

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta podnikatelská

Doc. Ing. DrSc. Mirko Dohnal

**CENOVÉ INŽENÝRSTVÍ (COST ENGINEERING) JAKO
INTERFACE MEZI EKONOMIKOU A INŽENÝRSTVÍM**

**COST ENGINEERING AS AN INTERFACE BETWEEN
ECONOMICS AND ENGINEERING**

TEZE PŘEDNÁŠKY KE JMENOVÁNÍ PROFESOREM
V OBORU „ODVĚTVOVÁ EKONOMIKA A MANAGEMENT“



BRNO 2003

KLÍČOVÁ SLOVA

cenové inženýrství, investice, procesní inženýrství, vyhodnocení, fuzzy, komplexnost

KEY WORDS

Cost Engineering, Investment, Process Engineering, Evaluation, Fuzzy, Complexity

OBSAH

1 Úvod.....	5
2 Informace	6
2.1 Informace obecné poznámky	6
2.2 Informace cost engineering specifika.....	8
3 Vstupní informace pro cenové odhady	10
4 Vytváření cenových modelů	11
4.1 Složitostní faktor	12
4.2 Langův faktor.....	14
5 Závěry	17
Použitá literatura	18
Abstract	20

PŘEDSTAVENÍ AUTORA

Mirko Dohnal se narodil 11. 8. 1943 v Brně. Vystudoval strojní fakultu VUT v Brně v roce 1965. Po promoci pracoval jako pomocný projektant v Chemoprojektu Brno a potom jako analytik ve výpočetním středisku Chepos Brno.

Získal následující hodnosti

titul	rok	universita	obor
Ing.	1965	Vysoké učení technické	Výrobní zařízení
CSc	1969	VUT Brno	
Doc	1973	VUT Brno	Výrobní stroje
	jmenován 1980		
DrSc	1983	TH Merseburg, Německo	Systémové inženýrství,
Prof	1992	University of Natal,	Jihoafrická republika

Po nástupu na strojní fakultu VUT v Brně pracoval jako vědecký pracovník, odborný asistent a docent na katedře chemických strojů. Dostal stipendium na University of Cambridge, výpočetní středisko – chemické inženýrství kde v letech 1973 – 1975 působil jako Research Fellow. V letech 1981 – 1983 působil jako Visiting Professor, na TH Leuna-Merseburg, Německo.

V roce 1989 odešel do Velké Británie kde do roku 1992 působil jako Senior Research Fellow na ICRF, Londýn v rámci projektu Evropské Unie Esprit. V roce 1992 odešel jako profesor na University of Natal, Jižní Afrika. Z rodinných důvodů se v roce 1995 vrátil a nastoupil na Podnikatelské fakultě VUT v Brně, kde je zaměstnán dodnes.

Jeho oblasti vědecké práce je možné přibližně charakterizovat takto:

- Aplikace metod umělé inteligence ve investicích, financích, cenovém inženýrství a dalších oborech
- Investice v chemickém průmyslu a v těžebním průmyslu
- Modelování a rozhodování za masivní ignorance
- Integrace vágních kalkulů
- Odhady investičních nakladu pro petrochemický, potravinářský, a cementářský průmysl,
- Fuzzy řízení složitých systému
- Fuzzy operační výzkum, hlavně fuzzy optimalizace, formalizace rozhodovací činnosti z hlediska strategických investic
- Optimalizace za neurčitosti

Na tato a příbuzná témata napsal několik set publikací se spoluautory z Velké Británie, Kanady, Německa, USA, Finska a řady dalších zemí.

Dlouhodobě přednášel, jak na plný tak na částečný úvazek, ve Velké Británii, Finsku, Německu a Jihoafrické republice. Jednalo se hlavně o investice a na ně navazující témata a o problematiku umělé inteligence.

1 UVOD

Tak jako v řadě jiných případů došlo při překladu pojmu Cost Engineering do češtiny k nepřesnosti. Výsledek je ten, že se používá pojmu cenové inženýrství. Výstižnější by snad byl překlad nákladové inženýrství. Předmět studia cenového inženýrství je predikce nákladů na základně informací, které jsou k dispozici v různých fázích projektu. Cenové inženýrství jako disciplína existuje již několik desítek let. Představuje jeden z hraničních oborů mezi ekonomikou a inženýrskými disciplinami HERATH, 1999.

Jedná se již o poměrně dobře konstituovanou disciplínu. Existují počítačové programy, které je možné na komerční bázi získat a použít jako základ vývoje vlastních algoritmů v rámci příslušného podniku. Existují specialisované časopisy, které publikují články výhradně z oblasti cenového inženýrství. Řada mezinárodně uznávaných časopisů, které mají jako oblast zájmu definovanou problematiku jež překrývá oblast cenového inženýrství. Existuje řada specializovaných knih. Viz např. KHARBANDA, 1988.

Tento krátký popis nemůže do detailů charakterizovat studovanou problematiku. Pozornost je proto soustředěna na dva aspekty a to na:

- Informace a vhodné formální nástroje
- Vybrané metody

Vybrané metody popisují ty, které se dočkaly praktických aplikací a které prokázaly za posledních asi 20 let, že jsou již součástí cost engineering. Popis aplikací kvalitativního modelování je mnohem jednodušší než např. popis fuzzy modelů. Kvalitativní model je možno pochopit i na základě nepřesného slovního popisu. To není možné u fuzzy logiky, která vyžaduje určitou znalost odpovídajícího formálního aparátu. S ohledem na účel tohoto spisu došlo proto k určité nevyváženosti mezi úvodem a aplikacemi.

Další problém spočívá v tom, že nejsložitější cost engineering problémy se musí řešit při hi tech výrobcích. Tento problém je v předkládaném spise úplně ignorován, protože příslušené metody teprve vznikají.

Investice do takových oblastí průmyslu jako je např. petrochemie, farmacie, anorganická chemie jsou natolik významné, že představují pro investora často značné riziko DOHNAL 1997. Interface mezi procesním inženýrstvím a ekonomikou je mimořádně komplexní PARK,1995. Patrně nejvýznamnější sub problém z oblasti interface je odhad nákladů v předprojektční fázi. To je totiž velmi často období kdy se jedná o financování. Dostatečně přesný odhad nákladů je jeden z klíčových parametrů od kterého se odvíjí řada činností a to nejenom na straně investora, ale i v dalších podnicích jako je například projekční organizace BAASEL, 1990.

Základní problém pro odhady investičních nákladů velkých investičních celků představuje shromáždění a vyhodnocení informací. Lidský mozek má schopnost na základě nedostatečného množství informací, které jsou rozporuplné a navíc značně neurčité, udělat když ne optimální, tak obvykle ne úplně špatné rozhodnutí BHARATID, 1985, HERATH et al 1999. Tato skoro zázračná schopnost lidského mozku je potřeba ve všech oborech lidské činnosti. Špičkových expertů je však málo a je proto snaha formalizovat jejich zkušenosti NEMBARD,1998.

Realita je vždy neurčitá WEAWER 1991. Klasický postup jak popsat neurčitost je pravděpodobnost. Problém je však v tom, že jediná cesta jak kvantifikovat pravděpodobnost jevu

je opakování. Z hlediska odhadu např. ceny nového produktu, která přichází na trh, je jasné, že tento způsob stanovení pomocí pravděpodobnosti je absurdní, protože se jedná o unikátní jev. Konkrétní objekt je v konkrétních podmínkách nabízen jen jedenkrát GALLO, 1994. Není možno něco opakovat. V takových oborech jako jsou například finance, investice nelze experimentovat. Je možno jenom pasivně pozorovat realitu.

2 INFORMACE

Historie vývoje vědy jasně demonstruje, že přesnost modelů je přímo úměrná snadnosti s jakou je možné experimentovat v daném oboru. Možnost experimentovat je v řadě oborů minimální (např. makroekonomika). Tím jsou mimořádně omezeny seriózní aplikace tradičních statistických metod. Je např. zjevné, že není možné určit pravděpodobnost jevu tím, že bude opakován experiment.

Neodstranitelným problémem těch oborů kde se studují unikátní nebo téměř unikátní jevy je nedostatek informací. Je možné sice konstatovat, že znalosti ze všech těchto oborů jsou:

- nepřesné
- neúplné
- rozporuplné
- subjektivně zabarvené atd.

V řadě případů je však tento fakt neodstranitelný ani za cenu velkých nákladů na experimentování. To je důvod proč je možné, aby přední teoretici i praktici (ekonomové, politici) na danou problematiku měli diametrálně odlišné názory na tentýž problém.

Navíc v ekonomických vědách neexistují tzv. hluboké znalosti jako je třeba zákon zachování hmoty a energie. Např. ve financích není nic tak produktivního jako je právě. zákon zachování hmoty a energie, z kterého je možné odvodit řadu absolutně spolehlivě platných a tím nezpochybnitelných vztahů.

Na základě potřeb které se objevily v řadě disciplin (vojenské aplikace, regulace / diagnostika, sociologie atd.), se výzkum zaměřil na studium problémů souvisejících s algoritmy lidského způsobu řešení problémů. Objevila se např. tzv. naivní fyzika, která byla použita pro diagnostiku složitých technických systémů (např. jaderných ponorek). Jako vedlejší produkt se začaly objevovat první ekonomické naivní modely, které studovaly složité úlohy pouze na základě znalostí trendů.

Problém je v tom, že schopnosti podílet se na vývoji takovýchto metod předpokládá hluboké znalosti v takových teoretických disciplínách, které jsou nedostupné pro ty kteří získaly standardní ekonomické vzdělání. Prosadit do praxe tyto metody je obtížné, protože potencionální uživatelé musí prostě přijmout nové metody jako černé krabice.

2.1 Informace - obecné aspekty

Asi jediné objektivní kritérium, jak určit co je a co není hluboká znalost, je objektivní verifikace. Množinu znalostí o nějakém objektu je možno rozdělit do dvou skupin: ta první je objektivní verifikovatelná, tvoří jakési jádro. Na objektivní jádro navazují téměř objektivní znalosti, které

postupně přecházejí v téměř subjektivní odhady (např. získané pomocí analogie), viz např. KHARBANDA, et al 1988. Čím dále se vzdalujeme od objektivního jádra, tím více klesá věrohodnost informací, až se dostaneme do oblastí, o kterých nic neznáme.

Komplexní, vágní a rozsáhlé systémy jsou nevyhnutelně popsány vágně, protože jejich vztah k styčným systémům a vzájemné vztahy mezi jejich subsystemy nelze studovat za použití předem plánovaných experimentů KIM, 1997.

Selské uvažování je velmi účinný způsob analýzy takových systémů. Jasnou a jednoduchou metodologií formování tohoto druhu uvažování představují kvalitativní modely. Kvalitativní model staví pouze na třech hodnotách, a to kladné, nulové a záporné (rostoucí, konstantní, klesající) PARSONS, 1992. Jakoukoliv číselnou hodnotu lze snadno degradovat nahrazením kvantitativní hodnoty jejím kvalitativním ekvivalentem (viz např. LUNG, 1987).

V řadě disciplín, které se řadí do kategorie umělé inteligence neexistuje ustálená terminologie a to ani v případě anglického jazyka. O to méně lze očekávat, že česká terminologie bude detailně propracována. Z tohoto důvodu nejsou předem definovány všechny používané pojmy a jednotlivé veličiny jsou vysvětlovány na příslušném místě. Existuje pouze jedna výjimka, kterou je pojem „selská logika“. V angličtině se tento výraz překládá většinou jako „common sense“.

Modely téměř všech komplexních procesů jsou původem heterogenní a jsou založeny na různých znalostech. Tyto znalosti jsou identifikovány jako (SEBORG, et al. 1989, TURUNEN 1984a):

znalosti zaměřené na rovnice

- hluboké(deep)znalosti / přírodní zákony, atd.
 - kvantitativní rovnice (číselné hodnoty konstant jsou známé)
 - kvalitativní rovnice (číselné hodnoty konstant nejsou známé)
- povrchní znalosti (shallow) / žádná přímá vazba na přírodní zákony, obvykle výsledky povrchní statistické analýzy
- kvantitativní rovnice / přibližná hodnota

znalosti bez rovnic

- nečíselná heuristika
- kvalitativní interpretace měření
- zkušenosti
- cit pro odhad dalšího vývoje
 - podmíněné výrazy
 - kvalitativní heuristika

Znalosti bez rovnic jsou takové znalosti, jenž nelze vyjádřit rovnicemi z důvodu jejich vágnosti a/nebo komplexnosti.

V současnosti jsou techniky užívané při analýze komplexních, mnohorozměrných a vágních problémů analytické a/nebo statistické PARSONS, 1992. Avšak odborníci, hlavně na začátku výzkumu, nepoužívají matematické modely jako základní rámec pro jejich uvažování SMITH 97. Inženýři/vědci spoléhají výrazně na zdravý rozum.

Klasické nástroje byly vyvinuty během dlouhého období, byly důkladně otestovány a proto je jim přisuzována všeobecná spolehlivost. Jejich další vývoj však vyžaduje netradiční přístup, protože potenciál konvenčních metod byl již vyčerpán a pokud navíc bereme v úvahu současnou úroveň

našich schopností modelovat proces, existuje velice malá šance průlomů pokud jsou použity klasické metody identifikace.

Modely téměř všech procesů, které jsou sledovány v oblasti cost engineering jsou původem heterogenní PARK, 1987:

- Makroekonomie
- Mikroekonomie
- Systémy podpory rozhodování
- Expertní systémy / Neurální sítě, atd.

2.2 Informace cost engineering specifik

Algoritmy statistických analýz jsou tradičně některé z klíčových formálních nástrojů užívaných při hodnocení výkonů komplexních a/nebo vágních systémů. Jejich schopnosti však byly v mnoha případech využity v míře blízké jejím maximálním možnostem. Navíc rozsáhlé a unikátní systémy nelze testovat za použití standardní teorie experimentálního plánování. Jinak řečeno, analytik je vždy pasivní pozorovatel a ne aktivní organizátor DOHNAL, et al 1993. Nevyhnutelnými následky jsou nedostatek dat a naléhavá potřeba studovat takové informace, které jsou z dosahu klasického zpracování informací.

Typickým příkladem takových informací jsou vágně definované zkušenosti a rozumové uvažování (predikce v rámci cost engineering). V následující části je naznačeno, jak lze aplikovat kvalitativní modelování založené na těchto nových technikách na komplexní a/nebo vágní problémy [6].

Tradiční způsob řešení cost engineering problémů lze charakterizovat v následujících krocích:

- vytvoření konvenčního matematického modelu za použití dostupných teorií
- určení číselných hodnot všech konstant v modelu za použití pozorovacích dat nebo zkušeností
- výsledný matematický model je číselně vyřešen

Největší nevýhodou tohoto přístupu je to, že je časově náročný a drahý. Největší výhodou je to, že odpověď je číselně kvantifikována.

Relativní četnosti různých hodnot jakékoliv veličiny (např. náklady na lidskou práci, doba projekce, náklady na projekci) v minulosti jsou občas používány jako odhad pravděpodobnosti těchto výnosností v budoucnosti. Tento postup nepochybně spoléhá na předpoklady, které vyžadují subjektivní posouzení a mohou být za určitých okolností zcela nepřiměřené. Předpovědi založené na extrapolaci minulých souvislostí nejsou ani zcela objektivní, ani není důvod jim dávat přednost před předpověďmi získanými rafinovanějším způsobem.

Pravděpodobnostní předpovídání spočívá v přímé konfrontaci s neurčitostí, v uznání její existence a v pokusu měřit její rozsah. To staví analýzu do otevřené pozice a dovoluje jako odhadci, tak uživateli nebo uživatelům těchto odhadů posoudit rozumnost hodnot. Trvání na jediné hodnotě takového odhadu bez míry vyjadřující neurčitost by ukazovalo na naivitu nebo nejistotu na straně producenta nebo konzumenta takových odhadů. Je nutno si neustále uvědomovat, že se jedná hlavně o odhady nákladů. To znamená jedná se o kvantifikaci jednoho z nejdůležitějších parametrů téměř všech výrob.

Pokud jde o zpracování čísel, jsou moderní počítače nesmírně mocné nástroje. Jejich přínos k řešení komplexních problémů, které používá zdravého rozumu, je však velmi malý. Metodologie vágního modelování (tj. neurčitá, kvalitativní, polo-kvalitativní, rough) se postupně vytváří. Základní filozofii tohoto procesu lze shrnout do následující heuristiky:

Vágní znalosti je třeba modifikovat, aby zapadly do sítě dostupných kalkulů, ale kalkuly musí být tak pružné, aby mohly formalizovat a integrovat vágní a nekonsistentní znalosti a to tak, že dojde k minimální ztrátě znalostí.

Při použití kvalitativního modelování v rámci cost engineering se běžně postupuje takto:

- kvalitativní interpretace primárních dat
- integrace pozorovacích dat a všeobecné heuristiky
- konfrontace kvantitativních a kvalitativních znalostí
- integrace hlubokých (založených na rovnicích) a povrchních (chování nebo trend) znalostí.

V úvahu jsou brány:

- rozměrovost problémů
- konečný cíl (plánování pozorování, doporučení, atd.).

Spektrum problémů, které by mohly být vyřešeny teorií kvalitativní simulace, je poměrně široké a případové studie (viz např. Langův faktor prezentovaný v dalším textu) jsou jen poměrně zvláštní příklady. Hlavní výhoda kvalitativní analýzy spočívá v tom, že nevyžaduje žádné číselné hodnoty konstant a soustava řešení je prokazatelně kompletní. To znamená, že nemůže existovat žádné další kvalitativní chování, které by nebylo uvedeno v seznamu chování.

Časové záznamy, které jsou většinou používány v analýze časových řad, představují nejpřesnější moderní zdroj informací pokud jde o náklady (cost). Takové znalosti jsou typickým příkladem mělkých znalostí. Nevztahují se k žádnému druhu hlubokých znalostí, které jsou ve finanční analýze zastoupeny většinou soustavou algebraických/diferenciálních rovnic. Mělké znalosti jsou docela slabé a velmi specifické, ale lze je získat poměrně snadno.

Mělké cost znalosti jsou převedeny do orientovaného modelu polo-hlubokých znalostí identifikační procedurou. Tradiční způsoby identifikace lze charakterizovat následujícím způsobem:

- Konvenční matematický model využívající dostupné teorie je vyvinut, tj. hluboké polo-hluboké) znalostní položky
- Číselné hodnoty všech konstant modelu jsou určeny za použití dostupných soustav dat a/nebo zkušeností
- Výsledný matematický model je číselně vyřešen.

Největší nevýhodou tohoto přístupu je to, že je časově náročný a obvykle neprůhledný pro konečné uživatele, kteří se neúčastní celého identifikačního procesu a kteří nemají požadované teoretické znalosti. Největší výhodou tohoto modelu je to, že může vycházet z (polo-) hlubokých znalostí.

Jak již bylo konstatováno jsou tradiční metody predikce založeny na zákonu velkých čísel a proto vyžadují nerealisticky objemné kvanta dat. Toto je jeden z důvodů, proč je nutno hledat další

zdroje informací pro potřeby cost engineering. Logické je soustředit pozornost na takové druhy dodatečných informací, které nejsou reprezentovány jenom numerickými údaji. Pokud bychom se totiž omezili pouze na čísla, skončily bychom u stejného kvanta dat jaké předpokládají metody označované za klasické BHARATID, 1985.

Není třeba příliš složité analýzy, aby bylo zcela evidentní, že se jedná o taková data a znalosti, které není možné studovat klasickými statistickými metodami.

Myšlenka expertních systémů (ES) je lákavá a jednoduchá. Odborník nashromáždí během své mnoholeté činnosti ve své paměti značný počet poznatků. Všechny tyto poznatky a znalosti se však zpravidla uchovávají pouze v paměti odborníka a nedostanou se do knih. Učebnice příslušných oborů předkládají čtenářům popis základních poznatků a pravidel, neobsahují však výjimky anebo nesnáze praktického použití.

Účelem ES je zachytit tyto praktické, soukromé poznatky a znalosti do bází znalostí a programů, které se provozují na osobních anebo i střediskových počítačích. Výpočetní technika jako nositel těchto informací se volí proto, aby se systém mohl snadno aktualizovat, neboť se předpokládá, že v průběhu doby některé poznatky pozbývají významu a odborníci získávají nové, které je nutno zařadit DAVIS 1990. Doplněné systémy se snadno rozšiřují a kopírují, rychleji a levněji než tištěné informace. Výcvik odborníka trvá dlouho. Když se podaří z jeho znalostí sestavit ES, může tyto poznatky získat levně a bez námahy každý zájemce. Je sice pravda, že čím ví tento zájemce víc o problematice jak ES tak cost engineering tím více užitečných znalostí může načerpat ze znalostní báze.

V současnosti jsou techniky užívané při analýze komplexních, mnohorozměrných a vágních problémů analytické a/nebo statistické. Avšak odborníci, hlavně na začátku výzkumu, nepoužívají matematické modely jako základní rámec pro jejich uvažování. Inženýři/vědci spoléhají výrazně na zdravý rozum.

3 VSTUPNÍ INFORMACE PRO CENOVÉ ODHADY

Problém který bude studovat v této stati je predikce nákladů na velkou investiční akci v procesním průmyslu v předprojektční fázi TURUNEN, 1984. V literatuře se tento problém považuje za jeden z nejobtížnějších a je mu věnována systematická pozornost od vzniku cenového inženýrství.

Procesní inženýrství studuje ty procesy kde se pracuje s plynou, kapalnou i pevnou fází. Jako příklady je možné uvést zpracování ropy, anorganická chemie, farmacie atd. Jedním ze základních charakteristik procesního inženýrství je jeho ohromná variabilita. Jeden výrobek je možné vyrábět řadou postupů, které se často principiálně liší (MILLER1984, TURUNEN 1984c).

Česká terminologie není ustálená. Zvláště pojmy uvedené v příkladě na konci textu jsou asi poprvé překládány do češtiny. Pro jednoznačnost jsou uvedeny při prvním použití anglické pojmy.

Jeden ze základních problémů je ten, že je velmi obtížné získávat informace o cenách. Ceny běžně používaných tradičních výrobků v procesním inženýrství, jakou jsou čerpadla, kompresory atd. jsou dobře známé. Světoví výrobci dávají k dispozici svoje katalogy s přesnou specifikací a i vlastní ceny jsou poměrně přesně známé. Jediné významné změny jsou dohody mezi velkými výrobci a velkými odběrateli.

Procesní inženýrství má často speciální požadavky. Jedná se například o speciální tlakové nádoby,

výměníky tepla atd. Tam je nutné poptávat a různí dodavatelé reagují různě. Neexistují katalogové ceny. Speciální zařízení jsou často klíčové části celé technologie. Jako příklad je možné uvést vysokotlaké nádoby pro chemicky agresivní prostředí, TURUNEN1984d.

Problém je ale v tom, že v předprojektové fázi není známé ani to kolik bude požito čerpadel, trubek atd. V této fázi je k dispozici jenom velmi hrubé technologické schéma, požadovaná kapacita a nejdůležitější parametry výrobku. Jenže právě v předprojektové fázi dochází k prvním jednáním o financování. Je jasné, že spolehlivý odhad nákladů je klíčová informace.

Žádná finanční instituce nemá natolik fundovaný personál, aby mohl posoudit správnost odhadu nákladů. Navíc ani ty firmy, které desetiletí dodávají technologie pro procesní průmysl nejsou schopny v předprojektční fázi stanovit svoje vlastní náklady přesně DOHNAL M.1997.

Tato situace se výrazně změní v okamžiku, kdy je dokončen projekt ARDIT, 1991. Náklady na projekt však mohou dosáhnout několika procent celkových nákladů. Navíc projektování může trvat rok i déle. Vše se komplikuje ještě tím, že skoro vždy existuje řada variant. Posouzení jejich nákladů by si vyžádalo vypracování několika paralelních projektů. To je však nemožné z hlediska ceny projektů a také pro omezenou projekční kapacit a výrazné prodloužení projekční činnosti PARK, 1987.

Specifická situace v ex-komunistických zemích je v tom, že archiv firem z těch dob jsou nepoužitelné. V dobách kdy se používaly deformované ceny není možné použít předešlých zkušeností DOHNAL, et al 1996. Jestliže například některá speciální ocel stala několikanásobně víc než jiný typ jenom proto, že pro její výrobu bylo potřeba něco financovat ve volně směnitelných měnách, kdy energie byla nezdůvodnitelně laciná atd. tak výsledné náklady nejsou relevantní pro tržní ekonomiku.

Je jasné že i informace firem, které operovaly vždy v podmínkách tržní ekonomiky stárnou a musí být korigovány DOHNAL. et al. 1996. Teorie a praxe cenového inženýrství často pracuje v oblasti jevů, které dosud vůbec nenastaly. Jestliže se jedná o unikátní technologii, tak není při odhadu nákladů možné jednoduše vycházet z archivních údajů TURUNEN 1984b. S tímto faktem souvisí využívání matematických modelů a modelování obecně BAASEL, 1990.

Všechny cost engineering znalosti jsou subjektivně zabarvené. Na objektivní jádro navazují téměř objektivní znalosti, které postupně předcházejí v téměř subjektivní odhady (např. získané pomocí analogie), viz např. NEMBHARD, 1998. Čím dále se vzdalujeme od objektivního jádra, tím více klesá věrohodnost informací, viz např. BOX, et al.1994. Teoreticky by bylo možné pro cost engineering používat celé spektrum metod. To je ale v praxi nemožné, z důvodu který již byl uveden, a to nedostatek informací. Další důvod je tak složitost metod a nemožnost určit přesně za jakých podmínek se jaká metoda cost engineering má použít.

4 VYTVÁŘENÍ CENOVÝCH MODELŮ

Cenové inženýrství představuje extrémně heterogenní komplex různých typů informací. Kvantitativní informace mohou být rozděleny do dvou základních skupin a to na absolutní a relativní TURUNEN, 1984.

Jednoduchý příklad absolutní informace je MILLER,1984:

Výměník tepla XXXX stojí v Německu EUR 45 000

Předpokládejme, že existuje vypracovaná procedura jak predikovat náklady (cost) U pro chemická zařízení v předprojektční fázi. Existuje proto algoritmus, který dokáže nějaký vektor parametrů **Y** vyčíslit náklady U v Německu

$$U_{\text{Německo}} = f_{\text{Německo}}(\mathbf{Y})$$

Tatáž procedura však již nemůže být použita pro výpočet nákladů v České republice. Důvodů je řada. Například, náklady na pracovní sílu, různé zákony (daně, ekologie).

Předpokládejme, že existuje velmi neurčitá relativní informace například:

Náklady U jsou v České republice mírně nižší než v Německu.

Existence relativní informace uvedeného typu dovoluje stanovit absolutní náklady U pro Českou republiku tak, že se stanoví náklady pro Německo a ty se pak korigují pomocí relativní informace.

Pro experty je v převážné většině případů jednodušší generovat relativní informace než informace absolutní. Jestliže je možné získat informaci absolutní, tak se většinou jedná a poměrně spolehlivou informaci. Relativní informace jsou velmi nepřesné.

Existuje řada možných jednoduchých algoritmů, které používají různé parametry pro charakterizaci studované technologie. Jedná se o prostinké algoritmy, které jsou používány několik desetiletí DOHNAL, 1996a. Problém je v tom, že se v nich vyskytují takové koeficienty, které je nutno odhadovat GALLO, 1990. Jejich odhad závisí na zkušenostech a zkušenosti jednotlivého cenového inženýrství zase závisí na jeho specifických znalostech. Specifické znalosti jsou prakticky identické se znalostmi získanými při práci pro konkrétní firmy ARDIT, 1991.

Spolehlivost nákladových odhadů je dána přesností s jakou je možné určit potřebné koeficienty a na podkladech, které jsou k dispozici. Jako příklady jsou uvedeny ukázky složitostního a Langova faktoru

4.1 Složitostní faktor

Nechť je složitostní faktor funkcí následujících veličin

$$CF = f(TE, PR, PH, NS, DP)$$

CF – složitostní faktor Complexity Factor

TE – provozní teplota Operating Temperature [oC]

PR – provozní tlak Operating Pressure [MPa]

PH – typ fáze Phase Factor

NS – počet proudů Number of Streams

DP – obtížnost procesu Difficulty of Process

(1)

Složitostní faktor je nejdůležitější veličina, která je potřeba pro finální stanovení nákladů C v milionech dolarů v roce 1982, detaily viz TURUNEN et al 1984, TURUNEN et al 1984b, 1984c)

$$C = A \cdot F \cdot n \cdot CF$$

A konstanta F zpracovávané množství n kapacitní faktor

Pochopení následujícího textu vyžaduje znalost elementárních pojmů fuzzy logiky. Stačí znát pojmy uvedené například v DOHNAL, et al 1996, 1966a, TURUNEN et al 1984
 Necht' v podnikovém archivu existuje celkem 37 prohlášení o veličinách (1). Prvních 10 je uvedeno v Tab. 1

Tab. 1

	PR	NS	TE	DP	PH	CF
1	VF	A1	A8	A8	A1	A1
2	VF	A2	A3	A3	A2	A2
3	VF	A3	A2	A3	A3	A3
4	VF	A4	A2	A4	A4	A4
5	VF	A5	A3	A3	A5	A5
6	VF	A6	A4	A4	A6	A6
7	VF	A3	A3	A7	A7	A7
8	VF	A8	A1	A1	A8	A8
9	VF	A9	A1	A1	A9	A9
10	VF	A10	A5	A5	A10	A10

Tab. 2 definuje některé použité fuzzy množiny. Tyto množiny jsou definována, tak jak to bylo zavedeno např. v (DOHNAL, et al 1996, 1966a, TURUNEN et al 1984) pomocí svých bodů zlomu a, b, c a d.

Tab. 2

	a	b	c	d
PR				
VF	0	0	1.4	1.42
NO	2.8	3.0	7.3	7.4
NS				
A1	4.5	5.0	5.0	6.0
A2	3.0	3.0	3.0	3.5
A3	2.4	5.0	5.0	5.6
A4	2.0	3.8	4.0	4.1
A5	3.0	3.0	3.5	4.0
A6	3.0	3.0	3.0	3.0
A8	2.8	2.8	3.0	3.2
A9	6.3	6.8	6.8	6.9
A10	5.0	5.0	5.0	5.0
TE				
A1	343	350	370	377
A2	60	260	280	300
A4	150	370	400	400
A5	40	40	75	80

DP					
	A1	0.025	0.026	0.027	0.03
	A3	0.018	0.019	0.024	0.027
	A4	0.05	0.06	0.15	0.15
	A5	0.1	0.11	0.14	0.15
	A6	0.15	0.45	0.92	0.93
PH					
	A1	14000	18000	18000	19000
	A3	12500	2500	2500	2500
CF					
	A1	1.0	1.01	1.01	1.02
	A2	0.1	0.13	0.13	0.15
	A3	0.38	0.40	0.40	0.42
	A4	3.5	3.56	3.6	3.9
	A5	0.4	0.41	0.41	0.45

Předpokládejme, že je potřeba odpovědět na následující otázku

	a	b	c	d	
PR	0.8	0.95	0.95	1.12	
NS	2.5	2.7	2.7	3.2	(2)
DP	0.021	0.024	0.024	0.027	
PH	13 800.0	13 900.0	13 900.0	14 000.0	

V tab. 1 byla nalezeno jenom jedno relevantní prohlášení a to prohlášení číslo 2. Defuzzyfikovaná odpověď je

CF je rovno 0.54

Odpověď na dotaz (2) je tedy možná bez jakýchkoliv relativních informací. To je v praxi řídký případ. Jestliže je z Tab. 1 vyjmuto prohlášení č. 2, tak odpověď na dotaz (2) je nevím. V tomto případě je nutné buď fuzzyfikovat dotaz (2) nebo odpovídající model. Je to tradiční metoda, která však dává nespolehlivé výsledky. Spolehlivější je využití relativních informací. Tento postup však není pro svou náročnost a tím rozsah presentován v tomto textu.

4.2 Langův faktor

Jiný algoritmus je založen na tzv. Langovém faktoru F, viz např. TURUNEN al. 1984 a, d

$$C = F \cdot CE$$

C Náklady

CE Náklady hlavního zařízení (např. tlakové těleso)

Je jasné, že nejobtížnější je stanovit právě hodnotu Langova faktoru. Ten se určuje v závislosti na následujících veličinách

$$F = f(\text{SCE}, \text{PCA}, \text{ACE}, \text{PRC})$$

SCE Rozsah - Scope of estimate

PCA Typ technologie - Process category

ACE Průměrná cena jednotlivého zařízení - Average cost of equipment items

PRC Komplexnost procesu - Process complexity

Tab.3 prezentuje několik prohlášení z celkového počtu 184 prohlášení. V posledním sloupci této tabulky je uvedena váha W příslušného prohlášení. Je to výsledek komplikovaného a částečně subjektivního procesu ladění.

Tab. 3

číslo	SCE	PCA	ACE	PRC	F	W
1	ME	SF	ME	CO	LA	0.8
2	ME	SF	HG	SI	SM	0.8
3	ME	SF	HG	NO	SM	0.8
4	ME	SF	HG	CO	SM	0.8
5	ME	FL	LO	SI	VL	0.8
6	ME	FL	LO	NO	VL	0.8
7	ME	FL	LO	CO	VL	0.8
8	ME	FL	ME	SI	LA	0.8
9	ME	FL	ME	NO	LA	0.8
10	ME	FL	ME	CO	LA	0.8

Tab. 4 definuje některé použité proměnné.

Prom.		a	b	c	d
SCE	BL	1.0	1.0	2.0	4.5
	ME	2.0	4.5	6.5	9.0
	TP	6.5	9.0	10.0	10.0
	A1	4.5	5.0	5.0	6.5
	A2	6.2	6.0	6.0	7.8
	A3	5.2	5.9	5.9	6.3
PCA	SO	1.0	1.0	2.0	4.5
	SF	2.0	4.5	6.5	9.0
	FL	6.5	9.0	10.0	10.0
	A3	2.0	3.0	3.0	4.0
	A8	7.0	8.0	8.0	9.0
ACE	LO	3.0	3.0	12.5	25.0
	ME	12.5	25.0	37.5	47.5
	HG	37.5	47.5	60.0	60.0

	A41	0.0	41.0	41.0	42.0
	A40	37.0	40.0	40.0	43.0
PRC	SI	10.0	10.0	40.0	75.0
	NO	40.0	75.0	125.0	300.0
	CO	125.0	300.0	800.0	800.0
	A57	55.0	57.0	57.0	61.0
	A55	50.0	55.0	55.5	60.0
F	VS	2.0	2.0	2.0	2.25
	SM	2.25	2.50	2.87	3.12
	ME	2.87	3.12	3.50	3.87
	LA	3.50	3.87	4.37	4.87
	VL	4.37	4.87	5.50	6.12
	VVL	5.50	6.12	6.12	7.0

Fuzzy model tvořený Tab. 3 a 4 byl testován a v mnoha modifikacích postupně upraven do finální podoby. Celkové množství tabulek, které byly vytvořeny přesahuje asi 100 000 stran. Výslednému modelu je možné zadávat dotazy. Zvolme nejjednodušší dotaz, a to dotaz, kde všechny veličiny jsou definovány jako čísla

$$\begin{aligned}
 \text{SCE} &= 1 \\
 \text{PCA} &= 10 \\
 \text{ACE} &= 30 \\
 \text{PRC} &= 100
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Odpověď na tento dotaz je fuzzy a poměrně komplikovaná. Následující tabulce j znamená číslo podobného prohlášení a s je podobnost tohoto prohlášení k dotazu (3). V prvním sloupci je uvedena identifikace fuzzy množiny Langova faktoru v příslušeném prohlášení. V prvním řádku Tab. 5 je uvedeno že v prvním prohlášení (viz první řádek tab. 3) je LA hodnota Langova faktoru. První prohlášení je podobné z 65.4 procent dotazu (3). Další podobné prohlášení je prohlášení číslo 8. Jeho podobnost je 11.4 procenta.

Tab 5

	j	s	j	s	j	s	j	s
LA	1	0.654	8	0.114	9	0.122	10	0.122
	12	0.122	14	0.104	15	0.143	16	0.143
	26	0.114	27	0.584	28	0.584	35	0.042
	39	0.042	40	0.042	44	0.213	45	0.114
	52	0.213	53	0.213				
SM	2	0.114	3	0.634	4	0.654	11	0.114
	20	0.104	21	0.3	22	0.362	29	0.114
	46	0.522	51	0.1				
VL	5	0.114	6	0.122	7	0.122	23	0.114
	24	0.183	25	0.183	32	0.042	36	0.042
	37	0.042	43	0.213				
ME	13	0.122	17	0.104	18	0.362	19	0.362
	30	0.584	31	0.584	38	0.042	41	0.674
	42	0.114	49	0.522	50	0.522	54	0.114
VVL	33	0.042	34	0.042				

VS	47	0.522	48	0.114				
A40	82	0.084						
A38	90	0.064	102	0.074	104	0.074	112	0.064
A29	84	0.084	88	0.084	92	0.074	94	0.084
	96	0.074	100	0.074	108	0.074	110	0.084

Z této tabulky je možné snadno zjistit, které hodnoty fuzzy množin Langova faktoru jsou nejčastější, které nejpodobnější. Výsledek je možno běžnými metodami fuzzy logiky dále zpracovávat a použít pro odhady.

6 ZÁVĚRY

Je obecně známý fakt, že v ekonomice je potřeba se rozhodovat velmi často na základě nedostatku informací. To znesnadňuje, v řadě případů eliminuje, seriózní použití statistických metod. Cenové inženýrství je určitá výjimka. V některých případech je možné použít tradičních statistických metod. Je to tehdy, když se jedná o velmi běžné zařízení, technologie atd. Problém je v tom, že základní problém představují ty technologie, které jsou unikátní nebo velmi modifikované. Pak není možné postupovat tradičně. V přednášce je popsána fuzzy modifikace klasických metod na odhad nákladů a to pomocí složitostního faktoru a Langova koeficientu.

Je jasné že tyto metody jsou poplatné době svého vzniku. Jejich fuzzy interpretace sice řádově zvyšuje jejich použitelnost, ale nepředstavuje optimální řešení. Podstatně modernější přístup je možno založit na přímém použití nákladových údajů. To znamená, že není definován žádný koeficient, který koriguje jednoduchý výpočetní vzorec, ale dosažitelné podklady jsou využívány přímo. To si však vyžaduje zkušený tým odborníků, a složité metody. Zmíněné jednoduché algoritmy je však možné použít pro rychlou orientaci v počátečních fázích odhadů.

POUŽITÁ LITERATURA

- ARDIT D, SUH K., An Expert System for Cost Estimating Software Selection, Cost Engineering, 33(2), 1991, 9 - 19
- BAASEL, W.D. 1990 Preliminary Chemical Plant Design, 2nd Edition, Van Nostrand Reinhold, New York
- BHARATID. Estimation of fuzzy memberships from histograms, Inform Sci, vol 35, 43 59, 1985
- BOX, G.E.P., G.M. JENKINS, and J.F. MACGREGOR, "Some Recent Advances in Forecasting and Control: Part II," Applied Statistics, Vol. 23, No. 2, 1974 pp. 158-179.
- BOX, G.E.P., G.M. JENKINS, and G.C. REINSEL, Time Series Analysis, Forecasting, and Control, 3rd ed., Prentice-Hall, New York, NY, 1994.
- DAVIS M. Representations of Common sense Knowledge, Morgan Kaufmann, San Mateo, 1990
- DOHNAL, M. STARZAK, M. KERKOVSKY M, DOHNALOVA, J. VYSTRCIL L. KOIVISTO R., POKORNY M. VANIS L., PARSON S, A Fuzzy upgrading of integrated vague managerial and engineering knowledge, International Journal of Production Economics, 32(1), 1993, 209 - 228
- DOHNAL M. , L. Mhlane, Fuzzy Evaluation of Discriminative Powers of Decision making Algorithms Using Methods of Sociological Questioners: European Workshop on Fuzzy Decision Analysis for Management, Planning and Optimalization, May 21 - 22, 1996 Dortmund 1996, pp. 91- 96
- DOHNAL M.: A Qualitative Approach to Pattern Identification for Financial Data Mining, Journal of Computational Intelligence in Finance, vol. 5, No. 3, 1997, 27 – 36
- DOHNAL, M, FRASER, D.M., KERKOVSKY M, A fuzzy pooling of investment cost knowledge, Int J. Production Management 43(5), 1996 91-106
- DOHNAL, M., A Chaos Based Analysis of Discriminative Power of Fuzzy Models, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 4(7), 1996a, 49 - 64
- GALLO, S, How to Strip a Model to Its Essential Elements, Computers in Economics and Management , 3, 199 214, 1990
- HERATH, H.S.B., and C.S. PARK, "Economic Analysis of R&D Projects – An Options Approach," The Engineering Economist, Vol. 44, No. 1, 1999, pp. 1-35.
- KHARBANDA, O.P.,STALLORTHY, E.A. 1988, Capital Cost Estimating, Butterworths, London
- KIM, G.T. and C.S. PARK, "Pricing Investment and Production Activities for an Advanced Manufacturing Systems," The Engineering Economist, Vol. 42, No. 4, 1997, pp. 303-324.
- LUNG, L.: System Identification Theory for the User, Prentice Hall, Englewoods Cliffs, 1987
- MILLER C. A. , Converting construction costs from one country to another, p. 91 - 95, J. Matley

(Ed). : Modern Cost Engineering: Methods and Data, vol. II, McGraw-Hill Publications, New York, 1984

NEMBARD, H.B. and C.M. MASTRANGELO, "Integrated Process Control for Startup Operations," Journal of Quality Technology, Vol. 30, No. 3, 1998, pp. 201-211.

PARK, C.S., New Ways of Counting the Costs, Mechanical Engineering, Vol. 109, No. 1, 1987, pp. 66-71.

PARK, C.S. and G.T. KIM, "An Economic Evaluation Model for Advanced Manufacturing Systems Using Activity-Based Costing," Journal of Manufacturing Systems, Vol. 14, No. 6, 1995, pp. 439-451.

PARSONS M. DOHNAL M. Qualitative, Semiquantitative and Interval Algebras, and their Application to Engineering Problems, Engineering Applic. Artif. Intelli., vol. 5, No. 6, 553 - 560, 1992

SEBORG, D.E., T.F. EDGAR, and D.A. MELLICHAMP, Process Dynamics and Control, John Wiley & Sons, New York, NY, 1989.

SMITH A.E. : Cost Estimation Predictive Modeling, Regression versus neural networks, The Engineering Economist, Winter 97, vol. 42, No. 2, 137 - 161

TURUNEN I., M.JARVELAINEN, DOHNAL M., Fuzzy Approach to Factorial Cost Estimation of Chemical Plants, Engineering Costs and Production Economics, vol. 7, 279 - 292, 1984

TURUNEN I., M.JARVELAINEN, DOHNAL M., Fuzzy Models in Capital Estimation of Chemical Plants, Mathematical Modeling in Science and Technology, The Forth International Conference, , Eds. X.J.R. Avula, R.E. Kalman, A.A.Liaps, E.Y.Rodin, 500 - 506, Proceedings, Pergamon Press, New York, 1984a

TURUNEN I., M.JARVELAINEN, DOHNAL M., 1984b, A Fuzzy Methods for Multicriterial Decision Making, Acta Polytechnica Scandinavica, Chemical Technology and Metallurgy Series, No.154, pp. 1 - 32, Helsinki

TURUNEN I., M.JARVELAINEN, DOHNAL M., Development of Fuzzy Cost Data Bank, Trans. of the American Association of Cost Engineers, 8th International Cost Engineering Congress, Montreal, p. G.9.1 - G.9.11, 1984c

TURUNEN I., M.JARVELAINEN, DOHNAL M., Fuzzy Models in Capital Cost Estimation of Chemical Plants, Ekonomicko matematicky obzor, 20, 282 - 292, 1984d

WEAVER J.A.r: Persistent problems overlooked by most authors, in J. B. Weaver, H. C. Thorne (Eds.) : Investment Appraisal for Chemical Engineers, AIChE Symposium Series No. 285, vol. 87, 1991, p. 10 - 19

ABSTRACT

A classical quantitative (analytical and/or statistical) analysis is not appropriate if ill structured, vague and complex cost engineering problems are studied. The conventional methods of cost estimation usually do not give reliable results. If a knowledge base is to be used then a realistic complex tasks must be heterogeneous. This inevitably requires a suitable integration of many different kinds of knowledge. Therefore a flexible structure of interrelated sub models of different nature (fuzzy, qualitative, semiquantitative, rough, conventional) is needed.

A fuzzy model can utilise semi-qualitative and semi subjective data sets which are partially inconsistent and subjective. To minimise the information loss of information primary knowledge items (e.g. company cost files) are used directly by elimination of the conventional pre processing (e.g. the best-fit approximation) of primary data. There are two different types of cost information items available, namely absolute and relative. An absolute information item is characterised by a vector of parameters (e.g. a stainless steel high-pressure heat exchanger, heat transfer area XY costs 10 000 USD (1980)). A relative knowledge item represents a difference. It can be characterised by two or more absolute items. A relative item is usually represented by a general and inaccurate heuristics (e.g. a labour cost in Germany is considerably higher than a Russian labour cost). An absolute item can be characterised by a multidimensional fuzzy set or by a fuzzy conditional statement. A flexible integration of specific conditional statements and general meta heuristics is proposed to increase the reasoning and discriminative power of cost fuzzy knowledge bases. Each relative item is used to generate a set of absolute items. The final result is a set of absolute items represented by a set of fuzzy conditional statements. The set of statements can be easily treat by any fuzzy reasoning algorithm. Examples (e.g. complexity factor evaluation, fuzzy statements) are given in full detail.