	0.364	70 : 30
100	0.5	1	0.299	0.347	70 : 30	100	0.7	5.00	0.398	0.366	70 : 30
125	0.90	1	0.315	0.351	70 : 30	125	0.7	1.00	0.312	0.367	70 : 30
125	0.80	1	0.329	0.391	70 : 30	125	0.7	2.00	no	no	70 : 30
125	0.70	1	0.312	0.339	70 : 30	125	0.7	3.00	0.366	0.356	70 : 30
125	0.60	1	0.309	0.359	70 : 30	125	0.7	4.00	0.391	0.365	70 : 30
125	0.5	1	0.323	0.348	70 : 30	125	0.7	5.00	0.389	0.358	70 : 30
150	0.90	1	0.315	0.367	70 : 30	150	0.7	1.00	0.339	0.392	70 : 30
150	0.80	1	0.285	0.36	70 : 30	150	0.7	2.00	0.328	0.338	70 : 30
150	0.70	1	0.28	0.337	70 : 30	150	0.7	3.00	0.356	0.347	70 : 30
150	0.60	1	0.316	0.366	70 : 30	150	0.7	4.00	0.49	0.461	70 : 30
150	0.5	1	0.293	0.345	70 : 30	150	0.7	5.00	0.393	0.37	70 : 30

Příloha 7 Výsledky jednotlivých parametrů pro poměr 80:20

POČET NEURONŮ $q$	$\mu$	$\nu$	$MAE_{train}$	$MAE_{test}$	$A_{train}:A_{test}$	POČET NEURONŮ $q$	$\mu$	$\nu$	$MAE_{train}$	$MAE_{test}$	$A_{train}:A_{test}$
50	0.90	1	0.34	0.371	80 : 20	50	0.7	1.00	0.367	0.387	80 : 20
50	0.80	1	0.366	0.386	80 : 20	50	0.7	2.00	0.371	0.37	80 : 20
50	0.70	1	0.334	0.357	80 : 20	50	0.7	3.00	0.374	0.357	80 : 20
50	0.60	1	0.349	0.348	80 : 20	50	0.7	4.00	0.386	0.362	80 : 20
50	0.5	1	0.36	0.381	80 : 20	50	0.7	5.00	0.396	0.379	80 : 20
80	0.90	1	0.324	0.356	80 : 20	80	0.7	1.00	0.342	0.361	80 : 20
80	0.80	1	0.329	0.361	80 : 20	80	0.7	2.00	0.343	0.346	80 : 20
80	0.70	1	0.337	0.374	80 : 20	80	0.7	3.00	0.366	0.371	80 : 20
80	0.60	1	0.334	0.38	80 : 20	80	0.7	4.00	0.376	0.352	80 : 20
80	0.5	1	0.335	0.376	80 : 20	80	0.7	5.00	0.384	0.368	80 : 20
100	0.90	1	0.32	0.341	80 : 20	100	0.7	1.00	0.318	0.327	80 : 20
100	0.80	1	0.31	0.368	80 : 20	100	0.7	2.00	0.372	0.37	80 : 20
100	0.70	1	0.323	0.352	80 : 20	100	0.7	3.00	0.364	0.376	80 : 20
100	0.60	1	0.32	0.355	80 : 20	100	0.7	4.00	0.384	0.371	80 : 20
100	0.5	1	0.336	0.358	80 : 20	100	0.7	5.00	0.387	0.38	80 : 20
125	0.90	1	0.348	0.362	80 : 20	125	0.7	1.00	0.305	0.364	80 : 20
125	0.80	1	0.322	0.363	80 : 20	125	0.7	2.00	no	no	80 : 20
125	0.70	1	0.309	0.358	80 : 20	125	0.7	3.00	0.366	0.342	80 : 20
125	0.60	1	0.31	0.369	80 : 20	125	0.7	4.00	0.368	0.355	80 : 20
125	0.5	1	0.316	0.366	80 : 20	125	0.7	5.00	0.382	0.364	80 : 20
150	0.90	1	0.299	0.374	80 : 20	150	0.7	1.00	0.314	0.356	80 : 20
150	0.80	1	0.305	0.341	80 : 20	150	0.7	2.00	0.341	0.353	80 : 20
150	0.70	1	0.306	0.376	80 : 20	150	0.7	3.00	0.359	0.37	80 : 20
150	0.60	1	0.301	0.361	80 : 20	150	0.7	4.00	0.372	0.378	80 : 20
150	0.5	1	0.307	0.331	80 : 20	150	0.7	5.00	0.384	0.382	80 : 20

Příloha 8 Výsledky jednotlivých parametrů pro poměr 90:10

POČET NEURONŮ $q$	$\mu$	$\nu$	$MAE_{train}$	$MAE_{test}$	$A_{train}:A_{test}$	POČET NEURONŮ $q$	$\mu$	$\nu$	$MAE_{train}$	$MAE_{test}$	$A_{train}:A_{test}$
50	0.90	1	0.355	0.397	90 : 10	50	0.7	1.00	0.358	0.363	90 : 10
50	0.80	1	0.341	0.387	90 : 10	50	0.7	2.00	0.348	0.348	90 : 10
50	0.70	1	0.369	0.386	90 : 10	50	0.7	3.00	0.368	0.393	90 : 10
50	0.60	1	0.354	0.366	90 : 10	50	0.7	4.00	0.38	0.387	90 : 10
50	0.5	1	0.334	0.369	90 : 10	50	0.7	5.00	0.385	0.398	90 : 10
80	0.90	1	0.333	0.412	90 : 10	80	0.7	1.00	0.314	0.359	90 : 10
80	0.80	1	0.339	0.363	90 : 10	80	0.7	2.00	0.342	0.392	90 : 10
80	0.70	1	0.311	0.382	90 : 10	80	0.7	3.00	0.358	0.362	90 : 10
80	0.60	1	0.317	0.374	90 : 10	80	0.7	4.00	0.368	0.369	90 : 10
80	0.5	1	0.34	0.344	90 : 10	80	0.7	5.00	0.388	0.393	90 : 10
100	0.90	1	0.322	0.325	90 : 10	100	0.7	1.00	0.31	0.333	90 : 10
100	0.80	1	0.303	0.367	90 : 10	100	0.7	2.00	0.325	0.347	90 : 10
100	0.70	1	0.315	0.381	90 : 10	100	0.7	3.00	0.358	0.374	90 : 10
100	0.60	1	0.314	0.373	90 : 10	100	0.7	4.00	0.375	0.383	90 : 10
100	0.5	1	0.316	0.396	90 : 10	100	0.7	5.00	0.384	0.388	90 : 10
125	0.90	1	0.322	0.378	90 : 10	125	0.7	1.00	0.314	0.358	90 : 10
125	0.80	1	0.322	0.393	90 : 10	125	0.7	2.00	no	no	90 : 10
125	0.70	1	0.303	0.385	90 : 10	125	0.7	3.00	0.357	0.367	90 : 10
125	0.60	1	0.302	0.368	90 : 10	125	0.7	4.00	0.378	0.414	90 : 10
125	0.5	1	0.302	0.349	90 : 10	125	0.7	5.00	0.379	0.396	90 : 10
150	0.90	1	0.3	0.369	90 : 10	150	0.7	1.00	0.297	0.396	90 : 10
150	0.80	1	0.307	0.383	90 : 10	150	0.7	2.00	0.329	0.377	90 : 10
150	0.70	1	0.289	0.366	90 : 10	150	0.7	3.00	0.365	0.386	90 : 10
150	0.60	1	0.287	0.366	90 : 10	150	0.7	4.00	0.366	0.254	90 : 10
150	0.5	1	0.303	0.371	90 : 10	150	0.7	5.00	0.378	0.395	90 : 10