

# PREDIKCE V PROJEKTECH NÁVRHU SOFTWARE

**Ing. Jan Doležal**

Ústav Automatizace a Informatiky FSI VUT v Brně, Czech Project Management o.s.,  
jd@czpm.eu

## ABSTRACT

The article submitting possibilities of prediction and simulation depended on the measurement of the project parameters in discreet time instants.

Projects are examined as set of following discreet states like those coming out from the earned value analysis defined by PMI.

Consequently there are various approaches to the project described - common sets of discreet time instants, black-box abstraction and finite automata.

Finite automata theory approach is described and chosen for the representation of the project set of states.

There are presented basic state models of projects. Next course of the research and possibility of using hidden Markov models are pointed out in the closure.

## ABSTRAKT

Článek předkládá možnosti predikce a simulace projektů v závislosti na měření jejich parametrů v diskretních časových okamžicích.

Projekty jsou zkoumány jako množina sousledných diskretních stavů tak, jak je generuje například metoda sledování projektu EVA (PMI).

Dále jsou v článku popsány různá pojetí projektu – jako obecná množina diskretních stavů, přístup „black-box“ a pojetí projektu jako konečného automatu.

Teorie konečných automatů je stručně popsána a následně aplikována na popis množiny stavů projektu.

Následně jsou představeny základní stavové modely projektu.

V závěru je nastíněn další směr výzkumu a možnosti aplikace skrytých Markovských modelů.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Projekt, projektové řízení, měření, simulace, predikce, konečný automat, black-box, markovské modely.

### 1. POSLOUPNOST STAVŮ PROJEKTU

V závislosti na typu a rozsahu projektu jsou různé intervaly mezi kontrolami průběhu plnění. Zpravidla se kontroluje při každém milníku a v určitých intervalech mezi nimi.

Stav projektu můžeme charakterizovat určitou množinou hodnot [2].

Často používanou metodou je analýza dosažené hodnoty (EVA – Earned Value Analysis). Jejím výstupem je řada indexů a parametrů, z nichž se dají sestavit tzv. S křivky. Pokud se na tuto záležitost podíváme podrobněji, jistě nám neunikne, že se jedná o polynom, který je proložen řadou bodů, neboli stavů projektu. Podle zásad metody EVA to může být indikace zpoždění, přečerpávání nákladů nebo naopak, urychlování a nedočerpávání nákladů a další stavy, včetně různých kombinací. Celkem dvanáct lingvisticky definovaných stavů, které mohou být jak stavy zjištěnými, tak stavy předpovídanými

Možné stavy, neboli možné výsledky EVA, možné stavy projektu, můžeme zobrazit do množiny přirozených čísel, tj. provedeme jejich očíslování 1,2,..., N. Dále si označíme

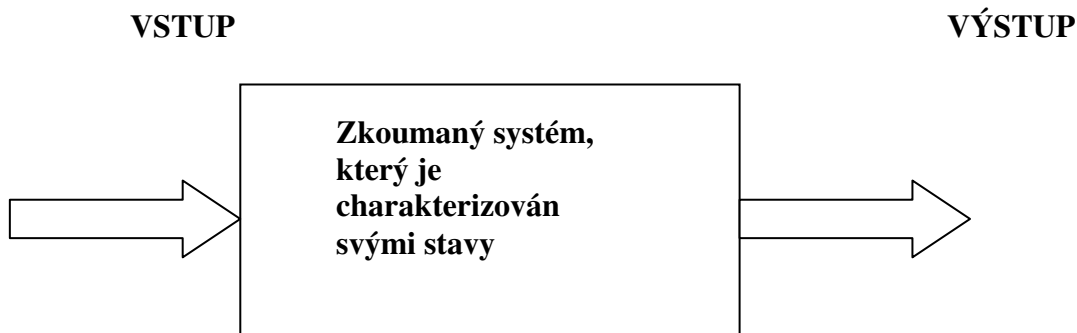
okamžiky, v nichž může docházet ke změnám, tedy okamžiky kontroly plnění projektu  $0,1,2,\dots$  (označme  $k$ ) [1].

Pro projekt jsme schopni nalézt určité vazby, minimálně mezi dvěma po sobě jdoucími stavy. Například, pokud je projekt silně opožděn oproti směrnému plánu, tak i když realizujeme nápravná opatření, další stav může vykazat zlepšení, ale je pravděpodobnější, že projekt bude stále zpožděn, i když méně. I na tuto eventualitu má matematika odpověď.

Projekt si můžeme spíše než jako naprosto obecnou diskrétní náhodnou veličinu, představit jako dynamický systém, ve kterém je potřeba zachytit vazby mezi po sobě následujícími stavy [9],[12].

## 2. PROJEKT JAKO SYSTÉM BLACK BOX

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):



Obr. 1: Schéma pojetí systému metodou Black box

Metodu zkoumání systémů prostřednictvím pojmu „black box“ podrobně popsal W.R.Ashby při zkoumání homestatických systémů (Introduction on Cybernetics, 1956) [11]

Při popisu a zkoumání takových systémů je možno aplikovat v rámci kybernetiky teorii konečných automatů. [7] Tato teorie chápe konečný automat jako abstraktní systém  $\Omega$ , popsáný konečnou neprázdnou množinou stavů  $\Sigma$ , konečnou množinou vstupních znaků  $\Psi$ . Fungování konečného automatu na vstupní znaky v jednotlivých pracovních taktech je popsáno pomocí zobrazení  $\partial$ , kde  $\partial$  je definováno jako zobrazení z  $\Psi \times \Sigma$  do  $\Sigma$ . Každý konečný automat má definován jeden stav z množiny stavů  $\Sigma$  jako počáteční stav  $\pi$  a určitý počet stavů z množiny  $\Sigma$  jako koncové stavy  $\kappa_1 \dots \kappa_a$ :

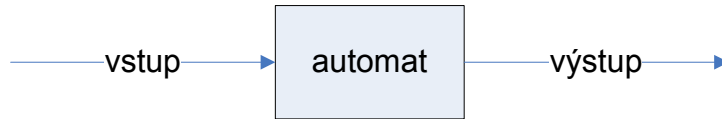
$$\Omega = \{ \Sigma, \Psi, \partial, \pi, \kappa_1 \dots \kappa_a \} \quad (1)$$

Takto definovaný systém nám dovoluje zkoumat posloupnost jednotlivých stavů tak, že každý následující stav do kterého se konečný automat dostane, závisí na jeho momentálním stavu a přijatém vstupním podnětu, který představuje konkrétní vstupní znak.

Stavy konečného automatu lze ztotožnit s již dříve definovanými stavy podle metody EVA 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. KONEČNÝ AUTOMAT

Konečný automat je systém s jedním vstupem a jedním výstupem. Konečný automat má dále k dispozici konečný počet reakcí (resp. složek reakcí), které nakupeny za sebou dávají možnost nekonečného počtu reakcí [10],[5].



Obr. 2: 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  $\mathbf{K}$ ), na kterém se objevují různá „písmena“ z výstupní abecedy  $\kappa_1 \dots \kappa_a$  (tuto množinu výstupních znaků si můžeme označit jako  $\mathbf{K}$ ).

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  $t+1$ .

Výše uvedené lze symbolicky vyjádřit párem rovnic:

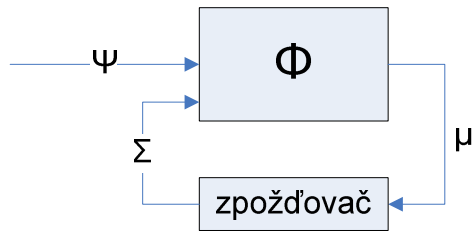
$$\kappa^t = F(\psi^t, \Sigma^t), \quad (2)$$

$$\Sigma^{t+1} = \Phi(\psi^t, \Sigma^t). \quad (3)$$

Kdyby konečný automat neměl žádný výstup, bylo by možné rovnici pro závislost stavu paměti v dalším taktu na vstupu a stavu paměti psát vždy ve tvaru (3).

Dále si můžeme představit, že máme blok, ve kterém se na základě vstupního znaku a stavu paměti v čase  $t$  vytvoří stav paměti pro stav  $t+1$ . Tento nový stav paměti určuje spolu se znakem na vstupu další stav paměti pro čas  $t+2$  a tak dále.

Blok pracující podle funkce  $\Phi$  bude mít tedy jakoby dva vstupní kanály – kanál  $\Psi$  a dále druhý, který bude spojen s výstupem bloku (jelikož stav paměti, který se objeví v čase  $t$  na výstupu, je pro další takt  $t+1$  na vstupu bloku) a přitom bude obsahovat zařízení, které postup vnitřního znaku pozdrží o jeden takt (obr.3.) – tzv. zpožďovač.



Obr. 3: Jádru konečného automatu

Vyjdeme-li z této představy, můžeme věc chápat tak, že stav paměti  $\Sigma^{t+1}$  se objeví za blokem  $\Phi$  už v taktu  $t$  na části kanálu před zpoždovačem.

V dalším taktu  $t+1$  se objeví za zpoždovačem na vstupu bloku  $\Phi$ . Vnitřní smyčku si můžeme označit  $\mu$ .

Poté můžeme místo (3) psát:

$$\mu^t = \Phi(\psi^t, \Sigma^t), \quad (4)$$

přičemž platí že

$$\Sigma^{t+1} = \mu^t, \quad (5)$$

(pomocná proměnná  $\mu$  nabývá hodnot z  $\mathbf{K}$ ).

Obecně lze tedy říci, že tři množiny  $(\Psi, \mathbf{K}, \Sigma)$  a dvě funkce určující výstupní znak (funkce  $F$ ) a vnitřní stav (funkce  $\Phi$ ).

Podle toho, jakým způsobem je k jádru připojeno zařízení přiřazující výstupní znaky vnitřním a vstupním znakům, lze rozlišit několik typů konečných automatů a upravit rovnice (2) a (3).

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.

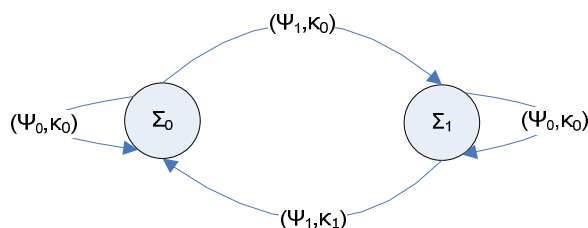
Způsob reakce bude záležet na funkcích  $F$  a  $\Phi$ .

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:

$\Psi \setminus \Sigma$	$\Sigma_0$	$\Sigma_1$
$\Psi_0$	$\Sigma_0 \mathbf{K}_0$	$\Sigma_1 \mathbf{K}_0$
$\Psi_1$	$\Sigma_1 \mathbf{K}_0$	$\Sigma_0 \mathbf{K}_1$

Takováto tabulka zadává obě funkce  $F$  a  $\Phi$ . Vidíme například, že  $\Phi(\psi_1', \Sigma_1') = \Sigma_0^{t+1}$  a  $F(\psi_1', \Sigma_1') = \kappa_1'$  atd.

Jiným způsobem zadávání může být například orientovaný graf (uvažujeme stejný příklad):

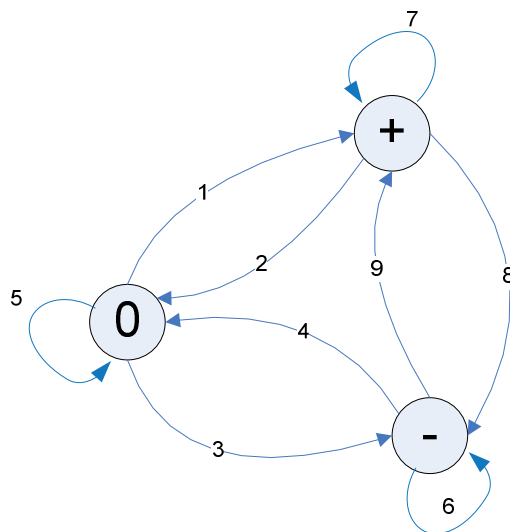


Obr. 4: Orientovaný diagram konečného automatu

#### 4. MODEL STAVŮ PROJEKTU

Uvedený pohled na problematiku nám poskytuje možnost představit si i projekt jako množinu stavů, a to s různým stupněm složitosti.

V nejjednodušší abstrakci bychom mohli projekt znázornit jako třístavový model:



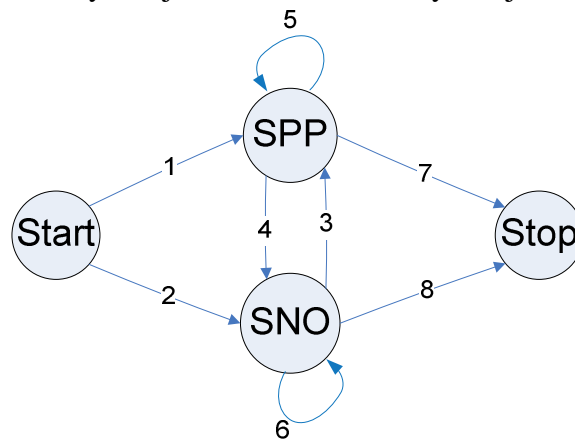
Obr. 5: Třístavový model projektu - PM3S

Model PM3S předpokládá pouze tři možné stavy projektu:

- 0, projekt je v mezích sledovaných parametrů,
- +, projekt je mimo meze sledovaných parametrů, a to v pozitivním slova smyslu (např. činnosti spotřebovávají méně času a zdrojů než bylo plánováno),
- -, projekt je mimo meze sledovaných parametrů, a to v negativním slova smyslu (např. projekt je zpožděn a přečerpává náklady).

Takovýto model je však pro praktické použití až příliš triviální.

Čtyřstavový model může naši abstrakci rozšířit o jednoznačnou závislost na čase a informaci o tom, že projekt někdy a nějak začal a také někdy a nějak skončí (absorpční stav).



Obr. 6: Čtyřstavový model projektu – PM4S

Tento model neuvažuje význam odchylky. Uvažovanými stavy jsou:

- Start, počáteční stav,
- SPP, stav podle plánu projektu,
- SNO, stav neplánované odchylky,
- Stop, koncový stav, ukončení projektu – ať už řádné nebo mimořádné.

Pojetí odchylky jako „vždy negativní“ lépe odpovídá filosofii projektového řízení, protože jakákoliv významnější odchylka od plánu naznačuje chybu v plánování a v důsledku znamená změny, které mají téměř vždy nějaký negativní dopad.

Přechody mezi stavy nejsou očíslovány nahodile. V daném modelu PM4S jsou liché přechody žádanými, sudé naopak nežádoucí.

Optimální průběh projektu je dle modelu PM4S Start – 1 – SPP ~ 5 ~ SPP – 7 – Stop (symbol ~ naznačuje opakování přechodu 5).

Častějším průběhem může být například Start – 1 – SPP – 4 – SNO ~ 6 ~ SNO – 3 – SPP – 7 – Stop.

V případě velkých problémů může projekt skončit i předčasně, což v modelu PM4S reprezentuje přechod 8.

Konkrétní průběh projektu může obsahovat velké množství kombinací přechodů mezi jednotlivými stavy.

Tento model je již použitelnější pro simulaci průběhu projektů, lze však vytvořit i složitější modely, např. šestistavový model PM6S, ve kterém přibývají stavy SL (zlepšení), SH (zhoršení). Takovýto model je již komplikovanější a obsahuje velké množství možných přechodů. Další výzkum se bude zabývat i tvorbou optimálního stavového modelu projektu pro účely simulací průběhu.

## 5. ZÁVĚR

Výzkumné práce, zaměřené na vytvoření návrhu nové metody pro predikci stavů projektů budou zaměřeny na možnosti využitím Markovových řetězců a teorie konečných automatů [8]. Prostřednictvím modelování a počítačové simulace [4],[13], bude výzkum a zpracování disertace zaměřen na řešení problému, jak stanovit pravděpodobnost přechodu z jednoho definovaného stavu do jiného definovaného stavu. Takto navržená metoda by měla pomoci lépe řídit softwarové projekty. Praxe dnes pouhým pragmatickým přístupem nemůže vyřešit problémy, spojené s predikcí současných složitých projektů [6],[3]. Nový přístup k predikci projektů, který bude založen na vědeckých přístupech, bude příspěvkem disertační práce k teorii oboru metrologie, která se dnes musí zabývat i měřením nehmotných veličin.

## LITERATURA

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 subjektov. In: Sborník Tvorba softwaru 2002. VŠB Ostrava 2002, str. 109-116
4. Spodniaková-Pfefferová, M.: Využitie modelov a simulácií při výučbe znalostí projektového riadenia. In: Sborník konference EDU 2004 PM – Výuka projektového řízení na VŠ v ČR. VUT v Brně 2004, str. 106-111
5. Trachtenbrot,B.A. – Barzdin, J. M.: Finite automata. (1.vydání) Amsterdam, Nord Holland 1973, 208 str.
6. Chmel, P.: Projektové řízení rizik veřejných zakázek. Disertační práce. Fak. Stavební ČVUT Praha 2003, 92 s.
7. Ashby, W. Ross. An Introduction to Cybernetics. John Wiley & Sons, Inc., New York 1966.
8. Bailey, N.T. The Elements of Stochastic Processes with Applications to the Natural Sciences. John Wiley & Sons, New York 1963.
9. Dupač, V., Dupačová, J. Markovovy procesy. Díly I a II. Skripta MFF UK. SNTL Praha 1975-6.
10. Pinkava, V.: Organismy jako automaty (1.vydání), Státní zdravotnické nakladatelství, n.p. Praha 1969, 224 s.
11. W.Ross Ashby: An Intoduction to Cybernetics. Chapman & Hill London 1951. Český překlad: Kybernetika, Orbis Praha 1961
12. Maixner,L.: Markovovy procesy a jejich aplikace. Univ. Palackého, Olomouc 1991, 194 s.
13. Bíla,J. a Jura,J.: Fuzzy concepts in the detection of unexpected situations. Acta polytechnica, ČVUT Praha 2007.

Tento příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM 0021630529 „Inteligentní systémy v automatizaci“.