

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního inženýrství

Ing. Jan Dujka

**PREDIKCE NÁKLADŮ PROJEKTŮ
AUTOMATIZOVANÝCH SYSTÉMŮ ŘÍZENÍ**

PROJECT'S COST PREDICTION IN AREA
OF AUTOMATED SYSTEM CONTROL

ZKRÁCENÁ VERZE PH.D. THESIS

Obor: Procesní inženýrství
Školitel: Doc. Ing. Branislav Lacko, CSc.
Oponenti: Prof. Ing. Vladimír Strakoš, DrSc.
 Doc. Ing. Ladislav Buřita, CSc.
 Ing. Jaroslav Valas, CSc.

Datum obhajoby: 12.12.2003

KLÍČOVÁ SLOVA

projektové řízení, rozhodování, Fuzzy množiny, predikce, projektové náklady

KEY WORDS

project management, decision making, Fuzzy sets, prediction, projects costs

MÍSTO ULOŽENÍ PRÁCE

Ústav procesního inženýrství FSI VUT v Brně

OBSAH

1	ÚVOD.....	5
2	ZAMĚŘENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE A CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	6
3	POUŽITÉ METODY PŘI ZPRACOVÁNÍ DISERTACE.....	7
3.1	Časové řady [2], [3].....	7
3.2	Markovovy řetězce [5], [6].....	7
3.3	Statistické ověření experimentu [3], [9].....	9
3.4	Fuzzy množiny	11
4	POTŘEBA PREDIKCE VÝVOJE PROJEKTU V SOUČASNÉM TURBULENTNÍM PROSTŘEDÍ.....	12
5	NÁVRH ROZHODOVÁNÍ S VYUŽITÍM FUZZY A PREDIKCE DALŠÍHO VÝVOJE PROJEKTU	13
5.1	Rozhodování a projektové řízení firem s využitím fuzzy množin	13
5.2	Matematický model vývoje nákladů.....	18
6	EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ.....	22
6.1	Výběr dat.....	22
6.2	Odhad parametrů polynomické funkce 3. stupně.....	23
6.3	Odhad parametrů logistické funkce Hotellingovou metodou	23
6.4	Statistické zpracování	24
6.5	Predikce vývoje skutečných nákladů ACWP a koeficientu CPI	25
7	ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ	25
8	ANNOTATION	29
9	SEZNAM LITERATURY.....	30

1 ÚVOD

Zkušenosti vyspělých zemí ukazují, že udržet se na náročném konkurenčním trhu je velice obtížné, a ještě obtížnější je na tento trh vstoupit. Zvyšuje se tak tlak na schopnosti a dovednosti managementu vyrovnat se s neustálými změnami podnikatelského prostředí, s konkurencí, s důsledky prudkého technologického a informačního rozvoje, s nutností stále zdokonalovat produkci při snižování nároků na zdroje.

Vstup naší republiky mezi státy Evropské unie staví před naše firmy naléhavý úkol - posílit konkurenční schopnost. V ostré konkurenci a ve vysokých nárocích otevřeného evropského trhu přežijí jen kvalitní firmy. Jednou z oblastí, ve které naše firmy zaostávají za progresivními západními firmami je schopnost uskutečňovat s jistotou plánované cíle a to v plánovaném termínu, s plánovanými náklady a efektivním využitím disponibilních zdrojů. Pro zajištění vysoké úspěšnosti firemních akcí se v západním světě využívá projektové řízení (project management). [1]

Projektové řízení můžeme stručně definovat jako nástroj, který pomáhá důsledně a efektivně uskutečnit i radikální změny, umožňuje efektivní řešení problému. Jedná se o souhrn metod k plánování a realizaci složitých, neopakujících se, časově ohraničených, rizikových a týmem realizovaných akcí.

Cílem projektového řízení je zajistit, aby požadované změny byly provedeny v co nekratším čase, s minimálními náklady a v odpovídající kvalitě. Mezi metody používané v projektovém řízení patří např. metody síťové analýzy, metoda logického rámce, rozhodovací analýza, modelování a simulace, metody týmové práce. [7]

Ve vyspělých západních zemích patří znalost projektového řízení a dovednost jeho aplikace v praxi ke standardním znalostem managementu na všech úrovních řízení. Projektový manager (Project Manager) a jím sestavený tým by měli být profesionálové provádějící analýzy a řídicí změny. Tyto znalosti a schopnosti získávají studiem, výcvikem a praxí.

V České republice toto zatím obecně neplatí. Existují už ale snahy zaměřené na zmapování současného stavu projektového řízení v české republice, srovnání situace v jiných evropských zemích, vytvoření předpokladů pro certifikace profesionálních Project Managerů a standardizaci požadavků na znalosti PM na evropské úrovni.

Na evropské úrovni je profesním zástupcem projektových manažerů organizace IPMA (International Project Management Association). V rámci zajištění profesionality musí oblast řízení projektu disponovat přísnými normami a stanovami, definujícími činnost vedoucích týmu řízení projektu.

Za účelem vylepšení certifikačního programu IPMA bylo vynaloženo jisté úsilí zaměřené na harmonizaci těchto jednotlivých výsledků vývoje na evropské úrovni. Dále jsou kladeny požadavky na další evropské země (včetně ČR) na vypracování vlastních národních materiálů National Baselines of Competence, které by měly být rozpracováním základních standardů ICB – IPMA Competence Baseline, jež vydala IPMA v roce 2002.

2 ZAMĚŘENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE A CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Práce je zaměřena na aktuální oblasti sledování a predikce nákladů při řízení projektů zavádění automatizovaných informačních a řídicích systémů, které dnes zaujímají významné místo v soudobé společnosti z několika důvodů:

- IS/IT jsou významným faktorem hospodářského prostředí a významným elementem rozhodovacích procesů v podniku
- informace představují rozhodující faktor pro úspěšný rozvoj společnosti
- realizace systémů pro zpracování informací na sebe váže stále více pracovních, finančních a dalších zdrojů, kterými společnost disponuje
- navrhování automatizovaných informačních a řídicích systémů se stalo v současné době velmi složitým procesem

Doktorandská práce je zaměřena na predikci nákladů projektů zavádění automatických informačních a řídicích systémů (dále AIŘS) do firem majících nad 100 zaměstnanců a nad 100 interakčních veličin s okolím. Malé AIŘS do 50 zaměstnanců a s menším počtem veličin z okolí nepředstavují zásadní problém a potřebné programové vybavení si mohou podniky vybrat z běžné nabídky softwarových firem jako hotový programový produkt v ceně několik desítek tisíc korun.

Zavádění AIŘS velkých a středních firem představuje naopak velmi složitý a obtížný problém. Je to dáno několika následujícími skutečnostmi:

- AIŘS je složitě strukturován
- obsahuje velké množství komplikovaných automatizovaných funkcí, které navazují na řízené výrobní procesy
- specifické problémy přináší paralelní zpracování velkého množství veličin v interakci s okolním prostředím
- jeho existence se váže na dlouhé časové období, ve kterém se musí přizpůsobovat probíhajícím změnám
- musí být provozován i při vysoké fluktuaci pracovního personálu
- na jeho návrhu spolupracuje řada pracovníků různých profesí

Stále silnější tlak zahraniční konkurence si vynucuje u českých firem podstatné zvýšení efektivity při řízení projektů, pokud chtějí v konkurenčním boji obstát.

V práci budou předloženy a konkrétně pojmenovány nejvýznamnější problémy, které dnes provází řízení projektů zavádění automatizovaných informačních a řídicích systémů. Většina českých firem zavádějící informační systém, ať už sobě sama, či na zakázku, se s těmito problémy potýká, avšak neumí je pojmenovat. Pokud určitý problém není pojmenován, pak jakoby neexistoval a nejsou vyčleněny potřebné kapacity k jeho řešení. Důsledkem toho je, že řada informačních systémů je vybudována s časovým skluzem a s vyššími náklady, než bylo požadováno na počátku projektu.

Pro zpracování doktorandské práce byly formulovány následující cíle:

1. Navrhnout využití fuzzy množin při rozhodování v rámci řízení projektů.
2. Navrhnout způsob předpovídání vývoje nákladů projektu.
3. Navrhnout stanovení koeficientů matematického modelu s ohledem na specifika a turbulentnost projektů zavádějících AIŘS oproti například běžným investičním projektům.

3 POUŽITÉ METODY PŘI ZPRACOVÁNÍ DISERTACE

Při zpracování disertační práce se uvažuje využití následujících metod:

3.1 ČASOVÉ ŘADY

Pro analýzu časových řad [2], [3] dnes existuje velmi rozsáhlá teorie, která popisuje velké množství nejrůznějších metod a postupů.

Mezi základní a nejpoužívanější metody pro analýzu časových řad patří především:

- dekompozice časových řad
- Boxova-Jenkinsova metodologie
- lineární dynamické modely
- spektrální analýza časových řad

Cílem analýzy je většinou konstrukce vhodného modelu. Pokud je možné sestrojít dobrý model, umožní to porozumět mechanismu, na jehož základě vznikají hodnoty časové řady, a porozumět podmínkám, které vznik těchto hodnot ovlivňují. To pak následně umožní tyto podmínky ovlivňovat a tím také v některých případech ovlivnit i vývoj časové řady. Dalším velmi častým cílem je konstrukce předpovědí.

Hodnoty časové řady budeme značit symbolem Y_t , kde t představuje čas. Y_t tedy značí napozorovanou hodnotu časové řady v časovém bodě t . Naproti tomu odhadnutou hodnotu časové řady budeme značit obvyklým způsobem \hat{Y}_t . Celou množinu hodnot časové řady až do časového bodu t potom značíme $Y_1, Y_2, \dots, Y_{t-1}, Y_t$.

3.2 MARKOVOVY ŘETĚZCE

Přístup k modelování pomocí skrytých Markovových modelů [5], [6] je založen na statistických metodách, ve kterých je zkoumaná proměnná reprezentována jako pravděpodobnostní funkce. Markovovův řetězec pak mění své stavy podle matice pravděpodobností přechodu. Z vnějšku ale tyto stavy nejsou přímo viditelné, pouze lze zjistit výstup náhodnostních funkcí. Proto se tomuto modelu říká skrytý Markovovův model.

Skrytý Markovovův model je ve své podstatě přímo konečným automatem. Má rovněž pevně zadanou množinu stavů, do kterých se může v průběhu výpočtu dostat,

ale přechodová funkce je tvořena maticí přechodu a množina koncových stavů je nahrazena maticí pravděpodobnosti generovaných vzorů.

Markovův proces G se skrytým Markovovým Modelem je pětice $G = (Q, V, \Lambda, B, \pi)$, kde:

$Q = (q_1, \dots, q_N)$ je množina N stavů Markovova modelu, $|Q| = N$

$V = \{v_1, \dots, v_M\}$ je abeceda M výstupních symbolů $|V| = M$

$\Lambda = \{a_{ij}\}$ je matice přechodu, jejíž prvky určují, s jakou pravděpodobností přechází systém ze stavu q_i v kterémkoliv čase t do stavu q_j v čase $t+1$

$B = \{b_j(k)\}$ je matice pravděpodobností generovaných vzorů, jejíž prvky určují, s jakou pravděpodobností je v kterémkoliv čase t generována m -tá položka konečného souboru vzorů, je-li systém ve stavu q_j .

$\pi = \{\pi_i\}$ je sloupcový vektor pravděpodobností počátečního stavu.

Při modelování se využívají tzv. levo-pravé Markovovy modely, jejichž vlastnosti jsou odvozeny od kontinuálního vývoje proměnné s postupujícím časem. Základní vlastností je, že proces začíná příchodem prvního spektrálního vzoru z počátečního stavu modelu a se vzrůstajícím časem buď setrvává ve stejném stavu nebo přechází do stavu s indexem pouze vyšším. Výpočet na tomto modelu tedy probíhá právě zleva doprava. Proces končí příchodem posledního spektrálního vzoru, přičemž se model v tomto okamžiku nachází v koncovém stavu.

Využití Markovových řetězců ve výpočetní technice spadá především do oblasti zpracování přirozeného jazyka, konkrétně do počítačového rozpoznávání a modelování. Skryté Markovovy modely byly s úspěchem použity například v systémech:

- rozpoznávání a modelování lidské řeči: Adaptive Discrimination in an HMM-Based Neural Predictive System for On-Line Word Recognition
- rozpoznávání ručně psaného písma: HMM Based Online Handwriting Recognition
- rozpoznávání podpisů
- rozpoznávání slov doručených faxem: The Advantage of Using an HMM-based Approach for Faxed Word Recognition
- rozpoznávání lidského obličeje: HMM-Based Architecture For Face Identification

Pro oblast využití v rámci modelování vývoje nákladů při řízení projektu se tato metoda nejvíce jako příliš vhodná. Např. určování pravděpodobnosti změny hodnoty koeficientu SPI z jednoho stavu do jiného se vzhledem k turbulentnosti inženýrských projektů jeví jako velmi obtížné.

Skryté Markovovy modely jsou ale podle mého názoru velice perspektivním a elegantním prostředkem, jak modelovat či rozpoznávat lidskou řeč a skrývají

v sobě mocný matematický aparát pro rozpoznávání a modelování s využitím statistických metod.

3.3 STATISTICKÉ OVĚŘENÍ EXPERIMENTU

Základem pro rozhodování o vhodném typu funkce jsou věcná kritéria, tj. matematická funkce by měla být volena na základě věcné analýzy popisovaného jevu [3], [9]. Je proto vhodné při volbě trendové funkce vycházet z prozkoumání empirických údajů.

Další možností je určit vhodnou funkci podle zvoleného matematického kritéria. Tato kritéria jsou založena na zkoumání vztahu skutečných hodnot časové řady a tzv. hodnot interpolovaných, tj. minulých a současných hodnot odhadnutých na základě dané trendové funkce.

Interpolace

Protože časovou řadou rozumíme věcně a prostorově shodně vymezenou posloupnost určitého ukazatele měnícího se pouze v důsledku působení časového faktoru, činíme tak s cílem rozpoznat jeho důsledky na utváření posloupnosti (y_1, y_2, \dots, y_n) . Tomuto typu zpracování zpravidla říkáme *analýza časové řady (interpolace časové řady)*, a časovému období $t = 1, 2, \dots, n$ *období interpolace*.

Jak bylo naznačeno výše, přichází v první řadě v úvahu analýza časové řady (interpolace) vyžadující:

- pro $t = 1, \dots, n$ pořídit odhady prvků posloupností trendové složky \hat{T}_t , cyklické složky \hat{C}_t a sezónní složky \hat{S}_t , jejichž součet

$$\hat{Y}_t = \hat{T}_t + \hat{C}_t + \hat{S}_t \quad t = 1, \dots, n$$

tvorí prvky posloupnosti odhadů systematické složky charakterizující vývojové pravidelnosti.

- protože jsou známy prvky posloupnosti empirických hodnot y_t , $t = 1, \dots, n$, lze odhady prvků posloupnosti iregulární složky (reziduí) pořídit propočtem

$$\hat{I}_t = y_t - \hat{Y}_t \quad t = 1, \dots, n.$$

Z uvedeného vyplývá, že pro potřeby interpolace lze vystačit s pořízením odhadů prvků posloupností trendové, cyklické a sezónní složky v rámci období interpolace.

Extrapolace

Pokud jsme v rámci analýzy časové řady působení časového faktoru dostatečně „dobře“ rozpoznali, nabízí se využít těchto poznatků ke konstrukci aspoň do určité míry kvantifikované představy o úrovni dalších prvků v časovém bodě $t = n$ dosud nerealizovaných budoucích veličin $(y_{n+1}, y_{n+2}, \dots, y_{n+m})$, a to s využitím známých pozorování časové řady (y_1, y_2, \dots, y_n) .

Obvykle značíme odhady neznámých budoucích prvků časové řady

$$y_{n+h} \text{ při zadaném } n \text{ a } h = 1, \dots, m,$$

kde n značí časový bod, pro který je známo poslední pozorování časové řady (tzv. počátek predikce) a

$$h = 1, \dots, m, \quad m < n$$

je zadaná posloupnost tzv. *horizontů predikce*

Takovému zpracování časové řady zpravidla říkáme *prognostické využití analýzy časové řady, konstrukce predikcí či extrapolace časové řady* a časovému intervalu $(n+1, \dots, n+m)$ *období extrapolace*.

Řešení úkolů interpolace a extrapolace časové řady tedy vyžaduje pracovat s odhady výše uvažovaných veličin pořízených na bázi známých pozorování (y_1, y_2, \dots, y_n) .

Dále budeme předpokládat následující dekompozici časové řady

$$y_t = Y_t + a_t \quad t = 1, \dots, T$$

kde systematická složka Y_t představuje deterministický trend T_t , jenž lze vyjádřit matematickou funkcí časové proměnné T a a_t je reziduální složka typu bílého šumu tzn, že jde o časovou řadu generovanou stochastickým procesem, ve kterém jsou nezávislé náhodné veličiny s nulovou střední hodnotou a konstantním rozptylem.

Pro posouzení tohoto vztahu lze použít následující charakteristiky:

- střední chyba

$$ME = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (y_t - \hat{Y}_t)$$

- střední čtvercová chyba

$$MSE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (y_t - \hat{Y}_t)^2$$

- střední absolutní chyba

$$MAE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |y_t - \hat{Y}_t|$$

- střední absolutní chyba procentuální

$$MAPE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{|y_t - \hat{Y}_t|}{y_t} \cdot 100$$

- střední chyba procentuální

$$MPE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{(y_t - \hat{Y}_t)}{y_t} \cdot 100$$

Zvolený model je tím lepší, čím tyto charakteristiky nabudou menších hodnot.

Pro ověření vhodnosti daného modelu v rámci této disertační práce bude použita střední čtvercová chyba.

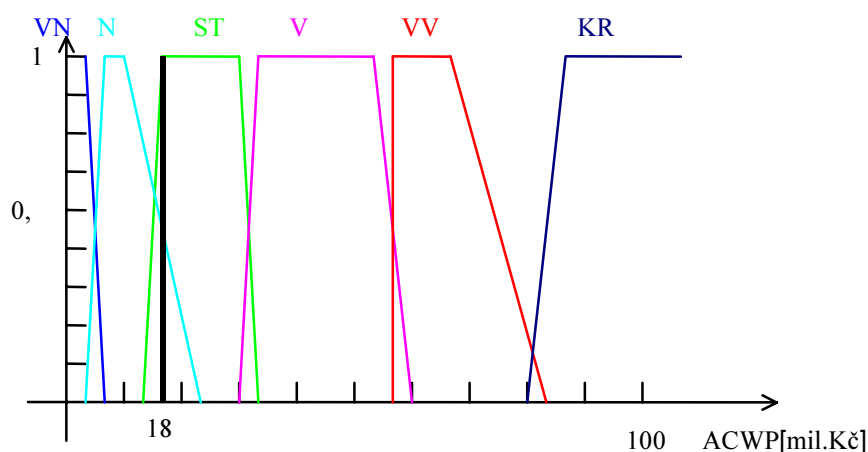
3.4 FUZZY MNOŽINY

Zakladatelem fuzzy logiky a jejího použití v řízení je prof. Lotfi A. Zadeh z University of California v Berkeley, USA, který v roce 1965 publikoval své první práce o neurčitých neboli fuzzy množinách. L. A. Zadeh si uvědomil, že lidé jsou schopni rozhodovat a tedy řídit na základě neurčité, vágní a nenumernické informace a dosahují v takovém případě v řízení mnohdy lepších výsledků než stroje. Zadeh zavedl pojem lingvistické proměnné, jejíž hodnoty nejsou čísla, ale slova. Tak lingvistická proměnná VELIKOST může mít hodnoty VELKÝ, MALÝ, HODNĚ VELKÝ, NE MOC VELKÝ a tak podobně.

Fuzzy množiny se pro rozhodování v oblasti projektového řízení infromatických projektů jeví jako velice uplatnitelné.

3.4.1 Fuzzyfikace pozorovaných veličin

Jedná se o přiřazení lingvistických hodnot pozorovaným veličinám. To se děje pomocí *funkcí příslušnosti* [10], [4], [11].



Obr. 1: Příklad funkcí příslušnosti pro ukazatel nákladů ACWP fiktivního projektu:
VN - velmi nízké, N - nízké, ST - střední, V - vyšší, VV – velmi vysoké, KR - kritické

Každá pozorovaná určitá hodnota veličiny může být zařazena do nějaké množiny. Např. ukazatel nákladů SPI projektu na uvedeném obrázku může být zařazen do některé z množin *velmi nízké, nízké, střední, vyšší, velmi vysoké, kritické*. Oproti normálnímu řazení do klasických množin, kde prvek do množiny buď patří nebo nepatří, tj. jeho příslušnost k množině je charakterizována číslem 1, patří-li do množiny, případně 0, nepatří-li do množiny, je zde zařazení do množin neurčité (fuzzy) a je dáno tzv. hodnotou funkce příslušnosti, která je z intervalu $<0,1>$. Takovéto množiny nazval Zadeh fuzzy množinami. Uvedený obrázek ukazuje, že zjistí-li vedení projektu hodnotu 18mil.Kč, fuzzyfikátor (vedoucí projektu) jí prohlásí za příslušnou množině *střední* s hodnotou funkce příslušnosti 1 a současně z příslušnou množině *nízká* s hodnotou funkce příslušnosti 0,4 atd. Hodnoty funkcí příslušnosti vlastně vyjadřují míru přesvědčení vedoucího projektu o tom, nakolik

naměřená hodnota veličiny do té které množiny patří a můžeme je nazývat třeba pravdivostmi.

Je zřejmé, že různí vedoucí projektu (experti) mohou hodnotě 18mil.Kč na tomtěž projektu přiřadit různou hodnotu funkce příslušnosti, např. do množiny střední.

4 POTŘEBA PREDIKCE VÝVOJE PROJEKTU V SOUČASNÉM TURBULENTNÍM PROSTŘEDÍ

Složitost a turbulentnost prostředí změn, které je třeba v současné podnikové praxi řídit vyžaduje nasazení moderních metod práce a týmové spolupráce. Současná manažerská praxe ovšem stále sází spíše na intuici a improvizaci, než na systematizované plánování a modelování možných situací.

Lze konstatovat, že projekty jsou buď řízené nebo neřízené. Neřízené projekty bývají technicko-ekonomickým hazardem, což je zpravidla pro jejich nositele v delším horizontu nevýhodné. Technicko-ekonomickým hazardem však mohou být i projekty sice řízené, ale špatně.

Dobře řízený projekt se však může stát špatně řízeným projektem i za velmi příznivých okolností, kdy je přítomna jak znalost teorie projektového řízení, tak úřednická vyspělost při řízení projektu (a jeho rizik). Stačí k tomu skutečnost, že projekt obsahuje model sebe sama. Tento model je dán plánem projektu a změnami a pohybem všech jeho dokumentů (pojem dokument chápeme nyní zcela obecně jako papír, soubor na disku, fotografii, e-mail atd.).

Existuje možnost pokládat model projektu (ztělesněný příslušnými dokumenty a jejich pohybem) přímo za projekt. V jazyce, jímž spolu účastníci vedení projektu komunikují, to je zpravidla obtížně rozeznatelné. Nezatíženo realitou vypadá v dokumentech všechno velmi jasně.

Problém je samozřejmě v tom, že model vývoje fyzicky probíhajícího projektu existuje z povahy věci zcela mimo systém projektových dokumentů. Žije svým životem a rozdíl mezi "dokumentovým modelem projektu" a jeho realitou, jsou jedním ze zdrojů velmi špatně předvídatelných rizik.

Jako příklad uveďme požadavek zavést pro každý projekt měřitelné charakteristiky plnění projektových úloh (nebo míry dokončení jednotlivých etap práce projektu). Měřitelné charakteristiky umožňují relativně snadnou kontrolu průběhu prací. Tato kontrola by bez nich určitě činila větší potíže. Lze si však velmi snadno představit produkt projektu dle měřitelných charakteristik z 90 procent hotový, na kterém se přesto musí pracovat ještě dvakrát tak dlouho, než dosud.

Za tuto oblast je sice přímo odpovědný manažer kvality, ale je velmi důležité si uvědomit, že měřitelné charakteristiky nejsou přímo projektem, ale jen pomocným ukazatelem.

Běžný dokumentový model projektu má ovšem díky svojí statické velmi daleko k tomu, aby analogicky svému vzoru žil nějakým životem, to znamená, aby dynamicky předpovídal možné stavy projektových charakteristik. Jsou to papíry,

soubory, atd., se kterými musí neustále pohybovat lidé, chtějí-li, aby jim model projektu ukazoval statický současný stav projektu. Schematicky skoro vždy a skoro nevyhnutelně platí, že dokumentový model projektu je velmi vzdálen od skutečného života projektu.

Vedle již zmíněného dokumentového modelu projektu však může v některých případech vzniknout zajímavý nástroj zvaný "Simulační model projektu". Jedná se o model, který samozřejmě taky není totožný s fyzickou dynamickou realitou projektu, ale na rozdíl od běžného dokumentového modelu projektu vlastním dynamickým životem žít může.

Simulační model pak může sloužit k tréninku např. manažera, který si zvyšuje kvalifikaci. Hovoříme pak o simulačních projektových trenažérech. Je to bezpečné, levné, opakovatelné. "Skutečné" příčiny chyb i úspěchů lze pak zpravidla snadno dohledat. [12]

Je ovšem velmi důležité a účelné nezastavit se jen u tréninkové aplikace simulačních modelů a udělat několik dalších kroků, z nichž samozřejmě ten největší je přímé využití simulačního modelu při řízení projektu a jeho rizik.

5 NÁVRH ROZHODOVÁNÍ S VYUŽITÍM FUZZY A PREDIKCE DALŠÍHO VÝVOJE PROJEKTU

5.1 ROZHODOVÁNÍ A PROJEKTOVÉ ŘÍZENÍ FIREM S VYUŽITÍM FUZZY MNOŽIN

Oblast rozhodování a projektového řízení softwarových firem se pro použití fuzzy množin jeví obzvláště vhodná, neboť rozhodovací a řídicí subjekty jsou zpravidla lidé, kteří formulují problém pomocí více nebo méně vágních pojmů. V řízení je vedle toho častým důvodem pro použití fuzzy množin velká složitost řízeného objektu, který klasickými prostředky buď popsat nelze, nebo je popis tak složitý, že je v praxi nepoužitelný.

Dalo by se předpokládat, že fuzzy přístup bude nejvíce využíván v méně exaktních disciplínách, kde je dán větší prostor k vágním formulacím řešených problémů, uveďme třeba ekonomii, sociologii, psychologii apod. Jakési náznaky kontaktu s fuzzy přístupem již zde přeci jen nějaké byly, ale přesto můžeme konstatovat, že těžiště realizovaných fuzzy aplikací spadá do disciplíny, kde je vágních formulací méně - a sice do techniky.

5.1.1 Fuzzy řízení

Při klasickém řízení, resp. regulaci např. PID regulátorem, se filozofie návrhu regulátoru soustřeďuje na model procesu, který má být řízen. Proces je popsán diferenciálními rovnicemi a řešení těchto rovnic vede k nastavení PID regulátoru tak, aby výsledný systém splňoval naše představy o řízení procesu.

U fuzzy řízení není fundamentální řízená soustava a její model, ale pozornost je věnována především chování člověka, který soustavu zná a umí ji řídit. Fuzzy regulátor pak využívá znalostí tzv. experta, který je s řízenou soustavou a jejím

řízením důkladně seznámen aniž by však třeba měl nějakou představu o jejím matematickém modelu. Takový expert pak opravdu řídí řízenou soustavu podle fuzzy pravidel typu **JESTLIŽE POZOROVANÁ VELIČINA x je MÍRNĚ POZITIVNÍ PAK AKČNÍ ZÁSAH y zvětším o MÍRNĚ NEGATIVNÍ hodnotu.**

5.1.2 ROZHODOVÁNÍ

Úlohu rozhodování lze obecně formulovat takto:

Nechť je dána množina alternativ $A = \{a_i; i \in J\}$. Dále necht' jsou specifikovány cíle, které chceme dosáhnout, a omezení, které musíme dodržet. Naším úkolem je najít alternativu $a \in A$, která by vyhovovala cílům a omezením.

Pojmy cíle a omezení jsou velmi široké a jsou v praxi modelovány nejrůznějšími způsoby [8], [13]. Nejjednodušší přístup je uvažovat cíle i omezení jako podmnožiny A . Pak vybereme alternativu, která patří do průniku cílů a omezení.

Příklad: Uvažujme typickou rozhodovací situaci softwarové firmy, která má rozhodnout a vybrat ty projekty, které začne realizovat v příštím období. V oblasti implementace automatizovaných informačních řídicích systémů se v dnešním turbulentním prostředí jeví toto rozhodnutí jako nejvýše strategické a klíčové. Není tedy možné přijmout za každou cenu všechny zakázky. Je zřejmé, že z hlediska volných kapacit, plánovaných termínů, nákladů a možných rizik nesplnění všech smluvně podchycených očekávání zákazníka je nutné před započítáním projektu věnovat patřičný prostor zvážení, zda možná rizika dostatečně vyváží očekávané přínosy resp. výnosy. V současnosti toto rozhodování podporuje trend nově vznikajících konzultačních firem, které si najímá zákazník a které se zaměřují na hledání nedostatků v odborném řešení a implementaci daného poskytovatele.

Uvažujme tedy množinu alternativ A , což jsou jednotlivé projekty. Cílem je zajistit prosperitu a dynamický vývoj firmy tím, že budou vybrány jen ty projekty, které přinesou zisk alespoň 1mil. Kč, a omezením je podmínka, aby termín dokončení projektu byl méně než půl roku od jeho zahájení. Zřejmě cíl určuje podmnožinu $G \subseteq A$ a omezení podmnožinou $C \subseteq A$.

Firma se rozhodne pro ty projekty $a \in A$, pro které platí $a \in G \cap C$.

V praxi je samozřejmě rozhodovací situace mnohem složitější. Existuje zpravidla více cílů i omezení, které bývají stanoveny z různých hledisek a vágně, např. „ne příliš drahý program“, „velký přínos“, „velmi důležitý projekt“ apod. Tím se dostáváme k rozhodování ve fuzzy prostředí.

Předpokládejme, že rozhodovací subjekt posuzuje alternativy z n hledisek $\kappa_1, \dots, \kappa_n$ a že lze podle každého hlediska vymezit vyhovující alternativy pouze vágně pomocí slov přirozeného jazyka. Pak lze hlediska $\kappa_i, i=1, \dots, n$, chápat jako jazykové proměnné $\langle \kappa_i, \tau(\kappa_i), A, G, m_G \rangle$, kde κ_i jsou hlediska, $\tau(\kappa_i)$ je množina hodnot jazykové proměnné, A je množina alternativ, G je syntaktické pravidlo (gramatika), m_G je sémantické pravidlo.

Každému termu $A_{\kappa_i} \in \tau(\kappa_i)$ je podle sémantického pravidla μ_G přiřazen jeho význam $\mathbf{M}(A_{\kappa_i}) \subseteq A$, tj. fuzzy množina alternativ, které odpovídají kritériu A_{κ_i} podle hlediska κ_i . V rámci každého hlediska lze specifikovat jak cíle, tak i omezení, což jsou opět termy z množiny $\tau(\kappa_i)$.

Rozhodnutí : Necht' A je množina alternativ a necht' podle každého hlediska κ_i je stanoven cíl $\wp_i \in \tau(\kappa_i)$ a omezení $\psi_i \in \tau(\kappa_i)$. Pak rozhodnutí D ve fuzzy prostředí je dáno současným splněním cílů i omezení $\wp_i, \psi_i, i=1, \dots, n$.

Poznámka: Jestliže se stane, že podle hlediska κ_i je specifikován pouze cíl, a nikoliv omezení nebo naopak, pak položíme $\mathbf{M}(\wp_i) = A$, resp. $\mathbf{M}(\psi_i) = A$.

Současné splnění všech cílů a omezení lze interpretovat různým způsobem. Zcela přirozeně se nabízejí tyto přístupy :

Pesimistické rozhodnutí

$D = \psi_1 \wedge \wp_1 \wedge \psi_2 \wedge \wp_2 \wedge \dots \wedge \psi_n \wedge \wp_n$, které se jeví příliš omezující.

Pak význam D je definován takto:

$$\mathbf{M}(D) = \mathbf{M}(\psi_1) \cap \mathbf{M}(\wp_1) \cap \dots \cap \mathbf{M}(\psi_n) \cap \mathbf{M}(\wp_n)$$

Operace \cap může být nahrazena „ . „, pouze v případě, že $L = \langle 0,1 \rangle$.

Optimistické rozhodnutí

$D = (\psi_1 \wedge \wp_1) \vee (\psi_2 \wedge \wp_2) \vee \dots \vee (\psi_n \wedge \wp_n)$, které je poněkud odvážnější a jak záhy uvidíme, umožní nám realizovat postupně více projektů.

Pak význam D je definován takto $\mathbf{M}(D) = \bigcup_{i=1}^n (\mathbf{M}(\psi_i) \cap \mathbf{M}(\wp_i))$, kde \cap může být nahrazena jako v předchozím případě.

Při optimistickém rozhodnutí lze také všude uvažovat spojku nebo.

Musíme-li na základě fuzzy rozhodnutí D vybrat konkrétní alternativy, vybereme zpravidla ty alternativy $\mathbf{a} \in A$, jejichž stupeň příslušnosti $\mathbf{M}(D)\mathbf{a}$ je největší.

Příklad : Předpokládejme, že softwarová firma se má rozhodnout mezi projekty $A = \{\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3, \mathbf{a}_4\}$ podle hledisek $\kappa_1 =$ význam projektu, $\kappa_2 =$ zisk, $\kappa_3 =$ délka projektu. Necht' dále $L = \langle 0,1 \rangle$ a

$$\mathbf{M}(\text{velký význam}) = \left\{ \frac{1}{a_1}, \frac{0.6}{a_2} \right\},$$

$$\mathbf{M}(\text{vysoký zisk}) = \left\{ \frac{0.5}{a_1}, \frac{0.7}{a_2}, \frac{1}{a_3} \right\},$$

$$\mathbf{M}(\text{dlouhý projekt}) = \left\{ \frac{0.9}{a_1}, \frac{0.6}{a_2}, \frac{1}{a_3} \right\}$$

a pro zjednodušení položíme malý = ne velký (vysoký) a krátký = ne dlouhý.

Cíle podniku jsou tyto: realizovat projekty, které mají ne příliš velký význam, přinášejí značně vysoký zisk a trvají spíše dlouho. Omezení nadřazeným orgánem jsou : realizovat projekty, které mají velký význam a trvají krátce.

Definujme nyní jazykové proměnné:

Značně:

$M(\text{značně } a) = M(a) \cap M(a) \cap M(a)$, kde

operace \cap se nazývá *omezený součin* nebo *odvážný průnik* a má následující význam:

Jestliže $L = \langle 0,1 \rangle$, pak pro každé $x \in U$ platí: $(A \cap B)x = 0 \vee (Ax + Bx - 1)$, přičemž necht' $x \in A$ ve stupni Ax a $x \in B$ ve stupni Bx .

Proto tedy $M(\text{značně } a)x = \max(0, \max(0, 2Ax - 1) + Ax - 1)$

Ne:

$M(\text{ne } a) = 1 - M(a)$

$M(\text{ne } a)x = 1 - Ax$

Spíše:

označujeme $M(a) = A$, přičemž platí, že

$M(\text{spíše } a)x = \max(\min(2(Ax)^4, (Ax)^2), -2(Ax)^4 + 4(Ax)^2 - 1)$

Dosažením jednotlivých stupňů příslušnosti získáme např.:

$M(\text{spíše dlouhý projekt}) = \{0.93/a_1, 0.259/a_2, 1/a_3, 0/a_4\}$

Dále předpokládejme (čísla jsou volena jen pro názornost) například:

$M(\text{ne příliš velký význam}) = \{0.784/a_2, 1/a_3, 1/a_4\}$ (příliš = značně).

Pak *pesimistické rozhodnutí* je:

$D = \{0.26/a_2\}$

a *optimistické rozhodnutí* je („“ = \cap)

$D = \{0.125/a_1, 0.6/a_2, 1/a_3\}$.

Podle pesimistického rozhodnutí by se firma rozhodla pouze pro projekt a_2 . Optimistické rozhodnutí nabízí realizovat projekt a_3 a ve druhém pořadí projekt a_2 .

Rozhodnutí D dle výše uvedeného předpokládá, že všechny cíle i omezení jsou stejně důležité. Různou důležitost lze vyjádřit tím, že každému cíli i omezení přiřadíme nějakou váhu $w_{G_i} \in L$, resp. $w_{C_i} \in L$.

Mějme danu operaci typu součin „“ v L . Pak pesimistické rozhodnutí D bude mít význam $M(D) = \bigcap_{i=1}^n ((w_{C_i} \cdot M(\psi_i)) \cap (w_{G_i} \cdot M(\phi_i)))$

a optimistické rozhodnutí

$M(D) = \bigcup_{i=1}^n ((w_{C_i} \cdot M(\psi_i)) \cap (w_{G_i} \cdot M(\phi_i)))$.

(v $\langle 0,1 \rangle$ je „“ zpravidla součin reálných čísel).

Je-li splněna podmínka $\sum_{i=1}^n (w_{G_i} + w_{C_i}) = 1$, pak lze stupně příslušnosti $M(D)$ fuzzy množiny D určit jako konvexní kombinaci

$$D\mathbf{a} = \sum_{i=1}^n w_{C_i} C_i \mathbf{a} + \sum_{i=1}^n w_{G_i} G_i \mathbf{a},$$

kde $C_i = M(\psi_i)$ a $G_i = M(\phi_i)$.

Určení vah :

Váhy jsou čísla, která jsou přiřazena kritériím a která vyjadřují jejich důležitost. Existuje řada metod pro jejich určení. V tomto odstavci bude popsána metoda, která pochází od T.L.Saatyho. Je založena na vzájemném porovnávání důležitosti objektů prováděném subjektivním ohodnocením. Saaty k tomu navrhuje použít devítibodovou škálu :

V běžně používaných výrazech ji lze interpretovat např takto :

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| 1= stejně důležité | - stejně důležité |
| 3= mírně důležitější | - trochu důležitější |
| 5= významně důležitější | - dosti důležité |
| 7= podstatně důležitější | - moc důležité |
| 9= absolutně důležitější | - nejdůležitější |

Hodnoty 2,4,6,8, vyjadřují kompromis mezi 1a3, 3a5, 5a7, 7a9.

Mějme dáno n kritérií o_1, \dots, o_n , kterým chceme přiřadit váhy w_1, \dots, w_n , $w_i > 0$ pro $i = 1, \dots, n$. Je užitečné požadovat, aby $\sum_{i=1}^n w_i = 1$. Předpokládejme na chvíli, že váhy už známe. Pak lze sestavit matici

$$Q = \begin{matrix} & \begin{matrix} o_1 & \dots & o_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} o_1 \\ \dots \\ o_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \end{matrix},$$

v níž každý prvek $q_{ij} = w_i/w_j$ vyjadřuje vzájemné srovnání důležitosti kritérií o_i a o_j . Budeme-li Q násobit vektorem $\mathbf{w} = [w_1, \dots, w_n]$, dostaneme vektor $n\mathbf{w}$. Známe-li matici Q , pak úloha nalezení vektoru vah \mathbf{w} vede na řešení rovnice

$$(Q - nI)\mathbf{w} = \mathbf{0},$$

kde I je diagonální jednotková matice. Rovnice má nenulové řešení, právě když n je vlastní číslo matice Q . Protože Q má hodnotu 1 a všechny její prvky jsou kladné, existuje právě jedna vlastní hodnota $\lambda^0 \neq 0$, a protože

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = \text{tr}Q = n,$$

je $\lambda^0 = n$. Řešením rovnice (1.6) je kterýkoliv sloupec matice Q :

$\begin{bmatrix} q_{1j} \\ \dots \\ q_{nj} \end{bmatrix}$, $j = 1, \dots, n$. Vydělíme-li jeho prvky číslem $\sum_{i=1}^n q_{ij}$, dostáváme vektor

vah $\mathbf{w} = [w_1, \dots, w_n]$. V praxi však konstruujeme pouze matici \mathbf{Q} , která je odhadem matice \mathbf{Q} . Pro její prvky musí platit

$$q_{ij} = \frac{1}{q_{ji}}, \quad q_{ii} = 1 \text{ pro všechna } i, j = 1, \dots, n.$$

Čísla q_{ij} jsou pro $i < j$ čísla z uvedené devítibodové škály.

Podle Perronovy- Frobeniovy věty má tato matice jedno kladné reálné vlastní číslo λ_{\max} , které je větší než absolutní hodnoty všech ostatních vlastních čísel. Jemu odpovídající vlastní vektor $\mathbf{q}_{\max} = [q_1, \dots, q_n]$ má všechny složky kladné.

Položme $w_i = \frac{q_i}{\sum_{i=1}^n q_i}$, $i = 1, \dots, n$. (1.7)

Pak vektor \mathbf{w} lze chápat jako odhad vektoru vah.

Míru správnosti odhadu lze hodnotit dle toho, do jaké míry je vlastní číslo λ_{\max} matice \mathbf{Q} blízké n . V případě, že je značně odlišné, je třeba odhad zrevidovat.

Příklad : Necht' jsou dána kritéria $o_1 =$ přínos, $o_2 =$ počet funkcí, $o_3 =$ cena, jimž chceme přiřadit váhy. Provedli jsme dva odhady srovnání důležitosti

$$Q_1 = o_2 \begin{bmatrix} 1 & 6 & 9 \\ 1/6 & 1 & 2 \\ 1/9 & 1/7 & 1 \end{bmatrix}, \quad Q_2 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 2 \\ 1/5 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}.$$

Maximální vlastní číslo první matice $\lambda_{\max}^1 = 3,27$, což je dosti daleko od $n = 3$, zatímco $\lambda_{\max}^2 = 3,004$. Tento odhad je již uspokojivý. Vektor vah (vlastní vektor) je po normalizaci (1.7) $\mathbf{w} = [0,65; 0,23; 0,12]$, tedy přínos má váhu 0,65, počet funkcí 0,23 a cena 0,12.

5.2 MATEMATICKÝ MODEL VÝVOJE NÁKLADŮ

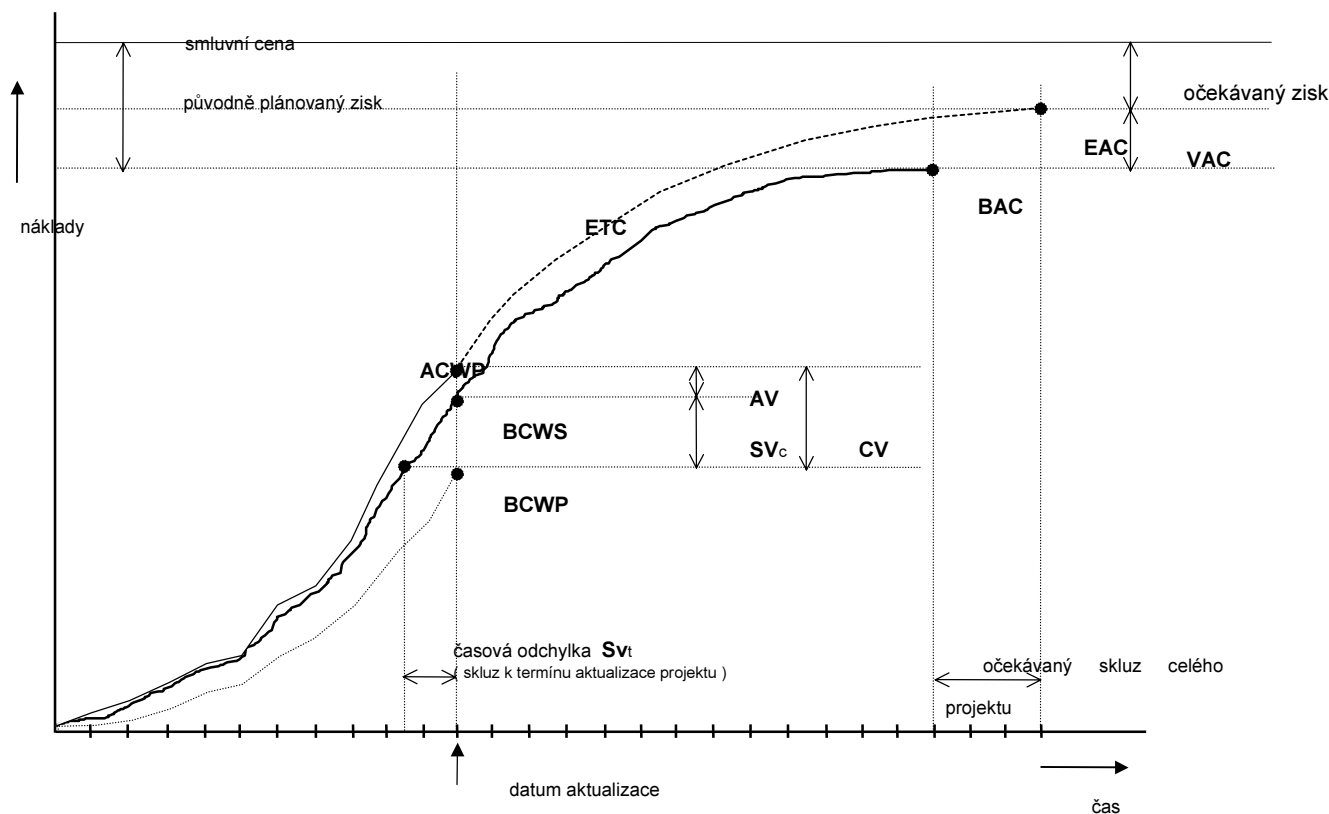
5.2.1 Predikce vývoje hodnot skutečných nákladů ACWP

Vyděme z koeficientů definovaných metodikou EVA [14], pak :

1. velikost původních rozpočtových nákladů dle původně plánovaného rozsahu prací - BCWS
2. velikost původních rozpočtových nákladů u skutečně provedených prací - BCWP
3. velikost skutečných nákladů u skutečně provedených prací - ACWP

Od těchto základních veličin lze vypočítat různé odchylky a indexy:

- ETC (Estimate to Complete) - odhad nákladů pro dokončení
- EAC (Calculated Estimate at Completion) - odhad nákladů při dokončení
- BAC (Budget At Completion) - celkové rozpočtové náklady
- CPI (Cost Performance Index) - index plnění nákladů
- SPI (Scheduled Performance Index) - index plnění plánu
- API (Actual Performance Index) - index skutečného plnění
- CV (Cost Variance) - nákladová odchylka
- SV (Schedule Variance) –plánovací odchylka
- AV (Accounting Variance) - účetní odchylka
- CV % (Cost Variance %) - nákladová odchylka v %
- SV % (Schedule Variance %) - časová odchylka v %
- CWR (Complete Work Ratio) - index rozpracovanosti
- VAC (Variance at Completion) - odchylka nákladů při dokončení



Obr. 10: Indexy a odchylky v histogramu vývoje nákladů

Vzhledem k výše prezentovaným průběhům nákladů v závislosti na čase, uvažujme tuto časovou závislost vyjádřit matematickou funkcí:

$$y = f(t) = f(t, a_1, a_2, \dots, a_k), \text{ kde } a_i; i = 1, 2, \dots, k \text{ jsou parametry.}$$

Vzhledem ke charakteru trendového průběhu uvedených nákladových křivek, patří mezi základní funkce použitelné pro popis znázorněné závislosti:

- Polynomická funkce 3. stupně

$$y = a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$$

- Logistická funkce ve tvaru:

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

5.2.2 Odhad parametrů polynomické funkce 3. stupně metodou nejmenších čtverců

Mějme n dvojic měření (y_i, t_i) $i = 1, 2, \dots, n$.

Předpokládejme, že

$$Y_i = f_i(t, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k) + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

kde $\alpha_1, \dots, \alpha_k$ jsou neznámé parametry.

ε_i jsou náhodné odchylky splňující podmínky nulové střední hodnoty a konstantního rozptylu:

$$E(\varepsilon_i) = 0 \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, n$$

$$D(\varepsilon_i) = \sigma^2 \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, n, \text{ kde } \sigma^2 > 0$$

Veličiny ε_i ($i = 1, 2, \dots, n$) jsou nezávislé.

Hledáme takové odhady a_1, \dots, a_k parametrů $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$, které minimalizují součet reziduálních čtverců, tj.:

$$\min \text{RSS} = \min \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i, a_1, \dots, a_k))^2$$

Při hledání minima funkce musí platit

$$\frac{\partial \text{RSS}}{\partial a_i} = 0 \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, k$$

Získáme tedy soustavu k – normálních rovnic.

Pro model $y = a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$

má RSS tvar

$$\sum_{i=0}^n (y_i - a_1 t_i - a_2 t_i^2 - a_3 t_i^3)^2, \text{ tedy}$$

$$2 \sum_{i=0}^n (y_i - a_1 t_i - a_2 t_i^2 - a_3 t_i^3) \cdot (-t_i) = 0$$

$$2 \sum_{i=0}^n (y_i - a_1 t_i - a_2 t_i^2 - a_3 t_i^3) \cdot (-t_i^2) = 0$$

$$2 \sum_{i=0}^n (y_i - a_1 t_i - a_2 t_i^2 - a_3 t_i^3) \cdot (-t_i^3) = 0$$

úpravou dostáváme soustavu normálních rovnic

$$a_1 \sum t_i^2 + a_2 \sum t_i^3 + a_3 \sum t_i^4 = \sum y_i t_i$$

$$a_1 \sum t_i^3 + a_2 \sum t_i^4 + a_3 \sum t_i^5 = \sum y_i t_i^2$$

$$a_1 \sum t_i^4 + a_2 \sum t_i^5 + a_3 \sum t_i^6 = \sum y_i t_i^3$$

5.2.3 Odhad parametrů logistické funkce Hotellingovou metodou

Uvažujme logistickou křivku ve tvaru

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

Uvedené logistické křivce odpovídá relativní růstová funkce

$$B(t) = \frac{dT(t)}{T(t)dt} = \alpha_0 + \alpha_1 T(t)$$

$$\alpha_0 = \delta, \quad \alpha_1 = -\frac{\delta}{\alpha}$$

Její empirickým protějškem je posloupnost empirických charakteristik empirických temp růstu

$$B_t = \frac{dy_t}{y_{t-1}} = ky_t - 1 \quad t = 2, \dots, n$$

Je-li $ky_t = \frac{y_t}{y_{t-1}}$ posloupnost empirických koeficientů růstu, pak lze relativní růstovou funkci zapsat ve tvaru:

$$B_t = \frac{y_t}{y_{t-1}} - 1$$

Uvažujme, že tato posloupnost bude mít následující strukturu:

$$B_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \varphi_t \quad t = 2, \dots, n,$$

kde φ_t , $t = 2, \dots, n$, je posloupnost blíže nespecifikovaných náhodných chyb, a proto lze k pořízení odhadů a_0, a_1 parametrů α_0, α_1 využít kritéria

$$\sum_{t=2}^n (B_t - a_0 - a_1 y_{t-1})^2 \dots \dots \dots \min.,$$

z čehož plyne, že odhady, které nás zajímají, získáme řešením soustavy rovnic

$$a_0(n-1) + a_1 \sum_{t=2}^n y_{t-1} = \sum_{t=2}^n B_t,$$

$$a_0 \sum_{t=2}^n y_{t-1} + a_1 \sum_{t=2}^n (y_{t-1})^2 = \sum_{t=2}^n y_{t-1} B_t.$$

Z hlediska odhadu b parametru β pak platí, že parametr β lze definovat ve tvaru:

$$\beta = \frac{(\alpha - T(t)) \cdot e^{\delta t}}{T(t)}.$$

Nahradíme-li $T(t)$ prvky y_t pro $t = 1, \dots, n$, parametr $\delta = a_0$ a parametr $a = -\frac{a_0}{a_1}$,

dostaneme posloupnost

$$b_t = \frac{(a - y_t) \cdot e^{a_0 t}}{y_t}, \quad t = 1, \dots, n.$$

Pak pro odhad b parametru β vyhovující kritériu $\sum_{t=1}^n (b_t - b)^2 \dots \min.$,

Dostaneme

$$b = \frac{\sum_{t=1}^n b_t}{n}, \quad t = 1, \dots, n,$$

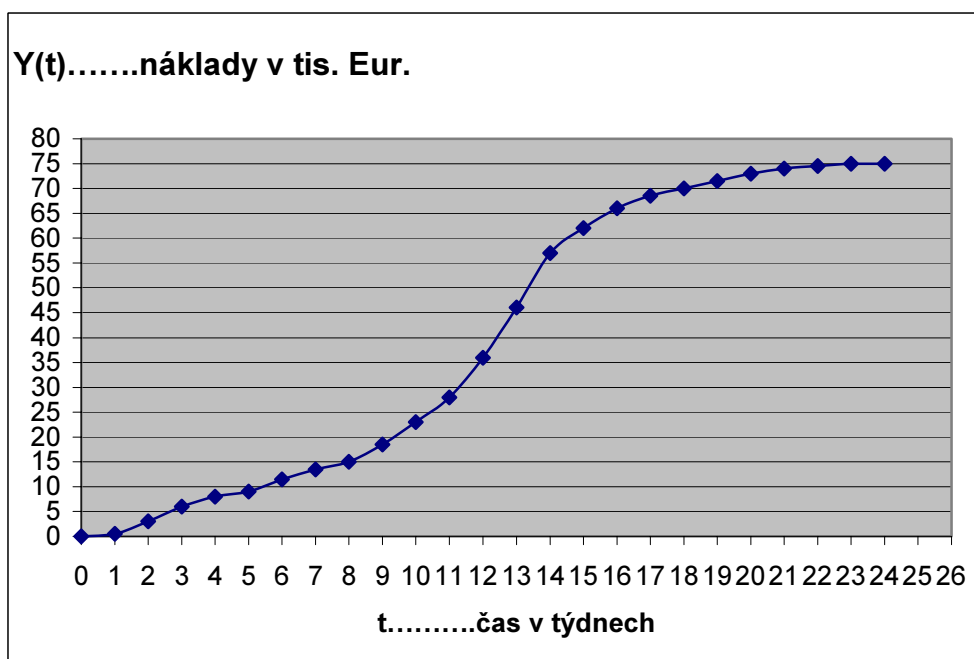
tento odhad je však proveditelný pouze za podmínky $a > y_t$, pro $t = 1, \dots, n$, což samozřejmě nemusí být vždy splněno. V případě nesplnění této podmínky lze provést odhad inflexního bodu křivky v čase $t = x$, takže platí-li pro odhadnuté parametry $a_0 = \delta$, pak pro odhad b parametru β bude platit $b = a_0 \cdot y(t)$ pro $t = x$.

6 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ

Bylo prezentováno, že hodnoty vývoje nákladů se dají vyjádřit funkčními vztahy. Výše uvedený matematický postup jsem aplikoval na konkrétní hodnoty plánovaných nákladů a určil jsem parametry obou uvažovaných funkcí. K numerickým výpočtům byl použit software Solution Manager.

6.1 VÝBĚR DAT

Jedná se o data poskytnutá firmou SAP ČR, s.r.o., která popisují vývoj nákladů při implementaci podnikového informačního systému u konkrétního zákazníka. Tento projekt byl vybrán proto, že průběh nákladů je typický pro projekty implementace informačních systémů. Data byla upravena přepočtovým koeficientem, aby nemohlo dojít k jejich zneužití.



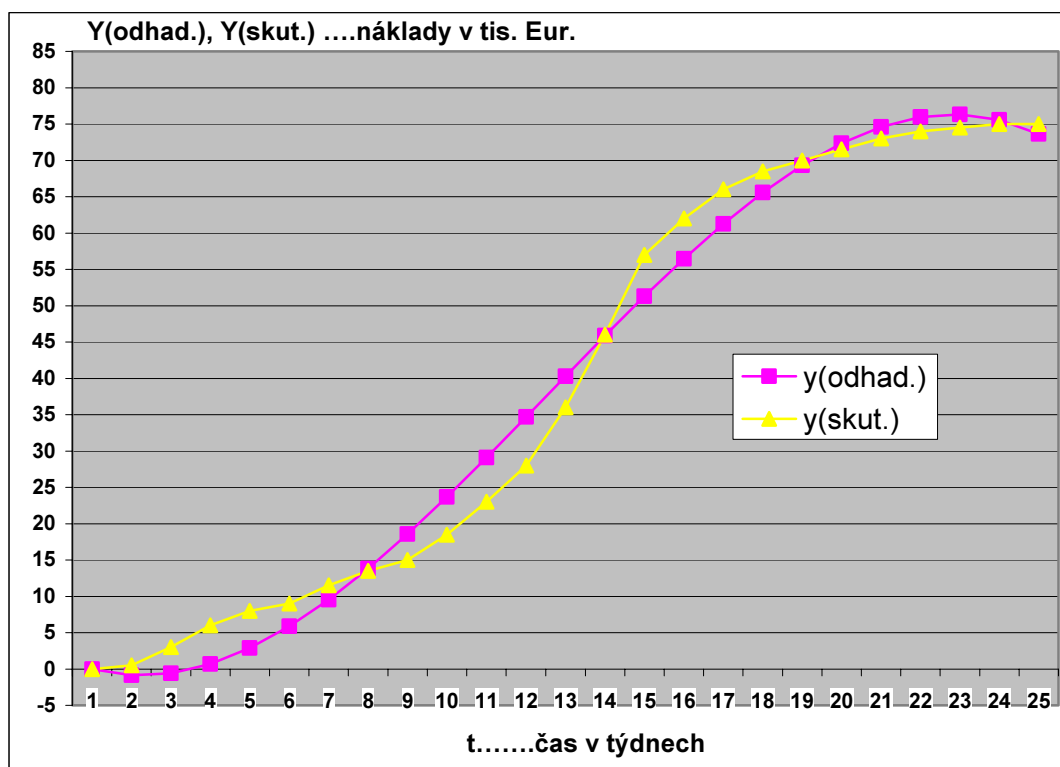
Obr. 15: Průběh nákladů v závislosti na čase reálného projektu implementace podnikového informačního systému

6.2 ODHAD PARAMETRŮ POLYNOMICKÉ FUNKCE 3. STUPNĚ

Výše popsanou metodou nejmenších čtverců byla odhadnuta následující polynomická funkce 3. stupně:

$$\hat{y}(t) = -1,449t + 0,613t^2 - 0,0177t^3$$

Dosazením jednotlivých hodnot t získáme grafický průběh odhadnutých hodnot $\hat{y}(t)$. Pro větší názornost je v grafu ponechán i průběh skutečných nákladů $y(t)$.



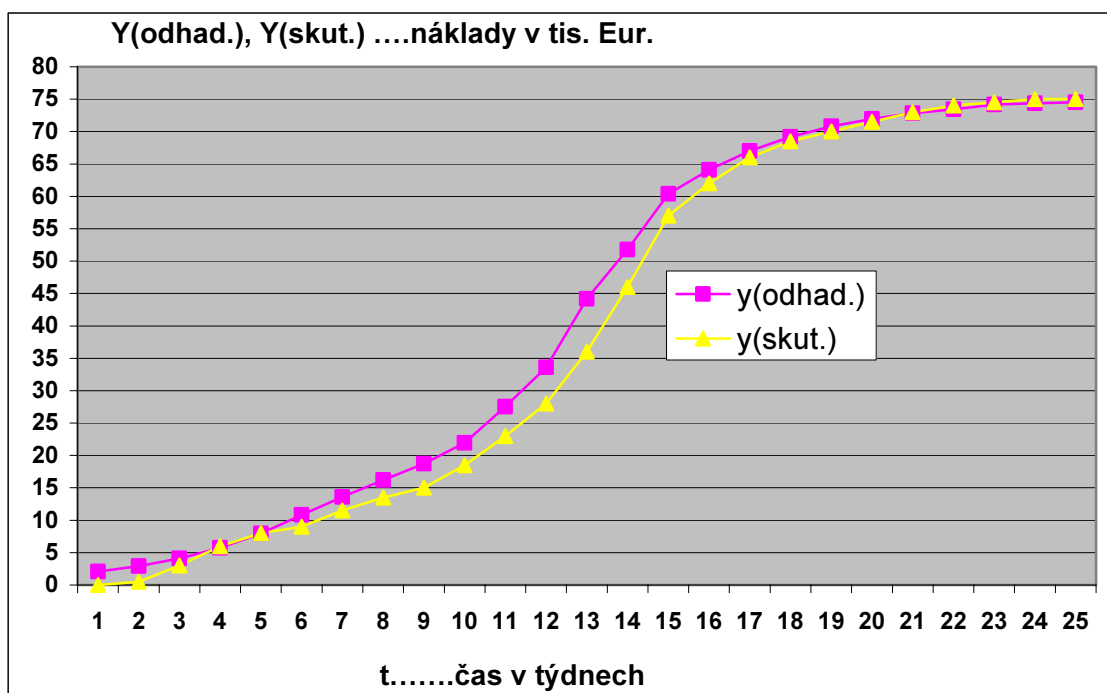
Obr. 16: Odhad parametrů polynomické funkce 3. stupně

6.3 ODHAD PARAMETRŮ LOGISTICKÉ FUNKCE HOTELLINGOVOU METODOU

Výše popsanou Hotellingovou metodou byla odhadnuta následující logistické funkci.

$$T(t) = \frac{74,878}{1 + 35,015 \cdot e^{-0,356 \cdot t}}$$

Dosazením jednotlivých hodnot t získáme grafický průběh odhadnutých hodnot $T(t)$. Pro větší názornost je v grafu ponechán i průběh skutečných nákladů $y(t)$.



Obr. 17: Odhad parametrů logistické funkce Hotellingovou metodou

6.4 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ

Pro ověření vhodnosti daného modelu bude, jak bylo již výše řečeno, použita střední čtvercová chyba.

$$MSE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (y_t - \hat{Y}_t)^2$$

Zvolený model je tím lepší, čím tato charakteristika nabude menších hodnot.

Hodnota střední čtvercové chyby pro logistickou funkci:

$$MSE = 9,33$$

Hodnota střední čtvercové chyby pro tuto polynomickou funkci 3. stupně:

$$MSE = 13,79$$

Příznivější hodnoty čtvercové chyby tedy nabývá logistická funkce.

Jak je patrné z výše uvedeného grafického průběhu jednotlivých funkcí, náklady reprezentované polynomickou funkcí 3. stupně jsou v počátečních časech grafu záporné a navíc od určitého časového okamžiku klesají, což je v praxi samozřejmě nemožné. Proto tato práce tento typ k predikci nedoporučuje.

Logistická funkce má po celou dobu svého průběhu hodnoty mírně vyšší, než je skutečnost, což v praxi může působit jako bezpečnější způsob predikce nákladů. Nevýhodou tohoto průběhu je, že funkce nemůže nabýt hodnoty vyšší, než je

hodnota v čitateli, což v našem případě je 74,878. Toto způsobuje efekt, při kterém se od jistého časového okamžiku již náklady nezvyšují, což ve fázi blížícího se konce projektu může na projektového manažera působit uklidňujícím dojmem a tím se zvyšuje riziko překročení skutečných nákladů právě v konečných fázích projektu.

6.5 PREDIKCE VÝVOJE SKUTEČNÝCH NÁKLADŮ ACWP A KOEFICIENTU CPI

Jak již bylo výše definováno, platí

- CPI (Cost Performance Index) - index plnění nákladů

$$CPI = \frac{BCWP}{ACWP}$$

Dále dle výše popsaného předpokládáme, že křivky BCWP a ACWP mají průběh, který nejlépe reprezentuje logistická funkce, jejíž parametry lze odhadnout Hotellingovou metodou.

Pak tedy

$$BWCP(t) = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\delta t}}$$

$$ACWP(t) = \frac{\wp}{1 + \eta e^{-\lambda t}}$$

Pak platí, že

$$CPI = \frac{BCWP}{ACWP} = \alpha \cdot \wp^{-1} \frac{1 + \eta e^{-\lambda t}}{1 + \beta e^{-\delta t}}$$

kde $\alpha, \beta, \wp, \delta, \eta, \lambda$ jsou parametry logistických křivek BWCP a ACWP odhadnuté Hotellingovou metodou pro jednotlivé křivky. Na základě známých minulých hodnot BWCP a ACWP lze Hotellingovou metodou odhadnout budoucí hodnoty těchto křivek, které pak umožní predikovat průběh koeficientu CPI v čase, což má po projektového manažera větší vypovídací hodnotu než samotný průběh BWCP a ACWP.

7 ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Přehled splnění cílů, které byly definovány v kap. 2.

Cíl č.1 byl splněn takto:

Práce navrhuje způsob využití fuzzy množin pro oblast rozhodování v rámci projektového řízení implementačních projektů AIŘS. Oblast rozhodování a projektového řízení v rámci implementace informačních a řídicích systémů se pro použití fuzzy množin jeví obzvláště vhodná, neboť rozhodovací a řídicí subjekty jsou zpravidla lidé, kteří formulují problém pomocí více nebo méně vágních pojmů.

V řízení je vedle toho častým důvodem pro použití fuzzy množin velká složitost řízeného objektu, který klasickými prostředky buď popsat nelze, nebo je popis tak složitý, že je v praxi nepoužitelný. Dalo by se předpokládat, že fuzzy přístup bude nejvíce využíván v méně exaktních disciplínách, kde je dán větší prostor k vágním formulacím řešených problémů, uveďme třeba ekonomii, sociologii, psychologii apod. Jakési náznaky kontaktu s fuzzy přístupem již zde přeci jen nějaké byly, ale přesto můžeme konstatovat, že těžiště realizovaných fuzzy aplikací spadá do disciplíny, kde je vágních formulací méně - a sice do techniky. Využití fuzzy množin pro oblast projektového řízení, je dle dostupných informací, v současné době, unikátní záležitost.

Cíl č.2 byl splněn takto:

Práce navrhuje použít časových řad ke stanovení průběhu matematického modelu vývoje nákladů projektu. Na základě známých minulých hodnot BWCP a ACWP s využitím časových řad práce predikuje budoucí hodnoty těchto křivek. Tyto pak dále umožní predikovat průběh koeficientu CPI v čase, což má po projektového manažera větší vypovídací hodnotu než samotný průběh BWCP a ACWP.

Cíl č.3 byl splněn takto:

Práce navrhuje s ohledem na specifický časový průběh projektových nákladů projektů zavádějících AIRS oproti například běžným investičním projektům ve stavebnictví či strojírenství použít k vlastní predikci nákladů projektu logistický matematický model. Koeficienty tohoto logistického matematického modelu vývoje nákladů navrhuje práce stanovit využitím Hotellingovy metody.

Teoretické přínosy:

Zavedení nových vzorců pro optimistické a pesimistické rozhodování v oblasti projektového řízení s využitím fuzzy množin.

Nový způsob predikce nákladů projektu s využitím časových řad popsaných logistickým matematickým modelem jehož koeficienty jsou odhadovány Hotellingovou metodou.

Zavedení nového vzorce pro predikci průběhu koeficientu CPI v čase na základě známých minulých hodnot BWCP a ACWP.

Praktické přínosy:

Návrh využití fuzzy množin pro oblast rozhodování a projektového řízení v rámci implementace informačních a řídicích systémů. Tato oblast se pro použití fuzzy množin jeví obzvláště vhodná, neboť rozhodovací a řídicí subjekty jsou zpravidla lidé, kteří formulují problém pomocí více nebo méně vágních pojmů. Běžně uváděné údaje hovoří o tom, že v průměru 60% z vícenákladů na IT implementační projekt činí náklady z chyb vzniklých nemetodickým a nesystematickým rozhodováním v rámci řízení projektu. Základní příčinou je špatné nesystematické rozhodování při zavádění IT. Vedoucí projektů pro zavádění IT většinou nepoužívají vědeckých metod pro projektové řízení. Naopak využívají primitivních metod ad hoc, které neodpovídají složitosti řešené problematiky. Například v oblasti implementace automatizovaných informačních řídicích systémů se v dnešním

turbulentním prostředí jeví rozhodnutí: “Které projekty realizovat a které nikoli“ jako nejvýše strategické a klíčové. Není možné přijmout za každou cenu všechny zakázky. Je zřejmé, že z hlediska volných kapacit, plánovaných termínů, nákladů a možných rizik nesplnění všech smluvně podchycených očekávání zákazníka je nutné před započítáním projektu věnovat patřičný prostor zvážení, zda možná rizika dostatečně vyváží očekávané přínosy resp. výnosy. V současnosti význam tohoto rozhodování podporuje trend nově vznikajících konzultačních firem, které si najímá zákazník a které se zaměřují na hledání nedostatků v odborném řešení a implementaci daného poskytovatele.

Požadavky obsažené v PM BOK (Project Management Body of Knowledge) a ICB (IPMA Competence Baseline) vyžadují aby v rámci reportingu o projektu nebyl popisován pouze aktuální stav projektu, ale aby byla uváděna i predikce dalšího vývoje projektu. V současné praxi však neexistují pro tuto oblast žádné metody a proto firmy nevědí, jak uvedeného požadavku dosáhnout. Práce navrhuje využití časových řad pro praktickou predikci vývoje nákladů projektu. S ohledem na specifika projektů implementace AIŘS navrhuje práce použít pro predikci logistický matematický model, jehož koeficienty doporučuje stanovit Hotellingovou metodou.

Tento způsob predikce byl prakticky ověřen na datech poskytnutých firmou SAP ČR. Tato data popisují vývoj nákladů při implementaci podnikového AIŘS u konkrétní nejmenované společnosti, která působí na českém trhu v oblasti utilit. Tento projekt byl vybrán proto, že průběh nákladů je typický pro projekty implementace AIŘS. Výsledky tohoto praktického ověření jsou v práci prezentovány v kap. 6.

Doporučení pro další výzkum:

Jak již bylo napsáno výše, tato práce navrhuje pro predikci nákladů projektu využití časových řad. Přesto se domnívám, že by bylo podnětné, aby se další výzkum v této oblasti věnoval využití Markovových řetězců. Skryté Markovovy modely jsou podle mého názoru velice perspektivním prostředkem a skrývají v sobě mocný matematický aparát pro rozpoznávání a modelování s využitím statistických metod. Bylo by zajímavé prozkoumat možnosti využití Markovových řetězců právě k predikci nákladů investičních projektů ve stavebnictví či strojírenství.

Velmi mnoho projektů nesplňuje z hlediska dosažených implementačních nákladů po svém zavedení očekávání, s nimiž byly nastartovány. Příčiny bývají mnohé, s překvapivou pravidelností se opakují problémy v komunikaci, zájmech, tvůrčích bariérách. Např. Často se v rámci projektu nepodaří mobilizovat a využít veškeré potřebné know-how (jak z oblasti věcné tak i z oblasti technologické), které je sice k dispozici, ale obvykle rozloženo u různých členů týmu. Složitost a turbulentnost prostředí změn, které je třeba v současné podnikové praxi řídit vyžaduje nasazení moderních metod práce a týmové spolupráce. Současná manažerská praxe ovšem stále sází spíše na intuici a improvizaci, než na systematizované plánování a modelování možných situací.

Lze konstatovat, že projekty jsou buď řízené nebo neřízené. Neřízené projekty bývají technicko-ekonomickým hazardem, což je zpravidla pro jejich nositele v delším horizontu nevýhodné. Technicko-ekonomickým hazardem však mohou být i projekty sice řízené, ale špatně. Ke správnému rozhodování při řízení projektů může výrazně napomoci simulace budoucího vývoje projektu.

Simulace se v oblasti projektového řízení může uplatnit nejen na mnoha místech, ale i mnoha způsoby:

- Při lepším pochopení o co vlastně v daném projektu jde. Platí totiž známá Knuthova věta "Nevíme, co o projektu nevíme, dokud ho nesimulujeme".
- Při predikci budoucího vývoje projektu, bez které se nelze obejít, protože nestačí "změřit jak na tom jsme", aniž bychom si položili otázku k čemu to povede. Teprve odpověď na tuto otázku nám řekne, jak na tom jsme.
- Při identifikaci a kvantifikaci rizik.
- Při hledání optimálních parametrů projektu a to jak na jeho začátku, tak v průběhu řešení.

Kvalifikované předpovědi vývoje projektu u nás zatím nejsou příliš rozšířeny. Moderní projektové řízení však předpověď vývoje zahrnuje do běžného reportingu projektu, i když vytváření předpovědí je v západních zemích často založeno jen na zkušenosti projektových managerů a expertních odhadech. Proto výsledky výzkumu mohou zlepšit jakost řízení projektů nejen u nás, ale i v zahraničí.

8 ANNOTATION

The thesis presents the project management's description of software firms with the fuzzy sets application. The decision making and the project management of software firms appears to be especially suitable because the subject making decision and management are as rule the people, who form the problem by means of the more or less vague terms. There is a high complexity of the managed object in the management, which can not be described by the classical means or the description seems to be so complicated for the application in the practice and that is the matter for using fuzzy sets application. It could be presupposed, that the fuzzy acces will be used in less exact sciences, where there is bigger space for the vague formulations of the solvining problems, for example economy, sociology, psychology etc.

There was certain suggestion of the contact with the fuzzy sets though we can state that the centre of the executed fuzzy application coincides to the discipline, where there is less vague formulations, namely in the engineering.

According to available information is the fuzzy sets using nowadays unique matter for the project management area.

The thesis recommends to use the time series for prediction of project cost determination, which is based on the condition of logistical mathematical model.

The results of the thesis can be used for prediction of the coefficient SPI and CPI.

In face of the project specifics and turbulence, which loaded AIRS against to for example current investment projects in the civil or mechanical engineering, the thesis recommends to use the Hotteling's method for coefficient determination of the project cost's mathematical model.

The thesis recommends to predict future value BWCP and ACWP on the base of past values this curves with using Hotelling's method. This method then allowed to predict the CPI coefficient, which has bigger predicate value for project manager then only BWCP a ACWP.

Qualified prognosis of the project evolution are not meantime higly extended in our country.

Modern project management includes prognosis to the frequent project reporting, although in the Western – European countries is formation of prognosis often based on the project manager's experiences and presumption estimates.

For that reason results of this research can improve quality of project management not only in our country, but also in the foreign countries.

9 SEZNAM LITERATURY

- 1 Adair, J.: Vytváření efektivních týmů. Management Press, Praha, 1994
- 2 Artl, J. : Moderní metody modelování ekonomických časových řad, Grada, 1999
- 3 Cipra, T. : Analýza časových řad s aplikacemi v ekonomii, SNTL, 1986
- 4 Černý, M. - Gluckaufová, D. : Využití mlhavých množin při rozhodování podle více hledisek. Ekon. mat. obzor, 14, 1978
- 5 Ethier, S. N.: Markov Processes, New York, John Wiley & Sons, 1986
- 6 Freedman, D.: Markov Chains, San Francisco, Holden-Day, 1971
- 7 Lacko, B.: Projektové řízení ve strojírenství. Skriptum VUT Brno FS, 1996
- 8 Novák, V. : Fuzzy množiny a jejich aplikace, SNTL1990
- 9 Ondráček, E. - Janíček P.: Výpočtové modely v technické praxi. SNTL, Praha 1990
- 10 Pivoňka, P. : Fuzzy PI, PD, PID regulátory, Automatizace č.12, 1994
- 11 Vysoký, P.: Fuzzy řízení teplot v sušící peci, Automatizace č.9, 1995
- 12 Weinberger, J.: Optimalizace simulačního modelu dealerské činnosti. IT SYSTEM, 3/2001.
- 13 Zadeh, L. A.: Fuzzy Algorithms. Inf. & Control, 12, 1978
- 14 Zorkovský, M.: Earned Value Analysis, materiály firmy Optimasoft, s.r.o, 2002

10 ŽIVOTOPIS

Ing. Jan Dujka narozen 11.6.1972 ve Frýdku – Místku.

Vzdělání:

- 1986 - 1990 Gymnázium Petra Bezruče ve Frýdku - Místku
1990 - 1995 Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojní,
obor: *Automatizace a informatika*
1995 - 1998 Postgraduální doktorandské studium na VUT v Brně, Ústavu
automatizace a informatiky
2003 – souč. Postgraduální doktorandské studium na VUT v Brně, Ústavu
procesního inženýrství

Odborný profil:

1995

FIDES Ltd., Brno

(firma se zabývá projektováním a instalací elektronické protipožární a
zabezpečovací signalizace)
práce na pozici projektant

1995 - 1997

Vysoké učení technické v Brně, Ústav automatizace a informatiky, Brno

(ÚAI zajišťuje výuku 3. ročníků bakalářského studia a 4. a 5. ročníků
inženýrského studia se specializací na automatizaci a informatiku)

vedení cvičení předmětu „Prostředky CASE“

vedení cvičení předmětu „Počítačová podpora jakosti“

vedení cvičení předmětu „Projektování systémů řízení“

vedení cvičení předmětu „Navrhování systémů řízení“

vedení cvičení předmětu „Teorie automatického řízení I.“

vedení cvičení předmětu „Teorie automatického řízení II.“

1995 - 1998

Kancelářské stroje Brno, a.s., Brno

(firma se zabývá dodávkou vlastního komplexního informačního systému, který
na bázi rozsáhlých počítačových sítí umožňuje kromě vlastního řízení a
vyhodnocování průběhu výroby i zpracování evidence veškerých agend podniku
včetně podpory pro finanční plánování a řízení)

Odd. vývoje informačních technologií

1998 – 1999

Energoinfo s.r.o., Unión Fenosa-Acex, Software de Fabrica, Madrid

(Firma poskytuje v rámci strategické iniciativy Open Utilities vlastní integrované a modulární řešení pro řízení obchodu Open SGC a pro řízení distribuce Open SGD v podnicích poskytujících služby v oblastech veřejných služeb - elektrické energie, plynu, vody, telekomunikací, kabelové televize apod.)

účast při implementaci Open SGC v Severomoravské energetice, a.s.
práce na pozici systémového integrátora

od 1999 – dosud

SAP ČR, s.r.o., Praha

(Firma poskytuje v rámci strategické iniciativy mySAP.com vlastní komplexní platformu pro e-business. Platforma mySAP.com obsahuje všechna potřebná řešení, od zaměstnaneckých portálů po mobilní business řešení, nezbytná pro překonání vnitropodnikových hranic a vstup na globální trhy.)

práce na pozici Senior Consultant SAP

Implementace mySAP.com řešení mimo jiné u těchto významných zákazníků:

Nová huť, a.s.

Mostecká uhelná společnost, a.s.

MUS-DTS Vrbenský, a.s.

Západočeská plynárenská, a.s.

SAHM s.r.o.

SkoFIN, a.s.

Škoda Auto, a.s.

Jihomoravská energetika, a.s.

Jihočeská energetika, a.s.

Jihomoravská plynárenská, a.s.

Plzeňský prazdroj, a.s.

Pražské pivovary, a.s.

Eurotel, s.r.o.

Ministerstvo zemědělství ČR

Ve Frýdku – Místku 1. 8. 2003

Ing. Jan Dujka