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

Disertační práce – Dissertation thesis

Studijní obor: Metrologie a zkušebnictví

Vypracoval: Ing. Jan Doležal

Školitel: doc. Ing. Branislav Lacko, CSc.

Brno 2010

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 chápan 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 Markovs 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.

KLÍČOVÁ SLOVA

Projekt, management, predikce, Markovský řetězec, podpora rozhodování

KEYWORDS

Project, management, prediction, Markov chain, decision support

CITACE

DOLEŽAL, J.: *Predikce v projektech s využitím Markovských řetězců.* Brno, 2010, 87s. Disertační práce na Fakultě strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně na Ústavu automatizace a informatiky. Školitel doc. Ing. Branislav Lacko, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Čestně prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, pod vedením školitele doc. Ing. Branislava Lacka, CSc, a veškerý obsah je založen na mé práci a studiu zdrojů, které jsou řádně uvedeny a označeny.

V Chocni dne 24. 8. 2010

……
Ing. Jan Doležal

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji na tomto místě především vedoucímu mé disertační práce, doc. Ing. Branislavu Lackovi, CSc., který mi byl v průběhu celé doby výtečným mentorem.

Dále děkuji všem, kteří mi svými konzultacemi pomáhali najít správný směr. Mezi hlavními nelze nezmínit osobnosti, jako jsou Ing. Jan Bartoška, Ph.D., z ČZU a Ing. Juraj Kubiš, DrSc. a další.

OBSAH

ABSTRAKT 2
KLÍČOVÁ SLOVA 3
CITACE 4
PROHLÁŠENÍ 5
PODĚKOVÁNÍ 6
OBSAH 7
1 ÚVOD 9
1.1 Stavy projektu a jejich zjišťování 9
1.2 Nové požadavky na predikci projektů 10
2 CÍL A OBSAH PRÁCE 11
3 POUŽITÉ METODY 12
3.1 Metoda EVM 12
3.2 Metoda Black Box a konečný automat 15
3.2.1 Konečný automat 16
3.2.2 Mealyho stroj 17
3.2.3 Moorův automat 18
3.2.4 Další informace o konečných automatech 18
3.3 Markovské řetězce 19
3.3.1 Základní charakteristika 19
3.3.2 Druhy stavů a jejich seskupení a vlastnosti 20
3.3.3 Grafická interpretace 21
3.4 Modelování a simulace 22
4 KRITICKÉ ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU V OBLASTI PREDIKCE PROJEKTŮ 24
4.1 Predikce nákladů v KVM 24
4.2 Predikce nákladů dle logistické funkce 25
4.3 Vyhodnocení 26
4.4 Návrh dalšího přístupu k problematice 26
5 NÁVRH METODIKY PRO PREDIKCI 28
5.1 Výchozí teze 28
5.1.1 Fázový model projektu 28
5.1.2 Modely obecných stavů 29
5.2 Návrh zcela obecného modelu 34
5.2.1 Stavový prostor a možné stavy projektu 35
5.2.2 Geometrická konstrukce modelu 37
5.2.3 Možné přechody mezi stavy a jejich pravděpodobnost 39
5.3 Úprava modelu podle faktorů kontextu projektu 44
5.3.1 Úprava váhy násobením nebo dělením 46
5.3.2 Úprava váhy přirozeným exponentem 47
5.3.3 Úprava váhy exponenciálně 48
5.3.4 Aplikace vybrané úpravy na model 49
5.4 Návrh práce s modelem 51
5.4.1 Hlavní vlivy na projekt 52
5.4.2 Výpočet vlivu směru působení 55
5.4.3 Výpočet vlivu „síly“ působení 58
5.4.4 Zobecnění a výchozí teze použití 62
5.4.5 Doplnění vlivu výchozího stavu 62
5.4.6 Úprava pro praktické použití 65
6 OVĚŘENÍ NÁVRHU EXPERIMENTEM 72
6.1 Týden 4 73
6.2 Týden 12 74
6.3 Týden 16 75
6.4 Vyhodnocení 75
7 ZÁVĚR 77
8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 79
9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A VELIČIN 81

10 SEZNAM OBRÁZKŮ 83
11 SEZNAM PŘÍLOH 85
12 VLASTNÍ PUBLIKAČNÍ ČINNOST 86

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). Jejími výstupy 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 projetých 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 směrnému plánu, tak i když realizujeme nápravná opatření, další stav může sice vykázat 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 Managemnt 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.

Tato práce se zabývá právě takovou metodou.

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.

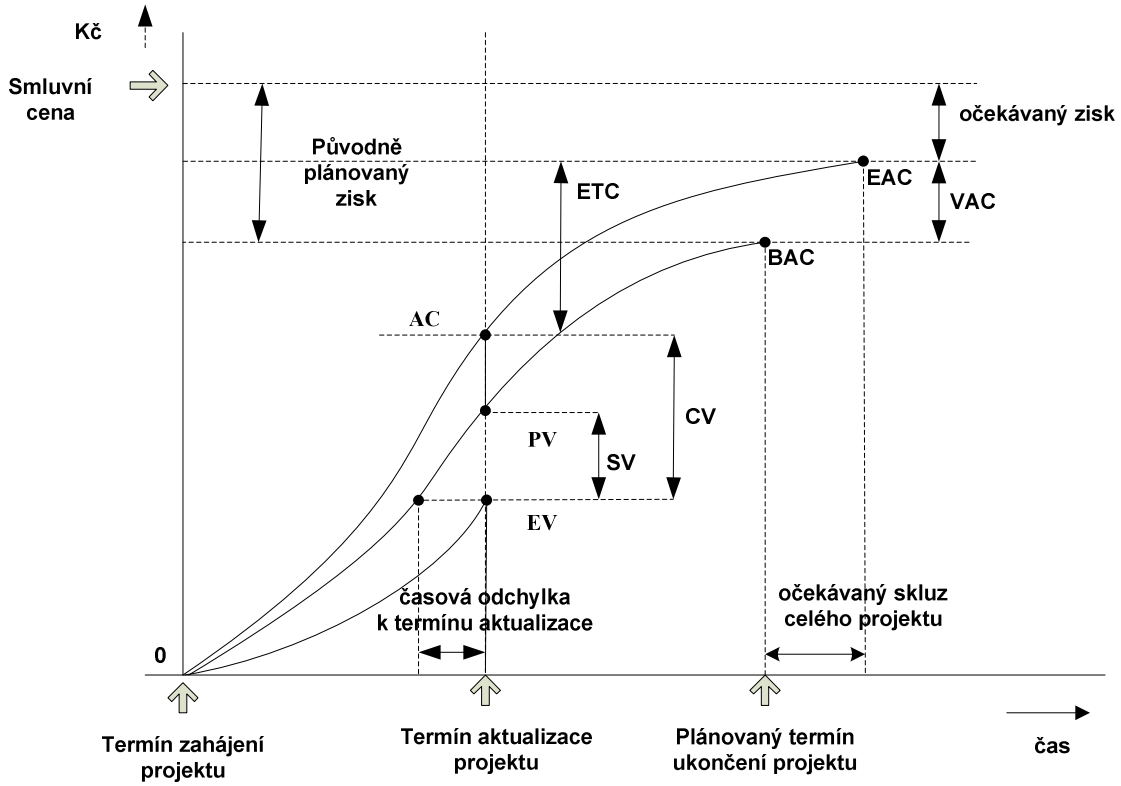
Tyto základní ukazatele lze následně dále použít pro výpočet dalších indexů a ukazatelů, viz. Obr. 1.

Je zřejmé, že 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*).

$$CV = EV - AC; \quad SV = EV - PV \tag{1}$$

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*):

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



Obr. 1: Graf EVM s ukazateli [Převzato z 20]

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 zpožďování.

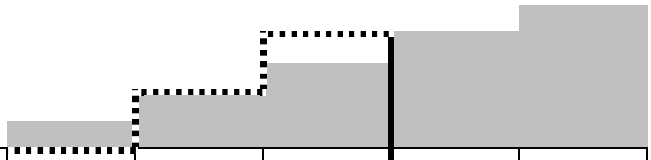
Výše uvedené indexy se dají použít k další jednoduché predikci vývoje projektu.

Ukažme si vše na jednoduchém příkladu [20]:

Mějme činnost A s dobou trvání 5 dnů. Na této činnosti by měli kontinuálně pracovat dva lidé. Úkol má tedy pracnost 10 člověkodnů – což je bez problému jednotka, ve které lze vykazovat „nákladovost – náročnost – hodnota úkolu“, která nemusí být nutně vyjádřena jen náklady.

Průběh činnosti by tedy měl podle plánu probíhat tak, že každý den průběhu bude odveden výkon odpovídající plánovaným dvěma člověkodnům, až bude (po pěti dnech) dosaženo oněch deseti člověkodnů – celkové hodnoty, která má být úkolem dosažena a se kterou je počítáno (údaj odpovídá hodnotě BAC – *Budget at completion*).

Představme si nyní situaci čtvrtý den ráno, ještě před začátkem práce v tento den, kdy si pročítáme reporty o průběhu úkolu. Dozvídáme se, že v pondělí ti dva přidělení na úkolu vůbec nepracovali, protože řešili něco jiného a tak si pak druhý a třetí den přizvali ještě dva další navíc, aby jim s úkolem pomohli. Aktuálně mají hotovu tak asi jednu polovinu úkolu. Vše lze dobře pochopit z grafického záznamu:



Den	1	2	3	4	5
Plánované člověkodny (součet)	2	4	6	8	10
Plánováno člověkodnů/den	2	2	2	2	2

Skutečně člověkodnů (součet)	0	4	8	Nevíme	Nevíme
Skutečně člověkodnů/den	0	4	4	Nevíme	Nevíme

Obr. 2: Grafický záznam řešené činnosti

Z Obr. 2 (ale i z textu) je patrné, že po konci třetího dne a před začátkem dne čtvrtého měly být podle plánu vytvořeny výstupy odpovídající šesti člověkodnům (PV = 6). Ve skutečnosti jsme však doposud „utratili" již osm člověkodnů (AC=8) a pokud nám pracovníci říkají, že mají hotovu asi polovinu, je to pro nás polovina z plánované hodnoty úkolu, tedy pět člověkodnů (EV=5).

Jinými slovy, naši lidé vytvořili výstupy v hodnotě pěti člověkodnů, i když již měli mít vytvořeno dílo odpovídající člověkodnům šesti a navíc již utratili celých osm člověkodnů. Je tedy zřejmé, že úkol je zpožděn a ještě máme problémy s rozpočtem.

Pokud chceme předpoklad vývoje, můžeme to např. v ohledu nákladů odhadnout za pomoci indexu CPI:

$$CPI = \frac{EV}{AC} = \frac{5}{8} = 0{,}625 \qquad EAC = \frac{BAC}{CPI} = \frac{10*8}{5} = \frac{10}{0{,}625} = 16\left[člověkodnů\right] \quad (3)$$

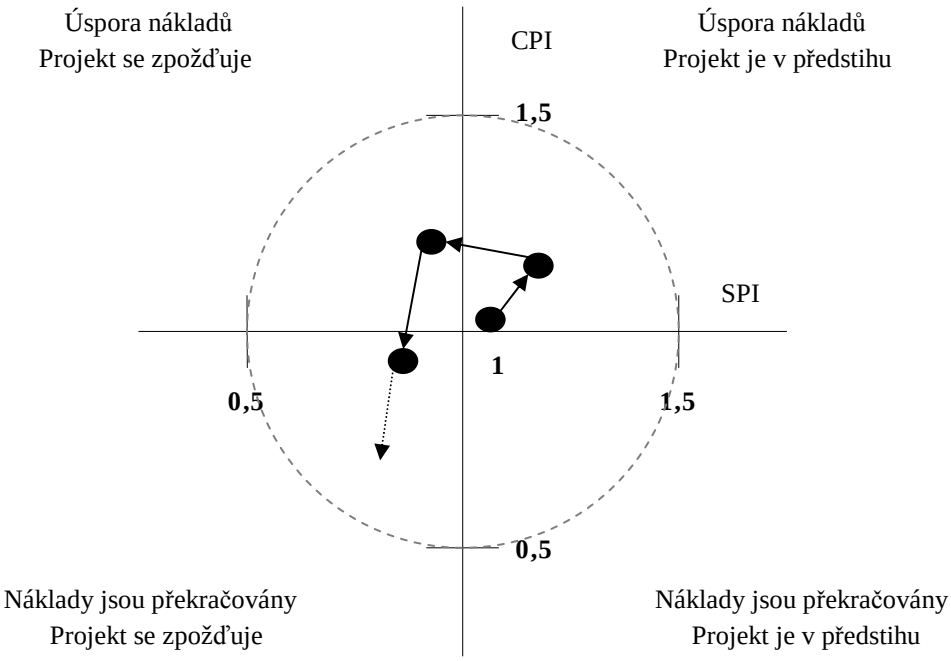
Vývoj ohledně času lze analogicky odhadnout za pomoci indexu SPI:

$$SPI = \frac{EV}{PC} = \frac{5}{6} = 0{,}833 \qquad Odhad_doby = \frac{Plánovaná_doba}{SPI} = \frac{5*6}{5} = \frac{30}{5} = 6\left[dnů\right] \quad (4)$$

Odhad je to samozřejmě velmi matematický a na takto malém „vzorku" i velmi nepřesný – skutečná predikce vyžaduje zvážení i dalších faktorů. Nicméně trend je zřejmý.

Takto vypadá použití na jednom úkolu. V případě použití analýzy na celý projekt nebo jeho část jednoduše sečteme hodnoty PV, AC a EV z jednotlivých činností a dostaneme hodnoty za celý analyzovaný projekt nebo jeho segment.

Uvedené indexy plnění, CPI a SPI lze poměrně dobře využít i k alternativnímu grafickému znázornění stavu (a postupným vynášením i průběhu) projektu, viz Obr. 3.

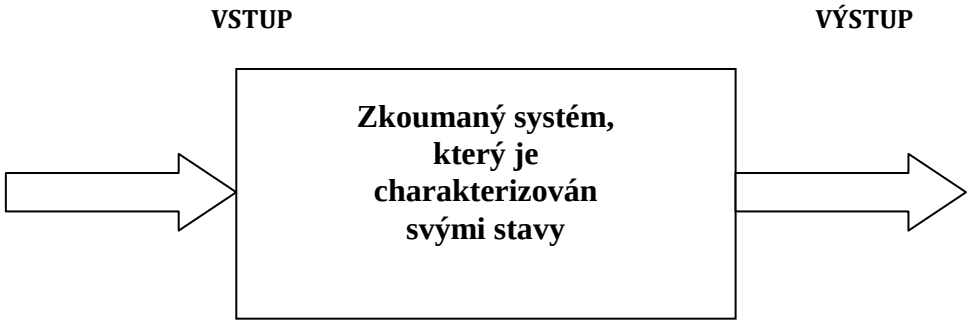


Obr. 3: Stavový graf CPI a SPI

Do znázorněného prostoru lze postupně vynášet hodnoty CPI a SPI (obdobně jako souřadnice) a podle vytvořeného bodu určovat stav projektu (dle kvadrantu) a také vývoj projektu (dle trajektorie vytvořených bodů v závislosti na čase), což je často používáno.

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 jenž zkoumáme. Takový přístup ke zkoumání systémů je v kybernetice znám jako metoda černé skříňky (Black Box Method), viz Obr. 4:



Obr. 4: Schéma pojetí systému metodou Black box

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 Ω, popsaný konečnou neprázdnou množinou stavů Σ, konečnou množinou vstupních znaků Ψ.

Fungování konečného automatu jako reakce na vstupní znaky v jednotlivých pracovních taktech je popsáno pomocí zobrazení ∂, kde ∂ je definováno jako zobrazení z ψ X Σ do Σ.

Každý konečný automat má definován jeden stav z množiny stavů Σ jako počáteční stav π a určitý počet stavů z množiny Σ jako koncové stavy $\kappa_1 \dots \kappa_a$:

$$\Omega = \{ \Sigma, \psi, \partial, \pi, \kappa_1 \dots \kappa_a \}; \quad (5)$$

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

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.

3.2.1 Konečný automat

Konečný automat je systém s jedním vstupem a jedním výstupem (Obr. 5). Konečný automat má dále k dispozici konečný počet reakcí (resp. složek reakcí), které nakupeny za sebou dávají možnost nekonečného počtu reakcí. [16]



Obr. 5: Nejobecnější schéma konečného automatu

V každém časovém okamžiku může být na vstupu jen jeden signál (označme Ψ). 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 **Ψ**.

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 **Σ** (jednotlivé vnitřní stavy označíme Σ).

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 nerovností:

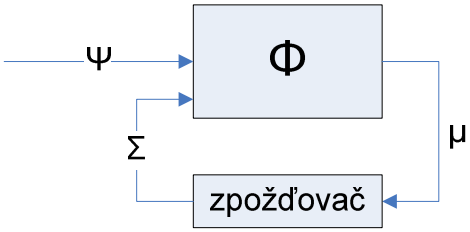
$$\kappa^t = F\left(\psi^t, \Sigma^t\right) \quad (6)$$

$$\Sigma^{t+1} = \Phi\left(\psi^t, \Sigma^t\right) \quad (7)$$

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 (7).

Dle Obr. 5 si dále 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 Φ bude mít tedy jakoby dva vstupní kanály – kanál Ψ 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. 6) – tzv. zpožďovač.



Obr. 6: Jádro konečného automatu

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

V dalším taktu t+1 se objeví za zpožďovačem na vstupu bloku Φ. Vnitřní smyčku si můžeme označit μ.

Poté můžeme místo (6) psát:

$$\mu^t = \Phi\left(\psi^t, \Sigma^t\right), \tag{8}$$

přičemž platí že

$$\Sigma^{t+1} = \mu^t, \tag{9}$$

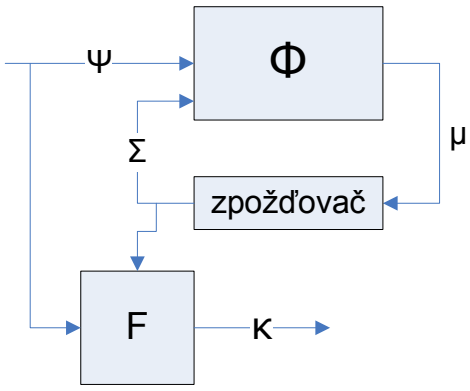
(pomocná proměnná μ nabývá hodnot z **K**).

Obecně lze tedy říci, že tři množiny (**Ψ**,**K**,**Σ**) a dvě funkce určující výstupní znak (funkce F) a vnitřní stav (funkce Φ).

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 (6) a (7).

Jsou celkem čtyři různé způsoby, základními jsou dva, Mealyho stroj a Moorův automat.

3.2.2 Mealyho stroj



Obr. 7: Mealyho stroj

Na základě Obr. 7 docházíme ke vztahům:

$$\mu^t = \Phi\left(\psi^t, \Sigma^t\right), \tag{10}$$

$$\kappa^t = F\left(\psi^t, \Sigma^t\right), \tag{11}$$

$$\Sigma^{t+1} = \mu^t . \tag{12}$$

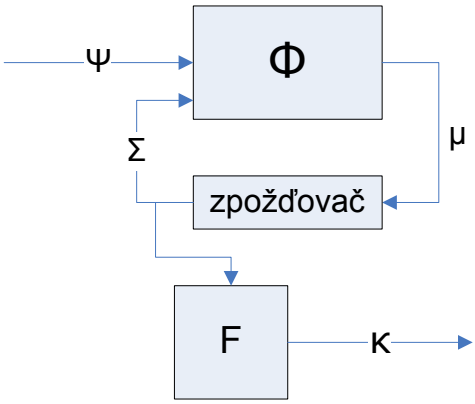
Pokud vyloučíme pomocnou proměnou μ^t, dostáváme:

$$\Sigma^{t+1} = \Phi\left(\psi^t, \Sigma^t\right), \tag{13}$$

$$\kappa^t = F\left(\psi^t, \Sigma^t\right), \tag{14}$$

což jsou nám již známé tvary (6) a (7).

3.2.3 Moorův automat



Obr. 8: Moorův automat

Na základě Obr. 8 docházíme ke vztahům:

$$\Sigma^{t+1} = \Phi\left(\psi^t, \Sigma^t\right), \tag{15}$$

$$\kappa^t = F\left(\Sigma^t\right). \tag{16}$$

3.2.4 Další informace o konečných automatech

Moorův automat patří do skupiny konečných automatů v užším smyslu. Stavy 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 (**Ψ**,**K**,**Σ**) a funkcí F a Φ. Vytvoříme tak určitý konečný automat.

Řekněme, že množina **Ψ** má *n* prvků, množina **K** má *l* prvků a množina **Σ** 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.

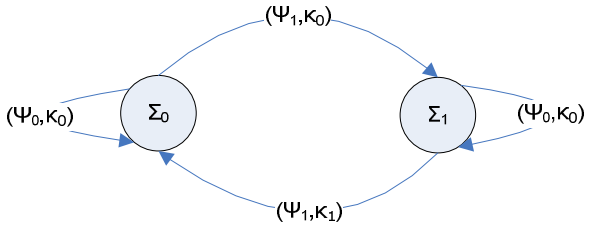
Způsob reakce bude záležet na funkcích F a Φ. Zadání může být provedeno například tabulkou (tzv. sjednocená tabulka funkcí konečného automatu – Mealyho stroje). V hlavičkách tabulky leží hodnoty proměnných Ψ^t a Σ^t, uvnitř tabulky pak hodnota $\mu^t=\Sigma^{t+1}$, tedy Σ pro další takt viz Tab. 1:

Tab. 1: Sjednocená tabulka funkcí konečného automatu

$\Psi \setminus \Sigma$	Σ_0	Σ_1
Ψ_0	$\Sigma_0\kappa_0$	$\Sigma_1\kappa_0$
Ψ_1	$\Sigma_1\kappa_0$	$\Sigma_0\kappa_1$

Takováto tabulka zadává obě funkce F a Φ. Vidíme například, že $\Phi\left(\psi_1^t,\Sigma_1^t\right)=\Sigma_0^{t+1}$ a $F\left(\psi_1^t,\Sigma_1^t\right)=\kappa_1^t$, viz vztahy (15) a (16) atd.

Jiným způsobem zadávání může být například orientovaný graf na Obr. 9 (uvažujeme stejný příklad):



Obr. 9: 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 Σ_0 a na vstup přijde signál Ψ_1, automat přejde do stavu Σ_1 a výstupní znak bude mít hodnotu κ_0.

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

3.3.1 Základní charakteristika

Pravděpodobnost přechodu ze stavu s_i do stavu s_j během jednoho kroku nazýváme jednokrokové 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:

$$\sum_{j \in S} p_{ij} = 1, i \in S \tag{17}$$

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

$$\mathbf{P}^{(m)} = \mathbf{P} = \left\{ p_{i,j} \right\}, \tag{18}$$

z čehož vyplývá, že všechny řádkové součty matice **P** jsou rovny jedné [24].

Zápis matice přechodů homogenního Markovského řetězce může být v podobě:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix} \tag{19}$$

Vektor absolutních pravděpodobností stavů v okamžiku *m:*
$\mathbf{p}(m) = (p_1(m), p_2(m), \ldots, p_n(m)), m = 0,1,2,\ldots$ obsahuje pravděpodobnosti, že v daném okamžiku je systém ve stavu $s_1, s_2, \ldots, s_n$.

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

Zadáním vektoru **p**(0) a stochastické matice přechodů **P** je Markovský řetězec plně popsán (v pravděpodobnostním smyslu), neboť platí vztah

$$\mathbf{p}(m) = \mathbf{p}(m-1) \bullet \mathbf{P} = \mathbf{p}(0) \bullet \mathbf{P}^m, \text{ Pro m=1,2,... [21]} \tag{20}$$

Postupný vývoj systému v po sobě jdoucích diskrétních 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).

3.3.2 Druhy stavů a jejich seskupení a vlastnosti

V rámci Markovských řetězců je definováno celé množství různých stavů systému, které mají různé vlastnosti. Nejvýznamnějšími stavy jsou:

Absorpční stav: přechody v rámci systému vedou pouze dovnitř tohoto stavu (tzn. nelze se z něj dostat jinam).

Trvalý stav: systém se do tohoto stavu vrací s pravděpodobností 1.

Přechodný stav: pravděpodobnost návratu do tohoto stavu je menší než 1.

Trvalý nulový stav: počet kroků pro návrat do tohoto stavu je roven nekonečnu.

Periodický stav: návrat do tohoto stavu je možný jen po určité periodě *m* (počet kroků pro návrat je násobkem *m*).

Ergodický stav: je trvalý, není nulový a není periodický.

Uzavřená třída: skupina vzájemně dosažitelných stavů.

Regulární řetězec: všechny stavy jsou ergodické a tvoří jednu uzavřenou třídu, jde o nerozložitelný řetězec.

Rozložitelný řetězec: změnou pořadí stavů lze vytvořit jednotkovou submatici nebo submatice [24].

V některých případech se po určitém počtu kroků přestanou absolutní pravděpodobnosti významně lišit a Markovský řetězec se tzv. ustálí. Takové pravděpodobnosti nazýváme ergodické a nemusí existovat pro každý Markovský řetězec.

Pokud je Markovský řetězec s konečným počtem stavů nerozložitelný a neperiodický, existují k němu kladné limitní pravděpodobnosti. Takový řetězec se nazývá ergodický [21]. Limitní pravděpodobnosti lze vypočítat např. podle vztahu [24]:

$$\mathbf{p}^{\infty} = \mathbf{B}^{-1}\mathbf{b}, \tag{21}$$

kde $\mathbf{p}^{\infty}$ je vektor limitních pravděpodobností, **B** je matice báze a **b** je vektor pravých stran.

Výpočet je odvozen od soustavy rovnic pro výpočet pravděpodobností jednotlivých stavů o *n* neznámých-stavech (pro matici o *n* řádcích a *n* sloupcích), které jsou sestaveny do matice, která po vynásobení jednotkovou maticí E normalizuje pomyslnou pravou stranu rovnic na samé nuly. Levé strany rovnic tvoří jednotlivé řádky nově vzniklé matice. Jeden tento řádek (rovnici) pak vynecháme (kvůli lineární závislosti) a nahradíme jej rovnicí:

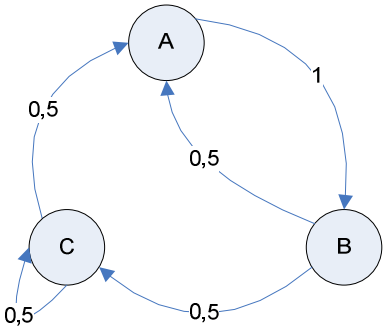
$$1 = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 + \ldots + \mathbf{p}_n, \tag{22}$$

kde *n* je počet řádků a sloupků výchozí matice. Tímto vynecháním a nahrazením pak vznikne z levé strany matice báze **B** (která bude mít díky nahrazení ve spodním řádku samé jedničky) a vektor báze **b** v podobě (0,0,…,0,1).

Tímto způsobem tedy lze nalézt limitní pravděpodobnosti setrvání v jednotlivých stavech.

3.3.3 Grafická interpretace

Markovské řetězce s konečným počtem stavů lze velmi názorně graficky znázornit a to buďto jako znázornění jednotlivých stavů v bezprostředně navazujících krocích nebo názorněji, s potlačením časového faktoru viz Obr. 10:



Obr. 10: Grafické znázornění Markovského řetězce

Na obrázku je uveden Markovský řetězec, který může nabývat tří stavů a jehož matice přechodů je dle Tab. 2:

Tab. 2: Matice přechodů ve formě tabulky

	A	B	C
A	0	1	0
B	0,5	0	0,5
C	0,5	0	0,5

Grafická interpretce dané matice přechodů je velmi názorná a přehlednější než maticový zápis. Všimněme si výrazné podobnosti znázornění Markovského řetězce na Obr. 10 a grafického znázornění konečného automatu na Obr. 9. Nejde o náhodu. Markovský řetězec může plně popsat konečný automat.

Toto pojetí jsem publikoval v rámci mezinárodní konference Tvorba softwaru 2007 (viz seznam publikací).

3.4 Modelování a simulace

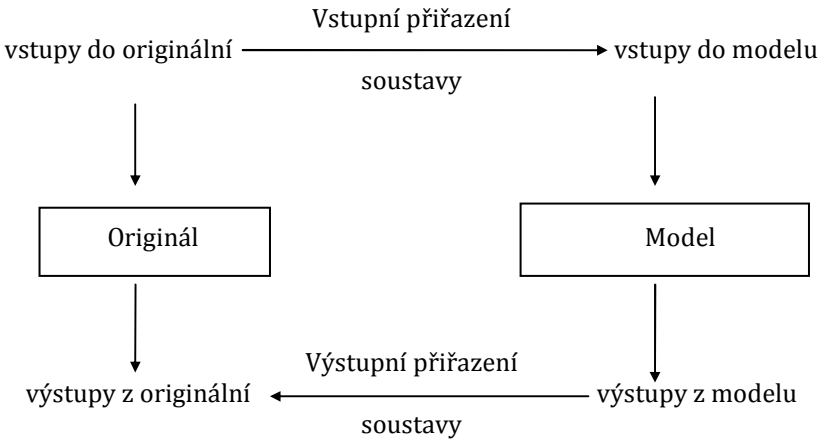
Modelem je rozuměno zjednodušené zobrazení skutečnosti, části objektivní reality. Modelem jsou zobrazovány pouze vybrané znaky předlohy, které nás v konkrétním případě zkoumání zajímají. Problematika modelování a simulace je spojena s nástupem kybernetiky a byla popsána v publikaci R. Ashbyho již v roce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

V případě, že každý prvek modelu odpovídá jednomu prvku předlohy a naopak, hovoříme o izomorfním modelu. V praxi je ovšem značně obtížné vytvářet izomorfní modely, lze to pouze u velmi jednoduchých předloh.

Častějším je tzv. homomorfní model, kdy každý prvek modelu odpovídá jednomu prvku předlohy, ale nikoliv naopak. Důvodem je složitost, rozsáhlost originálu.

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

Vztah mezi originálem a modelem lze pro potřeby experimentování schematicky vyjádřit následujícím schématem:



Obr. 11: Vztahy mezi modelem a originálem

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.

Modelování a simulace s využitím současných možností výpočetní techniky představuje efektivní nástroj k řešení velkého množství složitých úloh. Proto je správné, že je tato problematika zařazována do výuky na vysokých školách [4].

Simulace potřebná pro tuto práci bude probíhat na základě metod uvedených v předchozích kapitolách. Vzhledem ke složitosti zkoumané problematiky s relativně mnoha stupni volnosti bude použit homomorfní abstraktní model a simulace bude probíhat za pomoci výpočetní techniky. Předpokládá se buďto využití některého již existujícího software, který by byl nově aplikován na problematiku řízení projektů nebo tvorba zcela nového software v případě, že se první způsob ukáže jako neefektivní.

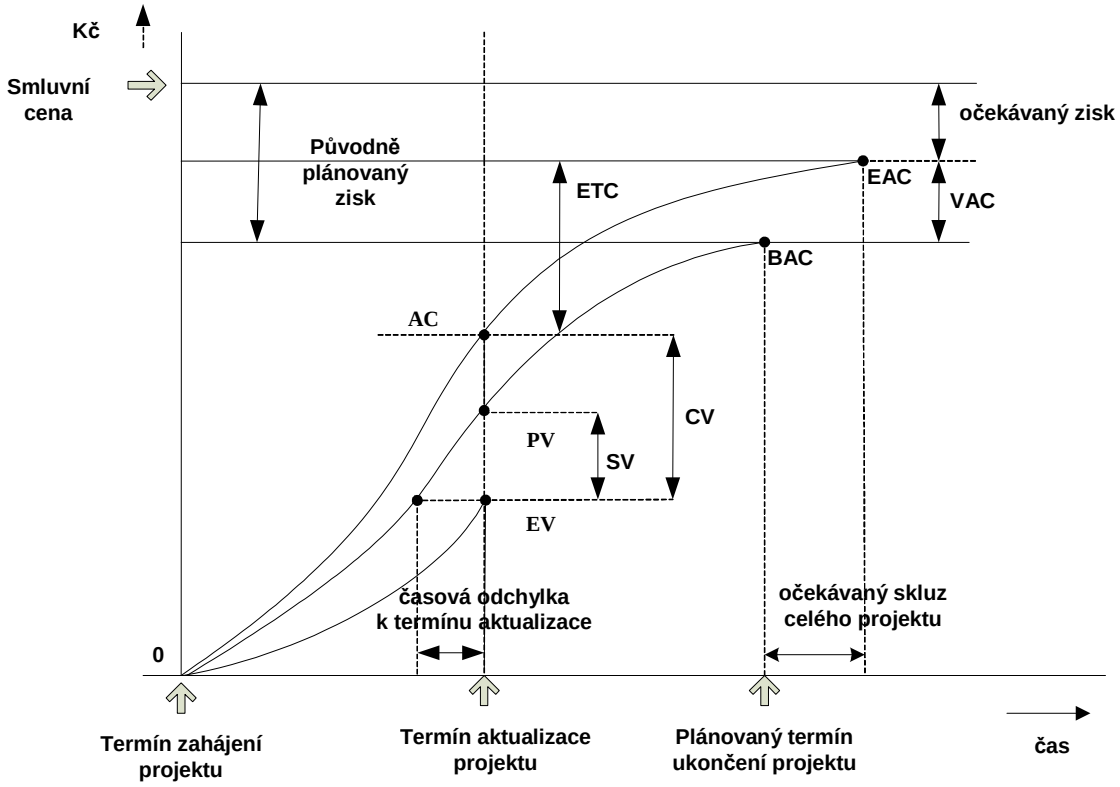
4 KRITICKÉ ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU V OBLASTI PREDIKCE PROJEKTŮ

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].

Problémem v současnosti je, že kvalitní prognózování projektů vyžaduje aplikaci systémového přístupu [5], aplikaci matematických metod a využívání modelování a počítačové simulace. Řada projektových manažerů však tyto disciplíny neovládá na potřebné úrovni.

4.1 Predikce nákladů v KVM



Obr. 12 Indexy a odchylky v histogramu vývoje nákladů metody EVM [1]

Při zahájení projektu máme určitým způsobem naplánováno čerpání nákladů a jejich postupný vývoj. Tento plán pak postupně porovnáváme se skutečným stavem. Vynesením do grafu metody EVM získáme tzv. s-křivku (viz. Obr. 12).

Metoda EVM nám zde poskytuje obrázek o plnění plánu a o tom, jak jsme se odchýlili. Predikce nákladů dle KVM nám předpovídá na základě dosavadního průběhu pravděpodobný další vývoj.

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:

$$y = at^2 \qquad \text{pro } t \in (0, t_1), \tag{23}$$

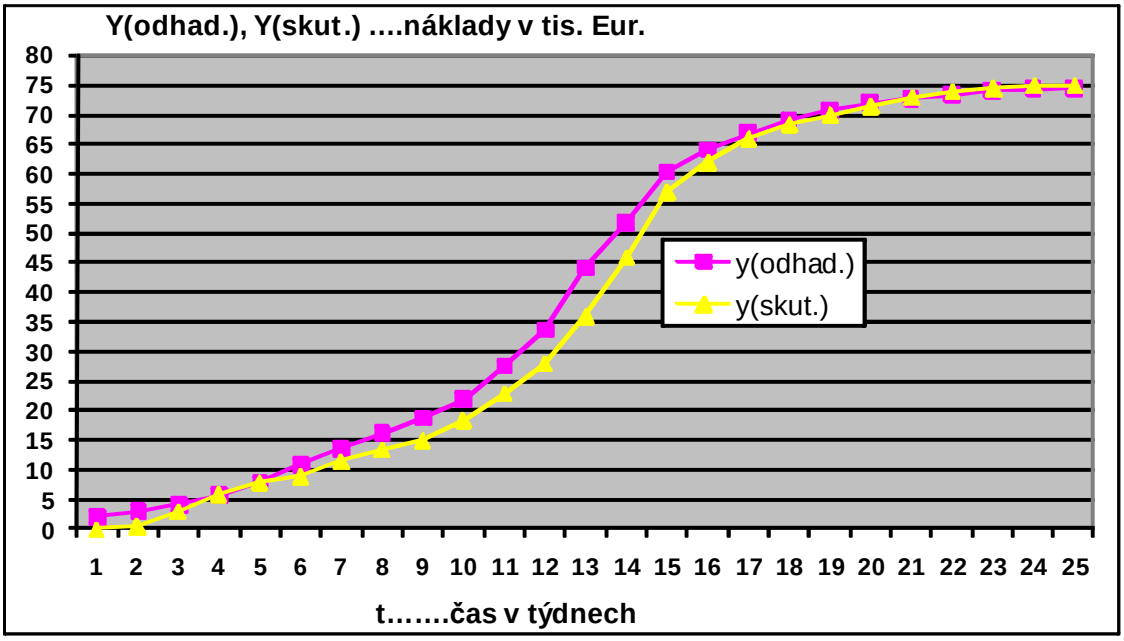
$$y = b_0 + b_1\sqrt{t} \qquad \text{pro } t \in (t_1, n), \tag{24}$$

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:



Obr. 13: Odhad parametrů logistické funkce Hotellingovou metodou

$$T(t) = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\delta t}}, \quad \text{kde } \alpha>0,\ \beta>1,\ \delta>0. \tag{25}$$

Podrobné odvození viz [1], obsahuje postup pro určení jednotlivých parametrů. Autor svůj přístup simuluje na reálných datech (viz. Obr. 13).

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 principielně 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.

4.4 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.

Přístup k modelování pomocí Markovských řetězců je založen na statistických metodách, ve kterých je zkoumaná proměnná reprezentována jako pravděpodobnostní funkce. Markovský řetězec pak mění své stavy podle matice pravděpodobností přechodu.

Markovský řetězec může plně popsat konečný automat. Má rovněž pevně zadanou množinu stavů, do kterých se může v průběhu výpočtu dostat, přechodová funkce je tvořena maticí přechodu a množina koncových stavů je nahrazena maticí pravděpodobnosti.

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]).

Ke zkoumání náhodných jevů je možno s výhodou použít modelování a počítačovou simulaci, čehož využijeme. Tento přístup byl ověřen např. v procesech projektů navrhování složitých výrobních systémů [6], tak při analýze a predikci rizik na projektech [3], [8].

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.

Vše výše uvedené bude na závěr ověřeno vhodným experimentem.

5 NÁVRH METODIKY PRO PREDIKCI

V této kapitole je provedena syntéza vstupních informací a předpokladů a je postupně vyvinut návrh možného modelu pro predikci vývoje projektu, který bude později ověřen experimentem.

5.1 Výchozí teze

Pokud vyjdeme z údajů uvedených v kapitole 3, můžeme si projekt začít popisovat několika způsoby.

5.1.1 Fázový model projektu

Tímto přístupem se zabývá Ing. J. Kubiš, DrSc. V aplikaci modelování a simulace rizik projektu [23].

Pokud budeme předpokládat, že postupně realizujeme několik obdobných projektů, např. implementace IS jednoho typu pro různé zákazníky, je možné vytvořit model takovéhoto projektu a simulovat pravděpodobný průběh projektů následujících – na základě historických dat. Uvedený přístup lze nejjednodušeji demonstrovat na příkladu:

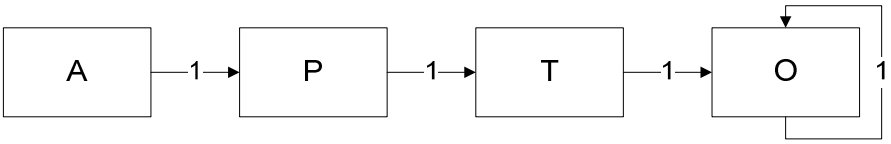
Nechť projekt sestává ze třech fází, stavů:

A **analýza**
P **programování**
T **testování**

a nechť má každá z těchto fází přibližně stejnou dobu trvání. Pokud předpokládáme sekvenční řazení těchto fází, projekt by měl být ukončen za tři časové jednotky odpovídající době trvání každé z fází.

Po ukončení projektu se dílo dostává do produktivní fáze – provozu a je uhrazena faktura. Označíme jako fázi (stav) O.

Situace by mohla být vyjádřena pomocí markovského řetězce takto:

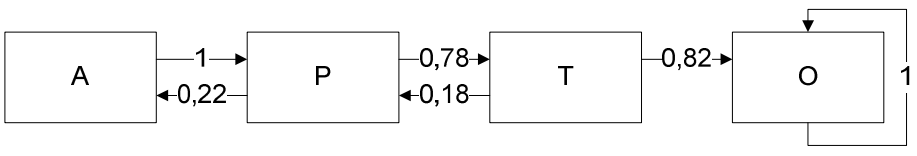


Obr. 14: Popis projektu – varianta 1

Vidíme, že situace je velmi jednoduchá. V podstatě odpovídá i způsobu plánování dle kritické cesty, případně vodopádovému modelu vývoje informačního systému. I výpočet markovského řetězce je velmi triviální – všechny pravděpodobnosti přechodu pro všechny definované přechody jsou rovny jedné, projekt je hotov po třech krocích a po nich je i zaplaceno.

Takto to ale v realitě obvykle neprobíhá. Obvykle se při programování zjistí, že se při analýze na nějaké funkčnosti zapomnělo, např. na 22% požadavků, které nejsou zapracovány. Analýzu je nutné dodělat, zbývající funkčnost naprogramovat a otestovat. Výsledky testů projeví, že např. 18% funkcionality obsahuje chyby a je nutné ji opravit.

Situace se nám změní:



Obr. 15: Popis projektu – varianta 1

Při použití počátečního vektoru pravděpodobností p(0) = [1,0,0,0] (v čase startu, krok číslo 0) výpočtem zjistíme, že po 9 krocích (trojnásobné překročení harmonogramu) je odevzdáno 98,3% funkcionality, po 11 krocích je to 99,3% a přesnost 99,99% dosáhneme až po 22 krocích… To už odpovídá realitě poněkud přesněji. Ing. Kubiš [23] se tímto modelem a jeho dalšími úpravami zabývá především z hlediska projektových rizik – respektive modelování skutečných průběhů projektů a rizik s tím spojených.

Pro aplikaci predikce lze při dodržení určitého postupu:

a) tvorba odpovídajícího modelu,
b) volba kriterií hodnocení,
c) sběr vstupních dat,
d) tvorba matice přechodů,

dosáhnout vhodného simulačního modelu pro daný typ projektů. Lze poté předpovídat pravděpodobný vývoj nových projektů, sledovat trendy, identifikovat slabá místa.

Pokud jsme společností, která je schopna namodelovat uvedeným způsobem alespoň část projektů, které realizujeme, může být uvedený způsob dobrou pomůckou.

Uvedený postup je v něčem podobný výše zmíněným metodám predikce pomocí proložení polynomem [1],[2], především ve faktu, že je aplikovatelný pouze na obdobné projekty – tedy pokud chceme dosáhnout maximální efektivity s využitím historických dat.

Na druhou stranu se jedná o významný posun ve smyslu možnosti sestavit model i jen na základě expertního odhadu (tedy bez historických dat) a možností různých vazeb a podob modelu, což dává velký prostor pro nejrůznější simulace a aplikace. Polynomiální metody neuvažovaly strukturu projektu, cykly, vazby – vycházejí pouze z historických údajů o stavu projektu. Fázový cyklický model je tedy výrazně použitelnější.

Jestliže jsou však projekty natolik rozdílné, že je nelze jednoduše „svázat“ do jednoho modelu průběhu projektu, je třeba hledat ještě i jiné řešení.

5.1.2 Modely obecných stavů

Pokusme se tedy vytvořit takový model, který by byl obecně použitelný pro všechny projekty. Nutně musíme opustit myšlenku různých sekvenčně po sobě jdoucích fází projektu, protože to se projekt od projektu mírně liší, mezi různými obory dokonce i velmi významně.

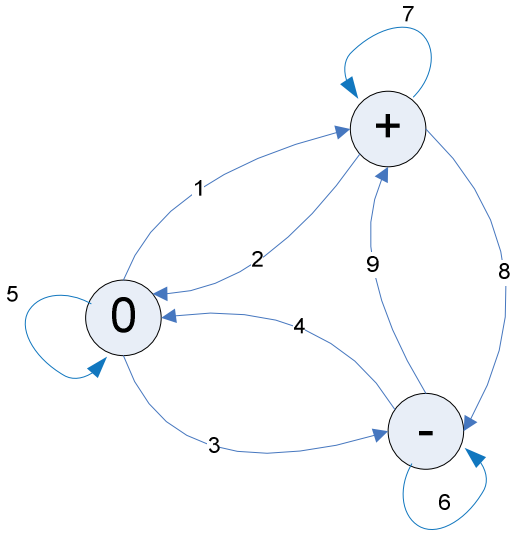
Pokud si připomeneme již zmíněnou metodu EVM – management dosažené hodnoty (někdy uváděnou jako C/SCSC) nebo některou stavovou metodu sledování projektu (např.mmetodu SSD – structure status deviation) [20], zjistíme, že tyto metody pracují se stavy, které jsou naprosto nezávislé na počtu a struktuře fází projektu… Stavy, které používají tyto metody sledování projektu, jsou obecně vyjádřením míry zpoždění, respektive předstihu projektu oproti plánovanému stavu.

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. 16).

Model PM3S předpokládá pouze tři možné stavy projektu:

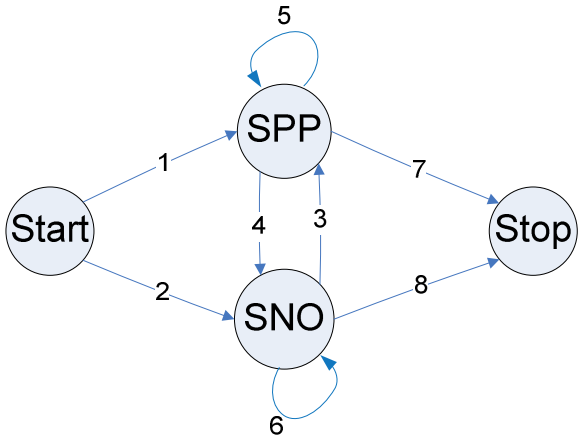
- **0**, projekt je v mezích sledovaných parametrů,
- **+**, projekt je mimo meze sledovaných parametrů, a to v pozitivním slova smyslu (např. činnosti spotřebovávají méně času a zdrojů než bylo plánováno),
- **-**, projekt je mimo meze sledovaných parametrů, a to v negativním slova smyslu (např. projekt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



Obr. 16: Třístavový model projektu - PM3S

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. 17: Čtyřstavový model projektu – PM4S

Tento model (Obr. 17) neuvažuje význam odchylky (plus nebo mínus). 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.

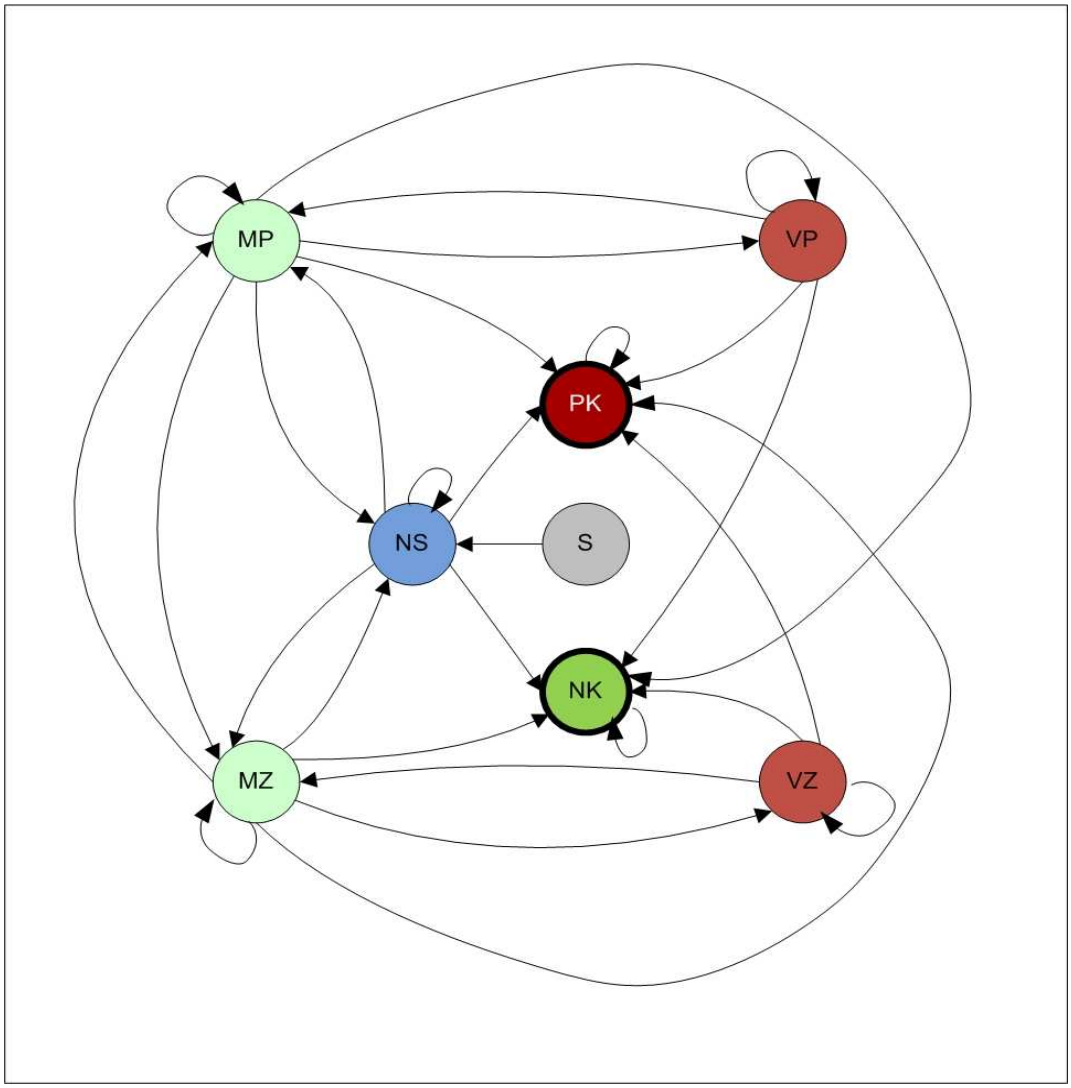
Optimální průběh projektu je dle modelu PM4S Start – 1 – SPP ~ 5 ~ SPP – 7 – Stop (symbol ~ naznačuje opakování přechodu 5).

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, pořád je však příliš jednoduché, aby byl alespoň potenciálně použitelný pro praxi. Byl tedy vyvinut model nový, osmistavový:



Obr. 18: Osmistavový model projektu

Jednotlivé stavy lze charakterizovat takto:

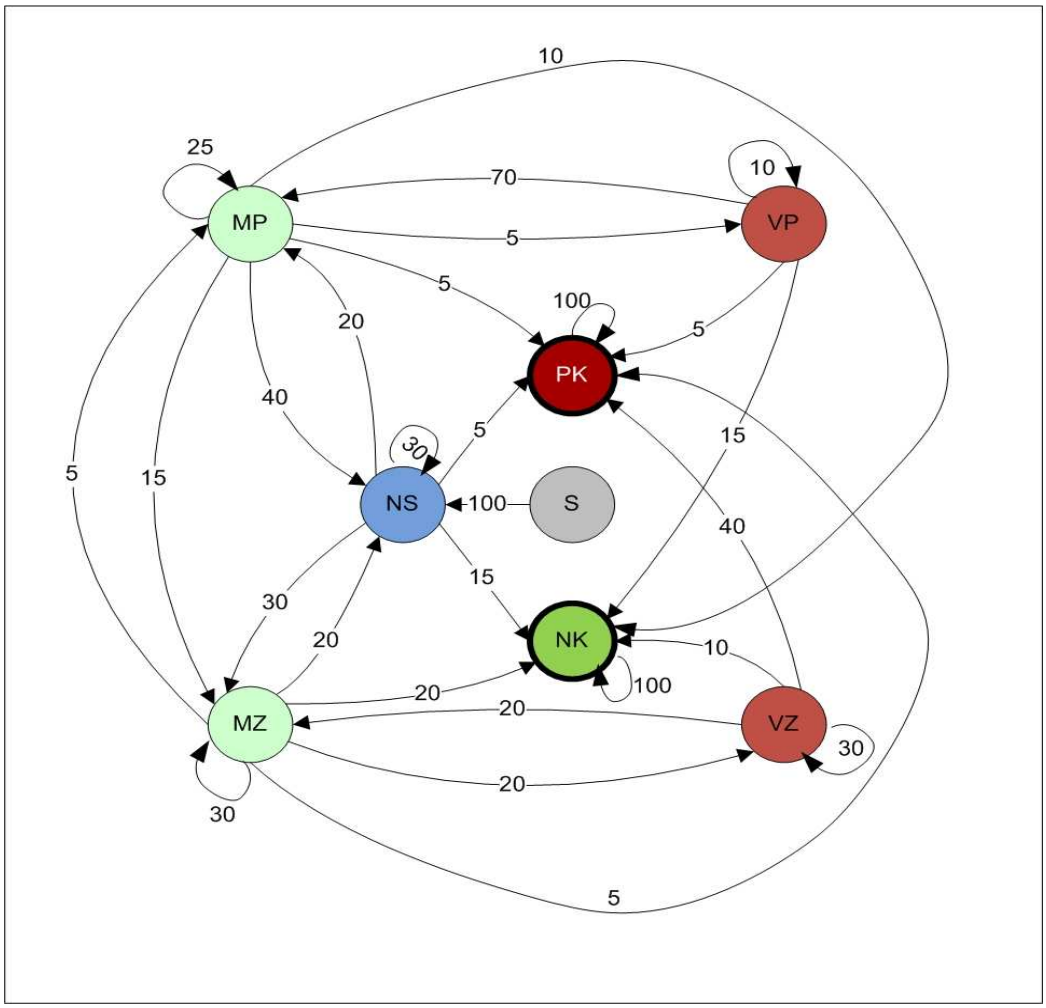
S – start, je to stav, ze kterého se vychází a je v podstatě nadbytečný, protože se použije jen „jednou“ – v případě změny se do něj ovšem dostáváme znovu – máme „nový plán“,
NS – normální stav – projekt běží dle plánu (v mezích tolerancí),
MP – malý předstih – projekt je v mírném předstihu,
VP – velký předstih – projekt je ve velkém předstihu,
MZ – malé zpoždění – projekt je v malém zpoždění,
VZ – velké zpoždění – projekt je ve velkém zpoždění,
PK – předčasný konec – projekt je z nějakého důvodu ukončen dříve, než dosáhl svých cílů,
NK – normální konec – projekt je ukončen „řádně“ – tzn. že naplnil své cíle – to ovšem neznamená, že nutně skončil včas a v mezích rozpočtu…

Takto dostáváme naprosto obecný model, který je však už na dostatečné úrovni složitosti, aby měl relativně vysokou vypovídající hodnotu. Model obsahuje dva absorpční stavy, normální a předčasný konec, tak jako každý projekt může skončit řádně nebo předčasně. Do těchto stavů se lze dostat z jakéhokoliv jiného stavu kromě stavu S.

Ostatní stavy jsou provázány dle šipek na obrázku. Záměrně není uvažována vazba od velkého zpoždění (VZ), respektive velkého předstihu (VP), do normálního stavu. Reálné projekty jsou dynamické a s mírným zpožděním na prováděné zásahy, pokud je tedy projekt velmi zpožděný, je nereálné dostat se okamžitě do normálního stavu.

V případě zásadních změn spojených s přeplánováním jsou tyto inovované plány považovány v podstatě za nový projekt a v takovém případě se dostáváme do stavu S.

Pokusme se použít pravděpodobnosti přechodu, které odhadneme za předpokladu, že do zpoždění se projekt dostane snáze než do předstihu a setrvání v předstihu je méně pravděpodobné než setrvání ve zpoždění. Rozložení pravděpodobností přechodu je znázorněno na Obr. 19:



Obr. 19: Pravděpodobnosti přechodu v osmistavovém modelu

Matice přechodů pak vypadá dle Tab. 3:

Tab. 3: Matice přechodů

		1	2	3	4	5	6	7	8
		S	**NS**	**MP**	**VP**	**MZ**	**VZ**	**PK**	**NK**
1	**S**	0	1	0	0	0	0	0	0
2	**NS**	0	0,3	0,2	0	0,3	0	0,05	0,15
3	**MP**	0	0,4	0,25	0,05	0,15	0	0,05	0,1
4	**VP**	0	0	0,7	0,1	0	0	0,05	0,15
5	**MZ**	0	0,2	0,05	0	0,3	0,2	0,05	0,2
6	**VZ**	0	0	0	0	0,2	0,3	0,4	0,1
7	**PK**	0	0	0	0	0	0	1	0
8	**NK**	0	0	0	0	0	0	0	1

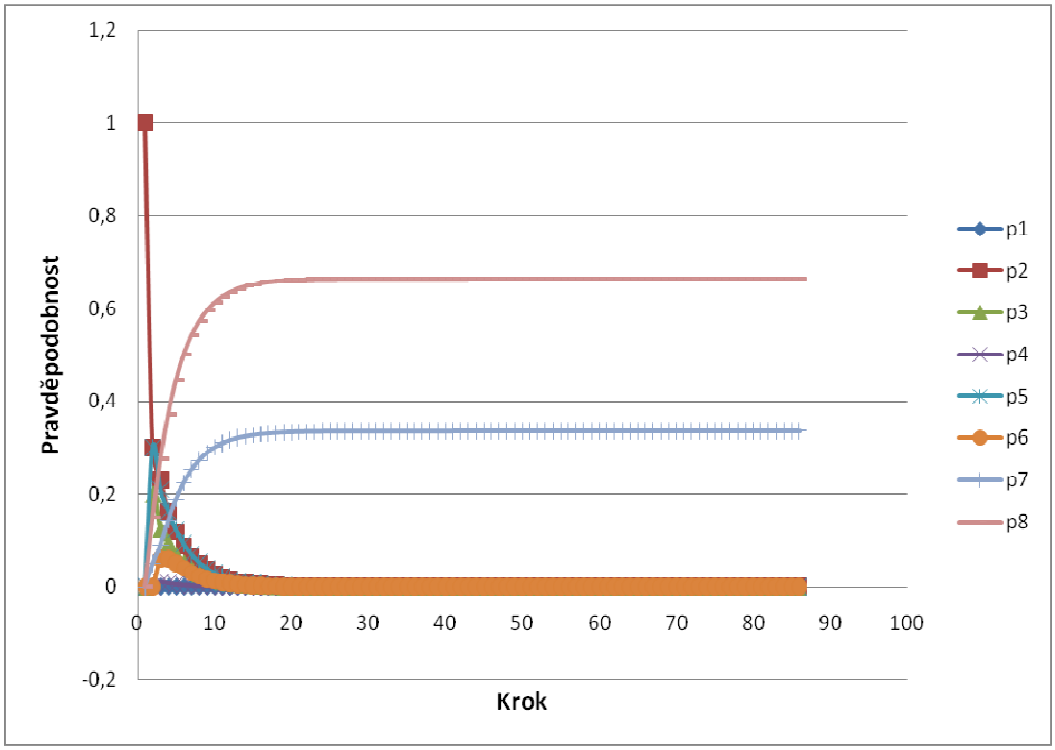
Pokud bychom se tento model pokusili vypočítat podle vztahů pro absolutní pravděpodobnosti setrvání v jednotlivých stavech (20), s vektorem počáteční pravděpodobnosti p(0) = [1,0,0,0,0,0,0,0], obdržíme pro 30 kroků výsledek dle Tab. 4:

Tab. 4: Výpočet absolutních pravděpodobností pro 30 kroků

krok	**p1**	**p2**	**p3**	**p4**	**p5**	**p6**	**p7**	**p8**
1	0	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0,3	0,2	0	0,3	0	0,05	0,15
3	0	0,23	0,125	0,01	0,21	0,06	0,09	0,275
4	0	0,161	0,09475	0,00725	0,16275	0,06	0,14275	0,3715
5	0	0,11875	0,0691	0,005463	0,123338	0,05055	0,188038	0,444763
6	0	0,087933	0,051016	0,004001	0,093101	0,039833	0,22409	0,500027
7	0	0,065406	0,037796	0,002951	0,069929	0,03057	0,251826	0,541522
8	0	0,048726	0,028092	0,002185	0,052384	0,023157	0,272858	0,572598
9	0	0,036332	0,020917	0,001623	0,039178	0,017424	0,28869	0,595836
10	0	0,027102	0,015591	0,001208	0,029275	0,013063	0,300562	0,613199
11	0	0,020222	0,011628	0,0009	0,021864	0,009774	0,309446	0,626166
12	0	0,01509	0,008675	0,000671	0,016325	0,007305	0,316086	0,635848
13	0	0,011262	0,006473	0,000501	0,012187	0,005456	0,321046	0,643075
14	0	0,008405	0,004831	0,000374	0,009097	0,004074	0,32475	0,64847
15	0	0,006273	0,003605	0,000279	0,00679	0,003042	0,327515	0,652496
16	0	0,004682	0,002691	0,000208	0,005068	0,002271	0,329579	0,655502
17	0	0,003494	0,002008	0,000155	0,003783	0,001695	0,331119	0,657745
18	0	0,002608	0,001499	0,000116	0,002823	0,001265	0,332269	0,659419
19	0	0,001947	0,001119	8,65E-05	0,002107	0,000944	0,333128	0,660669
20	0	0,001453	0,000835	6,46E-05	0,001573	0,000705	0,333768	0,661602
21	0	0,001084	0,000623	4,82E-05	0,001174	0,000526	0,334247	0,662298
22	0	0,000809	0,000465	3,6E-05	0,000876	0,000393	0,334603	0,662817
23	0	0,000604	0,000347	2,69E-05	0,000654	0,000293	0,33487	0,663205
24	0	0,000451	0,000259	2E-05	0,000488	0,000219	0,335069	0,663495
25	0	0,000337	0,000193	1,5E-05	0,000364	0,000163	0,335217	0,663711
26	0	0,000251	0,000144	1,12E-05	0,000272	0,000122	0,335328	0,663872
27	0	0,000187	0,000108	8,33E-06	0,000203	9,09E-05	0,33541	0,663992
28	0	0,00014	8,04E-05	6,22E-06	0,000151	6,79E-05	0,335472	0,664082
29	0	0,000104	6E-05	4,64E-06	0,000113	5,07E-05	0,335518	0,664149
30	0	7,79E-05	4,48E-05	3,46E-06	8,44E-05	3,78E-05	0,335552	0,664199

Je zřejmé, že po určitém počtu kroků se pravděpodobnost setrvání v určitém stavu rozdělí a ustálí v určitém poměru mezi dva absorpční stavy.

Graficky vyjádřeno (výpočet pro 87 kroků):



Obr. 20: Grafická reprezentace výpočtu pro 87 kroků

Výsledek lze interpretovat, že po zhruba 30 krocích je 33% pravděpodobnost, že projekt skončí předčasně (stav p7) a 67% pravděpodobnost, že projekt skončí řádně (stav p8). Což nakonec budou zřejmě i limitní pravděpodobnosti setrvání ve stavech tohoto Markovského řetězce.

Pokud si představíme, že se jedná o průměrný projekt v délce 9 měsíců a s „intervalem zjištění stavu – kontrolním dnem“ (tedy krokem) v periodě jeden týden, odpovídá výsledek výpočtu statistikám o úspěšnosti projektů. I když to nebyl záměr testu modelu, je zřejmé, že i s prostým úvodním expertním odhadem pravděpodobností přechodu může daný model dosahovat relevantních výsledků.

Model sám o sobě poskytuje možnost obdobné aplikace, jako model fázový, uvedený v předchozí kapitole s tím, že lze na základě průběhu již realizovaných projektů stanovit pravděpodobnosti přechodu charakteristické pro danou společnost nebo její organizační složku a poté opět vyhodnocovat pravděpodobný průběh nových projektů, sledovat trendy apod.

Tento model byl mnou publikován v rámci mezinárodní konference Informační technologie pro praxi 2008 (viz seznam publikací).

Pokud budeme požadovat další zobecnění, je třeba model ještě upravit a poté především definovat způsob práce s takovýmto modelem.

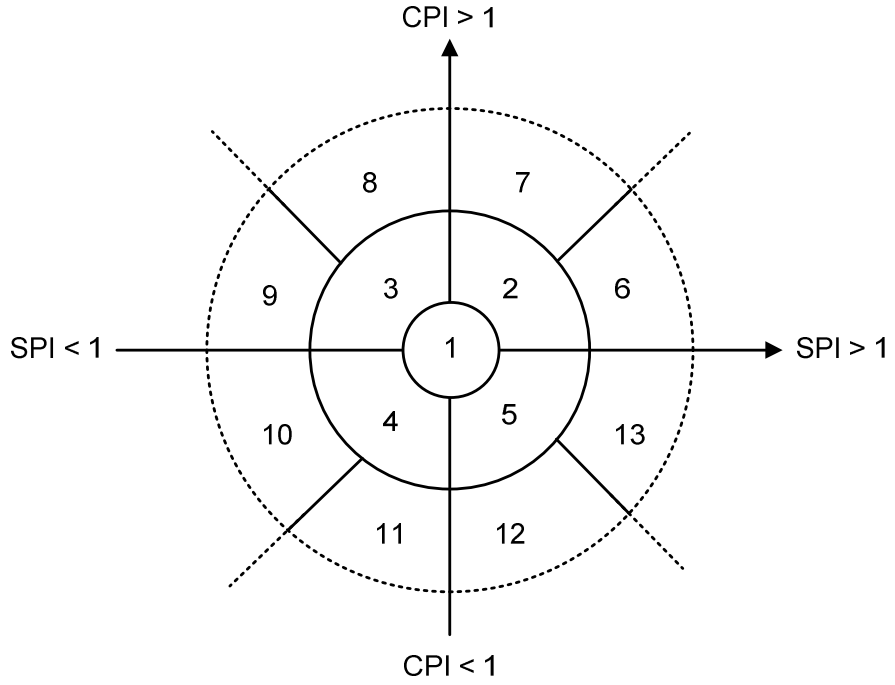
5.2 Návrh zcela obecného modelu

Pro další práci vytvořme ještě další model projektu (stavový, Markovský), který vychází z již prezentovaných, nicméně je dán do souvislosti s možnými stavy projektu definovanými metodou EVM tak, abychom dodali stavům reálnější a použitelnější význam.

5.2.1 Stavový prostor a možné stavy projektu

Pro definici využijeme možnosti prezentovat stav projektu za pomoci indexů CPI a SPI a jejich vynášení do stavového grafu. Získáme tak stavy projektu, které budou vyjadřovat stav projektu z hlediska kombinace času a nákladů vůči plánu. Ve výchozí podobě však máme pro určení stavu k dispozici pouze čtyři výchozí kvadranty (zjednodušeně ++, +-, -+, --) – viz Obr. 3, což zřejmě není dostatečně podrobné.

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 projet 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. 21.



Obr. 21: Podrobnější rozdělení stavového prostoru CPI - SPI

Jednotlivé stavy definujme na základě zkušeností (může se pro různé organizace a projekty lišit) např. poodle **Tab. 5**:

Tab. 5: 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 <0,95;1,05>, 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 <1,05;1,15>, v případě kombinace pak nižších hodnot.
3	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 <1,05;1,15>, v případě SPI intervalu <0,85;0,95>, v případě kombinace pak nižších hodnot.

4	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 <0,85;0,95>, v případě kombinace pak nižších hodnot.
5	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 <0,85;0,95>, v případě SPI intervalu <1,05;1,15> v případě kombinace pak nižších hodnot.
6	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.
7	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.
8	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.
9	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.
10	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.
11	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.
12	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.
13	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).

Z hlediska řízení projektu je pak velmi důležitý význam stavu projektu pro jeho další vývoj a následně i pro chování organizace, která projekt realizuje. Tento význam je bohužel velmi specifický pro různé projekty, byť je možné sledovat určité společné rysy.

Pro některý projekt v některé organizaci vůbec nemusí být problém setrvávání projektu např. ve stavu 4 (zpoždění v čase a přečerpávání nákladů), pro jinou organizaci a její projekt může být takovýto stav věcí doslova likvidačním. To jsou však spíše extrémní případy. Lze předpokládat, že drtivá většina managementů bude mít zájem na maximálním setrvávání projektu ve stavu 1, tzn. ve stavu s minimálními odchylkami jakýmkoliv směrem – což budeme nadále brát jako optimální, žádaný stav.

Smysl tedy má sestavit především obecný model, který bude možné vhodným způsobem přizpůsobit konkrétním podmínkám. I tak je třeba mít na zřeteli, že existence projektu v určitém stavu může, ale nemusí být problém – to již musí případně řešit management příslušného projektu, to model není schopen postihnout. Model je tedy sestaven s ohledem na tyto skutečnosti.

5.2.2 Geometrická konstrukce modelu

Jistě by bylo možné definovat a dále pracovat i s více stavy, v extrémním vyjádření v podstatě s nekonečně mnoha (v případě, že by každý bod ve stavovém prostoru reprezentoval jeden stav), pro naše účely hrubého vymezení stavu projektu nám však bude výše uvedených 13 stavů plně postačovat.

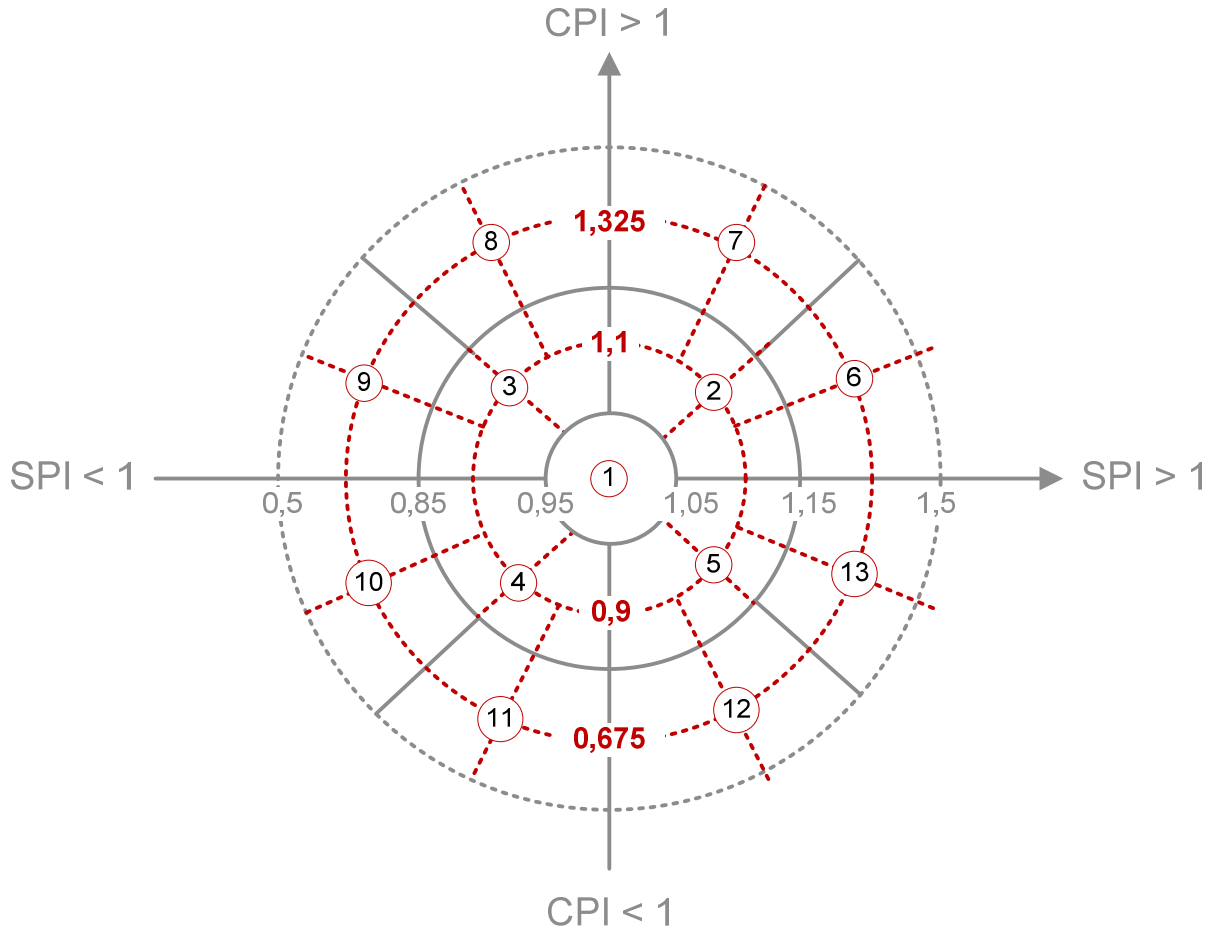
Abychom byli schopni model sestavit, použijeme jako matematické vyjádření možných stavů jejich souřadnici ve výše definovaném stavovém prostoru s tím, že každý stav bude reprezentován bodem, který leží zhruba uprostřed daného stavu (dle geometrického významu), viz Obr. 22.

Pro výpočet souřadnic středů jednotlivých stavů použijeme rovnice přímky (pro osy jednotlivých kvadrantů) a kružnice, která nemá střed v počátku.

Vzorec kružnic bude konkrétně:

$$(x - X)^2 + (y - Y)^2 = r^2, \tag{26}$$

kde [X;Y] jsou souřadnice středu kružnice (v našem případě to bude vždy [1;1]) a *r* je poloměr příslušné kružnice (kdy budeme uvažovat dvě, jednu s poloměrem 0,1 a druhou s poloměrem 0,325.



Obr. 22: Podrobnější rozdělení stavového prostoru CPI–SPI – středy stavových oblastí

Pro rovnice přímky platí vztah obecné rovnice přímky:

$$ax + by + c = 0\,, \tag{27}$$

kde *a,b,c* jsou konstanty, přičemž *a*<>0 nebo *b*<>0. Pro *a* = 0 je přímka rovnoběžná s osou x, pro *b* = 0 je přímka rovnoběžná s osou y, pro *c* = 0 prochází přímka počátkem.

Pro nás bude nicméně vhodnější směrnicová rovnice přímky ve tvaru:

$$y = kx + q\,, \tag{28}$$

Kdy k = tgφ, kdy φ je orientovaný úhel, který svírá přímka s první souřadnicovou osou a *q* je druhá souřadnice průsečíku přímky s osou y.

Toto vyjádření je pro nás vhodnější, protože známe souřadnice jednoho z bodů přímky ([1;1]) a také úhel, který příslušná osa svírá (30, 45, 60 atd. stupňů). Jednotlivé směrnice tak snadno určíme a po dosazení počátku [1;1] zjistíme i příslušné q:

Tab. 6: Směrnice jednotlivých úhlů

úhel	radiány	tg úhlu (k)	1 - k = q
30	0,523599	0,57735	0,42265
45	0,785398	1	0
60	1,047198	1,732051	-0,73205
120	2,094395	-1,73205	2,732051
135	2,356194	-1	2
150	2,617994	-0,57735	1,57735

Dále budeme hledat středy vymezených stavů pomocí dvou rovnic o dvou neznámých – příslušné kružnice a přímky. Osy x a y mají význam velikosti indexů SPI a CPI. Stav 1 má souřadnice [1;1]. Možné kombinace tedy jsou:

Tab. 7: Rovnice přímky pro osy jednotlivých stavů

Stav	Kružnice	Přímka
2	$(x-1)^2 + (y-1)^2 = 0{,}1^2$	$y = 1x + 0$
3	$(x-1)^2 + (y-1)^2 = 0{,}1^2$	$y = -1x + 2$
4	$(x-1)^2 + (y-1)^2 = 0{,}1^2$	$y = 1x + 0$
5	$(x-1)^2 + (y-1)^2 = 0{,}1^2$	$y = -1x + 2$
6	$(x-1)^2 + (y-1)^2 = 0{,}325^2$	$y = 057735x + 0{,}42265$
7	$(x-1)^2 + (y-1)^2 = 0{,}325^2$	$y = 1{,}732051x - 0{,}73205$
8	$(x-1)^2 + (y-1)^2 = 0{,}325^2$	$y = -1{,}73205x + 2{,}732051$
9	$(x-1)^2 + (y-1)^2 = 0{,}325^2$	$y = -0{,}57735x + 1{,}57735$
10	$(x-1)^2 + (y-1)^2 = 0{,}325^2$	$y = 057735x + 0{,}42265$
11	$(x-1)^2 + (y-1)^2 = 0{,}325^2$	$y = 1{,}732051x - 0{,}73205$
12	$(x-1)^2 + (y-1)^2 = 0{,}325^2$	$y = -1{,}73205x + 2{,}732051$
13	$(x-1)^2 + (y-1)^2 = 0{,}325^2$	$y = -0{,}57735x + 1{,}57735$

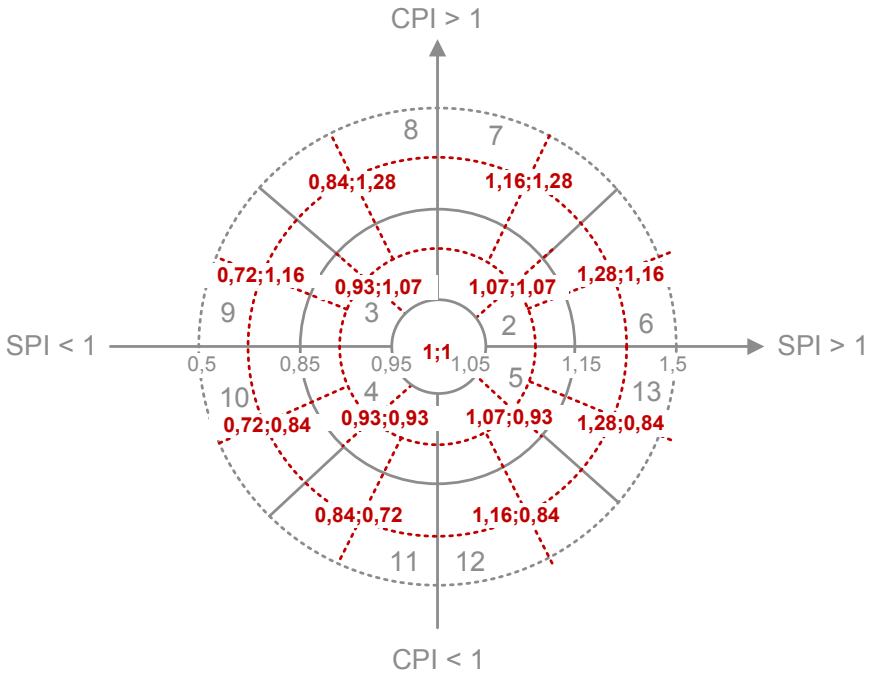
Výsledky budou vycházet jako kořeny kvadratické rovnice, kdy příslušná souřadnice bude určena polohou ve stavovém prostoru. Ze všech kombinací kružnic a přímek tedy budeme řešit pouze následující dvojice rovnic:

Tab. 8: Výsledné dvojice rovnic

Kružnice	Přímka
$(x-1)^2+(y-1)^2=0{,}1^2$	$y=1x+0$
$(x-1)^2+(y-1)^2=0{,}1^2$	$y=-1x+2$
$(x-1)^2+(y-1)^2=0{,}325^2$	$y=057735x+0{,}42265$
$(x-1)^2+(y-1)^2=0{,}325^2$	$y=1{,}732051x-0{,}73205$
$(x-1)^2+(y-1)^2=0{,}325^2$	$y=-1{,}73205x+2{,}732051$
$(x-1)^2+(y-1)^2=0{,}325^2$	$y=-0{,}57735x+1{,}57735$

Po dosazení a zaokrouhlení dostáváme tyto souřadnice jednotlivých stavů:

stav	CPI	SPI
2	1,07	1,07
3	0,93	1,07
4	0,93	0,93
5	1,07	0,93
6	1,28	1,16
7	1,16	1,28
8	0,84	1,28
9	0,72	1,16
10	0,72	0,84
11	0,84	0,72
12	1,16	0,72
13	1,28	0,84



Obr. 23: Souřadnice stavů ve stavovém prostoru

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

5.2.3 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.

Pokud budeme uvažovat reálné možnosti chování projektů, budeme uvažovat pouze přechody mezi vzájemně sousedícími stavy. To odpovídá určité dynamice vývoje projektu v čase. Změny se budou projevovat spíše pozvolna a po jednotlivých krocích mezi sousedícími stavy, než nějak skokově.

Například, pokud je projekt ve zpoždění o jeden měsíc, těžko se dostane během například jednoho týdne do předstihu. Mnohem pravděpodobnějším chováním je postupné snižování zpoždění – nejprve např. na tři týdny, pak na dva atd.

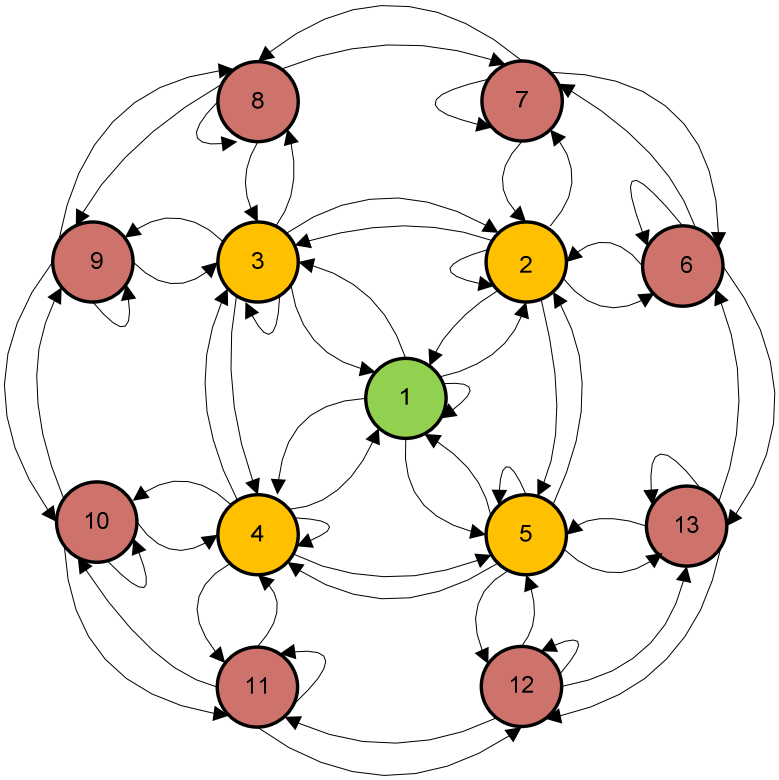
I s tímto nahlížením bude model již poměrně komplikovaným, jak je uvedeno na Obr. 24.

Hlavní otázkou zde začne být matice přechodů, tedy pravděpodobnosti přechodů mezi jednotlivými naznačenými stavy. Ty lze určit několika způsoby:

a) Kvalifikovaným odhadem na základě zkušeností,

b) Statistickým vyhodnocením dostatečně rozsáhlého souboru projektů (nejlépe obdobných) realizovaných na podobné téma a v podobné (nejlépe jediné) organizaci – což v době zpracovávání této práce nebylo vzhledem ke stavu rozvoje projektového řízení na území ČR dost dobře realizovatelné. Výsledky by však byly jistě přesnější.

c) Odvozením závislosti matematickým vztahem.



Obr. 24: 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 odvození budeme vycházet z těchto tezí:

a) jednotlivé stavy jsou určeny polohou svých středů ve stavovém prostoru s výše vypočtenými souřadnicemi,

b) přechody uvažujeme pouze mezi přímo sousedícími stavy,

c) obecně je pravděpodobnost přechodu nepřímo úměrná vzdálenosti mezi sousedícími stavy (což dobře odpovídá realitě, kdy se projekt vyvíjí dynamicky v čase, a změny jsou pozvolné),

d) pravděpodobnost, že projekt zůstane ve stejném stavu, kde právě je, je stejná, jako že projekt přejde do jakéhokoliv jiného sousedícího stavu tak, jak je uvedeno na Obr. 24.

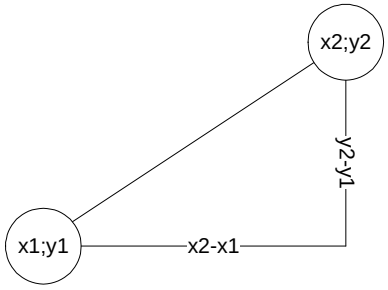
Danou pravděpodobnost tedy můžeme určit vztahem:

$$p_{i,i} = \frac{\sum_{i,j}^{N} p_{i,j}}{N} \; ; \sum_{j}^{N} p_{i,j} = 1, \tag{29}$$

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

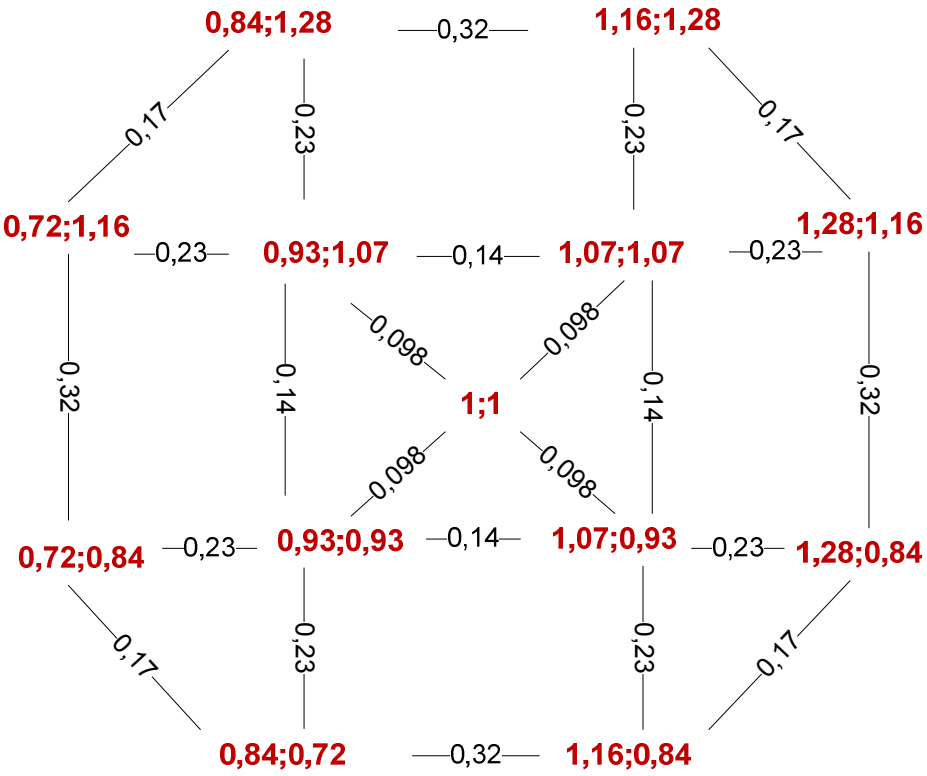
e) Výchozí, standardizovaný model bude, co se pravděpodobností přechodů týče, středově souměrný.

Model si můžeme pro účely odvození převést i 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 podle principu:



Obr. 25: Princip výpočtu vzdáleností mezi stavy ve stavovém prostoru

Výsledné vzdálenosti jsou uvedeny na Obr. 26:



Obr. 26: Vzdálenosti mezi stavy ve stavovém prostoru

Pravděpodobnosti přechodů odvozené od vzdáleností vypočteme jednoduše dle vztahu:

$$p_{i,j} = \frac{1}{d} \quad , \quad \text{pro } i \neq j, \tag{30}$$

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

Nejde samozřejmě o jediný způsob, jak určit pravděpodobnosti přechodů, jistě by šlo použít i složitějších způsobů výpočtu. Křivka nepřímé úměrnosti má však v našem pojetí a pro naše potřeby zcela dostatečnou gradaci pro matematickou reprezentaci reality.

Zadáním do čtvercové matice vztahů mezi jednotlivými stavy tímto způsobem dostaneme např. pro stav 1, že pravděpodobnost přechodu do stavu 2,3,4, nebo 5 je 1/0,098 = 10,204. Pravděpodobnost, že by projekt zůstal ve stavu 1, bude podle dříve uvedené teze stejná, tedy také 10,204. U ostatních stavů již tomu bude jinak, protože vzdálenosti již nebudou zcela symetrické a nebudou tedy rovny stejnému číslu.
Pravděpodobnost setrvání ve stejném stavu bude tedy vypočtena podle vztahu:

$$p_{i,i} = \frac{\sum_{j}^{N} p_{i,j}}{N}, \quad \text{pro } i=j, \tag{31}$$

kde *N* je počet možných stavů. Uvedený vztah vyjadřuje skutečnost, že pravděpodobnost setrvání v daném stavu je dána střední hodnotou přechodů pro daný stav. Tento předpoklad splňuje i předchozí tezi o ekvivalenci přechodu do jiného stavu a setrvání v aktuálním stavu. Výsledek je uveden v Tab. 9.:

Tab. 9: Matice přechodů ve formě tabulky - nenormalizovaná

Stav	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	suma
1	10,204	10,204	10,204	10,204	10,204	0	0	0	0	0	0	0	0	51,020
2	10,204	6,637	7,143	0	7,143	4,348	4,348	0	0	0	0	0	0	39,823
3	10,204	7,143	6,637	7,143	0	0	0	4,348	4,348	0	0	0	0	39,823
4	10,204	0	7,143	6,637	7,143	0	0	0	0	4,348	4,348	0	0	39,823
5	10,204	7,143	0	7,143	6,637	0	0	0	0	0	0	4,348	4,348	39,823
6	0	4,348	0	0	0	4,452	5,882	0	0	0	0	0	3,125	17,807
7	0	4,348	0	0	0	5,882	4,452	3,125	0	0	0	0	0	17,807
8	0	0	4,348	0	0	0	3,125	4,452	5,882	0	0	0	0	17,807
9	0	0	4,348	0	0	0	0	5,882	4,452	3,125	0	0	0	17,807
10	0	0	0	4,348	0	0	0	0	3,125	4,452	5,882	0	0	17,807
11	0	0	0	4,348	0	0	0	0	0	5,882	4,452	3,125	0	17,807
12	0	0	0	0	4,348	0	0	0	0	0	3,125	4,452	5,882	17,807
13	0	0	0	0	4,348	3,125	0	0	0	0	0	5,882	4,452	17,807

Aby bylo možné výše uvedené pravděpodobnosti použít jako pravděpodobnosti v matici přechodů markovského řetězce, musíme je normalizovat tak, aby byl součet každého řádku roven právě jedné. Výstupem normalizace pak je matice přechodů markovského modelu projektu odvozeného od výše uvedených stavů CPI a SPI (Tab. 10).

Normalizací dostáváme výchozí, standardizovanou matici přechodů pro stavový model projektu, který budeme moci dále používat a upravovat.

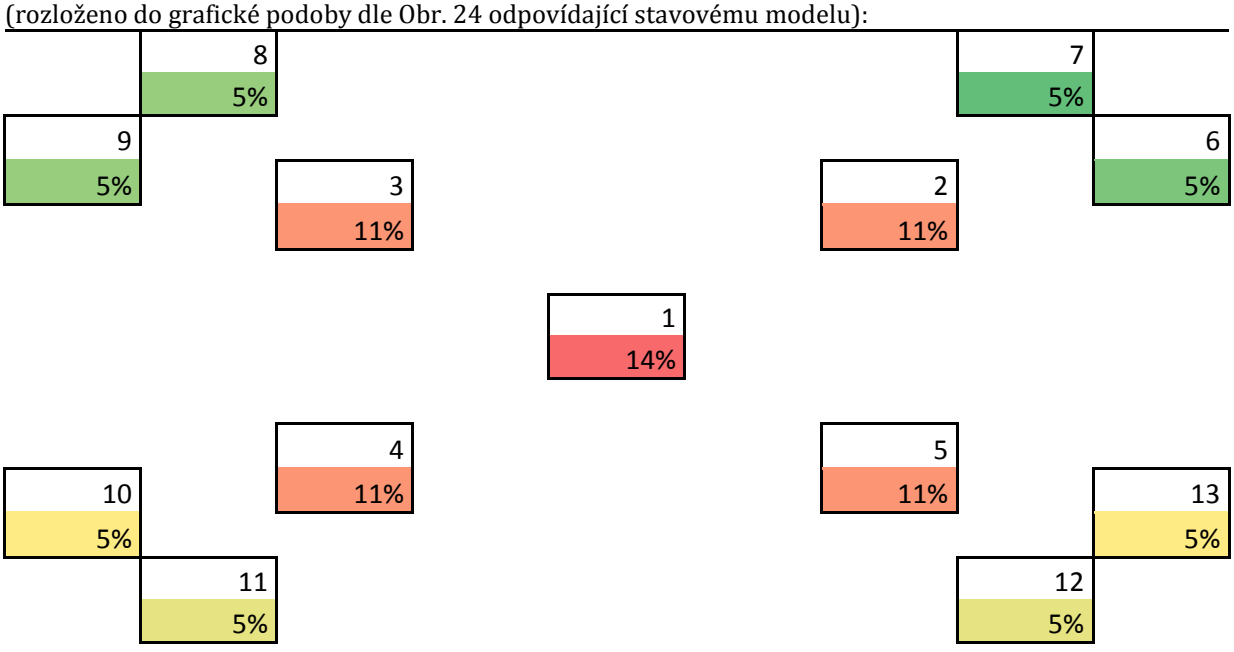
V tomto nastavení je projekt uvažován ve střední poloze, ze které se může jeho vývoj vyvíjet jakýmkoliv směrem.

Tab. 10: Matice přechodů ve formě tabulky - normalizováno

Stav	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	suma
1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0,256	0,167	0,179	0	0,179	0,109	0,109	0	0	0	0	0	0	1
3	0,256	0,179	0,167	0,179	0	0	0	0,109	0,109	0	0	0	0	1
4	0,256	0	0,179	0,167	0,179	0	0	0	0	0,109	0,109	0	0	1
5	0,256	0,179	0	0,179	0,167	0	0	0	0	0	0	0,109	0,109	1
6	0	0,244	0	0	0	0,25	0,330	0	0	0	0	0	0,175	1
7	0	0,244	0	0	0	0,330	0,25	0,175	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0,244	0	0	0	0,175	0,25	0,330	0	0	0	0	1
9	0	0	0,244	0	0	0	0	0,330	0,25	0,175	0	0	0	1
10	0	0	0	0,244	0	0	0	0	0,175	0,25	0,330	0	0	1
11	0	0	0	0,244	0	0	0	0	0	0,330	0,25	0,175	0	1
12	0	0	0	0	0,244	0	0	0	0	0	0,175	0,25	0,330	1
13	0	0	0	0	0,244	0,175493716	0	0	0	0	0	0,330	0,25	1

Model přímo neobsahuje stav „konec projektu“ nebo „začátek projektu“. Filosofie je taková, že projekt začíná ve stavu „1“, v jakém skončí je pak otázka – může to být kterýkoliv z definovaných stavů.

Výsledné limitní pravděpodobnosti přechodů (p^{∞}) jsou pak podle výše uvedené matice takovéto (rozloženo do grafické podoby dle Obr. 24 odpovídající stavovému modelu):



Obr. 27: Limitní pravděpodobnosti přechodu výchozího modelu

Ze schématu a hodnot pravděpodobností vyplývá, že setrvání v nejpožadovanějším stavu 1 je sice nejvíce pravděpodobné, nicméně přechod do menších odchylek jakýmkoliv směrem je pravděpodobný jen o něco méně. Pravděpodobnosti velmi výrazných odchylek jsou již pravděpodobné mnohem méně.

Takové rozložení pravděpodobností se dá považovat za odpovídající realitě. Byť je zřejmé, že pokud budeme hovořit o nějaké konkrétní organizaci nebo konkrétním typu projektů, může být rozložené relativních četností setrvání v jednotlivých stavech i mírně odlišné – což lze poté v praxi upravit postupem výše uvedeného odvození, např. změnou vzdáleností mezi stavy, nebo úpravou vztahů pro výpočet pravděpodobností, například na základě statistického vyhodnocení vybraného souboru projektů. Pro potřeby dalšího návrhu je výše uvedené rozložené absolutních pravděpodobností zcela dostačující a dostatečně reprezentující realitu.

5.3 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.

Obecně vzato, mohou faktory ovlivňovat výchozí rozložení matice přechodů zhruba dle Tab. 11:

Tab. 11: Faktory ovlivňující matici přechodů

Velikost firmy	
Malá firma	**Střední a velká firma**
Menší základna disponibilních zdrojů. Pokud nebude projektů příliš, bude kladem vyšší flexibilita a pružnost, pokud je však příliš mnoho projektů zároveň, je takováto organizace až paralyzována.	Více disponibilních zdrojů s možností lepšího hospodaření – pokud probíhá. Pokud není dostatečná maturita a neprobíhá systematické hospodaření se zdroji, hrozí projektu také paralýza a nevýhodou je zde určitá byrokratizace a nepružnost.
Obecně vliv	
Negativní	**Pozitivní**

Rozsah projektu	
Malý projekt	**Velký projekt**
Bez problémů lze udělat i poměrně významné změny a vyrovnat odchylky, projekt má rychlou odezvu na akční zásahy projektového týmu. Význam maturity organizace zde není příliš výrazný, projekt je dost dobře možné řídit i dost operativně. Na druhou stranu mívá takovýto projekt obecně nižší prioritu.	Akční zásahy budou dosahovat svých výsledků se zpožděním. V kombinaci s nízkou maturitou mateřské organizace hrozí projektům velké problémy.
Obecně vliv	
Pozitivní	**Negativní**

Vyspělost organizace	
Nízká maturita	**Vysoká maturita**
Náhodné až chaotické procesy, které mnohdy nejsou ani popsány, natož řízeny. Malý projekt jde ještě s vypětím a zvýšeným úsilím projektového týmu jakž takž uřídit, velké projekty jsou obvykle velkým problémem.	Popsané a řízení procesy přispívají ke zvládnutí dynamiky projektu a je pravděpodobná tendence k vyšší úspěšnosti projektů.
Obecně vliv	
Negativní	**Pozitivní**

Množství projektů soutěžících o zdroje	
Málo projektů	**Hodně projektů**
Zdroje alokované na projekt jsou bez problému využitelné, spíše výjimečně a krátkodobě dochází k nedostupnosti zdrojů.	Projekty si hodně konkurují v požadavcích na zdroje. V případě vysoké maturity a velké organizace lze předpokládat dobré zvládnutí, v ostatních případech to vede k problémům.
Obecně vliv	
Pozitivní	**Negativní**

Ostatní faktory	
Pozitivní vliv	**Negativní vliv**
Kontext projektu je příznivý vzhledem k úspěchu.	Kontext projektu je nepříznivý vzhledem k úspěchu.
Obecně vliv	
Pozitivní	**Negativní**

Pro zjednodušení uvažujme pouze s pozitivním, neutrálním či negativním vlivem jednotlivých faktorů a jejich vzájemných kombinací, které pak sečteme a použijeme jako určité pákové pravidlo na matici přechodů – naladíme tak matici přechodů na konkrétní případ.

Přesné určení kontextu projektu by samozřejmě mohlo být i složitější a přesnější, to však přesahuje téma i rozsah této disertační práce, která je zaměřena na demonstraci práce s Markovskými řetězci. Z toho důvodu nám dané rozlišení pro tuto práci postačí.

Tab. 12: Vyhodnocení váhových koeficientů

Velikost projektu	Velikost firmy	Maturita	Počet projektů	Kontext	Výsledek
1	-1	1	1	1	**3**
				-1	**1**
			-1	1	**1**
				-1	**-1**
		-1	1	1	**1**
				-1	**-1**
			-1	1	**-1**
				-1	**-3**
	1	1	1	1	**5**
				-1	**3**
			-1	1	**3**
				-1	**1**
		-1	1	1	**3**
				-1	**1**
			-1	1	**1**
				-1	**-1**
-1	-1	1	1	1	**1**
				-1	**-1**
			-1	1	**-1**
				-1	**-3**
		-1	1	1	**-1**
				-1	**-3**
			-1	1	**-3**
				-1	**-5**
	1	1	1	1	**3**
				-1	**1**
			-1	1	**1**
				-1	**-1**
		-1	1	1	**1**
				-1	**-1**
			-1	1	**-1**
				-1	**-3**

Ve výchozím nastavení to můžeme učinit např. takto:

a) Pokud je faktor negativní, bude k váhovému koeficientu přičten negativní bod.
b) Pokud je faktor pozitivní, bude k váhovému koeficientu přičten pozitivní bod.

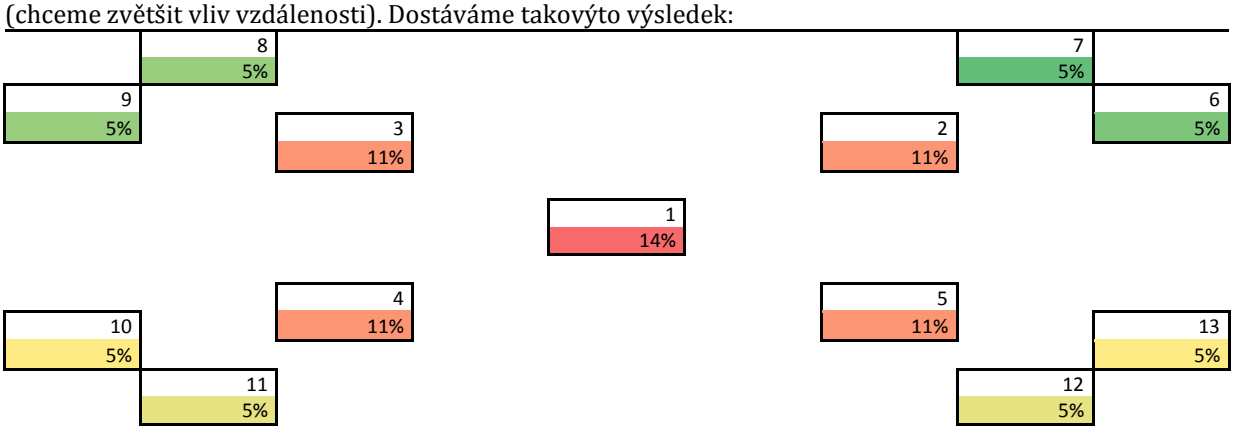
Vyhodnocení pak může probíhat např. takovouto sadou pravidel (formou rozhodovacího stromu, kdy postupujeme postupně po jednotlivých faktorech) uvedených v Tab. 12.

Pořadí jednotlivých faktorů není zvoleno náhodně, ale podle odhadu jejich významu na projekt. Pro účely této práce je pořadí v podstatě irelevantní. Může to být však zajímavé téma jiné práce a zřejmě by šlo i tyto faktory opatřit nějakými váhovými koeficienty.

Podle charakteru zkoumaného projektu tedy může být výchozí matice přechodů upravena způsobem, kdy jsou pravděpodobnosti jednotlivých přechodů upraveny pákovým pravidlem, které posune pravděpodobnosti přechodů směrem dle síly a polarity jednotlivých faktorů. Váha může být konkrétně proměněna nějakým vhodným matematickým vztahem. Zkusme několik základních možností.

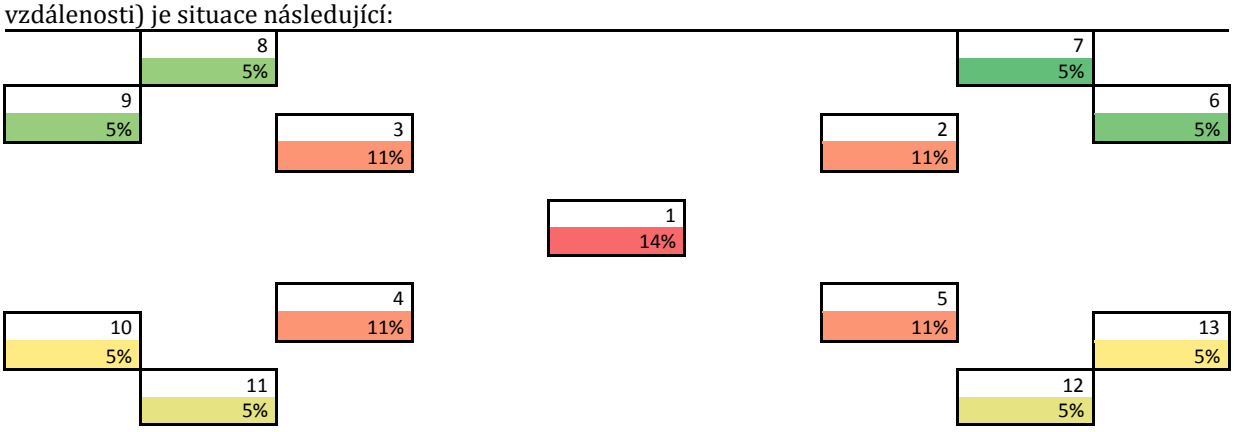
5.3.1 Úprava váhy násobením nebo dělením

V prvním případě uvažujme úpravu pro maximální kladný faktor 5 násobením vzdálenosti číslem 5 (chceme zvětšit vliv vzdálenosti). Dostáváme takovýto výsledek:



Obr. 28: Faktor 5 – násobení velikostí faktoru

U maximálního záporného faktoru (-5) by odpovídající operací mohlo být dělení (chceme zmenšit vliv vzdálenosti) je situace následující:



Obr. 29: Faktor -5 – dělení velikostí faktoru

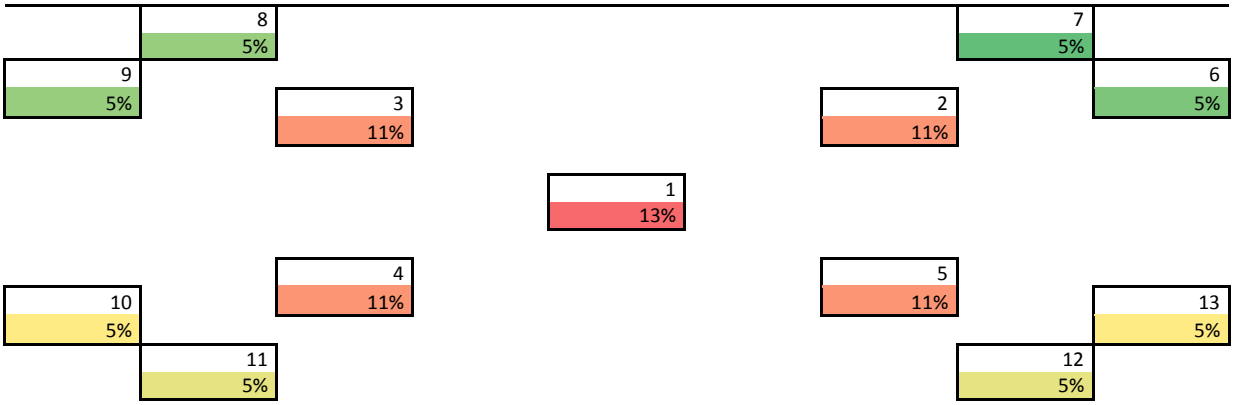
Výsledky jsou bohužel zcela totožné (znaménko + nebo – nemá vliv na velkost pravděpodobností) a velikost změny daná vynásobením (dělením) je příliš malá na to, aby byla z hlediska pravděpodobností přechodu významná (zaokrouhlené pravděpodobnosti vyšly zcela totožně s výchozím modelem). Násobení nebo dělení tedy není vhodný způsob.

5.3.2 Úprava váhy přirozeným exponentem

Zkusme tedy posílit naše váhové pravidlo tak, že z násobení faktorem uděláme exponent Eulerova čísla:

$$d_C = e^{(d*C)}, \tag{32}$$

kde *d* je původní vzdálenost stavu *i* od stavu *j* a *C* je velikost faktoru.
Dostáváme takovýto výsledek:

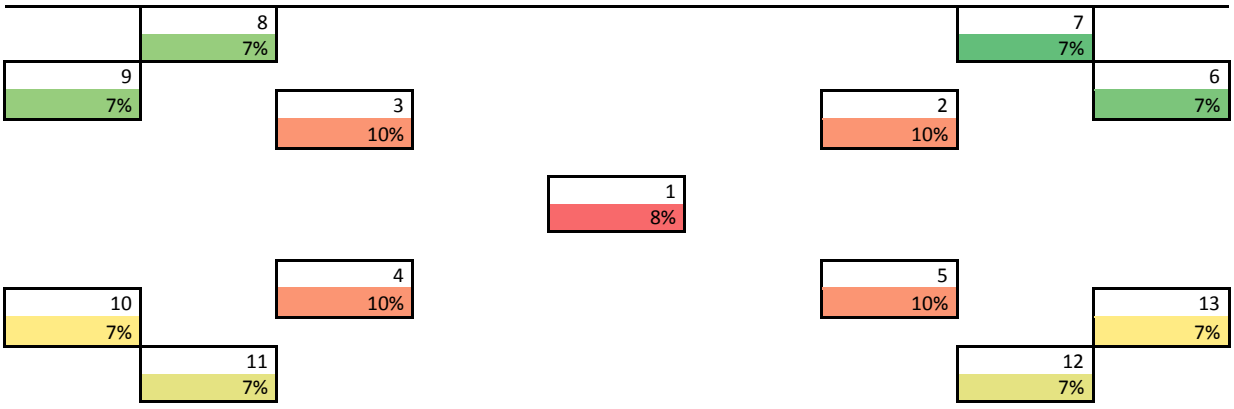


Obr. 30: Faktor 5 – jako exponent Eulerova čísla

U maximálního záporného faktoru (-5), při použití vztahu

$$d_C = e^{(d/C)}, \tag{33}$$

kde *d* je původní vzdálenost stavu *i* od stavu *j* a *C* je velikost faktoru kontextu je situace následující:



Obr. 31: Faktor -5 – jako exponent Eulerova čísla

Zde již je výsledek o něco lepší, hlavně u záporného faktoru, kde je již znát značná tendence k odchylkám. U kladného faktoru však, zřejmě vzhledem ke tvaru funkce, výrazných odchylek není.

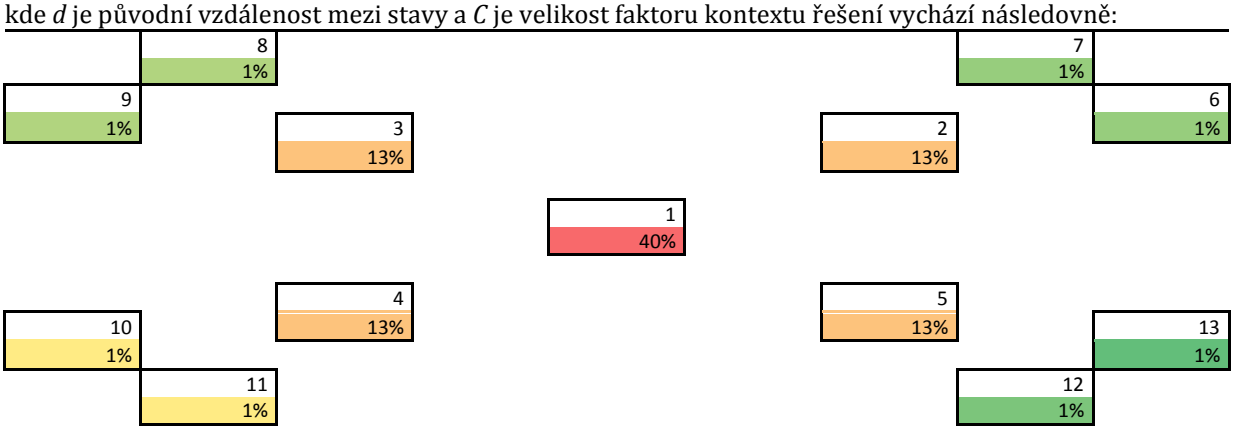
Bude tedy třeba použít ještě silnější způsob úpravy vzdáleností.

5.3.3 Úprava váhy exponenciálně

Jednou z nejsilnějších možností je danou vzdálenost přímo umocnit daným faktorem. Pro kladný faktor by takové umocnění dle vztahu

$$d_C = d^C, \tag{34}$$

kde d je původní vzdálenost mezi stavy a C je velikost faktoru kontextu řešení vychází následovně:



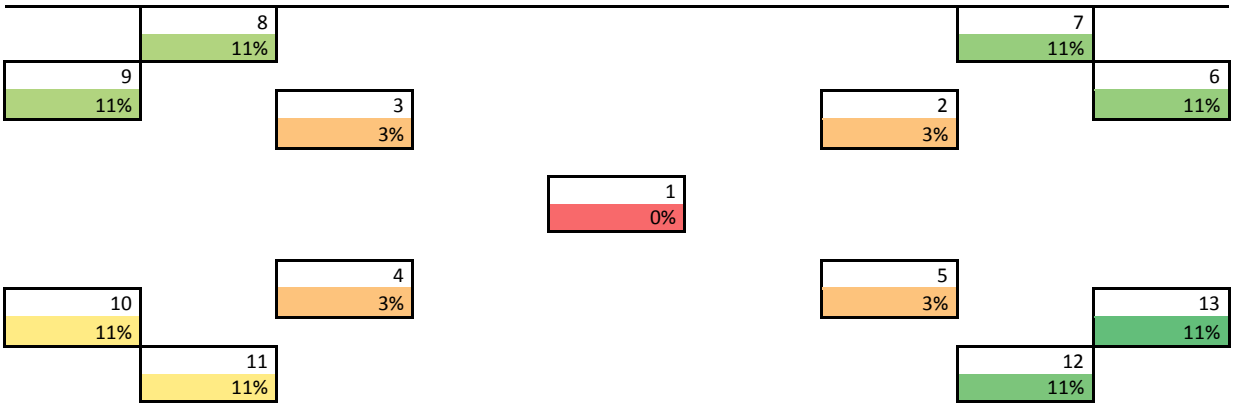
Obr. 32: Faktor 5 – jako exponent vzdálenosti

To již vypadá jako odpovídající změna pravděpodobností vzhledem k tomu, že se jedná o maximálně kladný faktor.

Pro maximální negaci můžeme zkusit umocnění na záporný exponent dle vztahu:

$$d_C = d^{-C}, \tag{35}$$

kde d je původní vzdálenost mezi stavy a C je velikost faktoru kontextu, což by vypadalo následovně:

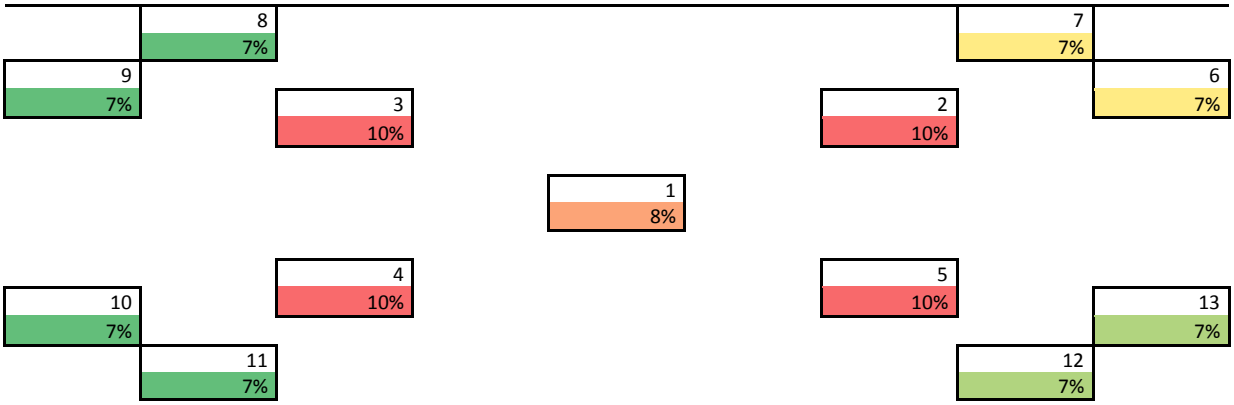


Obr. 33: Faktor -5 – jako záporný exponent vzdálenosti

To je sice změna v zamýšleném smyslu, nicméně až příliš silná. Zkusme situaci pro negativní faktor upravit na odmocnění daným faktorem dle vztahu:

$$d_C = \sqrt[|C|]{d}. \tag{36}$$

Dostáváme:



Obr. 34: Faktor -5 jako odmocnění velikostí faktoru

Poslední uvedený případ odpovídá realitě asi nejlépe, včetně snadnosti použití, kdy vzdálenost mezi jednotlivými stavy bude upravena podle vztahu:

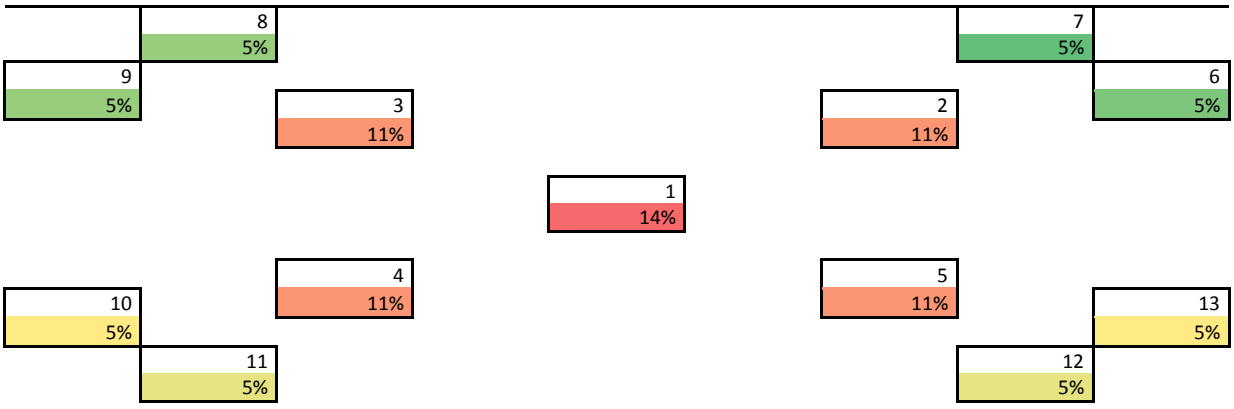
$$d_C = d^C \text{ pro kladné faktory a } d_C = \sqrt[|C|]{d} \text{ pro záporné faktory.} \qquad (37)$$

Je jisté, že by mohly být testovány i další metody a způsoby výpočtu, případně by tyto mohly být různě vzájemně kombinovány. Pro účely této práce postačuje poslední odvozený vztah (37). Tímto způsobem samozřejmě nebude příliš rozlišen vliv peněz nebo času a rozložení pravděpodobností bude středově symetrické – což zatím vyhovuje i smyslu našeho středově souměrného modelu.

Námi pojaté rozlišení a rozdělení různých faktorů tedy není zcela definitivní – to může být v různých organizacích a podle různých projektů různé.

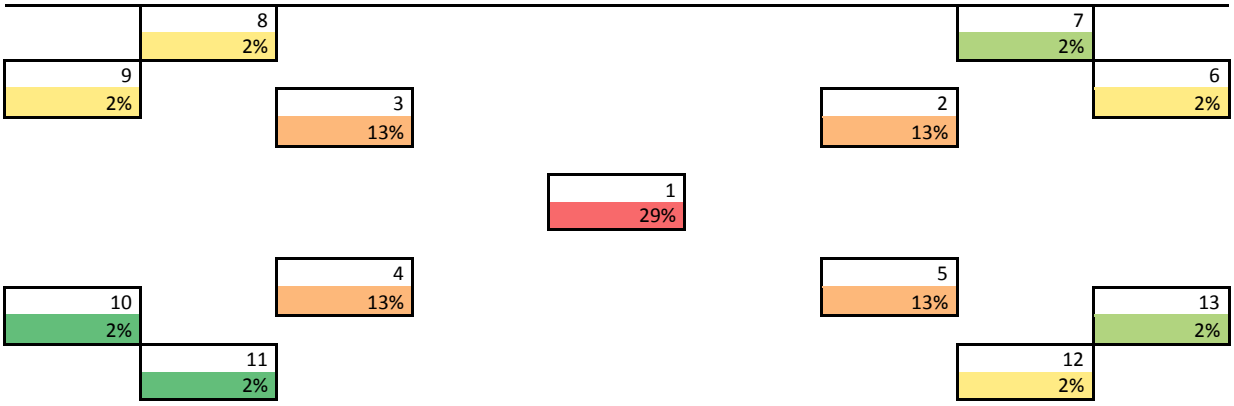
5.3.4 Aplikace vybrané úpravy na model

Výše uvedený způsob dává možnost naladit model zcela podle potřeb konkrétní situace (po její důkladné analýze – volbou faktorů, jejich váhy a polarity). Pro naše potřeby nyní může dobře posloužit výše uvedený vliv jednotlivých faktorů. Kdy tento nabývá hodnot 1,3 a 5, respektive -1, -3 a -5 pro negativní vliv na projekt. Faktory se v rámci našeho modelu podle výše odvozeného vztahu projeví takto:



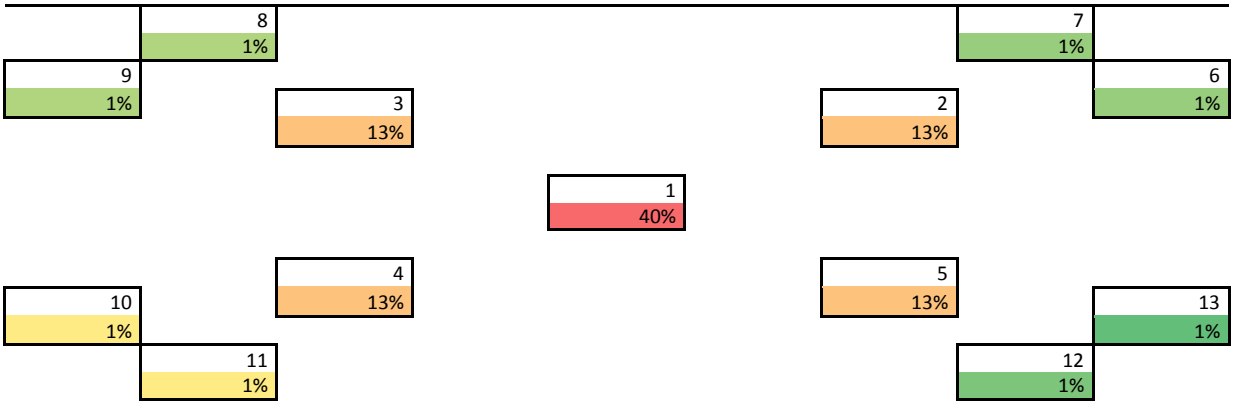
Obr. 35: Faktor 1

Je zřejmé, že u faktoru jedna máme v podstatě výchozí situaci, což je v pořádku.



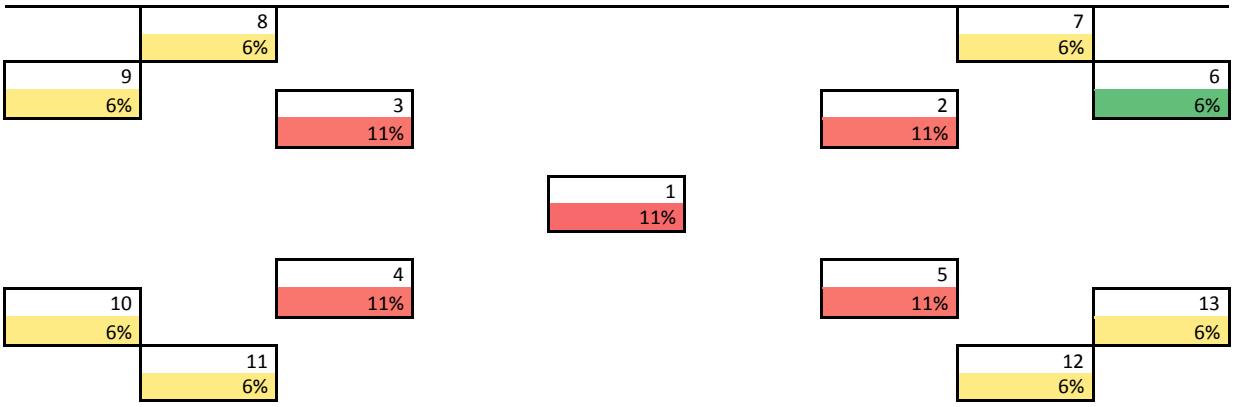
Obr. 36: Faktor 3

U středně pozitivního faktoru můžeme pozorovat nárůst pravděpodobnosti směrem k nejžádanějšímu stavu uprostřed prostoru, což je v pořádku. Mírné zvýšení pravděpodobnosti mírně odchýlených stavů je také v pořádku, pokud si povšimneme razantního snížení pravděpodobnosti výskytu ve výrazně odchýlených stavech.



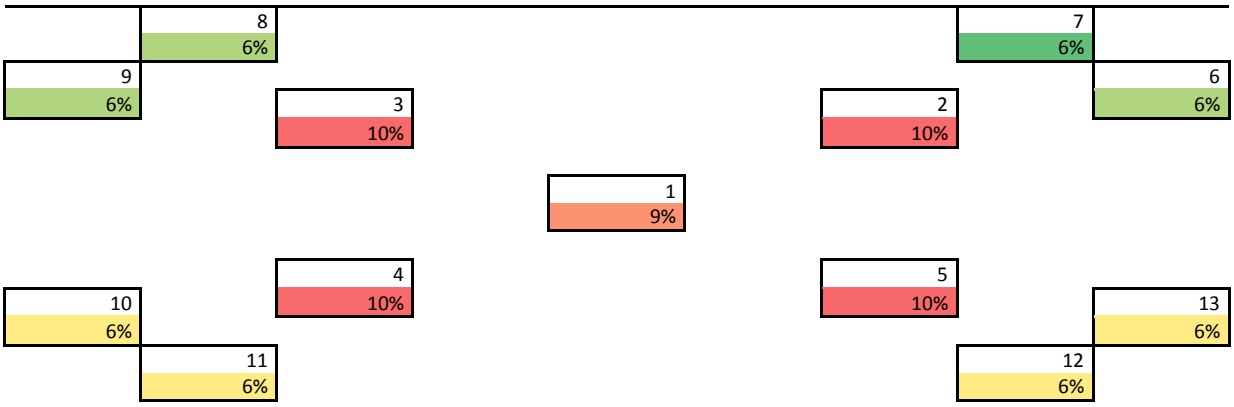
Obr. 37: Faktor 5

Pozitivní efekt je zde nejvyšší, výrazná odchylka je téměř vyloučena a s převahou je nejpravděpodobnější setrvání projektu ve středu nebo jen s mírnou odchylkou.



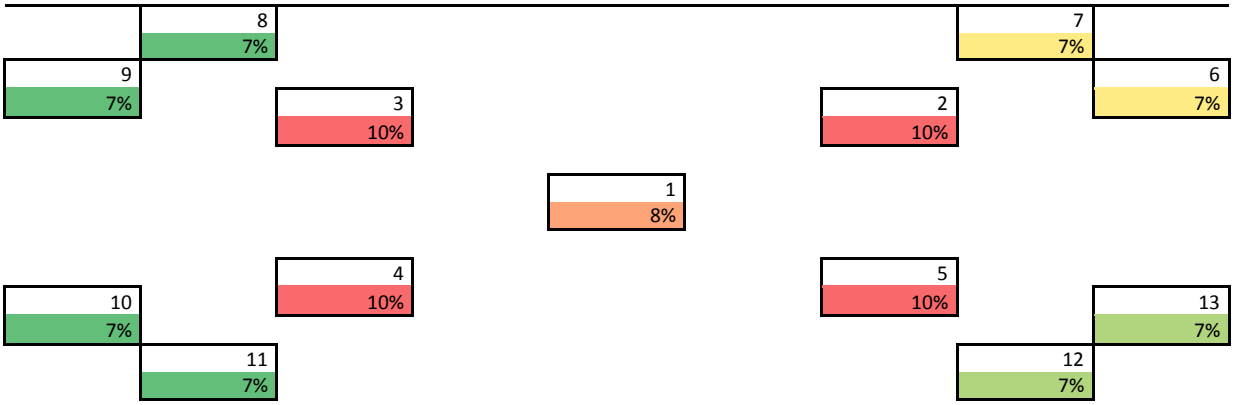
Obr. 38: Faktor -1

U prvního z negativních faktorů se nám situace obrací a pravděpodobnosti se začínají přesouvat k okrajům.



Obr. 39: Faktor -3

U středně negativního trend pokračuje.



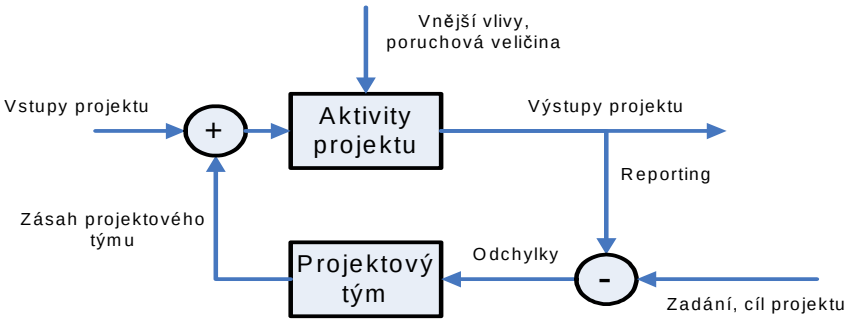
Obr. 40: Faktor -5

Nejvíce negativní trend -5 již preferuje spíše výraznější odchylky.

Zde si je potřeba připomenout, že vzdálenosti mezi zvolenými stavovými body nejsou zcela stejné a další vztahy počítají s nepřímou úměrností. Zatímco mírně odchýlené stavy leží na kružnici s poloměrem 0,1 a středem ve středu našeho stavového prostoru, výrazně odchýlené stavy leží na kružnici s týmž středem, ovšem poloměrem 0,325. Tedy i posun o jediné procento znamená ve škále CPI a SPI dost výrazný posun. Nastavením výše uvedených faktorů bude obecný symetrický model fakticky připraven na použití.

5.4 Návrh práce s modelem

Projektový tým se při řízení projektu chová velmi obdobně, jako je tomu u regulace se zápornou zpětnou vazbou.



Obr. 41: Regulační smyčka projektu

Regulovanou soustavou je zde projekt, regulovanou veličinou je stav projektu (v našem případě vyjádřen stavy indexů CPI a SPI). Zadáním jsou pokud možno co nejmenší odchylky od požadovaného stavu (kdy jde vše podle plánu).

Odchylky jsou vyhodnocovány projektovým týmem, který se snaží působit proti nim (obdobně jako PID nebo PSD regulátor zapojený v záporné zpětné vazbě). Projektový tým tedy vymýšlí a realizuje akční zásahy, které se sčítají se vstupy do projektu (subdodávky, finanční a materiálové toky, informační toky atd.).

Různé změny, nepředpokládané skutečnosti, naplněná rizika apod. pak tvoří poruchovou veličinu.

Na tomto místě si je třeba uvědomit, že projekt není jednoduchou soustavou, systémem a výše uvedený popis je velmi zjednodušující abstrakcí. Projekt je natolik komplexním systémem s tak složitými vnitřními i vnějšími vazbami a v tak dynamickém prostředí, že sestavit rovnici přenosu nebo něco podobného je v současném stavu lidského poznání v podstatě nemožné.

Také chování regulačního prvku, projektového týmu nelze dost dobře matematicky popsat. Rozhodování ovlivňuje podoba projektu samotného (kdy jedním z hlavních poznávacích znaků projektu je jeho jedinečnost, neopakovatelnost), složení projektového týmu, organizační začlenění, organizační kultura a spousta dalších technických, kontextových i tzv. behaviorálních prvků. Zjednodušeně řečeno, projekty jsou s lidmi a o lidech, proto nelze vždy použít ryze matematický přístup – projekt ani jeho tým se tak nechová. Významnou veličinou jsou emoce, empatie, osobnosti zúčastněných atd.

Z výše uvedených důvodů budou dále představeny určité možné strategie, možné postupy projektového týmu, které však nejsou jedinými a vždy zcela použitelnými.

Pro náš vytvořený model to znamená, že pokud bude projektový tým působit proti odchylkám, je pravděpodobné, že bude docházet opět ke změnám pravděpodobností přechodů – podle aplikace příslušných opatření s tím, že učinit změnu bude náročné podle toho, v jakém kontextu a jaký konkrétní projekt je realizován – tedy podle aplikovaného modelu.

Projektový tým se také bude rozhodovat především podle aktuálního stavu, poměrně nezávisle na tom, jaké byly stavy předcházející – rozhodující bude vždy skutečnost a predikce dalšího vývoje, což mimo jiné poměrně intenzivně koresponduje s filosofií Markovských řetězců.

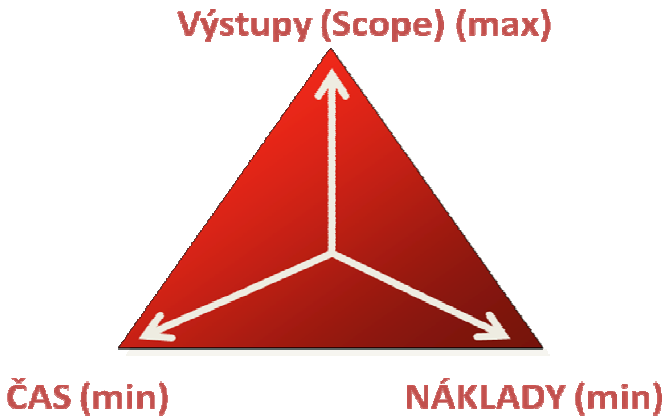
Zcela obecně se dá říct, že pokud bude projekt ve zpoždění, projektový tým se jej bude snažit urychlit (a naopak – pokud by přílišná rychlost mohla působit nějaké problémy). Pokud bude projekt překračovat rozpočet, bude vůle rozpočet více kontrolovat a někde ušetřit (opačný postup není příliš pravděpodobný). Je tedy zřejmé, že půjde především o reakce na záporné odchylky (kdy jsou indexy CPI a SPI menší než 1), byť i kladné je možné zvažovat (pokud budou nějaké rezervy, které půjde zužitkovat nebo pokud by přílišný předstih a úspory mohly znamenat problémy s kvalitou výstupů).

5.4.1 Hlavní vlivy na projekt

Kromě vlivu času a peněz je samozřejmě ještě třeba uvažovat vliv výstupů, respektive vliv na výstupy. Obecně je vztah mezi časem, zdroji (finančními, lidskými a dalšími) a výstupy (plnění cílů) označován jako **trojimperativ projektu** (Obr. 42).

Jednoduše řečeno, na začátku projektu je určeno, naplánováno, co má projekt dodat za výstupy, v jakém časovém horizontu a s využitím jakého množství zdrojů, kdy jsou tyto tři veličiny v následném vzájemném vztahu. Například, pokud chceme projekt urychlit, zřejmě to bude stát nějaké zdroje nebo budeme nuceni slevit z množství nebo kvality produkovaných výstupů, případně kombinace obojího.

Takovým způsobem lze předpokládat nejen zásahy projektového týmu. I vlastní vývoj projektu (kdy se projeví nepředpokládané skutečnosti, dojde k nečekaným situacím apod.), bude výše uvedené veličiny v podstatě náhodně ovlivňovat.



Obr. 42: Trojimperativ projektu

Je zcela normální a běžné, že se projekt více či méně odchyluje od plánu, který nemůže postihnout veškerou náhodnost v průběhu realizace projektu. Tendence k odchylkám bude jistě i záviset na typu a velikosti organizace, vyspělosti organizačního systému řízení projektů atd. – viz výše odvozené faktory kontextu projektu.

Tím se nám projekt bude dostávat do různých stavů, nejčastěji zřejmě půjde o zpoždění a přečerpávání nákladů, ale nemusí tomu tak být vždy. To již bude záležet na konkrétním projektu v konkrétní situaci.

Uvedené může být reprezentováno i jako změna projektu v čase, respektive informace o stavu projektu v určitém intervalu – kroku, který budeme moci interpretovat i jako krok výpočtu markovského řetězce, kdy ale bude problematická reálná interpretace daného kroku. Vhodnějším pro další práci se jeví výpočet limitních pravděpodobností, jakožto tendence projektu směřovat do nějakého stavu.

Pro odvození obecného modelu však můžeme použít i vývoj pro nejbližší interval – tedy absolutní pravděpodobnosti. Minimálně jako pěkný příklad změn pravděpodobností setrvání projektu v určitém stavu v závislosti na faktorech kontextu a dalších vlivech.

Například při použití výchozího obecného modelu a konstatování výchozího stavu 4, dostáváme tuto předpověď budoucího vývoje do dalšího kroku:

Tab. 13: Následující krok s faktorem 1

Faktor 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
poč. vektor	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Krok 1	26%	0%	18%	17%	18%	0%	0%	0%	0%	11%	11%	0%	0%

Tedy, s 26% pravděpodobností projekt přejde do nejžádanějšího stavu 1, což je pozitivní, pravděpodobnosti přechodu do stavu 3 nebo 5 jsou však stále poměrně vysoké, stejně jako pravděpodobnost setrvání ve stavu 4. Ani pravděpodobnosti propadu do větších odchylek nejsou zanedbatelné.

Uvedené pravděpodobnosti budou výrazně ovlivněny kontextem projektu, který jsme si výše odvodili pomocí faktorů – zkusme si to demonstrovat na nejvýraznějších případech faktoru 5 a -5.

Tab. 14: Následující krok s faktorem 5

Faktor 5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
poč. vekt	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Krok 1	61%	0%	10%	17%	10%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	0%	0%

Tab. 15: Následující krok s faktorem -5

Faktor -5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
poč. vekt	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Krok 1	17%	0%	17%	17%	17%	0%	0%	0%	0%	16%	16%	0%	0%

Vliv je dobře patrný. V kontextu reality dokonce velmi dobře vychází i faktor -5, kdy si lze představit již poměrně chaotické prostředí, které je charakteristické poměrně komplexní neurčitostí a opravdu nelze dost dobře předpokládat, kam se projekt bude dále vyvíjet – což výsledné pravděpodobnosti přechodu pro další krok docela dobře demonstrují.

Jak již bylo konstatováno, projektový tým se zřejmě bude snažit působit proti odchylkám, respektive se snažit maximalizovat pravděpodobnost přechodu do stavu 1, který reprezentuje soulad s plánem projektu.

Ovlivnění bude nejčastěji prostřednictvím změny základních veličin – trojimperativu projektu. Tým tedy bude pracovat s ovlivňováním výstupů, harmonogramu a rozpočtu projektu – což jsou vzájemně provázané veličiny a změna v jedné z nich způsobí změnu i některé z ostatních, často obou dvou. V realitě může obvykle docházet ke způsobům ovlivnění projektu uvedeným v **Tab. 16** (0 – neutrální vliv, + pozitivum, - negativum):

Tab. 16: Možné způsoby ovlivnění projektu

Výstupy	Zdroje	Čas	Interpretace
0	0	0	Projektový tým nepodniká žádné opatření
0	+	-	Jsou přidány zdroje za účelem zkrácení času
0	-	+	Zdroje jsou odebrány, čas se prodlužuje
-	0	-	Je sleveno z výstupů, zdroje jsou ponechány, což zřejmě povede k úsporám času
-	+	-	Jsou přidány zdroje a zároveň sleveno z výstupů, což má za efekt úsporu času
-	-	0	Je sleveno z výstupů, ale adekvátně jsou odebrány i zdroje – vliv na čas je tedy neutrální.
+	0	-	Výstupy jsou požadovány větší, ale nepřidají se zdroje, což má za výsledek zpoždění.
+	+	0	Větší výstupy s přídavkem zdrojů mají neutrální vliv na čas.
+	-	-	Je požadováno více výstupů, ale jsou odebrány zdroje, což má za důsledek výrazné zpoždění.

V rámci jednotlivých variant by bylo možné samozřejmě rozlišit i podrobnější stavy, například podle míry přidání nebo slevení požadavků na zdroje a odpovídajícího zacházení se zdroji nebo časem.

Obecně se dá uvažovat princip protikladného vlivu času a zdrojů, který je doplněn obdobně působícím vlivem požadovaných výstupů. Proto jsou některé matematicky možné kombinace vynechány (např. 0,-,-; při ponechání výstupů zřejmě odebrání zdrojů nepovede k časovým úsporám), protože v realitě nemohou nastat.

Pokud začneme zvažovat možná opatření projektového týmu v kontextu námi definovaného stavového modelu, odebrání nebo přidání zdrojů bude ovlivňovat index CPI, vliv času je pak reprezentován indexem SPI. Vliv požadavků na výstupy nebude přímo reprezentován v rámci daného prostoru, respektive působí na oba indexy CPI a SPI a buďto je oba ovlivňuje souměrně nebo určuje způsob vzájemného ovlivnění mezi CPI a SPI.

To také celkem dobře odpovídá praxi, kdy výstupy jsou výrazněji měněny co do počtu nebo kvality jen velmi zřídka a zpravidla až jako krajní varianta řešení.

V každém případě nám jakékoliv opatření, které projektový tým podnikne, ovlivní pravděpodobnosti přechodů mezi stavy (kromě opatření „projektový tým nedělá nic“).

Do výše vytvořených výpočtů lze aplikaci opatření simulovat např. opět aplikací určitého váhového koeficientu, který bude tentokrát odvozen podle směru předpokládaného vlivu daného opatření a také podle síly takového opatření.

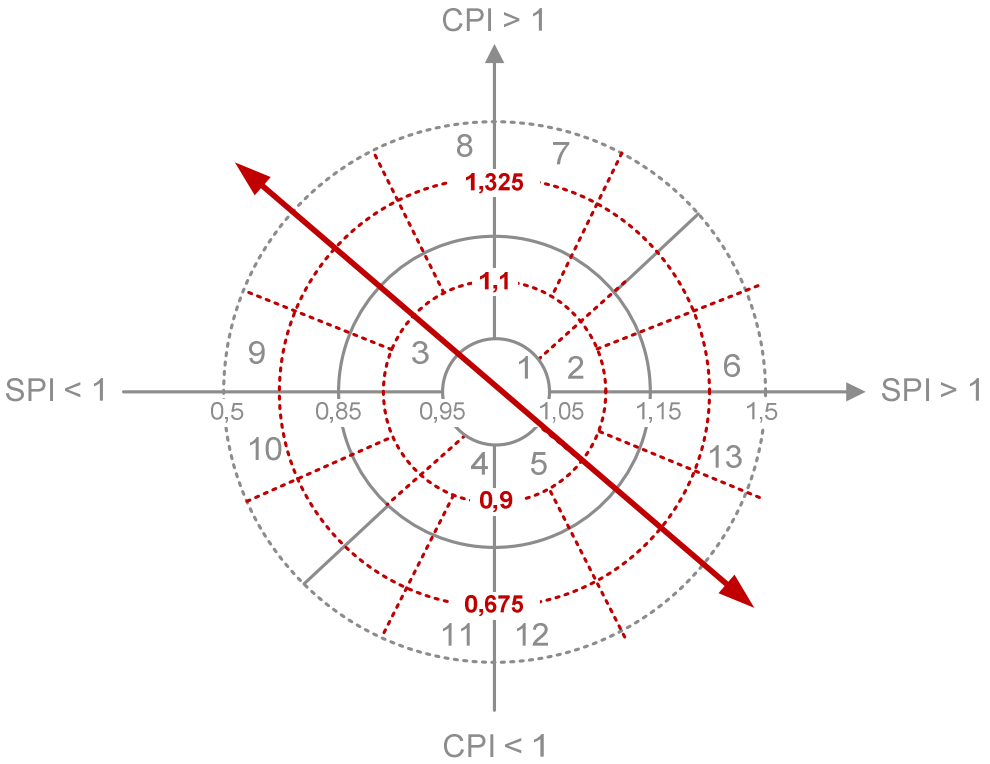
Např. pokud budou požadované výstupu konstantní a budou přidány zdroje měl by se index CPI postupně zvýšit, zatímco index SPI by měl postupně nabýt nižší hodnoty. Pro stav s konstantními výstupy lze konstatovat přímá, protikladná úměra mezi CPI a SPI. Velikost změny pak bude záviset i na tom, kolik zdrojů bude přidáno.

Dále tedy odvodíme výpočet vlivu směru opatření a následně i velikosti opatření.

5.4.2 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.

V daném základním případě jsou možné směry v postatě jen dva, a to směrem osy IV a II kvadrant (směrem od středu) našeho stavového prostoru, viz Obr. 43.



Obr. 43: Směry působení jdououcí osami kvadrantů II. a IV.

Obecně by daná úměra mohla být vnímána, jako že pokud prodloužíme termín (SPI tedy bude v hodnotách menších než 1), ušetříme náklady na vícepráce, dražší technologie, počet lidí apod. (index CPI tedy bude větší než 1). A naopak, pokud vyvineme tlak na termín (SPI by mělo být větší než 1), zřejmě to bude stát zdroje navíc (index CPI bude nabývat hodnot menších než 1).

Pokud budeme uvažovat nejzákladnější situaci, půjde o rovnoměrný vztah:

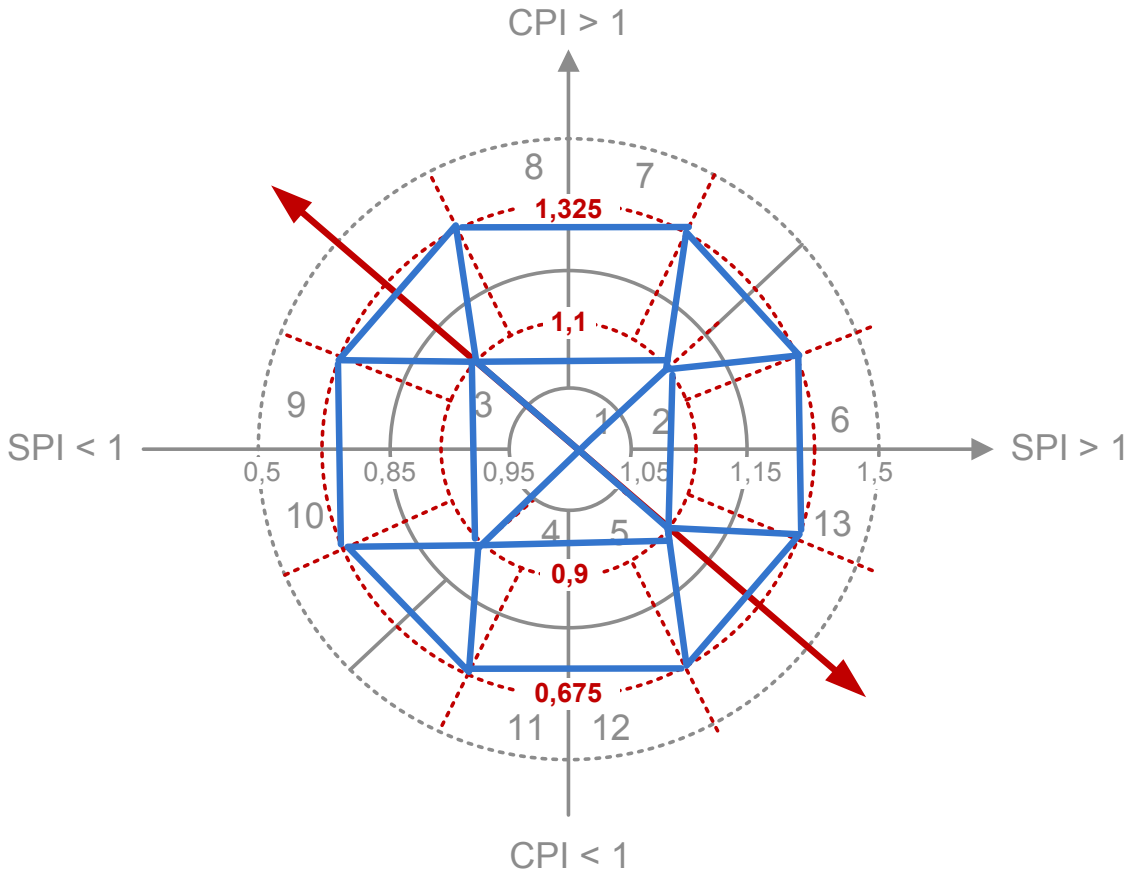
$$y = -1x + 2, \tag{38}$$

kde x reprezentuje hodnotu SPI a y reprezentuje hodnotu CPI.

Pokud tedy známe příslušný směr, např. chceme zkrátit termín přidáním zdrojů (což bude znamenat orientaci IV kvadrantem směrem od středu), musíme adekvátně upravit matici přechodů našeho modelu. To lze udělat určitou deformací našeho stavového prostoru, kdy směrem souhlasným s naším opatřením budou vzdálenosti mezi stavy „zkráceny“, v nesouhlasném naopak prodlouženy – vhodným váhovým koeficientem.

U všech přechodů v kvadrantu II pak půjde prohlásit, že jsou v nesouhlasném směru, u přechodů v kvadrantu IV jsou naopak všechny souhlasné (jsou orientovány ve směru našeho působení).

U kvadrantů I a III pak může nastat obojí případ. Rozlišit případy lze podle úhlu směřování daného přechodu – musí s námi zvoleným směrem svírat úhel menší, než 90°.



Obr. 44: Směry jednotlivých přechodů ve stavovém prostoru

Daný úhel bude zřejmě také mírou, kterou bude příslušný přechod ovlivněn. Pokud budeme uvažovat, že náš směr svírá s osou SPI úhel 315°, budou souhlasné veškeré přechody, které jsou vůči ose SPI v intervalu úhlu 225° až 45°.

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). Směry jednotlivých přechodů jsou naznačeny na Obr. 44 (vypočtené na základě zadaných vzdáleností a goniometrických funkcí).

Velikosti úhlů jsou uvedeny podle jednotlivých přechodů v Tab. 17 (údaje jsou ve stupních):

Tab. 17: Směry jednotlivých přechodů ve stupních

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1		45	135	225	315								
2	225		180		270	23,3	66,7						
3	315	360		270				113,3	156,7				
4	45		90		360					203,3	246,7		
5	135	90		180								293,3	336,7
6		203,3					135						270
7		246,7				315		180					
8			293,3				360		225				
9			336,7					45		270			
10				23,3					90		315		
11				66,7						135		360	
12					113,3						180		45
13					156,7	90						225	

Míra ovlivnění se pak dá velice dobře spočítat pomocí cosinu odchylky:

Tab. 18: Cosiny odchylek od směru působení

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,707107	-1,8E-16	-1	6,13E-17	1	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107
2	6,13E-17	0,707107	-0,70711	0,707107	0,707107	0,369747	-0,36975	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107
3	1	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	-0,92913	-0,92913	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107
4	-1,8E-16	0,707107	-0,70711	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	-0,36975	0,369747	0,707107	0,707107
5	-1	-0,70711	0,707107	-0,70711	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,929133	0,929133
6	0,707107	-0,36975	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	-1	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107
7	0,707107	0,369747	0,707107	0,707107	0,707107	1	0,707107	-0,70711	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107
8	0,707107	0,707107	0,929133	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	6,13E-17	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107
9	0,707107	0,707107	0,929133	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	-1,8E-16	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107
10	0,707107	0,707107	0,707107	0,369747	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	-0,70711	0,707107	1	0,707107	0,707107
11	0,707107	0,707107	0,707107	-0,36975	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	-1	0,707107	0,707107	0,707107
12	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	-0,92913	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	-0,70711	0,707107	-1,8E-16
13	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	-0,92913	-0,70711	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	0,707107	6,13E-17	0,707107

Pokud budeme zkoumat přechody ze stavu 1, pak směrem do stavu 2 jde o velmi malou hodnotu, stejně jako u přechodu do stavu 4 – hodnoty jsou takřka nulové, což odpovídá kolmému směru na náš směr ovlivňování projektu. Pokud by byly výpočty absolutně přesné, vyšla by nula – ta zde není díky zaokrouhlování. Naopak přechod směrem ke stavu 3 je roven -1, což je zcela správně, protože jde o působení zcela proti našemu vytyčenému směru, kterému odpovídá směr přechodu do stavu 5 a ten je také zcela správně roven 1.

Obdobně tomu je i u ostatních stavů. Do dalšího výpočtu budou vneseny pouze zeleně podbarvené hodnoty z výše uvedené tabulky. Ostatní buďto reprezentují neexistující přechod nebo setrvání projektu ve stejném stavu, což je z hlediska směru neutrální.

Je zřejmé, že výše uvedený postup nemusí být použit pouze pro zcela rovnoměrný případ závislosti CPI na SPI, tedy osu kvadrantů II a IV, ale na zcela libovolnou přímku, svírající určitý úhel s osou SPI (který bude určen podle smyslu opatření – orientace).

5.4.3 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.

Ta může být odvozena od velikosti změny, opatření, které chceme provést. Pokud budeme předpokládat velikost působené změny v procentech rozpočtu nebo plánovaného času, a víme, že budeme násobením ovlivňovat matici přechodů, musíme si poměrné míry vlivu přizpůsobit podle zásad:

a) Pokud se poměrná míra vlivu rovná nule, jde o neutrální vliv, což odpovídá násobení číslem 1.

b) Pokud je poměrná míra vlivu záporná, jde o negativní vliv, což odpovídá násobení číslem menším než 1,

c) Pokud je měrná míra vlivu kladná, jde o pozitivní vliv, což odpovídá násobení číslem větším než 1.

Při odvozování příslušného vztahu můžeme vyjít ze zkušeností s odvozováním vztahu pro vliv kontextu – různá násobení a dělení jsou ke znatelným změnám v poměrech mezi jednotlivými stavy příliš nevýrazná. Optimálním se jeví opět nějaký exponenciální vtah.

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 <-1;1>, 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. Vliv síly může být tedy definován vztahem:

$$r_{i,j} = m_{i,j} * s, \tag{39}$$

Kde $r_{i,j}$ je již kombinovaný vliv směru a velikosti síly působení, s je procentuelní vyjádření velikosti síly a $m_{i,j}$ je vliv směru (cosinus svíraného úhlu).

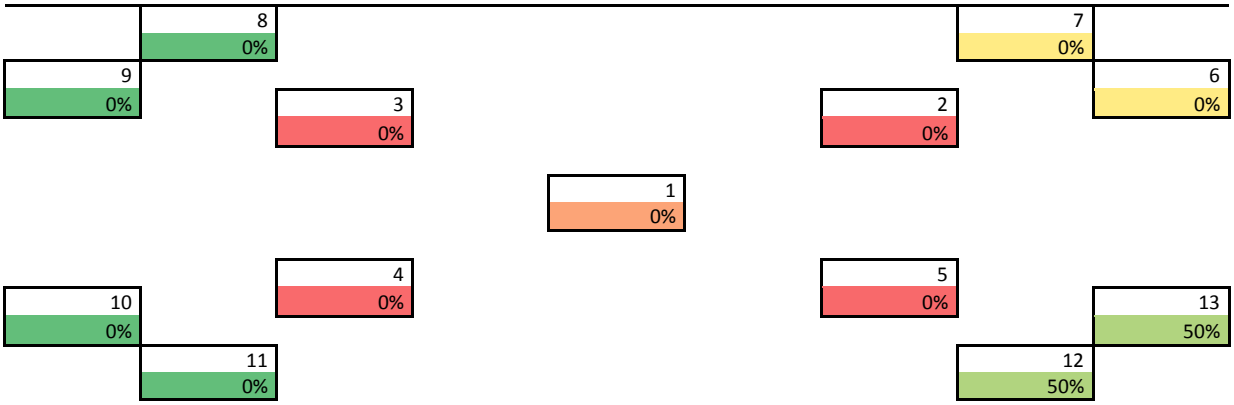
Jak již bylo řečeno výše, aby mohlo jít o koeficient, který znatelně ovlivní pravděpodobnosti přechodu, mělo by jít o exponenciální funkci. Logickým se zdá být umocňovat právě naši sílu. Exponentem by pak mohl být výše odvozený kombinovaný vliv směru a síly dle vztahu:

$$k_{i,j} = s^{m_{i,j} * s}, \tag{40}$$

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 dle směru působení.

Takové uspořádání způsobí, že pokud bude směr přechodu souhlasný s námi zvoleným směrem, $m_{i,j}$ bude kladný a tím pádem bude celý koeficient větší než 1, pokud půjde o záporné číslo, bude koeficient menší než 1. Pokud pak koeficientem vynásobíme původní vzdálenosti v našem modelu, dojde k potřebné deformaci určitým směrem.

Zkusme to například v již dříve zmíněném úhlu 315°, se silou 10%, samozřejmě s výchozí variantou modelu:



Obr. 45: Faktor 1, síla 10%, směr 315°

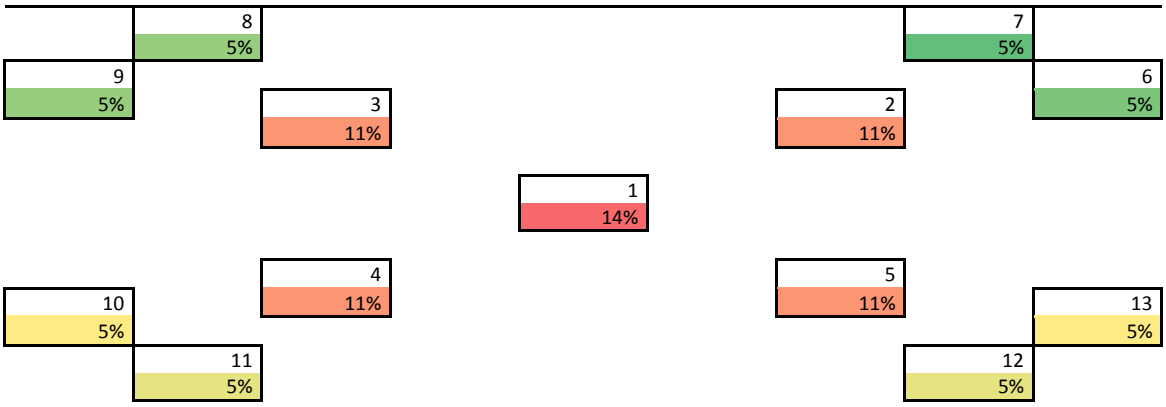
Posun zjevně funguje zamýšleným směrem, ovšem míra změny pravděpodobností v jednotlivých stavech je v tomto případě příliš silná. Se sílou změny 10% nelze v žádném případě očekávat tak dramatické změny.

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:

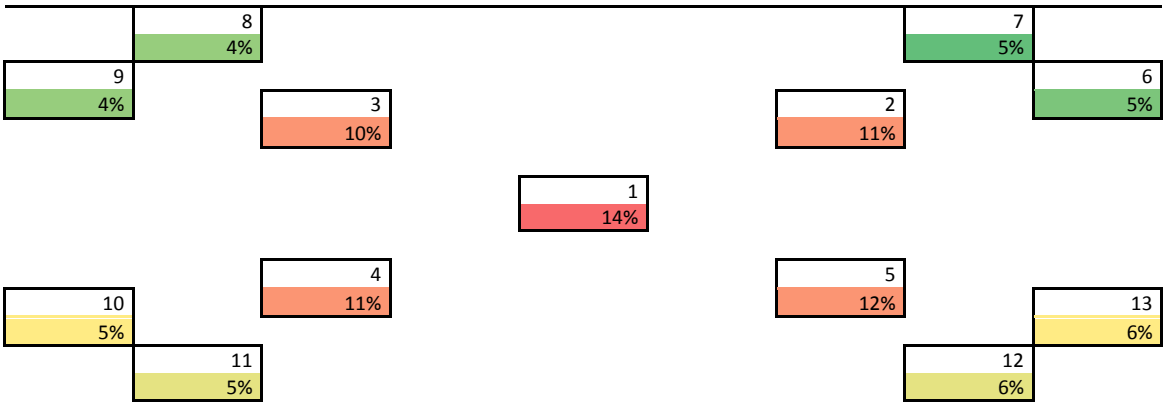
$$k_{i,j} = s^{\frac{m_{i,j} * s}{100}}, \tag{41}$$

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 <0;1>.

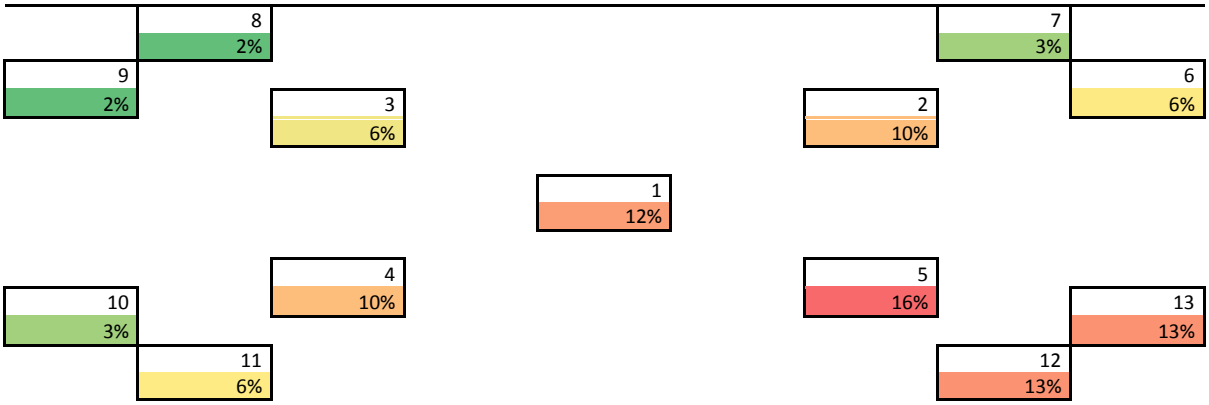
Výsledkem výše uvedeného postupu je asymetrie našeho modelu projektu ve směru působení a dle síly působení, což si můžeme demonstrovat v rámci výše uvažovaného směru působení sílami 5%, 15% a 30%:



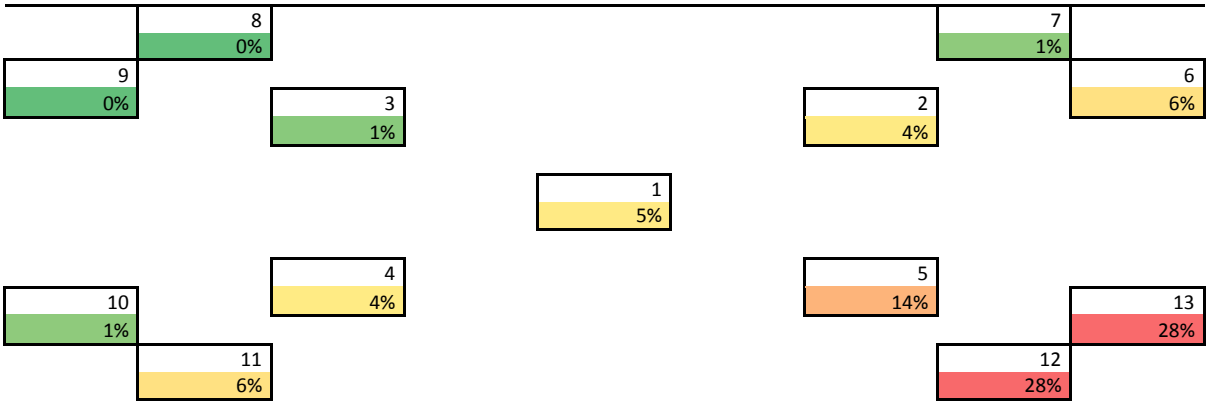
Obr. 46: Faktor 1, výchozí stav (nepůsobíme), síla 0%



Obr. 47: Faktor 1, působíme silou 5% ve směru 315°



Obr. 48: Faktor 1, působíme silou 15% ve směru 315°

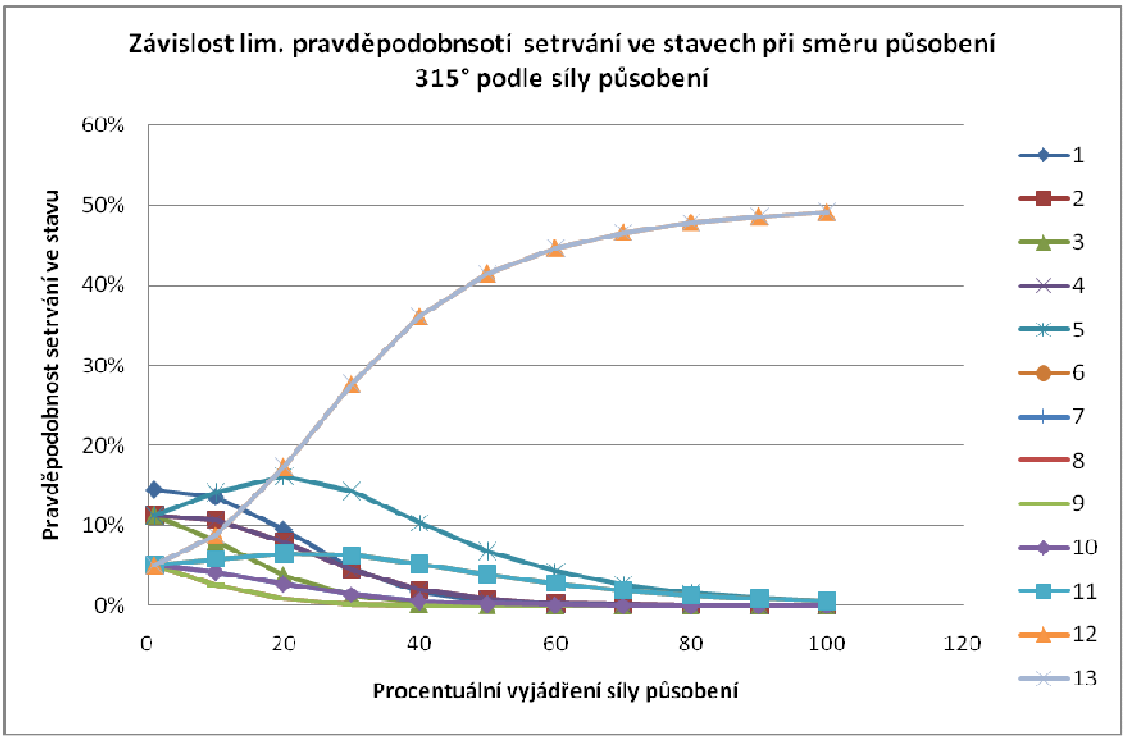


Obr. 49: Faktor 1, působíme silou 30% ve směru 315°

Trajektorie je zřetelná a dopovídající realitě, míra změny je již nyní odpovídající, byť by samozřejmě bylo možné i dále zkoumat a upravovat tento výpočet a naladit tak model na nějakou konkrétní situaci. Pro naše potřeby však daný vztah postačí.

Vidíme postupný, zesilující posun zvoleným směrem 315°.

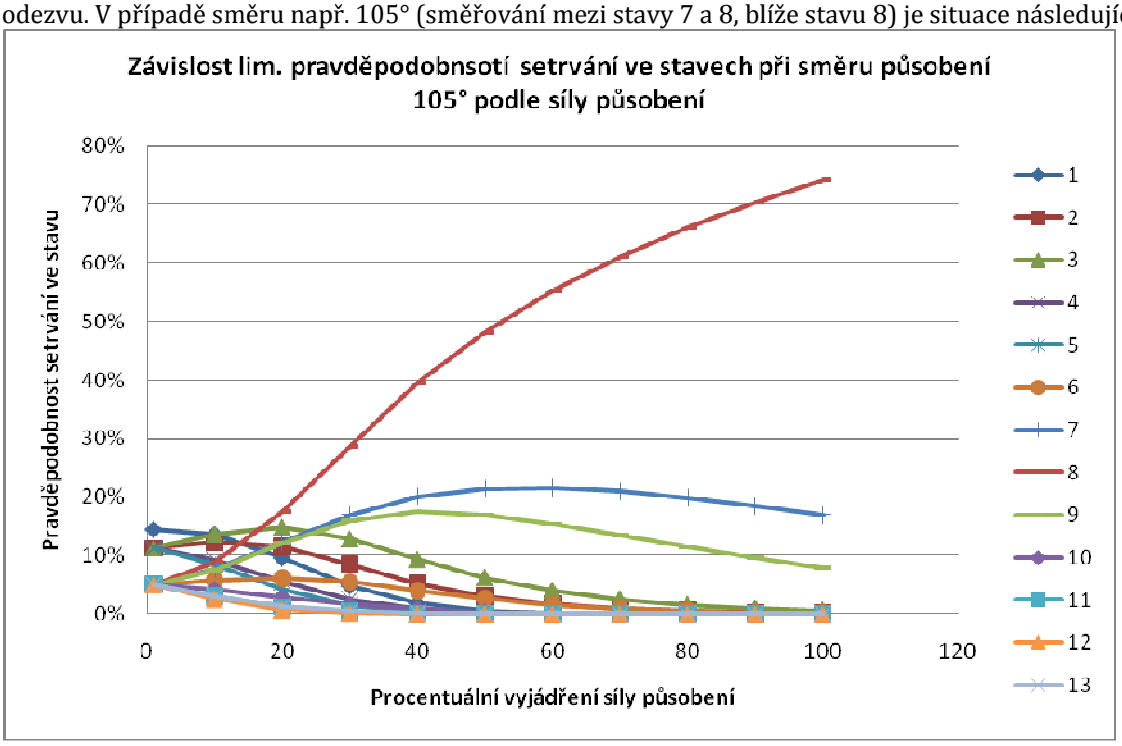
Závislost na síle můžeme vyjádřit i za pomoci grafu limitních pravděpodobností setrvání projektu v jednotlivých stavech podle procentuálního vyjádření síly našeho působení (což bude obecně platit pro všechny směry působení).



Obr. 50: Graf závislosti limitních pravděpodobností 1

V grafu vidíme poměrně rychlý nárůst směřování projektu shodně do stavů 12 a 13 (zcela stejný tvar průběhu), které jsou rovnoměrně okolo směru působení (směr je přesně mezi nimi), v určité části grafu roste i pravděpodobnost setrvání ve stavu 5, což je zcela v pořádku, protože leží příslušným směrem.

Nelineární průběh je také v pořádku, protože s rostoucí velikostí zásahu nelze očekávat zcela lineární odezvu. V případě směru např. 105° (směřování mezi stavy 7 a 8, blíže stavu 8) je situace následující:



Obr. 51: Graf závislosti limitních pravděpodobností 2

I zde je vývoj obdobný a zcela v pořádku s interpretací. Stav 8 rychle nabývá na pravděpodobnosti, nějakou dobu je sice s odstupem, ale přeci jen následován stavy 7 a 9, které míří podobným směrem.

5.4.4 Zobecnění a výchozí teze použití

Až dosud jsme se pro odvození potřebných vztahů pro zjednodušení pohybovali pouze v kvadrantech II a IV, protože jsme zde nalezli nejobecnější závislost indexu CPI a SPI. V praxi můžeme samozřejmě uvažovat i další možnosti.

Pokud nebude závislost mezi CPI a SPI zcela rovnoměrná, příslušná přímka, která bude definovat SPI pozitivní i negativní směr bude moci svírat s osou SPI úhel v cellém rozsahu od $\pi/2$ až do π a od $3\ \pi\ /2$ do $2\ \pi$. Například by mohlo jít o závislost, kdy se při změně SPI o 10% změní CPI pouze o 5% apod.

Další možností je uvažovat vliv požadavků na výstupy – což může v praxi nastat buďto prostřednictvím požadavků na změnu (což je zcela běžné) nebo může jít o reakci na negativní trend vývoje projektu a snahu jej korigovat snížením požadavků (viz možná opatření uvedená dříve).

Konkrténě je možno uvést takový případ, kdy místo 100 kusů nějakého zařízení k přemístění z místa A na místo B snížíme požadovaný počet na 80 kusů – čímž snižujeme čas i náklady (zdroje) k provedení – takovéto opatření by se nasměrovalo do I. kvadranu, respektive směr takového opatření by se pohyboval v intervalu 0 až $\pi/2$.

Naopak navýšení požadavků na počet zařízení k přepravě nebo zjištění, že přeprava je náročnější, než se zpočátku zdálo, nás bude posouvat směrem v intervalu od π až do $3\pi/2$.

Případně může jít i o různé kombinace výše uvedeného, což bude vždy záviset na konkrétní situaci.

Projektový tým se pravděpodobně bude snažit nalézt takové opatření, které projekt nasměruje z vychýleného stavu směrem ke stavu 1. Jakým způsobem to provede, bude záležet na konkrétní situaci – zřejmě však bude použit některý z dříve uvedených typů opatření.

Úspěšnost aplikace takového opatření bude dále ovlivňovat kontext projektu, který nám určí výchozí model k použití a dále síla námi aplikovaného opatření.

Způsob použití pak bude vyhledávání vhodného postupu, respektive maximalizace pravděpodobnosti přechodu do stavu 1 (nebo jiného námi požadovaného stavu). Vhodný postup bude takový, který bude působit proti směru zjištěné, nechtěné odchylky.

Směr tedy budeme vyhledávat a volit vhodným typem opatření, který půjde ze situace a daných možností dobře odvodit. Další otázkou pro management pak bude potřebná síla zásahu. Směr je jasný, ale jakou sílu zvolit, aby bylo opatření dostatečně silné a zároveň nebylo silné příliš?

Logickým se zdá být výpočet pravděpodobností setrvání v jednotlivých stavech pro různé síly a zvolit si určitou míru, kdy je opatření dostatečně silné – například tehdy, kdy je limitní pravděpodobnost setrvání ve stavech, které jsou v našem stavovém prostoru ve směru působení síly, dvojnásobná oproti ostatním nebo rovna určitému procentu.

Například na výše uvedeném grafu (Obr. 50) by se mohlo jednat o hodnotu okolo 30% velikosti zásahu.

To opět poměrně přesně odpovídá realitě – pouze výraznější navýšení rozpočtu nebo změna časového plánu projektu může přinést rozumný efekt. Drobné změny zřejmě nepřinesou nějaký znatelný efekt.

5.4.5 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:

$$k_{i,j} = s^{\frac{m_{i,j} * s}{100} * v}, \tag{42}$$

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 <0;1> 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. Připomeňme si rozložení našich stavů v našem stavovém prostoru (Obr. 52).

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 dělící 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:

$$v = \frac{1}{d_v * x} \text{; po dosazení } 1 = \frac{1}{0{,}15 * x}, \tag{43}$$

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

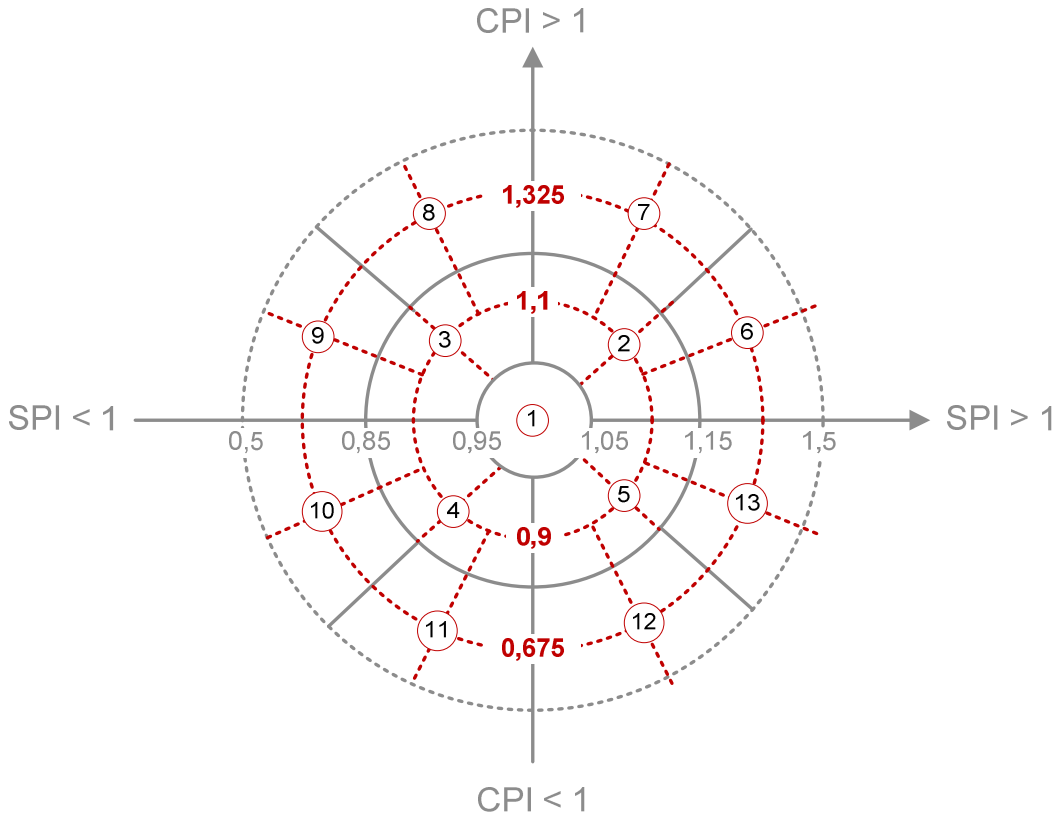
Výsledný vztah pak bude ve tvaru:

$$v = \frac{0{,}15}{d_v}, \tag{44}$$

kde v je faktor vzdálenosti, d_v je aktuální vzdálenost stavu od stavu 1.

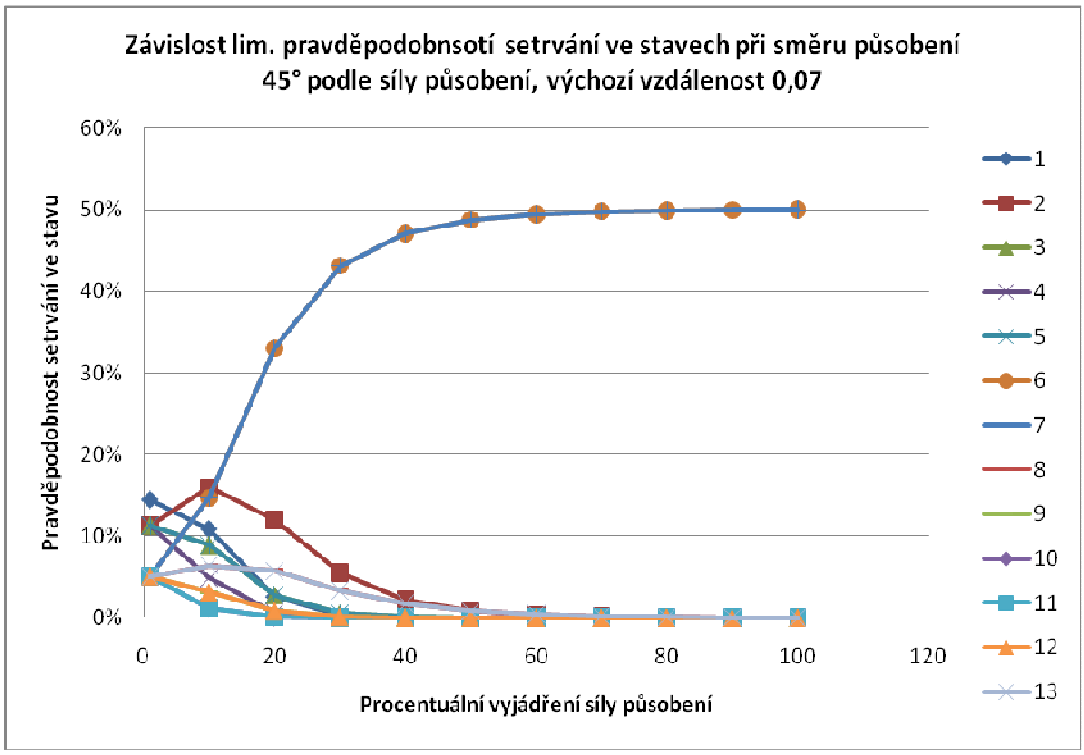
Takto odvozený vztah je zcela obecným, jako dělící hodnotu pak můžeme zvolit v podstatě jakoukoliv hodnotu a i výchozí stav nemusíme nutně vázat na námi definované stavy, ale na skutečnou velikost odchylky od středu našeho prostoru v bodu [1;1].

Pokud tedy bude v našem případě odchylka menší než 0,15, bude faktor vzdálenosti větší než 1 a analogicky naopak.

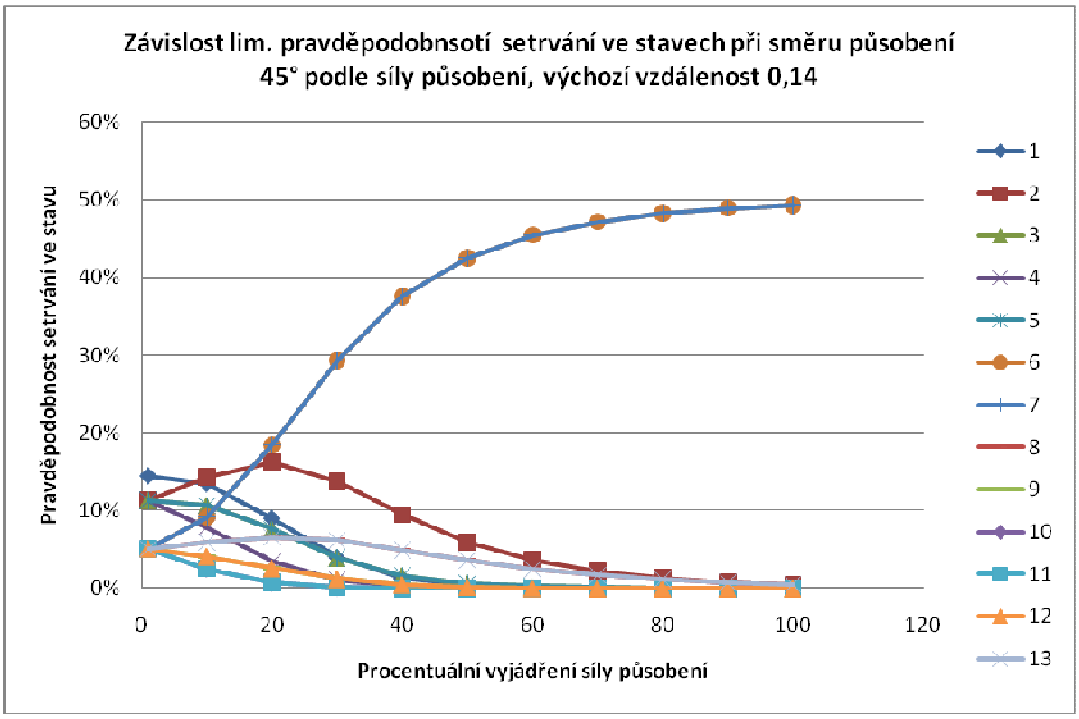


Obr. 52: Rozložení možných stavů projektu ve stavovém prostoru

Ukažme si to na případě, kdy by odchylka byla např. směrem stavu 4 (takže projekt bude mít problémy s penězi i časem), působit tedy budeme směrem 45° - směrem ke stavu 2. Velikost odchylky by mohla být např. 0,07 a pak např. 0,14, abychom demonstrovali obecnost.



Obr. 53: Limitní pravděpod. podle síly a směru působení pro odchylku 0,07



Obr. 54: Limitní pravděpod. podle síly a směru působení pro odchylku 0,14

Porovnáním obou grafů zjistíme, že zatímco v prvním případě je dle dříve definovaných kritérií potřeba vynaložit zhruba 20% sílu, v druhém případě je potřeba pro dosažení stejného výsledku vynaložit sílu přibližně 35%.

Výpočet tedy probíhá dle požadavků. Jako u všech předchozích odvození je zřejmé, že pro zcela konkrétní použití by bylo potřeba výpočet odladit na statistických datech konkrtění organizace a konkrétních projektů, nicméně obecně se dá výše uvedený výpočet bez problémů použít a z odvození je zřejmý i případný způsob úprav.

5.4.6 Úprava pro praktické použití

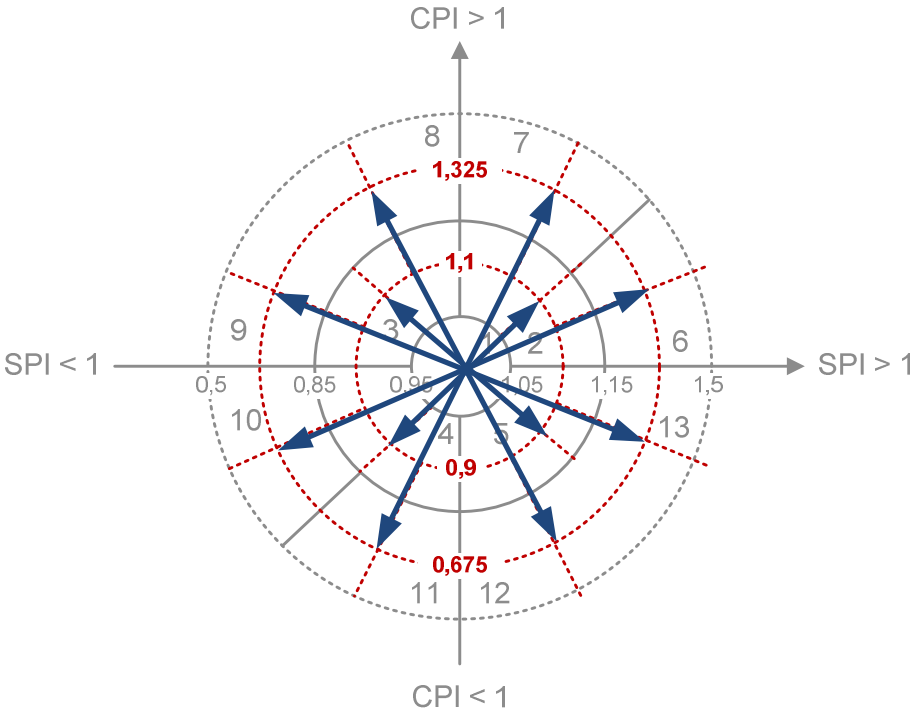
Výše uvedené zahrnování dílčích vlivů jednotlivě velmi dobře odpovídá reálné interpretaci. Pro reálné použití je však ještě potřeba provést několik operací.

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 vyplává z výše uvedených grafů, při působení směrem 45°, při výchozím bodu někde okolo stavu 4, leží přímo ve směru působení stav 1, 2, a následně i rovnoměrně rozloženě stavy 6 a 7 – čemuž odpovídá i průběh grafů.

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 opět 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, viz Obr. 55:



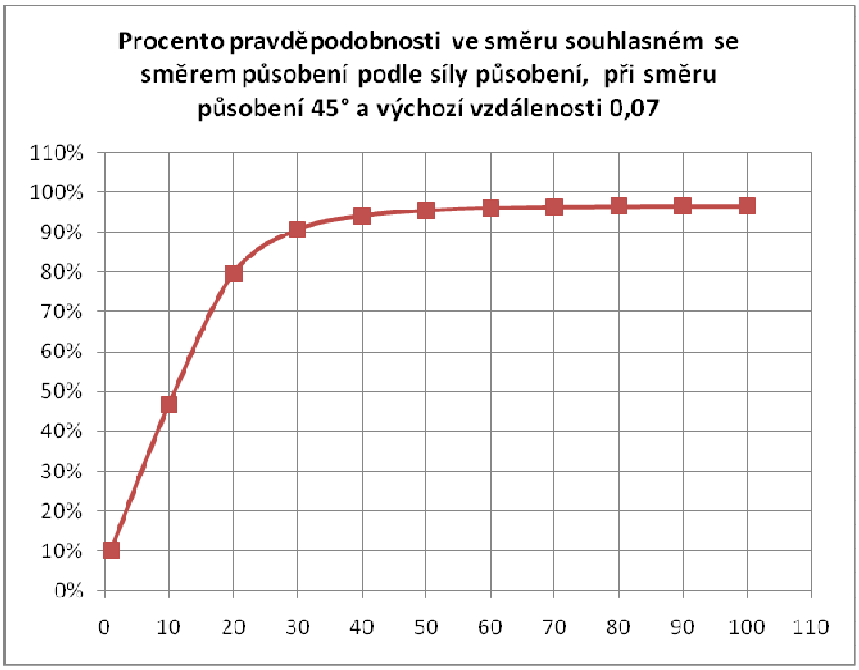
Obr. 55: Směry k jednotlivým stavům

Tab. 19: Jednotlivé úhly jsou pro jednotlivé stavy

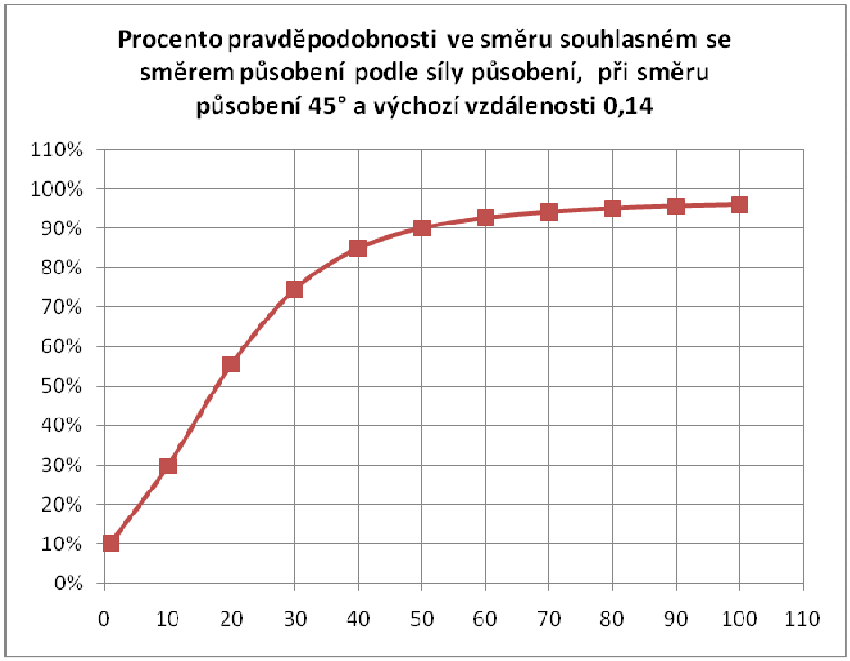
stav	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
úhel	0	45	135	225	315	30	60	120	150	210	240	300	330

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.

Poté již jen zbývá uvedené vynést do grafu, např. opět pro již použitá nastavení:



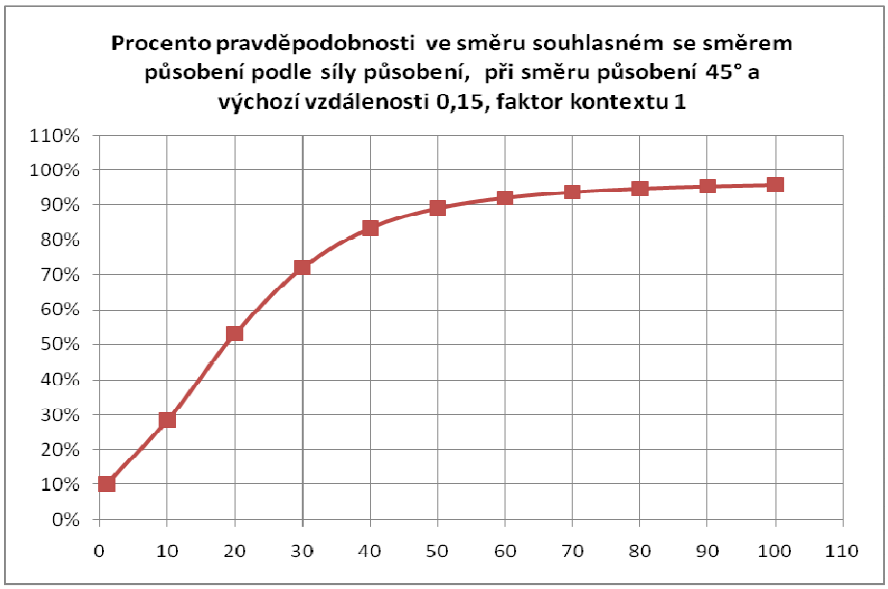
Obr. 56: Procento pravděpodobnosti pro výchozí odchylku 0,07



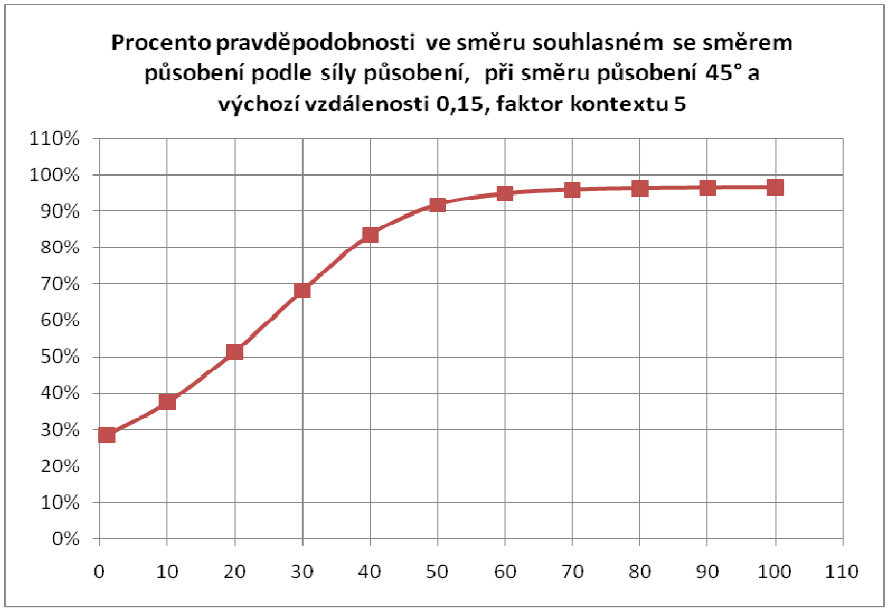
Obr. 57: Procento pravděpodobnosti pro výchozí odchylku 0,14

Pokud naše zadání mírně upravíme na vyhledávání takové síly opatření, kdy je ve stavech, které leží ve směru souhlasným s naším působením 50% pravděpodobnosti setrvání, dostáváme v prvním případě (výchozí vzdálenost 0,07) potřebu opatření o síle zhruba 11%, ve druhém případě (výchozí vzdálenost 0,14) pak potřebu síly opatření zhruba 19%, tedy téměř dvojnásobek.
Podle konkrétních podmínek by bylo v praxi potřeba najít optimální hodnotu, která se bude vyhledávat (v některých případech by mohlo stačit třeba i 30%, jindy bude potřeba 75% - viz dále v rámci experimentu). Stejně tak vliv vzdálenosti by možná bylo potřeba posílit nebo naopak oslabit. Jako demonstrace principu je však výše uvedený postup plně dostačující.

Při výchozích pokusech bylo zjištěno, že původně poměrně silný vliv faktoru kontextu se po přidání dalších vlivů již příliš neprojevuje. Porovnejme například naše působení ve směru 45°, s výchozí vzdáleností 0,15 (aby byl vliv vzdálenosti neutrální) a faktory kontextu 1 a 5:



Obr. 58: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu 1



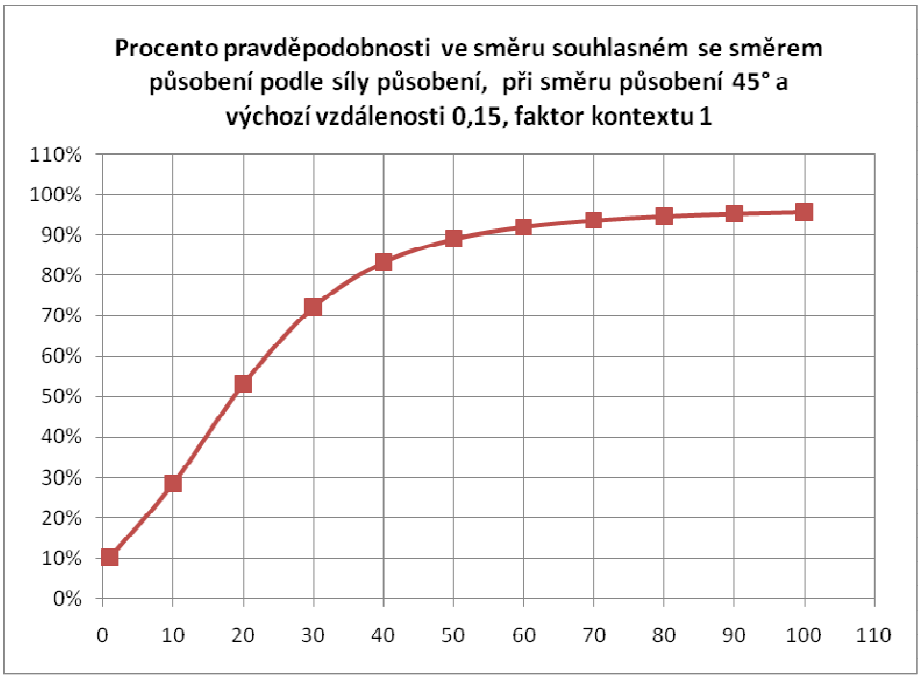
Obr. 59: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu 5

Je zřejmé, že průběhy jsou až příliš podobné, především v oblasti okolo 50%, která nás aktuálně zajímá nejvíce (odchylka na počátku je způsobena jiným výchozím modelem pro různé faktory).

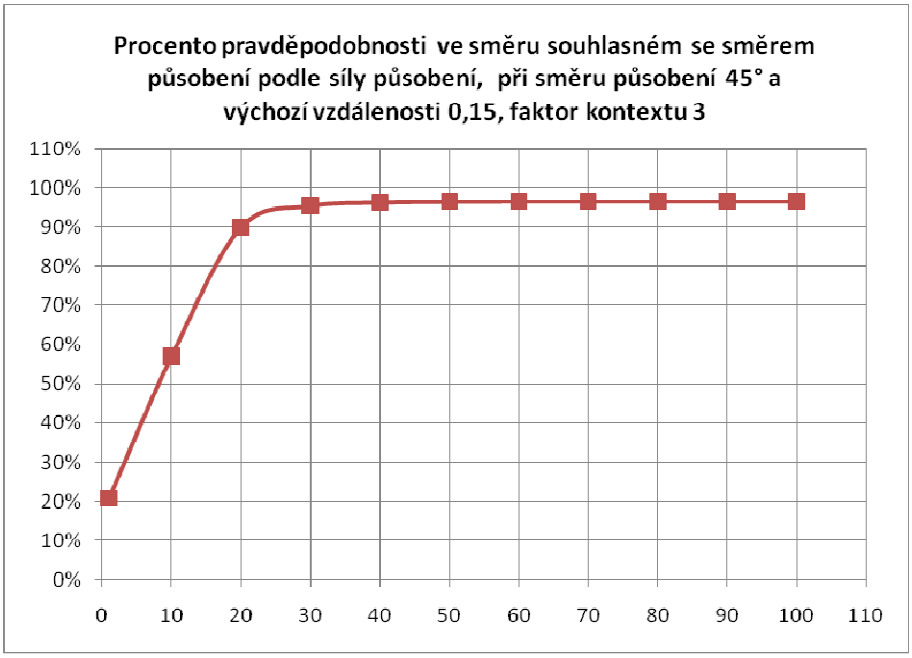
Vliv faktoru kontextu je potřeba adekvátně navýšit, na základě předchozích zkušeností již osvědčeným způsobem – přidáním faktoru kontextu do vzorce pro koeficient kombinovaných vlivů $k_{i,j}$, způsobem:

$$k_{i,j} = s^{\frac{m_{i,j} * s}{100} * v * C}, \tag{45}$$

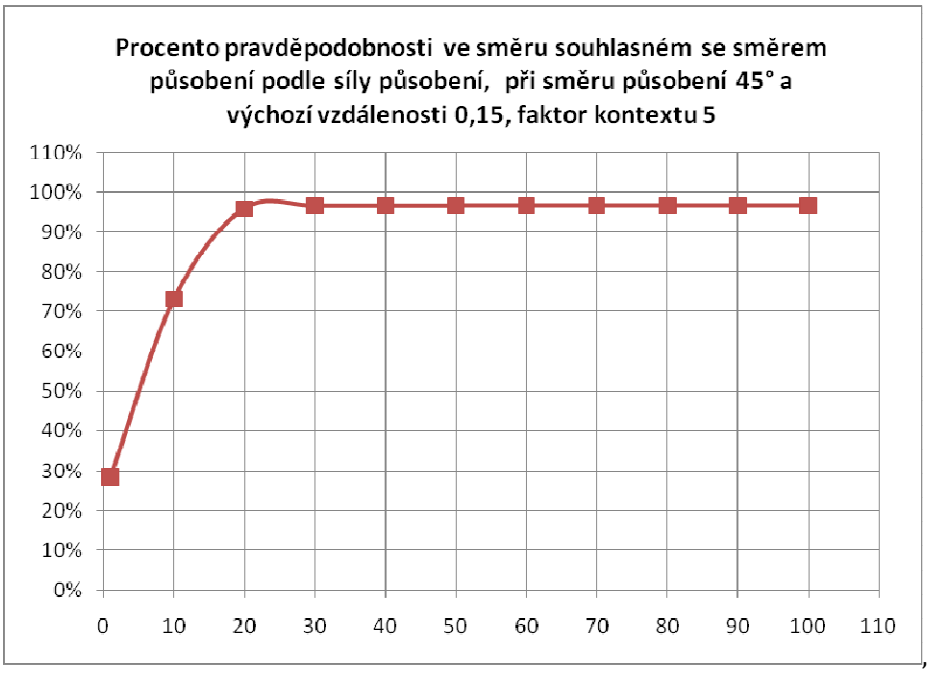
kde $k_{i,j}$ je koeficient síly našeho působení na projekt, s je procentuální vyjádření velikosti našeho působení ve vztahu k rozpočtu nebo časovému harmonogramu, $m_{i,j}$ je míra vlivu podle směru ovlivnění jednotlivých přechodů, v je faktor výchozího stavu a C je faktor kontextu. Situace se nám změní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



Obr. 60: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu 1



Obr. 61: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu 3

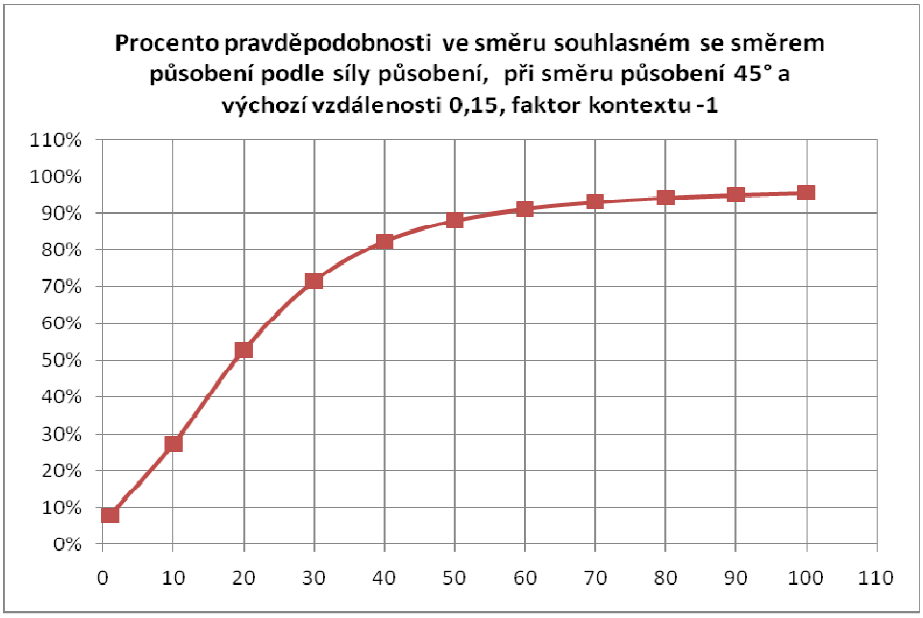


Obr. 62: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu 5

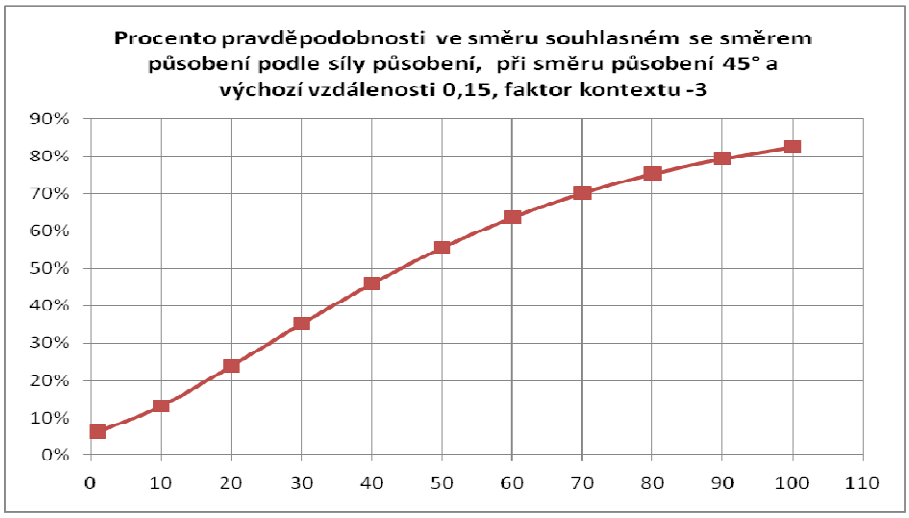
Nyní jsou již změny dostatečně výrazné. V případě záporných koeficientů jednoduše použijeme místo násobení dělení:

$$k_{i,j} = s^{\frac{m_{i,j} * s}{100} * \frac{v}{C}}, \tag{46}$$

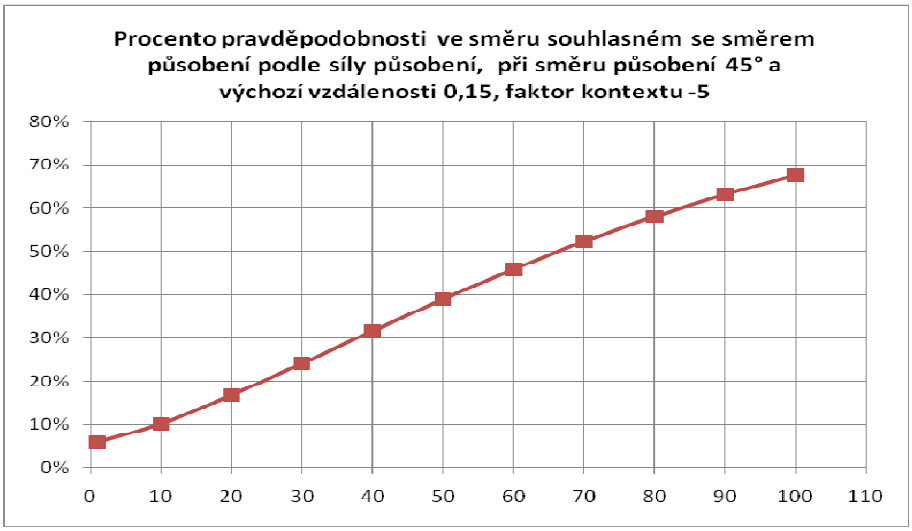
kde $k_{i,j}$ je koeficient síly našeho působení na projekt, s je procentuální vyjádření velikosti našeho působení ve vztahu k rozpočtu nebo časovému harmonogramu, $m_{i,j}$ je míra vlivu podle směru ovlivnění jednotlivých přechodů, v je faktor výchozího stavu a C je faktor kontextu. Situace se nám změní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



Obr. 63: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu -1



Obr. 64: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu -3



Obr. 65: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu -5

Pohledem do grafů zjistíme, že nyní je již vše v naprostém pořádku. Tím tedy 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.

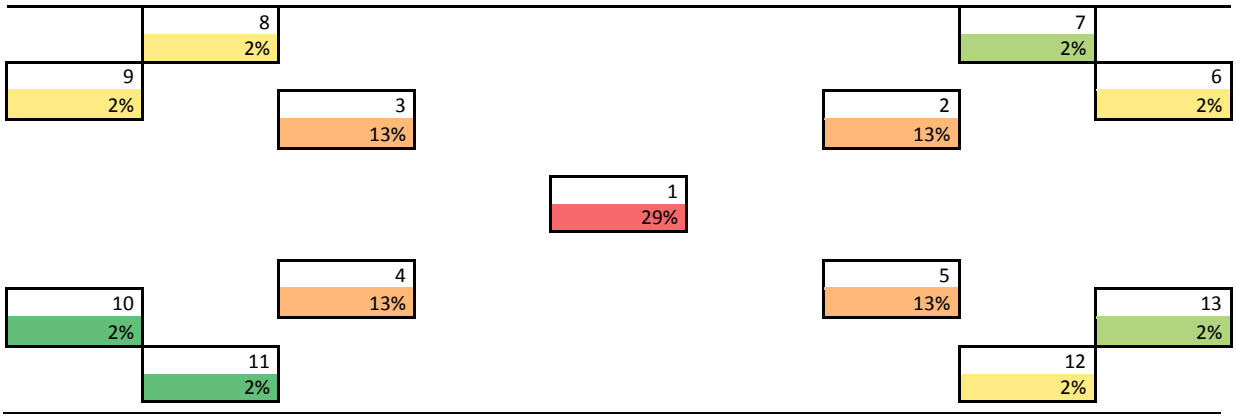
Teoretická část práce je tímto završena, byly splněny vytyčené cíle.

6 OVĚŘENÍ NÁVRHU EXPERIMENTEM

V této kapitole demonstruji použití navržené metody. Pro experiment jsem zvolil případovou studii projektu instalace a náběhu plně automatizované linky v nově budovaném výrobním podniku. Linky jsou dvě, ve dvou budovách, a přestože jsou identické, každou buduje jiná firma, protože z důvodů krátkého termínu, je potřeba realizovat výstavbu obou linek současně, na což neměla kapacitu ani jedna z obou firem.

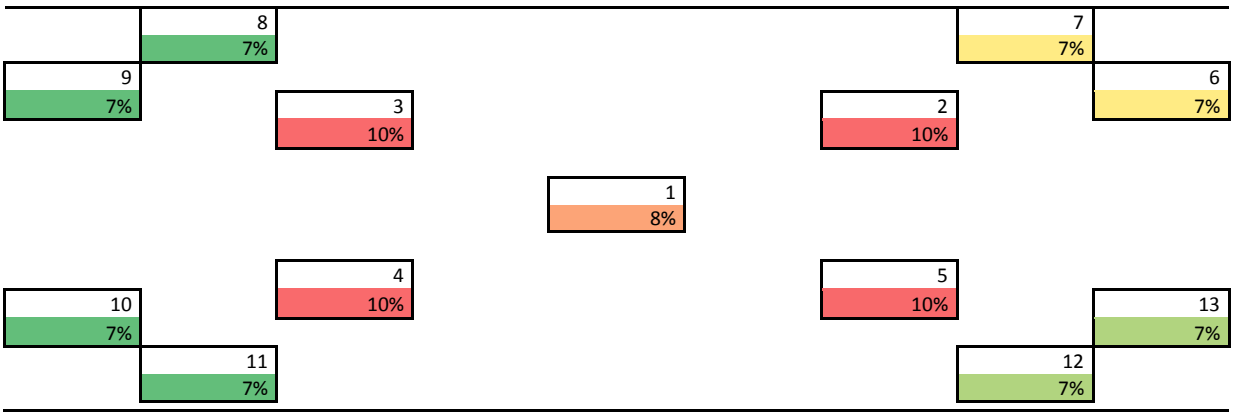
Příklad vychází z reálného projektu, jehož údaje jsou záměrně anonymizovány. Ve skutečnosti se jednalo o jednu linku a jednu společnost, ovšem události naznačené níže vychází z reality. Rozdvojení a zjednodušení bylo zvoleno z důvodu možnosti ověření správného nastavení modelu.

Firma Alfa je zavedeným velkým podnikem, který má dobře implementováno projektové řízení a vhodně alokované kapacity. Přesto jde pro daný podnik o novinku, takže výsledný faktor kontextu projektu je 3.



Obr. 66: Výchozí model projektu firmy Alpha

Naproti tomu firma Omega je začínající firmou, pro kterou se jedná o nadlimitní zakázku, má málo lidí, hodně práce a je řízena spíše chaoticky. Faktor kontextu projektu je v tomto případě -5.



Obr. 67: Výchozí model projektu firmy Omega

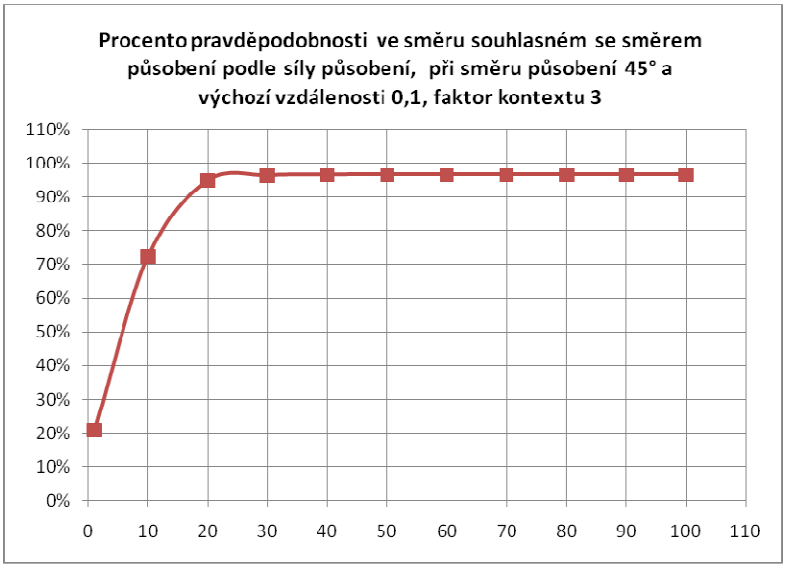
Oba projekty začínají ve stejnou dobu a v tom okamžiku jsou ve stavu 1 – vše jde podle plánu. Pracujme se scénářem, kdy po jednom měsíci přijde nepříjemný změnový požadavek, a dále bude docházet i k dalším komplikacím, jako je nepřízeň počasí v období 9. až 12. týden a porucha technologie v týdnu 16. Celkem je projekt plánován na 20 týdnů.

6.1 Týden 4

Vývoj projektu realizovaného firmou Alpha by mohl vypadat následovně:

V prvních týdnech projektu nedochází ke komplikacím a stav projektu se drží ve stavu 1. Ve čtvrtém týdnu přijde onen zmíněný změnový požadavek, který projekt skokem dostane do stavu 4 (CPI i SPI jsou menší než 1). Aktuální velikost výchozí odchylky je tedy přibližně 0,1.

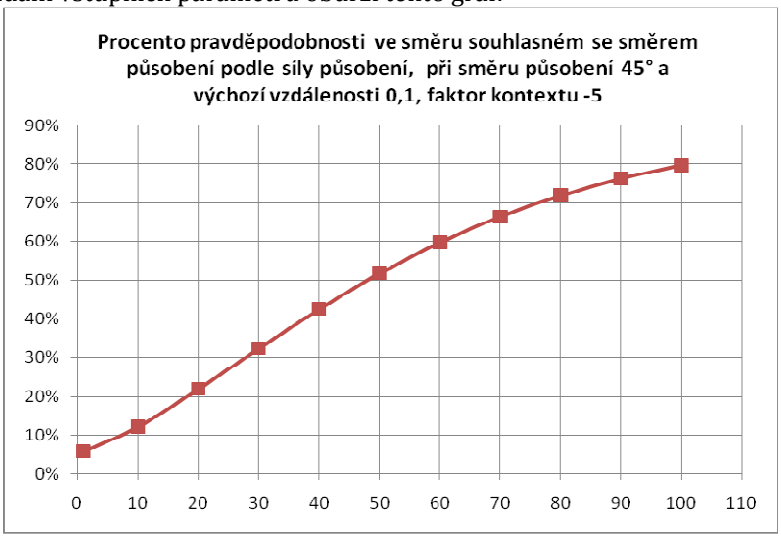
Zdá se, že projekt by se mohl celkem bez problému dostat zpět směrem ke stavu 1, nicméně tým nenechává nic náhodě a optimalizací plánu vytváří úsporu času i zdrojů. Bude tedy působit směrem v úhlu 45°. Otázkou je, jaké posílení je aktuálně potřeba. Po zadání údajů do SW aplikace byl vygenerován graf:



Obr. 68: Týden 4, firma Alpha

Je zřejmé, že firma Alpha je na tom dobře a k dosažení požadovaných 50% stačí vynaložit sílu zhruba 6%, což není problém a firma Alpha se rychle vrátí do stavu 1.

Firma Omega po zadání vstupních parametrů obdrží tento graf:



Obr. 69: Týden 4, firma Omega

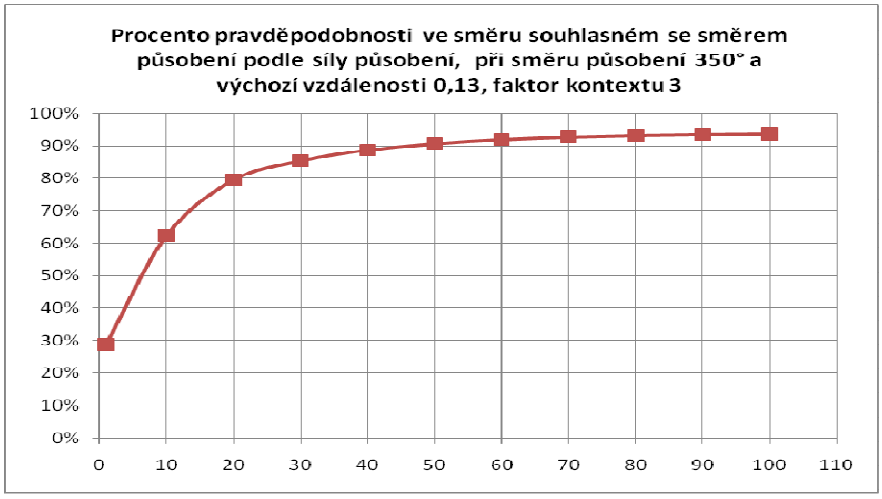
Firma Omega by musela zapůsobit silou téměř 50%, aby dosáhla stejného efektu jako firma Alpha! Toho zřejmě nebude schopna. Projekt tak u firmy Omega setrvá ve stavu 4. Projekt dále pokračuje.

6.2 Týden 12

Nepřízeň počasí v týdnech 9 až 12 znemožnila práci a projekt se na tři týdny zastavil, což znamená, že se dostal o zhruba 15% do časového skluzu. S čekáním byly navíc spojeny určité vícenáklady, takže u firmy Alpha se projekt dostal směrem ke stavu 10 do odchylky (vzdálenosti od středu stavového prostoru) 0,13.

Tým firmy Alpha si uvědomil potřebu dohnat časovou ztrátu a tak i přes zvýšené náklady nařídil přesčasovou práci. Působil tedy zhruba směrem 350°.

Po zadání údajů byl vygenerován tento graf:

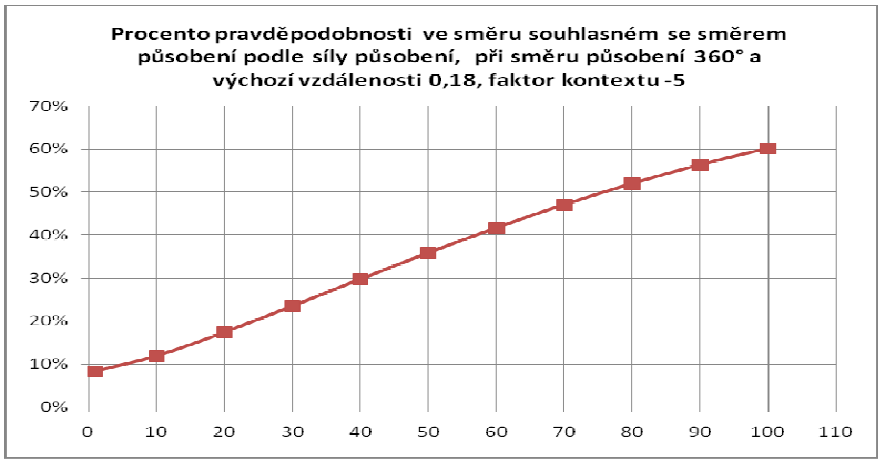


Obr. 70: Týden 12, firma Alpha

Tým Alpha se pohne dostatečně požadovaným směrem při vynaložení síly cca 7%, což by odpovídalo zvýšeným nákladům na přesčasy. Projekt se tak pohne zhruba směrem stavu 13, respektive se dostane zhruba do polohy mezi stavy 10 a 13, na osu CPI. Tým má dále v plánu operativně spořit a tím snižovat přečerpávání rozpočtu, což se mu celkem daří.

Firmě Omega však zpoždění tří týdnů způsobilo nemalé potíže. Už tak zpožděný a prodražený projekt (ve stavu 4) se rázem posouvá směrem mezi stavy 10 a 11, odchylka nabývá hrozivé hodnoty 0,18.

Tým firmy Omega nařizuje přesčasy, ovšem bez patřičných příplatků, na které nemá, což pracovníky projektu příliš nemotivuje. Směr posunu bude tedy přibližně ve směru 360°. Po zadání parametrů je vygenerován graf:



Obr. 71: Týden 12, firma Omega

Je zřejmé, že pro posun kýženým směrem je potřeba k normální pracovní době týmu Omega přidat zhruba 35% dalšího času navíc.

I když to vedení firmy Omega chce, vzhledem k neproplácení příplatků a demotivaci projektového týmu se to daří pouze částečně. Projekt s velkým úsilím zmenšuje svou odchylku času, finančně je na tom ale hůř a hůř a dostává se do oblasti stavu 11.

6.3 Týden 16

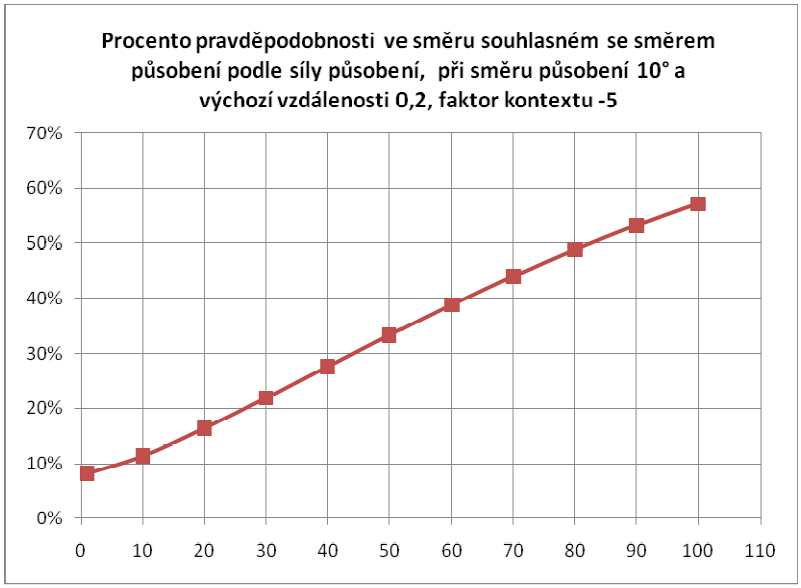
Při zabíhání linky dochází k problémům s technologií, která musí být opravena nebo vyměněna.

Tým firmy Alpha si avizovaným operativním šetřením vytvořil určitou rezervu. Nejvhodnějším řešením dané situace tedy bylo vyměnit kus za kus, kdy je finanční rezerva spotřebována a k časové prodlevě takřka nedojde. Projekt se ze stavu 2, kam se díky finanční rezervě za minulý měsíc dostal, vrací do stavu 1 a podle všeho bude dokončen v souladu s plánem.

U firmy Omega, která díky zpoždění začala technologii ve skutečnosti najíždět až v 18. týdnu (což před zákazníkem dovedně skryla) je porucha technologie fatální. Díky problémům s rozpočtem nezbývá, než technologii dva týdny opravovat. Projekt se tak dostává do stavu 10, velikost odchylky je již 0,2 a to přibližně v ose kvadrantu.

Nezbývá než vyjednat posunutí termínu, ušetřit již tým Omega nikde příliš mnoho nedokáže a pravděpodobně vše skončí sankcí za zpoždění. Působení tedy bude zhruba směrem 10°.

Po zadání do aplikace je vygenerován graf:



Obr. 72: Týden 16, firma Alpha

Aby se projekt posunul potřebným směrem, bylo by potřeba najít opatření o síle 80%, v tomto případě především času, což je vzhledem k harmonogramu nereálné. Respektive, daným opatřením je nakonec posunutí termínu z 20 týdnů na 35 týdnů a platba sankce za zpožděnou dodávku.

6.4 Vyhodnocení

Uvedený příklad velmi dobře demonstruje rozdíl mezi firmou, jejíž faktor kontextu je +3 (což je velmi dobrý stav, kdy je projektové řízení dobře implementováno, a firma dobře funguje), a mezi firmou, jejíž faktor kontextu je -5 (tedy naprosto katastrofální stav).

Jak bylo uvedeno, zmíněný příklad vychází z praktické zkušenosti a byl pouze mírně upraven – ve skutečnosti se jednalo o dva různé projekty, které si však byly věcně velmi podobné a hlavním rozdílem byla vyspělost dodavatelské firmy v projektovém řízení.

V případě reálné firmy Omega nakonec projekt trval 38 týdnů, intenzivním jednáním se podařilo vyhnout sankcím, i tak ale vícenáklady v podstatě eliminovaly předem kalkulovaný zisk. V případě reálné Alphy projekt trval 21 týdnů, kdy bylo zpoždění nabráno z celkem objektivních příčin a neznamenalo větší potíže.

Po porovnání s mnoha projekty v praxi, nejenom v uvedeném případě nelze než konstatovat, že model, byť nastaven spíše odhadem na základě zkušenosti velmi dobře odpovídá praxi.

Skutečně firma, jejíž vyspělost v projektovém řízení, zavedených procesech apod. není vysoká, což je doplněno nevalnou firemní kulturou a nízkou motivací jejích lidí bude mít zřejmě mnohem větší tendence k zpožďování a prodražování projektů, kdy eliminace těchto odchylek bude velmi obtížná až téměř nemožná (kromě konstatování nutnosti navýšení rozpočtu a prodloužení termínu).

Moje osmiletá praxe v oblasti projektového řízení to plně potvrzuje.

Pro zcela reálné použití v konkrétní organizaci by samozřejmě bylo potřeba všechny kroky nastavení modelu řádně přizpůsobit tak, aby model co nejlépe odpovídal skutečnosti, nejspíše na základě statistického vyhodnocení dříve realizovaných akcí. To je však již spíše námět na další fáze výzkumu a vývoje metody.

Domnívám se, že pro demonstraci možnosti použití Markovských řetězců pro predikci vývoje projektu a ověření podpory pro řízení projektu výše popsaný experiment prostřednictvím případové studie plně postačuje.

7 ZÁVĚR

V úvodní části je provedeno kritické zhodnocení současného stavu oblastí, kterých se disertační práce dotýká (kapitola 4).

V hlavní části práce (kapitola 5) 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 5.2 až 5.4). Pro podporu je vyvinuta SW aplikace v MS Excel pro realizaci potřebných výpočtů a simulaci projektu.

Práce s modelem je experimentálně ověřena případovou studií (kapitola 6).

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.

Jak bylo konstatováno v kapitole 1.2, 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. Metody, popsané ve 4. kapitole, 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 opatřen 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 doporučovaný 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 zkratek 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.

Budu se pokoušet získat dvě tři - firmy, aby podle takto vytvořené příručky metodu zavedly a provedly statistická šetření pro nastavení metody pro jejich konkrétní potřeby.
Poté v rámci odborných seminářů Společnosti pro projektové řízení bych zorganizoval workshop, zaměřený na používání této metody.

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 obtížení 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.: Existenčné riziká projektu a k nemu viazaných subjektov.
In: Sborník Tvorba softwaru 2002. VŠB Ostrava 2002, str. 109-116, ISBN 80-85988-74-7

4 Spodniaková-Pfefferová, M.: Využitie modelov a simulácií při výučba 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 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A VELIČIN

AC	Actual costs – skutečné náklady
B	Matice báze
b	Vektor pravých stran
b_0	Známé náklady v okamžiku t_1 (metoda KVM)
BAC	Budget at completion - rozpočet při dokončení
C	Faktor kontextu
CPI	Cost performance index - index výkonu podle nákladů
CV	Cost variance – odchylka nákladů
d	Vzdálenost mezi stavy
EV	Earned value – dosažená hodnota
EVM	Earned value management – řízení dosažené hodnoty (metoda)
F	Funkce určující výstupní znak konečného automatu
ICB	IPMA Competence Baseline
IPMA	International project management association
ISO	International standards organization
k	Tangenta úhlu svíraného přímkou s první souřadnicovou osou
$\kappa_1 \dots \kappa_\alpha$	Koncové stavy z množiny S
$k_{i,j}$	Koeficient síly působení na projekt
KVM	Kombinovaná víceúčelová metoda
$m_{i,j}$	Vliv směru
N	Počet sousedních stavů do kterých existuje přechod
P	Stochastická matice
p	Pravděpodobnost přechodu
$\mathbf{p}(0)$	Vektor pravděpodobnosti systému v počátečním okamžiku
PMBOK	Project management body of knowledge
PMI	Project management institute
PV	Planned value – plánovaná hodnota
q	Druhá souřadnice průsečíku přímky s osou y.
$r_{i,j}$	Kombinovaný vliv směru a síly působení
Σ	Konečná neprázdná množina stavů
S	Množina všech možných stavů
s	Procentuální vyjádření velikosti síly
SNO	Stav neplánované odchylky
SPI	Schedule performance index - index výkonu podle času
SPP	Stav podle plánu projektu
t	Čas
t_1	Časový okamžik, ve kterém dochází ke změně charakteru křivky (KVM)
v	Faktor výchozího stavu
α	Parametr logistické funkce (Hotellingova metoda)
β	Parametr logistické funkce (Hotellingova metoda)

δ	Parametr logistické funkce (Hotellingova metoda)
∂	Zobrazení z y X S do S
Ψ	Konečná množina vstupních znaků
μ	Pomocná proměnná určující znak před zpožďovačem konečného automatu
Φ	Funkce určující vnitřní stav konečného automatu
Ω	Abstraktní systém

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Graf EVM s ukazateli [Převzato z 20] 13
Obr. 2: Grafický záznam řešené činnosti 14
Obr. 3: Stavový graf CPI a SPI 15
Obr. 4: Schéma pojetí systému metodou Black box 15
Obr. 5: Nejobecnější schéma konečného automatu 16
Obr. 6: Jádro konečného automatu 17
Obr. 7: Mealyho stroj 17
Obr. 8: Moorův automat 18
Obr. 9: Orientovaný diagram přechodu stavů konečného automatu 19
Obr. 10: Grafické znázornění Markovského řetězce 21
Obr. 11: Vztahy mezi modelem a originálem 22
Obr. 12 Indexy a odchylky v histogramu vývoje nákladů metody EVM [1] 24
Obr. 13: Odhad parametrů logistické funkce Hotellingovou metodou 25
Obr. 14: Popis projektu – varianta 1 28
Obr. 15: Popis projektu – varianta 1 28
Obr. 16: Třístavový model projektu - PM3S 30
Obr. 17: Čtyřstavový model projektu – PM4S 30
Obr. 18: Osmistavový model projektu 31
Obr. 19: Pravděpodobnosti přechodu v osmistavovém modelu 32
Obr. 20: Grafická reprezentace výpočtu pro 87 kroků 34
Obr. 21: Podrobnější rozdělení stavového prostoru CPI - SPI 35
Obr. 22: Podrobnější rozdělení stavového prostoru CPI–SPI – středy stavových oblastí 37
Obr. 23: Souřadnice stavů ve stavovém prostoru 39
Obr. 24: Model přechodů mezi stavy projektu ve stavovém prostoru CPI - SPI 40
Obr. 25: Princip výpočtu vzdáleností mezi stavy ve stavovém prostoru 41
Obr. 26: Vzdálenosti mezi stavy ve stavovém prostoru 41
Obr. 27: Limitní pravděpodobnosti přechodu výchozího modelu 43
Obr. 28: Faktor 5 – násobení velikostí faktoru 46
Obr. 29: Faktor -5 – dělení velikostí faktoru 46
Obr. 30: Faktor 5 – jako exponent Eulerova čísla 47
Obr. 31: Faktor -5 – jako exponent Eulerova čísla 47
Obr. 32: Faktor 5 – jako exponent vzdálenosti 48
Obr. 33: Faktor -5 – jako záporný exponent vzdálenosti 48
Obr. 34: Faktor -5 jako odmocnění velikostí faktoru 49
Obr. 35: Faktor 1 49
Obr. 36: Faktor 3 50
Obr. 37: Faktor 5 50
Obr. 38: Faktor -1 50
Obr. 39: Faktor -3 51
Obr. 40: Faktor -5 51
Obr. 41: Regulační smyčka projektu 51
Obr. 42: Trojimperativ projektu 53
Obr. 43: Směry působení jdououcí osami kvadrantů II. a IV. 55
Obr. 44: Směry jednotlivých přechodů ve stavovém prostoru 56
Obr. 45: Faktor 1, síla 10%, směr 315° 59
Obr. 46: Faktor 1, výchozí stav (nepůsobíme), síla 0% 59
Obr. 47: Faktor 1, působíme silou 5% ve směru 315° 60
Obr. 48: Faktor 1, působíme silou 15% ve směru 315° 60
Obr. 49: Faktor 1, působíme silou 30% ve směru 315° 60
Obr. 50: Graf závislosti limitních pravděpodobností 1 61
Obr. 51: Graf závislosti limitních pravděpodobností 2 61
Obr. 52: Rozložení možných stavů projektu ve stavovém prostoru 64
Obr. 53: Limitní pravděpod. podle síly a směru působení pro odchylku 0,07 64
Obr. 54: Limitní pravděpod. podle síly a směru působení pro odchylku 0,14 65
Obr. 55: Směry k jednotlivým stavům 66

Obr. 56: Procento pravděpodobnosti pro výchozí odchylku 0,07 66
Obr. 57: Procento pravděpodobnosti pro výchozí odchylku 0,14 67
Obr. 58: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu 1 67
Obr. 59: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu 5 68
Obr. 60: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu 1 68
Obr. 61: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu 3 69
Obr. 62: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu 5 69
Obr. 63: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu -1 70
Obr. 64: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu -3 70
Obr. 65: Procento pravděpod. pro výchozí odchylku 0,15 a faktor kontextu -5 70
Obr. 66: Výchozí model projektu firmy Alpha 72
Obr. 67: Výchozí model projektu firmy Omega 72
Obr. 68: Týden 4, firma Alpha 73
Obr. 69: Týden 4, firma Omega 73
Obr. 70: Týden 12, firma Alpha 74
Obr. 71: Týden 12, firma Omega 74
Obr. 72: Týden 16, firma Alpha 75

11 SEZNAM PŘÍLOH

1) Aplikace v MS Excel k provádění výpočtů obsažených v této práci (přiložena na CD)

12 VLASTNÍ PUBLIKAČNÍ ČINNOST

Příspěvky ve sbornících, knihách a časopisech (krátké práce) se vztahem k tématu této práce:

1) Doležal, J.: Predikce vývoje plnění projektu, PRONT 2004, Praha. CZ, EVIDA 2004

2) Doležal, J.: The need of system approach in the present society, almanach Kybernetika a společnost na prahu XXI. Století, VUT v Brně 2005, str. 13 – 16, ISBN 80-214-3058-3

3) Doležal, J.: Predikce v projektech návrhu automatizace výrobních strojů, AVS/PMA 2007", ČVUT Praha 2007, str. 33 – 37, ISBN 978-80-01-03660-0

4) Doležal, J.: Predikce v projektech návrhu software, Tvorba softwaru 2007, VŠB-TU Ostrava 2007, str. 24 – 31, ISBN 978-80-248-1427-8

5) Doležal, J.: Predikce a rozhodování v IT projektech, mezinárodní konference Informační technologie pro praxi 2008, VŠB-TU Ostrava 2008, str. 29 – 37, ISBN 978-80-248-1841-2

6) Doležal, J. – Bartoška, J.: Model predikce pro rozhodování při řízení projektů. Automa, roč.16, 2010 (v tisku), autorský podíl 70%.

Příspěvky ve sbornících, knihách a časopisech (krátké práce) - ostatní:

1) Doležal. J.: Diplomové práce pro průmysl, mezinárodní konference Strojní inženýři pro XXI. Století, VUT v Brně 2003–Vydáno na CD jak příloha sborníku. ISBN 80–214–2272-6

2) Doležal. J.: Systémy APS na světovém trhu, mezinárodní konference SIS 2004, Zlín 2004, str. 197 - 201, ISBN 80-7318-166-5

3) Doležal. J.: Struktura předmětu CIM, mezinárodní konference EDU 2004, Brno 2004, str. 22 - 27, ISBN 80-214-2720-5

4) Doležal. J.: Absolvent jako hotový projektový manažer – výzva nebo fikce?, Nové přístupy v projektové výuce na vysokých školách 2005, Zlín 2005, str. 98 – 103, ISBN 80-7318-368-4

5) Doležal. J.: kapitola „12.3 Projektové řízení v rámci platformy ISO 9000:2000" v publikaci Fiala, A., Becková, M. – Management procesů, průvodce manažera kvality, 4. aktualizace, Verlag Dashöfer Praha 2007, ISSN 1802-1697

6) Doležal. J.: Řízení projektů, příspěvek v publikaci Základy efektivního řízení výzkumných aktivit - příručka pro praxi manažerů ve vědě, výzkumu a vývoji, Univerzita Pardubice 2007, str. 66 – 78

7) Doležal,J. - Lacko,B - Musilová,V. : Konference Projektový management 2009, IT Systems, roč.11, 2009, č. 6, str. 75, (ISSN 1802-002X) (podíl 75%)

Knihy a rozsáhlejší publikace:

1) Doležal, J., Pitaš, J.; Projektové řízení a tvorba projektů v Microsoft Project – skriptum, Univerzita obrany Brno 2007, ISBN 978-80-7231-216-0 (autorský podíl 50%)

2) Doležal, J. – Máchal, P. – Lacko, B. a kolektiv autorů: „Projektový management podle IPMA", GRADA Praha 2009, ISBN 978-80-247-2848-3 (Vedoucí autorského týmu osmi autorů, autorský podíl 30%)
Pozn.: Kniha byla oceněna cenou nakladatelství GRADA pro rok 2009 v oblasti Ekonomie.

3) Šviráková, E., Doležal, J.: Projektové řízení I. Skripta Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, UTB Zlín 2010 (Šviráková 70%, Doležal 30%). ISBN zatím nebylo přiděleno

Oponentury a posudky:

1) Lemeššanyi, P.: Návrh na zvýšenie kvality súčasného stavu praktickej výučby na FMK UTB, Bakalářská práce, UTB ve Zlíně, 2010

2) Martinů, J.: Analýza příprav a realizace výstavy „Pára v dopravě“ podle metodiky projekt managementu, Bakalářská práce, UTB ve Zlíně, 2010

Inženýrská díla:

1) Směrnice QMS číslo OSQ 1.5 a číslo OSQ 3.11 - Metodika projektového řízení ve firmě. Mikroelektronika Vysoké Mýto 2005 (autor revize v červnu 2006). Interní publikace firmy Mikroelektronika Vysoké Mýto.

2) Podkladový materiál pro eLearningový kurz v rámci projektu „ESF Opatření 3.3 s registračním číslem CZ.04.1.03/3.3.11.1./2641“, „Příprava lektorů, konzultantů a učitelů dalšího profesního vzdělávání v oboru digitálního designu“, Brno 2007

3) Metodika projektového řízení pro firmu Asekol s.r.o., 2008

4) Sestavení vzdělávacího programu A4P – Aplikace projektu, programu a portfolia do praxe, který byl v roce 2009 akreditován Společností pro projektové řízení pro přípravu k certifikaci podle IPMA na stupně D, C a B.

5) Analýza stavu projektového řízení v rámci předmětu Komunikační agentura na FMK UTB ve Zlíně, 2010

6) Metodika přípravy žádosti o dotaci a řízení projektu pro CPP VUT v Brně, 2010

Řešené projekty:

1) Projektová výuka v Pardubickém kraji, realizovaný s podporou z OPVK pod reg. číslem CZ.1.07/1.3.12/02.0021 – v realizaci

2) Inovace výuky marketingových komunikací, realizovaný partnersky s UTB ve Zlíně pod reg. číslem CZ.1.07/2.2.00/07.0043 – v realizaci

3) Tvorba kompetenčního profilu projektového manažera ve školství (subdodávka v rámci EU dotovaného projektu Národního institutu pro další vzdělávání Projektový manažer 250+), 2010

4) Inovace strategického plánu pro Město Jablonec nad Nisou a následná tvorba Integrovaného plánu rozvoje města (2008)

5) Dříve i mnoho dalších projektů v rámci předchozích zaměstnání, největším byla participace na programu zavedení systému bezkontaktních čipových karet do hromadné dopravy v Santiago de Chile (2005).