



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA PODNIKATELSKÁ  
ÚSTAV EKONOMIKY

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT  
INSTITUTE OF ECONOMICS

# VYUŽITÍ UMĚLÉ INTELIGENCE NA KAPITÁLOVÝCH TRZÍCH

ARTIFICIAL INTELLIGENCE USE ON STOCK MARKET

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. KAREL SKOUMAL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. PETR DOSTÁL, CSc.

BRNO 2014

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Skoumal Karel, Bc.**

---

Podnikové finance a obchod (6208T090)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách, Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně a Směrnicí děkana pro realizaci bakalářských a magisterských studijních programů zadává diplomovou práci s názvem:

**Využití umělé inteligence na kapitálových trzích**

v anglickém jazyce:

**Artificial Intelligence Use on Stock Market**

Pokyny pro vypracování:

Úvod

Vymezení problému a cíle práce

Teoretická východiska práce

Analýza problému a současné situace

Vlastní návrhy řešení, přínos návrhů řešení

Závěr

Seznam použité literatury

Přílohy

Seznam odborné literatury:

DOSTÁL, P. Pokročilé metody analýz a modelování v podnikatelství a veřejné správě. 1. vyd. Brno: CERM, 2008. 340 s. ISBN 978-80-7204-605-8.

DOSTÁL, P. Advanced Decision Making in Business and Public Services, CERM, Brno, 2011, 168p., ISBN 978-80-7204-747-5.

HANSELMAN, D. and B. LITTLEFIELD. Mastering MATLAB7, Pearson Education International Ltd., UK, 2005, 852s., ISBN 0-13-185714-2.

THE MATHWORKS. MATLAB – Neural Network Toolbox - User's Guide. The MathWorks, Inc. 2010.

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Petr Dostál, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

L.S.

---

doc. Ing. Tomáš Meluzín, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.  
Děkan fakulty

V Brně, dne 26.04.2014

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá problematikou obchodování na kapitálových trzích, využitím prostředků umělé inteligence, umělých neuronových sítí, pro modelování chování akcií. Práce obsahuje popis kapitálových trhů, burzovního obchodování, metod umělé inteligence. Hlavní částí je model pro predikci kurzu a trendu akcií fungující v prostředí MATLAB, který slouží jako podpora pro obchodní rozhodování

## **ABSTRACT**

The thesis deals with the trading on capital markets, the use of artificial intelligence, artificial neural networks, for modeling the behavior of stocks. The work contains a description of the capital markets, stock trading, methods of artificial intelligence. The main part of the thesis is the model for predicting the course and trend of shares, working in MATLAB, which serves as a support for trading decisions.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

kapitálový trh, obchodování, akcie, umělá inteligence, umělé neuronové sítě, MATLAB, predikce

## **KEYWORDS**

capital market, trading, shares, stocks, artificial intelligence, artificial neural networks, MATLAB, prediction

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

SKOUMAL, K. *Využití umělé inteligence na kapitálových trzích*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2014. 73 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Petr Dostál, CSc.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 15. května 2014

.....  
Karel Skoumal

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych rád poděkoval prof. Ing. Petru Dostálovi, CSc. za odborné vedení této práce, dále pak rodině, která mě během akademického života podporovala.

# OBSAH

ÚVOD.....	10
1 VYMEZENÍ PROBLÉMU A CÍLE PRÁCE .....	12
2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA .....	13
2.1 Finanční trhy.....	13
2.1.1 Trh s cizími měnami.....	17
2.1.2 Trh drahých kovů .....	17
2.1.3 Peněžní trh .....	17
2.2 Kapitálové trhy.....	18
2.2.1 Veřejné a neveřejné.....	19
2.2.2 Primární trhy .....	20
2.2.3 Sekundární trhy.....	20
2.3 Burzovní obchodování .....	21
2.3.1 Uzavření obchodu .....	21
2.3.2 Fundamentální analýza.....	22
2.3.3 Psychologická analýza .....	25
2.3.4 Technická analýza.....	26
2.4 Umělá inteligence.....	29
2.4.1 Fuzzy logika.....	30
2.4.2 Genetické algoritmy .....	31
2.5 Umělé neuronové sítě.....	32
2.5.1 Učení bez učitele.....	33
2.5.2 Učení s učitelem.....	34
2.5.3 Dopředné .....	34
2.5.4 Rekurentní .....	35

3	ANALÝZA SOUČASNÉ SITUACE .....	36
4	VLASTNÍ NÁVRHY .....	38
4.1	Model.....	38
4.1.1	Vstupy .....	40
4.1.2	Tvorba sítí.....	44
4.1.3	Výstupy.....	53
4.2	Výsledky.....	54
4.2.1	Obchodování s růstovým titulem .....	55
4.2.2	Obchodování s klesajícím titulem.....	60
4.2.3	Celkové výsledky obchodování .....	63
4.3	Prostor pro vylepšení.....	65
	ZÁVĚR.....	66
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	68
	SEZNAM TABULEK.....	71
	SEZNAM GRAFŮ .....	72
	SEZNAM PŘÍLOH .....	73

## ÚVOD

Je náročné nalézt spolehlivý systém pro předpověď budoucnosti, zejména pokud se jedná o systém, který je tak málo deterministický jako ekonomika, ve kterém v podstatě nejde stejný krok zopakovat, protože podmínky nelze jsou již jiné a nelze je znovu nastavit, nebo je jejich znovu nastavení příliš nákladné. Takový systém může velmi citlivě reagovat na velmi malé změny, které byly dosud ignorovány či kumulovány. V takovém systému je velmi náročné obchodovat, z důvodu jeho velmi náročné předpověditelnosti.

Obchodování na kapitálových trzích přesto zažívá zajímavé období. Můžeme vidět akciové indexy na historických maximech podobně jako drahé kovy. Současně klesají úrokové sazby, u některých centrálních bank až k faktické nule. Dochází ke značným emisím peněz jako protiváha ke zvyšujícímu se zadlužení, viditelné zejména u státních rozpočtů. Tyto faktory působí na volatilitu akcií a činí tak obchodování a především možné příjmy velmi atraktivními.

Kapitálové trhy stojí na rozhraní, není jasné, zda bude udržován současný stav a ceny jednotlivých instrumenty budou dále stoupat k novým maximálním hodnotám, nebo lze očekávat kvalitativní změny. Ať už ve formě zásadních korekcí cen cenných papírů či komodit z důvodů prasknutí spekulacních bublin, monetární změny, které mohou vyvolat hyperinflační stavy nebo stagflaci. Či snad extrémní situace jako měnové války, nebo změny ekonomických systémů jako takového.

V tomto turbulentním období bude investor potřebovat široké spektrum informací a metod k jejich vyhodnocení pro sestavení optimální strategie. Je nepodstatné, zda se bude jednat o strategie zaměřené na zhodnocování majetku stále rostoucím tempem, pokud budou stávající trendy lineárně pokračovat, nebo nastane příchod inflační ekonomiky. Nebo se bude jednat o defenzivní strategie zaměřené na zachování stávajícího majetku či alespoň zmírnění propadu cen.

Vzhledem k tomu, že velké množství obchodů probíhá automaticky s využitím algoritmů i ne zcela algoritmizovatelných metod, jsou neuronové sítě, kterými se zabývá tato práce, velmi zajímavou pomůckou pro rozhodování. Lze je využít jak pro sledování současných trendů a vydělávat na následování tohoto vývoje, stejně tak je

možné konstruovat odvážnější strategie a snažit se investovat opačným způsobem než jako většina účastníků trhu.

V této práci budou popsány základní principy fungování finančního a především kapitálového trhu. Bude uveden popis dosavadních způsobů analýz používaných pro podporu obchodování na burzách i mimo ně. Dále budou představeny metody umělé inteligence, zejména umělé neuronové sítě, které s rozvojem informačních a komunikačních technologií nalézají uplatnění ve stále větším počtu oborů. Tyto sítě pomáhají usnadnit zpracování informací, mezi kterými běžné algoritmy obtížně nalézají vazby, tak jako je to přirozené pro lidský mozek.

Spojením oblastí ekonomiky a umělé inteligence bude navržen a použit systém sloužící pro predikci vývoje kurzu akcie, který je hlavním přínosem praktické části této práce.

# 1 VYMEZENÍ PROBLÉMU A CÍLE PRÁCE

Problémem, před kterým tato práce stojí, je předpověď chaotického systému. Chaos zde neznamena nepořádek, ale pravý opak, jedná se o velký soubor vazeb, které se vzájemně ovlivňují, čímž vytvářejí skutečnost, která se na první pohled jeví jako náhodná. Ve skutečnosti je spíše neurčitá či neznámá. Některé vztahy jsou známé a existují pro ně vzorce, poučky či heuristiky, jiné dosud nebyly objeveny a k jejich poznání mohou přispět metody umělé inteligence. Praktickým problémem tohoto typu je předpověď pohybu kurzů akcií na burze. Pokusem k jeho řešení je sestavení umělé inteligence, která bude problém modelovat a navrhne postup vedoucí k požadovaným výsledkům.

Teoretická část má za cíl přiblížit problematiku investic na kapitálových trzích za podpory umělé inteligence, přesněji pomocí neuronových sítí. Za tímto účelem bude provedeno rozřídění jednotlivých trhů, podrobný popis kapitálových trhů, principu a postupů obchodování. Dále pak popis jednotlivých metod použití umělé inteligence a podrobný popis neuronových sítí.

Analýza současné situace má za cíl popsat současné přístupy a způsoby řešení, ze kterých bude vycházet, respektive na ně navazovat, návrhová část.

Návrhová část si klade za cíl některé ze zjištěných nedostatků současných modelů eliminovat či zmírnit. Primárním cílem je sestavit model, využívající několik druhů umělých neuronových sítí, který poskytne srozumitelný výstup použitelný pro efektivní a především ziskové obchodování na kapitálových trzích. Výstup tohoto modelu bude vyhodnocen a případně navrženy další možnosti jeho zlepšení.

## 2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA

V této části budou definovány základní pojmy a koncepty používané v dalších částech této práce. Celou kapitolu je možno rozdělit na dva pomyslné bloky, první se zabývá ekonomickým přístupem k trhům a obchodování a druhý pak metodami umělé inteligence.

První blok má celkem tři podkapitoly. V první podkapitole bude provedeno zasazení tématu práce širšího kontextu v rámci ekonomického systému, dále se práce úžeji zaměří na kapitálové trhy, ze kterých se v poslední podkapitole tohoto bloku přesněji zaměří na samotné obchodování na kapitálových trzích, především na burzách.

Druhým blokem budou prostředky umělé inteligence, popis principů a pojmů jednotlivých metod a jejich možnou aplikací při obchodování. V další podkapitole se práce zaměří na umělé neuronové sítě, jejichž aplikace je předmětem praktické části.

Poznámka: V následujících podkapitolách budou uváděny jednotlivé druhy trhů, Použití jednotného čísla „trh“ bude ve významu daného trhu jako celku, použití množného čísla „trhy“ znamená jednotlivé „trhy“, které pod daný „trh“ patří.

### 2.1 Finanční trhy

Na úvod je nutné definovat, co to finanční trh je. Autoritou, co se týče financí, je bezesporu Česká národní banka, která jej definuje následovně:

„Finanční trh se skládá ze dvou organicky na sebe navazujících trhů: peněžního trhu a kapitálového trhu, které se bezprostředně ovlivňují a vzájemně doplňují.“[10]

Tato definice vnímá finanční trh jako celek vzniklý provázaností dvou trhů, které se však liší délkou splatnosti jednotlivých instrumentů, více viz kapitola 2.1.3 a 2.2.

Obecnější a rozsáhlejší definici nabízejí Synek a Kislíngerová:

„Finanční trh je systém institucí a instrumentů, zabezpečující pohyb peněz a kapitálu (nabízeného ve formě cenných papírů) ve všech jeho formách mezi různými ekonomickými subjekty; a to na základě poptávky a nabídky.“[11]

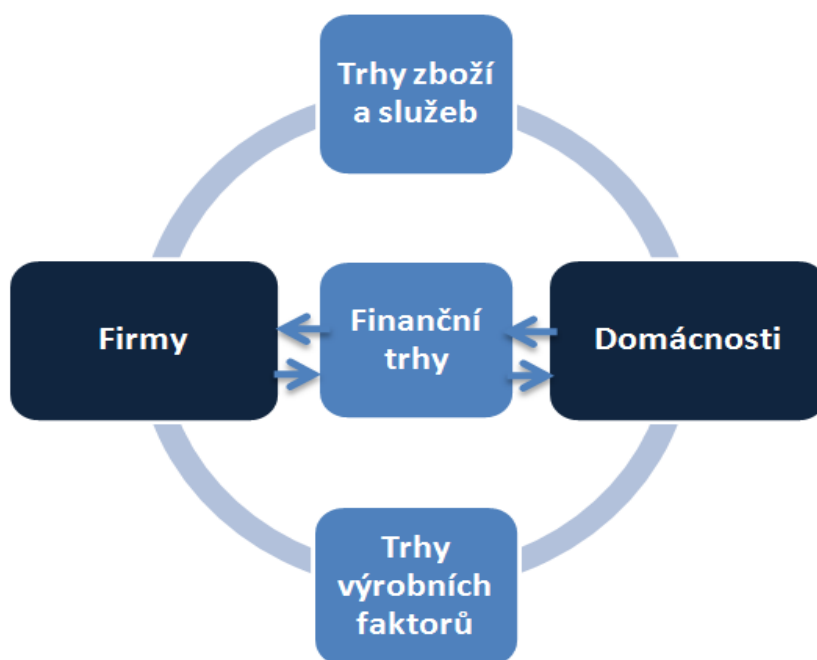
Méně obecnou definici uvádí Rejnuš:

Finanční trhy jsou nedílnou součástí ekonomického systému. Jsou místem, kde se obchoduje s dočasně volnými prostředky, které nebyly použity na nákup zboží a služeb nebo zaplacený za výrobní faktory, které by jinak byly nevyužity.[6]

Tyto volné prostředky rozdělují účastníky trhu na ty, kteří je mají (nabídková strana) a ty, kteří je potřebují (poptávková strana). Protože se jedná o finanční trh a předmětem obchodu jsou finanční prostředky tak poptávající logicky nemůže zaplatit těmito peněžními prostředky, ale zaplatí závazkem, například cenným papírem.

Pokud nabídku zjednodušeně označíme za úspory, pak mohou být díky finančním trhům přeměněny na investice a následně mohou vést, při správném použití, k růstu celkového výstupu ekonomického systému.

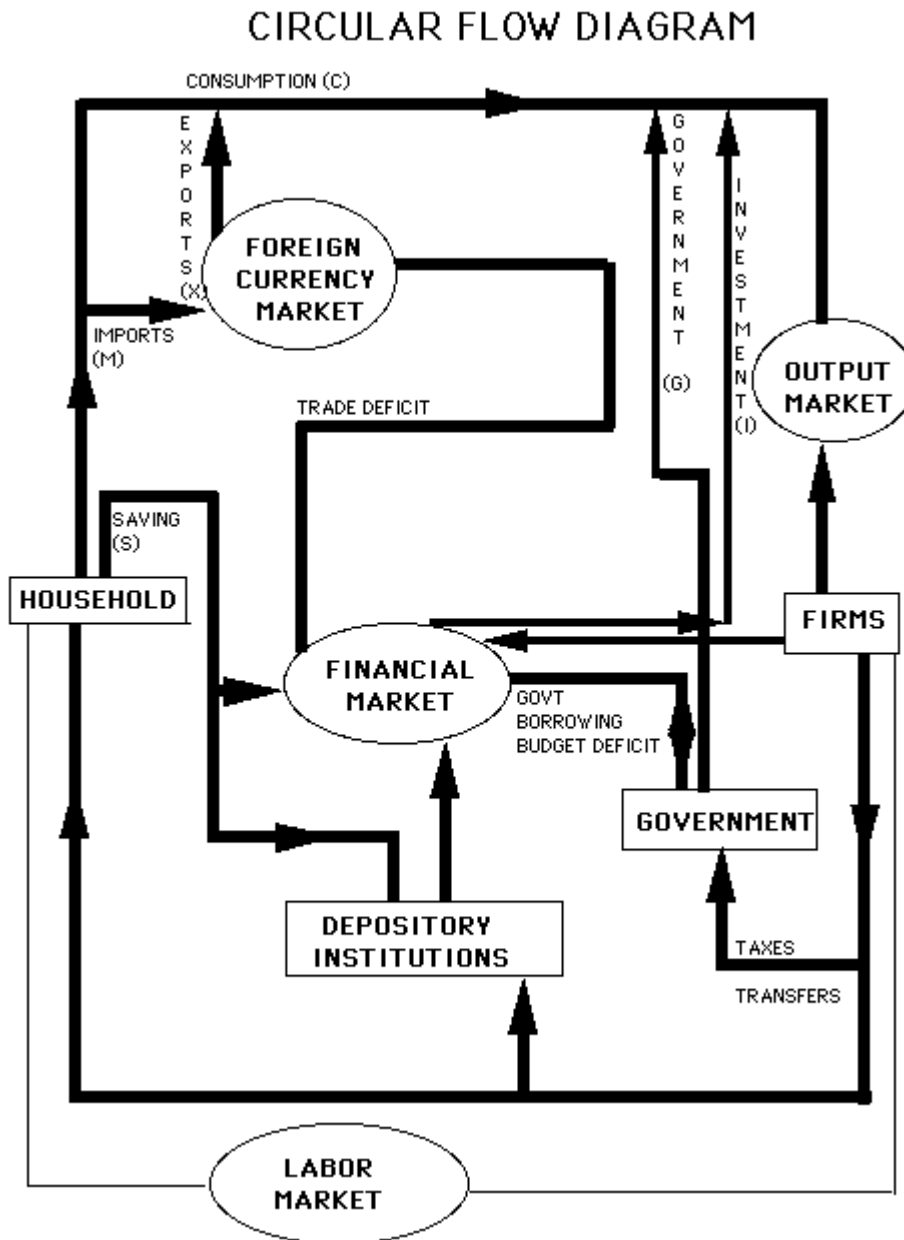
Následující schéma ukazuje umístění finančních trhů v jednoduchém dvousektorovém modelu ekonomického systému:



Graf 1: Ekonomický systém – dvousektorový model (Upraveno dle: [6, str. 41])

Vnější okruh představuje tok zboží, výrobních faktorů a plateb za ně. Finanční trhy stabilizují situaci přeléváním finančního prostředků mezi domácnostmi a firmami, viz definice finančních trhů výše. Samozřejmě může docházet k přelévání i mezi firmami přebytkovými a deficitními respektive domácnostmi přebytkovými a deficitními.

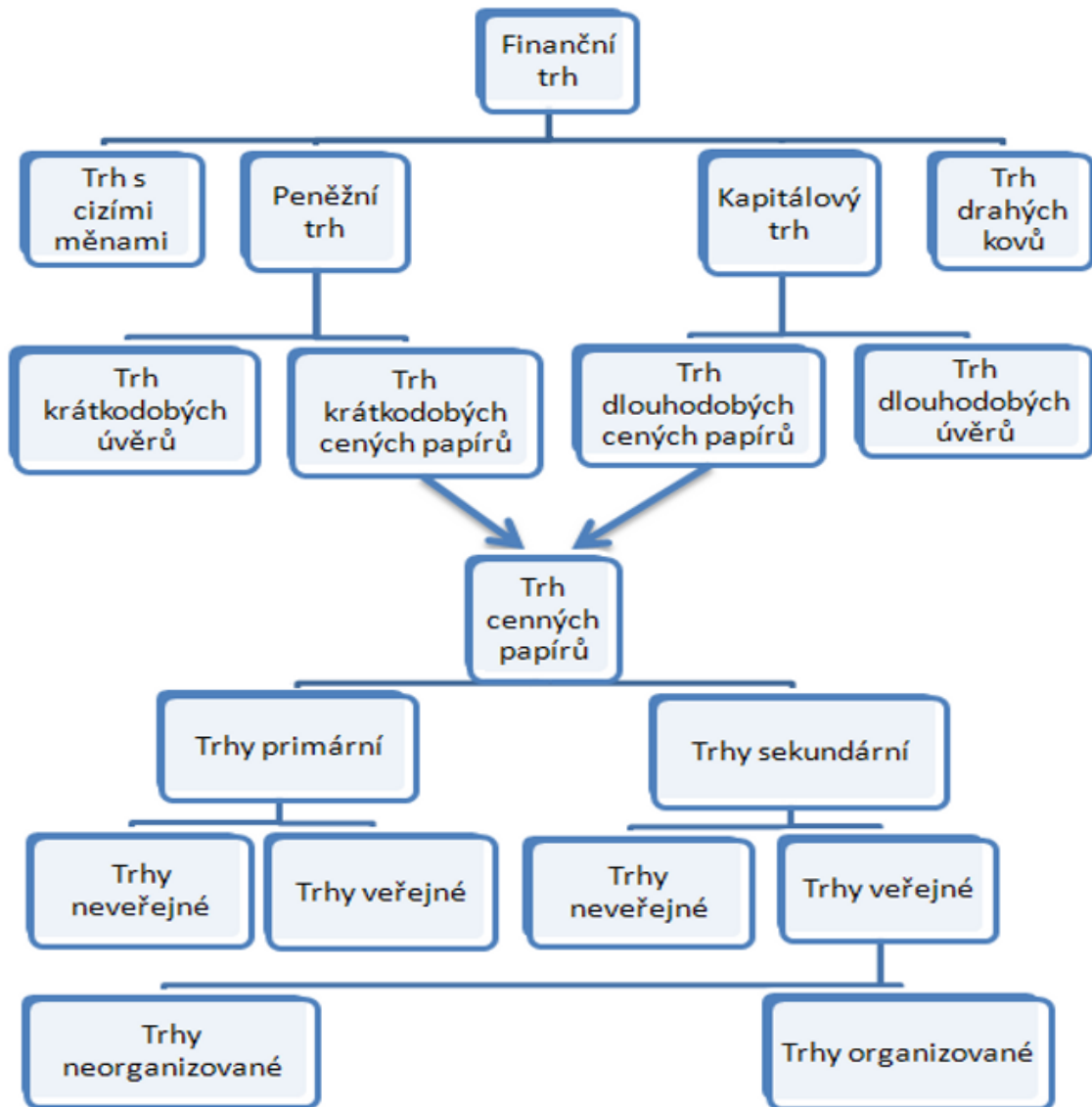
Pokud použijeme podrobnější 4 sektorový model, zůstane úloha i umístění zachováno, ale vidíme zde více vazeb na jednotlivé sektory a trhy, celý systém je komplexnější.



Graf 2: Ekonomický systém – čtyřsektorový model (Upraveno dle: [9])

Oproti dvousektorovému modelu je zde více patrné, jak změna na jednom trhu může vyvolat další změny na dalších trzích. Z důvodu toků, které mají smyčky, může docházet i ke kumulaci a retenci změn a jejich následnému jednorázovému uvolnění do ekonomického systému, čímž stoupá význam kapitálového trhu jako katalyzátoru. Přitom je stále nutné mít na paměti, že se jedná o pouhý model, tedy velmi zjednodušený systém fungování skutečné ekonomiky.

Poté co byl objasněn význam a umístění finančního trhu je třeba určit jeho schéma, které se stejně jako definice různí. Jak bylo uvedeno výše, Česká národní banka dělí finanční trh na peněžní a kapitálový [10] Jiní autoři přidávají další trhy, například oddělený trh cizích měn či drahých kovů.[5] Toto dělení bylo následně doplněno o trhy cenných papírů, kterými se bude práce dále zabývat, pro komplexní zařazení jednotlivých trhů, přičemž finanční trh, který je na vrcholu schématu je jen jedinou složkou ekonomického systému.



Graf 3: Rozdělení finančního trhu (Upraveno dle: [5] a [7])

### **2.1.1 Trh s cizími měnami**

V rámci cizích měn se rozlišují valuty, hotovost, a devizy, bezhotovostní pohledávky jako například peníze na účtech v bankách, šeky, směnky a podobně. Kurzy jednotlivých měn jsou tvořeny na devizovém trhu klasickým způsobem nabídky a poptávky. Kurzy valut jsou z těchto cen odvozeny připočtením nákladů vznikajících z operací s hotovostí.[6]

Přestože se jedná o peníze v úzkém slova smyslu, pocházejí ze zahraničí<sup>1</sup>, proto mají v tuzemsku jiný status a vlastnosti, například směnitelnost, než domácí měna. Což vysvětluje zvláštní zařazení těchto trhů v rámci finančního trhu.

### **2.1.2 Trh drahých kovů**

Na těchto trzích se nejčastěji obchoduje zlato, stříbro, platina a palladium.[12] Dle české legislativy se mezi drahé kovy řadí ještě iridium, rhodium, ruthenium a osmium.[13] Důvodem, proč tyto kovy nepatří mezi běžné komodity<sup>2</sup>, je, že zejména zlato a stříbro historicky plnilo jiné funkce. „Zlato je totiž schopno plnit všechny tři základní funkce, které plní peníze – je to prostředek směny, účetní jednotka a uchovatel hodnot.“[12, str. 14] Což vysvětluje zařazení trhu drahých kovů mezi finanční trhy.

### **2.1.3 Peněžní trh**

Jak ukazuje Graf 3, tento trh se dále dělí na trh krátkodobých úvěrů a krátkodobých cenných papírů. Tedy definujícím faktorem je krátkodobost.

Ona krátkodobost se vztahuje na splatnost úvěru či cenného papíru a její časové vymezení je zpravidla do jednoho roku. [6] Z čehož vyplývá úvěr či cenný papír, který měl delší splatnost a nepatřil do peněžního trhu, se se zkracující se splatností na tento trh přesouvá.

Krátkodobé úvěry jsou přímou, většinou smluvních, transakcí mezi subjekty, z nichž jeden je velmi často banka či finanční instituce. Protože se jedná o smluvní, nestandardizovaný, závazek je obtížně obchodovatelný přímo. [6]

Krátkodobé cenné papíry jsou většinou abstraktní, nejsou svázány se závazkem, ke kterému byly vydány. Je možné je lépe standardizovat a jsou tedy lépe obchodovatelné. Jejich nástroji jsou především směnky, depozitní certifikáty a pokladniční poukázky.[14]

---

<sup>1</sup> Ve smyslu mimo území, kde se používá domácí měna.

<sup>2</sup> Které patří na trh výrobních faktorů, respektive trh zboží a služeb.

Poslední nejmenovanou částí jsou kapitálové trhy, na které se hlouběji zaměřuje tato práce, proto jim bude věnována celá následující podkapitola.

## **2.2 Kapitálové trhy**

Stejně jako na předchozích trzích, i zde dochází ke střetu nabídky a poptávky, v tomto případě po kapitálu, který má užší pojetí, než je vymezeno na trhu výrobních faktorů. Kapitál respektive kapitálový trh jsou součástí finančních trhů, proto uvažuje pouze takzvaný finanční kapitál.[5] Tento kapitál má dlouhodobý charakter, což znamená splatnost delší, než jeden rok. Kapitálový trh tedy navazuje na peněžní trh. Je nutné mít na paměti, že podmínka splatnosti se týká předmětu obchodu (například cenného papíru), ne obchodu, jako takového.[6] Dále pak skutečnost, že s blížící se splatností se předmět daného obchodu stává součástí peněžního trhu, jak bylo popsáno v kapitole 2.1.3.

Podobně jako u peněžního trhu, je i zde dělení na dlouhodobé úvěry a dlouhodobé cenné papíry, viz Graf 3. Protože se práce zabývá obchodováním, bude kladem důraz především na dlouhodobé cenné papíry.

Již v předchozích kapitolách byly zmíněny cenné papíry a některé jejich druhy, před hlubším ponořením do kapitálových trhů je tedy vhodné tento výraz upřesnit: Například Rejnuš uvádí:

„Z právního hlediska jsou za cenné papíry považovány pouze legislativně vymezené „právní dokumenty“, které jsou za cenné papíry prohlášeny zákony jednotlivých států. Přitom se ovšem nemusí jednat pouze o finanční investiční instrumenty, ba dokonce ani o nástroje finančního charakteru. ... Vedle cenných papírů finančního charakteru totiž existují i takové druhy, jež s finančním systémem ani s finančními trhy nesouvisejí. Jako příklad lze uvést skladištní listy, konosamenty, zemědělské skladní listy.“[6, str. 207]

Pokud vyjdeme z předchozího doporučení, tak česká legislativa v novém obchodním zákoníku definuje cenný papír následujícím způsobem:

„Cenný papír je listina, se kterou je právo spojeno takovým způsobem, že je po vydání cenného papíru nelze bez této listiny uplatnit ani převést“.[15]

Tato definice je však velmi obecná, proto pro potřeby této práce, bude využit taxativní výčet zákona 591/1992 Sb., o cenných papírech, který byl nahrazen výše zmíněným obchodním zákoníkem. Mezi cenné papíry tedy budou řazeny především:

- akcie,
- zatímní listy,
- poukázky na akcie,
- podílové listy,
- dluhopisy,
- investiční kupóny,
- opční listy,
- směnky,
- šeky,
- náložní listy,
- skladištní listy,
- zemědělské skladní listy.[16]

Tyto cenné papíry jsou do určité míry standardizované, a pokud existují nestandardní vlastnosti, jsou uvedeny v emisních<sup>3</sup> podmínkách.[5] Jednotlivé trhy cenných papírů<sup>4</sup> se mohou dále členit dle různých hledisek, viz Graf 3.

### **2.2.1 Veřejné a neveřejné**

Veřejné trhy, nabídka, požadují po emitentovi a cenném papíru plnění přísnějších požadavků, informačních, administrativních, právních a jiných. Tyto restriktce jsou z důvodu ochrany investorů, kteří přicházejí na veřejný trh a nemají přímý kontakt s emitentem a neznají jeho specifika jako na neveřejném trhu. Proto veřejný trh požaduje splnění formálních požadavků na emitenta i cenný papír. Na veřejném trhu co do počtu převládají menší investoři, co do objemu samozřejmě velcí institucionální investoři. Na neveřejných trzích z důvodu náročnosti na informace a právní zajištění převládají velcí investoři, kteří jsou schopni náležitosti smluvního obchodu zajistit s relativně nižšími náklady.[5]

---

<sup>3</sup> Emise ve smyslu vydání.

<sup>4</sup> Kam patří i cenné papíry peněžního trhu.

### 2.2.2 Primární trhy

Jsou místem, kde se získává, respektive umísťuje prvotní kapitál. Na primárních trzích jsou tyto cenné papíry obchodované poprvé, odtud primární. Na primárních trzích obchodují zejména velcí investoři, kteří mohou investovat značné objemy do méně známých instrumentů při zachování diverzifikace svých portfolií a mají dostatečné množství i kvalitu informací o emitentovi. Toho využívají k včasnému přístupu k cennému papíru ať už za účelem držení či spekulace. [6]

Vzhledem k zaměření práce na akcie, ty se na primární trh uvedou ve formě IPO<sup>5</sup>, první (primární) veřejná nabídka akcií, nebo přímým oslovením potenciálních investorů, tedy neveřejně.[5]Problematika veřejných a neveřejných nabídek byla v předchozí podkapitole.

### 2.2.3 Sekundární trhy

„Na sekundárních trzích se prodávají již dříve do oběhu uvedené cenné papíry. Z toho vyplývá, že funkce sekundárního trhu spočívá ve stanovování jejich tržních cen a v zajišťování jejich likvidity.“ [6, str. 59]

Dlouhodobé cenné papíry se mohou na sekundárních trzích nakoupit a prodat mnohokrát, zatímco na trhu primárním pouze jednou<sup>6</sup>.

I tyto trhy je možné dále dělit na veřejné a neveřejné viz Graf 3. Trhy neveřejné mají však svá specifika, proto jsou pro menší investory hůře přístupné, jak bylo popsáno v kapitole 2.2.1. Proto se bude práce dále zabývat veřejnými sekundárními trhy.

Posledním dělením trhů na neorganizované a organizované se přesně vymezí, na kterém trhu se bude návrhová část práce pohybovat.

Neorganizované trhy jsou méně regulovány, probíhají většinou „přes přepážku“, používá se zkratka OTC<sup>7</sup>, typicky přes přepážku banky či obchodníka s cennými papíry.[5]

Veřejné trhy jsou obvykle burzy, existující také mimoburzovní trhy, které však získávají statut burz respektive elektronických burz, jako například český RM-SYSTÉM, respektive americký NASDAQ.[6] Burzami a burzovním obchodováním se bude podrobně zabývat následující kapitola.

---

<sup>5</sup>Initial Public Offering

<sup>6</sup> Pokud se emise provede na první pokus.

<sup>7</sup>OverTheCounter

## 2.3 Burzovní obchodování

„Burzy jsou ve vyspělých zemích nedílnou součástí tržního prostředí a jejich činnost přispívá, jak k tvorbě tržních cen, tak i k utváření cenového systému finančních, popřípadě i reálných investičních instrumentů, které se na nich obchodují. ... Jejich činnost spočívá v tom, že agregují předem neomezenou veřejnou nabídku a poptávku, párují, vzájemně si odpovídající obchodní příkazy, čímž umožňují vznik spravedlivých tržních cen, které se v těchto případech označují jako „kurzy“, a zároveň zvyšují likviditu trhu.“[6, str. 60]

Jelikož se práce zabývá akciemi, je důležité rozlišit burzy promptní<sup>8</sup> a termínové. Na termínových burzách se sjednaný obchod za aktuální cenu vypořádá v budoucnu, zatímco na promptní burze se obchod vypořádá ihned nebo v relativně krátkém časovém intervalu, například Burza cenných papírů Praha vypořádává obchody v čase T+3dny. Obchodovat na této burze mohou pouze členové burzy, kterými jsou především banky a obchodníci s cennými papíry<sup>9</sup>. [17]

### 2.3.1 Uzavření obchodu

Pokud chce investor obchodovat na burze, musí se obrátit na člena burzy, který mu přístup za určitých podmínek zprostředkovane zajistí. Investor podává pokyny k nákupu a prodeji členovi burzy, ten pak vystupuje jako broker nebo dealer.

- Broker obchoduje vlastním jménem na cizí účet, tedy za přijatý objem obchodu a provizi provedou požadovaný pokyn.
- Dealer obchoduje i na vlastní účet, tím pádem může některé pokyny provést sám ve své evidenci, čímž může realizovat zisk na spreadu<sup>10</sup>.

Obchodník při podání pokynu zablokuje potřebné množství peněžních prostředků, respektive cenných papírů pokud se jedná o obchod typu **short**, zajistí formální náležitosti a předá pokyn burze, která ho zpracuje, pokud se podaří příkaz spárovat, burza ho v čase T+3 dny vypořádá. Důvod pro toto opoždění je, že se neprovádějí všechny operace, ale pouze se vyrovnávají rozdíly mezi jednotlivými členy. Tato

---

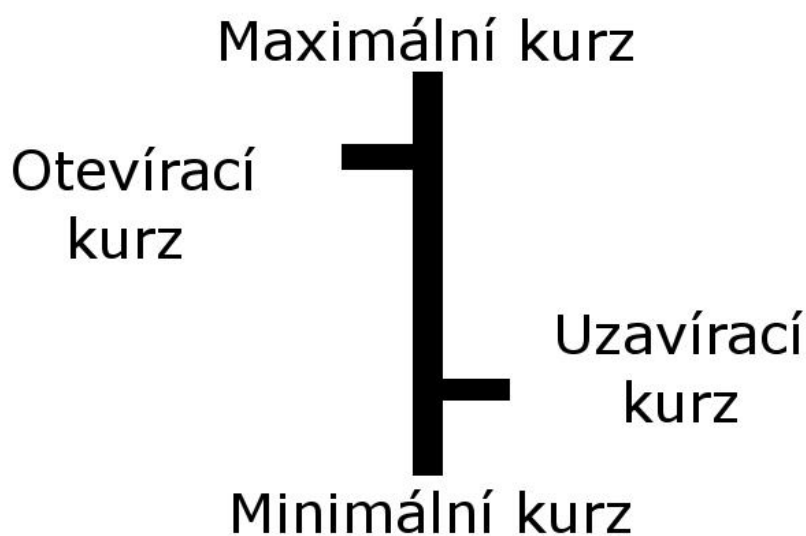
<sup>8</sup> Někdy též označované za spotové.

<sup>9</sup> Aktuální seznam členů Burzy cenných papírů Praha na <http://www.pse.cz/clenove-burzy/>

<sup>10</sup> Rozdíl mezi nákupní a prodejní cenou.

činnost<sup>11</sup> je náročná na čas a kontrolu. Poté jsou na účet klienta připsány cenné papíry, respektive peněžní prostředky či závazky pokud šlo o obchod typu short.

Jak bylo popsáno v předchozí podkapitole, kurzy se tvoří agregováním nákupních a prodejních příkazů, řazených podle poptávané a nabízené ceny. Vývoj těchto kurzů během obchodního dne či delšího časového intervalu se pak charakterizuje minimální kurz (low), maximální kurz (high), otevírací kurz (open) a zavírací kurz (close) případně upravený zavírací kurz (adjustedclose), který zohledňuje dividendy, štěpení akcií, podíly při změně základního kapitálu a podobně, tento průběh lze znázornit například pomocí OHLC grafu.[6]



Graf 4: OHLC (Zdroj:[6, str. 295])

Těchto charakteristik se využívá jako vstupu pro stanovení optimálního kurzu k nákupu či prodeji cenného papíru. Následující kapitoly představí přístupy používané k ohodnocení akcií respektive určení cen či okamžiků k jejich nákupu nebo prodeji.

### 2.3.2 Fundamentální analýza

Fundamentální analýza se zabývá rozhodnutím, zda danou akcii koupit či nikoli. Samotná analýza se může zpracovávat na různých úrovních: makro, odvětví či mikro. Jednotlivé faktory pak vedou ke snížení či zvýšení ceny. Pro samotný výpočet se používají především následující modely:

---

<sup>11</sup> Clearing

- dividendové diskontní modely,
- ziskové modely,
- bilanční modely,
- finanční analýza podniku.

Cílem těchto modelů je zjištění vnitřní hodnoty<sup>12</sup> jednotlivé akcie.

Dividendové a ziskové modely jsou si velmi blízké, vycházejí z požadované výnosnosti vloženého kapitálu a vztahují ji k dividendě<sup>13</sup> nebo zisku na akcii. Princip těchto přístupů lze demonstrovat na metodě čisté současné hodnoty.

Zisk či dividendy byly zobecněny jako peněžní tok (cash-flow).

$$\check{C}SH = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (2.1)$$

t ... období

n ... celkový počet období

r ... požadovaná výnosnost

CF<sub>t</sub> ... peněžní tok v období „t“

ČSH... čistá současná hodnota

Při výpočtu nelze zapomenout na dva zásadní peněžní toky. V čase t=0, tedy v okamžik pořízení, je to investiční výdaj, protože se jedná o výdaj, je peněžní tok záporný. Dále pak v čase t=n, tedy na konci uvažovaného vlastnictví, je to zůstatková hodnota, za kterou lze akcii prodat, protože se jedná o příjem, je peněžní tok kladný. Analogicky je třeba přistoupit k mimořádným výnosům, respektive výdajům, které nastanou v průběhu investice. Jednotlivé peněžní toky jsou tedy odúročeny<sup>14</sup> požadovanou výnosností. Tím se dynamicky ohodnotí všechny kladné a záporné toky, a pokud je výsledná hodnota větší než nula, je vhodné investovat a pokud je menší než nula tak neinvestovat.

Ve své podstatě tyto Dalším zjednodušením je Gordonův dividendový diskontní model.

---

<sup>12</sup> Spravedlivé hodnoty.

<sup>13</sup> Část podílu na zisku vyplacená vlastníku akcie.

<sup>14</sup> Diskontovány.

$$VH = \frac{D}{r - g} \quad (2.2)$$

D ... dividenda očekávaná v prvním roce

r ... požadovaná výnosnost

g ... očekávaná míra růstu dividend

VH ... vnitřní hodnota

Tento model předpokládá, že akcie bude existovat nekonečně dlouhou dobu a příjem z prodeje v nekonečné budoucnosti je tak silně diskontován, že je nevýznamný. Vnitřní hodnotu tedy tvoří pouze diskontované dividendy, jež lze sečíst jako geometrickou řadu a tímto způsobem byl vzorec odvozen.

Pokud je míra růstu dividend větší než požadovaná výnosnost, je výsledkem záporné číslo, přesto je akcie logicky vhodná ke koupi, protože samotný růst dividend překonává požadovanou výnosnost<sup>15</sup>. Problematické jsou i hodnoty, kdy se míra růstu dividend přibližuje hodnotě požadované výnosnosti, celý jmenovatel se pak limitně blíží nule a vnitřní hodnota akcie se pak blíží nekonečnu.

Oba výše zmíněné modely jsou velmi citlivé na hodnotu požadované výnosnosti.

Bilanční modely a finanční analýza jsou si rovněž blízké, vychází z bilance, tedy rozvahy, a dalších účetních výkazů. Velmi často využívají poměrových ukazatelů, které vycházejí z

$$\frac{P}{E} = \frac{\text{Tržní cena akcie}}{EPS} = \frac{\text{Cena kmenové akcie na trhu}}{\frac{\text{Zisk po zdanění} - \text{dividendy na prioritní akcie}}{\text{Počet kmenových akcií}}} \quad (2.3)$$

EPS ... příjem na akcii (earnings per share)

Tento ukazatel je jeden z nejsledovanějších, ukazuje na kolik je akcie rentabilní, tedy za kolik let se vložená investice „vrátí“. Pro procentní vyjádření samotné rentability se logicky použije převrácená hodnota. Výše uvedené poměry stále ještě vycházejí z kapitálového trhu. Dále pak ukazatele klasické finanční analýzy využívající pouze data z účetních výkazů. Konstruuji se i komplexní modely, které jsou tvořeny

---

<sup>15</sup> V tomto případě je vhodné znovu zvážit hodnoty zvolených parametrů.

soustavami poměrových a rozdílových ukazatelů, bonitní a bankrotní modely, podrobněji viz [18], [19] a další.[5][6]

### 2.3.3 Psychologická analýza

Psychologická analýza se zabývá vzorci chování samotných účastníků trhu. Automatické obchodování sice tento aspekt redukuje, avšak stále má vliv na nastavení těchto automatických systémů.

„Warren Buffet říká: Kdo není ochoten držet akcie 10 let, neměl by ani pomyslet držet je 10 minut.“[20]

V tomto ohledu je významná tak zvaná Kostolányho burzovní psychologie. Kostolány dělí účastníky trhu na hráče a spekulanty.

- **Hráči** nemají znalosti fundamentu, obchodují podle aktuálních informací a trendu, proto se orientují na krátkodobé investice a jdou s hlavním proudem, který zesilují a zvyšují tak volatilitu a vyhrocují extrémy. Bývají označováni za „slabé ruce“ trhu.
- **Spekulanti** sami oceňují fundament, obchodují neemocionálně podle dlouhodobějších strategií a proti hlavnímu proudu. Bývají označováni za „pevné ruce“ trhu.

Toto dělení lze aplikovat na myšlenky Charlese Dowa, který tvrdí, že objemy potvrzují trend.[6] Tím vznikají čtyři možné situace:

1. Kurzy i objemy rostou.  
Hráči nakupují rostoucí akcie, spekulanti postupně prodávají.
2. Kurzy klesají, objemy rostou.  
Hráči prodávají klesající akcie, spekulanti postupně nakupují.
3. Kurzy i objemy klesají.  
Hráči prodávají klesající akcie, spekulanti nenakupují, protože čekají další pokles.
4. Kurzy rostou, objemy klesají.  
Spekulanti postupně prodávají, avšak hráči nenakupují, protože nemají prostředky k nákupu nebo nevěří dalšímu růstu.[5], [6]

Toto provázání kurzů, trendů a objemů obchodů je významné, zde se psychologická analýza začíná prolínat s technickou analýzou.

### **2.3.4 Technická analýza**

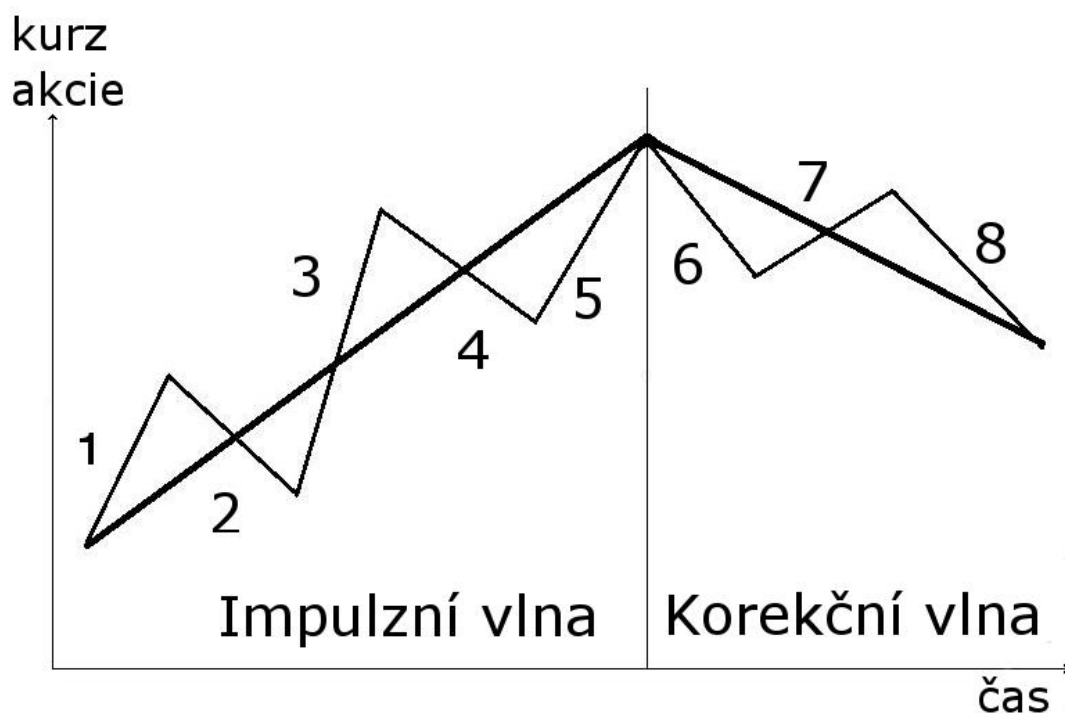
Technická analýza se zabývá historickými daty<sup>16</sup> a souvislostmi mezi nimi. Hledá trendy a vzory, které očekává, že se budou opakovat i v budoucnu. Na tomto základně stanovuje pro danou akcii optimální hodnotu či dobu k nákupu nebo prodeji.

Práce s těmito datovými soubory je výpočetně náročná, proto je rozvoj technické analýzy navázán na rozvoj počítačů a informačních technologií. Kdy analytik získá aktuální i historická data on-line a je schopen je zpracovat i v mobilním telefonu. Aplikační část této práce používá počítačový model vycházející z technické analýzy. Důvodem, proč byly popsány i předchozí analytické přístupy, je skutečnost, že z nich vycházejí ostatní účastníci trhu a před finálním rozhodnutím o nákupu či prodeji je vhodné použít některou z výše z metod výše zmíněných přístupů alespoň jako indikátor, když ne jako kritérium pro rozhodnutí.

Trendy, kterými se technická analýza zabývá, jsou ukazatelem, který určuje směřování dané akcie či akciového indexu. Trhy či akcie, které rostou, se označují „býčí“, které klesají pak „medvědí“. Tato označení se používají i pro investory dle trendu, který sledují. Většina kurzů však nesladuje přímý trend a nepohybuje se lineárně. Trend je ovlivněn dalšími faktory, například hospodářským cyklem, které způsobují výkyvy. Těchto výkyvů si všiml R. N. Elliott, vyzoroval, že tyto cykly způsobují vlny na trendu a jednotlivé vlny se skládají z dalších, menších, vln, a tak dále. Vlny tak mají fraktální charakter, podrobněji viz [21] Na následujícím obrázku je tento princip znázorněn.

---

<sup>16</sup> Například open, high, low, close z kapitoly 2.3.1



Graf 5: Elliottovy vlny (Zdroj:[6, str. 287])

Části 1, 3, 5, 6 a 8 následují trend, části<sup>17</sup> 2, 4 a 7 jsou korekcemi proti trendu. Tento rozklad jde provádět pro každou část, kdy rostoucí část se bude skládat opět z pěti částí a klesající ze tří částí.

Elliottovy vlny patří mezi přístupy **grafické** analýzy, ta se zabývá tvorbou grafů různého formátu popisující burzovní data, například výše zmíněné OHLC, v těchto grafech pak nalézá trendy, tvary a formace pomocí kterých předpovídá budoucí vývoj, viz výše.

Další skupinou metod technické analýzy jsou **technické indikátory**:

- klouzavé průměry,
- pásmová analýza,
- oscilátory,
- cenově objemové a objemové indikátory. [6, str. 327]]

Klouzavé průměry jsou jednoduchou pomůckou pro mechanické vyrovnání časových řad, mají různé podoby od prostého aritmetického průměru, přes různé druhy vážených a dalších průměrů. [26] Hodnoty aritmetického klouzavého průměru lze vyjádřit následujícím vzorcem:

<sup>17</sup>Podvln

$$KP_n^k = \frac{\sum_{t=n-k}^n H_t}{k} \quad (2.4)$$

- t ... období  
n ... aktuální období  
k ... délka klouzavé části  
H<sub>t</sub>... hodnota v čase „t“  
KP ... klouzavý průměr délky k, v období t = n

Klouzavé průměry lze použít jako samostatné indikátory, například:

*akcie překonává k-denní průměr, avšak její kurz leží pod k+20-denním průměrem*

takové vyhodnocení spolu s empirií a heuristikami investora mohou sloužit jako podklad pro podání pokynu k obchodu.[22]

Klouzavé průměry slouží jako podklad pro **pásmovou analýzu**, pásma jsou tvořena třemi liniemi, střední, která je většinou tvořena klouzavým průměrem a tak zvanou obálkou, která určuje šířku pásma.

Nejnámější metodou jsou **Bolingerovy pásma**, ta jsou vytvořena pomocí klouzavého průměru, který tvoří střed a horní, respektive spodní, hodnoty jsou tvořeny přičtením, respektive odečtením určitého počtu směrodatných odchylek. Směrodatná odchylka se vypočte následujícím způsobem: [26]

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.5)$$

- i ... pořadí hodnoty  
n ... počet hodnot  
x<sub>i</sub> ... hodnota „i“  
 $\bar{x}$  ... aritmetický průměr hodnoty „x“  
σ ... směrodatná odchylka

Oscilátory jsou absolutní, či relativní popisky trendu, vztahují aktuální kurz k referenčnímu kurzu v minulosti. Relativní verze může být použita k normování časové řady pro porovnání s časovou řadou jiné akcie. Používaným oscilátorem je například

ROC<sup>18</sup>, častost změny, tento jednoduchý oscilátor je použit v aplikační části pro vyhodnocení trendu. Výpočet je následující:

$$ROC = \frac{kurz_n - kurz_{n-k}}{kurz_{n-k}} \quad (2.6)$$

n ...	aktuální období
k ...	vzdálenost referenčního období v čase
kurz <sub>n</sub> ...	aktuální kurz, kurz v období „n“
kurz <sub>n-k</sub> ...	referenční kurz, kurz v období „n-k“
ROC ...	častost změny

Z konstrukce vzorce vyplývá, že maximální hodnota není omezena, limitní minimální hodnota je mínus jedna, pokud klesne aktuální kurz akcie na nulu.

Cenově objemové a objemové indikátory využívají podobné principy jako oscilátory, avšak do svých výpočtů kromě kurzů zahrnují i objemy nebo informace z propojených trhů. Například objemy termínových obchodů, které představují očekávání trhů, či dluhopisových trhů, které reagují předčasně, a tak podobně.[5],[6]

## 2.4 Umělá inteligence

Není všeobecně přijímaná definice, avšak rozšířené definice vycházejí z **Turingova testu**. Kde první člověk v oddělené místnosti komunikuje s dalšími dvěma místnostmi. V jedné místnosti je systém umělé inteligence (například počítač) a v druhé je druhý člověk. Systém umělé inteligence je považován za inteligentní, pokud první člověk předpokládá, že komunikoval s člověkem. Z toho vyplývá, že za inteligentní chování je považováno chování lidské. Z českých autorů definuje umělou inteligenci například Zelinka:

„Daný stroj je inteligentní, jestliže dokáže bez zásahu člověka rozumně a logicky řešit různé situace tak, jak by je řešil člověk.“[23]

---

<sup>18</sup>RateofChange

Před použitím umělé inteligence, která imituje člověka, je vhodné zvážit, zda je lidské chování vždy inteligentní, pokud ano, zda je logické a pokud ano, zda je správné či žádoucí.

#### 2.4.1 Fuzzy logika

Fuzzy logika se od klasické logiky liší počtem možných hodnot. Zatímco klasická logika využívá dva stavy **pravda** a **nepravda**, binárně označeno 1 a 0, fuzzy logika využívá celou množinu  $\langle 0;1 \rangle$ , umožňuje tak lépe popsat prvky ležící mezi krajními extrémy.

„Fuzzy tedy logika měří jistotu nebo nejistotu příslušnosti prvku k množině.“[1, str. 6]  
Stejným způsobem lze stanovit pravidla pro vyhodnocení výše zmíněných prvků, fuzzy prvků či fuzzy množin. Samotný proces vypadá následovně:



Graf 6: Fuzzy zpracování (Zdroj:[1, str. 11])

Fuzzifikace je transformace vstupních proměnných do fuzzy podoby (fuzzy prvek, fuzzy množina ...) přiřazení proměnných se provede pomocí funkcí<sup>19</sup> jednotlivých fuzzy množin. Když jsou všechny proměnné ve fuzzy tvaru, je možné s nimi pracovat, tento proces se nazývá fuzzy inference, mohou být prováděny algebraické operace, použita třídící pravidla a tak podobně. Když je inference u konce je nutné fuzzy výsledek převést zpět na srozumitelné proměnné. Fuzzy přístup lze kombinovat i s jinými metodami, například genetickými algoritmy a neuronovými sítěmi, o kterých

---

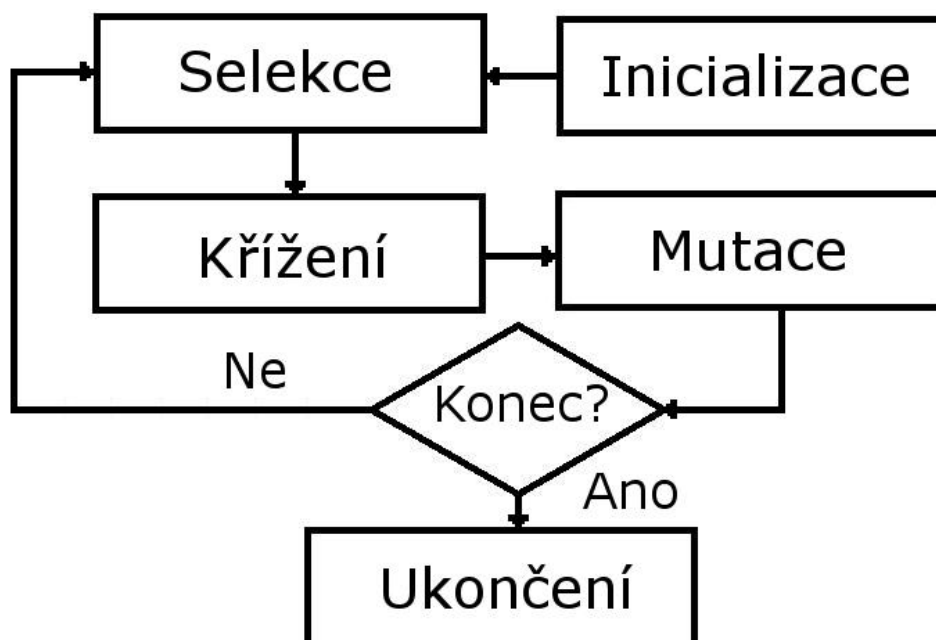
<sup>19</sup> Přesný výraz je funkce členství.

bude pojednáno v následujících kapitolách. Je možné využít fuzzy zpracování vstupů, pokud jsou vágní, či výstupů, jestliže je třeba jejich další vyhodnocení.

#### 2.4.2 Genetické algoritmy

Genetické<sup>20</sup> algoritmy jsou odvozeny z přírodních zákonů. Používají se, pokud existuje velké množství parametrů a jejich kombinací, u kterých by výpočet běžným způsobem (vyzkoušení všech možností<sup>21</sup>) byl příliš náročný či neefektivní. Genetickým algoritmem jsou vybírány nejvýznamnější parametry a vyřazovány nejméně významné. Tímto způsobem se relativně rychle najde lokální extrém či přijatelný výsledek. Protože však nebyly vyzkoušeny všechny možnosti, prohledán celý stavový prostor, není jisté, zda bylo nalezeno optimální řešení. Proto je nutné zvážit náročnost výpočtu hrubou silou a významnost nalezení absolutního extrému.

Proces fungování genetického algoritmu lze zjednodušeně zapsat následujícím diagramem:



Graf 7: Proces reprodukce (Zdroj:[1, str. 87])

Inicializace znamená zavedení startovní populace, jednotliví členové populace mohou být náhodně zvolené sekvence parametrů či v minulosti použitá řešení. To však může vést k předčasnému směřování populace k dřívějšímu suboptimálnímu řešení.

<sup>20</sup> Někdy též evoluční algoritmy.

<sup>21</sup> Výpočet hrubou silou.

Vytvořená populace se roztřídí podle účelové funkce (selekce), dojde k vyřazení jedinců s nejhorsími výsledky a množení jedinců s nejlepšími výsledky.

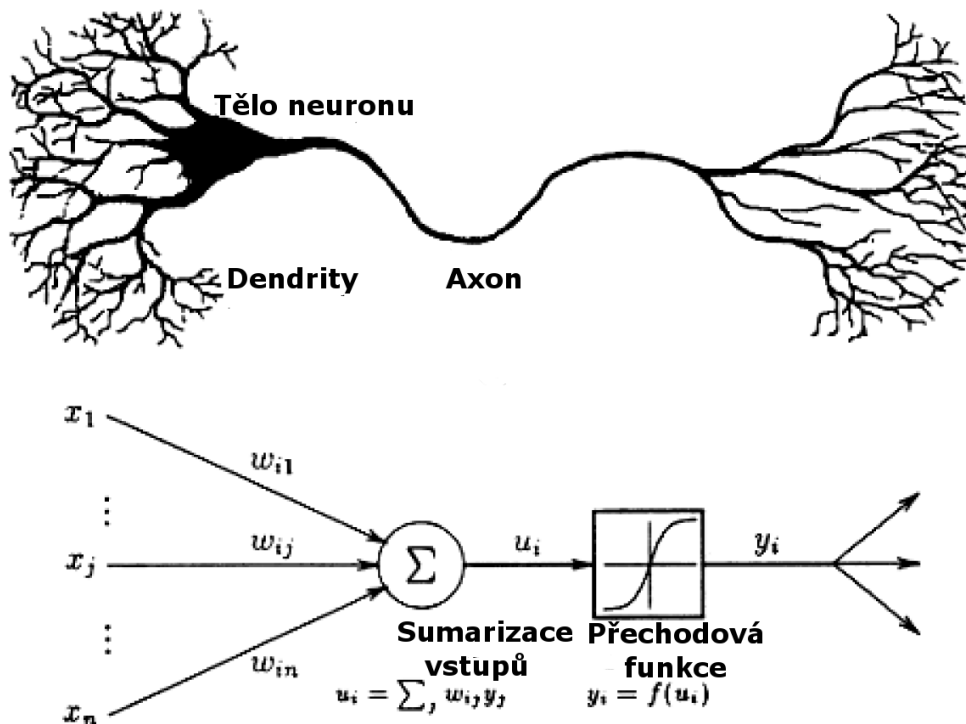
Přeživší jedinci se poté mezi sebou kříží, jejich potomci mají část parametrů od každého z rodičů.

Do výsledné populace je možné zavést mutaci, náhodné změny, jejichž cílem je zvýšit rozmanitost populace o parametry, které by křížením zůstaly opomenuty.

Výsledná populace se předloží jako výstup, pokud výstup je akceptovatelným výsledkem, proces končí, jestliže nikoli celý cyklus se opakuje, dokud není výstup přijatelný. Běžně se do genetického algoritmu vkládá pravidlo na ukončení cyklu, pro případ, že se výstup po několik generací nezlepšuje. V situaci, kdy takový výsledek není přijatelný, je nutné změnit systém, způsob křížení, četnost mutací, velikost populace a tak podobně.[1],[2],[23]

## 2.5 Umělé neuronové sítě

Umělé neuronové sítě byly, stejně jako genetické algoritmy, inspirovány přírodou. Jejich předlohou je mozek, který je skutečnou neuronovou sítí, kterou se snaží systém simulovat. Pro lepší představu je na dalším obrázku porovnání skutečného a umělého neuronu:



Graf 8: Proces reprodukce (Zdroj:[24])

Dendrit přivádí do těla neuronu, pomocí elektronicko-chemických signálů, vzruchy z okolí, ze smyslů či jiných neuronů.

Tělo neuronu vyhodnotí signály z dendritů (vstupy) jejich sumací, případně snížením o prahovou hodnotu nutnou k aktivaci. Výsledný signál pak putuje do axonu.

Axon přivádí tento vzruch k dendritům dalších neuronů. Spojení axonu a dendritu se označuje **synapse**, tímto způsobem funguje celá síť.

V síti, ať už biologické či umělé, existuje několik takových neuronů. Umělé neuronové sítě mají řádově méně neuronů, než biologické, protože umělá síť je navržena k řešení specifického problému či úkolu, zatímco biologická takových problémů řeší mnohem větší počet a jednotlivé problémy spolu nemusí souviset, fungování takové sítě je tedy mnohem komplexnější.

Umělá neuronová síť se skládá ze vstupní vrstvy, jedné či více skrytých vrstev a výstupní vrstvy. Skryté vrstvy tvoří tak zvanou černou skříňku umělé neuronové sítě.

Mezi těmito vrstvami jsou přechodové funkce, které mají různé tvary, respektive průběhy. Tyto funkce mají vliv na sílu reakce neuronu na extrémní a středové hodnoty. To, co dělá z pouhého matematického popisu neuronu umělou inteligenci, je schopnost učit se. Existuje mnoho metod učení umělých neuronových sítí, které se dělí do dvou skupin:

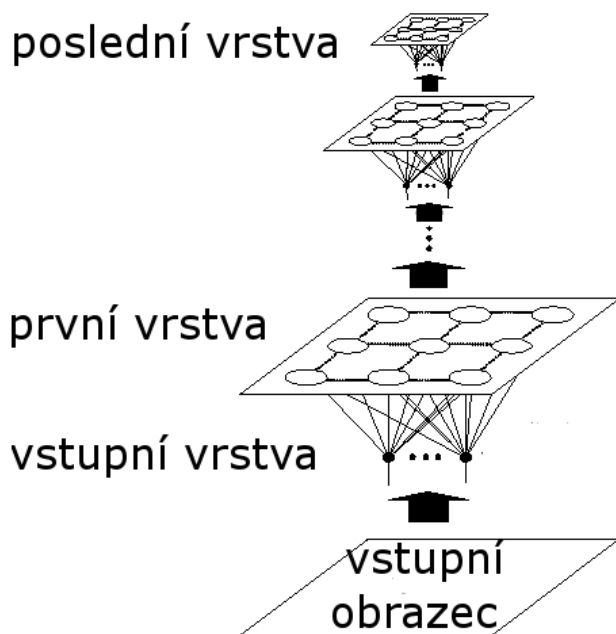
### **2.5.1 Učení bez učitele**

Sítě tohoto typu neberou v úvahu cílové hodnoty<sup>22</sup>, hledají strukturu či shluky ve vstupech, ze kterých pak určují výsledek. Síť se řídí vlastními pravidly, která určují úspěšnost, například rozptyl výsledných dat<sup>23</sup>. Některé sítě tohoto typu organizují svou strukturu podle vstupních dat. Příkladem sítě, jež se učí bez učitele, je Kohenova síť, která se používá k rozpoznávání signálů obrazu, zvuku a tak podobně. Základní princip ukazuje následující obrázek:

---

<sup>22</sup> Tyto hodnoty mohou být neznámé.

<sup>23</sup> Druhá mocnina směrodatné odchylky, respektive směrodatná odchylka je odmocninou z rozptylu.



Graf 9: Kohenova síť (Zdroj:[25])

Síť tohoto typu, bude použita v aplikační části práce, jejím cílem je najít vzor v pohybu kurzu akcie.

### 2.5.2 Učení s učitelem

Učení s učitelem vyžaduje ke vstupním hodnotám přiřazené výstupní hodnoty. Síť se na těchto párech učí, proto by se mělo jednat o typické případy, které bude síť po naučení řešit. Pro síť se tedy připraví sada dat pro učení a sada dat pro validaci úspěšnosti učení. Pokud nejsme schopni určit ideální data pro učení, použije se celý datový soubor a náhodným rozdělením se určí, která data budou použita k učení, validaci a testování. Validací data jsou pro sledování chyby učení, která by se měla snižovat. Testovací data stojí mimo systém učení a je na nich kontrolován výstup a používají se k úpravě vah neuronů. Před tímto krokem je možné data očistit o neúplné vstupy či opakující se hodnoty. Samotný proces učení může v zásadě probíhat dvojím způsobem:

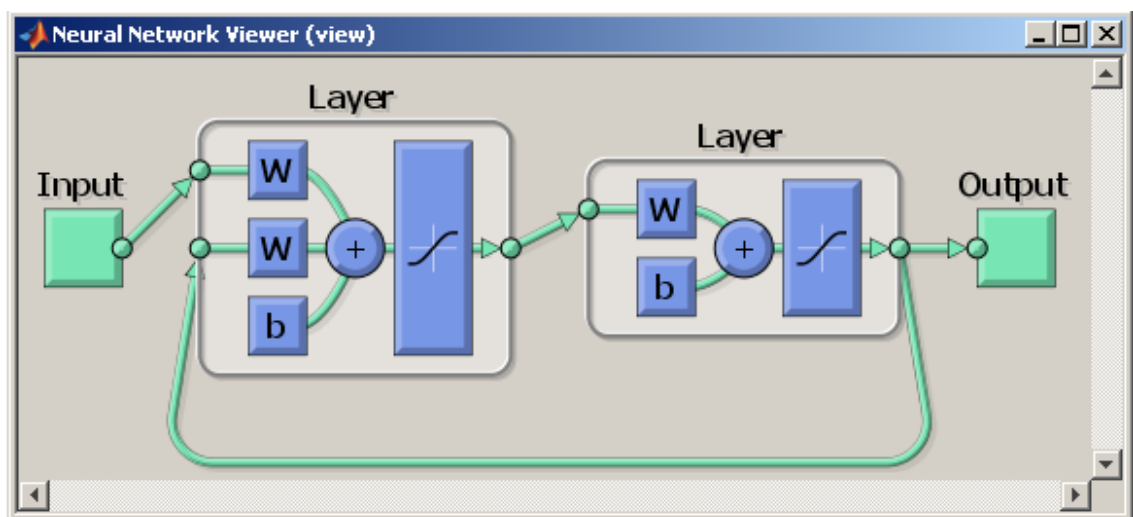
### 2.5.3 Dopředné

Jedná se o nejjednodušší způsob, vstupy se průchodem neurony třídí, nebo přibližují cílové hodnotě, proces však jde pouze jedním směrem – vpřed. Příkladem této sítě může být výše zmíněná Kohenova síť, viz Graf 9. Existují i sítě s učitelem, ty většinou neobsahují skryté vrstvy a slouží k třídění vstupů a používají se v kombinaci s dalšími sítěmi.

## 2.5.4 Rekurentní

Výsledek respektive jeho chyba vedou k úpravě počátečních parametrů výpočtu a celý proces běží ve smyčce, dokud není výsledek přijatelný, nebo dojde k přerušení z jiného důvodu. Například výsledek nebyl dosažen v časovém limitu či počtu iterací, výsledek se již nepřibližuje k cílové hodnotě, je stále stejný nebo dále diverguje od cílové hodnoty.

Typickou metodou je Zpětné šíření chyby (Back-propagation), kde je z celkové chyby zpětně zjišťována chyba jednotlivých neuronů, která se poté použije k úpravě vah vstupů jednotlivých neuronů<sup>24</sup>. Tento cyklus se opakuje, dokud není dosaženo tolerované míry chybovosti, nebo se dalšími iteracemi nedaří chybu snižovat. Tento způsob učení může vést k nalezení lokálního minima chyby a minutí globálního minima. Princip rekurentní sítě je ukázán na následujícím obrázku z prostředí MATLAB modulu nntool, který pracuje s umělými neuronovými sítěmi:[1],[4],[24] a [25].



Graf 10: Rekurentní síť (Zdroj:[4])

<sup>24</sup> V případě první vrstvy jsou to váhy pro samotná vstupní data.

### 3 ANALÝZA SOUČASNÉ SITUACE

Investor získává každý den velké množství informací o změnách na kapitálových trzích, samotné vyhodnocení těchto informací je náročné na čas. Nezbyvá tak prostor pro hledání korelací mezi těmito informacemi a vytvoření komplexního obrazu o budoucím vývoji. K dispozici jsou doporučení expertů nabádajících k určitému obchodnímu chování, avšak je třeba vzít v úvahu, že tato doporučení, stejně jako jiné zveřejňované informace mají svůj účel. Samotní experti i vlastníci médií sledují vlastní strategie a zveřejnění těchto informací má vliv na celý trh, čímž mohou své výsledky optimalizovat na vývoj trhu, který mohou ovlivnit. Takto poskytované informace jsou vždy poskytovány „v dobré víře“, bez odpovědnosti za použití těchto doporučení.

Expertních názorů tedy existuje velké množství, snahou je doplnit tyto názory o objektivizované metody, které nebudou brát v úvahu subjektivní cíle, ale budou se opírat o „tvrdá data“, tedy číselné výstupy, které lze snadno kontrolovat.

Existuje široké spektrum modelů a prací zabývajících se spojením umělé inteligence a obchodování na kapitálových trzích. Před jejich použitím je však třeba provést statistické šetření s velkým počtem testů. Je totiž obtížné ověřit úspěšnost dostupných modelů, protože jednotlivé sítě vykazují různé vlastnosti i výsledky i při aplikaci na shodná data, protože výpočet je prováděn tak zvanou „černou skříňkou, a při samotném učení dochází k různému rozdělení dat, jak bylo uvedeno v kapitole 2.

Dalším aspektem dostupných modelů je jejich vyladění<sup>25</sup> na období, ve kterém vznikly. Tyto, v minulosti vzniklé, modely je většinou třeba znovu vyladit, což je bez podrobné znalosti funkcí a struktury těchto modelů velmi obtížné a s nimi velmi časově náročné. Dále pak k vyladění mohla být použita podkladová data, která nebyla s modelem zveřejněna. Zásadní odlišnosti pak lze nalézt v závislosti na typu instrumentu, se kterým model pracuje: akcie, dluhopisy, komodity, měnové páry...

Jednotlivé modely se většinou zaměřují na jednu metodu, kterou zdokonalují s cílem získání co nejvyšší úspěšnosti. Proto, jak bylo popsáno výše, dojde k vyladění pro

---

<sup>25</sup> Anglicky tuning

použití u specifického titulu či ve specifickém čase. Takový model pak nemá dostatečnou úroveň generalizace či komplexnosti.

Problémy při nasazení stávajících modelů přinášejí i různé verze programů či knihoven funkcí použitých pro výpočet. Proto některé modely vytvořené ve starší verzi nefungují v novější a vice versa. Některé modely nelze použít, protože programy, ve kterých byly vytvořeny, jsou již dokonce nedostupné, protože nejsou v prodeji.

## 4 VLASTNÍ NÁVRHY

Jako snaha o redukci problémů současných modelů byly při tvorbě toho modelu použity následující kroky.

Model využívá standardní knihovny a základní funkce, čímž by měla být zvýšena kompatibilita s jinými verzemi prostředí MATLAB. Model byl vytvářen a používán ve verzi 7.8.0 (R2009a), testování probíhalo rovněž ve starší verzi 7.7.0 (R2008b), která je používána na Fakultě podnikatelské VUT. Samotné využití tohoto prostředí zvyšuje dostupnost modelu pro větší počet uživatelů, protože MATLAB je používán v širokém spektru oborů.

Model není zaměřen na specifickou akcii, ani specifický typ neuronové sítě, snahou bylo vytvořit univerzální systém, který sám sebe optimalizuje v rámci parametrů a nabídne požadovaný výstup bez nutnosti systém ručně ladit. Model byl proto testován na akciích s klesajícím i rostoucím trendem, různou volatilitou i objemy.

Hlavním výstupem modelu je jednoduchý vektor signálů růstu či poklesu, pokud signál investora zaujme, je v souladu nebo nesouladu se signály z jiných modelů, či metod, které používá, může analyzovat data, na kterých byl signál vytvořen, a realizovat obchod či revidovat výstupy ostatních metod a od obchodu upustit.

### 4.1 Model

Systém modelu je navržen hierarchickým způsobem. Hlavní částí programu je spustitelný soubor **start.m**, který načítá požadavky uživatele, propojuje jednotlivé moduly, provádí transformace dat a zobrazí výstup.

Základními prvky jsou moduly pro vytváření jednotlivých neuronových sítí. Každý modul využívá jinou metodu tvorby či typu neuronové sítě. Tyto moduly mají v prostředí MATLAB statut funkce, které jsou volány souborem **start.m**, proto je velmi snadné jednotlivé moduly přidávat, odebírat, případně provádět změny týkající se daného modulu bez vlivu na ostatní (pokud je potřeba provést změnu týkající se všech modulů, změna se provede v souboru **start.m**). Model obsahuje následujících pět metod

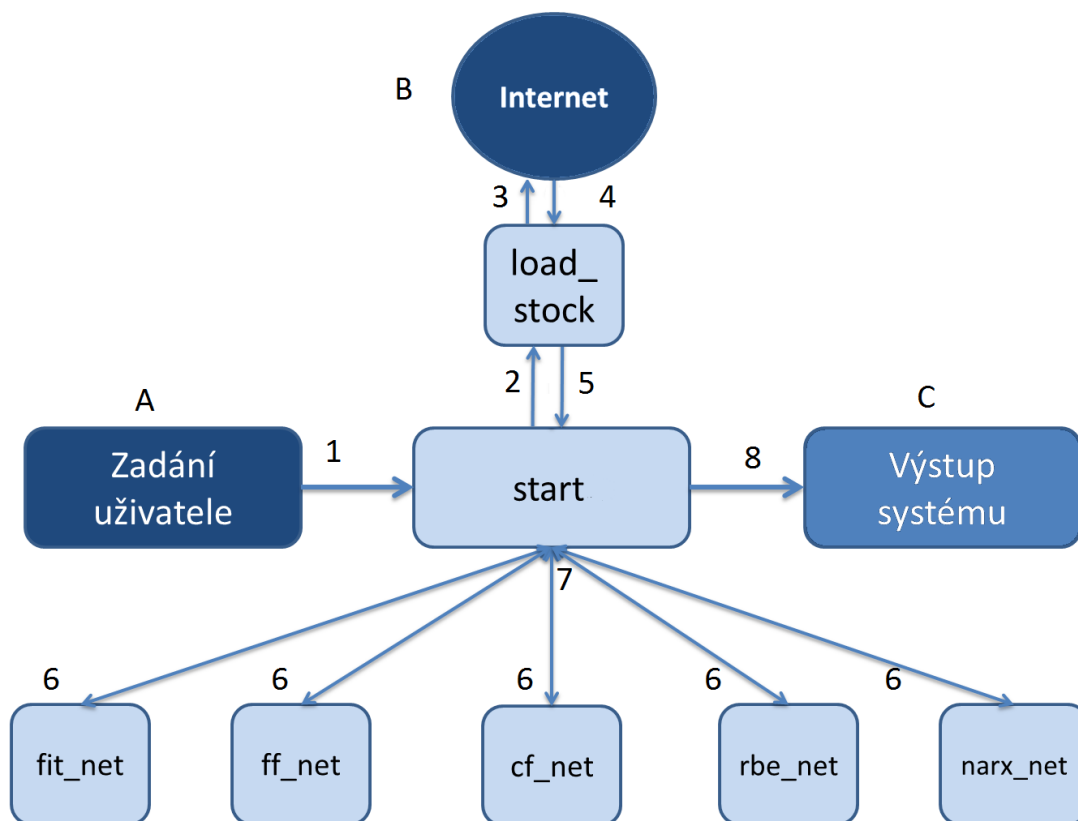
tvorby umělých neuronových sítí, kde písmena před podtržítkem značí typ použité metody, respektive typu sítě:

- fit\_net.m,
- ff\_net.m,
- cf\_net.m,
- rbe\_net.m,
- narx\_net.m.

Tyto typy jsou použitelné pro zpracování predikce, vynechány byly klasifikační sítě, které nejsou vhodné pro výpočet, avšak mohly by být použity pro zpracování výstupu ze systému. Výše zmíněné sítě mají v prostředí MATLAB více variant, které nabízejí další možnosti vhodné pro specifické případy, jejich použití pro výpočet je rovněž možné.

Pomocným modulem systému je **load\_stock.m**, který slouží pro stažení burzovních dat, vznikl úpravou a zjednodušením veřejně dostupné funkce **HistoricalStock Data downloader**[8]. Důvodem pro úpravy byla komplexnost původní funkce, která neměla využití, proto byl přebytečný kód odstraněn, dále byla zjednodušena struktura ukládání dat a především jejich reverze do chronologického pořádku. Tento pomocný modul je oddělen od hlavního souboru start.m z důvodu nahraditelnosti v případě změny metodiky či přístupu k serveru finance.yahoo.com, ze kterého jsou aktuálně burzovní data stahována. Standardní formátování open, high, low, close tak umožňuje vyměnit modul load\_stock.m za jiný, pokud dojde k výpadku serveru či nefunkčnosti modulu.

System lze graficky znázornit následujícím způsobem:



Graf 11: Schéma modelu. (Zdroj:vlastní zpracování)

Tmavě modré prvky „A“ a „B“, leží mimo systém, přivádějí do něho vstupy a jsou nutné pro jeho fungování. Prvek „C“ je pak výstup, výsledek interakce systému a vstupů. Číslice vyjadřují pořadí datových toků uvnitř systému.

#### 4.1.1 Vstupy

Při spuštění souboru start.m jsou po uživateli vyžadovány vstupy. Zadání vstupů do systému je datový tok s označením „1“, viz Graf 11. Systém vyžaduje následující vstupy:

- časové vymezení historických dat,
- délka predikce,
- označení instrumentu (akcie),
- požadovaná úspěšnost při učení,
- maximální počet neuronů.

#### 4.1.1.1 Časové vymezení historických dat

Jedná se o data, na kterých se budou neuronové sítě učit, mělo by se tedy jednat o reprezentativní vzor chování akcie. Proto je vhodné při určení rozsahu vzít v úvahu vyplácení dividend, změny základního kapitálu a další situace, které skokově ovlivňují kurz akcie.

Délka období by měla být úměrné délce predikce, viz 4.1.1.2. Není vhodné použít data pro učení v délce několik let pro předpověď na jediný den. Sítě pak berou v úvahu jednorázové historické události, které mohou být neopakovatelné. Větším problémem, však je příliš krátké časové období a příliš dlouhá předpověď. Pro systém je nemožné vytvořit předpověď delší, než je délka vybraných historických dat. Tato délka je dána počtem obchodních dní. Tedy pokud je zadán jeden kalendářní měsíc, typický počet obchodních dní je 21<sup>26</sup>, je nutné vzít v úvahu, že velké burzy, ze kterých data pocházejí, leží mimo území České republiky, a proto počet obchodních dní ovlivňují národní svátky v daných zemích. Minimální doporučenou délkou je dvojnásobek délky předpovědi, více v další podkapitole. Během testování byl používán šesti až patnácti násobek délky predikce.

Období, ze kterého jsou historická data načtena, je vymezeno počátečním a konečným kalendářním datem ve formátu DDMMRRRR, tedy dvojčíslí dne, měsíce a čtyřčíslí roku, mezi údaji nepsat mezery, čárky, pomlčky či jiné znaky. Pokud je hodnota dne či měsíce menší než deset, je nutné zadat před číslo nulu. Například pro 1. ledna 2014 je zápis: 01012014.

#### 4.1.1.2 Délka predikce

Počet obchodních dní, na které je předpověď sestavena. Tento parametr vede k rozdělení a posunu vstupních dat. Tuto transformaci provádí soubor start.m, přičemž uloží i data v původní struktuře, pro případ, že by uživatel provedl i jinou analýzu v jiném programu.

Pokud je délka predikce označena „n“, a délka historických dat „k“, pak vstupy pro učení jsou zkráceny o posledních „n“ dní a jejich počet je tedy roven „n-k“. Cílové hodnoty pro učení jsou zkráceny o prvních „n“ dní a jejich počet je rovněž „n-k“, čímž je zachováno párování vstupních a cílových hodnot. Tímto posunem byly

---

<sup>26</sup> V roce 2014 je to 252 pracovních dní / 12 kalendářních měsíců.

spárovány vstupy s cílovými hodnotami, které jsou posunuty o „n“ dní. Data, která byla odebrána ze vstupu pro učení, slouží jako podklad pro predikci.

Z důvodu těchto transformací vyplývá podmínka délky predikce menší než délky historických dat, která byla zmíněna v předchozí podkapitole. V případě jejího nesplnění by neexistovala žádná data pro učení, protože by došlo k jejich zkrácení respektive odebrání pro použití pro predikci.

#### 4.1.1.3 Označení instrumentu

Akcie jsou identifikovány podle metodiky [finace.yahoo.com](http://finance.yahoo.com), označení jednotlivých akcií lze nalézt na stránce: <http://finance.yahoo.com/stock-center/>

Označení tvoří alfa-symbolický znak (bez čísel), některé instrumenty jsou obchodovány na více burzách, proto k danému instrumentu existuje více označeními, tak zvaný **ticker**. Vzhledem k propojení burz nedochází k velkým odlišnostem v rámci kurzy, ale bývá velký rozdíl v objemech obchodů.

Časové vymezení historických dat a označení instrumentu jsou vstupy pro modul `load_stock.m`, jehož výstupem je databáze hodnot kurzů a objemů, z této databáze pak čerpají vstupní a cílové hodnoty jednotlivé moduly neuronových sítí.

Jak bylo popsáno v kapitole 4.1, modul pro načítání dat lze změnit, proto, jestli budou data načítána z jiného serveru, je nutné používat označení instrumentů dle tohoto serveru. Pokud budou data nahrána do systému ručně, offline, je označení nepodstatné a slouží jen pro orientaci uživatele.

#### 4.1.1.4 Požadovaná úspěšnost učení

Tato úspěšnost je dána počtem procent správně odhadnutých trendů (odlišení růstu, poklesu, či žádné změny). Maximální zadaná hodnota je tedy sto, což znamená, že při učení musí síť odhadnout všechny změny trendu správně. Takto vysoká hodnota při použití u akcií vede k přetrénování<sup>27</sup> či přeučení sítě. Výsledkem pak bude síť, která bude očekávat stejný průběh jako v minulosti, a pokud budou data, která nebyla použita v učení, odlišná, síť pak produkuje výsledky, které neodpovídají současným trendům, nýbrž stále opakují trend dat, na kterých se síť učila.

---

<sup>27</sup> Anglicky overfitting.

Moduly pro jednotlivé metody tvorby sítí provedou porovnání úspěšnosti učení se zadanou hodnotou, pokud byla úspěšnost splněna, je tato síť výsledkem daného modulu, pokud ne, dojde ke změně parametrů a proces se opakuje.

System automaticky stanoví minimální hodnotu na 50, protože sítě, které dávají horší výsledek, pak nedávají lepší alternativu než hod kostkou.

#### **4.1.1.5 Počet neuronů**

Tento vstup určuje maximální počet neuronů v neuronové síti, tento parametr také slouží jako limitní hodnota, při jejímž dosažení bude učení ukončeno, pokud se nepodařilo splnit požadovanou úspěšnost učení.

Algoritmus jednotlivých modulů začne na nejnižším počtu neuronů, poté upravuje další parametry jednotlivých sítí, pokud se při žádné ze změn nepovedlo dosáhnout požadované úspěšnosti, zvýší se počet neuronů. Tento proces se opakuje, dokud není dosaženo požadované úspěšnosti nebo maximálního počtu neuronů, který uživatel zadal.

Minimální hodnota byla nastavena na deset, protože sítě rozdělují neurony do vrstev a sítě tohoto typu s méně než pěti neurony nedávají dobré výsledky. Maximální hodnota byla nastavena na sto. Sítě této velikosti mají tendence k přeučení (viz předchozí podkapitola) a dále pak značně zvyšují výpočetní náročnost z pohledu nároků na výkon počítače, operační paměť a především čas.

Proto je třeba zvolit vhodnou kombinaci požadované úspěšnosti a počtu neuronů. Pokud je úspěšnost nereálná, dojde k simulaci všech sítí, všech parametrů v množství uživatelem zadaného počtu neuronů.

#### **4.1.1.6 Další vstupy**

System dále umožňuje grafické zobrazení výstupů jednotlivých sítí spolu s reálnými hodnotami, tento vstup však není nutný pro fungování systémů a slouží pro zobrazení dlouhodobějších trendů v načtených datech či rozptýlení při čekání na výsledek dlouhého výpočtu. V grafu jsou rovněž zobrazena Bollingerova pásma, která jsou zde především pro ukázkou volatility dané akcie.

Ostatní parametry je nutné měnit uvnitř kódu jednotlivých \*.m souborů a vedou ke změnám fungování systému, proto je vhodné, před jejich změnou, s celým systémem

seznámit, především které parametry a jakým způsobem vstupují do dalších modulů, či jak je s nimi dále nakládáno.

Příkladem takové změny může být četnost načítaných dat modulem `load_stock.m`, který dokáže načítat souhrnná data za celý týden, dekádu, měsíc a tak podobně. Jednotka vstupu pak obsahuje otevírací kurz prvního dne, maximální a minimální kurz za celé období, zavírací kurz posledního dne a objem obchodů za celé období. Takto agregované vstupy lze použít pro obchodování s menší frekvencí. Jak bylo popsáno výše, je nutné počítat s provázaností změn v celém systému, změna této četnosti z denní na jinou pak vede k použití této jednotky i v dalších modulech i výstupu. Délka předpovědi i jednotlivé signály pak rovněž pracují se změněnou četností a je nutné tento fakt zohlednit při interpretaci výstupů.

#### 4.1.2 Tvorba sítí

Moduly pro tvorbu jednotlivých sítí potřebují následující vstupy, v kódu souborů jsou označeny jako:

- `inputs` – burzovní data, ze kterých se síť učí,
- `targets` – burzovní data, kterých by, respektive jejich trendů, měla síť dosáhnout,
- `success` – požadovaná úspěšnost, při níž bude další tvorba sítí ukončena,
- `maxneurons` – počet neuronů, po jejichž dosažení bude další tvorba sítí ukončena.

**Inputs** a **targets** jsou získány z modulu `load_stock.m` a upraveny dle délky predikce hlavním modulem `start.m`. **Success** a **maxneurons** jsou zadány uživatelem, viz kapitoly 4.1.1.4 a 4.1.1.5.

Pokud byly všechny vstupy zadány ve správném formátu, začne inicializaci proměnných, což znamená zavedení pomocných proměnných, které budou dále ve výpočtech použity a které již v první kroku musí mít přiřazenou hodnotu, která je v těchto případech nula.

Dále je nutné transponovat „`inputs`“ a „`targets`“, původní data z modulu `load_stock` jsou řazena po řádcích (vertikálně) a neuronové sítě vyžadují řazení po sloupcích (horizontálně). Důvodem, proč data nebyla transponována již při načítání, je jejich další použití mimo neuronovou síť, které je vzhledem k délce, vhodnější ve vertikální podobě.

Před samotnou tvorbou sítí jsou ze vstupních a cílových hodnot vypočteny požadované trendy a nastaven indikátor průběhu výpočtu<sup>28</sup>. Potud je kód modulů pro tvorbu sítí stejný, při samotném výpočtu dochází k odlišnostem z důvodu různých druhů sítí, respektive způsobů jejich tvorby.

#### 4.1.2.1 Fit\_net

Sítě tvořené funkcí **newfit**, fungují na principu proložení dat křivkou, tato křivka pak značí hlavní trend. Tato metoda je podobná nelineární regresní analýze, protože využívá několik neuronů, mezi kterými jsou přechodové funkce, což má vliv na nelineární tvar výsledné funkce.

Síť byla sestavena ze třech vrstev, neurony jsou mezi vrstvy rozděleny rovnoměrně. Pokud dělení počtu neuronů nebylo celočíselné, došlo u první vrstvy k zaokrouhlení směrem nahoru pomocí funkce „ceil()“, u ostatních vrstev k zaokrouhlení směrem dolů pomocí funkce „floor()“. Mezi vrstvami jsou přechodové funkce, které se cyklicky mění tak, aby bylo dosaženo všech kombinací pro každou nastavenou hodnotu počtu neuronů. Samotné učení sítě probíhá zpětným šířením chyby, viz 2.5.4, po ukončení učení se provede simulace sítě a z výsledků je sestaven vektor změn trendů a porovnán se správným výsledkem.

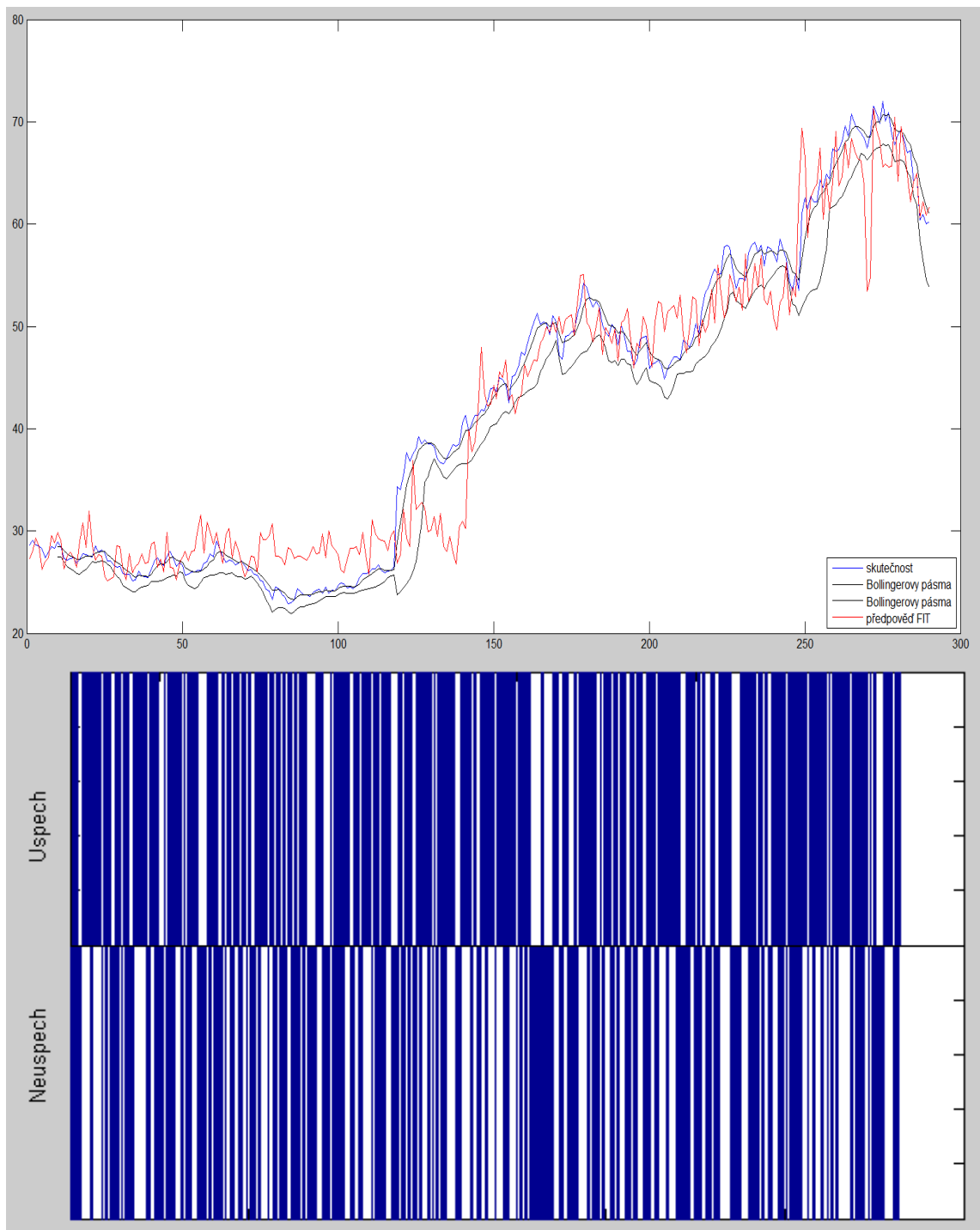
Pokud byla splněna požadovaná úspěšnost, jsou uloženy a zobrazeny parametry sítě (počet neuronů, rozložení ve vrstvách, přechodové funkce a další) pro použití pro predikci. Dále jsou uloženy výsledky této sítě pro možné další použití či kontrolu.

Pokud nebyla splněna požadovaná úspěšnost, jsou výsledky porovnány s dosud nejlepší vytvořenou sítí, jestliže je tento výsledek převyšena stává se tato síť etalonem pro další porovnání, dokud nebude nalezena síť s lepším výsledkem. Tento cyklus se opakuje, dokud není splněna požadovaná úspěšnost či dosažen maximální počet neuronů v síti.

Výsledek učení sítě je možné znázornit v grafu:

---

<sup>28</sup> Proužek ukazující kolik procent z celkových možností již síť vyzkoušela.



Graf 12: Učení fit\_net(Zdroj:vlastní zpracování v MATLAB)

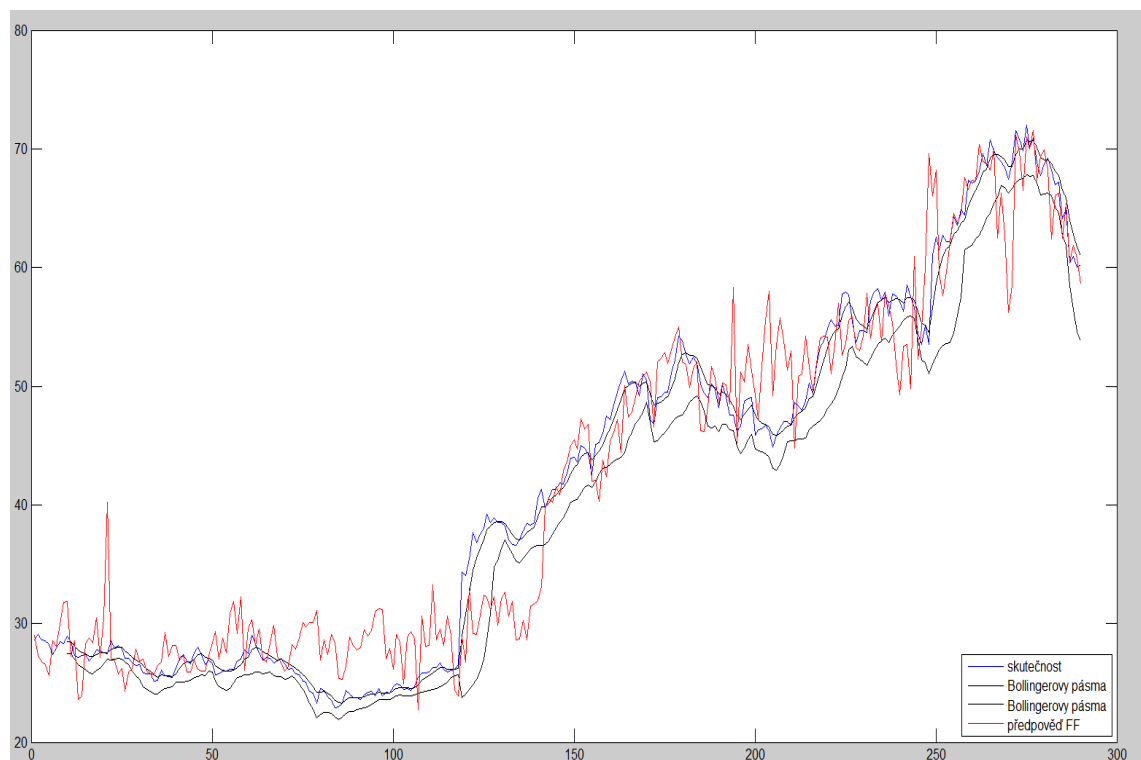
Na svislé ose je kurz akcie, na vodorovné ose obchodní dny. Na grafu je vidět, že i po naučení se hodnota předpovědi vzdaluje od skutečné hodnoty. Důvodem je optimalizace výběru sítě dle úspěšnosti předpovědi změny trendu. Cílem tedy není určit velikost pohybu, ale jeho směr. Úspěšnost určení pohybu vyjadřuje spodní část grafu.

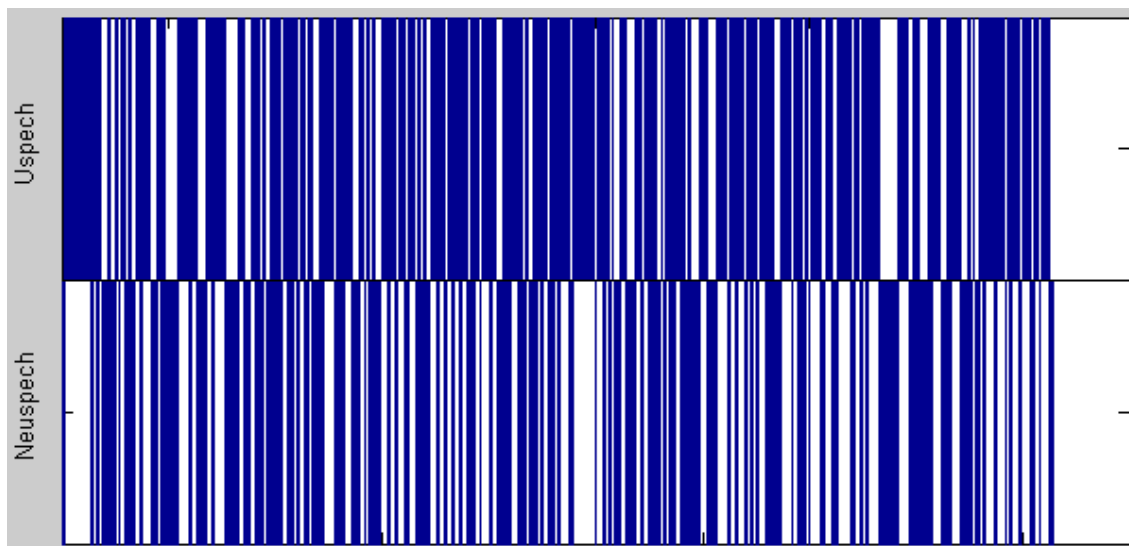
#### 4.1.2.2 Ff\_net

Ff v názvu je zkratka feed-forward, což znamená, že se jedná dopřednou síť. Tvořena je funkcí **newff**, která je výchozí pro všechny dopředné sítě. Tato síť přebírá váhy z předchozí vrstvy a pro učení defaultně používá metodu zpětného šíření chyby.

Síť byla vytvořena ze dvou vrstev, mezi které se neurony dělí rovnoměrně. Pokud dělení počtu neuronů nebylo celočíselné, došlo u první vrstvy k zaokrouhlení směrem dolů a u druhé vrstvy směrem nahoru. Stejně jako u předchozí sítě dochází k optimalizaci přechodových funkcí a počtu neuronů.

Způsob vyhodnocení je totožný jako u předchozího modulu, výsledek učení na stejných datech je zobrazen na následujícím grafu:





Graf 13: Učení ff\_net (Zdroj:vlastní zpracování v MATLAB)

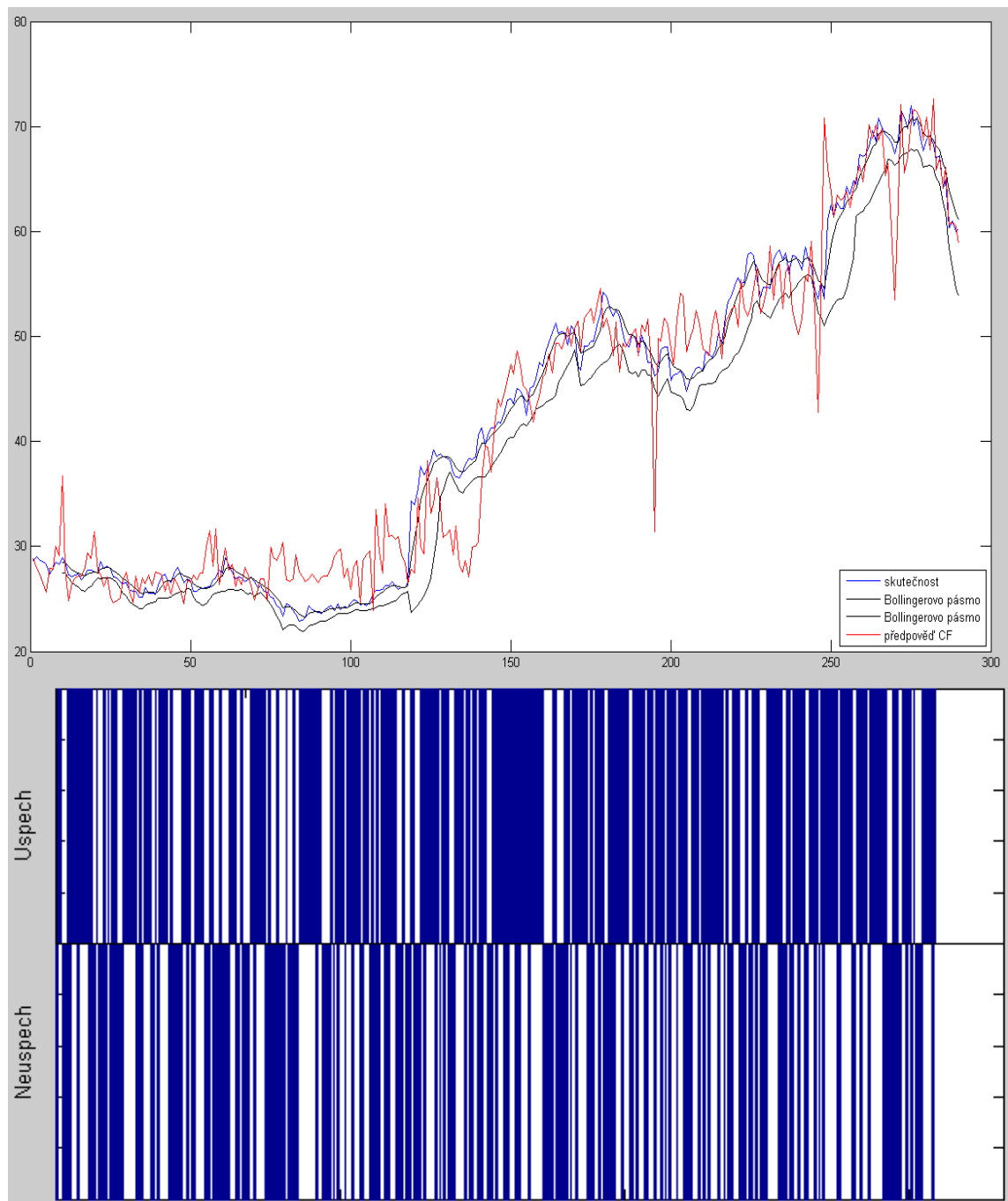
Oproti předchozí předchozímu grafu zde vidíme větší volatilitu předpovědi, avšak úspěšnost předpovědi změny trendu je velmi podobná.

#### 4.1.2.3 Cf\_net

Cf v názvu je zkratka cascade-forward, což znamená, že se jedná dopřednou síť, kde je však navíc každá vrstva propojena se všemi předchozími kaskádovým stylem. Tvořena je funkcí **newcf**, která vychází z funkce newff popsané v předchozí podkapitole. Tato síť přebírá váhy ze **všech** předchozích vrstev, tedy i první, což znamená propojení i se vstupy. Pro učení se opět používá metoda zpětného šíření chyby.

Pro využití kaskádového stylu bylo třeba minimálně tři vrstev, přičemž počet neuronů ve vrstvách se zvyšuje. Z důvodu více propojení bylo do této sítě přidáno větší množství neuronů. První vrstva má třetinu, druhá vrstva má dvě pětiny a poslední vrstva má polovinu. Součet těchto zlomků dává 1,23, což znamená 23% neuronů navíc. Pro kontrolní mechanismus maximálního počtu neuronů se používá původní, nezvýšená, hodnota.

Systém vyhodnocení i učení je obdobný jako u **ff\_net**. Výsledek učení ukazuje následující graf:



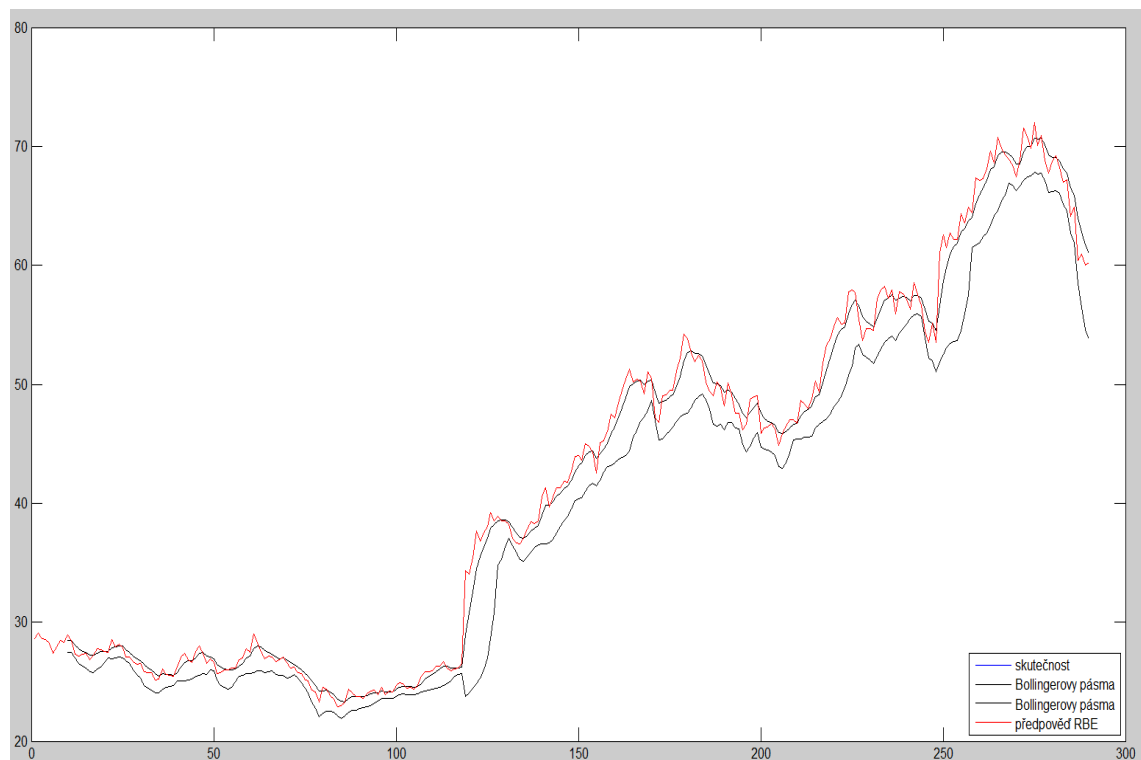
Graf 14: Učení cf\_net (Zdroj:vlastní zpracování v MATLAB)

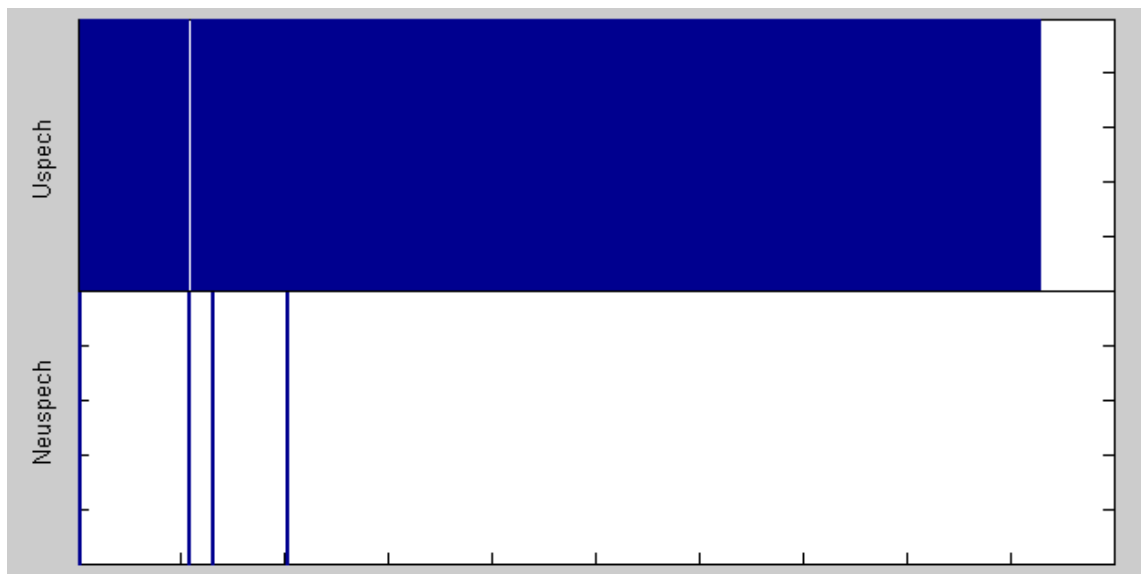
#### 4.1.2.4 Rbe\_net

Sítě je tvořena funkcí **newrbe**, označení „Rb“ je zkratka radial basis. V tomto modulu jsou tvořeny sítě pomocí neuronů, které jsou symetricky kruhově, radiálně, uspořádaný kolem středu. Tato síť pak vytvoří mapu vstupů a pomocí úpravy vah neuronů a rozptylu přiřadí vstupy k cílovým hodnotám.

Tato síť nerozděluje vstupní data na data určená pro učení, testování a validaci jako tomu bylo v předchozích případech. Všechna vstupní data slouží pro sestavení její topologie. Maximální počet neuronů se proto odvíjí od počtu a hustoty vstupních dat. Proto se podmínka na ukončení optimalizace neváže na počet neuronů, ale velikost rozptylu (spread).

Oproti předchozím sítím je zde pevně daná struktura i přechodové funkce, první vrstva je radiální a pro vyhodnocení je zde druhá vrstva s čistě lineárními aktivačními neurony. Samotná tvorba sítě je v podstatě jejím učení, proto lze síť ihned po vytvoření testovat.





Graf 15: Učení rbe\_net (Zdroj:vlastní zpracování v MATLAB)

Výstup učení zde téměř zcela překrývá cílové hodnoty, z čehož vyplývá, že i vyhodnocení úspěšnosti změn trendu je téměř stoprocentní. Pro predikci této akcie je modul méně vhodný, protože ho lze považovat za přeučeny a při simulaci pro nové vstupy může generovat nestandardní průběhy. Při testování tento typ sítí u některých akcií předpovídal konstantní hladinu kurzu po celé období, protože nenašel dostatečně blízký vstup k již zadaným hodnotám a jako výsledek uváděl středovou hodnotu radiální vrstvy. Pokud tento stav nastal, neměl vliv na generování signálů, protože změna kurzu predikovaná tímto modulem byla nulová.

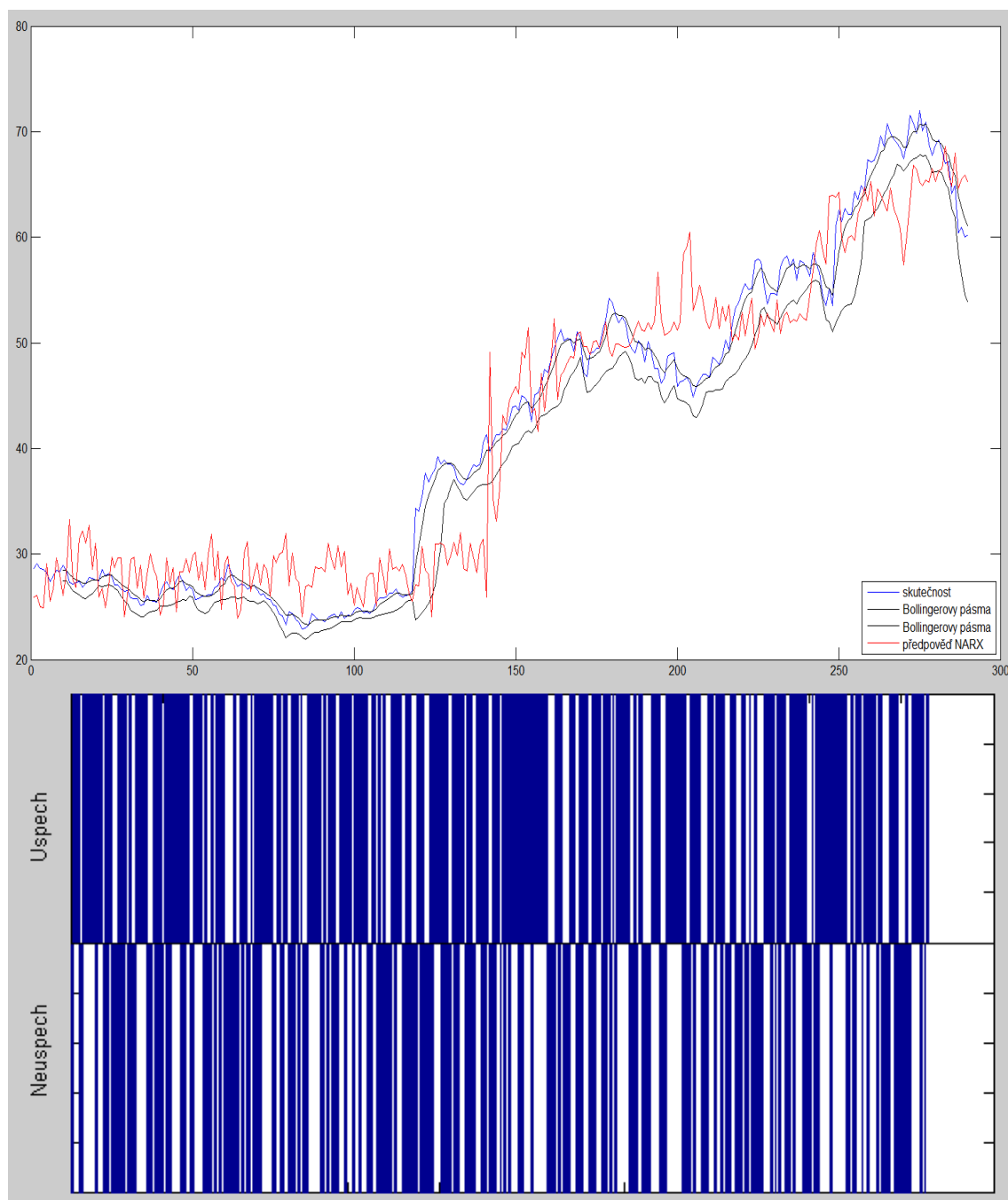
#### 4.1.2.5 Narx\_net

Sítě jsou tvořeny funkcí **newnarx**, zkratka NARX se používá pro model, který je nelineární, auto-regresní a s exogenním prvkem. Tímto prvkem může být jakýkoliv vstup, který by měl mít vliv či vztah k výstupu. Lze použít indikátory technické analýzy, vývoj substitučních či komplementech instrumentů kapitálového trhu či celých indexů.

V modulu narx\_net byl použit rekurzivní přístup, kdy exogenní prvek je výstup opožděný o jedno až tři období. Hodnota opoždění se mění při optimalizaci parametrů sítě spolu s přechodovými funkcemi.

Síť byla vytvořena ze dvou vrstev, mezi které se neurony dělí rovnoměrně. Pokud dělení počtu neuronů nebylo celočíselné, došlo u první vrstvy k zaokrouhlení směrem

dolů, a u druhé vrstvy směrem nahoru. Při přidávání dalších vrstev je třeba vzít v úvahu, že modul při jejich použití u delších časových řad zvyšuje náročnost na dobu výpočtu.



Graf 16: Učení narx\_net (Zdroj: vlastní zpracování v MATLAB)

Takto neučená síť má menší volatilitu a úspěšnost predikce je nižší než u dříve zmíněných modulů. Takto vytvořené sítě však lépe generalizují zákonitosti či vzory, které se objevují v pohybu kurzů a proto mají výstupy této sítě nezastupitelnou roli v tomto predikčním systému.

### 4.1.3 Výstupy

V předchozích podkapitolách byly popsány principy tvorby a optimalizace jednotlivých sítí uvnitř modulů. Výstupy po ukončení těchto modulů jsou načteny do hlavního modulu start.m. Na obrazovku jsou vypsány informace o vyhodnocení úspěšnosti nejlepší sítě v předpovědi trendu pro každý modul. Dále jsou vypsány její základní parametry, počet neuronů, přechodové funkce a v případě rbe\_net velikost spreadu a v případě narx\_net ještě délka opoždění výstupu (který je zde použit jako exogenní prvek). Pokud byl při zadávání vstupů požadován grafický výstup, jsou vykresleny do grafu výsledky simulace spolu s cílovými hodnotami. Samotné moduly mají každý tři výstupní proměnné:

- neuronová síť,
- výsledky simulace,
- soubor parametrů.

Prvním výstupem je ta nejlepší síť, která byla modulem vytvořena, má formu proměnné a proto se na ni lze odkázat a použít ji v další simulaci bez další nutnosti nastavení.

Výsledky simulace jsou ukládány pro případ, že uživatel bude chtít zkontrolovat dosaženou úspěšnost či výsledky simulace statisticky či jinak vyhodnotit. Rovněž je možné dodatečně vykreslit výsledky simulace, i pokud si uživatel v původním zadání nevyžádal grafický výstup.

Soubor parametrů má formát struktury, jsou v ní separátně uloženy veškeré parametry samotné sítě, průběhu jejího učení i dosažené úspěšnosti.

V této fázi jsou v hlavním souboru všechny informace ke konečnému vyhodnocení. Konečná část vstupních burzovních dat, která byla oddělena, viz kapitola 4.1.1.2, je nyní použita pro simulaci.

Každá síť načtená do hlavního modulu vypočítá výsledky, které jsou nyní skutečnou predikcí. Protože byl v celém algoritmu kladen důraz na předpověď trendu, je nutné tyto predikce převést do této podoby. Každá hodnota je porovnána s hodnotou předchozí, čímž je zjištěn trend mezi dvěma obchodními dny. Protože první hodnota by neměla hodnotu pro určení trendu. Za tohoto menšítele je dosažen poslední známý kurz, což je poslední hodnota z cílových dat, jež byla použita pro tvorbu sítí uvnitř modulů.

Tyto rozdíly byly klasifikovány jako „růst“, pro hodnoty větší než nula, „beze změny“ pro hodnoty rovné nule a „pokles“ pro hodnoty menší než nula. Výstup byl převeden na kvalitativní údaje, lze říci, že byl fuzzifikován.

Predikce jednotlivých sítí jsou vypsány na obrazovku a proměnná s těmito výsledky je uložena do složky s názvem sítě, do této složky jsou uloženy i všechny původní výstupy modulu, ve kterém síť vznikla, tedy síť samotná, výsledky tréninkové simulace a parametry sítě včetně výsledků učení.

Pro přehlednost jsou výsledky predikcí všech sítí uloženy do proměnných „vysledky“ a „vysledky\_text“, které jsou jako hlavní výstup otevřeny. Jako poslední krok jsou odebrány všechny nepotřebné proměnné, které byly v průběhu vytvořeny.

## 4.2 Výsledky

Protože je MATLAB ve své podstatě maticový procesor byla pro jednodušší zpracování výsledná data exportována do tabulkového procesoru Microsoft Excel a upravena do graficky přívětivějšího formátu. Během tvorby modelu a testování jednotlivých modulů bylo provedeno nespočet simulací na akcích podnikajících v různých oborech, aby byla zajištěna co největší obecnost a nedošlo k zaměření na specifický typ akcí jako například, technologické tituly, které jsou předmětem mediálního zájmu, akcie firem kótovaných v USA, jež rostou z důvodu kvantitativního uvolňování, a o kterých je velké množství informací i investičních doporučení.

Pro testování modelu byly použity akcie společností z různých oborů. Do výběru byly zařazeny rostoucí i klesající tituly, aby byla ověřena použitelnost na býčích i medvědích trzích. Data byla použita z amerických burz,(NASDAQ<sup>29</sup>, NYSE<sup>30</sup>) tak evropských. (Börse Frankfurt).

Bylo by náročné zavést on-line přístup k datům Burzy cenných papírů Praha v prostředí MATLAB. Burza nabízí historická data pouze do roku 2012, viz <http://ftp.pse.cz/Results.ak/>. Dále pak výsledky každého obchodního dne ukládá do samostatného souboru, který je navíc komprimován ve formátu .zip. Načtení ročních dat by pak znamenalo stáhnout cirká 250 souborů, které je třeba dekomprimovat, sloučit a

---

<sup>29</sup> National Association of Securities Dealers Automated Quotation – elektronická burza, ústředí v New Yorku a Stockholmu

<sup>30</sup> New York Stock Exchange – New Yorská burza na Wallstreet 11

vyfiltrovat požadovanou akcii. Proto je systém o tato data ochuzen, pokud je uživatel nestáhne ručně a neexportuje do systému.

Pro testování byly vybrány následující akcie:

- Deutsche Bank AG (DB),
- CME Group Inc. (CME),
- Facebook, Inc. (FB),
- McDonald's Corp. (MCD),
- Nokia Corporation (NOK),
- Philip Morris International, Inc. (PM),
- VIENNA INSURANCE GR (VIG.VI).

#### **4.2.1 Obchodování s růstovým titulem**

Jako růstový titul byla vybrána akcie Facebook, Inc. (FB), která za poslední rok zdvojnásobila svou hodnotu. Pro predikci na měsíc duben 2014 byla použita data za posledních devět měsíců, tedy od července 2013.

Výsledky jednotlivých modulů jsou uvedeny v posledním sloupci, pro lepší porovnání byl přidán časový rámec a skutečný vývoj akcie:

Tab. 1: Předpověď akcie FB [v USD] (Zdroj: Vlastní zpracování)

Datum	Skutečný kurz	Skutečná změna	Předpověď				
			FIT	FF	CF	RBE	NARX
31.3.2014	60,24	x	Současnost				
1.4.2014	62,62	2,38	65,78	63,14	68,23	60,24	65,51
2.4.2014	62,72	0,1	66,33	64,17	70,22	60,24	65,34
3.4.2014	59,49	-3,23	68,80	64,79	62,49	60,24	64,60
4.4.2014	56,75	-2,74	66,44	64,36	68,26	60,24	65,85
7.4.2014	56,95	0,2	64,64	65,97	67,35	60,24	65,59
8.4.2014	58,19	1,24	59,52	60,69	58,84	60,24	60,62
9.4.2014	62,41	4,22	59,74	61,81	61,54	60,24	61,63
10.4.2014	59,16	-3,25	60,02	60,17	60,67	60,24	59,22
11.4.2014	58,53	-0,63	70,18	59,31	60,68	60,24	59,00
14.4.2014	58,89	0,36	59,62	58,41	64,09	60,24	58,46
15.4.2014	59,09	0,2	72,64	61,48	64,44	60,24	58,16
16.4.2014	59,72	0,63	58,08	62,34	64,62	60,24	61,36
17.4.2014	58,94	-0,78	61,13	61,58	67,00	60,24	63,33
21.4.2014	61,24	2,3	66,03	64,48	68,62	60,24	65,88
22.4.2014	63,03	1,79	62,17	65,65	64,65	60,24	61,50
23.4.2014	61,36	-1,67	67,43	65,06	67,19	60,24	65,84
24.4.2014	60,87	-0,49	61,54	64,40	62,06	60,24	63,11
25.4.2014	57,71	-3,16	67,56	60,74	72,09	60,24	65,17
28.4.2014	56,14	-1,57	69,11	66,66	68,06	60,24	68,86
29.4.2014	58,15	2,01	61,83	69,86	76,32	60,24	71,99
30.4.2014	59,78	1,63	53,21	65,15	80,00	60,24	68,30
1.5.2014	61,15	1,37	70,62	64,98	66,13	60,24	69,65

Z výše uvedené tabulky lze vyčíst, že jednotlivé sítě předpovídají hodnoty, které se významně odlišují od skutečných, to je však dáno způsobem, kterým jsou vybírány parametry jednotlivých sítí. Síť, která je nakonec použita (v rámci daného typu), je nejlepší v odhadu trendu, tedy rozlišení poklesu či růstu. Proto pro vyhodnocení těchto předpovědí je použit samotný predikovaný trend, respektive jeho změna v rámci obchodních dní. Pokud ale přesto analyzujeme kurzové předpovědi jednotlivých sítí, je zde buď rostoucí trend, nebo hodnoty převyšující aktuální tržní cenu.

Pro další zpracování a přehlednost byly převedeny změny kurzu v předpovědích jednotlivých modulů na znaménka:

- + značí růst,
- 0 značí žádnou změnu,
- - značí pokles.

Pro rozhodnutí o podání pokynu k obchodu je důležité určit míru jistoty, s jakou ke změně kurzu dojde. K tomu byla použita míra shody jednotlivých sítí, tato shoda je charakterizována jedním číslem označeným jako síla signálu. Ta je vypočítána jako absolutní rozdíl signálů růstu a signálů poklesu. Excelový zápis vypadá následovně:

$$\text{Síla signálu} = \text{ABS}(\text{COUNTIF}(\text{FIT:NARX}; "+") - \text{COUNTIF}(\text{FIT:NARX}; "-")) \quad (4.1)$$

ABS...	funkce pro výpočet absolutní hodnoty <sup>31</sup>
COUNTIF...	funkce pro určení počtu výskytu prvku splňující kritéria
FIT:NARX...	označení oblastí, kde jsou převedeny výstupy všech modulů <sup>32</sup>
“x“...	podmínka, která musí být splněna pro započtení signálu

Jako spolehlivé signály jsou považovány ty, se silou větší nebo rovnou čtyřem. Pokud by do systému byly přidány další moduly pro tvorbu sítí, je nutné tento parametr revidovat.

Správnost spolehlivého signálu je pak vyhodnocena jako porovnání směru skutečné změny kurzu a směru signálu, který byl vyhodnocen jako spolehlivý. V tomto sloupci se mohou objevit tři výsledné hodnoty.

1. Ano – trend byl správně předpovězen, ve skutečnosti došlo k růstu, respektive poklesu, stejně jako v předpovědi. Tato předpověď je dále hodnocena jedničkou, jako úspěšná.
2. Ne – trend byl chybně předpovězen, ve skutečnosti došlo k růstu, respektive poklesu, vice versa v předpovědi. Tato předpověď je dále hodnocena nulou, jako neúspěšná.

<sup>31</sup> Pokud je výsledek menší, než nula je vynásoben hodnotou -1, proto je absolutní hodnota vždy větší nebo rovna nule.

<sup>32</sup> Pokud by výstupy nebyly převedeny na znaménka, podmínky by bylo nutné změnit na „>0“, respektive „<0“.

3. Ne\* – trend byl chybně předpovězen, ve skutečnosti nedošlo ke změně kurzu, avšak model předpověděl růst, respektive pokles Tato předpověď je dále hodnocena 0,5. Předpověď sice nebyla správná, ale vzhledem neexistující změně kurzu nedošlo ke ztrátě.

Poslední situace, kdy model předpoví nulovou změnu, ale ve skutečnosti ke změně dojde, není vyhodnocena, protože síla signálu je nedostatečná, viz rovnice 4.1.

Zisk nebo ztráta jsou vypočítány jako skutečná změna zavíracích kurzů dne, kdy byl indikován signál a dne předchozího. Pokud byl signál správný, hodnota „Ano“, je rozdíl přičten, pokud signál není správný, hodnota „Ne“, je odečten. Pokud byla správnost vyhodnocena „Ne\*“ postupuje se analogicky jako v případě „Ne“, avšak je odečtena nulová hodnota, které reálně neovlivní peněžní prostředky, ale zhorší úspěšnost pravděpodobnosti úspěchu.

Posledním krokem k vyhodnocení signálů je sestavení bilance všech obchodů. Za tímto účelem je vytvořena položka Konto. První hodnota se zapíše den před prvním signálem, který je dostatečně silný, viz výše. Dále se pak tato hodnota zvyšuje, respektive snižuje, podle výsledků jednotlivých signálů, obchodů. Pokud k žádnému obchodu nedojde, zůstává stav konta nezměněn.

Transformace předpovědi z Tab. 1, síla signálů, správnost a výsledky samotného obchodování ukazuje následující tabulka:

Tab. 2: Vyhodnocení předpovědi a obchodů FB. (Zdroj: Vlastní zpracování)

Datum	Předpověď					Síla signálu	Správnost	Zisk / Ztráta	Konto [v USD]
	FIT	FF	CF	RBE	NARX				
31.3.2014	Současnost								<b>60,24</b>
1.4.2014	+	+	+	+	+	5	Ano	2,38	62,62
2.4.2014	+	+	+	0	-	2			62,62
3.4.2014	+	+	-	0	-	0			62,62
4.4.2014	-	-	+	0	+	0			62,62
7.4.2014	-	+	-	0	-	2			62,62
8.4.2014	-	-	-	0	-	4	Ne	-1,24	61,38
9.4.2014	+	+	+	0	+	4	Ano	4,22	65,60
10.4.2014	+	-	-	0	-	2			65,60
11.4.2014	+	-	+	0	-	0			65,60
14.4.2014	-	-	+	0	-	2			65,60
15.4.2014	+	+	+	0	-	2			65,60
16.4.2014	-	+	+	0	+	2			65,60
17.4.2014	+	-	+	0	+	2			65,60
21.4.2014	+	+	+	0	+	4	Ano	2,30	67,90
22.4.2014	-	+	-	0	-	2			67,90
23.4.2014	+	-	+	0	+	2			67,90
24.4.2014	-	-	-	0	-	4	Ano	0,49	68,39
25.4.2014	+	-	+	0	+	2			68,39
28.4.2014	+	+	-	0	+	2			68,39
29.4.2014	-	+	+	0	+	2			68,39
30.4.2014	-	-	+	0	-	2			68,39
1.5.2014	+	-	-	0	+	0			<b>68,39</b>

Zvýrazněné hodnoty v posledním sloupci jsou původní a počáteční stav obchodování. Připojením informací z Tab. 1 je možné provést vyhodnocení celé investice v porovnání s výkonem trhu, tedy tak zvanou **pasivní investicí**, při které by akcie byla držena po celé období bez jakéhokoli obchodování:

Tab. 3: Vyhodnocení investice do akcie FB. (Zdroj: Vlastní zpracování)

Obchodování		Aktivní	Pasivní
Pokyny	ziskové	4	1
	ztrátové	1	
Úspěšnost pokynů		80%	
Počáteční stav		\$ 60,24	\$ 60,24
Konečný stav		\$ 68,39	\$ 61,15
Výsledek	absolutní	\$ 8,15	\$ 0,91
	relativní	13,53%	1,51%

Generované signály byly ve většině případů správné, postihly tři nejvyšší denní růsty v rámci celého měsíce a to:

- 1. 4. 2014 + 2,38 USD,
- 9. 4. 2014 +4,22 USD,
- 21. 4. 2014 +2,30 USD.

Systém úspěšně identifikoval pouze jediný klesající signál:

- 24. 4. 2014 -0,49 USD.

Systém nedokázal indikovat velké poklesy 3., 10. a 25. 4. 2014, které měly absolutní hodnotu větší než 3 USD. Celkový zisk 8,15 USD tak vzhledem k počáteční investici 60,24 USD představuje zhodnocení 13,53% p. m. Alternativní pasivní investice by po měsíci držení získala 0,91 USD, což vzhledem k počáteční investici 60,24 USD představuje zhodnocení 1,51% p. m. Aktivní přístup v tomto případě znamenal nárůst zhodnocení o 12,02% p. m., což znamená téměř osminásobné překonání trhu.

#### 4.2.2 Obchodování s klesajícím titulem

Jako klesající titul byly vybrány akcie CME Group Inc. (CME), které od prosince 2013 klesají. Hospodaření samotné společnosti je ztrátové, proto se jedná o typického představitele medvědího trhu.

Tab. 4: Předpověď akcie CME [v USD] (Zdroj: Vlastní zpracování)

Datum	Skutečný kurz	Skutečná změna	Předpověď				
			FIT	FF	CF	RBE	NARX
31.3.2014	74,02		Současnost				
1.4.2014	72,66	-1,36	73,43	75,08	68,74	73,96	74,41
2.4.2014	72,27	-0,39	73,36	74,86	70,93	73,96	74,55
3.4.2014	72,18	-0,09	73,92	74,86	70,29	73,96	74,70
4.4.2014	70,6	-1,58	74,33	75,76	77,41	73,96	75,18
7.4.2014	67,59	-3,01	74,13	75,56	73,35	73,96	73,51
8.4.2014	69,13	1,54	75,64	76,62	78,46	73,96	75,76
9.4.2014	69,53	0,4	75,44	76,76	73,55	73,96	75,67
10.4.2014	68,37	-1,16	77,17	76,72	78,83	73,96	77,05
11.4.2014	66,95	-1,42	76,79	76,36	77,69	73,96	76,14
14.4.2014	67,25	0,3	75,68	76,23	76,53	73,96	75,90
15.4.2014	67,79	0,54	75,66	76,68	78,43	73,96	75,65
16.4.2014	68,73	0,94	75,23	75,91	75,36	73,96	75,33
17.4.2014	69,3	0,57	75,93	75,94	76,38	73,96	76,37
21.4.2014	69,43	0,13	75,70	76,55	78,98	73,96	75,85
22.4.2014	71,14	1,71	73,85	75,30	72,81	73,96	72,93
23.4.2014	71,4	0,26	75,36	76,28	80,46	73,96	75,77
24.4.2014	70,9	-0,5	71,53	74,67	60,13	73,96	72,98
25.4.2014	70,39	-0,51	76,96	77,23	77,35	73,96	77,02
28.4.2014	70,75	0,36	76,70	76,99	77,65	73,96	76,59
29.4.2014	70,83	0,08	76,48	76,30	74,66	73,96	75,70
30.4.2014	70,39	-0,44	75,30	75,81	77,23	73,96	75,32
1.5.2014	70,68	0,29	74,96	75,29	74,67	73,96	75,08

V predikovaném měsíci došlo k velkým poklesům, zejména 4., 7. a 11. dubna, tyto výkyvy byly korigovány růstem 8. a 22. dubna, přesto došlo k celkovému poklesu o 3,34 USD, což je 4,51% za jediný měsíc.

Pokud převedeme vstupy předchozí tabulky na znaménka a vyhodnotíme stejným způsobem, jako u růstového titulu v předchozí kapitole získáme následující tabulku:

Tab. 5: Vyhodnocení předpovědi a obchodů CME. (Zdroj: Vlastní zpracování)

Datum	Předpověď					Síla signálu	Správnost	Zisk / Ztráta	Konto
	FIT	FF	CF	RBE	NARX				
31.3.2014	Současnost								
1.4.2014	-	+	-	0	+	1			
2.4.2014	-	-	+	0	+	0			
3.4.2014	+	+	-	0	+	2			<b>72,18</b>
4.4.2014	+	+	+	0	+	4	Ne	-1,58	70,6
7.4.2014	-	-	-	0	-	4	Ano	3,01	73,61
8.4.2014	+	+	+	0	+	4	Ano	1,54	75,15
9.4.2014	-	+	-	0	-	2			75,15
10.4.2014	+	-	+	0	+	2			75,15
11.4.2014	-	-	-	0	-	4	Ano	1,42	76,57
14.4.2014	-	-	-	0	-	4	Ne	-0,3	76,27
15.4.2014	-	+	+	0	-	0			76,27
16.4.2014	-	-	-	0	-	4	Ne	-0,94	75,33
17.4.2014	+	+	+	0	+	4	Ano	0,57	75,9
21.4.2014	-	+	+	0	-	0			75,9
22.4.2014	-	-	-	0	-	4	Ne	-1,71	74,19
23.4.2014	+	+	+	0	+	4	Ano	0,26	74,45
24.4.2014	-	-	-	0	-	4	Ano	0,5	74,95
25.4.2014	+	+	+	0	+	4	Ne	-0,51	74,44
28.4.2014	-	-	+	0	-	2			74,44
29.4.2014	-	-	-	0	-	4	Ne	-0,08	74,36
30.4.2014	-	-	+	0	-	2			74,36
1.5.2014	-	-	-	0	-	4	Ne	-0,29	74,07

První signál k obchodování byl indikován až na 4. dubna 2014, proto došlo k nákupu den předem a stav ve sloupci „Konto“ je načten až v tomto okamžiku.

System správně identifikoval významné změny kurzu:

- 7. dubna 2014,
- 8. dubna 2014,
- 11. dubna 2014.

V těchto dnech byla vytvořena většinu zisku celého období. Špatně byly vyhodnoceny významné změny 4. a 22. dubna. Stručné zhodnocení ukazuje následující tabulka:

Tab. 6: Vyhodnocení investice do akcie CME. (Zdroj: Vlastní zpracování)

Obchodování		Aktivní	Pasivní
Pokyny	ziskové	6	1
	ztrátové	7	
Úspěšnost pokynů		46%	
Počáteční stav		\$ 72.18	\$ 74,02
Konečný stav		\$ 74.07	\$ 70,68
Výsledek	absolutní	\$1.89	\$ -3,34
	relativní	2.62%	-4.51%

Z hlediska úspěšnosti predikce šlo o jednu z nejhorších předpovědí, dosažená úroveň 46% je velmi slabá. Systém identifikoval zásadní změny kurzu, ale hůře vyhodnotil změny menšího významu, které negativně ovlivnili celkový výsledek, který tak mohl nabýt vyšších hodnot. Celkově však byl model ziskový (\$ +1,89) s relativní měsíční ziskovostí 2,62%.

Titul, vybraný jako klesající, klesal i v tomto měsíci (\$ -3,34), relativně -4,51%. Titul tedy dále následuje trend s méně významnými korekcemi. Pokud porovnáme aktivní obchodování s pasivní investicí, zjistíme, že rozdíl mezi nimi činí \$ 5,23, což představuje 7,25%, respektive 7,07%, pokud použijeme porovnání s aktivním přístupem, respektive pasivním přístupem. Z tohoto výsledku vyplývá, že signály modelu vedly k více než dva a půl násobnému překonání trhu i při velmi nízké úspěšnosti predikce.

#### 4.2.3 Celkové výsledky obchodování

Celkem bylo obchodováno sedm titulů, viz kapitola 4.2, pro každý titul bylo provedeno sedm simulací, což znamená čtyřicet devět simulací celkem. Průběh jednotlivých simulací a jejich vyhodnocení bylo popsáno v předchozích podkapitolách. Souhrnné výsledky všech simulací jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 7: Vyhodnocení ziskovosti všech predikcí. (Zdroj: Vlastní zpracování)

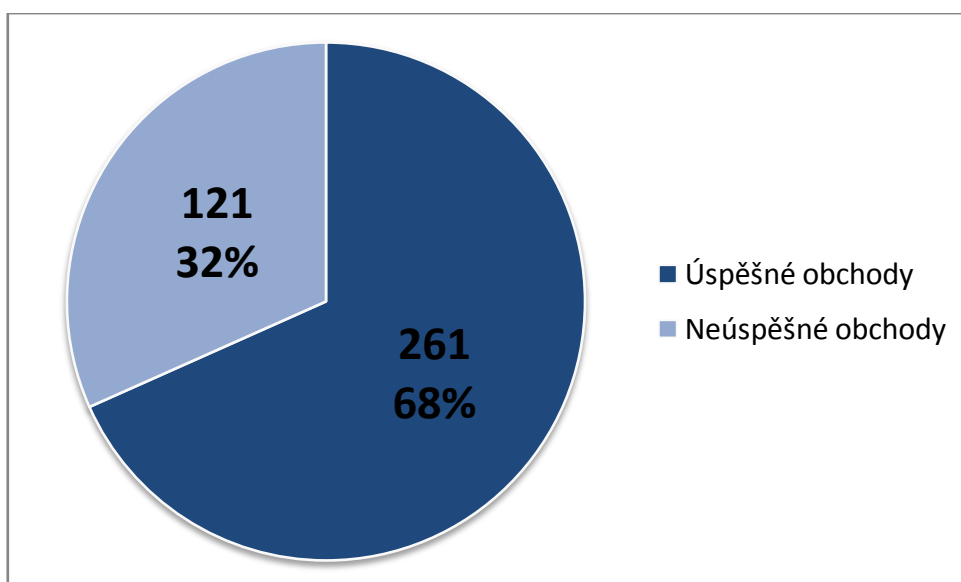
Vyjádření	Přístup	Průměr	Minimum	Maximum
Relativní	Aktivní	3,70%	-0,24%	13,53%
	Pasivní	1,18%	-4,51%	7,35%
	Rozdíl	2,52%	-3,63%	12,02%
Absolutní [v USD]	Aktivní	1,66	-0,18	8,15
	Pasivní	0,89	-3,34	3,85
	Rozdíl	0,77	-2,97	7,24

Průměrná měsíční ziskovost 3,70% aktivního přístupu je relativně dobrý výsledek. Dalším pozitivem je největší dosažená ztráta, která činí pouhých 0,24%, což je v porovnání s pasivními investicemi velmi zásadní výsledek.

Ne vždy však model dokázal předstihnout trh, respektive pasivní investici. Největší zaostání za trhem (minimum rozdílu) bylo o 3,63%, avšak průměrně docházelo k překonání trhu o 2,52% a k největšímu rozdílu dokonce o 12,02% viz Tab. 3.

Položka rozdíl je rozdílem mezi jednotlivým aktivním a pasivním přístupem jednotlivé predikce, nikoli agregovanými daty uvedenými v této tabulce. Hodnota těchto rozdílů se shoduje pouze ve sloupci „Průměr“, ve kterém se tyto rozdíly musí shodovat.

Celkovou úspěšnost všech signálů zobrazuje následující graf.



Graf 17: Vyhodnocení celkové úspěšnosti obchodů (Zdroj: vlastní zpracování)

Celkem proběhlo 382 signalizovaných pokynů, z nichž více než dvě třetiny byly indikovány úspěšně. Spolu s dosaženou ziskovostí tak model postihuje zásadní kurzové změny a profituje na nich.

Před samotnou aplikací je však třeba vzít v úvahu poplatky za jednotlivé obchody. Relativní významnost poplatků klesá s rostoucím objemem. V této práci byl pro jednoduchost obchodován vždy jen jeden kus akcie, což by bylo při reálné aplikaci nerentabilní. Před použitím modelu je tedy nutné vzít v úvahu, zda budou obchodovány dostatečně velké objemy, při kterých bude kurzový rozdíl vyšší, než cena poplatku. Poplatek za obchod snižuje výsledek úspěšného signálu a prohlubuje ztrátu neúspěšného signálu a vede tak ke snížení dosažené ziskovosti tohoto i jiných modelů.

### **4.3 Prostor pro vylepšení**

Žádoucím vylepšením bylo přidání dalších typů neuronových sítí. Které by vycházely z jiných principů či dat, než současně použité sítě, a umožnili tak redukovat nesprávné signály.

Model má fungovat jako samostatný indikátor pokynů, který je použit spolu s jinými metodami fundamentální, psychologické, technické analýzy ke správnému rozhodnutí, pro uživatele by mohlo být přínosné, pokud by se výstupy těchto analýz rovněž generovaly v rámci jednoho modelu.

Stávající model by bylo možné vylepšit použitím pre-procesu, který by indikoval, kdy je vhodné použití modulu `rbe_net`. Pokud je model použit pokaždé, tak v některých případech nabízí nepřínosné výstupy, které nezhoršují výstup systému, ale ani jej nezlepšují, a dále zvyšují náročnost na výkon a čas nutný pro celkový výpočet.

Pro vyhodnocení výstupů jednotlivých modelů by mohlo být přínosné sestavit fuzzy model, který by automaticky vyhodnocoval signály spolu s dalšími vstupy, jako například velikost poplatků, dostatek prostředků pro daný objem obchodu a tak podobně.

Přínosem by rovněž mohlo být převedení kódu programu do spustitelné podoby, která by nevyžadovala vlastnictví licence programu MATLAB, jehož cena pro komerční použití může některé investory odradit. Další možností by byla úprava kódu pro obdobné aplikace jako například GNU Octave, které jsou částečně kompatibilní s MATLAB, které jsou šířeny jako svobodný software.

## ZÁVĚR

Teoretická část popsala problematiku finančního systému a kapitálových trhů. Tyto trhy byly roztrženy a popsány včetně jejich principů a možností obchodování na nich. Rovněž byly popsány metody použití umělé inteligence s důrazem na umělé neuronové sítě.

Analýza současné situace popsala přístupy a způsoby řešení dostupných modelů zabývajících se stejnou problematikou včetně jejich nedostatků,

Návrhovou část práce lze rozdělit do dvou bloků. Prvním blokem je funkční spustitelný programový kód, který je přílohou této práce na CD umístěném na zadních deskách. Tento program se eliminuje nedostatky současných systémů, kterými jsou nízká úroveň generalizace, zaměření na určitý typ instrumentů, použití malého počtu metod s nízkou diverzifikací a použití širokého spektra knihoven funkcí.

Druhý blok podává popis navrženého programu, topologie systému, datových toků mezi jednotlivými prvky i uvnitř těchto prvků včetně principů použitých při jeho návrhu a tvorbě.

Dále jsou v práci podrobně rozebrány dvě vybrané situace, ve kterých byl program použit, a to na rostoucím titulu, akcie Facebook, Inc., a klesajícím titulu, akcie CME Group Inc. Na těchto příkladech bylo ukázáno, jak model generuje příkazy a z nich vyplývající zisk či ztrátu.

Na závěr jsou zhodnoceny výsledky všech 49 simulací, které vedly k 382 signálům k obchodu, z nichž 261 bylo správných. Úspěšnost indikovaných signálů tedy dosáhla 68%. Systém velmi dobře předpovídal zásadní kurzové změny, díky čemuž byla průměrná měsíční výnosnost simulace 3,70%, přičemž stejný koš akcií dosáhl za stejné období zhodnocení pouze 1,18%. Dále systém dokázal být ziskový či výrazně redukovat ztrátu i na klesajících trzích. Nejslabší dosažený výsledek obchodování modelu byl pouze -0,24%, zatím pasivní investice měla minimum -4,51%.

Zohlednění této tak zvané pasivní investice, tedy výsledku, kterého by bylo dosaženo nákupem na začátku a prodeji na konci období bez jakékoli další aktivity, je důležité pro zjištění skutečné přidané hodnoty modelu.

Tyto výsledky tedy lze použít jako podklad pro rozhodnutí, že tento model lze aplikovat jako generátor pokynů či pro predikci změn kurzů akcií, a proto byl splněn cíl návrhové části práce.

Před nasazením modelu je však třeba vzít v úvahu poplatky spojené se samotným obchodem, které jsou závislé především na velikosti obchodu. Dále náklady na investovaný kapitál, jako požadovaná míra výnosnosti či náklady ušlé příležitosti alternativní investice, například termínovaného vkladu, který je navíc méně rizikový.

Stejně jako každý model je i tento pouze zjednodušenou verzí skutečnosti, proto by se jeho výsledky měly používat jako indikátor či opora. Výstup modelu není dogma a při jeho použití je třeba nespoléhat se pouze na umělou inteligenci, ale i na tu vlastní.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DOSTÁL, P. *Pokročilé metody analýz a modelování v podnikatelství a veřejné správě*. 1. vyd. Brno: CERM, 2008. 340 s. ISBN 978-80-7204-605-8.
- [2] DOSTÁL, P. *Advanced Decision Making in Business and Public Services*. CERM, Brno, 2011, 168p., ISBN 978-80-7204-747-5.
- [3] HANSELMAN, D., LITTLEFIELD, B. *Mastering MATLAB7*, Pearson Education International Ltd., UK, 2005, 852s., ISBN 0-13-185714-2.
- [4] THE MATHWORKS. *MATLAB – Neural Network Toolbox – User’s Guide*. The MathWorks, Inc. 2010.
- [5] REJNUŠ, O. *Cenné papíry a burzy*. 2. přepracované vyd. Brno: CERM, 2013, 406 s. ISBN 978-80-214-793-703-1
- [6] REJNUŠ, O. *Finanční trhy*. 3., rozš. vyd. Ostrava: KeyPublishing, 2011, 689 s. KeyPublishing. ISBN 978-80-7418-128-3.
- [7] ROSE, P. S.: *Money and capital markets*, Fifth edition, Boston, IRWIN, 1995. ISBN 0-256-12199-0
- [8] RENFREE, J. *Historical Stock Data downloader*. THE MATHWORKS, Inc. *MathWorks: MATLAB and Simulink for technical computing*[online]. 2008-01-24, 2008-01-29 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/18458-historical-stock-data-downloader>
- [9] UNIVERSITY OF RHODE ISLAND. *MMeas.Intro2*. University of Rhode Island [online]. 2014 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.uri.edu/artsci/newecn/Classes/Art/INT1/Mac/Intro/Circflow.html>
- [10] ČESKÁ NÁRODNÍ BANKA. *F - Česká národní banka*. In: ČESKÁ NÁRODNÍ BANKA. *Česká národní banka* [online]. 2003 - 2014. Praha: Česká národní banka, 2014 [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.cnb.cz/cs/obecne/slovník/>
- [11] SYNEK, M a E. KISLINGEROVÁ. *Podniková ekonomika*. 5., přeprac. a dopl. vyd. Praha: C.H. Beck, 2010, 445 s. ISBN 978-80-7400-336-3.

- [12] HLOBILOVÁ, K. *Analýza trhu drahých kovů*. Brno, 2011. [online] Dostupné z: [http://is.muni.cz/th/206501/esf\\_m/Analyza\\_trhu\\_drahych\\_kovu.pdf](http://is.muni.cz/th/206501/esf_m/Analyza_trhu_drahych_kovu.pdf). Diplomová práce. Masarykova Univerzita. Vedoucí práce Ing. Dagmar Linnertová.
- [13] Zákon č. 539/1992 Sb., o puncovníctví a zkoušení drahých kovů (puncovní zákon) ze dne 4. Listopadu 1992
- [14] ZEMAN, V. *Bankovníctví*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 88 s. ISBN 80-214-3256-X.
- [15] Zákon č. 89/2012 Sb., občanský zákoník §514 ze dne 3. února 2012
- [16] Zákon č. 591/1992 Sb., o cenných papírech §1 ze dne 20. listopadu 1992
- [17] BURZA CENNÝCH PAPÍRŮ PRAHA. Průvodce investora. BURZA CENNÝCH PAPÍRŮ PRAHA. *Burza cenných papírů Praha* [online]. 2014 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.pse.cz/dokument.aspx?k=Pruvodce-Investora>
- [18] KISLINGEROVÁ, E. a kol.: *Manažerské finance*. vyd. 1. Praha: C. H. Beck, 2004. 714s. ISBN 80-7179-802-9
- [19] JIŘÍČEK, P. a M. MORÁVKOVÁ. *Finanční analýza*. Jihlava: Skripta VŠPJ, 2008, ISBN 978-80-87035-14-6
- [20] POSPÍŠIL, J. Akcie: Evropské burzy na vzestupu. *Peníze.cz* [online]. 2004 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.penize.cz/diskuze/16491-akcie-evropske-burzy-na-vzestupu>
- [21] SOJKA, Z. a P. DOSTÁL *Elliottovy vlny*. vyd. 1. Brno: Tribun EU, 2008, 272 s. ISBN 978-80-7399-630-7.
- [22] DOHNAL, M. *Metody investičního rozhodování: studijní text pro denní i kombinovanou formu studia*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 67 s. ISBN 80-214-3133-4.
- [23] ZELINKA, I. Když se řekne umělá inteligence. *Trilobit: odborný vědecký časopis*. 2009, roč. 2009, č. 1. Dostupné z: <http://trilobit.fai.utb.cz/kdyz-se-rekne-umela-inteligence>
- [24] KURBAN, A. O. Analysis of shafts surface pressures using neural networks. *Industrial Lubrication and Tribology*. 2004, vol. 56, issue 4, s. 217 - 225. DOI: 10.1108/00368790410541561. Dostupné z: <http://www.emeraldinsight.com/10.1108/00368790410541561>

- [25] JIŘINA, M. Neuronové sítě. *GERSTNER LABORATORY* [online]. 2003 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: [gerstner.felk.cvut.cz/biolab/33KP/prednasky\\_ann/prezentace\\_ns.ppt](http://gerstner.felk.cvut.cz/biolab/33KP/prednasky_ann/prezentace_ns.ppt)
- [26] KROPÁČ, Jiří. *Statistika A: náhodné jevy, náhodné veličiny, náhodné vektory, indexní analýza, rozhodování za rizika*. 1. vyd. Brno: Jiří Kropáč, 2006, 151 s. ISBN 80-214-3194-6.

## **SEZNAM TABULEK**

Tab. 1: Předpověď akcie FB [v USD] (Zdroj: Vlastní zpracování) .....	56
Tab. 2: Vyhodnocení předpovědi a obchodů FB. (Zdroj: Vlastní zpracování) .....	59
Tab. 3: Vyhodnocení investice do akcie FB. (Zdroj: Vlastní zpracování) .....	60
Tab. 4: Předpověď akcie CME [v USD] (Zdroj: Vlastní zpracování) .....	61
Tab. 5: Vyhodnocení předpovědi a obchodů CME. (Zdroj: Vlastní zpracování).....	62
Tab. 6: Vyhodnocení investice do akcie CME. (Zdroj: Vlastní zpracování) .....	63
Tab. 7: Vyhodnocení ziskovosti všech predikcí. (Zdroj: Vlastní zpracování) .....	64

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Ekonomický systém – dvousektorový model (Upraveno dle: [6, str. 41]).....	14
Graf 2: Ekonomický systém – čtyřsektorový model (Upraveno dle: [9]).....	15
Graf 3: Rozdělení finančního trhu (Upraveno dle: [5] a [7]).....	16
Graf 4: OHLC (Zdroj:[6, str. 295]).....	22
Graf 5: Elliottovy vlny (Zdroj:[6, str. 287]) .....	27
Graf 6: Fuzzy zpracování (Zdroj:[1, str. 11]) .....	30
Graf 7: Proces reprodukce (Zdroj:[1, str. 87]) .....	31
Graf 8: Proces reprodukce (Zdroj:[24]).....	32
Graf 9: Kohenova síť (Zdroj:[25]).....	34
Graf 10: Rekurentní síť (Zdroj:[4]).....	35
Graf 11: Schéma modelu. (Zdroj:vlastní zpracování) .....	40
Graf 12: Učení fit_net(Zdroj:vlastní zpracování v MATLAB) .....	46
Graf 13: Učení ff_net (Zdroj:vlastní zpracování v MATLAB) .....	48
Graf 14: Učení cf_net (Zdroj:vlastní zpracování v MATLAB).....	49
Graf 15: Učení rbe_net (Zdroj:vlastní zpracování v MATLAB).....	51
Graf 16:Učení narx_net (Zdroj:vlastní zpracování v MATLAB).....	52
Graf 17: Vyhodnocení celkové úspěšnosti obchodů (Zdroj:vlastní zpracování).....	64

## **SEZNAM PŘÍLOH**

**PŘÍLOHA Č. 1: CD S MODELEM.....KAPSA DESEK**