

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

Fakulta strojního inženýrství  
Faculty of mechanical engineering

Ústav automatizace a informatiky  
Institute of automation and IT



**Predikce v projektech s využitím Markovských  
řetězců**

**Prediction in projects using Markov chains**

Teze disertační práce – Dissertation thesis summary

**Ing. Jan Doležal**

**Brno 2010**

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

Fakulta strojního inženýrství  
Faculty of mechanical engineering

Ústav automatizace a informatiky  
Institute of automation and IT



**Predikce v projektech s využitím Markovských  
řetězců**

**Prediction in projects using Markov chains**

Teze disertační práce – Dissertation thesis summary

Studijní obor: Metrologie a zkušebnictví

Vypracoval: Ing. Jan Doležal

Školitel: doc. Ing. Branislav Lacko, CSc.

**Brno 2010**

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Projekt, management, predikce, Markovský řetězec, podpora rozhodování

## **KEYWORDS**

Project, management, prediction, Markov chain, decision support

## OBSAH

KLÍČOVÁ SLOVA.....	2
OBSAH.....	3
1 ÚVOD .....	5
1.1 Stavby projektu a jejich zjišťování.....	5
1.2 Nové požadavky na predikci projektů.....	6
2 CÍL A OBSAH PRÁCE .....	7
3 POUŽITÉ METODY .....	8
3.1 Metoda EVM.....	8
3.2 Metoda Black Box a konečný automat .....	9
3.3 Konečný automat.....	10
3.4 Markovské řetězce.....	12
3.5 Modelování a simulace.....	13
4 SOUČASNÝ STAV V OBLASTI PREDIKCE PROJEKTŮ .....	14
4.1 Predikce nákladů v KVM.....	14
4.2 Predikce nákladů dle logistické funkce .....	15
4.3 Vyhodnocení .....	15
5 NÁVRH DALŠÍHO PŘÍSTUPU K PROBLEMATICE .....	16
6 PREDIKCE POMOCÍ MARKOVSKÉHO MODELU PROJEKTU .....	17
6.1 Možné přechody mezi stavy a jejich pravděpodobnost .....	20
6.2 Úprava modelu podle faktorů kontextu projektu .....	21
6.3 Výpočet vlivu směru působení .....	22
6.4 Výpočet vlivu „síly“ působení .....	22
6.5 Doplnění vlivu výchozího stavu.....	23
6.6 Úprava pro praktické použití.....	24
7 ZÁVĚR.....	27
8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	29
9 ŽIVOTOPIS - ING. JAN DOLEŽAL.....	31
ABSTRAKT .....	34



## 1 ÚVOD

V současné době se realizuje velké množství různých akcí, které splňují některé společné atributy, jako jedinečnost, rizikovost, vymezenost, složitost, rozsáhlost atp., které nazýváme projektem, jedinečným procesem změny ze stávajícího stavu do stavu cílového. Tímto procesem se obecně zabývá projektové řízení, jakožto obor lidské činnosti a poznání.

V případě projektu se většinou jedná o značně složitý proces, s množstvím vnitřních i vnějších vazeb a chceme-li úspěšné projekty, je nutné použít určité postupy, které jsou dnes již různě standardizovány.

Např. kvalitou projektů se v obecné rovině zabývá i rozšíření rodiny směrnic ISO 9000 [12], směrnice ISO 10 006 [13]. Obecnými mezinárodními standardy projektového řízení jsou PMBoK [14], IPMA Competence Baseline [15] a další.

Ve všech těchto standardech je uvedeno, že projekt, ostatně jako každý proces, musí být průběžně monitorován, kontrolován, měřen a regulován, pokud má být efektivně řízen k dosažení cíle. Abychom toho byli schopni, musíme znát aktuální stav příslušného projektu a odchylku tohoto stavu od stavu plánovaného.

Na projekty je přitom běžné nahlížet jako na procesy, které se dají rozčlenit na řadu podprocesů, rozdělit na různé fáze a mají své životní cykly v určitém časovém členění. To je pohled, který předpokládá určitou kontinuitu, spojitost, což je v souladu s reálným průběhem projektu.

Pokud se však zaměříme na metody sledování a vyhodnocování průběhu projektů, zjistíme, že nejsou navrženy ani prováděny spojitě. Projekty nejsou sledovány a vyhodnocovány průběžně v každém okamžiku, ale diskrétně, v nespojitých časových okamžicích.

### 1.1 STAVY PROJEKTU A JEJICH ZJIŠŤOVÁNÍ

V závislosti na typu a rozsahu projektu bývají různé časové intervaly mezi kontrolami průběhu realizace. Zpravidla se kontroluje při každém milníku a v určitých intervalech mezi nimi. Obvykle se jedná o nějakou formu kontrolního dnu nebo schůzky projektového týmu, kdy je oproti plánu vyhodnoceno čerpání rozpočtu, odvedená práce (vytvořené výstupy) a plnění časového harmonogramu.

Jednou z dnes často používaných metod pro sledování průběhu projektu je metoda „řízení dosažené hodnoty“ (EVM – Earned Value Management). Jejím výstupem je řada indexů a parametrů, které určují aktuální stav projektu vzhledem k času, zdrojům a vytvořené hodnotě. Tyto indexy se dají různě kombinovat a přepočítávat, čímž je metoda schopna poměrně přesně popsat aktuální stav projektu.

Zjištění stavu je přitom provedeno na základě porovnání plánu se skutečností, která je zjištěna na základě zpráv jednotlivých členů projektového týmu. Tedy v podstatě nezávisle na předchozích zprávách a stavech, což odpovídá i realitě, která je značně proměnlivá. Děje se velké množství změn v rámci projektu i v jeho okolí.

Určení stavu projektu lze tedy chápat i jako pozorování určitého děje v pravidelných časových okamžicích, na který působí zcela náhodné veličiny. Stejně jako například sledování provozu na dálnici a zaznamenávání počtu projetych vozidel v pravidelných časových intervalech.

V tomto pojetí lze tedy i výstupy ze sledování projektu chápat jako diskrétní náhodnou veličinu. Náhodnost však nebude úplná, přeci jen budeme zřejmě schopni nalézt určité vazby, minimálně mezi dvěma po sobě jdoucími stavy. Například, pokud je projekt silně opožděn oproti směřnému plánu, tak i když realizujeme nápravná opatření, další stav může sice vykazovat zlepšení, ale je pravděpodobné, že projekt bude stále zpožděn, i když o něco méně.

Můžeme si tedy projekt představit jako dynamický systém, ve kterém je možné zachytit vazby mezi po sobě následujícími jeho stavy. Takovýto systém lze popsat a modelovat.

## 1.2 NOVÉ POŽADAVKY NA PREDIKCI PROJEKTŮ

Projekty jsou většinou náročné finančně a jsou zpravidla omezeny časem a dalšími podmínkami. Jakékoliv porušení těchto podmínek (zdržení, přečerpání zdrojů) stojí téměř vždy finanční prostředky navíc. Plány takovýchto akcí jsou proto zpracovávány velmi ambiciózně a téměř bez rezerv tak, aby byly náklady minimální. Dodržení takového plánu je pak v realitě velmi náročné, protože proměnlivost prostředí je velká.

I z toho důvodu pravidla obsažená v PM BOK (Project Management Body of Knowledge) [14] a ICB (IPMA Competence Baseline) z poslední doby [15] vyžadují, aby v rámci reportingu o projektu nebyl popisován pouze aktuální stav projektu, ale aby byla uváděna i predikce dalšího vývoje projektu, bez které nelze včas aplikovat případná opatření na eliminaci nechtěných odchylek od plánu. Na tuto novou skutečnost již bylo upozorňováno po roce 2000 např. na seminářích Společnosti pro projektové řízení [26].

Pouhá reakce na skutečný stav přichází většinou příliš pozdě. Projekt lze vnímat i jako systém s určitou dynamikou, ve kterém se veškeré akce projeví až s určitým zpožděním. Proto je třeba vývoj předvídat a zasahovat spíše preventivně.

Zatímco metod pro určení současného stavu existuje celá řada [26], pro oblast predikce prozatím téměř žádné metody, kromě více či méně kvalifikovaného odhadu, neexistují.

Přitom taková metoda predikce by měla být nástrojem, který nám v každé fázi rozpracovanosti ukáže, kam projekt směřuje, zda je potřeba vyvíjet nějakou činnost k nápravě a jaká by tato činnost měla být.

## 2 CÍL A OBSAH PRÁCE

Cílem této práce je vyvinutí metodiky pro predikci budoucích stavů projektů nahlížených jako náhodného nespojitého procesu různých stavů tak, aby byl poskytnut nástroj pro lepší predikci vývoje projektů a potřeby realizace nápravných akcí. Metodika by měla být zcela obecná, nezávislá na typu nebo rozsahu projektu. Zároveň by metodika měla umožňovat what-if analýzu zamýšlených aktivit. Součástí práce bude ověření použitelnosti Markovských řetězců pro predikci v projektech, proto je pro predikci zvolen právě tento matematický aparát.



## 3 POUŽITÉ METODY

### 3.1 METODA EVM

Rozsáhlé projekty (několik stovek až tisíce činností), zejména investičního charakteru, využívají metody založené na řízení dosažené hodnoty projektu EVM (*Earned Value Management*) [20], která byla vyvinuta v šedesátých letech v USA. Někdy se tato metoda také označuje zkratkou C/SCSC (*Cost / Schedule Criteria System Control*), zejména v oblasti vojenských projektů ministerstva národní obrany USA a návazných státních projektů. V minulosti se označovala zkratkou EVA (*Earned Value Analysis*). Od této zkratky se upustilo, aby se nezaměňovala se zkratkou EVA - *Economic Value Added*.

Metoda EVM je podporována např. produktem počítačové podpory projektového řízení firmy Primavera a částečně také produktem MS Project.

Tato metoda je obecně uznávána v mezinárodních projektech investiční výstavby, v projektech takových organizací jako např. NASA apod. U nás ji např. musely použít firmy, pokud se chtěly zúčastnit na stavbě železničních koridorů – její použití bylo podmínkou účasti ve výběrovém řízení.

Cílem metody řízení dosažené hodnoty je vyhodnotit hodnotu vykonaného úsilí na projektu v okamžiku kontroly tak, aby bylo možno posoudit časový postup projektu ve vazbě na vynaložené náklady a odvedenou práci (výkon). [20]

Základem celé metody je stanovení několika základních ukazatelů (na základě plánu a zpráv o skutečném stavu projektu), pomocí kterých je určen aktuální stav projektu nebo jsou dalším přepočtem zjišťovány i další ukazatele. Těmito základními ukazateli jsou:

#### *PV – Planned Value*

Plánovaná hodnota rozpracovanosti, v podstatě údaj, jaká hodnota by měla být v daný časový okamžik vytvořena, pokud by šel projekt přesně podle plánu.

#### *AC – Actual Costs*

Skutečné náklady provedených prací v daném časovém okamžiku, aneb kolik bylo doposud utraceno prostředků.

#### *EV – Earned Value*

Procentuelní hodnota rozpracovanosti projektu v daném časovém okamžiku, aneb aktuální skutečná hodnota, kterou jsme vytvořili v poměru vůči plánu.

### *BAC – Budget At Completion*

Celkový rozpočet při dokončení, aneb jaká je výše rozpočtu podle plánu v okamžiku dokončení projektu.

Pokud budeme ukazatele vzájemně porovnávat a jako referenční bod použijeme ukazatel EV (skutečně vytvořená hodnota v daný časový okamžik), můžeme vůči němu srovnávat PV i AC. Obdržíme odchylky nákladů (*CV – Cost variance*) a odchylku času (*SV – Schedule variance*).

$$CV = EV - AC; \quad SV = EV - PV \quad (1)$$

K dalším výpočtům budeme již potřebovat určit odvozené indexy, a to index výkonu podle nákladů (*CPI – Cost performance index*) a index výkonu podle času (*SPI – Schedule performance index*):

$$CPI = \frac{EV}{AC}; \quad SPI = \frac{EV}{PV} \quad (2)$$

CPI má obvykle význam, že pokud je roven jedné, probíhá čerpání nákladů shodně s plánem. Pokud je menší než jedna, skutečné náklady jsou vyšší než plánované, což je nepříznivá skutečnost. Pokud je větší než jedna, pak čerpané náklady jsou nižší než plánované, což může být výhoda, pokud to nebrzdí provádění plánových činností. [20]

SPI má obvykle význam, že pokud je roven jedné, probíhá vše v časovém plánu. Pokud má hodnotu větší než jedna, probíhají práce v předstihu, což je velmi dobré (pokud tím netrpí kvalita odváděných prací nebo tak řízení finančního toku projektu). Pokud je menší než jedna, dochází při plnění činností ke zpoždování.

Výše uvedené indexy se dají použít k další jednoduché predikci vývoje projektu.

## **3.2 METODA BLACK BOX A KONEČNÝ AUTOMAT**

Na projekt se můžeme na nejvyšší úrovni rozlišení dívat jako na systém, který má vstup a výstup, který postupně mění svoje stavy, jež zkoumáme. Takový přístup ke zkoumání systémů je v kybernetice znám jako metoda černé skříňky (*Black Box Method*).

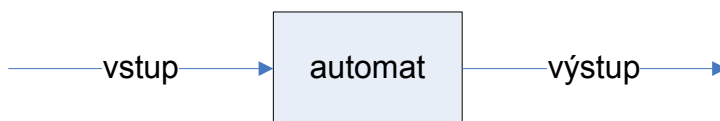
Metodu zkoumání systémů prostřednictvím pojmu „black box“ podrobně popsal W. R. Ashby při zkoumání homeostatických systémů [9].

Pro popis a zkoumání takových systémů je možno aplikovat v rámci kybernetiky teorii konečných automatů [7]. Tato teorie chápe konečný automat jako abstraktní systém  $\Omega$ , popsany konečnou neprázdnou množinou stavů  $\Sigma$ , konečnou množinou vstupních znaků  $\Psi$ . Fungování konečného automatu jako reakce na vstupní znaky v jednotlivých pracovních taktách je popsáno pomocí zobrazení  $\delta$ , kde  $\delta$  je definováno jako zobrazení z  $\Psi \times \Sigma$  do  $\Sigma$ .

Stavy konečného automatu lze za určitých podmínek ztotožnit s již dříve definovanými stavy podle metody EVM a za vstupní znaky, které ovlivňují přechod z jednoho stavu do druhého, lze považovat jednotlivé zásahy projektového týmu, různé nahodilé události, požadavky na změny v projektu, apod.

### 3.3 KONEČNÝ AUTOMAT

Konečný automat je systém s jedním vstupem a jedním výstupem (Obr. 1). Konečný automat má dále k dispozici konečný počet reakcí (resp. složek reakcí), které nakupeny za sebou dávají možnost nekonečného počtu reakcí. [16]



**Obr. 1: Nejobecnější schéma konečného automatu**

V každém časovém okamžiku může být na vstupu jen jeden signál (označme  $\Psi$ ). Z toho plyne, že čas si musíme představovat tak, jakoby plynul ve skocích, po kvantech. Takovýchto signálů je vždy konečné množství. Množinu vstupních znaků značíme  $\Psi$ .

Abstraktně si lze představit, že konečný automat má jeden výstupní kanál (označíme  $K$ ), na kterém se objevují různá „písmena“ z výstupní abecedy  $\kappa_1 \dots \kappa_a$  (tuto množinu výstupních znaků si můžeme označit jako  $K$ ).

Konečný automat je charakterizován konečnou neprázdnou množinou vnitřních stavů  $\Sigma$  (jednotlivé vnitřní stavy označíme  $\Sigma$ ).

Vzhledem k výše uvedenému pojetí času hovoříme o determinovaných automatech. To znamená, že danou vstupní hodnotou a určitým vnitřním stavem v čase  $t$  je jednoznačně určena hodnota výstupu v čase  $t$  a zároveň další hodnota vnitřního stavu pro okamžik  $t+1$ .

Základními typy konečného automatu jsou Moorův automat a Mealyho stroj. Moorův automat patří do skupiny konečných automatů v užším smyslu. Stav výstupu závisí jen na paměti. Mealyho stroj patří do skupiny sekvenčních strojů. Všechny typy automatů lze převést na Mealyho stroj, respektive vytvořit Mealyho stroj, který bude pracovat stejně [16].

Konečný automat lze zadat definováním parametrů množin  $(\Psi, \mathbf{K}, \Sigma)$  a funkcí  $F$  a  $\Phi$ . Vytvoříme tak určitý konečný automat. Řekněme, že množina  $\Psi$  má  $n$  prvků, množina  $\mathbf{K}$  má  $l$  prvků a množina  $\Sigma$  má  $m$  prvků. Písmena  $n, l, m$  jsou celá kladná čísla.

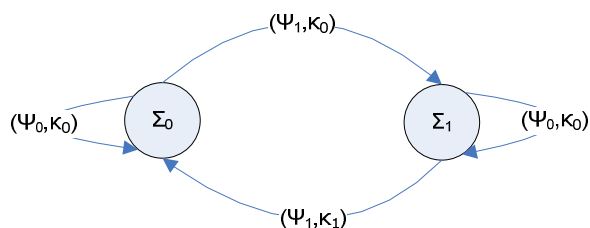
Může nastat i případ, kdy  $n=l=m$ . Použijeme to jako jednoduchý příklad, budeme mít tedy automat, který rozeznává dva vstupní signály, má dva stavy paměti a může reagovat dvěma způsoby.

Způsob reakce bude záležet na funkcích  $F$  a  $\Phi$ . Zadání může být provedeno například tabulkou (tzv. sjednocená tabulka funkcí konečného automatu – Mealyho stroje). V hlavičkách tabulky leží hodnoty proměnných  $\Psi^t$  a  $\Sigma^t$ , uvnitř tabulky pak hodnota  $\mu^t = \Sigma^{t+1}$ , tedy  $\Sigma$  pro další takt viz Tab. 1:

**Tab. 1: Sjednocená tabulka funkcí konečného automatu**

$\Psi \setminus \Sigma$	$\Sigma_0$	$\Sigma_1$
$\Psi_0$	$\Sigma_0 \kappa_0$	$\Sigma_1 \kappa_0$
$\Psi_1$	$\Sigma_1 \kappa_0$	$\Sigma_0 \kappa_1$

Takováto tabulka zadává obě funkce  $F$  a  $\Phi$ . Vidíme například, že  $\Phi(\psi_1^t, \Sigma_1^t) = \Sigma_0^{t+1}$  a  $F(\psi_1^t, \Sigma_1^t) = \kappa_1^t$ , viz vztahy (15) a (16) atd. Jiným způsobem zadávání může být například orientovaný graf na Obr. 2 (uvažujeme stejný příklad):



**Obr. 2: Orientovaný diagram přechodu stavů konečného automatu**

V kroužcích jsou vnitřní stavy konečného automatu, šipky naznačují možnosti změn mezi stavy. V souladu s tabulkou, pokud bude automat ve stavu  $\Sigma_0$  a na vstup přijde signál  $\Psi_1$ , automat přejde do stavu  $\Sigma_1$  a výstupní znak bude mít hodnotu  $\kappa_0$ .

### 3.4 MARKOVSKÉ ŘETĚZCE

Markovské řetězce představují pravděpodobnostní model, ve kterém výsledek náhodného pokusu závisí pouze na výsledku bezprostředně předcházejícího pokusu. Veškerá starší historie se zanedbává.

Model, který se nazývá Markovský řetězec, sestavil ruský matematik A. A. Markov na začátku 20. století. Postupně byly základní principy jeho přístupu dalšími odborníky rozvíjeny a začaly se používat v celé řadě aplikací [21].

Základem pojetí je stav systému a přechod mezi stavy systému. Při sestrojování modelu (řetězce) jde především o určení množiny možných stavů systému a možností přechodů mezi těmito stavy, přičemž platí, že jde o náhodnou posloupnost, v níž výsledek  $n$ -tého pokusu závisí pouze na  $n-1$  pokusu a nezávisí na výsledcích ostatních předcházejících pokusů (markovská vlastnost).

Budeme se zabývat pouze homogenními procesy, které jsou diskrétní v čase i ve stavech [24].

Pravděpodobnost přechodu ze stavu  $s_i$  do stavu  $s_j$  během jednoho kroku nazýváme jedнокrokové podmíněné pravděpodobnosti přechodu při  $m$ -tém pokusu a značíme  $p_{i,j}^{(m)}$ . Vzhledem k tomu, že uvažujeme pouze homogenní řetězec, není okamžik  $m$  (okamžik pokusu) důležitý a  $p_{i,j}^{(m)} = p_{i,j}$ . Všechny možné stavy jsou obsaženy v množině  $S$ . Platí:

$$\sum_{j \in S} p_{ij} = 1, i \in S \quad (3)$$

Popis takového systému je možné provést maticí přechodu, což je čtvercová matice sestavená z jedнокrokových podmíněných pravděpodobností přechodu. Pokud uvažujeme homogenní proces, analogicky vyplývá, že:

$$\mathbf{P}^{(m)} = \mathbf{P} = \{p_{i,j}\} \quad (4)$$

z čehož vyplývá, že všechny řádkové součty matice  $\mathbf{P}$  jsou rovny jedné [24].

Zápis matice přechodů homogenního Markovského řetězce může být v podobě:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Vektor absolutních pravděpodobností stavů v okamžiku  $m$ :

$\mathbf{p}(m) = (p_1(m), p_2(m), \dots, p_n(m))$ ,  $m = 0, 1, 2, \dots$  obsahuje pravděpodobnosti, že v daném okamžiku je systém ve stavu  $s_1, s_2, \dots, s_n$ .

Vektor počátečních pravděpodobností pak popisuje stav systému v okamžiku  $m=0$ , případně v okamžiku vzniku systému [24].

Zadáním vektoru  $\mathbf{p}(0)$  a stochastické matice přechodů  $\mathbf{P}$  je Markovský řetězec plně popsán (v pravděpodobnostním smyslu), neboť platí vztah

$$\mathbf{p}(m) = \mathbf{p}(m-1) \cdot \mathbf{P} = \mathbf{p}(0) \cdot \mathbf{P}^m, \text{ Pro } m=1, 2, \dots \quad [21] \quad (6)$$

Postupný vývoj systému v po sobě jdoucích diskretních krocích lze tedy počítat několika různými, vzájemně ekvivalentními způsoby. Vzhledem k náročnosti výpočtu mocnin matice se obvykle využívá postupný výpočet (kdy je aktuální stav vynásoben maticí přechodu).

### 3.5 MODELOVÁNÍ A SIMULACE

Modelem je rozuměno zjednodušené zobrazení skutečnosti, části objektivní reality. Modelem jsou zobrazovány pouze vybrané znaky předlohy, které nás v konkrétním případě zkoumání zajímají. Problematika modelování a simulace je spojena s nástupem kybernetiky a byla popsána v publikaci R. Ashbyho již v roce 1966 [9] a následně i u nás odborníkem na kybernetiku J. Klírem [27]. Oba autoři ve svých publikacích popsali základní principy modelování a simulace.

Modelování je experimentální proces, při němž se zkoumanému originálu, reálnému objektu, dílu, stroji – *modelovanému systému* – jednoznačně podle určitých kritérií přiřazuje fyzický nebo abstraktní model – *matematický model*, jiný systém.

Matematický model již neumožňuje provádět experimenty stejné fyzikální podstaty, umožňuje nám ale zkoumat jevy probíhající na originále pomocí matematického popisu jejich průběhu. Sestavení matematického modelu vychází z vymezení zkoumaného jevu a definice sledovaných příznaků – definice systému na reálném objektu. Pomocí matematického modelu můžeme zkoumat průběhy sledovaných fyzikálních veličin.

Ověření správnosti modelu a jeho realizace (verifikace modelu), analýzu získaných výsledků a jejich následné využití nazýváme simulací. Je zřejmé, že simulací nerozumíme pouze výpočet řešení modelu, ale celý proces experimentování s modelem. Výpočet představuje pouze sled výpočetních operací a nezahrnuje vztah k řešenému procesu. Modelování a identifikace systémů je proces, jehož cílem je sestavení matematického modelu systému v jedné z uvedených forem.

## 4 SOUČASNÝ STAV V OBLASTI PREDIKCE PROJEKTŮ

Predikce budoucího vývoje projektů není v České republice úplnou novinkou. Tímto problémem se zabývají již dvě disertační práce:

- Ing. Yvona Šlechtová, PhD. (Západočeská Universita v Plzni) rozpracovala možnosti, které se nabízely a vyvinula metodu KVM (Kombinovaná Víceúčelová Metoda), která je založena na metodách EVM (Earned Value Management) a CC (Critical Chain) [2].
- Ing. Jan Dujka, PhD. (VUT Brno) vychází z výše uvedené práce a pro predikci nákladů používá logistickou funkci [1]. I samotná metoda EVM v sobě osahuje určité prvky predikce, byť jen velmi základní [20].

### 4.1 PREDIKCE NÁKLADŮ V KVM

K výpočtu předpovědi je v KVM využito vlastního modelu Ing. Šlechtové, kdy je průběh vývoje nákladů rozdělen na dvě části (konvexní a konkávní). Tento model je možno aplikovat v situacích, kdy jsem schopni určit časový okamžik  $t_1$ , ve kterém dochází ke změně charakteru křivky. Matematické vyjádření má tedy tvar:

$$y = at^2 \quad \text{pro } t \in (0, t_1), \quad (7)$$

$$y = b_0 + b_1\sqrt{t} \quad \text{pro } t \in (t_1, n), \quad (8)$$

kde  $b_0$  jsou známé náklady v okamžiku  $t_1$ . Více viz [2].

Dále jsou odvozeny vzorce přímo pro výpočet jednotlivých indexů metody EVM [20]. Přestože je postup výpočtu dle uvedených vzorců hodnocen jako vhodný, práce se zmiňuje ještě o vhodnějších modelech, založených na logistických funkcích. Tento přístup rozpracoval Ing. Dujka [1].

## 4.2 PREDIKCE NÁKLADŮ DLE LOGISTICKÉ FUNKCE

V disertační práci Ing. Dujky [1] je porovnávána vhodnost logistické funkce a funkce polynomiální (která je zavržena a označena za nevhodnou). Pro odvození vzorce logistické funkce je zde použita Hotellingova metoda.

$$T(t) = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\delta t}}, \quad \text{kde } \alpha > 0, \beta > 1, \delta > 0. \quad (9)$$

Podrobné odvození viz [1], obsahuje postup pro určení jednotlivých parametrů.

## 4.3 VYHODNOCENÍ

Obě metody svým způsobem pokrývají cílovou oblast, nicméně lze nalézt i nedostatky. Oba přístupy vycházejí z výsledků dosažených v minulosti, ale neberou příliš v potaz současný stav nebo očekávané děje v budoucnosti. Včetně plánovaných zásahů projektového týmu, které sice mohou být známy, nicméně metody s nimi nepracují.

Přitom může nastat například nějaký otřes na světových trzích, kdy se nám do projektu může dramaticky promítnout prudká změna kursu nějaké měny, s čímž jsme při plánování nepočítali. Ani jedna z výše uvedených metod není schopna takovouto situaci postihnout.

Použití proloženého polynomu nebo logistické funkce pro předpověď budoucího vývoje je způsob principiálně neschopný postihnout určité skokové změny, jako například již zmíněnou změnu kurzu nebo i důležitý změnový požadavek a další podobně zásadní vlivy. Proložení polynomem je podmíněno hladkou kontinuitou procesu bez velkých výkyvů, která však u projektů není nikdy zajištěna a je spíše vzácným jevem.

U projektů je běžné, že se po určité události mohou vyvíjet zcela rozdílným způsobem než doposud, což uvedené metody nepostihují.

Bylo by tedy vhodné doplnit schopnosti predikce budoucího vývoje projektu o akce, které zamýšlíme provést nebo o kterých víme, že nastanou.



## 5 NÁVRH DALŠÍHO PŘÍSTUPU K PROBLEMATICE

Hlavními nedostatky dřívějších prací jsou nedostatek obecnosti a nemožnost zvažování různých aktuálních opatření (nebo událostí) a jejich vlivu na projekt a jeho další vývoj.

Jako perspektivním se v tomto ohledu jeví vytvoření obecného modelu projektu, s pomocí kterého by šly výše uvedené aktivity simulovat. Takovýto model by mohl být analogický s modelem konečného automatu a simulace by mohla probíhat s použitím Markovských řetězců.

Pokud se jedná o případ, kdy jsou na výstupu znatelné pouze některé stavy, které nicméně závisí na jiných, z vnějšku neviditelných stavech (podobně jako je tomu u výstupní abecedy a přechodových funkcí konečného automatu), jedná se o tzv. skrytý Markovský model, který ve své práci zmiňuje i Ing. Dujka [1], kdy je tato aplikace Markovských řetězců zavrhnuta jako nevhodná. Nejsou nicméně prozkoumány jiné aplikace konceptu Markovských řetězců, jako například ergodické Markovské řetězce, které se pro záměry této práce zdají být velmi slibné.

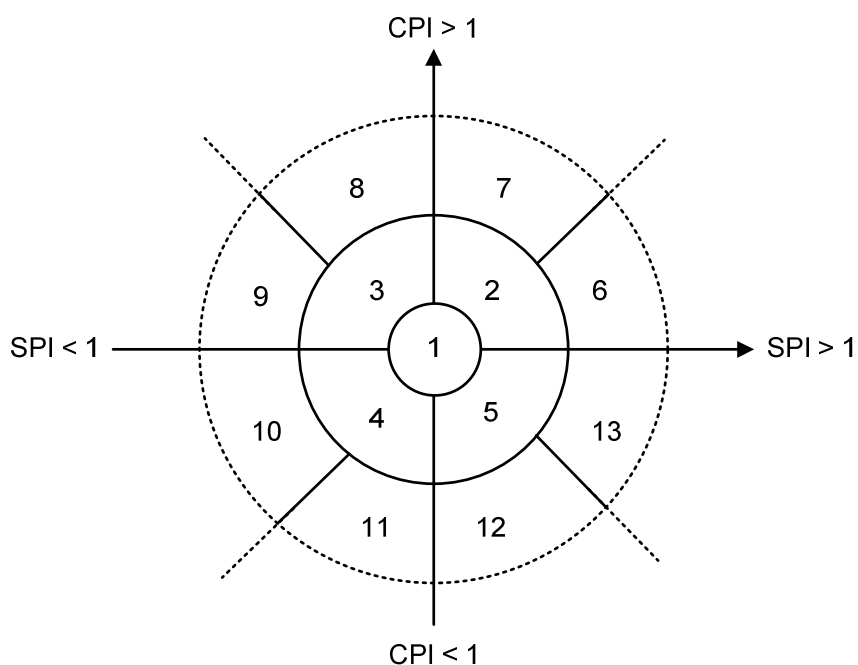
Budeme tedy používat takové modely, jejichž stavy jsou z vnějšku viditelné a reprezentují stavy projektu, tedy jinou aplikaci Markovských řetězců než zvažoval Ing. Dujka. Jednotlivé stavy projektu budou popsány v souladu s pojetím metody Black-Box, která byla použita a definována v rámci kybernetických metod (viz např. W.R.Ashby [9]).

Současné programové vybavení počítačů a jejich výkon dovoluje realizovat složité modely, které při simulaci mohou využívat generátory pseudonáhodných jevů: např. produkt Project Management Forecast pražské firmy TIMING, modul STATEFLOW modelovacího systému MATLAB americké firmy MathWorks, produkt MONTE CARLO americké firmy PRIMAVERA).

Pro výpočet zde uvedeného řešení navrhuji použít běžně dostupný MS Excel, který zvládá i poměrně složité výpočty matic apod., právě z důvodu jeho všeobecného rozšíření.

## 6 PREDIKCE POMOCÍ MARKOVSKÉHO MODELU PROJEKTU

V praktickém užití metody EVM jsou obvykle vymezeny určité dovolené odchylky, tzv. obálky projektu, které jsou v grafickém vyjádření reprezentovány kružnicemi se středem v bodě [1;1] a obvykle mají význam velikosti problémů, v jakých se projekt nachází (čím blíže středu v bodě [1;1], tím je projekt více podle plánu a jeho problémy jsou menší a naopak, čím dále od středu tím jsou problémy větší. Využijme tento fakt k vymezení stavů, se kterými budeme dále pracovat. Definujme tedy stavy podrobnějším způsobem tak, jak je uvedeno na Obr. 3.



**Obr. 3: Podrobnější rozdělení stavového prostoru CPI - SPI**

Jednotlivé stavy definujme na základě zkušeností (může se pro různé organizace a projekty lišit) např. podle **Tab. 2**:

**Tab. 2: Významy definovaných stavů**

Stav	Popis
1	Projekt je v rámci tolerance běžných, nevýznamných odchylek a chyb měření stavu projektu. Odchylky se pohybují v rozmezí 5% rozpočtu projektu a časového plánu projektu. To odpovídá intervalu CPI a SPI v rozmezí $\langle 0,95; 1,05 \rangle$ , v případě kombinace pak nižších hodnot.
2	Projekt je ve znatelném předstihu nebo znatelně nedočerpává rozpočet (šetří) nebo se jedná o kombinaci obojího. Index CPI nebo index SPI

	(případně jejich kombinace) vykazují odchylku více než 5% v kladném smyslu, ale méně než 15%. To odpovídá v případě jednoho indexu intervalu $\langle 1,05;1,15 \rangle$ , v případě kombinace pak nižších hodnot.
<b>3</b>	Projekt je ve znatelném zpoždění nebo znatelně nedočerpává rozpočet (šetří) nebo se jedná o kombinaci obojího. Index CPI vykazuje odchylku více než 5% v kladném smyslu, ale méně než 15%, index SPI vykazuje odchylku více než 5% v „záporném“ smyslu, ale méně než 15%. Případně se jedná o kombinaci. To odpovídá v případě CPI intervalu $\langle 1,05;1,15 \rangle$ , v případě SPI intervalu $\langle 0,85;0,95 \rangle$ , v případě kombinace pak nižších hodnot.
<b>4</b>	Projekt je ve znatelném zpoždění nebo znatelně přečerpává rozpočet (utrácí) nebo se jedná o kombinaci obojího. Index CPI nebo index SPI (případně jejich kombinace) vykazují odchylku více než 5% v „záporném“ smyslu, ale méně než 15%. To odpovídá v případě jednoho indexu intervalu $\langle 0,85;0,95 \rangle$ , v případě kombinace pak nižších hodnot.
<b>5</b>	Projekt je ve znatelném předstihu nebo znatelně přečerpává rozpočet (utrácí) nebo se jedná o kombinaci obojího. Index CPI vykazuje odchylku více než 5% v „záporném“ smyslu, ale méně než 15%, index SPI vykazuje odchylku více než 5% v kladném smyslu, ale méně než 15%. Případně se jedná o kombinaci. To odpovídá v případě CPI intervalu $\langle 0,85;0,95 \rangle$ , v případě SPI intervalu $\langle 1,05;1,15 \rangle$ v případě kombinace pak nižších hodnot.
<b>6</b>	Projekt velmi výrazně předstihuje plán a částečně nedočerpává náklady. Jedná se o odchylku času (SPI) větší než 15% (u nákladů není odchylka tolik výrazná). Projekt se dostává zcela mimo plán.
<b>7</b>	Projekt velmi výrazně nedočerpává náklady a částečně předstihuje plán. Jedná se o odchylku nákladů (CPI) větší než 15% (u času není odchylka tolik výrazná). Projekt se dostává zcela mimo plán.
<b>8</b>	Projekt velmi výrazně nedočerpává náklady a částečně je zpožděn. Jedná se o odchylku nákladů (CPI) větší než 15% (u času není odchylka tolik výrazná). Projekt se dostává zcela mimo plán.
<b>9</b>	Projekt velmi je výrazně zpožděn a částečně nedočerpává náklady. Jedná se o odchylku času (SPI) větší než 15% (u nákladů není odchylka tolik výrazná). Projekt se dostává zcela mimo plán.
<b>10</b>	Projekt velmi je výrazně zpožděn a částečně přečerpává náklady. Jedná se o odchylku času (SPI) větší než 15% (u nákladů není odchylka tolik výrazná). Projekt se dostává zcela mimo plán.
<b>11</b>	Projekt velmi výrazně přečerpává náklady a částečně je zpožděn. Jedná se o odchylku nákladů (CPI) větší než 15% (u času není odchylka tolik výrazná). Projekt se dostává zcela mimo plán.
<b>12</b>	Projekt velmi výrazně přečerpává náklady a částečně je v předstihu. Jedná se o odchylku nákladů (CPI) větší než 15% (u času není odchylka tolik výrazná). Projekt se dostává zcela mimo plán.

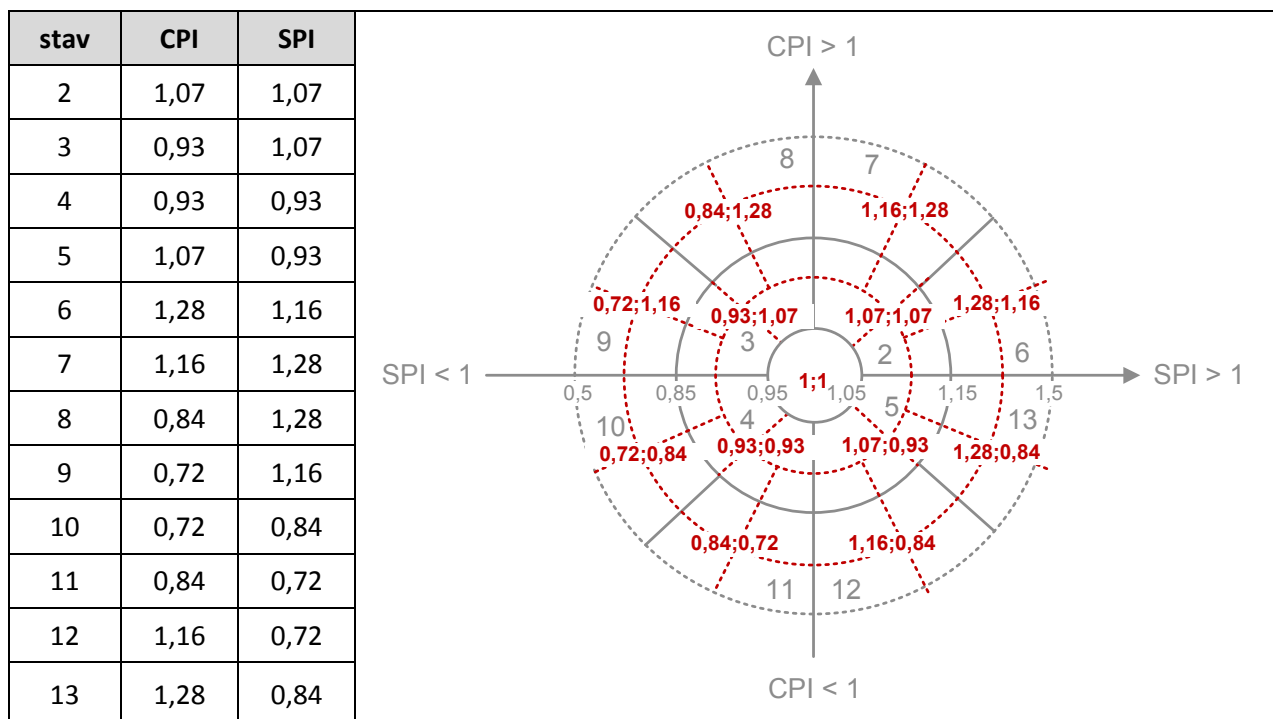
<b>13</b>	Projekt velmi je výrazně v předstihu a částečně přečerpává náklady. Jedná se o odchylku času (SPI) větší než 15% (u nákladů není odchylka tolik výrazná). Projekt se dostává zcela mimo plán.
-----------	---

Je třeba si uvědomit, že např. odchylka nákladů o 10% (některý z „vnitřních stavů“) je již z hlediska řízení takového projektu poměrně významnou. Prostor za hranicemi „vnějších stavů“ (stavy 6,7, atd.) lze vnímat již jako zcela mimo projektový plán a pro podporu řízení projektu je tedy již nemá příliš smysl uvažovat – projekt je v krizi a nelze jej běžnými nástroji projektového řízení vrátit zpět do vyhovujícího stavu a obvykle pak přichází velmi zásadní změny, které kompletně projekt mění.

Velkou výhodou daného pojetí, pocházejícího z metody sledování projektu EVM je reálná možnost interpretace grafického vyjádření stavu projektu podle indexů SPI a CPI. Pomocí rovnic analytické geometrie se dají přesně matematicky vymezit jednotlivé stavy a lze s nimi dále matematicky pracovat.

Obdobný přístup, byť jinak aplikovaný používá např. i Ing. Dujka [1], který odhaduje vývoj CPI a SPI pomocí logistických funkcí (nicméně jde pouze o výpočet pravděpodobného vývoje velikosti daného indexu v čase na základě předchozího vývoje, což neumožňuje simulovat zásahy projektového týmu).

Po výpočtu, dosazení a zaokrouhlení dostáváme tyto souřadnice jednotlivých stavů:

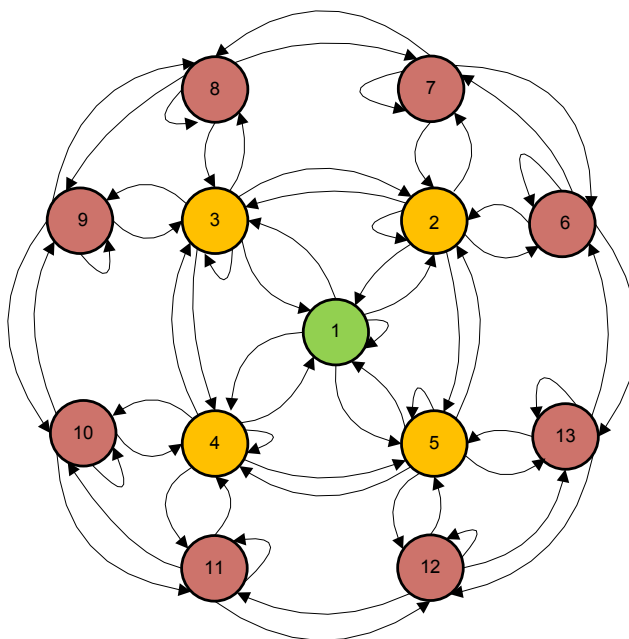


**Obr. 4: Souřadnice stavů ve stavovém prostoru**

Tímto okamžikem máme matematicky nadefinovány jednotlivé stavy, kterých bude moci projekt v rámci našeho modelu nabývat.

## 6.1 MOŽNÉ PŘECHODY MEZI STAVY A JEJICH PRAVDĚPODOBNOST

Dalším určujícím faktem pro sestavení modelu je možnost přechodu z jednoho stavu do druhého. Byť by se dala teoreticky představit i změna z velmi zpožděného a zadluženého projektu k projektu velmi v předstihu a vedoucího ke značným úsporám, pravděpodobnost takového vývoje je velmi, velmi malá.



**Obr. 5: Model přechodů mezi stavy projektu ve stavovém prostoru CPI - SPI**

Pro naše i budoucí použití bude nejvhodnější odvozený matematický vztah, který nám vygeneruje výchozí matici přechodů. Pro pravděpodobnost setrvání ve stejném stavu použijeme vztah:

$$p_{i,i} = \frac{\sum_{i,j}^N p_{i,j}}{N} ; \sum_j^N p_{i,j} = 1, \quad (10)$$

kde N je počet sousedících stavů a  $p_{i,j}$  jsou pravděpodobnosti přechodů do ostatních stavů.

Model si můžeme pak pro účely odvození převedeme do mapy vzdáleností mezi jednotlivými stavy. Pro stavy 2,3,4 a 5 lze veškeré vzdálenosti spočítat jednoduše na základě Pythagorovy věty dosazením jejich souřadnic, které posuneme o -1. Některé další vzdálenosti lze poté vypočítat pomocí prostého porovnání souřadnic. Jde o vzdálenosti rovnoběžné s některou z hlavních os.

Zbylé vzdálenosti je možné také vypočítat za pomoci Pythagorovy věty posunutím o -1 v obou osách a vzájemným porovnáním souřadnic.

Pravděpodobnosti přechodů odvozené od vzdáleností vypočteme jednoduše dle vztahu:

$$p_{i,j} = \frac{1}{d}, \quad \text{pro } i \neq j, \quad (11)$$

kde  $d$  je vzdálenost stavu  $i$  od stavu  $j$ .

## 6.2 ÚPRAVA MODELU PODLE FAKTORŮ KONTEXTU PROJEKTU

Doposud jsme odvozování a modelování uvažovali především obecně, standardizovaně pro všechny projekty. Vždy však bude potřeba uvažovat určitou variantnost. I když se bude jednat o jednu organizaci, která dělá určitý typ projektů (např. IT firma implementující nějaký informační systém), bude pravděpodobnost přechodu z jednoho stavu do jiného záviset na několika základních faktorech, které jsou vždy velmi významné i z hlediska synergických efektů. Těmito základními faktory jsou:

- a) Velikost firmy (organizace, instituce)
- b) Velikost-rozsah projektu
- c) Maturita (vyspělost) organizace z hlediska řízení projektů i obecně (příznivá synergie strategie, organizační struktury a firemní kultury)
- d) Množství ostatních projektů organizace, které budou s předmětným projektem soutěžit o zdroje (vždy, když je v organizaci více projektů, dříve nebo později začnou požadovat ty samé zdroje, dostávat se do konfliktu)
- e) Součinnost zadavatele-zákazníka projektu a další, mnohdy stejně významné faktory, které však nelze jednoduše kategorizovat.

Faktory mohou být pozitivní i negativní. Odvozením jsem dospěl ke dvojici vztahů:

$$d_C = d^C \text{ pro kladné faktory a } d_C = \sqrt[|C|]{d} \text{ pro záporné faktory.} \quad (12)$$

kde  $d$  je vzdálenost mezi stavy a  $C$  je velikost faktory kontextu.

### 6.3 VÝPOČET VLIVU SMĚRU PŮSOBENÍ

Pokud bychom uvažovali neměnné výstupy, jako nejjednodušší variantu modelu, potřebujeme nejdříve určit směr daného opatření a posléze interpretovat do modelu jeho vliv.

Úhel, který bude směr působení svírat se směrem přechodu bude zřejmě také mírou, kterou bude příslušný přechod ovlivněn. Pokud budeme uvažovat, že náš směr působení svírá s osou SPI úhel  $315^\circ$ , budou souhlasné veškeré přechody, které jsou vůči ose SPI v intervalu úhlu  $225^\circ$  až  $45^\circ$ .

Míra ovlivnění závisí na odchylce úhlu – krajní hodnoty nebudou ovlivněny vůbec nebo téměř vůbec, a naopak, jak se bude odchylka zmenšovat, bude se zvětšovat míra ovlivnění (v pozitivním i negativním smyslu).

### 6.4 VÝPOČET VLIVU „SÍLY“ PŮSOBENÍ

Pokud máme určen směr našeho působení a vzájemnou poměrnou míru ovlivnění jednotlivých přechodů (podle úhlů), je třeba ještě určit velikost, respektive sílu našeho působení.

Míru vlivu zřejmě také nemá smysl počítat v konkrétních hodnotách, ale spíše v procentuelním vyjádření vůči rozpočtu (eventuelně vůči časovému plánu) – tak bude výpočet zcela obecný.

Do výpočtu bude také potřeba zahrnout dříve odvozený vliv směru – protože se jedná o hodnoty v intervalu  $\langle -1;1 \rangle$ , jedná se o cosinus úhlu svíraného se zvoleným směrem, jediné smysluplné použití je vynásobit jimi naši sílu působení. Pokud půjde o zcela protichůdný směr, hodnota bude velikostně rovna, ale opačná, pokud bude směr kolmo, vliv síly bude nulový, pokud bude směr zcela souhlasný, vliv síly se projeví naplno.

Aby byl výsledek spojen s faktem, že se jedná o procentuelní vyjádření a zároveň potřebujeme efekt zeslabit, zkusme výpočet koeficientu síly působení ještě korigovat podle vztahu:

$$k_{i,j} = s \frac{m_{i,j} * s}{100}, \quad (13)$$

kde  $k_{i,j}$  je koeficient síly našeho působení na projekt,  $s$  je procentuální vyjádření velikosti našeho působení ve vztahu k rozpočtu nebo časovému harmonogramu

a  $m_{i,j}$  je míra vlivu podle směru ovlivnění jednotlivých přechodů, kdy je exponent podělen 100 tak, aby v exponentu nabýval hodnot v intervalu  $\langle 0;1 \rangle$ .

## 6.5 DOPLNĚNÍ VLIVU VÝCHOZÍHO STAVU

Aby byl navržený postup skutečně použitelný, měl by určitě reflektovat i míru odchylky řešeného projektu. Jistě bude situace jiná, pokud se bude projekt nacházet např. ve stavu 4 (drobné zpoždění a menší přečerpávání rozpočtu), než když se bude nacházet ve stavu 10 nebo 11 (výrazné zpoždění a přečerpávání nákladů).

Výchozí stav by měl ovlivnit výpočet – abychom byli schopni projekt dostat z velkých problémů, bude zřejmě potřeba mnohem větší síly, než když budou odchylky malé.

Bude tedy třeba zavést ještě další faktor, faktor výchozího stavu. Na základě zkušeností z předchozích výpočtů a odvození bude zřejmě nejlepší adekvátně upravit sdružený koeficient síly a směru  $k_{i,j}$ , následujícím způsobem:

$$k_{i,j} = s^{\frac{m_{i,j} * s}{100} * v}, \quad (14)$$

kde  $k_{i,j}$  je koeficient síly našeho působení na projekt,  $s$  je procentuální vyjádření velikosti našeho působení ve vztahu k rozpočtu nebo časovému harmonogramu,  $m_{i,j}$  je míra vlivu podle směru ovlivnění jednotlivých přechodů, kdy je exponent podělen 100, aby v exponentu nabýval hodnot v intervalu  $\langle 0;1 \rangle$  a  $v$  je faktor výchozího stavu.

Aby výpočet odpovídal logice, měla by s rostoucí odchylkou výchozího stavu od požadovaného stavu 1 růst i potřebná síla k nápravě – křivka nárůstu pravděpodobností požadovaným směrem by měla být méně strmá. Tomu by odpovídalo  $v < 1$ .

A naopak, pokud budou odchylky mírné, měli bychom i s malou silou rychle dosáhnout potřebného stavu, křivka nárůstu by tedy měla být strmější. Tomu by odpovídalo  $v > 1$ .

Odvození by tedy zcela jistě mělo být založeno na vzdálenosti od stavu 1, s tím, že půjde o nepřímou úměrnost. Je zřejmé, že námi zvolené stavy leží na kružnicích okolo středu, pro vnitřní stavy (malé odchylky) je poloměr kružnice 0,1, zatímco pro vnější stavy má kružnice poloměr 0,325.



Dále si stanovme, že jakási dělicí hodnota, která bude znamenat  $v=1$  by mohla být hranice vnitřních a vnějších stavů, tedy kružnice o poloměru 0,15. Budeme tedy řešit rovnici o jedné neznámé:

$$v = \frac{1}{d_v * x}; \text{ po dosazení } 1 = \frac{1}{0,15 * x}, \quad (15)$$

kde  $v$  je faktor vzdálenosti,  $d_v$  je vzdálenost stavu od stavu 1 a  $x$  je koeficient, kterým upravíme naši nepřímou úměru na požadovanou dělicí hodnotu.

## 6.6 ÚPRAVA PRO PRAKTICKÉ POUŽITÍ

Výše uvedené zahrnování dílčích vlivů jednotlivě velmi dobře odpovídá reálné interpretaci. Pro reálné použití je však ještě potřeba provést několik operací.

Vycházejme ze záměru, že po určení výchozího stavu se bude tým snažit projekt nasměrovat správným směrem (ke stavu 1) a po výběru opatření, které by mělo projekt posunout správným směrem bude potřeba určit optimální velikost „síly“ daného opatření.

Jak vyplývá z textu výše, při působení směrem  $45^\circ$ , při výchozím bodu někde okolo stavu 4, leží přímo ve směru působení stav 1, 2, a následně i rovnoměrně rozloženě stavy 6 a 7.

Z hlediska našich tezí jsou všechny tyto stavy dobré a je přínosné, že se projekt posouvá jejich směrem. Bude tedy potřeba zagregovat vliv stavů ležících příslušným směrem.

Úpravu můžeme provést s použitím funkce cosinus, kdy bude v souhlasném směru přičítáno adekvátní poměrné procento pravděpodobnosti a v nesouhlasném naopak odečítáno. Protože nám nyní již nejde o určování pravděpodobností přechodu z jednoho stavu do druhého, ale pouze o rozumně provedenou agregaci, můžeme si celou situaci představit jako náš stavový prostor se středem v bodě [1;1], odkud měříme úhel k jednotlivým stavům.

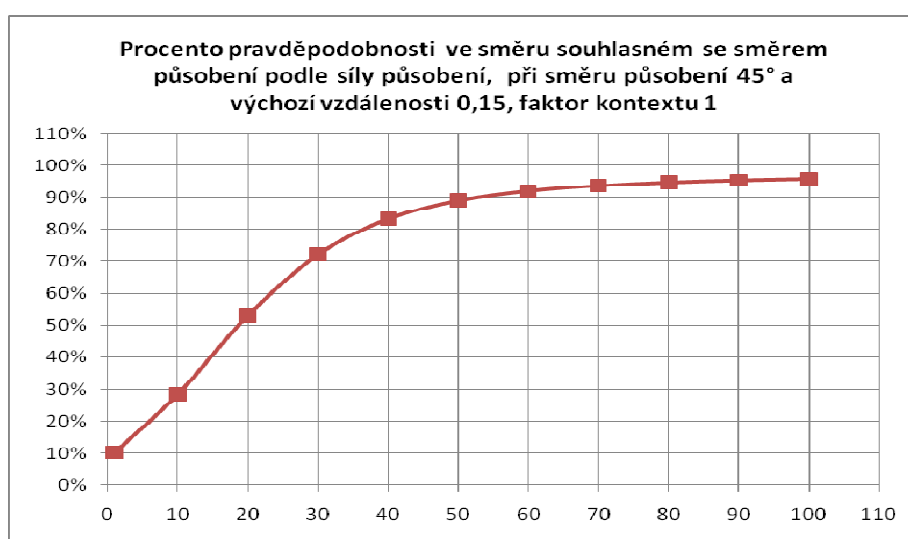
Pokud poté spočítáme již dříve uvedeným způsobem odchylku od směru působení a následně její cosinus, můžeme tímto cosinem vynásobit procento dosažené v určitém stavu při určité síle působení daným směrem.

Při výchozích pokusech bylo zjištěno, že původně poměrně silný vliv faktoru kontextu se po přidání dalších vlivů již příliš neprojevuje.

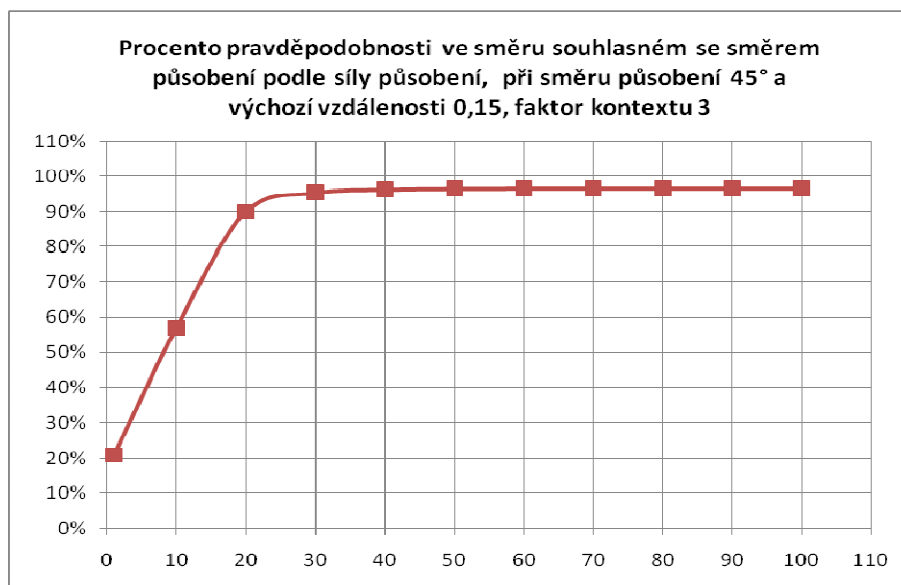
Vliv faktoru kontextu je potřeba adekvátně navýšit, např. přidáním faktoru kontextu do vzorce pro koeficient kombinovaných vlivů  $k_{i,j}$ , způsobem:

$$k_{i,j} = s \frac{m_{i,j} * s}{100} * v * C, \quad (16)$$

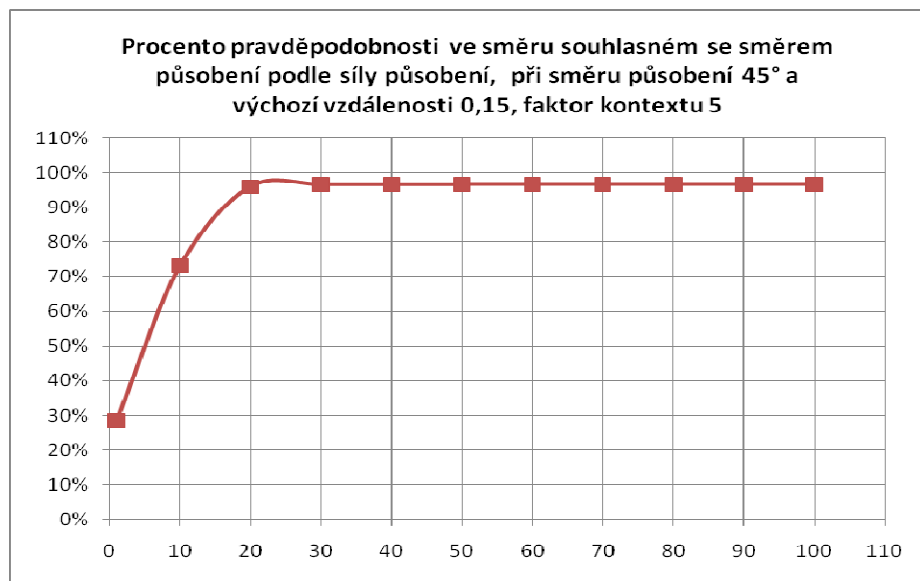
kde  $k_{i,j}$  je koeficient síly našeho působení na projekt,  $s$  je procentuální vyjádření velikosti našeho působení ve vztahu k rozpočtu nebo časovému harmonogramu,  $m_{i,j}$  je míra vlivu podle směru ovlivnění jednotlivých přechodů,  $v$  je faktor výchozího stavu a  $C$  je faktor kontextu. Situace se bude měnit následovně:



**Obr. 6: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu 1**



**Obr. 7: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu 3**



**Obr. 8: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu 5**

V případě záporných koeficientů jednoduše použijeme místo násobení dělení:

$$k_{i,j} = s \frac{m_{i,j} * s}{100 * C}, \quad (17)$$

kde  $k_{i,j}$  je koeficient síly našeho působení na projekt,  $s$  je procentuální vyjádření velikosti našeho působení ve vztahu k rozpočtu nebo časovému harmonogramu,  $m_{i,j}$  je míra vlivu podle směru ovlivnění jednotlivých přechodů,  $v$  je faktor výchozího stavu a  $C$  je faktor kontextu.

Tím dáváme projektovým týmům do ruky nástroj k podpoře rozhodování, jehož použití sestává z několika navazujících kroků:

- a) nastavení obecného modelu podle kontextu projektu (faktorem kontextu),
- b) zjištění aktuálního stavu projektu a velikosti odchylky od požadovaného stavu,
- c) nalezení opatření k eliminaci odchylky, zjištění směru působení,
- d) optimalizace velikosti zásahu.

Pro zjednodušení postupu byl v rámci této práce sestaven model v programu MS Excel, do kterého již stačí zadat pouze vstupní hodnoty, jako je faktor kontextu, směr působení a výchozí odchylka od středu a SW vypočítá vše potřebné včetně geneze výše uvedených grafů. Teoretická část práce je tímto završena, byly splněny vytyčené cíle.

## 7 ZÁVĚR

V hlavní části práce je projekt nahlížen jako diskrétní systém, kdy budoucí stav závisí pouze na stavu aktuálním a na pravděpodobnosti přechodu do některého možného budoucího stavu. Projekt je připodobněn konečnému automatu a jeho stavy jsou predikovány na základě matematického popisu Markovským řetězcem.

Za pomoci výše uvedených metod je odvozena metoda pro tvorbu modelu projektu a jeho použití pro predikci (kapitoly 11.2 až 11.4). Pro podporu je vyvinuta SW aplikace v MS Excel pro realizaci potřebných výpočtů a simulaci projektu.

Teoretický přínos své disertační práce jsem zaměřil především do oblasti metodiky teorie řízení. I když konkrétní postup predikce je aplikován především na projekty, principů metody a popsaného metodického přístupu k řešení predikce je možno použít i pro řízení jiných soustav (firemní procesy v řízení průběhu zakázky firmou, řízení firmy z hlediska jejích finančních stavů apod.). Přínosem pro teorii řízení je skutečnost, že popsaný postup návrhu predikce prokázal, že pokud se správně aplikují principy abstrakce, je možno vytvořit metodu predikce, bez ohledu na druh a obsah řízených projektů.

Současná praxe projektového řízení vyžaduje při pravidelném kontrolním vyhodnocení projektu uvádět nejen aktuální stav projektu, ale i možný předpokládaný vývoj projektu. Přitom zatím nejsou k dispozici běžně dostupné metody, které by umožnily projektovým týmům kvalitně předpovídat vývoj projektu. Dříve vytvořené metody se zatím příliš nerozšířily. Zřejmě také proto, že jejich autoři vycházeli ze statistického hodnocení minulosti projektu.

Praktický přínos navržené metody je jednak v zohlednění dynamiky projektu a respektování možných variant pokračování projektu. Obě skutečnosti význačně pomáhají projektovému týmu nejen zpracovat reálnou předpověď dalšího vývoje projektu, ale také přijmout relevantní opatření k jeho dalšímu řízení.

Výhody navržené metody:

- a. Navržená metoda vystihuje lépe dynamiku chování projektu než dosavadní metody predikce, založené na základních statistických metodách
- b. Metoda využívá pro hodnocení stavu projektu standardně používaný a doporučený postup EVM, což umožňuje využít pro její vstup současné podklady v projektech
- c. Pčítačovou podporu metody lze zajistit poměrně jednoduchým programem a není potřeba žádný specializovaný software.

- d. Navržený stavový model a navržené přechody mezi stavy mohou sloužit projektovému týmu a vedoucímu projektu jako metodický návod při rozhodování o možných zásazích pro další chod projektu.

Samozřejmě je nutné vyžadovat, aby hodnoty, které jsou nutné pro predikci, byly co nejvíce odpovídající praxi. Předložená práce neřeší měření hodnot pro metodu EVM ani určování přesnosti provedeného měření – vyhodnocování skutečného stavu projektu. Je potřeba zdůraznit, že každé měření je zatíženo řadou nejistot. V technické praxi je problematice nejistot při měření věnována velká pozornost (viz např. diskuze kolem nejistot při měření vibrací [25]). Bohužel v projektové praxi je možno se setkat s případy, kdy se vytvářejí přesné předpovědi na základě údajů, které jsou zatíženy mnoha velkými nejistotami a chybami.

V dalším období chci navrženou metodu představit účastníkům konference Projektový management 2011 na UTB ve Zlíně.

Pro lepší orientaci uživatelů zamýšlím navrženou metodu pro komerční používání pojmenovat. Zvažuji označení „Metodika Dynamické predikce projektu“ (anglicky Dynamical Prediction of Project) – s možností použití zkratk DPP resp. DYPREP a chtěl bych pro tento název získat ochrannou známku.

Pro praktické využití navržené metody zvažuji zpracování stručné příručky, která by popsala jednak její základní principy a jednak popsala potřebné kroky je jejímu zavedení a používání.

Domnívám se, že aplikace Markovovských řetězců představuje kvalitativní posun v přístupu predikci vývoje projektů. Lze předpokládat, že dalším takovým významným posunem v oblasti predikce projektů by mohlo být využití přístupu prostřednictvím fuzzy množin, které představují také velmi nástroj při predikci nahodilých procesů [22]. Případně kombinace uvedeného. Metoda EVM, kterou využívá navržená metoda, je určena především pro dobře strukturované (hard) projekty. Využití fuzzy množin by umožnilo vytvořit metody pro predikci i obtížně strukturovatelných (soft) projektů.

Další výzkum by se dále mohl zabývat i způsoby stanovení jednotlivých koeficientů upravujících chování modelu, jako je faktor kontextu projektu, síly a směru působení, stejně jako korekce podle výchozího stavu. Tyto byly v rámci této práce navrženy především na základě zkušenosti tak, aby bylo možné ověřit chování modelu. Další výzkum v této oblasti by mohl být velmi zajímavý pro praktickou aplikaci modelu.

## 8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- 1 Dujka, J.: Predikce nákladů projektu pro automatizované systémy řízení.**  
Doktorská práce. FSI VUT Brno 2003, 86 s.
- 2 Šlechtová, Y.: Metody projektového řízení ve strojírenském podniku.**  
Disertační práce. Fakulta strojní ZČU v Plzni 2001, 154 s.
- 3 Kubiš, J.: Existenční riziká projektu a k nemu viazaných subjektů.**  
In: Sborník Tvorba softwaru 2002. VŠB Ostrava 2002, str. 109-116, ISBN 80-85988-74-7
- 4 Spodniaková-Pfefferová, M.: Využitie modelov a simulácií pri výučbe znalostí projektového riadenia.**  
In: Sborník konference EDU 2004 PM – Výuka projektového řízení na VŠ v ČR. VUT v Brně 2004 Brno, str. 106-111, ISBN 80-214-2720-5
- 5 Lacko, B.: Systémový přístup k prognózování v projektovém řízení.**  
In: Sborník XXXVI. Vědecké konference Systémové inženýrství SI2004. Univerzita H.Králové 2004, 76-79, ISBN 80-7318-166-5
- 6 Ranzenhofer, T.: Simulace náhodných jevů ve strojírenských procesech**  
Doktorská práce. ÚAI FSI VUT Brno 2003, 71 s.
- 7 Trachtenbrot, B.A. – Barzdin, J. M.: Finite automata. (1.vydání)**  
Amsterdam, Nord Holland 1973, 208 str.
- 8 Chmel, P.: Projektové řízení rizik veřejných zakázek**  
Disertační práce. ČVUT Fak. Stavební Praha 2003, 92 s.
- 9 Ashby, W. Ross. *An Introduction to Cybernetics.***  
New York: John Wiley & Sons, Inc., 1966. ISBN 041668300
- 10 Bailey, N.T. *The Elements of Stochastic Processes with Applications to the Natural Sciences.*** New York: Wiley 1964. ISBN 0-471-52368-2
- 11 Dupač, V., Dupačová, J. *Markovovy procesy. Díly I a II.***  
Skripta MFF UK. Praha: SNTL 1975-6.
- 12 ISO 9000:2000 Quality Management Systems**
- 13 ISO 10 006:2003 – Guidelines for duality management in projects.**  
(ČSN říjen 2004)
- 14 Project Management Body of Knowledge v4 (PMI 2009)**
- 15 ICB – IPMA Competence Baseline Version 3.0.**  
(Ed.G. Caupin). Van Haren Publishing June 2006, ISBN 90-77212-72-8
- 16 Pinkava, V.: *Organismy jako automaty (1.vydání),***  
Státní zdravotnické nakladatelství, n.p. 1969, 224 s.
- 17 Lacko, B.: *Projektové řízení ve strojírenství.***  
Učební text FS VUT v Brně. Vydáno PC DIR s.r.o. 1996 Brno, ISBN 80-214-0723-5
- 18 Lacko, B.: *Změny paradigmatu projektového řízení***

In:Sborník konference PRONT2000. ZČU Plzeň a Sdružení EVIDA 2000  
Plzeň, str.105-112

- 19 Lacko,B.:** **Analýza rizik v softwarových projektech pomocí metody RIPRAN**  
In: Sborník konference Strategické procesní a projektové řízení (Editor Šlechta,R), Audit & Consulting Experts 2001 Brno, str. 105-111
- 20 Doležal, J., Lacko, B., Máchal, P. a kolektiv autorů – Projektový management podle IPMA (dotisk 2010),** Grada Praha 2009, ISBN 978-80-247-2848-3
- 21 Maixner,L.:** **Markovovy procesy a jejich aplikace.**  
Univ. Palackého, Olomouc 1991, 194 s., ISBN 80-7067-312-5
- 22 Bíla,J., Jura,J.:** **Fuzzy concepts in the detection of unexpected situations.**  
Acta polytechnica, ČVUT Praha 2007. Str. 3-7, ISSN 1210-2709
- 23 Kubiš, J.:** **Procesy podniku a ich modelovanie.**  
EKONÓM 2007, 284 s., ISBN 978-80-225-2468-1
- 24 Dömeová, L., Stochastické modely I, skripta ČZÚ v Praze**  
Provozně ekonomická fakulta, PEF ČZU Praha 2005, ISBN 80-213-1371-4
- 25 Vdoleček, F.; Zuth, D. Příspěvek k diskusi o nejistotách ve vibrodiagnostice.**  
*Technická diagnostika*, 2010, roč. 19, č. z1, s. 423-429, ISSN 1210-311X
- 26 Lacko, B.:** **Implementace projektů.**  
Sborník ze semináře Implementace projektů – IPRO2002. VUT V Brně 2002  
Brno, str. 5 -16, ISBN 80-214-2075-8
- 27 Klír, J.:** **Kybernetické modelování.**  
SNTL 1965 Praha

## 9 ŽIVOTOPIS - ING. JAN DOLEŽAL

### Základní údaje:

**Narozen:** 13.10.1979

**Stav:** Ženatý, bezdětný

**Znalost jazyků:** AJ - pokročile - komunikativní úroveň

NJ - základy

### Pracovní zkušenosti:

**3/2008 až dosud Ředitel a jednatel PM Consulting s.r.o.**

- Vedení zaměstnanců, řízení chodu společnosti
- Poradenství, vzdělávání a řízení projektů

**3/2007 až 3/2008 Nezávislý project manager, lektor a konzultant**

- Vedení kurzů a tréninků (viz níže)
- Poradenství – např. Mikroelektronika s. r.o., První regionální rozvojová a.s., Škodaexport a.s.
- 6/2007 – 10/2007 Řízení projektu „Integrovaný plán rozvoje města Jablonce nad Nisou“
- 12/2007 až dosud Supervizor akčního plánu města Jablonec nad Nisou
- 8/2006 až dosud Předseda Czech Project Management o.s.
- 1/2006 až 9/2007 účast na dvou projektech tvorby eLearningu, zpracovávání modulů projektového řízení

**12/2006 až 2/2007 Project manager, Logos a.s., Praha**

**11/ 2004 až 12/2006 Manažer projektové kanceláře / senior project manager, Mikroelektronika s.r.o. Vysoké Mýto**

- tvorba firemní koncepce projektového řízení a její soulad s ISO 9000 a ISO 10 006,
- dohled nad firemním portfoliem projektů a jednotlivými project managery i mimo projektovou kancelář
- Řízení tuzemských a především zahraničních (Evropa a Jižní Amerika) projektů v rozsahu desítek milionů Kč.

**2003 až 2004 účast na projektu vývoje APS systému (Advanced planning and scheduling), kooperovaného MPO, firmou GC Software a VUT Brno**



### **Členství v profesních organizacích:**

Od 5/2007     registrován v Národním registru poradců (www.nrp.cz)

Od 8/2006     Předseda Czech Project Management o.s.

Od 2003       člen Asociace strojních inženýrů

2003 až 2005 člen Skupiny Mladých Projektových Manažerů ČR, řešení projektů v rámci této skupiny

Od roku 2005     člen Společnosti pro projektové řízení, aktuálně působnost jako člen výboru a předseda sekce SPR – projektově orientované společnosti

### **Lektorování:**

- Od roku 2003 návrh a realizace desítek kurzů a tréninků z oblasti projektového řízení. Mezi absolventy kurzů patří mimo jiné zaměstnanci firem a institucí:
  - **Metrostav**
  - **Unipetrol**
  - **ČSOB**
  - **Accenture**
  - **Pharmnet**
  - **ČEZ**
  - **Deloitte**
  - **VegaCom**
  - **NextiraOne**
  - **NESS**
  - **Škodaexport**
  - **Meopta Přerov**
  - **VUT v Brně**
  - **K2 atmitec**
  - **... a mnozí další**

### **Vzdělání:**

- Duben 2008 - Obdržen certifikát IPMA stupeň B – senior certified project manager
- Únor 2007 – Jak lépe mluvit a jak zaujmout – Pragoeduca , firemní kurz (Logos) – 2 dny
- Leden 2007 – Obchodní dovednosti I – lektor Martin Skalička (Lanista), firemní kurz (Logos) – 2 dny
- Únor 2006 – Obdržen certifikát IPMA stupeň C – certified project manager
- 2005 – Trénink „Manažerské dovednosti “ – Educatio Mahler, firemní kurz (Mikroelektronika), 6 dny

- 2005 – Trénink „Projektové řízení“ – Fontes H, firemní kurz (Mikroelektronika), 4 dny
- 2005 – Trénink „Programové řízení a strategie“ – Fontes H, firemní kurz (Mikroelektronika), 1 den
- 2004 – Kurs „Projektové řízení 2 - Týmy“ pořádaný ACSA VUT v Brně, 5 dnů
- 2004 – Kurs „Projektové řízení 1“ pořádaný ACSA VUT v Brně, 5 dnů
- 2003 – Akreditovaný kurs „Řízení firemních projektů“ pořádaný ICV VUT v Brně, 1 denC
- 2003 – Akreditovaný kurs „Řízení mezinárodních projektů“ pořádaný ICV VUT v Brně, 1 den
- 1998 – 2003 **Vysoké Učení Technické** v Brně, Fakulta Strojního Inženýrství, **Ústav Automatizace a Informatiky**, Odbor Automatizace, diplomová práce řešena pro firmu SOMA Lanškroun, Vyhláška 50/78 Sb. §6
- 1991 – 1998 **Gymnázium** ve Vysokém Mýtě, technické zaměření, zakončeno maturitou v roce 1998

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá možnostmi predikce budoucího vývoje projektů a možnostmi podpory pro rozhodování manažerů takových projektů, což je velmi aktuální téma v současném turbulentním prostředí.

Projekt je v rámci této práce chápán jako stochastický proces s diskrétními stavy a diskrétním časem, což je v realitě reprezentováno diskrétními časovými okamžiky zjišťování stavu projektu. Projekt je přirovnám ke konečnému automatu a následně je využit matematický aparát Markovských řetězců.

V návrhové části práce je vytvořen stavový model projektu odvozený od stavů metody sledování projektu Earned Value Management a jsou odvozeny pravděpodobnosti přechodu mezi jednotlivými stavy.

Následně jsou odvozeny způsoby úprav takového modelu na konkrétní podmínky tak, aby model co nejvěrněji reprezentoval konkrétní situaci.

V rámci experimentálního ověření jsou odvozené návrhy za účelem ověření testovány v různých situacích, které mohou během projektů nastat.

## **ABSTRACT**

This thesis is focused on possibilities of a project development prediction and a decision support for managers of those projects, which is an up to date topic in the present time turbulent environment.

Project is understood as a stochastic process with discrete states and discrete time in this thesis. This approach could be represented by discrete moments of finding out project state. Project is compared to a finite automaton and Markov chains are subsequently used.

State model of the project based on Earned Value Management method is created in the proposal part of this thesis and there are state transitions probabilities.

There are adjustments of the model designed consequently so the model is capable to fit some concrete situation closely.

Designed proposals are tested in different situations to prove their value in the experimental part of this work.