Slezská univerzita v Opavě
Obchodně podnikatelská fakulta v Karviné

SYSTÉMOVÁ ANALÝZA

Josef Botlík

Karviná 2004

OBSAH MODULU …

RYCHLÝ NÁHLED DO PROBLEMATIKY …

Rychlý náhled

Tento studijní materiál slouží k naučení a pochopení základních systémových pojmů a ke zvládnutí systémového přístupu k problémům. Některé kapitoly jsou zaměřené na obecnou systémovou analýzu, tam kde to bylo možné a vhodné, je látka aplikovaná na ekonomiku.

Postupně se seznámíte se základními systémovými přístupy a společensko-vědními obory, v nichž se setkáte se systémovou analýzou.

Naučíte se pracovat s pojmy souvisejícími se systémovým přístupem a seznámíte se základními systémovými pojmy.

Základem učebního textu je vybraná část systémové analýzy vhodná pro studium na ekonomické fakultě. Z tohoto důvodu je část učiva pouze zmíněna, nikoli do hloubky vysvětlena, protože obsahem překračuje požadavky ekonomických fakult.

Text tohoto studijního materiálu je poměrně rozsáhlý. Nemějte ale obavy, ne vše bude požadováno ke zkouškám. Část textu je určena . pro zájemce, kteří se chtějí o dané problematice dozvědět více, část je určena pro objasnění pojmů probíraných v jiných předmětech ale potřebných pro pochopení dané látky („pro sklerotiky“), některé odstavce jsou opakováním a souhrnem látky probírané na jiných místech (opakování je matka moudrosti).

Výuka modulu začíná úvodem do systémových věd. Zde je objasněn systémový přístup, základní pojmy systémové vědy a vazby systému na okolí.

V další části je základní klasifikace systémů. Klasifikace je účelová, závislá na chování systému. Proto je v této části větší důraz věnovaný tvrdým a měkkým systémům a dynamickým a statickým systémům. Vzhledem k tomu, že chování systému je postupně probíráno i v dalším textu, je v této části popsáno chování s genetickým kódem, jako výchozí chování ekonomických systémů.

Třetí kapitola se věnuje systémovému modelování. Seznámíte se s modelem, základy modelování a metodami modelování. Protože pro vznik modelu je nutná znalost základních systémových pojmů, je v této kapitole věnován prostor i organizaci, struktuře a architektuře systému, rozlišovací úrovni, a informacím v systému.

V kapitole o systémové analýze a návrhu se seznámíte s obecnými systémovými principy kompozice a dekompozice, analýzy a syntézy i návrhu systémů.

Na tuto kapitolu navazuje analýza metod a struktury systémů. V této části je samostatně probíraná strukturální a objektově orientovaná analýza, což má posloužit jako ukázka rozdílných přístupů k analýze.

Znalosti struktury a schopnost analýzy je výchozím krokem k systémovému projektování. V táto části je obecná analýza demonstrována více méně na informačních systémech. Tato analogie je možná, protože informace jsou charakteristickým prvkem všech systémů.

Nedílnou součástí systémové analýzy je síťová analýza. Pro pochopení síťové analýzy je nutná znalost teorie grafů. Vzhledem k tomu, že v této oblasti dochází k překryvu obsahu předmětu s operační analýzou, jsou tyto kapitoly poměrně stručné, nicméně jsou součástí systémové analýzy, proto jsme je do těchto studijních materiálů zařadili.

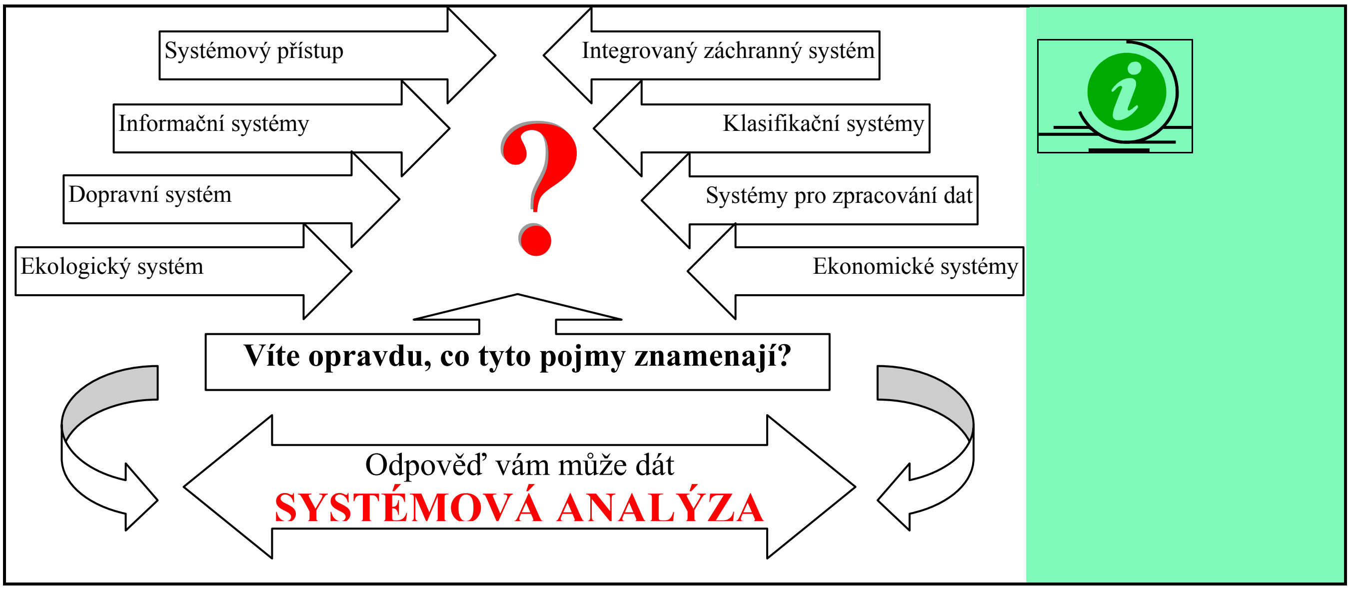
Protože většinu systémů lze klasifikovat z pohledu závislosti na čase, jsou statickým a dynamickým systémům věnovány samostatné kapitoly.

U dynamických systémů dochází opět k překryvu obsahu s metodami matematické analýzy, proto je analytická část spíše informativní. Je doplněna o metodu Petriho sítí jako nástroje pro grafickou analýzu dynamických systémů.

Aplikace systémových teorií je koncipována jako průřez aplikačními systémovými disciplínami. Tato kapitola je zakončena synergetikou, jako nástrojem který je charakteristický kooperačním mechanismem a navazuje na klasický systémový přístup.

Poslední kapitola je zaměřena na stabilitu ekonomických systémů. Vzhledem k charakteru ekonomických systémů je část této kapitoly věnovaná i teorii chaosu a otevřených systémů.

ÚVODEM



Úvod

Každý z nás se ve svém životě denně setkává s výrazy a pojmy ve kterých se objevuje více či méně pojem systém.

Denně se někteří dopravují integrovaným *dopravním systémem*, jiný se *systematicky* připravuje na své povolání a další třeba protestuje za zachování *ekologického systému* v chráněném území.

Pojem „systém“ v našem jazyce zobecněl, málo kdo si však uvědomuje „o čem se to vlastně mluví“

V tomto studijním materiálu se pokusíme objasnit a vysvětlit studentům podstatu systémového přístupu a budeme se snažit o to, aby student získal základní systémové znalosti.

Jak už bylo zmíněno, texty nejsou určeny studentům vysokých škol technického zaměření, je vypuštěna značná část matematického aparátu a oblast hlouběji se zabývající dynamickými systémy.

Text je proto nutné číst o to pečlivěji, protože některé pasáže mohou bez matematického aparátu působit příliš rozvláčné a studentům by mohly uniknout podstatné souvislosti.

Text je určen především studentům kombinovaného studia , přesto je vhodný i pro studium prezenční.

CÍL MODULU SYSTÉMOVÁ ANALÝZA

Po úspěšném a aktivním absolvování tohoto MODULU

• Řešit problémy systémově • Definovat na reálném objektu systém • Klasifikovat systémy • Využívat dostupný matematický i jiný aparát • Naučíte se systémovému náhledu na problémy • Naučíte se základní popisy systému • Naučíte se pracovat se systémy a klasifikovat je • Zvládnete základní definování podstatných systémových prvků a vazeb mezi nimi	***Budete umět***
• Získáte znalosti o tvorbě modelů, modelování • Získáte přehled o základních metodách modelování • Získáte systémový náhled na realitu • Získáte znalosti, které Vám pomohou řešit problémy, počínaje definováním problémů, volbou správné metody a správných postupů, vedoucích k řešení problémů • Získáte přehled a znalosti o základních postupech využívaných v systémové analýze	***Získáte***
• Popsat problém • Odstranit problém • Zjistit v rozsáhlých systémech jinak těžko rozeznatelné závislosti • Navrhnout například výrobní proces • Odhalit v tomto procesu kritická místa • Analyzovat procesy, například zjištěním předchůdných a návazných jevů v procesu, jinak jen obtížně zjistitelných • Zjistit časové náročnosti procesů • Zjistit nároky na zdroje v procesech • Analyzovat finanční náročnosti procesů • Obecně se orientovat v reálných systémech • Volit postupy vedoucí ke správné analýze a řešení problémů	***Budete schopni***

ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

Časová náročnost je těžko odhadnutelná a bude závislá na tom, do jaké hloubky chcete danou problematiku pochopit. Ve výukovém materiálu jsou mimo teoretické základy i konkrétní systémové aplikace, kterým doporučuji věnovat větší pozornost. Rovněž doporučuji více času věnovat samostatným úkolům a úkolům k zamyšlení. Časová náročnost bude upřesňována v rámci kapitol.

PRŮVODCE STUDIEM 1

V textu máte označována místa, která vyžadují větší pozornost. Neznamená to však, že ostatní text je nepodstatný. Jako vodítko pro důležitost Vám může posloužit kurzivou zvýrazněný text, tučně zvýrazněný text a text uspořádaný do seznamů. Ne všechny definice v tomto textu jsou nutné pro zvládnutí učiva, některé jsou uvedeny pro dokreslení dané problematiky. Podstatné není naučit se definice ale umět se orientovat v problematice. V pravé části stránky jsou pro lepší přehled uváděna klíčová slova.

Nebudu ve většině příkladů požadovat u zkoušek striktní znění definic, ale spíš vysvětlení jejich podstaty (například verbální formou). Základem výuky není naučení definic ale pochopení podstatného a schopnost s naučenou látkou dále pracovat.

1 OBECNÁ TEORIE SYSTÉMŮ

RYCHLÝ NÁHLED DO PROBLEMATIKY KAPITOLY

V této kapitole se seznámíme s historií a vývojem systémových věd, se základními systémovými pojmy. Naučíte se, co vlastně znamená systémový přístup a proč řešit problémy pomocí systémů. Seznámíte se postupně s několika definicemi systémů. Naučíte se pojmy prvek systému, vazba, relace, stav systému apod.	***Rychlý náhled***

CÍLE KAPITOLY OBECNÁ TEORIE SYSTÉMŮ

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

• Definovat systém • Popsat objekty systémů • Orientovat se v obsahu souvisejících systémových věd • Definovat vstupy a výstupy systému, okolí systému • Definovat rozlišovací úroveň při tvorbě systému • Popsat jednoduchou realitu pomocí systému	***Budete umět***
• Znalosti ze základů systémových věd, terminologie, definování systémů, • Schopnost orientovat se v různorodých reálných prostředích a definovat podstatné prvky a závislosti tohoto prostředí.	***Získáte***
• navrhnout systém podle definovaného účelu • popsat a identifikovat podstatné objekty a rozlišit je od nepodstatných	***Budete schopni***

ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

Celkový doporučený čas k prostudování kapitoly je **cca 3 hodiny pro nastudování látky a 3 hodiny pro** rozšíření znalostí prostřednictvím podnětů a úkolů.

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

Systém, prvek systému, vazba v systému, stav systému, stavová rovnice, přechod, přechodová funkce, okolí systému, systémové vědy, systémový přístup.

Klíčová slova

1.1 Úvod do systémových věd

Protože základním znakem živých věcí je jejich organizace, nemůže obvyklé zkoumání jednotlivých částí a procesů poskytnout úplné vysvětlení životních projevů. Toto zkoumání nám nedává žádné informace o koordinaci částí a procesů. Takže hlavním úkolem biologie musí být objevení zákonů biologických systémů (na všech úrovních organizace). Věříme, že pokusy nalézt základ pro teoretickou biologii ukazují na fundamentální změnu v obraze světa. Tento pohled, chápaný jako metoda zkoumání, nazveme biologií organismů, jako pokus o vysvětlení jej nazveme systémovou teorií organismu.

1928 : Ludvig von Bertalanffy:

V této definici lze vystopovat již v roce 1928 jistou obecnou definici systému a systémového přístupu. Ukázalo se, že systémové vlastnosti jsou obecné. Systémy existují a můžeme je rozpoznat na různých částech reálného světa. Existují jako živé organizmy i jako neživé celky. Po zobecnění byly tyto celky nazvány ***systémy,*** hledáním vztahů (relací) mezi nimi se zabývá ***analýza systémů***.

My si v tomto učebním textu ukážeme několik různých definic pojmu ***systém***, i to, že existuje často rozdílné chápání tohoto pojmu. Uvedeme si i vysvětlení základních pojmů používaných při pojmenování prvků nebo vlastností systémů.

Systémová analýza, je označení pro zkoumání a studium existujících nebo požadovaných systémů, jejich vlastností, chování, jejich částí, vztahů a vazeb mezi nimi.
Pro porovnání si můžeme uvést dvě definice analýzy. Jednu podle ČSN a druhou podle normy ISO.

Úlohy a metody jejich řešení zjišťující a zajišťující systémové vlastnosti sledovaného objektu (jeho funkci, jejich vzájemných vazeb a jeho vazeb s jinými systémy).

Definice systémové analýzy podle

ČSN 36 9001/20 - 1987

Systematické zkoumání reálného, nebo plánovaného objektu, abychom určili vstupy, výstupy a procesy systému a v jakém vztahu jsou navzájem, a spolu s ostatními systémy. ***Definice systémové analýzy objektu podle ISO 2382-20 -198***

Přesto, že obě definice vychází z norem, je mezi nimi podstatný rozdíl. Podle ČSN se jedná o úlohy, podle ISO o činnosti při jejich řešení. Je tedy možno na základě těchto definic předpokládat, že dvě soustavy norem, jejichž představitele jsme si uvedli, jsou postaveny na různých základech a ukazují různé pojetí chápaní systému. *7*

Systémové vědy ***Systémové vědy***

Vznikají ve druhé čtvrtině tohoto století jako reakce na přílišnou specializaci jednotlivých oborů, ztrátu komunikace nejen mezi odborníky oborů vzdálených, ale i blízkých, následně i časté znovuobjevování v zásadě týchž poznatků v různých disciplinách.

Zdůrazňují *holistický* (=celostní) přístup před *redukcionizmem* (rozkladem objektů na dílčí části a jejich jednotlivé zkoumání jakožto téměř nezávislých entit).

Mají své specifické *objekty* studia, vypracovaly si své *metody*, přinesly soubor *původních poznatků* a vybudovaly si i příslušnou *metaúroveň*, mají tedy všechny znaky samostatných vědních disciplin. Splňují i *inženýrskou* podmínku *praktických přínosů*.

Mohly vzniknout a rozvinout se díky pokrokům v:

- *systémovém myšlení* (Od Aristotelova : „Celek je víc než soubor částí“ , až po zjištění v biologii , fyzice i společenských vědách, že u některých objektů jsou *interakce* daleko důležitější, než části, resp.prvky, jichž se týkají, např.-imunita , feromagnetizmus, odezva na sociální stres),
- matematice,
- výpočetní technice.

Jsou nástrojem pro zvládnutí **„***organizované složitosti***“.** Mnoho oborů lidské činnosti, např. *finanční trhy, ekonomika podniků apod.* se potýkají právě s problémy této kategorie.

Členění systémových věd jde **„***napříč***“** klasickými obory . V jedné (klasické) dimenzi máme systémy matematické,.. fyzikální,.... ..biologické,.. dopravní.., ekonomické, .. společenské, ... právní, .. etické, ..ekologické... ,ve druhé pak systémy abstraktní, obecné ,či různě interpretované, a těmi se právě systémové vědy zabývají. ***Členění systémových věd***

PRŮVODCE STUDIEM 2

Povšimněte si, že je obecně zavedený pojem „systémové vědy. Jedná se tudíž o celý soubor systémových disciplín s jejichž pomocí lze analyzovat a popisovat systémy. Systémový přístup specifikuje základní přístup těchto vědních disciplín k řešení problémů.

1.2 Systémový přístup

Následující příklad nám poslouží jako ukázka toho, že „selský rozum“ není vždy tou správnou cestou při řešení problémů…

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD 1-1

Mějme dané dva sklady materiálu označené jako S1 a S2. Z těchto skladů máme přepravit materiál do 4 míst zpracování, označených M1, M2, M3 a M4.

Kapacity jednotlivých skladů jsou 60 tun a 40 tun (viz tabulka 1). První místo spotřeby potřebuje týdně 10 tun, druhé 20 tun, třetí 60 tun a čtvrté 10 tun materiálu pro zabezpečení výroby.

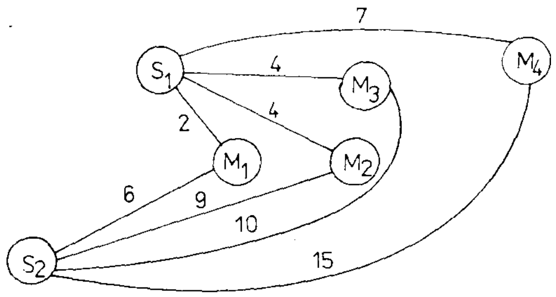
Vzdálenosti, kapacity skladů a požadavky míst zpracování jsou v tabulce 1.

Za přepravu jedné tuny na jeden kilometr zaplatíme jedno euro. Máme najít nejlevnější způsob přepravy.

Tabulka 1: zadání příkladu

				Požadavky pro zpracování			
				10	20	60	10
				M1	**M2**	**M3**	**M4**
				Kilometry z Si do Mj			
Kapacity skladů	60	**S1**		2	4	4	7
	40	**S2**		6	9	10	15

Obrázek 1-1: dopravní vzdálenosti



Řešení příkladu nesystémovým přístupem

Povšimneme-li si celkového množství materiálu ve skladech a celkového požadovaného množství materiálu v místech zpracování, zjistíme, že jsou si rovny. Takováto úloha má určitě řešení.

Praktik ...,

Praktik, který není seznámen se systémovým přístupem, bude patrně při řešeni takového typu úlohy veden zásadou "zdravého rozumu" – nejmenší náklady vzniknou, bude-li nejmenší počet ujetých kilometrů.

Za nejvýhodnější bude pokládat takový rozvozní plán, ve kterém začne nejkratším existujícím spojením. V našem případě je to spojení prvního skladu s prvním místem zpracování (vzdálenost 2 km). S ohledem na kapacitu prvního skladu (60 t) a potřebu prvního místa zpracování (10 t) je možno po této cestě převést všech 10 tun. Obdobnou úvahou praktik dospěje k tomu, že zbylou kapacitou prvního skladu je třeba pokrýt požadavky míst zpracování M2 a M3 (další minimální vzdálenosti, v tomto případě 4 km) a zbylé požadavky pokryje kapacitou druhého skladu, opět podle nejmenších vzdáleností.

Opakováním postupu dostaneme jedno z možných řešení, které je znázorněno v tabulce 2.

Popis použité tabulky

		10	20	60	10
		0	0	0	0
		M1	M2	M3	M4
60	S1	2	4	4	7
40	S2	6	9	10	15

Neuspokojené požadavky

Již uspokojené požadavky

Nejkratší vzdálenost

Množství ve skladech

1. krok

před

		10	20	60	10
		0	0	0	0
		M1	M2	M3	M4
60	S1	2	4	4	7
40	S2	6	9	10	15

po

		0	20	60	10
		10	0	0	0
		M1	M2	M3	M4
50	S1	2	4	4	7
40	S2	6	9	10	15

Dopraveno 10 tun na vzdálenost 2 Km - 20 €

2. krok

před

		0	20	60	10
		10	0	0	0
		M1	M2	M3	M4
50	S1	2	4	4	7
40	S2	6	9	10	15

po

		0	0	60	10
		10	20	0	0
		M1	M2	M3	M4
30	S1	2	4	4	7
40	S2	6	9	10	15

Dopraveno 20 tun na vzdálenost 4 Km – 80 €

3. krok

před

		0	0	60	10
		10	20	0	0
		M1	M2	M3	M4
30	S1	2	4	4	7
40	S2	6	9	10	15

po

		0	0	30	10
		10	20	30	0
		M1	M2	M3	M4
0	S1	2	4	4	7
40	S2	6	9	10	15

Dopraveno 30 tun na vzdálenost 4 Km - 120 €

4. krok

před

		0	0	30	10
		10	20	30	0
		M1	M2	M3	M4
0	S1	2	4	4	7
40	S2	6	9	10	15

po

		0	0	30	10
		10	20	30	0
		M1	M2	M3	M4
0	S1	2	4	4	7
40	S2	6	9	10	15

Vzdálenost 6 Km z S2 do M1 nemá smysl uvažovat, protože M1 již má nulové požadavky
Vzdálenost 7 Km z S1 do M4 nemá smysl uvažovat, protože S1 již má vyčerpané zásoby
Vzdálenost 9 Km z S2 do M2 nemá smysl uvažovat, protože M2 již má nulové požadavky

5. krok

před

		0	0	30	10
		10	20	30	0
		M1	M2	M3	M4
0	S1	2	4	4	7
40	S2	6	9	10	15

po

		0	0	0	0
		10	20	60	10
		M1	M2	M3	M4
0	S1	2	4	4	7
0	S2	6	9	10	15

V tomto kroku máme k dispozici 40 tun ve skladu S2 a máme uspokojit 30 tun v místě M1 a 10 tun v místě M2, Je proto naprosto jedno, v jakém pořadí uspokojíme požadavky výrobců.
Dopraveno bude proto 10 tun na vzdálenost 15 Km a 30 tun na vzdálenost 10 km. = 150 + 300 = 450 €

Výsledek

Tabulka 2

	M1	M2	M3	M4
S1	20	80	120	
S2			150	300

Tabulka 2: náklady na přepravu mezi jednotlivými sklady a místy zpracování

Pokud nyní sečteme jednotlivé náklady dostaneme částku 670 €

I když se uvedená úvaha zdá rozumná, použijeme-li systémový přístup a některou z optimalizačních metod operační analýzy dospějeme k závěru, že uvedený výsledek zdaleka není nejlepší. Může se dokonce při jisté konstelaci koeficientů úlohy stát to, že bude nejhorší možný. Optimální řešení je uvedeno v tabulce. 3 a je na něm pozoruhodné, že nejkratšího spojení není vůbec použito. Optimální řešení spotřebuje 610 €.

Konec příkladu

Tabulka 3

		M1	M2	M3	M4
S1	tuny	0	0	50	10
	€			200	70
S2	tuny	10	20	10	
	€	60	180	100	

Tabulka 3: množství přepraveného materiálu a náklady na přepravu mezi jednotlivými sklady a místy zpracování při řešení dopravní úlohy metodou Operační analýzy

PRŮVODCE STUDIEM 3

Je prospěšné vědět, že existují obecně platné modely a metody pro řešení různých systémových úloh. I zdánlivě „normální“ použití matematického vzorce vlastně znamená použití již vypracovaného modelu (v tomto případě matematického). Nemusíme znovu analyzovat problém, tvořit systém a model ale volbou vhodné alternativy a rozpoznáním již existujícího obecného systému můžeme použít již existující metodiku a modely.

K ZAPAMATOVÁNÍ 1

Systémový přístup …

Systémový přístup: způsob myšlení či řešení problémů, zkoumající jevy a procesy komplexně, s uvážením vnitřních i vnějších souvislostí.

Metodický cíl …

Metodický cíl systémového přístupu: pochopit, vhodně formulovat a pomoci řešit zkoumaný problém.

Nástroje …

Nástroje systémového přístupu: modelování, simulace

Základní principy systémového přístupu…

- Systém je víc než souhrnem svých částí.
- Systém zkoumáme proto, abychom mohli předpovědět jeho chování.
- Hlavní účel systému je ten, pro jehož dosažení mohou být obětovány jiné cíle.
- Každý systém je informačním systémem: musí analyzovat, jak dochází k přenosu informací.
- Složité systémy může být vhodné rozložit na podsystémy, které jsou pak analyzovány samostatně a poté znovu vcelku.
- Systém je dynamickou sítí vzájemně propojených elementů. Změna jednoho elementu způsobí změnu dalších elementů.
- Hranici systému lze změnit podle cílů analýzy

Jak plyne z výše uvedeného textu, je systémový přístup charakteristický pro řešení a odstraňování problémů, především v oblasti řízení a rozhodování, ale i v oblasti analýzy systémů. Ze systémových věd definuje systémový přístup především operační výzkum a systémové inženýrství.

Vztah mezi rozhodovacím procesem a systémovým přístupem

Problém musí být charakterizován 3 vlastnostmi:
- musí existovat odchylka od žádoucího stavu systému
- odstranění této odchylky musí být nutné
- řešení vedoucí k odstranění odchylky předem neznáme

Chybí-li některá z těchto vlastností, nejde o problém

Na základě analýzy problému dospějeme k alternativě, že se jedná o:
- problém s jediným řešením
- problém s několika možnostmi řešení

Jedná-li se o problém s několika možnostmi řešení pak se jedná o ***problém rozhodování.***
Rozhodnutí = akt volby , tj. výběr jedné z variant.

Triparciální systémový přístup

Snaha komplexně popsat problém (např. tvorbu řídicího či ekonomického systému) a komplexně s tímto popisem pracovat se projevuje různými formami. Jednou z těchto forem je vytvoření koncepce triparciálního systémového přístupu k řešení problému (např. tvorbu řídicího systému). V podstatě jde o iterační proces řešení problému o třech diferencovaných krocích. Tripraciální systémový přístup je definován jako princip, který zobecňuje analýzu, porovnání i syntézu procesů (činností) tím, že každý celek chápe ve třech složkách:
- strategii,
- taktice,
- aktivaci.

triparciální systémový přístup

Podle konkrétní povahy procesu přisuzujeme těmto obecným složkám procesu *odpovídající smysl a název*. V aplikaci na řídící systémy lze za tyto tři základní složky (dílčí funkce řízení) považovat:
- stanovení nebo uchování cílů (strategie),
- zjišťování skutečného stavu řízeného objektu (taktika),
- provedení potřebného zásahu, kterým se má skutečný stav objektu vyrovnat s žádoucím stavem (aktivace).

Tyto činnosti mají i věcnou návaznost. Zpravidla aplikujeme triparciální systémový přístup na řešení:
- organizačních problémů,
- problémů řídicích soustav,
- problémů řízení lidí.

Víceaspektovost a iterativnost

Víceaspektovost a iterativnost tohoto přístupu je z hlediska systémových disciplín velmi významná. Důsledné dodržování tří kroků (tří pohledů, tří fází přístupu) je pravděpodobně vyvoláno snahou o jistou jednotnost tohoto přístupu.

SHRNUTÍ

Systémový přístup

Klasický přístup :

- rozčlenění objektu na dílčí celky,
- izolované zkoumání těchto celků

Systémový přístup:

- objekt zkoumá jako celek
- vymezení systému
- vymezení prvků systému
- vymezení vazeb
- vymezení okolí
- dělí systém na podsystémy ale specifikuje vazby mezi těmito podsystémy

1.3 Základní pojmy systémové vědy

Definice, které ilustrují současné chápání systémových pojmů budou poměrně různorodé a budeme je považovat za výchozí pro další výklad.

Co je tedy systém?
Především je to předmět našeho zájmu, tedy to, co chceme poznat, popsat nebo vytvořit.

Pouze *správné chápání systému* (i dalších základních systémových pojmů) z hlediska systémové analýzy, může vést ke správné definici systému, respektive ke správnému vymezení systémů (a to z pohledu chování, struktury, organizace apod.). Jestliže se chceme zabývat systémy, je třeba především pochopit podstatu systému a jeho chápání v obecné rovině.

Systémový přístup můžeme považovat za způsob chápání. Je to cesta *hledání společných vlastností* mezi zdánlivě tak rozdílnými částmi reálného světa, jako mohou být například ekonomické systémy ale i elektrické obvody, přenosy informací v počítačové síti nebo třeba výrobní proces. Základním principem je snaha *maximálně využít dosud poznaného* a efektivně poznat dosud nepoznané.

Základní snahou systémové vědy je přispět k racionalizaci stávajících nebo připravovaných procesů. *Racionalizace* (obecně) je promyšlené, vědecky rozvíjené úsilí o co největší účelnost, metodičnost, systematičnost a hospodárnost v jakékoli lidské činnosti, aby byly zlepšeny parametry jejich výsledků. Toto úsilí se zaměřuje především na co nejlepší využívání daných nebo dostupných prostředků, metod a poznatků v praxi.

1.3.1 Systém a jeho okolí

PODNĚT

V následujícím přehledu uvádíme několik příkladů definic systémů.

K zamyšlení

Zkuste si je pozorně přečíst a postupně konfrontovat s poznatky, které získáte v dalších kapitolách .

- „Systém je komplex prvků nacházejících se ve vzájemné interakci.“ (Bertalanffy);
- „Systém je množina objektů spolu se vztahy mezi nimi a mezi jejich atributy.“ (Hall);
- „Systém je stroj s pevným uspořádáním části a procesů.“ (Ashby);
- „Systém je množina pravdivých výrokových funkcí, jejichž proměnné tvoří formální objekty.“ (Mesarovič);
- „Systém je neprázdný soubor prvků a jistých jejich vazeb, které určují vyšetřované vlastnosti systému jako celku.“ (Kudláček);
- „Soubor objektů a činnosti, který má být považován za "organický systém", musí mít čtyři základní znaky, a to obsah, strukturu, komunikaci a řízení.“ (Rivetta a Ackoffa);
- „Systém je soubor prvků v interakci.“ (další z mnoha možných definic);

Základním pojmem systémových věd je pojem **systém**. Z důvodů rozmanitosti reálného světa a tím dané šíře reality, kterou můžeme jako systém popsat, bývá **jeho popis často účelový**. Pokud někteří autoři usilují o jasnější vymezení pojmu systém pro danou, konkrétní realizaci, jde buď o slovní definici, nebo o formální výrazy vybudované zpravidla na základě teorie množin.

Někteří autoři, kteří podporují interdisciplinární přístupy a usilují o dobrou výměnu informací mezi různými obory, nepovažují přesnou definici systému za nutnou. Jsou např. názoru, že tohoto termínu lze pracovně dobře používat, aniž bychom se museli nutně shodnout na jeho přesné definici. Je tedy zřejmé, že vytvoření obecně použitelné a praktické (účelné) definice systému je velmi nesnadné, a že i přibližná charakteristika tohoto pojmu je problematická.

Naučný slovník např. definuje systém následovně:

<u>Systém</u>: slovo řeckého původu

Slovo systém se používá v různých souvislostech a jeho význam závisí též na historickém vývoji poznatků. Je blízký pojmům celistvost, organizace, organismus, struktura. Původně znamenal ve starořecké filosofii seskupení, sjednocení, celek. Později se objevila myšlenka o řádu, uspořádanosti prvků, nebo části systému. Představa o struktuře a hierarchii systému vznikla již v antickém myšlení a uplatnila se zejména v tehdejších poznatcích o stavbě živého organismu. V systematické biologii znamená systém uspořádání všech druhů organismů (virů, bakterií, rostlin, živočichů) do přehledné soustavy na určitém základě, zpravidla podle morfologických a fyziologických znaků s přihlédnutím k embryonálnímu, popřípadě ontogenetickému vývoji.

Dřív než se pokusíme o takovou charakteristiku systému, kterou bychom považovali pro naše účely za postačující, povšimněme si ještě, čím může být obsahově (věcně) tvořen jistý celek (entita), o němž bychom měli tendenci hovořit jako o systému.

Za systém máme (za jistých podmínek) tendenci považovat například:

1. reálný objekt (přirozený či umělý) vykazující jisté (systémové) vlastnosti (systémový objekt),
2. projekt reálného objektu,
3. proces, komplex procesů,
4. problém, komplex problémů,
5. soubor informačních nebo regulačních, řídících aktivit vztahujících se k jistému reálnému objektu, k jeho projektu či problému (informační systém, komunikační systém, regulační systém, řídící systém),
6. abstraktní myšlenkovou konstrukci, výrokovou konstrukci, konstrukci matematických výrazů apod. zaváděnou na reálném objektu, jeho projektu, na procesu, na problému nebo na informačním (řídícím) systému,
7. abstraktní myšlenkovou konstrukci, výrokovou konstrukci, konstrukci matematických výrazů apod. vytvářenou bez přímého vztahu k reálnému objektu, jeho projektu, procesu, problému.

Reálný objekt chápeme intuitivně (např. kámen, automobil, buňku, člověka, podnik, společnost).

V procesu systémové analýzy budeme považovat za systém pouze takový reálný objekt, jev, který:

- je tvořen více částmi, mezi nimiž existuje vazba a interakce (včetně interakce mezi částmi a celkem),
- vystupuje vůči svému okolí jako celek,
- součet částí a jejich vlastností nedává vlastnosti celku.

PODNĚT

K zamyšlení

To, že se o jistém reálném objektu vyjadřujeme jako o systému, není ani tak dáno vlastnostmi reálného objektu, jako spíše našim přístupem k tomuto reálnému objektu. Cestující v letadle nemusí pro účely své cesty považovat letadlo za systém (systém bude pro něj spíše proces přepravy z místa A do místa B, včetně dopravy na letiště, registračních, celních a pasových formalit, dopravy z letiště apod.). Fyzik zabývající se studiem minerálů může pro účely svého studia přistupovat ke kameni jako k systému (studovat jeho strukturu, její vlastnosti, závislost těchto vlastností na prvcích struktury apod.).

Podařilo by se vám specifikovat možné reálné objekty v ekonomických procesech které bychom mohli považovat za systém?

Příklady systémů

Jestliže chceme získat představu, co je vlastně systém, můžeme si tento pojem názorněji vysvětlit pomocí příkladů. Za systém můžeme např. považovat:

- Skupinu tělesných orgánů, rostlinných, nebo živočišných společenství, které společně vykonávají jednu, nebo více životních funkcí (nervová soustava, trávicí soustava, krevní oběh, zrak, sluch, ruka, noha, ale i les, řeka, pole, louka).
- Skupinu zařízení a organizací, zabezpečujících oběh cenin (národní banka, banky, pošty, finanční trh).
- Organizovanou společnost nebo společenskou třídu atd.

Z těchto příkladů je vidět, že nelze jednoznačně specifikovat, kde se systém vyskytuje, ani říci jednoznačnou definici. Můžeme konstatovat, že systémy existují a že je můžeme chápat jako:

- způsob popisu, poznání a určení vlastností zkoumaných objektů,
- objekty, které jsou komplexem jednotlivých podskupin nebo prvků či podobjektů provázaných dalším komplexem vazeb.

SHRNUTÍ

Shrnutí

Ze soustavy různých definic a popisů uvedených v předchozím výkladu si můžeme odvodit, že:

pod pojmem systém budeme chápat objekt, který je sám o sobě rozložitelný na podskupiny mající významovou funkci z našeho hlediska zkoumání objektu a mezi kterými existují podstatné a definované vazby z hlediska zkoumání objektu.

Tento objekt je zároveň provázán s okolním světem, tedy se svým okolím, vazbami - vstupy a výstupy systému.

K ZAPAMATOVÁNÍ

Systém …

Systém (soustava)

Za systém budeme považovat **účelově vytvořený**, vymezený nebo účelově chápaný uspořádaný (organizovaný) **funkční celek** (nebo funkční celek považovaný za nějak uspořádaný)

Dřív než budeme pokračovat v jednotlivých definicích systému, chci zdůraznit ještě jednou, že systém je **účelově** definovaný.

Na jednom reálném objektu můžeme popsat více systémů, podle toho, k jakému účelu má daný popis systému sloužit.

V následujícím textu si postupně uvedeme několik definic systémů. Postupovat budeme postupně od jednodušších definic ke složitějším.

Systém

- abstrakce vytvořená jako **nástroj zkoumání** reálných objektů)

Reálný objekt : část toho, co existuje kolem nás

z toho plynoucí
různé definice systémů :

DEFINICE 1-1

Df

Černá skříňka

Systém definujeme jako „černou skříňku“, tj. objekt u kterého známe pouze vstupy, výstupy a chování

K ZAPAMATOVÁNÍ

Černá skříňka

Systém definovaný jako „černá skříňka“ definuje systém na nejnižší rozlišovací úrovni

Pomocí této definice lze definovat systém, o jehož struktuře nemáme žádné informace.

V tomto případě se jedná o určení vnějších tvarů (vlastností), podle nichž lze daný celek identifikovat v jistém prostředí jako jednoznačně rozlišitelnou část (prvek) tohoto prostředí především:

- určením vstupů a výstupů tohoto celku vůči danému prostředí,
- určením funkcí toho celku v daném prostředí,

ÚKOL

Popište bankomat jako systém

K zamyšlení

Řešení:
Vzhledem k tomu, že nemáme žádné informace o vnitřní struktuře systému, můžeme ho popsat pouze z hlediska jeho chování a vnějších vazeb, tj. jako černou skříňku.
Jednoznačně můžeme popsat chování systému, jeho vstupy a výstupy.
Chování: systém po vložení bankovní karty a dalších informací vydá jistý (i nulový) obnos peněz.
Vstup systému: bankovní karta, pin, zadání obnosu peněz…., ale i informace o stavu účtu, platnosti karty apod.
Výstup systému: výdej požadované hotovosti, informace o stavu hotovosti, upozornění na nedostatek hotovosti…., ale i zabavení karty.

Je zřejmé, že systém má jednoznačně dané chování, které můžeme sledovat i odhadnout. Po vložení karty, pinu a požadované částky má systém vždy jednoznačně určené chování, které je definované nám neznámou vnitřní strukturou

Je zřejmé, že na stávající úrovni znalostí nemůžeme vždy popsat jednoznačně chování systému. V tom případě je buď:

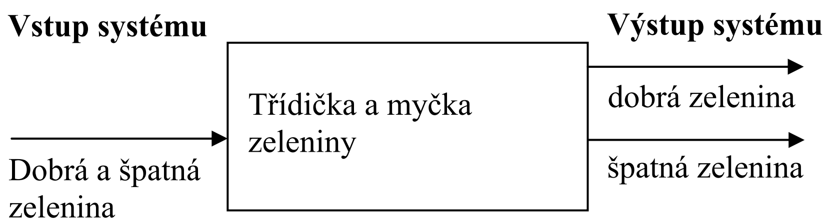
- systém popsaný jako „černá skříňka“ nepostačující
- chování systému je určeno dalšími, zpravidla na čase závislými veličinami (v dalších definicích se seznámíte s pojmem „stav systému“).

ÚKOL

Popište jako systém třídičku a myčku zeleniny.

K zamyšlení

Zelenina se přepírá a prochází myčkou, následně je třízena. Doba mytí je závislá na míře znečištění.



Řešení:

Pokud bychom v tomto případě popisovali systém jako „černou skříňku“, nedojdeme k jednoznačné definici chování systému.

Možné kombinace chování systému jsou následující

Vstup	**výstup**
dobrá zelenina	dobrá zelenina
	špatná zelenina
Špatná zelenina	dobrá zelenina
	špatná zelenina

Nemůžeme jednoznačně rozhodnout, zda při vstupující dobré zelenině bude na výstupu dobrá nebo špatná zelenina, protože to závisí nejenom na stávajícím vstupu, ale i zelenině která je již ve třídičce.

Jednoznačně můžeme popsat pouze vstupy a výstupy systému., nikoli chování.

DEFINICE 1-2

Df

Systém **S={P,R}** je účelově definovaná
množina prvků P={p_i},
kde i je z I (I je množina indexů)
a **množina vazeb** R ={$r_{i,j}$ },
(i,j je z I) **mezi těmito prvky p_i, p_j**
která má jako celek určité vlastnosti

Tato definice popisuje systém, u něhož jsme schopni nějakým způsobem rozlišovat strukturu systému. Systém pak definujeme :

- *určením prvků*, které jej tvoří,
- *určením funkčních vztahů* těchto prvků, a to jak vztahů mezi těmito prvky navzájem, tak i vztahů příslušných (hraničních) prvků k okolí systému, tj. vazeb mezi jednotlivými prvky a mezi prvky systému a okolím systému.

V některých případech můžeme definici rozšířit následovně:

Systém S={P,R} je účelově definovaná ***uspořádaná*** množina prvků P={p_i} a množina vazeb R ={$r_{i,j}$ }, která má jako celek určité vlastnosti

K ZAPAMATOVÁNÍ 2

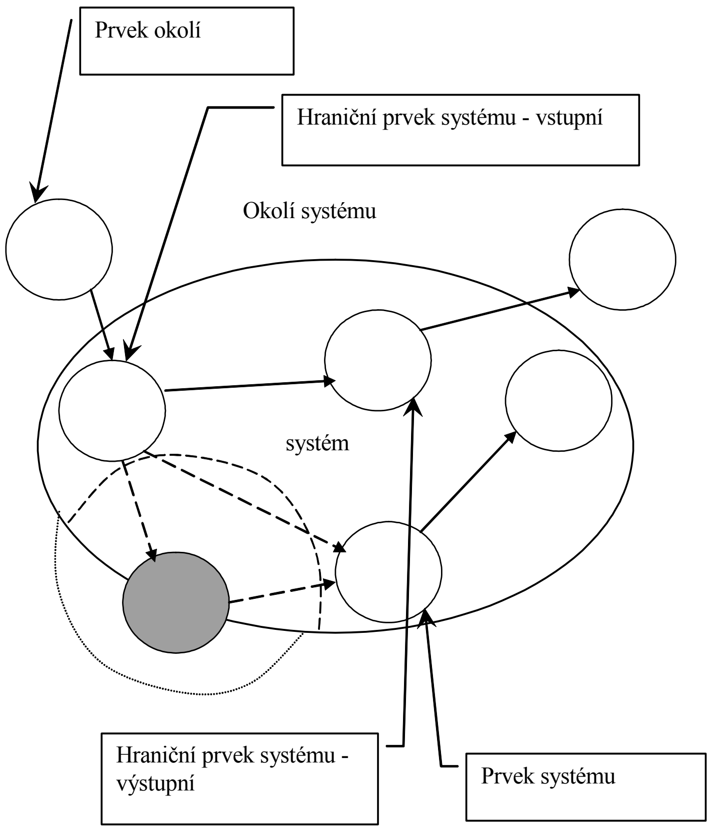
Prvky, vazby

prvky systému p_i	nejmenší elementární části systému na zvolené rozlišovací úrovni, jsou dále nedělitelné
vazby systému	$r_{i,j}$, přímé, nezprostředkované vzájemné závislosti, působení, návaznosti, způsoby spojení mezi prvky p_i a p_j
okolí systému	účelově definovaná množina prvků (systémů), nejsou prvky systému ale mají k němu vazby
universum systému	množina všech prvků systému

Na následujícím obrázku si ukážeme jednoduchou interpretaci systému pomocí prvků a vazeb. Elipsou je zvýrazněný nějaký systém. Prvky systému jsou znázorněny kolečky, vazby šipkami. Šrafovaný prvek slouží k ukázce příslušnosti prvků a vazeb k systému. Pokud je prvkem systému, (hranice systému v blízkosti šrafovaného prvku znázorněny plnou čarou), pak i čárkovaně znázorněné vazby jsou vazbami systému. Pokud prvek není prvkem systému (čárkovaná hranice systému), pak jsou tyto vazby vstupně výstupními vazbami. Výjimku tvoří čárkovaně zobrazená vazba mezi prvky, které zůstaly v systému. I když tato vazba opticky vede přes okolí systému, zůstává vnitřní vazbou systému. Není totiž v interakci s prvkem okolí systému. (Což ovšem neznamená, že by nemohla být při jiné rozhodovací úrovni).

Pokud máme definovaný systém prostřednictví prvků a vazeb, pak zpravidla vazby znázorníme přímkou. Povšimněme si , že na následujícím obrázku jsou vazby mezi prvky zobrazeny šipkami. Šipky nám v popisu upřesňují, který prvek ve vazbě ovlivní svým chování jiný prvek. Říkáme potom, že prvky jsou ve vzájemné relaci.

Obrázek 1-3: systémové pojmy.



Obrázek 1-2: systémové pojmy.

DEFINICE 1-3

Systém je účelově definovaná množina prvků a relací mezi nimi

ÚKOL

K zamyšlení

Pokuste se jako systém popsat křižovatku řízenou semafory.

Možná řešení:

a) Objekt „křižovatka“ můžeme popsat jako černou skříňku, jejímiž vstupy a výstupy jsou přijíždějící, resp. odjíždějící vozidla. Systém má jako celek jednoznačně dané chování. Všechna vozidla která do křižovatky vjedou musí i odjet.

b) Objekt křižovatka můžeme popsat jako množinu prvků a vazeb mezi nimi. Jednotlivými prvky systému budou např. vozidla na hranici křižovatky, jednotlivé cesty křižovatky a semafory křižovatky. Vazbami mezi prvky mohou být vztahy mezi cestami a auty (jede-li vozidlo po dané cestě), vztahy mezi semafory a cestami, (jak semafor ovlivňuje skutečnost, zda vozidlo může po dané cestě jet či nikoli) apod.

Je zřejmé, že na stávající úrovni znalostí nemůžeme opět popsat jednoznačně chování systému.

- Systém popsaný jako „černá skříňka“ nedává žádné informace o semaforech,
- systém popsaný jako množina prvků a vazeb neposkytuje dostatečné možnosti pro popis chování semaforů.

V praxi proto v těchto systémech zavádíme **pojem „stav**“. Následovně můžeme definice systému rozšířit o veličiny „**stav prvku“a „stav systému“.**

DEFINICE 1-4

jestliže je $X = \{ X_1{}^{x} X_2{}^{x} \ \ldots \ {}^{x} X_n \}$

a

$R = \{R_1{}^{x} R_2{}^{x} \ldots \ {}^{x} R_j\}$

pak systém

$S = \{X\,{}^{x}\,R\}$

- x – kartézské součiny množin
- Xi – neprázdné množiny prvků
- Ri – neprázdné množiny stavů

PODNĚT, OTÁZKA,

Podařilo by se Vám na předchozím příkladě s křižovatkou zavedení stavů do definice systému?

K zamyšlení

Řešení:
Je jasné, že semafor má přesně dané chování – může se nacházet pouze v přesně definovaných stavech. Stavy semaforu, ve kterých se může nacházet v určitých časových okamžicích jsou následující :

- Svítí červená barva
- Svítí zelená barva
- Svítí oranžová barva
- Bliká oranžová barva
- Nesvítí žádná barva

Žádnou jinou hodnotu – jiný stav- nemůže semafor nabývat.
Pojem „stav“ má smysl pouze tehdy, jedná-li se o systémy, které sledujeme v závislosti na čase. Stav je jistá vlastnost definovaná v jistém čase. Proto se definice systému pomocí stavů používá u dynamických systémů. Zpravidla je potom v definici systému nutné zavést pojem času.

Máme-li zaveden *čas* (zpravidla diskrétní, abychom se vyhnuli obtížím s heterogenitou částí a proměnných), rozeznáme, že se objekt s časem mění, že se *vyvíjí.* To je třeba zachytit v systémovém modelu. „Snímek“ objektu, vyjádřený v systémových proměnných v daném čase nazveme *stavem systému*. Je-li **L** množina systémových proměnných a **V** množina hodnot, jež tyto proměnné mohou nabývat, lze *stavový prostor* zavést jako **S = LxV**
(x značí kartézský součin)

DEFINICE 1-5

Systém Z je dán jako množina
Z= {S,P,F,M,T}
S – neprázdná množina vnitřních stavů systému Z
P – neprázdná množina stavů vstupu
F – Množina přípustných vstupních funkcí s hodnotami v P
M – množina přechodových funkcí systému Z definovaných na S s hodnotami v S
T – časová stupnice systému Z

T je funkcí přechodů ze stavu do stavu v systému **Z** definovaná na F*T s hodnotami v M, ostatní veličiny jsou shodné s předchozí definicí.

Na této definici si povšimněte několika skutečností:

- Stav můžeme definovat pro celý systém
- Stavy můžeme definovat pro vstupy resp. výstupy systému
- Zavádí pojem „přípustné stavy“ resp. „přípustné funkce“
- Zavádí časovou stupnici systému
- Zavádí pojem „přechodová funkce“

Opět si některé pojmy ukážeme na příkladě křižovatky se semafory.

Je jasné, že semafor nemůže nabývat své stavy (tj. nemůže svítit) náhodně, ale že „budoucí“ stav je závislý na „předchozím“ stavu. Například po červené barvě může následovat pouze buď barva oranžová nebo barva oranžová blikající. Semafor nemůže přejít ze stavu „červená“ do stavu„zelená“.

To, jak může jeden stav přecházet do druhého je dáno nějakým předpisem – *přechodovou funkcí*

Přechodem rozumíme změnu stavu, která se projeví změnou hodnoty nebo vlastní funkce prvku .

Posloupnost událostí je **proces.**
rozeznáváme:

- proces sériový (vždy jediná událost)
- paralelní
- smíšený

Množina všech možných procesů **M** (při regulérních vazbách je ekvivalentní s množinou všech řetězců návazných dvojic prvků) je další charakteristikou systému. Nazývá se *mohutnost*.

Rovněž je nutné definovat přípustné stavy. Asi by nebylo při analýze systému účelné uvažovat např. o tom, že semafor může svítit modře nebo barva oranžová bude blikat krátce a dlouze. Tyto stavy jsou nepřípustné.

Systém popisující křižovatku nám může posloužit i jako příklad pro objasnění pojmu *„stav systému*“**.**

Semafory na křižovatce nemohou své stavy nabývat bez vazby na stavy ostatních semaforů (nemůže např. na všech semaforech současně svítit zelená).

Na základě výše zmíněných informací můžeme předchozí definici rozšířit o přechodovou funkci celého systému **ð : F*T -> M** která převádí přípustné vstupní funkce množiny stavů vstupu v závislosti na množině přechodových stavů systému.

DEFINICE 1-6

Z= {**S,P,F,M,T,ð**}
T – vzorkovaná stupnice časových okamžiků
ð – stavová přechodová funkce celého systému : **ð: F*T -> M**

stav systému v čase t je dán funkcí **ð(f,t)** pro (x) je z **S** při daném počátečním stavu a dané vstupní funkci f

Obdobně můžeme dále upřesnit definici například na základě znalosti přechodových funkcí vstupních stavů , stavu systému a výstupních stavů.

DEFINICE 1-7

Df

$$S = \{T, X, C, Q, Y, \varphi, \eta\}$$

T je množina časových okamžiků
X je množina vstupních situací
C={ **x: T-> x**} je množina přípustných vstupních situací
Q je množina stavů
Y je množina výstupů
$\varphi = \{T \times T \times T \times C \to Q\}$ je přechodová stavová funkce
$\eta = T \times Q \to Y$

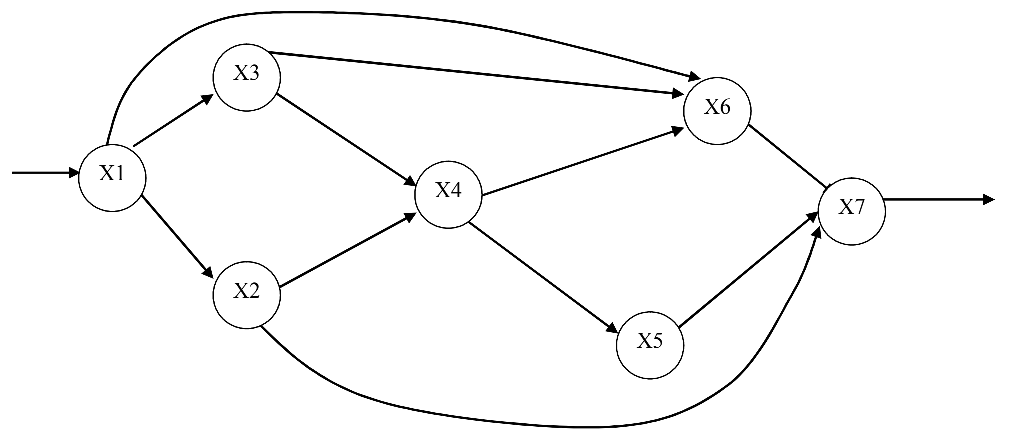
Ne vždy máme matematické nebo jiné exaktní možnosti popisu chování systému. V tom případě můžeme systém popsat na základě poznatků jeho struktury a složení. V daném případě můžeme systém popsat například pomocí grafů. Teorie grafů tvoří samostatnou kapitolu této opory, proto uvedenou definici nebudeme více rozebírat. Pro naše účely stačí, pokud si zapamatujete, že systém můžeme definovat pomocí grafu.

DEFINICE 1-8

Df

$$S = (G \mid A := M_A, V := P_V, g', r_{(t)})$$

G (A,V,g) – orientovaný graf – struktura systému
M_A – množina funkcí ohodnocujících vrcholy grafu
P_V - množina hran kde $p_{i,j}$ je z P_V
g´- indukovaný podgraf



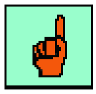
Obrázek 1-4: systémový graf.

	1	2	3	4	5	6	7	E
1		1	1			1		
2				1			1	
3				1		1		
4					1	1		
5							1	
6							1	
7								1
E	1							

Tabulka 4: Incidenční funkce ***g*** ve tvaru matice

Systém popsaný pomocí grafu je grafickou interpretací systému. Tento popis je vhodný především u statických systémů, chceme-li zachytit strukturu a návaznost vazeb. Často se používá přepis grafu podle vazeb (incidencí) do matice. Maticová interpretace umožňuje převést grafický zápis do podoby vhodné pro zpracování výpočetní technikou. V různé literatuře se můžeme setkat s rozdílným označením těchto matic. Nejčastěji se používá označení:

- matice sounáležitosti,
- matice incidenční.



V následujícím textu poznáme, že pojem „incidenční matice“ je obecným pojmenováním matic které vyjadřují vazby systému. Proto se můžeme setkat u těchto matic i s jinými názvy (precedenční matice, sukcedenční matice apod.), které jsou podmnožinou incidenčních matic a upřesňují typy vazeb popsaných v matici.

Obecně je incidenční matice tvořena následovně:

- sloupce a řádky matice jsou tvořeny výčtem zvolených objektů grafu (v tomto případě vrcholy grafu)

- má-li objekt na daném řádku matice v grafu vazbu s objektem ve sloupci, zapíšeme do matice na příslušné místo jedničku

- nemá-li objekt vazbu, daný prvek matice nevyplňujeme.

Uvedené definice netvoří zdaleka úplný výčet možných definicí. Chápejte je jako výběr, který nám ukazuje rozmanitost přístupu k definici systému.

PODNĚT

K zamyšlení

Velmi často při práci s reálnými objekty nevystačíme s tím, že je označíme jako systémy, ale musíme vymezit jistou množinu jejich části, znaků a vztahů, jimiž se budeme zabývat, musíme na daném objektu, procesu, problému účelově vymezit (zavést, definovat) systém.

Například na objektu OPF můžeme definovat systémy pro výuku, pro hospodaření, pro rozvod energií apod. Každý z těchto systémů bude definovaný prostřednictvím jiných prvků a vazeb z množiny objektu OPF.

To, že *jednou hovoříme o objektu* jako o systému a *jindy o systému* definovaném na tomto objektu, působí řadu potíží a nejasností.

Řekneme-li že budeme podnik považovat za systém, pak takový výrok pouze informuje, že budeme podnik považovat za celek mající jisté vlastnosti, skládající se z částí, mezi nimiž existují vazby a interakce a pod.

Pokud nesdělíme, které vlastnosti celku, které části (a jak vymezené), které vazby a interakce mezi nimi máme na mysli, popř. některé další údaje o našem přístupu ke zkoumanému objektu, pak pouhé označení objektu jako systému není postačující. Jakmile však tyto údaje sdělíme a pracujeme s nimi, musíme si uvědomit, že již nepracujeme přímo s objektem (se systémovým objektem), ale se systémem, který jsme si na něm definovali. Při práci s ním vycházíme z hypotézy, že definovaný systém vyjadřuje pro naše účely dostatečně podrobně a dostatečně věrně vlastnosti systémového objektu, na němž byl definován.

Pochopení vztahu mezi systémovým objektem a systémem (systémy) účelově definovaným na tomto objektu je pro práci se systémovými disciplínami zcela nezbytné. Obecně nepracujeme se systémovými objekty (ty jsou ve své složitosti, rozlehlosti pro nás ve všech podrobnostech myšlenkově nepostižitelné a ani by takové postižení nebylo zpravidla pro naše potřeby účelné), ale se systémy definovanými na těchto systémových objektech. Z výroku o vlastnostech a chování definovaných systémů usuzujeme na vlastnosti odpovídajících systémových objektů.

Například nervový systém člověka, tak jak o něm pojednává medicína, je vlastně systémem definovaným na člověku. Forma, v níž se o nervové soustavě hovoří, není totožná s formou její existence jako reálného objektu v lidském těle. V člověku je nervový systém neoddělitelný od jiných systémů, orgánů, funkcí, neexistují hranice, interakce všech složek je velmi vysoká, celistvost člověka jako systému je zřejmá.

Vztah mezi reálnými systémovými objekty a na nich definovanými systémy může být nejasný a nezřetelný.

Jestliže při definování systému na reálném objektu zanedbáváme některé podstatné znaky reálného objektu, může se výsledek dosažený při práci s definovaným systémem od činnosti reálného systému podstatně lišit.

Z toho, co jsme uvedli, je také zřejmé, že na témže reálném objektu (systémovém objektu) můžeme definovat více systémů, a to buď pro různé účely, nebo i pro týž účel (v různé podrobnosti, při různých hypotézách, při různých řešitelských kolektivech apod.).

Systém může být myšlenkovou konstrukcí, výrokovou konstrukcí, konstrukcí matematických výrazů, která nemá bezprostřední vztah k realitě. Může sloužit k znázornění hypotézy, k rozvoji určitých metod a pod.

I v tomto případě je definování systému podřízeno účelu, pro který systém definujeme.

Pro naše účely je nejvhodnější formulovat obecnou charakteristiku systému tak, aby byla

- obecně přijatelná,
- podle potřeby v konkrétních případech zúžena a zkonkretizována.

Systémová věda a zvlášť systémové aplikační disciplíny pracují především se systémy definovanými na reálných objektech. Termín „systém“ budeme proto používat především k označení těchto systémů. Pokud by bylo nutné zvýraznit rozdíl mezi složitými reálnými objekty jako systémy a systémy definovanými na těchto objektech, budeme pro první z nich používat název *reálné systémy.*

Ve vymezení systému se opakovaně zdůrazňuje jeho účelnost. Nemáme-li vymezen účel, pro který systém na objektu zavádíme, chybí kritéria pro jeho vymezení. Účelové vymezení systému musíme respektovat po celou dobu práce se systémem. Použití systému pro jiný účel, než pro který byl definován, může vést k hrubým omylům.

PRŮVODCE STUDIEM 4

V této chvíli máte za sebou část učebního textu, ve které jsme se zabývali definicí systémů. Víte už, že systémy můžete definovat:

- - z pohledu struktury : pomocí vazeb a prvků, nebo
- - z pohledu chování : pomocí stavů přechodů a prvků

Protože systémy jsou vždy definovány v určitém prostředí, seznámíte se v následující části s dalšími souvisejícími pojmy. Částečně si zopakujeme i znalosti z předchozí části a doplníme je o výklad organizace a architektury systémů.

***Neučte se pojmy zpaměti** ale snažte se je pochopi*

t

Opět chci zdůraznit – **neučte se pojmy zpaměti** ale snažte se je pochopit. Představte si ve výkladu konkrétní pojmy. Definujte si systémy na Vám známém prostředí (například učebna, OPF, banka apod.) a snažte se uvedené pojmy v těchto systémech najít a popsat.

U zkoušky můžete základní pojmy vyložit svými slovy. Důležitá není přesná citace ale znalost a pochopení podstaty

1.3.2 Související systémové pojmy

Okolí systému

Za *okolí systému* (podstatné prostředí) považujeme *soubor prvků jistého prostředí, účelově určený* (vymezený) *existencí přímých vazeb těchto prvků k danému systému.*

Okolí je jedním ze základních konceptů systémových věd. Zavádíme jej v počátečních fázích rozpoznávacího procesu. Rozlišení systému a okolí je akt značně subjektivní, přitom však klíčový. Často hovoříme o okolí *blízkém*, které naplňuje vstupy systému a odebírá jeho výstupy. Tím je přirozeně strukturováno. *Vzdálené* okolí nemá rozlišenou strukturu a je se systémem vázáno přes okolí blízké. Někdy zavádíme *vnější prostředí systému* podobně, jako jsme zavedli prostředí vnitřní, jakožto složku *blízkého* okolí.

Prostředí

Za *prostředí systému* považujeme *nespecifikovaný* (nebo specifikaci nevyžadující) *soubor* (množinu) *prvků, rozlišitelných v určitém prostoru a čase. Lze v něm účelově vymezit některý prvek nebo soubor* (skupinu, podmnožinu) *prvků jako určitý systém a některé z ostatních prvků určit jako okolí tohoto systému.*

Z hlediska systému je prostředí jeho *nadsystémem* (systémem vyššího řádu),

systém s jeho okolím jsou pak odloučené (disjunktní) *podsystémy* (podmnožiny, podtřídy) *prostředí*. Doplňkovou množinu (třídu) prvků k systému a jeho okolí nazýváme *ostatní prostředí.*

Prvek systému

Reprezentuje *skladebnou část nějakého celku* (systému), *kterou* při jeho rozkladu (při poznávání jeho struktury) *chápeme na dané rozlišovací úrovni opět jako celek.*

Z hlediska vymezení systému lze rozeznávat prvky vnitřní (které mají jen vazby na jiné prvky systému) a *prvky hraniční* (které mají též vazby na okolí systému); hraniční prvky pak mohou být *vstupní* (jejichž některý vstup je vstupem z okolí systému) a *výstupní* (jejichž některý výstup je výstupem do okolí systému), popř. *současně vstupní i výstupní.*

Subsystém

Každou z částí systému je dále možno označit jako další objekt zkoumání, který se všemi jeho vstupy a výstupy můžeme chápat jako samostatný systém. Takové objekty pak budeme nazývat subsystém původního systému.

Vstup a výstup systému nebo prvku

Vstup systému nebo prvku je *cesta, způsob, nebo cesta i způsob* (podle pojetí), *působení okolí na systém nebo prvek.*

Základní charakteristikami (parametry) vstupu jsou jeho:

- *repertoár* (množina stavů, jimž se projevuje příslušné působení),
- *kalendář* (časová určení daných stavů), popř.
- *trajektorie* (posloupnost, následnost daných stavů).

Výstup systému nebo prvku je *cesta, způsob, nebo cesta i způsob* (podle pojetí) *působení systému nebo prvku na své okolí*. Základní charakteristiky (parametry) výstupu jsou stejné jako u vstupů tj. jeho *repertoár* (množina stavů, jimž se projevuje příslušné působení), *kalendář* (časová určení daných stavů), popř. tr*ajektorie* (posloupnost, následnost daných stavů).

Vazba

Vazba reprezentuje *spojení* (cesta, sdělovací kanál atd.) *mezi dvěma nebo více prvky nebo systémy*.

Uskutečňuje se obvykle prostřednictvím jejich stejnorodých (homogenních) vstupů a výstupů. Existence vazby obvykle souvisí s existencí nebo potřebou existence vztahu mezi nějakou dvojicí prvků nebo systémů v určitém čase. Z různých hledisek lze rozeznávat:

- vazby *pevné*, *těsné* nebo *volné*;
- vazby *přímé* a *nepřímé*; vazby *uzavřené* (včetně zpětné vazby) a *otevřené*;
- vazby *jednoduché*, *paralelní* a *sériové*;
- vazby *svodné* a *rozvodné* a pod.

Vztah

Vztah vyjadřuje *závislost stavu nebo chování nějakého prvku nebo systému na stavu nebo chování jiného prvku nebo systému.*
Může být :

- *jednostranný* (jestliže v určité dvojici prvků je jen stav jednoho prvku závislý na stavu druhého, ale ne naopak),
- *oboustranný* (jestliže v určité dvojici prvků je stav každého z obou prvků nějak závislý na stavu druhého prvku),
- *neutrální* (jestliže stav žádného z obou prvků není zřejmě závislý na stavu druhého prvku).

Jednostranný i oboustranný vztah je podmíněn současnou nebo minulou existencí vazby mezi příslušnou dvojicí prvků, neutrální vztah není podmíněn žádnou vazbou.

Stav

Stav je reprezentován *souborem* (množinou) *vlastností nebo podmínek v určitém čase* (okamžiku, časovém intervalu).

Obvykle se stavem rozumí nikoli všechny možné vlastnosti a podmínky, ale jen ty z nich, které jsou z nějakého hlediska podstatné (např. z hlediska účelu nebo cíle poznávání).

Chování systému nebo prvku

Chování systému nebo prvku je *projev systému nebo prvku v jeho okolí*; časová posloupnost stavů (působení) na výstupech systému nebo prvku. Z hlediska podmíněnosti systému nebo prvku lze rozeznávat:

- *chování determinované*, tj. jednoznačně určené stavem vstupů a vnitřním stavem tak, že každému tomuto stavu odpovídá vždy jen jediné chování; může být buď:
  - kombinační (je-li jednoznačně určeno jen stavem vstupů), nebo
  - sekvenční (je-li jednoznačně určeno nejen stavem vstupů, ale i jistým vnitřním stavem),
- *chování nahodilé*, které je určeno nejen stavem vstupů a jistým vnitřním stavem, ale i na dané rozlišovací úrovni dosud nepoznanými nebo nepoznatelnými stavy tak, že některému stavu vstupů a některému vnitřnímu stavu odpovídají, resp. mohou odpovídat různá chování a nelze s jistotou říci, které chování, kdy a proč nastane.

Funkce systému nebo prvku

Funkce systému nebo prvku *představuje :*

- *chování*, popř. obor chování, *přisouzené systému nebo prvku pro určité podmínky* (tj. kterým se projevuje, nebo má projevit, jakmile nastanou tyto podmínky);
- *poslání systému* nebo *prvku* je přiřazovat podle určitého pravidla určitým stavům vstupů určité stavy výstupů.

Pravděpodobnost, s níž je systém nebo prvek způsobilý plnit určitou funkci, tj. uskutečnit za daných podmínek požadované chování, je mírou jeho spolehlivosti z hlediska této funkce.

Systémy nebo prvky s *determinovaným chováním* se jeví jako *spolehlivé* (absolutně), *s chováním nahodilým* jako *nespolehlivé*, nebo jen *relativně spolehlivé* (je-li pravděpodobnost požadovaného chování blízká jedné a není menší než určitá přípustná hodnota).U každého systému lze rozlišovat :

- *funkce základní* (primární, vnější), jejichž plnění je účelem (smyslem) jeho existence,
- *funkce odvozené* (sekundární, vnitřní), které v systému vznikají z potřeb zachování jeho existence, potřeb vytváření nebo zachování podmínek správného a spolehlivého plnění základních funkcí a pod. (jde např. o funkce organizování, řízení, regulace, vývoje systému a pod.).

Černá skříňka

Černá skříňka je *odborný termín* pro objekt pozorování (studia, zkoumání, popisování a pod.), jehož vnitřní uspořádání (struktura, organizace) není právě, tj. v době pozorování, známé ani poznatelné (objekt je pro svého pozorovatele *černá skříňka*), nebo je sice známé nebo poznatelné, ale právě nemá smysl se jím zabývat, resp. je brát v úvahu (objekt je chápán svým pozorovatelem jako *černá skříňka*), tj. přistupuje se k němu jen zvenku jako k (relativně) uzavřenému celku.
Na *černé skříňce* se poznávají a pozorují především cesty a způsoby, kterými lze na ni působit (její vstupy), cesty a způsoby, jimiž se projevuje (její výstupy), a závislosti mezi poznanými působeními a projevy (její funkce).

Objekt

Označením objekt rozumíme *zkoumanou část reálného světa, předmět našeho zájmu, jehož chování chceme zkoumat.*

Objekt můžeme zkoumat jako podsystém nadřízeného systému, nebo můžeme objektem rozumět celý systém.

Systémová analýza

Souhrn metodologických prostředků užívaných při přípravě a zhodnocování rozhodnutí, respektive řešení složitých politických, vojenských, sociálních a vědeckotechnických problémů.
Jejím základem jsou systémové metody výzkumu, ale také řada matematických disciplín i poznatků soudobých metod řízení. Hlavní přístup spočívá v konstrukci zobecňujících modelů, jež obrážejí souvislosti reálné situace. V širším slova smyslu totéž co *systémové metody výzkumu*

Proces

V oblasti filozofie má „proces“ význam *zákonité, postupně na sebe navazující a vnitřně navzájem spojené změny jevů, věcí a systémů.*

Účelovost

Účelové vytvoření, vymezení, chápání a pod. představuje *vytvoření, vymezení, chápání* a pod. *reality a abstrakce* (nějakého objektu, prvku, vlastnosti atd.) *z hlediska určitého zájmu, cíle, zvoleného přístupu* a pod.

Dochází při něm k odloučení, nebo odlučování podstatného (z daného hlediska) od nepodstatného.

Účelové chování je *chování, které má smysl, které je zdůvodněné.*

Cílové chování je chování *zaměřené na dosažení nějakého cíle, nějakého žádoucího stavu*.

Algoritmus

Algoritmus je předpis (postup, popis postupu, metoda) vedoucí k řešení problému.

Algoritmus musí být:

- *determinovaný*, tj. po každém kroku musí být jednoznačně stanoveno, který krok bude následující,
- *rezultativní*, tj. po konečném počtu kroků musí vést k výsledku,
- *masový*, tj. musí sloužit pro řešení celé třídy problémů (ne pro jeden omezený případ).

PODNĚT, OTÁZKA, ÚKOL

K zamyšlení…

Máte za úkol zabezpečit harmonogram vymalování školy. Nesmí se při tom přerušit výuka. Jak by jste definovali systém?

Jak postupovat.:

Systém je účelově definovaný. Musíme zvolit příslušnou poznávací úroveň, najít prvky a vazby, stanovit cíle (chování) a rozlišit, co nás ještě bude zajímat a co už leží mimo náš požadavek (stanovit okolí systému). Prvky systému budou asi jednotlivé místnosti definované v prostředí školy. Okolím budou všechny objekty nesouvisející s problémem ipřesto, že fyzicky mohou ležet v prostoru na kterém je definovaný systém. Vazby budou dány například plochou stěn jednotlivých místností a časem potřebným k jejich vymalování, počtem natěračů, obsazeností učeben pro výuku. V systému asi bude nutné definovat časové náročnosti jednotlivých pracovních úkonů.

Pokud bychom chtěli systém vyjádřit pomocí grafu, pak jako uzly stanovíme začátky činností a hrany budou tvořeny dobami trvání jednotlivých činností v návaznosti na systémy prvku. („doba vymalování učebny A112“, „doba úklidu učebny A112“ apod.)

SHRNUTÍ KAPITOLY …

Shrnutí

Členění systémových věd jde napříč klasickými obory. Systémový přístup nám dává možnost využívat metodologii a existující aparát. Pro použití systémového přístupu existuje množina základních principů. Existuje vazba na rozhodovací proces a systémový přístup. Při systémovém přístupu pracujeme se systémy. Ty mohou být různě definované podle účelu. Základními prvky systémů jsou prvky, vazby, relace, stavy. Objekty systému závisí na rozlišovací úrovni. Na nejnižší rozhodovací úrovni můžeme definovat systém jako černou skříňku. . Systémy se dají dělit na podsystémy. Systémy mají vazby na okolí. Systémy mají své chování a funkce.

TESTY A OTÁZKY KE KAPITOLE

Test 1

Test č.1

1 systém je definovaný	a) pomocí prvků a obrazů
	b) pomocí prvků a relací
	c) pomocí stavů a obrazů
2. determinované chování je určené	a) stavem vstupů a vnitřním stavem
	b) chováním okolí
	c) vnitřním stavem a vztahem
3. mezi funkce systému nepatří:	a) chování
	b) poslání
	c) nespolehlivost

ŘEŠENÍ A ODPOVĚDI, NÁVODY

Odpovědi na test 1: 1b, 2a, 3c

KORESPONDENČNÍ ÚKOL 1

Popište svými slovy okolí systému, prvky okolí, vazby systému na okolí. Objasněte pojmy repertoár, kalendář a trajektorie vstupu.

PRŮVODCE STUDIEM 5

V předchozí kapitole jste se naučili definovat a rozpoznat systém, znáte základy chování systémů, vztah k okolí systému i základní funkce systémů. V další části se seznámíte s klasifikací systémů. Je stejně účelová jako vlastní definice systémů. Klasifikace je závislá na chování systémů. Principy chování mohou vycházet z chování s genetickým kódem. Proto se seznámíte i s tímto způsobem chování.

2 KLASIFIKACE SYSTÉMŮ

RYCHLÝ NÁHLED DO PROBLEMATIKY KAPITOLY ...

V této kapitole se seznámíme s některými aspekty týkajícími se funkcí systémů, prostředí, ve kterých systémy definujeme nebo zaměření či chování systémů. Tyto předurčují rozdělení systémů.

Rychlý náhled

CÍLE KAPITOLY KLASIFIKACE A CHOVÁNÍ SYSTÉMŮ

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- Tato kapitola je spíše informativní, určená především pro doplnění znalostí získaných v jiných kapitolách

Budete umět

Získáte:

- Získáte představu o různorodosti systémů
- získáte představu o vývoji existujícího systému

Získáte

Budete schopni:

- tato kapitola je zařazena s ohledem na ekonomické zaměření fakulty. Není zde rozebíráno chování systémů z pohledu řízení, regulace, stability apod., což je záležitost spíše technických fakult. Vás má kapitola naučit pohledu na různorodost přístupu k dané problematice.

Budete schopni

ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

Celkový doporučený čas k prostudování KAPITOLY je **dvě hodiny**, jedna hodina je doporučena samostatným úkolům

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY ...

Normální chování, mutace, poruchové chování, měkký systém, tvrdý systém, dynamický systém, statický systém, klasifikace systémů

Klíčová slova

Klasifikace systémů

Klasifikace systémů

Nejčastěji se uvádí klasifikace podle věcných oborů. Rozeznáváme tak *systémy fyzikální, chemické .....biologické, sociální.* Takové dělení není podle systémových vlastností a teoreticky zde tedy nemá místo. Přesto je nelze striktně odmítnout, protože v některých oborech lze nalézt vyšší, organizovanější struktury i formy chování, než v oborech jiných.

Třídy systémů

Můžeme rozlišit 5 tříd systémů:

(1) fyzikální
(2) skladebné
(3) reprodukční
(4) reflexní
(5) volní.

Je však nutno mít na paměti, že v konkrétním případě je prioritní **dosažený stupeň složitosti a organizace** bez ohledu na látkovou podstatu.

Lze rozeznávat (z různých hledisek) *systémy statické a dynamické*; systémy s chováním *determinovaným* či *nahodilým*; *systémy s chováním cílovým* (záměrným) či *živelným*; systémy *jednoduché, složité* až *velmi složité*, *systémy abstraktní* a *konkrétní*; *systémy společenské* (sociální), *přírodní, technické* a různě *smíšené* (např. sociálně-technické) a pod.

Přesná klasifikace je stejně účelová,jako definice systému.

U některých autorů se můžeme setkat s následující klasifikací a typologií systémů

Typologie systémů

Typologie systémů

- podle vlastností prvků, z nichž jsou složeny
- podle toho, jakého typu jsou vztahy mezi prvky
- podle chování

Klasifikace systémů:

Klasifikace systémů

A. přirozené – umělé
B. statické – dynamické
C. abstraktní – konkrétní
D. uzavřené – otevřené
E. jednoduché – složité
F. deterministické – indeterministické (pravděpodobnostní, stochastické)
G. vertikální – horizontální
H. homogenní – heterogenní
I. „tvrdé“ – „měkké“

PODNĚT

K zamyšlení

Zkuste si definovat nějaký ekonomický systém (například výrobní proces, obchodování na burze nebo síť bankomatů…).

- Dovedli by jste zařadit tyto ekonomické systémy do určitých kategorií se kterými se seznámíte v této kapitole?
- Jedná se podle Vás o systémy závislé na čase?
- Jsou ekonomické systémy umělé nebo přirozené?
- Jsou reálné nebo virtuální a proč?

Klaďte si sami podobné otázky a pokoušejte se na ně odpovědět.

Jiné způsoby klasifikace systémů jsou:
podle stupně abstrakce:

abstraktní
obecný
interpretovaný

podle determinovanosti :

deterministický / stochastický
měkký /tvrdý
reálný / virtuální

Interakce systémů s okolím

Podle způsobu interakce systému s okolím můžeme systémy rozdělit na:

- *systém otevřený*, tj. systém, který má celou řadu vazeb na okolí (a to jak vstupních nebo i výstupních); tyto vazby mohou mít často i stochastický charakter;
- *systém relativně uzavřený* tj. systém, který má konečný, přesně determinovaný počet vazeb na okolí (a to jak vstupních nebo i výstupních); nejčastější případ systému, se kterým budeme pracovat a
- *systém uzavřený* tj. systém, který nemá se svým okolím žádnou interakci; většinou takový systém vznikne abstrakcí.

PODNĚT

K zamyšlení

- Dovedete popsat ve svém okolí nějaký uzavřený systém?
- Dovedli by jste svými slovy popsat, v čem je rozdíl mezi systémem otevřeným a relativně uzavřeným?
- Jsou systémy otevřené spíše abstraktní nebo reálné?

Dělení systémů

Systémy můžeme rozdělit z hlediska jejich existence v závislosti na člověku na:

- přírodní (přirozené) systémy a
- umělé systémy.

Jak je zřejmé, tvůrcem široké množiny systémů není člověk. Jde právě o přírodní systémy.
Přírodní systémy můžeme dále dělit na dvě základní subkategorie :

- fyzikální systémy
- živé systémy.

Chování systémů

Vzhledem k závislosti systému na čase lze většinu systémů dělit podle chování.
Systém stabilní - procesy tvoří hladké spojité jednoduché křivky ve stavovém prostoru.
Systém *s divergentním chováním* - divergentně se systém chová pokud se jeho stavový prostor mění. Zvětšuje-li se, jde o rozvoj (regenerativní chování), zmenšování stavového prostoru je projevem degenerativního chování.
Systém *s cílovým chováním.* Chování má svůj cíl. Cílů může být v čase a prostoru víc. Rozlišujeme složku chování implantovanou vstupy a další složku, podmíněnou vnitřními systémovými vlastnostmi.

PODNĚT

K zamyšlení

- Dovedli by jste definovat stabilitu systému bez ohledu na stav systému?
- Budou stabilnější dynamické nebo statické systémy?

Z výše uvedeného je zřejmé, že neexistuje jednoznačné striktní kritérium pro klasifikaci systémů.
Další možné klasifikace naleznete i v jednotlivých kapitolách tohoto textu.

2.1 Měkké a tvrdé systémy

Tvrdý systém

- systém s rozpoznatelnou a explicitně vyjádřitelnou strukturou
- může být modelován formálními prostředky
- formální prostředky jsou používány :
    - pro zápis struktury
    - pro zápis dynamiky.
    - pro řešení úloh systémové analýzy
    - pro projektování
- zpravidla jednoduché technické. systémy

Měkký systém

- charakteristická je obtížná
  a) strukturovatelnost
  b) rozpoznatelnost
- měkkost vyplývá :
  a) z neurčitosti, která je jejich podstatou
  b) z neschopnosti rozpoznat na zvláště složitých systémech jasné struktury

příklad : systémy sociální, ekonomické

PODNĚT

K zamyšlení

Znamená předchozí definice, že tvrdé systémy jsou snáze popsatelné?

práce s měkkými systémy :

a) typická je značná subjektivita a neúplnost jejich rozpoznání
b) použití tradičních formalizovaných prostředků je možné jen ve velmi omezené míře

K ZAPAMATOVÁNÍ 3

Kritériem „tvrdosti“ nebo „měkkosti“ systému není jeho fyzická podstata, ale míra, s jakou může být systém objektivně rozpoznán a popsán formalizovanými prostředky.

metodologie tvrdých a měkkých systémů

- klasický nástroj SA
- rozsáhlý a prověřený aparát založený především na tzv. úlohách na systému, na úlohách oper. výzkumu, teorie grafů, matematiky, statistiky
- přednosti : snadná přenositelnost, objektivita, dokazatelnost vlastností, algoritmizovatelnost a automatizovatelnost řešení
- nevýhody : je zde nebezpečí, deformace obsahu_ problému
- (tzn. matem. prostředky nemodelují přesně stav na realitě, zobrazení řešeného problému je podřízeno syntaxi použitých formalizovaných prostředků)

Metody pro práci s měkkými a tvrdými systémy

- zdůrazňují nutnost úplného poznání a vystižení objektů a jejich vlastností, i když na úkor formální elegance zobrazení,
- přenositelnost metod je možná jen na úrovni příkladů (ty mohou být využity jen jako vzory, ne jako přímé návody),
- nevýhody: metodická nehomogenita, která nedovoluje zjistit míru splnění kritérií optimality, prokázat formálně dosažené efekty a formalizovaně kontrolovat postup řešení,
- jsou spíše pragmatické postupy odvozené ze zkušeností z řešení konkrétních problémů , ale je zde už i určité zobecnění empirických postupů a jejich teoretické propracování.

Systémový přístup při řešení ekonomických a společenských problémů respektuje nejširší souvislosti mezi jevy, a to se projevuje zcela novým, kvalitativním uvažováním a kvalitativní analýzou systému, kdy se zájem manažera soustřeďuje i na oblasti zdánlivě s řešeným problémem nesouvisející: na souvislosti sociální, ekologické, sociologické, kulturní, politické, estetické, mravní, etické, na tradice a zvyklosti. Systém, ve kterém se respektují při rozhodování tyto a podobné vlivy, se nazývá měkký systém. Rozhodování v měkkých systémech je rozhodování, a musí tedy splňovat i všechny zásady rozhodovacího procesu.

Měkký systém a ekonomické systémy

Rozhodování v měkkých systémech vyžaduje zvláštní postupy a speciální podporu a je proto možno pro tyto postupy používat analogicky termín měkké rozhodování.

Měkký systém a rozhodování

Měkký systém je semi-strukturovaný, ale ne každý semi-strukturovaný systém je měkký. Z hlediska teorie rozhodování sice při řešení problému probíhají všechny fáze rozhodovacího procesu, ale techniky používané při identifikaci problému, řešení, výběru řešení a implementaci jsou obecně jiné a obecně složitější.

Při postupech tvrdou metodologií se problém matematicky formalizuje co nejpřesněji, složitý problém se strukturuje podle potřeby algoritmů, ne podle své povahy, je tedy řešení takového problému podřízeno aparátu, který je v dané době k dispozici.

Měkká metodologie

Měkká metodologie vyžaduje zcela jiný přístup ve všech fázích rozhodovacího procesu, tj. ve fázi identifikace, projektu, výběru i implementace. Zdůrazňuje se především potřeba co nejúplnějšího poznání systému a jeho okolí a co nejvýstižnější popis problémů bez ohledu na možnosti kvantifikace nebo formálního popisu jevů. Někdy nelze systém formalizovat ryzími matematickými prostředky, a používají se proto různé jiné formy popisu. Systém a problém je např. možno popsat několika případovými studiemi, které nemusí zcela vystihovat všechny problémy, ale řeší problematiku z několika hledisek. Využívá se skupin expertů, panelových diskusí, neformálních zápisů. Při řešení problému v měkkém systému nebývá výsledkem jednoznačné a konečné řešení. Řešení se může jevit jako doporučení a nemusí být jednoznačné. I výsledek, který pomáhá pochopit tendence změn v měkkém systému, může být akceptován jako úspěšný. Při řešení praktických aplikací není vhodné přísně rozlišovat mezi tvrdými a měkkými systémy - jeden a týž systém se může z určitého pohledu jevit jako tvrdý, z jiného pohledu vyžaduje použití měkké technologie. Řešitel tedy musí oba postupy využívat a vzájemně doplňovat.

Metodologie tvrdých systémů byla vypracována v rámci systémového inženýrství, systémové vědy i obecné teorie systémů a při řešení problémů v tvrdých systémech v podstatě vyhovuje. Je to rozsáhlý a mnohokráte ověřený aparát založený na teorii modelování, teorii rozhodování a dalších kvantitativních disciplínách. Předností tvrdé metodologie je snadná algoritmizovatelnost postupů, přenositelnost z jednoho analogického problému na druhý, možnost automatizace postupů a přesnost v popisu modelů a postupů při jejich analýze.

Metodologie tvrdých systémů

Metodologie měkkých systémů je ve svém pojetí širší a metodologii tvrdých systémů obsahuje jako svoji součást. Rozmach měkkých metodologií je v posledních létech značný. Měkká metodologie je založena na tzv. metapřístupech systémové vědy a snaží se o dokonalé vystižení vlastností systému, někdy i na úkor formální elegance zobrazení. Metodicky je to přístup nehomogenní, obecně nepřenosný, nedovoluje exaktní zjištění, zda bylo dosaženo optimálního exaktního řešení, uživatel se musí ve většině případů spokojit s dosti dobrým řešením.

2.2 Statické a dynamické systémy

Rozdělení na statické a dynamické systémy má v procesu systémové analýzy specifické postavení. Při libovolné klasifikaci systémů můžeme vždy rozlišit, zda budeme systém posuzovat jako statický či nikoli. V tomto studijním materiálu je jim proto věnována samostatná kapitola. Přesto si i na tomto místě uvedeme základní specifika této klasifikace systémů.

Statické systémy.

Statické systémy

Ačkoliv každý reálný systém má část statickou a část dynamickou, přesto Teorie systémů zkoumala obě části samostatně. Obecný statický systém nemá časovou množinu T.

Příklady.

- algebraický systém lineárních rovnic,
- lineární systém nerovnic,
- některé obecné ekonomické modely,
- obecné informační systémy.

Pro statické systémy se vytváří systémová algebra založená na grafech a jejich prezentace pomocí matic.

. Statické pojetí systému (struktura)

Prvky, vlastnosti (atributy) prvků, uspořádání prvků (vazby, vztahy), subsystém, okolí, hranice.

Pro každý systém je typické, že se skládá ze dvou tříd: z třídy **prvků** a z třídy **vztahů** (relací, vazeb) mezi prvky. Těmto relacím říkáme **struktury**. V systému jsou prvky spojeny strukturami v celek, v **jednotu**.

struktura:

Struktura

- množina vzájemných vztahů, jimiž jsou spjaty prvky uvnitř systému (uspořádané zpravidla podle jednotícího principu) a které umožňují předvídat chování systému
- skladba či uspořádání prvků a vazeb

prvek systému:

Prvek

- dále nedělitelná část celku (na dané rozlišovací úrovni tvoří dále nedělitelný celek, jehož strukturu nechceme nebo nemůžeme rozlišit)
- část systému, v níž probíhá transformační proces

atribut (vlastnost, charakteristika) prvku:

Atribut

určuje prvek po kvalitativní nebo kvantitativní stránce

typy prvků podle umístění v systému:

Typy prvků

vnitřní (má vazby jen s prvky stejného systému)

hraniční – vstupní, výstupní (má alespoň jednu vazbu s prvkem, který není prvkem systému)

externí – vnější (má alespoň jednu vazbu s prvkem, který je prvkem systému): vstupy a výstupy

tranzitivní prvek: prochází systémem, určitou dobu je jeho součástí (externí → vnitřní → externí)

subsystém: systém, který je částí (prvkem) jiného systému

Subsystém, vazba

vazba:

- spojení mezi prvky nebo jejich množinami
- určuje posloupnost procesů, tj. určuje, že výstup některého procesu je současně vstupem jiného určitého procesu

okolí systému (prostředí – environment):

Okolí systému

soubor prvků, které nejsou částmi systému, ale jejichž změna může způsobit změnu stavu systému, a těch prvků, jejichž vlastnosti se mohou měnit chováním systému

hranice – rozhraní systému (boundary – interface):

Hranice systému

množina hraničních prvků systému

rozhraní systému, kudy vstupují prvky z okolí a vystupují výstupy ze systému

rozhraní = vazba mezi systémy

Dynamické systémy

Dynamické systémy

Jsou to obecné abstraktní systémy u nichž je časová množina **T** základním formálním prvkem.

Dynamické systémy se člení do dvou skupin:

- Systémy typu VSTUP – VÝSTUP,
- Systémy stavové.

Příklady jednoduchých obecných dynamických systémů:

- Soustava lineárních diferenciálních rovnic.
- Soustava lineárních diferenčních rovnic.

Dynamické pojetí systému (funkce, chování)

Vstupy, výstupy, proces (zpracování – transformace, řízení), chování, cíl.

Dynamický pohled na systém jej chápe jako zpracovatelskou jednotku se vstupy, výstupy, řízením a zpětnou vazbou, vyznačující se cílovým chováním.

chování systému:

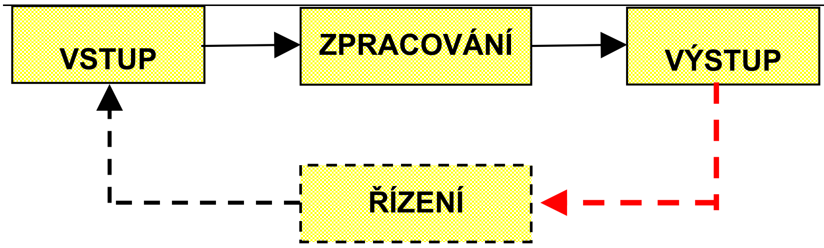
Chování

způsob realizace cílů a obecná charakteristika reakce systému na podněty z okolí

cíl:

Cíl

budoucí stav, uspořádání nebo chování, ke kterému systém směřuje nebo které jsou systému vytyčeny. Formulaci cíle ovlivňují neuspokojené potřeby všeho druhu.



Obrázek 2-1: Základní procesy (operace, funkce) probíhající v rámci systému.

proces

Proces

- základní dynamická jednotka systému, vymezená svým počátkem a koncem
- transformuje vstup na výstup nebo upravuje chování systému

vstup (input):

to, co vstupuje do systému (externí prvky vstupující do systému)

Vstup, výstup

výstup (output):

to, co vystupuje ze systému (externí prvky vystupující ze systému)

výsledek procesu nebo konečný stav systému

typy procesů:

Procesy

1. základní proces (zpracovatelský proces)

transformuje vstup na výstup

transformace:

- pravidlo (předpis), podle něhož se mění vstupy systému na jeho výstupy
- změna stavu nějakého objektu do jiného, zřetelně odlišeného stavu, např. přetvořením, přidáním nebo odstraněním určitých prvků

2. řídící proces

upravuje chování systému

řízení (management): vymezování funkce (cíle) systému a působení na systém za účelem dosažení jeho žádoucí funkce, jeho přibližování k vymezenému cíli. Zahrnuje sledování, vyhodnocování zpětné vazby, ovládání a regulaci struktury i chování systému.

typy řídících procesů:

Typy řídících procesů:

- **sledování (monitorování)**

spojité či nepřetržité získávání relevantních informací o stavu a chování systému (→ rozhodnutí, zda systém směřuje k dosažení svého cíle → regulační proces pak vykoná případné úpravy vstupů a zpracovatelských procesů)

- **ovládání, regulace (control)**

působení na systém, jehož smyslem je udržovat systém nebo jeho výstupy v předem stanovených mezích

- **omezení (constraints)**

proces diktovaný nějakými vnějšími faktory, které nemůžeme ovlivnit (např.legislativa, velikost území, finanční zdroje)

- **cílové chování**

množina transformací (jednorázových nebo postupných) stavů vedoucích z libovolného daného přípustného výchozího stavu systému do stavu definovaného jako cílový stav (cíl)

Cílevědomé chování:

Cílevědomé chování

speciální forma cílového chování, typická pro člověka a společenské skupiny, kdy cíl je vědomě určován a systém se ho snaží dosáhnout a udržet

Zpětná vazba

Zpětná vazba

- data o výkonu (chování) systému
- data nebo informace týkající se prvků a procesů systému
- vazba mezi výstupem a vstupem stejného prvku, subsystému nebo systému, která způsobuje to, že vstup je závislý na výstupu
- užití části výstupu ze systému jako vstupu do systému

K zajištění řádného fungování systému je nezbytná nějaká forma řízení (regulace). Podmínkou řízení je fungování zpětné vazby, která poskytuje odpověď na otázku: Je stav a/nebo chování systému v souladu s jeho stanoveným cílem?

a) pozitivní zpětná vazba

Pozitivní zpětná vazba

data ze zpětné vazby usnadňují a urychlují transformaci ve stejném směru jako předchozí výstupy – efekt je kumulativní

→ exponenciální růst až exploze či exponenciální pokles až zánik

b) negativní zpětná vazba

Negativní zpětná vazba

data ze zpětné vazby přinášejí výsledek v opačném směru k předchozím výsledkům – efekt stabilizuje systém

→ zajištění rovnováhy nebo rovnovážného pohybu, příp. dynamiky v souladu s cíli systému

PODNĚT

Dovedli by jste svými slovy na základě vašich znalostí rozeznat rozdíl mezi metodologií a metodami? Zkuste se nad pojmy uváděnými v textu vždy zamyslet.

K zamyšlení

Nebezpečí případné nekompatibility mezi „tvrdými“ a „měkkými“ nástroji systémových metodologií , které můžeme za současného stavu vývoje pozorovat , nelze řešit eliminací některého z typů nástrojů, ale nalezením a rozvojem dalších metodických prostředků, které by umožnily nejen jejich vzájemné doplňování, ale i rozvoj.

2.3 Chování s genetickým kódem

Systémy mají v sobě zabudovánu tendenci vyvíjet se přednostně určitým způsobem. Podle zvyklostí v biologických vědách hovoříme o chování s genetickým kódem. Funkcím, které jsou při chování podle genetického kódu aktivovány, říkáme *silné funkce*. Pokud chování odpovídá alespoň přibližně genetickému kódu, jde o *normální chování*.

Je-li odchylka od chování podle genetického kódu podstatná, požadavek zachování téhož cíle znamená, že je nutno provést určité zásahy do systému (např. nastavení počátečních stavů). Takové chování nazýváme *adaptivním*. Mění-li se cíl, jde o mutaci. Pokud je *mutace* výsledkem změny struktury, jde o morfogenezi.

Poruchové chování je spontánně vzniklou mutací. Pokud toto chování aktivuje v systému procesy, vedoucí ke změně chování tak, aby byl původní cíl zachován, jde o *samoopravu*.

Samoučící systém vyhodnocuje podle vestavěného (zadaného) kritéria „úspěšnost" (= vzdálenost od optima) dosavadního cílového chování a podle dosaženého výsledku chování modifikuje.
Modifikace je buď zkusmá – učení metodou pokus/omyl, anebo inteligentní. V druhém případě musí systém modelovat sebe a blízké okolí a na základě výsledku modelování predikovat žádoucí směr změn.

PODNĚT

Myslíte si, že samoučící se systém bude spíše měkkým nebo tvrdým systémem. Mají vůbec tyto pojmy nějaký vzájemný vztah? — ***K zamyšlení***

SHRNUTÍ

Pro bližší objasnění uvádíme výčet typů systémů, bez nároku na úplnost. Tento výčet vám má posloužit jako vodítko pro další možné klasifikace systémů. — ***Shrnutí***

Systém, pro který není definováno podstatné okolí, tzn. že nemá definovánu žádnou vnější vazbu (ani vstup, ani výstup).	***Uzavřený systém***
Systém, který má definováno podstatné okolí, tzn. že má definovány vnější vazby (alespoň jeden vstup a/nebo jeden výstup).	***Otevřený systém***
Otevřený systém, který je spojen se svým podstatným okolím malým počtem vnějších vazeb (tj. vstupů a/nebo výstupů systému).	***Relativně uzavřený (otevřený) systém***
Systém, jehož stav se v čase nemění.	***Statický systém***
Systém, jehož stav se v čase mění.	***Dynamický***
Otevřený systém, jehož chování je jednoznačně určeno stavem systému a podněty působícími na vstupech systému.	***Deterministický systém***

Otevřený systém, jehož chování může při témže stavu a stejných podnětech (působících na vstupech systému) vykazovat více alternativních variant chování v závislosti na pravděpodobnostech výskytu těchto variant.	***Stochastický systém***
Systém, jehož alespoň dva prvky jsou předměty (hmotné objekty).	***Konkrétní (reálný) systém***
Systém, jehož všechny prvky jsou pojmové kategorie (abstraktní, nehmotné objekty).	***Abstraktní systém***
Systém, který nemá s jiným systémem žádnou společnou část, tj. žádný prvek ani vazbu (kromě vzájemně sdílených, společných vnějších vazeb).	***Disjunktní systém***
Systém, který má určitou část, tj. některé vnitřní prvky a vazby společné s jiným	***Konjunktni systém***
Nechť *P* je množina prvků systému jistých vlastností a R je množina vazeb (jistých vlastností) mezi nimi, které společně určují vlastnosti, chování a funkce systému jako celku. Jestliže o prvku systému $p \in$ P, resp. vazbě systému r $\in$ R můžeme pouze říci, že jsou prvky množiny P, resp. R s jistou, tzv. *fuzzy mírou* (určenou *funkcí* příslušnosti) $V_p(p)$, resp. $V_R(r)$, pak se systém nazývá *mlhavý.*	***Mlhavý systém***
Systém, u něhož se dosáhlo vysokého stupně konzistence prvků a vazeb, neboť byly odstraněny veškeré redundantní (vícekrát se opakující) prvky a vazby (až na nezbytně nutné, např. z hlediska potřeby zajištění sp*olehlivosti* systému), resp. byly doplněny chybějící prvky a vazby, jež bránily dosažení k*onzistence* systému.	***Integrovaný systém***
Systém, pro který je charakteristické postupné vertikální víceúrovňové rozčlenění na podsystémy (vertikální dekompozice). *Poznámka:* Vertikální dekompozice (rozklad) systému na podsystémy přímo souvisí se soustavou *rozlišovacích,* resp. *hierarchických úrovni.* Každé rozlišovací, resp. hierarchické úrovni odpovídá určitý stupeň podrobnosti zkoumání, který umožňuje přechod k další vyšší (podrobnější) rozlišovací úrovní, resp. nižší hierarchické úrovni, na níž lze rozpoznat systémy, resp. podsystémy vyššího řádu.	***Hierarchický systém***
Systém, který na základě rozboru opakovaných podnětů a svých dosavadních reakcí se snaží dosáhnout účelnějšího chování.	***Učící se systém***
Systém, jehož trajektorie (posloupnost) stavů je jednoznačně určena počátečním stavem systému.	***Stavově určený systém***
Systém, jehož trajektorie (posloupnost) stavů není jednoznačně určena počátečním stavem systému.	***Stavově neurčený systém***

Systém, který se chová tak, aby svými reakcemi na podněty směroval k dosažení požadovaného cíle a požadovaného stavu okolí.	***Systém s cílovým chováním***
Systém s cílovým chováním, který je schopen měnit organizaci jiného systému.	***Organizující systém***
Systém s cílovým chováním, který je svou strukturou předurčen k dosažení několika různých cílů.	***Systém s vícecílovým chováním***
Systém, který po dosažení jednoho cíle pokračuje v hledání (dosahování) mezního (limitního) cíle.	***Systém s mezním chováním***
Systém, který má schopnost nahradit některé své již nevyhovující prvky a vazby prvky a vazbami rezervních systémů nebo prvky a vazbami reprodukovanými z energie a hmoty okolí systému.	***Samoopravující se systém***
Systém, na který působí náhodné vstupy a má alespoň dva prvky : a) *řízený*, který má mít, resp. vytvářet určité požadované výstupy, b) *řídící*, který pomocí zpětné vazby dostává informace o výstupech z řízeného systému a působí na něj tak, aby se dosáhlo požadovaných výstupů systému.	***Regulační okruh***
Dynamický systém, který má tu vlastnost, že je schopný udržet prostřednictvím zpětných vazeb stav a parametry výstupů systému ve stanovených mezích.	***Regulační systém***
Dynamický systém s cílovým chováním, který účelně působí na další (řízené) systémy s cílem dosáhnout jejich žádoucí funkce.	***Řídicí systém, systém řízení***
Systém, který je ovlivňován řídícím systémem, resp. systémem řízení formou ovládání a regulace (struktury, organizace a chování), aby se dosáhlo žádoucí funkce a chování systému.	***Řízený systém***
Vyšší typ systému řízení, který je charakteristický tím, že důsledně užívá v procesu řízení technické prostředky výpočetní, přenosové, organizační a automatizační techniky a ekonomickomatematických metod.	***Automatizovaný systém řízení***
Systém řízení který má vlastnosti integrovaného systému tzn. ze všechny jeho dříve relativně samostatné a dezintegrované podsystémy (včetně informačního) jsou na základě analýzy, syntézy a následné integrace navzájem propojeny.	***Integrovaný systém řízení***
Systém řízení, který synchronizuje (sbližuje) rytmus své vlastní práce s rytmem řízeného systému, jenž pracuje v reálném čase.	***Systém řízení v reálném čase***
Systém, ve kterém prvky jsou informace, resp. data a vazby jsou informační operátory (např. třídění, řazení, řetězení).	***Systém (soubor) informací, soubor dat***

Systém ekonomického řízení

Systém řízení, definovaný na ekonomickém objektu, v němž prvky systému jsou dílčí akty rozhodování, dílčí úlohy, místa zpracování informací a dat spolu s člověkem jako rozhodující a neoddělitelnou složkou. Vazby v systému představují vzájemné sdílené a předávané informace a data.
- *systém vrcholového řízení,* zahrnující hlavně: vymezení cíle ekonomického objektu, vymezení strategického cíle systému řízení tohoto objektu a vypracování dlouhodobých plánů;
- *systém taktického řízení,* který určuje cíle pro systém operativního řízení a kontroluje jejich plnění. Je-li činnost systému narušena náhodnými vlivy, pak systém taktického řízení zajišťuje korekci cílů systému;
- *systém operativního řízení,* který zajišťuje řízení systému v souladu s operativním plánem (udržuje odchylky od stanovených cílů a funkcí řízeného systému v předepsaných mezích). Zvláštním druhem těchto systémů jsou *OLRT* (on - line real - time) *systémy,* u nichž doba odezvy řízeného systému je menší než doba přechodu řízeného systému z původního stavu do stavu nového.

Hierarchický systém řízení

Systém řízení, který má tyto podstatné rysy (základní vlastnosti) :
- sestává z množiny přesně vymezených a navzájem spolupracujících podsystémů
- existuje hierarchické víceúrovňové rozčlenění systému na vzájemně se ovlivňující podsystémy;
- alespoň jeden z podsystémů (zpravidla na nejvyšší hierarchické úrovni) je řídícím prvkem systému. Obvykle však v rámci každé hierarchické úrovně je určen jeden nebo více dalších řídících prvků (podsystémů);
- řídící prvky (podsystémy) jsou vzájemné hierarchicky závislé v tom smyslu, že některé z nich jsou ovlivňovány nebo řízeny řídícími prvky hierarchicky nadřazených úrovní
- priorita činností a cílů hierarchicky vyšší (nadřazené) úrovně, resp. právo ovlivňování podsystémů hierarchicky nižší (podřazené) úrovně podsystémy nadřazené úrovně ;
- závislost činností a cílů podsystémů nadřazené úrovně na skutečném plnění funkcí (činností a cílů) podsystémů podřazených úrovní.

Informační systém

Systém, v němž vazby mezi prvky se chápou jako informace (data), resp. směry jejich toků a jednotlivé prvky jako místa vzniku, sběru, předzpracování, přenosu, uchování, zpracování, distribuce či zániku informací (dat); jeho účelem je tvorba a prezentace informací a dat pro potřeby systému řízení, tj. prezentace potřebných informací a dat *na potřebném místě,* v potřebném *čase,* v potřebném *rozsahu* (množství) *a vhodné formě.*

Část informačního systému, v níž běžné operace (vznik, sběr, předzpracování, přenos, uchování, zpracování, distribuce a zánik) s informacemi (daty) i složitější metody jejich zpracování (setřídění či výběr podle určitého kritéria, jistá dílčí analýza či prognóza atd. se důsledně realizují výpočetní technikou pro zpracování dat.

Automatizovaný informační systém

Informační systém, který má všechny vlastnosti integrovaného systému, tzn. že jednotlivé dílčí, relativně izolované a dezintegrované informační soustavy jsou na základě analýzy, syntézy a integrace spojeny do jednotného a konzistentního systému.

Integrovaný informační systém

Část informačního systému, která slouží pro potřeby řízení a rozhodování vrcholových řídících pracovníků.

Informační systém pro vrcholové řízení

Soustava technických prostředků sloužící potřebám informačního systému, zajišťuje sběr, předzpracování, přenos, uchování, zpracování a distribuci informací a dat.

Komunikační systém

Dynamický hmotný systém s cílovým chováním, jehož účelem je dosáhnout žádoucího vztahu mezi ekonomickými vstupy a výstupy systému při respektovaní sledovaných cílů a za současného optimálního využívání omezených zdrojů.

Poznámka : Ekonomickými vstupy rozumíme využití výrobních faktorů při výrobním a odbytovém procesu a při jejich zajišťování. *Ekonomickými výstupy* rozumíme výsledky těchto procesů, tj. výrobky nebo služby (výrobního i nevýrobního charakteru). Obojí se v ekonomice interpretuje nejen v hmotné, ale především ve finanční podobě (tj. jako náklady, výnosy, příjmy, výdaje).

Ekonomický systém

SHRNUTÍ KAPITOLY

V této kapitole Vám byl dán prostor pro vlastní úsudek. Obsahově se dá shrnout i jako námět pro tutoriál. Připravte si proto na tutoriál otázky o kterých by jste chtěli diskutovat. Zapamatujte si základy dynamických a statických systémů – ještě se s nimi setkáte. Zapamatujte si charakteristiky měkkých a tvrdých systémů.

Shrnutí

TESTY A OTÁZKY KE KAPITOLE

Test 2

Test č.2

1 ekonomika je	a) měkký systém
	b) tvrdý systém
2. statický systém	a) je závislý na čase
	b) není závislý na čase
3. poruchové chování	a) je spontánně vzniklou mutací
	b) je odrazem okolí systému
4. kritériem tvrdosti systému je	a) fyzikální podstata systému
	b) míra rozpoznatelnosti

ŘEŠENÍ A ODPOVĚDI, NÁVODY

Odpovědi na test 2: 1a, 2b, 3a, 4b

KORESPONDENČNÍ ÚKOL 2

Charakterizujte tvrdost ekonomického systému a své tvrzení zdůvodněte. Patří ekonomické systémy mezi dynamické nebo statické. Zdůvodněte.

PRŮVODCE STUDIEM 6

Průchod modulem

V předchozích kapitolách jsme se naučili pracovat se systémem, definovat ho a začlenit. Nyní se pokusíme analyzovat daný systém, naučíme se systém komponovat a dekomponovat a ukážeme si modelování a tvorbu systémového modelu.

3 SYSTÉMOVÉ MODELOVÁNÍ

RYCHLÝ NÁHLED DO PROBLEMATIKY KAPITOLY …	
V této kapitole se seznámíme s některými aspekty týkajícími se funkcí systémů, prostředí, ve kterých systémy definujeme nebo zaměření či chování systémů. Tyto předurčují rozdělení systémů.	*Rychlý náhled*

CÍLE KAPITOLY SYSTÉMOVÉ MODELOVÁNÍ

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět: • Základy systémového modelování • Metodiku související se systémovým modelováním • Využít model • Specifikovat předpoklady úspěšného modelování • Identifikovat základní složky matematického modelu • Orientovat se v modelování za nejistoty a rizika	*Budete umět*
Získáte: • Znalosti o formulaci problému, zavedení systému a konstrukci modelu • Základní znalosti o kvantifikaci a výpočtu modelu • Základní znalosti o testování modelu • Pochopíte význam systémového modelování • Přehled o pojmu informace a entropie	*Získáte*
Budete schopni: • **Najít vztah mezi subjektem a modelem** • **Klasifikovat modely** • **Stanovit rozlišovací úroveň** • **Stanovit strukturu, organizaci a architekturu systémů**	*Budete schopni*

ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

Celkový doporučený čas k prostudování KAPITOLY je dvě hodiny, jedna hodina je doporučena samostatným úkolům

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

Model, modelování, klasifikace modelů, matematické modely, struktura modelů, organizace modelů, architektura modelů, kvantifikace modelů, informace, entropie

Klíčová slova

3.1 Model

Modely jsou účinné nástroje i prostředky pro řešení složitých a rozsáhlých problémů. Pomocí modelů provádíme statické i dynamické analýzy, používáme při tom metodologii statického i dynamického modelování.

Modelování (modelová tvorba)

Modelování

- konstrukce zobecňujících (příp. zjednodušujících) modelů, jež odrážejí vlastnosti, vztahy a chování reality
- obor studující otázky racionálního zhotovení modelů splňujících podobnostní podmínky, což zaručuje, že experimentální výsledky lze přenést z modelu na skutečné provedení (dílo)
- použití modelového zobrazení ve formě matematického, verbálního, grafického, ikonického či jiného modelu
- nástroj umožňující místo teoretického zkoumání použít empirické metody (např. experiment)

Model.

Model

Koncept *modelu* není „objevem" systémových věd . Pro vysvětlení si musíme uvědomit, že hovoříme-li o modelu, implicitně předpokládáme existenci původního *objektu* - *originálu*. Model je pak jiný objekt, často zcela odlišné povahy, který však má s originálem některé vlastnosti do té míry *podobné*, že na něm lze určité aspekty originálu analyzovat případně i predikovat.
Mezi originálem a modelem existuje vztah homomorfizmu, zobrazení **do**.
Systémový model je model, který má vlastnosti systému.
Míra zjednodušení (při daném účelovém hledisku) je dána schopnostmi subjektu.
Mezi objektem a systémovým modelem (= systémem) požadujeme při

vytknutém účelovém hledisku izomorfizmus.
Pozn.: Připomeňme:
homomorfizmus, (zobrazení ***do****) je relace reflexivní (xRx)*
a tranzitivní (xRy $\cup$ *yRz* $\Rightarrow$ *xRz)*
izomorfizmus (zobrazení ***na****) je navíc relace symetrická (xRy*$\Leftrightarrow$*yRx)*
Při zobrazení ***do*** *se tedy může několik prvků originálu zobrazit do jediného prvku modelu, kdežto izomorfizmus znamená ekvivalenci.*

Zobrazení systému modelem
Izomorfní : přesný obraz (každému prvku a vazbě systému odpovídá prvek a vazba modelu – přesná kopie)
Homomorfní : platí pouze pro vztah model -> systém

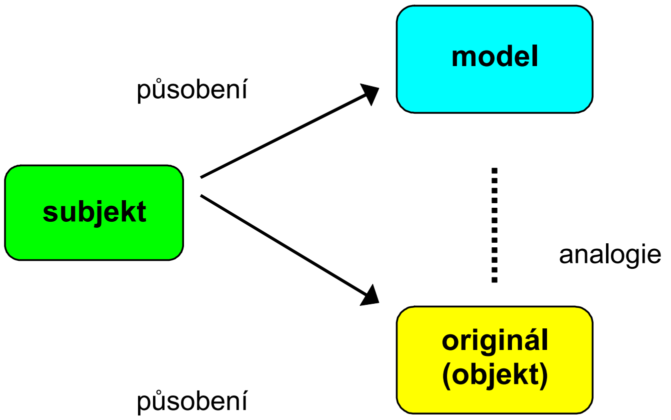
model
- zjednodušené zobrazení systému, zavedeného na objektu, které se s tímto objektem shoduje v podstatných vlastnostech
- analogicky (schéma, struktura, znakový systém) určené části přírodní nebo sociální reality jakožto originálu; tento model (analog) slouží k hlubšímu poznání originálu, jeho konstrukce a organizace, ale i přeměn a jejich podmínek

využití modelu:
- studium struktury původního objektu (např. prostřednictvím verbálního popisu jinak nedostupného objektu) ***Využití modelu***
- myšlenkové nebo materiální experimenty
- simulace

základní typy modelů:
statický model: zobrazuje zpravidla **struktury** (vnitřní uspořádání) jevů a procesů ***Typy modelů***
dynamický model: zobrazuje převážně **chování, funkci** systémů

technika:
popis operací při řešení problému *(co dělat)* ***Metodika***
metodika:
postup, jak zvolit operace vhodné k řešení problému *(jak to dělat)*

1. obecné metody	**2. speciální metody**
zajímají nás **objekty**	zajímají nás **data**
lze užít pro znázornění **libovolné reality**	užíváme výhradně pro navrhování **informačních systémů**
zobrazujeme všechny zpozorované objekty a procesy	soustředíme se pouze na to, co bude zpracováno v počítači – objekty a procesy mimo dosah informačních a komunikačních technologií nepopisujeme



Obrázek 3-1: Vztah subjekt – model – originál

PODNĚT, OTÁZKA, ÚKOL

K zamyšlení

Dovedli by jste na objektu OPF nalézt systém, který se dá popsat statickým modelem? Analogicky nalezněte systém, který je možno popsat dynamickým modelem.

3.2 Systémové modelování

Systémové modelování

Metodologie modelování se rozvíjí v rámci samostatné odborné specializace “Teorie modelování”, která je součástí systémové vědy. Vysvětlíme některé pojmy teorie systémového modelování:

Formulace problému

1) **Formulace problému**. Správná formulace problému je velmi důležitá pro další postup řešení. Je třeba vyjít z diagnostiky potíží systému, z celkové jeho analýzy a stanovených cílů.

Zavedení systému

2) **Zavedení systému**. Realita je složitá, je třeba ji vymezit a pro účely modelu zjednodušit. Proto definujeme na realitě systém, tj. prvky, vazby, vstupy a výstupy, funkci. Jde o proces simplifikace (zjednodušení) problému, kdy nepodstatné oddělujeme od podstatného.

Konstrukce modelu

3) **Konstrukce modelu.** Pro konstrukci modelu je rozhodující účel, který sledujeme. Ten rozhoduje o tom, co budeme v ekonomické skutečnosti pokládat za významné a co zahrneme do modelu a co jako podružné ponecháme mimo model a mimo naše úvahy. Tvorba modelů patří k tvůrčí činnosti a vyjadřuje kromě dobré znalosti modelové techniky také dobrou znalost věcné problematiky. Každý model musí vycházet z konkrétní hypotézy odvozené ze skutečnosti.

4) Testování modelu. Model je jen přibližným obrazem reality. Je dobrý, jestliže umožní přesně sledovat důsledky změn ve vstupních informacích systému na výslednou efektivnost systému. Cílem testování modelu je prověření správné struktury modelu, jeho vypovídací schopnosti, formálních kvantitativních vlastností modelu včetně odstranění formálních chyb. Testování modelu provádíme tak, že modely naplníme empirickými číselnými údaji, dosažené výsledky analyzujeme a porovnáváme s reálnou skutečností. Ověřování lze promítat i do minulosti ("ex post") i do budoucnosti ("ex ante").

Testování

5) Kvantifikace modelu. Je naplnění modelu konkrétními údaji a daty. Je třeba dbát na jejich hodnověrnost.

Kvantifikace

6) Výpočet modelu. Existují dva způsoby odvození řešení z modelu:

Odvození řešení

- *Analytická metoda* spočívá v nalezení řešení pomocí analytických matematických metod (řešení soustav rovnic, řešení úlohy na vázaný extrém apod.).
- *Numerická metoda* se používá při řešení modelů, u kterých neumíme problém řešit analyticky, nebo v případech, kdy je analytické řešení obtížné a komplikované (metody Monte Carlo, simulace na počítači apod.).

7) Interpretační analýza. Ta představuje převod výsledků do reálného systému. Je to aktivní proces, při kterém je třeba provádět neustále logickou kontrolu smyslu řešení, vyhnout se nebezpečí mechanického používání modelové techniky. Významným prvkem interpretace je promítnutí výchozích hypotéz a předpokladů do výsledku řešení.

Interpretační analýza

8) Syntéza poznatků. Shrnutí získaných poznatků včetně všech aspektů, které nebyly do matematického modelu zahrnuty.

Syntéza

9) Implementace. Implementace je volba postupu aplikace vybraného řešení v praxi.

Implementace

Podpora rozhodování s využitím matematického modelu je odborná a kvalifikovaná činnost, vyžadující týmovou spolupráci odborníků z různých oblastí: odborníka z oblasti oboru řešené problematiky, specialistu v oblasti MS, specialistu z oblasti informatiky, apod.

Obecné zásady systémového modelování

Metodologie systémového modelování se vyvíjí jako samostatná odborná specializace, která se v současné době zařazuje do Teorie systémů jako součást tzv. Systémové analýzy. Obecné zásady, které je třeba při matematickém modelování systémů respektovat, lze velmi zjednodušeně popsat následujícími kroky:

1. Identifikace problému z hlediska matematického modelování.

Identifikace

- *Rozhodnutí, zda se jedná o problém standardní, již řešený a volba standardního modelu.*
- *Rozhodnutí, zda se jedná o nový, dosud neznámý problém a zda použijeme upravený standardní model nebo vytvoříme model nový. K tomu je třeba zpravidla vytvořit tvůrčí odborný tým.*
- *Rozhodnutí, zda model bude statický, dynamický, dynamizovaný, deterministický, stochastický. Zda bude deskriptivní, nebo normativní. Zda systém bude modelován jedním modelem či více modely a jak budou vzájemně uspořádány (propojeny).*

2. Konstrukce modelu.

Konstrukce

- *Organizace dat*
- *Validita modelu.*

3. Výpočet řešení modelu.

- *Volba algoritmu řešení.*
- *Výběr variant řešení.*

4. Výběr užší skupiny dostatečně dobrých řešení.

- *Výběr vhodných řešení se provádí v rámci algoritmu řešení.*
- *Výběr vhodných řešení provádí manažer.*
- *Výběr vhodných řešení provádí manažer s pomocí expertů.*

5. Experimentování s vybraným řešením.

6.Výběr optimálního řešení.

7. Implementace.

- *Monitoring implementace.*
- *Sledování zpětné vazby.*
- *Úpravy modelu a nová implementace.*

Předpoklady úspěšného modelování

1) Znalost metod a prostředků ekonomické analýzy. Je důležitá při volbě správné metody a modelu.

2) Znalost techniky modelování. Úsilí vynaložené na konstrukci a využití určitého modelu musí být úměrné jeho přínosu.

3) Existující systém řízení. Pracovníci praxe musí mít dostatečný prostor pro vlastní rozhodování (iniciativa) a musí být hmotně zainteresováni na využití modelové techniky (motivace).

4) Výpočetní technika. Všechny tři stránky výpočetní techniky, tj. hardware, software a orgware musí být v rovnováze.

5) Informační základna. Každý model je třeba zaplnit vstupními údaji, které vycházejí z konkrétních hodnověrných údajů, zdůvodněných norem a normativů. Údaje musí být ve formě vhodné pro kvantifikaci modelu. Je třeba vytvářet specifické informační systémy (banky dat).

Význam systémového modelování

Ekonomicko matematické modely poskytují srozumitelný popis všech relevantních faktorů dané situace a umožňují odhalit podstatné vztahy mezi prvky studovaného systému. Použití matematického modelu má řadu výhod:

1) Umožňuje zjistit informace o chování systému, i když učinit závěry přímo z originálu je nemožné nebo obtížné.

2) Urychluje proces rozhodování. Procesy, které ve skutečném systému probíhají pozvolna a dlouhodobě, lze pomocí modelu sledovat během několika okamžiků.

3) Usnadňuje a racionalizuje rozhodovací proces. Modelová forma zobrazení systému je přehledná, stručná a umožňuje postup při řešení problému podle potřeby uživatele. Modely vnášejí pořádek do našeho myšlení.

4) Umožňuje variantní řešení, tj. propočet celé řady variant možných výsledků.

5) Odstraňuje nebezpečí vzniku ztrát v důsledku chybného rozhodnutí (na rozdíl od experimentu v reálném systému).

3.3 Matematické modelování

Základní složky matematického modelu

V každém matematickém modelu můžeme rozlišit tři základní skupiny objektů, ze kterých se model skládá. Jsou to
1. proměnné a konstanty,
2. matematické struktury,
3. řešení.

Klasifikace modelů

Reprezentace nebo abstrakce reality pomocí modelu předpokládá použití vhodných zobrazovacích prostředků. Podle typu zobrazení reality do modelu rozlišujeme tři základní typy modelů:
1) Modely ikonické. Jedná se o fyzikální repliky reálného systému (předmětu). Jsou přesné, nebo zjednodušené, ve zmenšeném, nebo zvětšeném měřítku. Příklady: modely strojů, repliky historických automobilů, modely staveb, model atomu.
2) Modely analogické. Jedná se o mechanické a elektronické analogy systémů. Příklady: plány měst, mapy, plány inženýrských sítí, analogový model Steiner-Weberovy úlohy chemické vzorce.
3) Modely matematické. Soustavy funkcí, soustavy rovnic, soustavy funkcionálů. Matice a grafy. Speciální programy počítačů. Příklady: Rovnice

speciální teorie relativity. Vzorec pro výpočet rychlosti volného pádu tělesa ve vakuu. Model zemědělské výroby farmy pomocí lineárního programování. Síťový model systému návazných procesů. Simulace systému hromadné obsluhy. Program pro řízení manipulátoru.

Proměnné a konstanty v matematickém modelu

1. *Proměnné a konstanty identifikované (pojmenované).* Identifikovaná proměnná nebo konstanta představuje konkrétní vlastnost reálného objektu, což se projevuje *názvem a mírou*. 2. *Proměnné a konstanty neidentifikované (pomocné).*Slouží pro formalizaci matematického zápisu, chod algoritmů apod.
3. R*ozhodovací proměnné.* Představují zpravidla nejdůležitější procesy modelovaného systému, které se v matematickém modelování nazývají aktivity nebo entity nebo rozhodovací proměnné. Příklady: v modelu optimalizace portfolia proměnné $x_1, ..., x_n$ představují počty akcií podniků P_1,
4. *Vstupní proměnné a konstanty, výstupní proměnné a konstanty (endogenní a exogenní proměnné a konstanty).*
5. *Nekontrolovatelné proměnné a konstanty.*Představují procesy, jejichž míry nelze zjistit. Příklady: Velikost míry inflace v chaotických a nestandardních podmínkách nelze popsat ani pomocí pravděpodobnosti ani pomocí fuzzy míry.
6. Výsledné proměnné a konstanty. Udávají hodnoty řešení, popisují výslednou informaci.

Matematické struktury (omezující podmínky) v matematickém modelu

V ekonomicko matematických modelech se matematické struktury nazývají omezující podmínky. Dělíme je podle použitého matematického aparátu z některého odvětví matematiky:

1) *Analytické struktury*. Jedná se o objekty z odvětví Matematické analýzy, Lineární algebry a dalších odvětví matematiky. Příklad: soustavy rovnic (lineární, nelineární, skalární, vektorové, diferenciální, integrální, maticové, atd.), soustavy nerovnic (lineární, nelineární, se smíšenými omezeními, atd.), funkce (elementární, složené, homomorfní, stochastické, fuzzy, atd.), funkcionály, atd.

2) *Geometrické struktury*. Model je popsán grafickými prostředky: body, přímkami, rovinami, křivkami. Příklad: Geometrická interpretace a řešení úloh v modelech lineárního programování. Grafická interpretace rovnováhy nabídky a poptávky v ekonometrických modelech, atd.

3) *Topologické struktury*. Modely jsou vytvářeny pomocí objektů matematické teorie grafu. Příklad: Modely maximálních toků v sítích, nejspolehlivější cesty v grafu/síti. Dopravní a distribuční systémy zobrazené grafem. Logistické systémy popsané pomocí grafů a schémat. Topologické modely lze zpravidla ekvivalentně zobrazovat pomocí tzv. incidenčních matic (tabulek, matic souslednosti, apod.).

4) *Artificiální struktury*. Modely jsou popsány prvky programovacího jazyka. Příklad: Model systému zásob popsaný vývojovým diagramem (simulačním jazykem SIMULA 67, objektově orientovaným jazykem Smalltalk, atd.).

5) *Kvalitativní struktury.* Model je popsán pomocí kvalitativních rovnic, kvalitativních nerovností nebo vágně. Příklad: kvalitativní matice, kvalitativní graf, jazykový operátor "velmi" v teorii fuzzy množin, atd.

Některé speciální a především již standardní struktury matematického modelu mají specifické názvy. Příklady: Cobb-Douglasova funkce. Účelová funkce. Podmínky nezápornosti. Lagreangova funkce. Wolfeho podmínky.

Řešení modelu klasifikujeme podle hlediska cílů modelování:

Řešení matematického modelu

1) *Přípustné řešení, nepřípustné řešení* - řešení vyhovuje, řešení nevyhovuje omezujícím podmínkám.

2) *Maximální řešení, minimální řešení* - řešení splňuje maximalizační nebo minimalizační cílovou podmínku.

3) *Optimální řešení* - řešení vyhovuje nejlépe požadovanému cíli podle představ a požadavků manažera (tj. nemusí být nutně maximální či minimální).

4) *Výchozí řešení* - řešení zpravidla zadané odhadem nebo sestrojené vhodným jednoduchým algoritmem. Není optimální, používá se jako start v algoritmech typu “step by step”, které jsou založeny na postupném zlepšování výchozího řešení až do jeho optimálního tvaru.

5) *Výsledné řešení* - řešení, které může být vybráno jako optimální. Výsledných řešení může být k disposici konečně nebo i nekonečně mnoho. Z množiny výsledných řešení (alternativ) vybírá manažer řešení pro praxi nejvhodnější (optimální).

6) *Alternativní řešení* - řešení, které je podle předem zadaných kriterií rovnocenné s jiným řešením. Příklad: Dvě strategie investic do vybavení podniku předpokládají sice různé technologie, ale garantují dosažení stejné výše zisku.

7) *Aproximativní řešení* - řešení vyhovuje omezujícím podmínkám přibližně nebo se k cíli pouze přibližuje (zpravidla se požaduje, aby termín „přibližně“ byl vhodným způsobem determinován, např. byla známa výše ztráty, když řešení použijeme).

Klasifikace matematických

Matematické modely se používají prakticky ve všech vědách a rozvoj jednotlivých věd je na jejich využívání bezprostředně závislý. Stupeň matematizace vědního oboru je uznávaným měřítkem jeho kvality a zárukou rozvoje. V oblastech přírodních a fyzikálních věd, technice, ekonomii, managementu, marketingu, sociálních a společenských vědách se používá velké množství různých typů matematických modelů, které můžeme klasifikovat podle různých hledisek. Nejobecnější klasifikace dělí matematické modely do dvou skupin:

modelů

- Modely deskriptivní.
- Modely normativní.

Modely deskriptivní

Slouží k zobrazení prvků a vztahů v systému a k analýze základních vlastností systému. *Nezajímá nás určité cílové chování* systému, pouze systém sám o sobě. Pomocí těchto typů modelů se odvozují další vlastnosti systému, určuje se jeho rovnovážný stav, stabilní stav, vliv změn uvnitř i ve vnějším okolí systému na jeho chování. Příklady: Rovnice $E = mc^2$, ekonometrický meziodvětvový model "Input-Output", soustava diferenciálních rovnic modelující procesy zrodu a úmrtí, simulační model modelující výskyt škůdců porostu, rovnice nabídky a poptávky v konkurenčním prostředí.

Modely normativní

Slouží k analýze a řízení systému tak, aby byl splněn nějaký cíl nebo množina cílů. *Zajímá nás cílové chování systému*. Normativní model bývá často doplněn tzv. cílovou (účelovou) funkcí nebo soustavou takových funkcí. Nutnou součástí normativního modelu je extremální (minimální/maximální) *řešení*, které dává návod, jak požadovaného cíle (resp. cílů) dosáhnout. Normativní modely, jejichž cílem je nalezení optimálního řešení, se nazývají optimalizační modely.

Klasifikace normativních a deskriptivních modelů

Modely deskriptivní i normativní jsou dále děleny podle typu systému, k jehož modelování slouží, nebo podle typu matematických složek (proměnné, struktury, řešení) jež obsahují.

1) *Modely statické.* Model zobrazuje a analyzuje systém bez zřetele k jeho časovému vývoji. Zobrazení se týká zpravidla určitého časového intervalu (týden, měsíc, rok, apod.).

2) *Modely dynamické*. Model zobrazuje a analyzuje systém v průběhu času. Zobrazení může být typu “ex post” nebo “ex ante” a respektovat krátký či delší časový horizont.

3) *Modely dynamizované*. Zpravidla se jedná o vyjádření časového prvku ve statickém modelu pomocí speciálních modelových technik. Dynamizované modely se používají v případě, kdy odpovídající dynamický model je velmi složitý nebo jej nedovedeme soudobými modelovými technikami spolehlivě konstruovat.

4) *Modely deterministické*. Všechny proměnné, konstanty a funkce v modelu jsou deterministické (nenáhodné) veličiny nebo funkce.

5) *Modely stochastické*. Alespoň jedna proměnná, konstanta nebo funkce v modelu je náhodná veličina nebo náhodná funkce.

6) *Fuzzy modely*. Některé proměnné, konstanty nebo funkce jsou fuzzy veličiny, nebo fuzzy funkce.

Nejistotou při zobrazení systému pomocí matematického modelu rozumíme situaci, kdy nemáme k disposici všechnu potřebnou informaci nebo kdy některé z informací jsou nespolehlivé.

Modelování za nejistoty a rizika

Modelování při riziku předpokládá, že některé informace jsou náhodné veličiny, nebo že některé procesy jsou popsány náhodnými funkcemi. V případě modelů s rizikem můžeme velikost rizika při přijetí řešení popsat pomocí pravděpodobnostních charakteristik.

Analogicky můžeme považovat modelování za rizika i v případě použití fuzzy veličin, nebo fuzzy funkcí. Velikost rizika lze potom vyjádřit buď pomocí vhodné fuzzy míry nebo tuto fuzzy míru transformovat na subjektivní pravděpodobnost.

Všechny standardní matematické modely jsou řešitelné pomocí software, který je k dispozici na trhu pro různé úrovně použití - od pedagogických (školních) programů až po vysoce profesionální programy. Mezi nejznámější produkty patří LINDO (ve verzích LINGO, What´s the best), QSB. Mnoho úloh lze řešit v produktech MS-Excel, SAS, Maple, aj.

V procesu modelování je nutné mít stěžejní znalosti o systému. Je nutné dokonale popsat strukturu, architekturu i informační vazby v systému.

V následujícím textu proto upřesníme související systémové pojmy.

3.4 Organizace, struktura a architektura systému

3.4.1 Rozlišovací úroveň

K ZAPAMATOVÁNÍ 4

Rozlišovací úroveň představuje:

- *úroveň podrobnosti poznání* nebo *poznávání* objektů nebo jevů;
- *úroveň rozpoznatelnosti* nebo *rozpoznávání částí na nebo v nějakém celku* (prvků, vlastností, vazeb, souvislostí a pod.).

Rozlišovací úroveň

Malá rozlišovací úroveň odpovídá *malé podrobnosti poznání*, *velká rozlišovací úroveň velké podrobnosti poznání.*
Dosahovaná rozlišovací úroveň může být zvolená (je-li úroveň podrobnosti poznání závislá na vůli pozorovatele), nebo dosažitelná (je-li tato úroveň

závislá na možnostech či schopnostech pozorovatele ve vztahu k vlastnostem předmětu poznání).

K ZAPAMATOVÁNÍ 5

Rozlišovací úroveň

Při analýze systémů se může zvětšování rozlišovací úrovně dosahovat v podstatě dvojím způsobem, a to:

1. *postupným poznáváním skladby systému* jeho rozkladem (dekompozicí, diferenciací) na jednodušší části, prvky (podsystémy, podsystémy atd. až po elementární prvky),
2. *postupným poznáváním různých charakteristik* (vlastností, parametrů), *vazeb, vztahů* a pod., *systému i jeho prvků*, podstatných z hlediska jeho určité funkce.

Rozlišitelné, popř. měřitelné kroky postupného zvětšování nebo zmenšování rozlišovací úrovně (např. podle hierarchických stupňů v dané struktuře) nazýváme stupni rozlišovací úrovně; *nultým stupněm* je zpravidla *poznání prosté existence objektu* (nejmenší rozlišovací úroveň), tj. vyšší stupeň odpovídá větší rozlišovací úrovni a naopak..

PRŮVODCE TEXTEM, PODNĚT, OTÁZKA, ÚKOL

K zamyšlení

Zkuste na objektu OPF popsat systém „výuka“ na dvou libovolných různých rozlišovacích úrovních

3.4.2 Struktura a organizace systému

K ZAPAMATOVÁNÍ 6

Struktura

Struktura systému

Struktura systému nám představuje :

- *skladbu prvků v systému* (např. hierarchická struktura);
- *vazby mezi prvky systému;*
- *množinu prvků a vazeb mezi nimi*.

K ZAPAMATOVÁNÍ 7

Organizace

Organizace systému.

Organizace systému reprezentuje *stav systému určený takovými vztahy mezi prvky systému, kterými se koordinují jejich funkce a chování k dosahování nějakého účelu nebo cíle, k plnění nějaké funkce systému jako celku*

- Organizací se chování každého prvku systému stává funkčně závislým na určitém požadovaném chování systému jako celku a na chování jeho okolí (působení na vstupech systému) tak, aby výslednicí chování všech prvků bylo žádané chování systému za daných podmínek, tj. příslušné plnění určité funkce systému.
- Míru dosažené koordinace, posuzované z hlediska určité funkce systému, lze nazvat *organizovaností systému* z hlediska dané funkce;
- organizovanost je tím větší, čím lepší je tato koordinace,
- organizovanost je *maximální* tehdy, když organizací systému je *chování každého jeho prvku jednoznačně určeno* (determinováno) tak, aby za daných podmínek vždy docházelo jen k takovému chování systému, které odpovídá příslušné jeho funkci (systém pak funguje jako automat).
- Z hlediska přizpůsobivosti organizace změnám (funkčním, vývojovým apod.) lze rozeznávat : *organizaci statickou* (která se relativně nemění),
  dynamickou (přizpůsobuje se změnám).
- Činnost která vytváří nebo přetváří organizace, se nazývá *organizování*;
- je-li to činnost cílevědomá, jde o *organizování záměrné*, je-li to činnost nezávislá na vůli organizujícího subjektu, jde o *organizování živelné.*

K ZAPAMATOVÁNÍ 8

Architektura systému

Architektura

Architekturou systému (obecně jakéhokoliv objektu) rozumíme *časoprostorové uspořádání jeho prvků tak, aby systém vyhovoval určitým zadaným požadavkům*. Zkráceně pak rozumíme architekturou systému *časoprostorové uspořádání jeho prvků podle daného motivu*.

Pojem architektura je obecným pojmem, se kterým se setkáváme v různých vědních oborech. Pro objasnění pojmu je vhodné chápat tradiční pojetí architektury, jak je zavedly stavební obory:

architekturou rozumíme prostorové uspořádání použitých části celku tak, aby celek splňoval svůj účel (hotel, obytný dům, obchod a pod.) a působil estetickým dojmem.

Takto chápaný pojem architektury můžeme zobecnit.
Pod pojmem architektura chápeme -

- *prostorové uspořádání použitých části celku* zobecněné na časoprostorové uspořádání identifikovaných prvků v systému,
- *plnění účelu a působení estetickým dojmem* zobecněné na plnění obecných požadavků, např. provozních, technologických, estetických a pod. Složky plnění požadovaných funkcí můžeme nahradit zkráceně *motivem*.

Na časoprostorové uspořádání prvků v systému nepůsobí jen stanovené požadavky nebo motivy, ale musíme uvažovat i podmínky vzájemné spojitelnosti prvků, tedy možnost realizovat společné rozhraní.

Při řešení problematiky architektury systému (volba motivu architektury systému) musíme respektovat motivy, které se skládají z *vnějších požadavků* a *vnitřních možností*.

Vnějšími požadavky může být např. tvar systému v prostoru, vnější vzhled, požadavky okolí a pod. Na základě funkce společného rozhraní se vnější architektonické podmínky promítají i do vnitřní výstavby systému (projevují se agresivně).

PRŮVODCE TEXTEM, PODNĚT, OTÁZKA, ÚKOL

Na systému „studium na OPF“ popište architekturu a organizaci.

K zamyšlení

3.4.3 Informace, entropie, zpráva

K ZAPAMATOVÁNÍ 9

Informace

Informace

Informace je *působení, projevující se u svého příjemce* (nebo způsobilé se projevit) *zmenšením neurčitosti jeho stavu.*

Informaci lze chápat:

- *kvalitativně* (významově, obsahově), kdy se jí rozumí výše uvedený vztah k nějaké specifické vlastnosti či podmínce, charakteristické pro neurčitost u příjemce (např. vyvolání jen jednoho, určitého chování z množiny možných chování), nebo
- *kvalitativně* (hodnotově), kdy se jí rozumí množství neurčitosti odstraněné (nebo odstranitelné) u příjemce daným působením; lze je měřit např. rozdílem neurčitostí, vyjádřených např. tzv. informační entropií, před daným působením a po něm.

V procesech řízení a správy v organizačních jednotkách je zatím běžnější kvalitativní chápání informace. Přeneseně se někdy pod názvem *informace* rozumějí i zprávy s informačním obsahem.

K ZAPAMATOVÁNÍ 10

Nosičem informace je (primárně) *zpráva* (sdělení).

Zpráva

- Neexistuje ani hmota ani energie, které by nebyly spojeny s informačními procesy.
- Z hlediska širší koncepce je *informace v určitém smyslu právě takovou vlastností jako prostor, čas, pohyb* a pod.
- Informace je *neodlučitelnou vlastností hmoty*

Pojem informace se začal rozvíjet především v souvislosti s rozvojem informačních a komunikačních technologií.

K ZAPAMATOVÁNÍ 11

Entropie

Entropie

Entropie je chápána jako míra neurčitosti před přijetím zprávy, jež se po příjmu zprávy odstraňuje (resp. i neurčitost po přijetí zprávy), *a vyjadřuje tak míru získané informace*:

- Entropii můžeme chápat obecně jako míru neuspořádanosti či uspořádanosti jakéhokoli systému (nejen zprávy, nýbrž i organismu a pod.).
- *Uzavřený systém má tendenci zaujmout rovnovážný stav s maximální entropií*, kdy se zmenšují rozdíly v teplotě, tlaku a pod. neuspořádanost molekul roste, energie systému je stále méně použitelná k práci (mechanická energie molekul klesá a klesají rovněž rozdíly v jejich rychlostech).
- Entropie je :
  - funkce stavu uzavřeného systému (soustavy), (charakterizuje směr toku jejich neřízených procesů k větší neuspořádanosti)
  - míra neuspořádanosti v systému (soustavě),

menší entropie je spojena s většími rozdíly uvnitř systému, větší entropie s větší homogenností

K ZAPAMATOVÁNÍ 12

Zpráva

Zpráva

Zpráva (sdělení) představuje *soubor znaků* (prvků nějaké abecedy) *uspořádaný podle předem definovaného pravidla*) *tak, že:*

- *je* (nebo může být) *obrazem nějakého jevu nebo děje*,
- *nese* (nebo může nést) *o něm informaci*.

- Má-li zpráva příjemce a je-li způsobilá nebo způsobuje-li u něj zmenšení nějaké neurčitosti, říkáme, že obsahuje informaci (přeneseně, že je *informací*).
- V případě že zpráva nemá příjemce, nemůže způsobit zmenšení neurčitosti a proto není nositelem informace
- V případě, že zpráva má příjemce ale neobsahuje žádnou informaci pro příjemce vedoucí ke snížení neurčitosti, *není rovněž informací*, ale jen zprávou (zpráva obsahuje nulové množství informace).

⇒ Nosičem zprávy je *médium pro přenos zpráv*, krátce *médium*.

⇒ Médium (nosič zprávy, resp. informace) je *hmotný objekt*, který je prostředkem k přenášení zprávy od zdroje k příjemci. Je jím např. sám člověk, písemnost, telefonní spoj a pod.

⇒ Je-li zpráva informací (v přeneseném významu), lze médium označit přímo jako nosič informace.

SHRNUTÍ KAPITOLY ...

Shrnutí

Naučili jste se základním zásadám systémového modelování. Víte co je model a jaký má vztah k reálnému objektu. Dozvěděli jste se, že systémy lze modelovat matematickými prostředky. Pro vytvoření použitelného modelu je nutné rozpoznat charakteristické vlastnosti systému. Proto jste se seznámili s pojmy jako architektura či organizace systému. Jak už bylo několikrát řečeno, každý systém je nositelem informační struktury. Proto jste se v této kapitole seznámili i s pojmy jako informace, zpráva a entropie

TESTY A OTÁZKY KE KAPITOLE

Test 3

Test 3

1. pojem homomorfní znamená	a) úplnou shodu systému a modelu b) každý prvek modelu má obraz v systému
2. entropie je	a) míra pohybu b) míra neuspořádanosti
3 organizace systému reprezentuje	a) stav systému b) koordinaci systému
4. kvantifikace modelu.	a) je naplnění modelu konkrétními údaji b) je stanovení prvků modelu

ŘEŠENÍ A ODPOVĚDI, NÁVODY

Správné odpovědi na test 3 – 1b, 2b, 3a, 4a)

KORESPONDENČNÍ ÚKOL 3

Uveďte příklad modelování za nejistoty a rizika na objektu OPF

PRŮVODCE STUDIEM 7

Doposud jste se naučili základy systémových věd, definování a klasifikaci systémů, modelování objektivní reality, dozvěděli jste se něco o matematickém modelování, o struktuře, organizaci i architektuře systémů. Nyní se naučíte analyzovat systémy. Jako nástroj Vám poslouží metody systémové analýzy. Postupně se seznámíte se strukturální i objektovou analýzou a metodami analýzy.

Průchod modulem

4 SYSTÉMOVÁ ANALÝZA

RYCHLÝ NÁHLED DO PROBLEMATIKY KAPITOLY …	
V této kapitole se naučíme analyzovat vlastnosti plynoucí ze struktury a chování systému. Seznámíte se se základními metodami systémové analýzy. Budete se zabývat rozpoznáním problému, formulací cílů a kritérií analýzy, modelováním ale i systémovým návrhem.	*Rychlý náhled*

CÍLE KAPITOLY SYSTÉMOVÁ ANALÝZA

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět: • Systémovou metodologii • Provést kompozici a dekompozici systému • Stanovit návaznost analýzy na testování a provoz systémů • rozpoznat problém • vymezit problém • vymezit cíle řešení a formulaci kritérií, • tvorbu alternativních strategií analýzy a volbu nejvhodnější strategie, • modelování a • vyhodnocení a využití výsledků modelování.	*Budete umět*
Získáte: • Základní vlastnosti z oblasti strukturálního i objektově orientovaného systémového přístupu • Přehled o systémové strategii	*Získáte*
Budete schopni: • Definovat cíle prováděné analýzy • Vybrat strategii analýzy¨ • Provést kompozici a dekompozici systémů • Vymezit strategii systémového návrhu • Stanovit principy optimality • Popsat systém pomocí metod strukturální a objektově orientované analýzy	*Budete schopni*

ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

Celkový doporučený čas k prostudování KAPITOLY je **3** hodiny, další 2 hodiny pro promyšlení podnětů.

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY ...

Klíčová slova

Kompozice, dekompozice, model, zobrazení, systémový návrh, subsystém, stabilita, strukturální analýza, objektově orientovaná analýza

4.1 Systémová analýza a návrh

K ZAPAMATOVÁNÍ 13

Analýza a návrh

Systémová analýza a systémový návrh jsou dvě navzájem těsně spojené a aplikačně orientované oblasti systémové vědy. *Zabývají se zejména použitím abstraktních systémů ve vyšetřování vlastností reálných i koncepčních systémů, které se vytvářejí a analyzují při řešení složitého problému.*

4.1.1 Základní pojmy a problémy

K ZAPAMATOVÁNÍ 14

Metodologie

Systémová analýza je metodologie řešení složitých problémů.

Tato metodologie je do značné míry aplikací teorie systémů a systémového modelování. *Využívá metod operační analýzy, ekonomické analýzy, kybernetiky, robotiky, informatiky* a řady různých jiných teorií, jako např. *teorie rozhodování, teorie organizace, teorie řízení, teorie plánování*, a pod.

Řešení složitých problémů provádíme obvykle v interdisciplinární spolupráci ve smíšeném týmu. *Systémová analýza koordinuje při řešení daného problému použití poznatků různých vědních disciplín*.

Zabývá se zejména složitými nebo rozsáhlými systémy. Metodologie systémové analýzy se obvykle používá jako základ pro přípravu kvalitních rozhodnutí. Usnadňuje koncentraci a zintenzivnění úvah o rozsáhlých a komplexních problémech. Pro usnadnění práce se používá výpočetní technika.

Cílem systémové analýzy je odhalení základních vlastností struktury a chování analyzovaného reálného nebo koncepčního systému. Při zkoumání jednodušších systémů se přednosti systémové analýzy znatelně neprojevují, avšak projeví se při zkoumání systémů, které jsou vnitřně složité.

Cíle SA

V procesu systémové analýzy zobrazujeme strukturu a chování systému. Následně pak vyšetřujeme statické a dynamické vlastnosti systému jako celku i různé jeho kvantitativní charakteristiky.

Charakteristika „vlastních“ úloh systémové analýzy.

Vlastní úlohy SA

a) o celku objektu
b) o podmínkách existence / schopnosti objektu
c) o vývoji objektu
d) o dimenzi a složitosti objektu
f) metaúlohy (úlohy o úloze) u složitých, organizovaných objektů.

Metody systémové analýzy.

Metody SA

a) přenesené (z operační analýzy, grafů, lin. programování)
b) účelové kombinace metod
c) počítačové experimentování (též v metaúrovni)
d) metody měkkých systémů.

V celkovém procesu systémové analýzy provádíme pomocí systémových modelů různé druhy analýz. Odlišujeme zejména:

- *globální analýzy a podrobné analýzy*
- *analýzy statické* a *dynamické*.

⇒ Globální analýzou nazýváme analýzu daného systému jako celku.

⇒ Podrobná analýza je analýza určitého subsystému na vyšší rozlišovací úrovni (vyšší úrovni podrobností).

V procesu analýzy postupujeme zpravidla řadou dílčích kroků, během nichž přecházíme od globálního pohledu na jednotlivé části systému. V globální i podrobné analýze užíváme obvykle stejné matematické metody. V globální analýze však obvykle pracujeme s více agregovanými veličinami.

Rozlišení statické a dynamické analýzy vychází z časového hlediska.

Statická a dynamická analýza

⇒ *Statická analýza* - nebereme do úvahy čas a používáme statické abstraktní systémy jako např. modely struktur, soustavy rovnic, nerovností a pod.

⇒ *Dynamická analýza* - bere do úvahy i časový faktor. Opírá se o teorii dynamických systémů a metodologii dynamického modelování.

Systémová analýza se zabývá tvorbou složitých koncepčních systémů. Jde o projekční činnost, ve které se provádí *základní makroprojektování umělého systému,* např. technologického nebo plánovacího.

Na návrh obvykle navazuje :

- konstrukce (implementace, mikroprojektování),
- testování,
- provoz systému.

Systémová analýza se snaží optimálně navrhnout systém podle specifikovaných funkcí, požadavků a kritérií. Optimalizuje se jak struktura systému, tak chování vzhledem k investičním i provozním nákladům.
Základním nástrojem při takovém to projektování je systémová analýza.

Zaměření

Systémová analýza může mít užší, specializované zaměření podle toho můžeme rozlišovat mezi pojmy :

- klasická systémová analýza,
- objektově orientována systémová analýza,
- strukturální systémová analýza apod.

Každá z těchto podob pak může používat celé řady různých nástrojů a to podle toho k jakému účelu slouží.

Systémový návrh

V systémové analýze *vyšetřujeme vlastnosti a kvantitativní charakteristiky systémů známé struktury.*
Systémový návrh slouží *k hledání struktury systému, který má předem definované vlastnosti a má plnit dané funkce při daných kriteriích.*

Máme obvykle dány požadavky na chování systému a množinu použitelných typů prvků. Základním problémem návrhu je nalezení takové struktury systému, která realizuje požadované chování a splňuje ostatní požadavky a obsahuje pouze předepsané prvky. Požadované chování může být obvykle realizováno mnoha různými strukturami, které se skládají ze stejných typů prvků. Hledáme obvykle struktury, které jsou optimální z hlediska nákladů.

SHRNUTÍ

Shrnutí

Návrh systémů je složitá tvůrčí činnost. Obecná a ucelená teorie systémového návrhu však není dosud vytvořena. Jedná se totiž o velmi složitý a obtížný proces. Při tvorbě systémů se často používá řady empirických i deduktivních teorií. Velmi často se řeší i problémy, které mají výzkumné nebo vývojové rysy. V literatuře můžeme najít jak obecné principy, rámcové strategie tak i metodiky tvorby specifických rozsáhlých a komplexních systémů.

4.1.2 Systémová analýza

Metodologie systémové analýzy obsahuje zejména popis rámcové strategie analýzy. Tato rámcová strategie usnadňuje volbu vhodného postupu činností. Při řešení konkrétního problému je nutno tuto rámcovou strategii tvůrčím způsobem konkretizovat a aplikovat.

Rámcová strategie se skládá z těchto následujících kroků:

1. rozpoznání problému,
2. vymezení problému,
3. vymezení cílů řešení a formulaci kritérií,
4. tvorba alternativních strategií analýzy a volba nejvhodnější strategie,
5. modelování a
6. vyhodnocení a využití výsledků modelování.

Na uvedené pořadí kroků není nutno pohlížet striktně. Lze je podle potřeby i měnit. Některé kroky lze opakovat. Rovněž při řešení určitého konkrétního problému nemusí sekvence těchto kroků být úplná. Rozsah jednotlivých kroků je nutno volit podle konkrétní aplikace.

Rozpoznání problému Problémy, které systémová analýza řeší, vznikají u subjektů buď z vnějšího, nebo z vnitřního popudu. Vznikají např. v technickém projektování, v hospodářské praxi, výzkumu a vývoji. Často se řeší i celé skupiny vzájemně propojených problémů.
Systémová analýza se nezabývá jednoduchými problémy. Jejich řešení se obvykle daří najít bez problémů. Systémová analýza předpokládá určitý stupeň složitosti a obtížnosti. Velmi často se řeší rozhodovací problémy, kdy hledáme optimální strategii realizace daných cílů při omezených prostředcích.

Vymezení problému V tomto kroku *problém zjednodušujeme tak, aby se zachovaly všechny jeho podstatné vlastnosti.*

⇒ *Analyzujeme situaci, vymezujeme podstatu problému a jeho rozsah.* V definici problému popisujeme logicky (pokud je to možné i matematicky) situaci a podstatu problému.

⇒ *Vymezujeme rámec přípustných řešení* a hlavní omezení (ohraničení). Ohraničení problému je jednou z nejnáročnějších činností v systémové analýze.

⇒ Při vymezování problému *zavádíme na objektivní realitě určitý reálný systém*, který má interakci s okolím.

⇒ Pečlivě *analyzujeme problém v jeho vnějších i vnitřních vazbách.* Snažíme se soustavně zachytit ty faktory reálného světa, které jsou podstatné z hlediska řešení problému.

⇒ Poznání povahy problému nám umožňuje *redukci* různorodých faktorů reálného světa pouze na určité aspekty, stránky a vlastnosti, které mají význam pro jeho řešení.

⇒ Při vyjasňování problému je nutno poznávat i jeho reálné pozadí, tj. je třeba *vymezit i objekt poznání a jeho funkce a cíle*, které se vztahují k danému problému.

⇒ Při vymezování tohoto objektu *identifikujeme postupně objekty reálného světa,* na které se daný problém vztahuje. Může jít např. o určité závody podniku, určité podniky, sdružení podniků nebo i celá odvětví národní ekonomiky.

⇒ Dále *identifikujeme cíle těchto objektů*, které se k řešení problému nějak vztahují, identifikujeme *i hierarchii těchto cílů.*

SHRNUTÍ

Σ

Shrnutí

Když máme alespoň částečně vymezen problém a smysl jeho řešení, můžeme nalézt ty objekty reálného světa, kterým přikládáme určitou důležitost z hlediska řešení problému. Ostatní objekty reálného světa považujeme za okolí.
Při vymezování problému vymezujeme rovněž reálný objekt, tj. úsek reality, který budeme později modelovat. Vymezujeme jeho hranice, vztahy k okolí i základní vnitřní vazby. Omezujeme tak současně i hranice našeho zájmu. Pracujeme zde převážně s reálnými pojmy, nepracujeme ještě v širším rozsahu s abstraktními pojmy a modely teorie systémů. Existuje určitá zpětná vazba mezi vymezením problémů a vymezením objektů. Na jedné straně závisí vymezení objektů na vymezení problému, na druhé straně musíme již při definování problému mít určitou představu o objektech.

Vymezení cílů řešení a formulace kritérií

Cíle a kritéria

V tomto kroku *formulujeme množinu cílů a kritéria,* kterým musí řešení problému vyhovovat, abychom dosáhli daného účelu.

Řešením problému bývá obvykle cesta pro realizaci určitého jasně zformulovaného, ne však bezprostředně dosažitelného účelu. Tato cesta se nazývá obvykle *strategie* nebo *projekt.*

Cíle je nutno definovat jasně, přesně a vyváženě. Při formulaci kritérií vycházíme většinou z vymezení problémů a cílů jeho řešení. Nejčastěji užíváme ekonomická kritéria. Jde zejména o kritéria nákladově přínosová. Při řešení národohospodářských problémů se užívají kritéria odvozená z národního důchodu, společenských preferencí a pod. Z matematického hlediska představuje kriterium uspořádání na množině variant.

Tvorba alternativních strategií analýzy a volba nejvhodnější strategie

Alternativní strategie

V tomto kroku *provádíme syntézu celkového procesu* řešení daného problému.

Tvůrčím způsobem *sestavujeme alternativní strategie* jeho řešení pomocí systémové analýzy. Jde o posloupnost kroků (myšlenkových pochodů), které končí nalezením požadovaného řešení problému. Posloupnost kroků musí být uspořádaná, koordinovaná, logická a operace musí být vzájemně propojeny.

Celá strategie by měla být koncipována tak, aby vedla od hypotézy a dostupných dat k závěrům a řešením, která se hledají.

Máme-li sestavenu množinu alternativních strategií, pak můžeme zvolit strategii, která je nejvíce vhodná.

Modelování

Modelování

Modelování je *základním krokem v každé systémové analýze*. Opírá se o teorii systémového modelování.

PRŮVODCE TEXTEM, PODNĚT

K řešení

V tomto textu nechci po Vás striktní matematické definice a znalosti zobrazení. Spíš se jedná o to, uvědomit si co model ve skutečnosti popisuje.
V praxi asi nikdy nevytvoříte model, který by obsahoval všechny prvky a vztahy reálného objektu, který se snažíme modelovat.
Zkuste se zamyslet nad zobrazením modelu a relacemi 1:1, 1:N, M:N. vidíte nějakou analogii?

PRŮVODCE TEXTEM, PODNĚT,

Podle kroků popsaných v části vymezení problémů postupně analyzujte oběh finančních toků ve firmě.

K řešení

V procesu modelování používáme často vícemodelový přístup. Formulujeme různé hypotézy a předpoklady o daném objektu (předmětu modelování), sestavujeme různé modely, resp. systémy vzájemně závislých modelů.

Modely kvantifikujeme, ověřujeme a analyticky nebo numericky řešíme nebo je používáme pro simulaci a experimenty. Simulací zde rozumíme napodobování reálných procesů.

Simulační experimentování na modelech provádíme obvykle *pomocí výpočetní techniky*. Měníme jednotlivé parametry modelů a jejich exogenní proměnné a propočítáváme důsledky různých rozhodnutí, strategií nebo variant projektů.

Simulace

Experimenty na modelech doplňujeme heuristickými postupy, logickými rozbory a simulací náhodných vlivů a poruch. Modelování systému nám umožňuje vyhodnocení následků určitého rozhodnutí, aniž bychom toto rozhodnutí realizovali na reálném objektu.

Vyhodnocení a využití výsledků modelování

V tomto kroku interpretujeme a *používáme výsledky analytických, numerických nebo simulačních modelů pro řešení daného problému*

Interpretace výsledků

- ⇒ Transformujeme výsledky získané z abstraktních modelů do reálných pojmů a připravujeme je pro implementaci v praxi nebo návrhu.
- ⇒ Zkoumáme citlivost výsledků na změny předpokladů a na aspekty problému, které byly vyloučeny z formální analýzy.
- ⇒ U simulačních experimentů konfrontujeme výsledky s reálným světem a ověřujeme, zda simulovaný výsledek odpovídá tomu, co by se za stejných podmínek odehrálo v reálném objektu. Čím více se výsledky shodují, tím více je model adekvátnější a tím více mu lze důvěřovat.

SHRNUTÍ

Shrnutí

Výsledky, které jsme získali na základě práce s modely, používáme při rozpracování celkového řešení daného problému. Tímto řešením může být např. určitá strategie realizace stanovených cílů, návrh úprav řešení systému, projekt nového systému a pod. Jde do určité míry již o syntetickou činnost, zejména tehdy, není-li analýza používána jako nástroj návrhu, ale jako nástroj pro přípravu rozhodnutí.

4.1.3 Systémový návrh

K ZAPAMATOVÁNÍ 15

Metodologie systémového návrhu

Metodologie systémového návrhu se zabývá *obecnými principy a rámcovou strategií tvorby koncepčních systémů.*

Strategie

Rámcová strategie systémového návrhu se opírá o teorii systémů, o obecné principy syntézy, o systémovou analýzu a teorii rozhodování.
Tato strategie je aplikovatelná :

- v tvorbě zcela nových systémů (např. nových technologických systémů),
- ve zdokonalování stávajících systémů.

Teorie systémů nám poskytuje řadu pojmů, nástrojů a postupů, které urychlují a zefektivňují tvorbu koncepčních systémů. Usnadňuje zejména analýzu rozsáhlých koncepčních systémů s bohatými interakcemi částí.

K ZAPAMATOVÁNÍ 16

Nalezení struktury systému

Základní problém návrhu, tj. *problém nalezení struktury systému*, známe-li jeho požadované vlastnosti (funkce, chování) a vlastnosti použitelných prvků a vazeb, není obecně analyticky řešitelný.
Analyticky řešitelné jsou pouze problémy návrhu jednodušších systémů, např. jednoduché regulační systémy a pod.

PODNĚT

K řešení

Dovedli by jste na základě vašich stávajících znalostí svými slovy říct, jaká je struktura nějakého ekonomického systému (například systému správy sociálního pojištění)?

K ZAPAMATOVÁNÍ 17

V rámci přístupu k návrhu nehledáme systém, který vyhovuje daným požadavkům, ale systém, který je v nějakém smyslu optimální.

Optimalita systému

Optimalitu systému posuzujeme pomocí určitého globálního kritéria optimality. Při výběru optimálních variant systémů, jejich subsystémů, prvků a struktur se užívají různé výběrové procesy a rozhodovací analýzy používané v teorii rozhodování (výběr postupnými kroky, po skupinách a pod.).

Užívají se metody rozhodování v podmínkách rizika a nejistoty, které se opírají o teorii pravděpodobnosti a teorii her.

V procesu systémového návrhu se užívá, podle konkrétní situace a typu systému, řada technických, ekonomických a jiných empirických teorií. Tyto teorie obsahují např. poznatky o vlastnostech prvků, které chceme při návrhu použít a pod.

Na tvorbě rozsáhlých systémů se podílí obvykle řada specialistů z různých oborů.
Systémový návrh je disciplína aplikačního charakteru, která organizuje interdisciplinární komunikaci a koordinuje použití poznatků z různých oborů pro daný účel (projekt).

V procesu řízení a koordinace tvorby rozsáhlých systémů užíváme některé obecné systémové principy.

Jedná se o následující principy:

- dekompoziční princip,
- subsystémy jsou rovněž systémy,
- principy stability,
- principy optimality a
- principy suboptimalizace.

Dekompoziční princip

- Systémy se skládají (syntetizují) po částech.
- Celková úloha návrhu se rozkládá (dekomponuje) na množinu dílčích úloh.
- Řešení dílčích úloh se obvykle vztahuje na subsystémy daného systému a vzájemné vazby mezi nimi.
- Dekompozici systému na subsystémy provádíme obvykle tak, aby se minimalizovaly interakce (vazby, vztahy) mezi subsystémy.

Dekompozice

PODNĚT

V předchozím podnětu jste se měli pokusit nadefinovat strukturu ekonomického systému. Dovedli by jste vyčlenit objekty vhodné pro dekompozici? Má podle Vás princip dekompozice vliv na stabilitu systému

K řešení

V praxi by bylo nereálné členit nějaký elektronický systém na subsystém odporů, subsystém kapacit, subsystém indukčností a pod. Stejně neúčelné může být i členění systému řízení na informační subsystém, rozhodovací subsystém, subsystém sběru dat a pod. Takové členění může mít jistý význam v případě speciálních požadavků, např. pro kompletaci částí při realizaci projektu. Z hlediska samotné tvorby projektu však příliš vhodné nejsou.

Subsystémy, kompozice a dekompozice systémů

Podle tohoto principu navrhujeme a hodnotíme subsystémy stejnými metodami jako systémy. Na každý subsystém subsystému se lze opět dívat jako na systém. Proces dělení je logicky nekonečný. V praxi se však obyčejně zastavujeme na nějaké vhodné rozlišovací úrovni.

Subsystémy této úrovně pak považujeme za elementární prvky (bloky) systému. Na subsystémy různých rozlišovacích úrovní pak aplikujeme stejné metody teorie systémů (při vyšších stupních agregace prvků a vazeb).

Na každé rozlišovací úrovni lze každý prvek chápat jako systém, a to vzhledem ke všem prvkům na stejné rozlišovací úrovni za systém s nimi *stejného řádu*, vzhledem k prvku, jehož je sám prvkem, za *systém nižšího řádu*, a vzhledem ke všem prvkům, které jsou jeho skladebnými částmi, za *systém vyššího řádu*. Obdobně lze *chápat každý systém jako prvek*.

Jestliže za první rozlišovací úroveň označíme tu, na které chápeme systém jako *černou skřínku*, pak na druhé rozlišovací úrovni jsou prvky systému jeho podsystémy, na třetí rozlišovací úrovni jsou jeho prvky podsystémy těchto podsystémů (podsystémy) atd., až na největší rozlišovací úrovni jsou jeho prvky nejmenší částí systému, které jsou z hlediska vymezení systému již dále nerozložitelné, nebo nemá smyslu je dále rozkládat.

Tímto způsobem je určena i další vlastnost systému, kterou nazýváme schopnost kompozice systému.
Platí-li principy, které definují rozklad systému na podsystémy, pak obrátíme-li postup dekompozice zdola nahoru, musí platit, že každý zkoumaný objekt, který bude mít vlastnosti systému, je zároveň subsystémem jiného systému. Tento princip nazýváme kompozice - skladba systému. Z těchto základních úvah budeme vycházet při zkoumání všech systémů. Abychom mohli jednotlivé systémy zkoumat, potřebujeme k tomu prostředky, pomocí kterých můžeme systém popsat, případně na něm ověřit správnost našeho poznání.

Dekompozice

Řeší rozklad systému na podsystémy podle definovaných hledisek

Aby při procesu dekompozice nedošlo k redukci, musí být dodrženy:

Dekompozice

- postulát **integrity** *celek nesmí být zúžen, žádná část systému, (např. významné vazby nebo funkce) nesmí být ztracena.*
- postulát **soudržnosti** *musí být zachována možnost opětovného spojení, nesmí vznikat izolované části.*
- postulát **rovnoměrnosti (***vyváženosti) mají vznikat srovnatelně složité podsystémy*

Dekompozici rozlišujeme:

- topologickou
- funkční
- věcnou (sémantickou)
- hierarchickou

Dekompozic
e

Topologická dekompozice.

Cílem je minimalizovat vazby dekomponované části systému s okolím.

Funkční dekompozice.

Dekompozičním kriteriem je požadavek, aby dekomponované subsystémy vykonávaly **makrofunkce**.
Věcná *(obsahová, sémantická)***dekompozice.**
Do subsystému se začleňují prvky, které jsou nositeli společných vlastností. *(rozpoznaných, změřených, zapsaných)*

Hierarchická dekompozice.

Uplatňuje se při rozkladu hierarchického systému podle kriterií,vycházejících z relace podřízenosti/ nadřízenosti.

Principy stability

Princip stability vychází z požadovaného chování systému. Navrhujeme systém, který je stabilní, tj. udržuje se na množině žádoucích stavů, i při změnách v okolním prostředí.

Stabilita

Principy optimality

Optimalita

V procesu tvorby systému se snažíme maximalizovat (resp. minimalizovat) očekávanou hodnotu zvoleného (globálního) projektového kritéria.

- ⇒ Nalezení optimálního systému je obvykle iterační proces, který nikdy nekončí. Obvykle se časem komplikuje.
- ⇒ Žádný optimálně projektovaný systém není optimální.
- ⇒ Projektování je nutno ve vhodném okamžiku přerušit.
- ⇒ Proces hledání optimálního systému se může obvykle realizovat jako iterační proces.

Optimalizační proces systémového návrhu nám umožňují a velmi usnadňují obecné optimalizační modely i počítačová simulace. Velmi častým prostředkem jsou zejména metody lineárního programování.

Principy suboptimalizace

Suboptimalizace

Provádíme-li optimalizaci každého jednotlivého subsystému nezávisle na sobě, nemusí obecně vést k optimalizaci celého systému. Zlepšení subsystému může celý systém zhoršit.

Optimalizace rozsáhlých systémů je velmi náročný úkol, který však nemusíme nezbytně považovat za neřešitelný. Optimální řešení celého systému můžeme hledat v iteračním procesu.

Pokud má být celý systém řešen optimálně, pak musí být každý jeho subsystém řešen optimálně vzhledem k podmínkám, které vytvářejí ostatní subsystémy daného systému a jeho okolí, které můžeme považovat za jistých podmínek rovněž za subsystém.

Globální kritéria

Kritéria optimality

Globální kritéria optimality se snažíme navrhovat tak, aby vyjadřovala relativní význam základních požadavků na systém i protichůdné vazby mezi požadavky.

Při realizaci kriteriálních (preferenčních) funkcí vycházíme obvykle z vymezení funkcí, cílů a účelu systému.
(Maximalizujeme např. podíl přínosů a nákladů, rozdíl výnosů a nákladů (zisk), produkci, spolehlivost a pod. Obdobně můžeme použít i kritéria zaměřená na minimalizaci nákladů, vstupů, rizik a pod.)
Při volbě dílčích kritérií vycházíme obvykle z analýzy funkce subsystémů v daném systému a z analýzy celek-části. Jelikož optimalita subsystémů nezaručuje optimalitu systému, musíme zvažovat i systémovou optimalitu.

⇒ Při návrhu komplexních systémů s komplexními cíli je třeba zvažovat velký počet různých hledisek.

⇒ Je obyčejně obtížné vyjádřit často různorodá hlediska pomocí jednoho globálního kritéria optimality.

⇒ Můžeme transformovat různá hlediska do jednoho kritéria optimality.

⇒ Pokud nelze použít jedno kritérium optimality, pak se při volbě alternativy používají metody vícekriteriální optimalizace a agregace kritérií.

⇒ V praxi se můžeme setkat s řadou postupů. Nejefektivnější jsou zpravidla ty, které převádějí některé cíle do systému omezujících podmínek.

Strategie systémového návrhu

Strategie

Rámcová strategie systémového návrhu je realizována obvykle v těchto krocích:

- vymezení problému,
- stanovení cílů a kritérií,
- plánování a rozpočtování,
- modelování prostředí,
- tvorba alternativních systémů,
- systémová analýza,
- volba variant,
- dokumentace a
- implementace.

PODNĚT

K řešení

Představte si, že máte navrhnout nový strategický model pro obchodní řetězec TESCO. Byly by jste schopni specifikovat jednotlivé kroky rámcové strategie?

Vymezení problému.

Tento krok se často nazývá také *definiční fáze*. Vymezuje se v něm účel systému, požadavky na systém, jeho funkce a základní cíle. Popisuje se logickým způsobem situace. Lze použít verbální prostředky, grafické prostředky nebo i matematický aparát.

Při vymezení problému se provádí i částečná analýza prostředí. Vymezují a definují se faktory, které mohou tvůrci systému ovlivnit i faktory, které ovlivnit nemohou. Uvádějí se i prostředky a technologie použitelné pro realizaci systému i jednotlivá dílčí omezení systému a jeho okolí. Popisuje se předběžně alespoň jedna varianta řešení. Provádí se hrubé odhady času a nákladů potřebných pro realizaci cílů. Odhaduje se počet a složení specialistů v projekčním týmu. Stanovuje se doba životnosti systému a interface s jinými systémy, které budou vytvářet okolí systému. Pozornost se obvykle věnuje i množině použitelných prvků.

Stanovení cílů a kritérií

V této fázi se vymezují cíle řešení daného problému a kritéria (preferenční funkce) pro volbu alternativ. Bereme do úvahy zejména výkon systému, investiční a provozní náklady, spolehlivost, rizika a faktory času.

Plánování a rozpočtování

V tomto kroku se sestavuje strategie tvorby systému a plán prací na projektu. V plánovacím procesu se užívají často *metody síťové analýzy*, např. CPM, PERT a pod. Dále se odhadují finanční prostředky, které jsou potřebné pro realizaci projektu daného systému. V grafickém vyjádření se zobrazují křivky růstu nákladů, osob i potřebného materiálu.

Modelování prostředí

V tomto kroku se provádí průzkum prostředí, ve kterém bude systém existovat a vytváří se model (matematický) tohoto prostředí. Obvykle se jedná o model stochastický. Velmi často se setkáme pouze s verbálními a grafickými modely.

Tvorba alternativních systémů

V této fázi se vychází z vymezení problému a používají se stanovená kritéria a vytvořené modely prostředí. Vyvíjí se struktura a mechanismus fungování různých alternativ daného systému, které pak v dalších krocích podrobujeme systémové analýze a porovnáme. Tvorba alternativ, analýza a rozhodnutí jsou tři základní kroky systémového návrhu, které se cyklicky v iteračním procesu opakují až do ukončení tohoto procesu.

Systémová analýza

Systémová analýza je základním nástrojem návrhu.
V této fázi vymezujeme cíle řešení jednotlivých iteračních kroků, modelujeme jednotlivé alternativní systémy a stanovujeme pro ně hodnoty globálního kritéria optimality.
Užíváme různé obecné systémy a metody systémového modelování. Matematické systémové modely nahrazují reálné objekty, které nemusí ještě existovat nebo objekty se kterými nelze manipulovat nebo manipulace s nimi je obtížná nebo nákladná. Matematické modely nám tak snižují náklady a zvyšují efektivnost návrhu.

Ve fázi volby variant se provádí komplexní vyhodnocení a volba těch variant, které se budou uvažovat v dalším procesu tvorby systému, příp. volba konečné varianty systému. Využívají se výsledky systémové analýzy a poznatky teorie rozhodování a teorie pravděpodobnosti. Jednotlivé alternativy systému se porovnávají se stanovanými požadavky, cíli a kritérií. Při konečném rozhodnutí se zvažují jak očekávané hodnoty globálního kritéria, tak i ostatní kritéria na požadavky na systém. Konečná varianta systému se komplexně hodnotí po stránce technické, ekonomické, ekologické i sociální.

Volba variant

V této fázi se kompletuje dokumentace (ideový projekt), ve kterém je popsána konečná varianta návrhu systému. Forma a obsah jednotlivé dokumentace se volí s ohledem na to co projektujeme. V dokumentaci je verbální popis, různá grafická zobrazení, technické výkresy a pod. Dokumentace musí především vyhovovat potřebám budoucího uživatele a pod. Často se setkáváme i s dokumentací pracovní.

Dokumentace

Fáze implementace již nepatří do procesu návrhu. V této fázi se provádí podrobné rozpracování koncepce (prováděcí projekt), testování a realizace navrhovaného systému. Dále se realizují různé práce související s uvedením systému do provozu. Implementace systému končí uvedením systému do provozu.

Implementace

SHRNUTÍ

Σ

Na počátku optimalizačního procesu nalezneme libovolnou výchozí přípustnou variantu, kterou pak v následujících iteračních krocích postupně vylepšujeme.
Při rozhodování o ukončení iteračního procesu optimalizace se na daný systém díváme v kontextu jemu nadřazeného systému (nadsystému), který obvykle obsahuje i požadavky na zdroje vynakládané v procesu jeho tvorby.
Např. při návrhu (projektování) nějakého automatizovaného systému řízení závodu je nadsystémem jiný hospodářský subjekt, obvykle podnik. Iterační proces končíme obvykle tehdy, když přínos iterace nepřevyšuje náklady na tuto iteraci.

Shrnutí

TESTY A OTÁZKY KE KAPITOLE

Test 4

1. Princip stability vychází a) z požadovaného chování
b) z vypočítaného chování
c) z chování prvků

2. která z dekompozic neexistuje a) věcná
b) řiditelná
c) topologická

3. modelování a)nemá souvislost se systémovou analýzou
b)definuje teorii systémů a systémovou analýzu
c)je základním krokem v systémové analýze

ŘEŠENÍ A ODPOVĚDI, NÁVODY

Odpovědi na test 4 – 1a, 2b, 3c …

KORESPONDENČNÍ ÚKOL 4

Vaše firma (účetní poradenství, 5 zaměstnanců, 5 počítačů, 1 kancelář) neprosperuje. Máte za úkol navrhnout řešení vedoucí k prosperitě. Vymezte cíle a formulujte kritéria.

PRŮVODCE STUDIEM 8

Ve studiu jste pokročili do stádia systémového návrhu. Dovedete využívat aparát systémové analýzy a to jak statické, tak dynamické. Dovedete rozpoznat a vymezit problém, stanovit cíle i strategie analýzy. Úspěšně umíte využívat modelování a interpretovat výsledky. Částečně dovedete řešit úlohy optimality. Dovedete použít princip kompozice a dekompozice systémů. V další části textu se seznámíte s metodami systémové analýzy. Širší prostor je věnován strukturální a objektově orientované analýze.

Průchod modulem

5 METODY SYSTÉMOVÉ ANALÝZY

RYCHLÝ NÁHLED DO PROBLEMATIKY KAPITOLY METODY SYSTÉMOVÉ ANALÝZY

V této kapitole rozšíříte své znalosti z oblasti systémové analýzy o analýzu struktur a datových toků. Naučíte se základní strukturální konstrukce. V části věnované objektové analýze se naučíte pohlížet na objekty systému v širších vazbách a souvislostech.

Rychlý náhled

CÍLE KAPITOLY METODY SYSTÉMOVÉ ANALÝZY

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět: • Rozlišit strukturu návrhu • Při analýze oddělit datovou analýzu od analýzy struktury • Na základě funkční analýzy analyzovat funkci a chování systémů	***Budete umět***
Získáte: • Základní znalosti o metodách strukturální analýza. • Schopnost rozdělit data od struktury a funkce systému.	***Získáte***
Budete schopni: • **Navrhnout metodu vhodnou pro analýzu.** • **Vhodně oddělit data od struktury** • **Algoritmizovat procesy** • **Seskupovat objekty systémů do skupin, tříd a struktur.**	***Budete schopni***

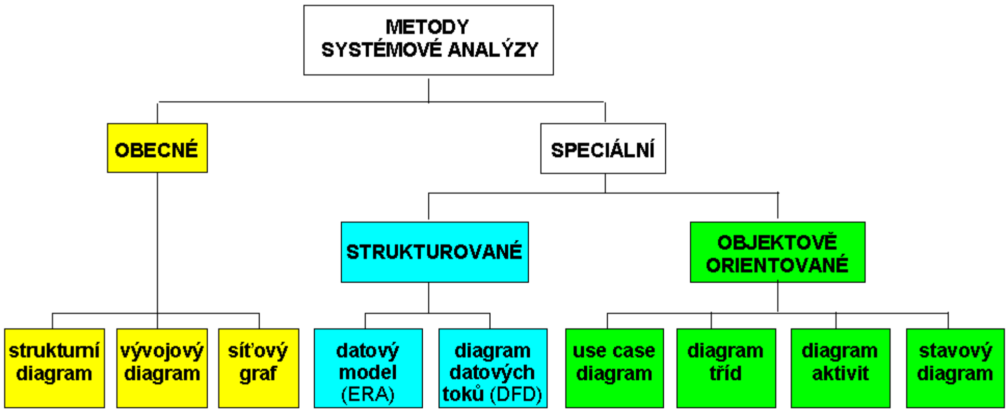
ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

Celkový doporučený čas k prostudování KAPITOLY je **2 hodiny**, jedna hodina je doporučena samostatným úkolům

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

Klíčová slova

Struktura systémů, objekty, atributy, algoritmus, data, funkce systému, funkční diagram, funkční struktura, informační toky, aktivní a pasivní prvky, datové toky, relace, entity



Obrázek 5-1: Metody systémové analýzy.

5.1 Strukturální a objektově orientovaná analýza

PRŮVODCE STUDIEM 9

K úspěšnému návrhu systému musíme porozumět i jiným systémům, které na sebe navzájem působí a ovlivňují se. Další důvod pro studium systémů z hlediska teorie je to, že i kdyby mnoho typů systémů jevilo docela rozdílné charakteristiky a vlastnosti, přesto mají mnoho společných podobností

Existují obecné základy, filozofické i teoretické, které se univerzálně aplikují na všechny druhy systémů. Ne vždy je ale možné, resp. vhodné popisovat a analyzovat systémy pouze pomocí jedné metodologie.V praxi se proto využívá více přístupů k obecné analýze. Mezi základní patří:

- ⇒ strukturální analýza,
- ⇒ objektově orientovaná analýza,
- ⇒ funkční analýza apod.

5.1.1 Strukturální analýza

Jedním z principů uplatňovaných pro zvládnutí složitosti reálných systémů je primární popis kvalitativních vlastností systému a následné zachycení jeho vlastností kvantitativních, tedy princip odděleného a postupného studia struktury a chování systému.

Metody strukturální analýzy

Používání metod strukturální analýzy se ustálilo na několika základních, s jejichž využitím lze popsat velmi široké spektrum systémů, představují soubor metod založených na relativně jednoduchých a jasně specifikovaných principech. Uplatňování těchto principů sice neposkytuje příliš mnoho volnosti, vede však ke tvorbě relativně konzistentních modelů. Výhodou těchto metod je existence ověřených a propracovaných prostředků počítačové podpory, které tyto metody implementují.

Metody strukturální analýzy

PODNĚT, OTÁZKA, ÚKOL

Dovedete odlišit kvalitativní vlastnosti od kvantitativních?

Zkuste popřemýšlet nad tím, zda finanční toky v ekonomických systémech jsou kvalitativní nebo kvantitativní vlastnost

K zamyšlení

Analýza obecných systémů je, až na výjimky tvořené primitivními systémy, v úvodní fázi vždy analýzou jejich struktury, na kterou následně navazuje specifikace chování.
Existuje však třída aplikací, mezi něž patří například modelování systémů managementu jakosti, u nichž je požadováno studium systémů pouze na úrovni kvalitativních vlastností vedoucí ke tvorbě strukturních modelů.

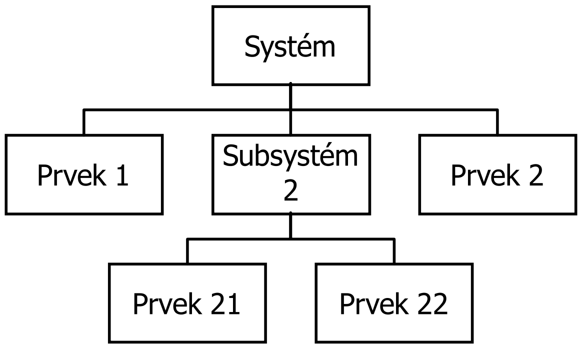
Východiskem metod systémové analýzy byly a jsou metody návrhu a realizace programových systémů a je tedy přirozené, že tyto metody souvisejí s principy algoritmických programovacích jazyků.

Metody strukturální analýzy a návrhu jsou založeny na principech procedurálních programovacích jazyků. Díky dlouholetému vývoji a zkušenostem s praktickými aplikacemi se soubor metod strukturované analýzy a návrhu ustálil na několika základních, s jejichž využitím lze popsat velmi široké spektrum systémů.

Funkční struktura

- ⇒ Metoda analýzy funkční struktury je jednou ze základních metod strukturované analýzy používaná především k popisu struktury systému.
- ⇒ Jedná se o metodu grafickou, která slouží k zachycení hierarchické dekompozice systému na subsystémy a prvky pomocí stromových diagramů.
- ⇒ Hierarchické stromové uspořádání vyjádřené vzájemnými vazbami prvků zachycuje vztah nadřazenosti a podřízenosti prvků a vztah sounáležitosti podřízených prvků patřících k jednomu prvku nadřazenému.
- ⇒ Listové položky hierarchického stromového diagramu představují elementární prvky systému, tedy prvky s ohledem na daný účel tvorby modelu dále nedekomponované.

Diagram funkční struktury obsahuje zdánlivě velmi málo informací o analyzovaném systému, neboť zachycuje pouze hierarchickou nadřazenost a podřízenost prvků a postihuje pouze jejich základní souvislosti. Zcela mimo oblast zájmu této metody stojí vzájemné informační vazby jednotlivých prvků systému.



Obrázek 5-2: Funkční struktura.

Jednoduchost a přehlednost takto získaného popisu funkční struktury systému vytváří z této metody vhodný nástroj pro první, orientační představu o analyzovaném systému. Ve srovnání s dále zmíněnou metodou informačních toků na menší ploše zachycuje a zobrazuje větší část analyzovaného systému. Metoda analýzy funkční struktury může být využita samostatně, častěji však jako vhodný doplněk metody informačních toků.

⇒ Metoda informačních toků je základní metoda strukturované analýzy. Tato metoda je rovněž plně v souladu s poznatky obecné teorie systémů.

⇒ Vyhovuje obecné definici systému a důslednému vymezení kvalitativních a kvantitativních vlastností systému.

Informační toky

⇒ Jedná se o grafickou metodu, která formou hierarchicky uspořádaných síťových diagramů vyjadřuje dekompozici systému na subsystémy a prvky.

⇒ Dovoluje zachytit informační vazby mezi těmito prvky.

⇒ Jedná se proto o metodu, pomocí které lze studovat především strukturální vlastnosti systému.

K ZAPAMATOVÁNÍ 18

Metoda informačních toků je metodou výlučně grafickou.

Metoda informačních toků

Pro zvýšení přehlednosti a tím i vypovídací hodnoty diagramu informačních toků je účelné rozlišit prvky systému podle typu.

V základním členění lze prvky rozdělit na prvky aktivní a pasivní.

Základními aktivními prvky jsou funkční prvky neboli funkce, prvky zajišťující transformaci vstupní informace na výstupní.

⇒ Aktivní prvky lze dále rozlišovat na prvky:
- příslušné k popisovanému systému,
- prvky, které lze považovat vzhledem k popisovanému systému za vnější.

Aktivní prvky

⇒ Vnější prvky jsou součástí definice vazeb popisovaného systému na okolní svět.

⇒ Jejich vnitřní aktivita není předmětem studia systému.

⇒ Jejich funkce je dána a není úkolem návrhu systému je vytvářet nebo měnit.

Není nutné, ale může být účelné od základních funkčních prvků odlišit prvky systému, které sice náležejí k vnitřním prvkům systému, ale které nejsou bezprostřední součástí právě studované části a patří ostatním částem systému.

Pasivní prvky jsou schopny uchovat uloženou informaci (jakési „paměti“). V případě softwarově orientovaných systémů mohou být realizovány například soubory nebo databázemi, v oblasti nesoftwarových systémů například protokoly, seznamy nebo záznamovými knihami.

Pasivní prvky

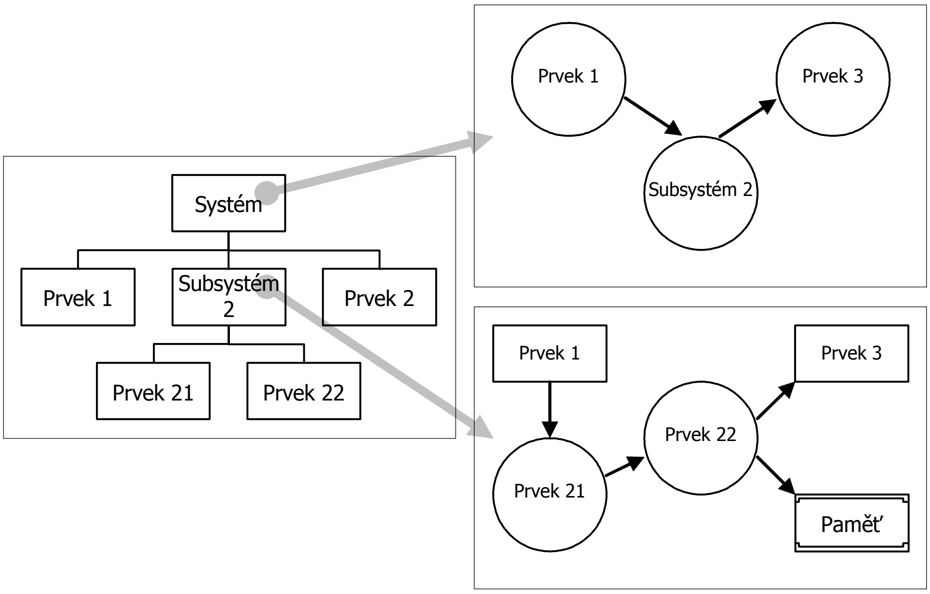
Významnou složkou diagramu informačních toků jsou _informační vazby_ mezi prvky systému – _informační toky_.

Informační toky

⇒ Obsah informačního toku nemůže být s ohledem na požadavek přehlednosti diagramu vyjádřen zcela detailně. To však není na závadu, neboť složitosti a principu postupného poznávání systému vyhovuje i hierarchicky organizovaný způsob postupného zpřesňování popisu předávané informace.

⇒ Informační tok je vyjádřen spojnicí příslušných prvků systému doplněnou o komentář, který charakterizuje předávanou informaci způsobem, který odpovídá aktuální úrovni hierarchické dekompozice systému.

⇒ Detailní popis předávané informace je většinou záležitostí popisu datových struktur nebo datového modelu.



Obrázek 5-3: Informační toky

Metoda informačních toků vyjadřuje formou hierarchicky uspořádaných síťových diagramů *dekompozici systému* na subsystémy a prvky *a současně zachycuje informační vazby* mezi těmito prvky.

Je-li to z hlediska pochopení funkčnosti systému nezbytné, lze k řídicím funkcím připojit stavový diagram. Tento přístup však s sebou přináší nutnost násilného oddělování informačních a řídicích toků již od prvních kroků analýzy.

Vyjádření řídicích toků je zřetelným přechodem od popisu struktury systému k popisu jeho chování a dochází tedy k prolínání popisu kvalitativních a kvantitativních vlastností systému.

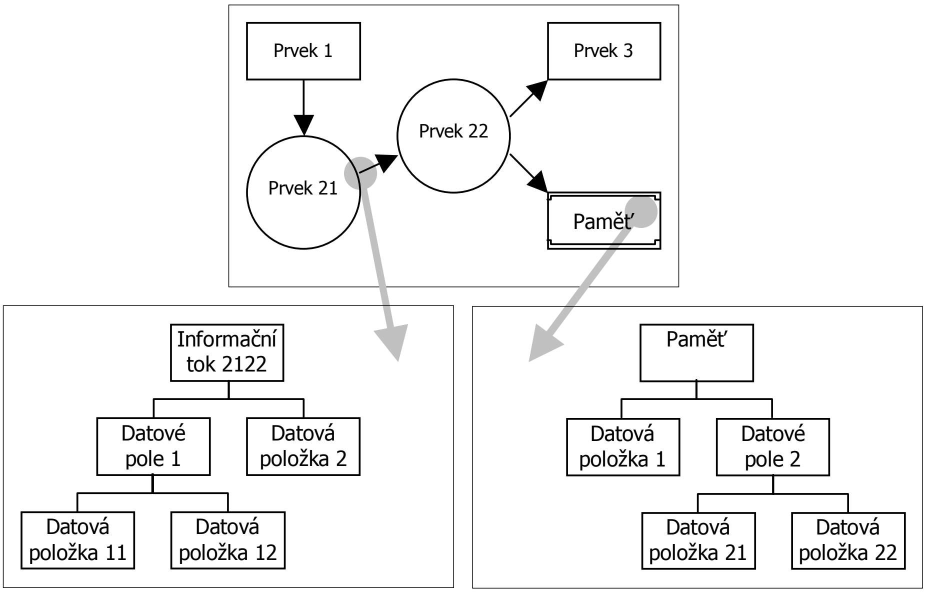
I přes výše uvedené možnosti je metoda informačních toků určena především k zachycení strukturálních vlastností systému, popis chování je ve většině případů omezen nebo potlačen. V aplikacích vedoucích ke tvorbě strukturních modelů je vhodným a dostačujícím popisem chování systému výstižné pojmenování funkčních prvků nebo slovní popis ve formě komentáře k příslušným prvkům.

Datové struktury

Metoda analýzy funkční struktury a metoda informačních toků neposkytují vhodné a dostatečné prostředky pro analýzu datové složky systému. Jak vazby mezi prvky systému popsané informačními toky, tak i pasivní prvky systému mohou představovat složité a rozsáhlé datové struktury.

Jedním z prostředků datové analýzy je popis datových struktur.

- ⇒ Analýza datových struktur umožňuje pomocí hierarchických stromových diagramů postupné rozčlenění informačních toků nebo paměťových prvků.
- ⇒ Všechny prvky tohoto diagramu představují obecně chápané bloky informace – datové položky.
- ⇒ Na analýzu struktury dat bezprostředně navazuje detailní datová analýza, která je prostředkem k podrobnému popisu elementárních datových položek (listových prvků) hierarchického stromového diagramu.
- ⇒ Detailní datová analýza umožňuje přiřadit každé elementární položce datové struktury datový element, který určuje formu uložení informace. Pro datové elementy je možno specifikovat například typ, rozsah nebo výčet možných hodnot.



Obrázek 5-4: Datové struktury

Entitně-relační (ER) model

ER model – model entit a jejich vzájemných vztahů je speciální, avšak velmi rozšířenou metodou analýzy. Je vhodný pro analýzu systému v případě, kdy složitost systému spočívá spíše ve složitosti struktury dat než ve složitosti jeho funkčních složek.

Entitně relační model

Nachází uplatnění ve specializované aplikační oblasti nazývané hromadné zpracování dat.

ER model zachycuje formou síťového grafu objekty reálného světa a vztahy mezi nimi.

Entity a relace

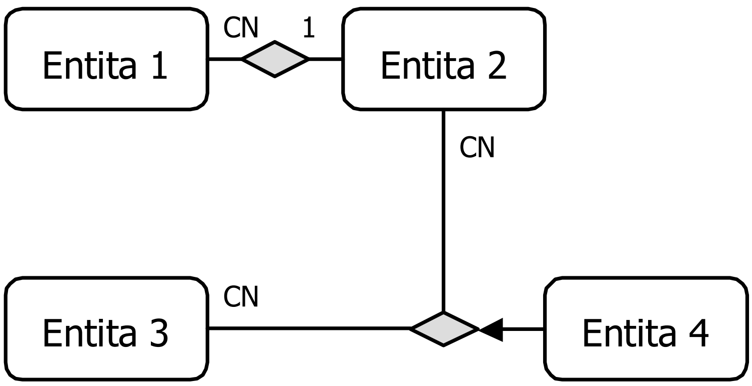
Entity

Množiny objektů reálného světa mající shodné vlastnosti *se nazývají entitami*, *vztahy mezi nimi* pak *relacemi*.

⇒ Entity mohou být blíže specifikovány množinou atributů, které mají shodný význam jako datové elementy užívané při detailní datové analýze.

⇒ Relace mezi entitami jsou specifikovány kardinalitou a těsností vazby.

⇒ ER modely se využívají pro tvorbu modelů dat na logické neboli konceptuální úrovni, tedy modelů dat nezávislých na jejich fyzické realizaci prostřednictvím specifického databázového systému.



Obrázek 5-5: ER model

ER model použitý jako jediný prostředek analýzy systému je účelovým zjednodušením pohledu na systém a může vést k opomenutí významných požadavků řešené úlohy.

Metody popisu chování

Popis chování systému je v obecném slova smyslu jeho algoritmizací.

Popis chování

⇒ Algoritmus chování je v určitých případech nutné nebo účelné podrobněji popsat již ve fázi analýzy.

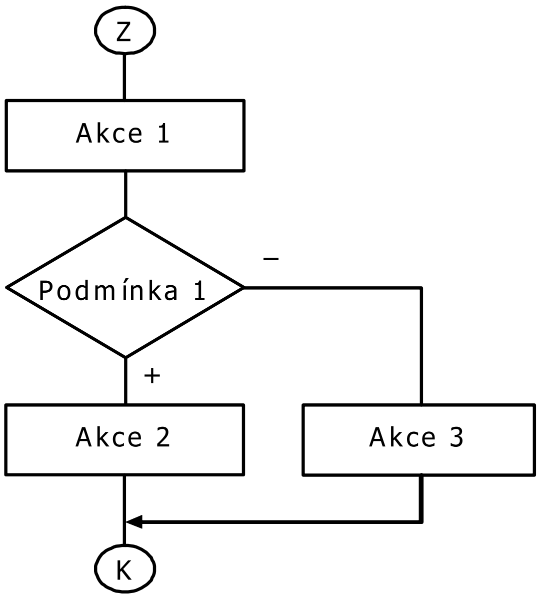
⇒ Metody popisu chování umožňují ve fázi analýzy zachytit algoritmickou složku systému, avšak abstrahují od konkrétního způsobu realizace, který je předmětem fáze návrhu.

⇒ Další metody popisu chování vycházejí z obecně platného poznatku efektivnějšího zpracování graficky kódované informace.

⇒ Metody jsou založeny na grafickém vyjádření nebo na vhodné kombinaci grafického vyjádření a formalizovaného textového popisu.

⇒ Obvykle je pomocí grafických prostředků zachycena základní struktura algoritmu, která je pro specifikaci algoritmu na detailní úrovni doplněna relativně krátkými sekvencemi příkazů zapsanými formalizovaným jazykem.

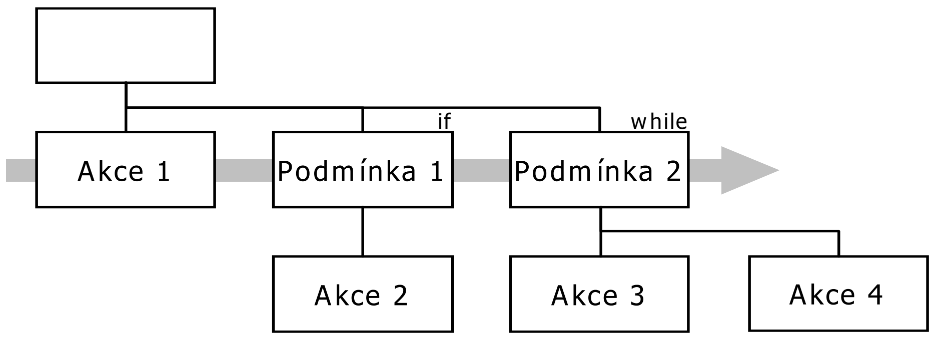
Klasickým grafickým prostředkem zápisu algoritmu je vývojový diagram. Díky své jednoduchosti získal oblibu v nejrůznějších oblastech, které daly vzniknout jeho různým modifikacím. Nejjednodušší varianta zachycuje základní strukturu algoritmu pomocí vzájemně propojených elementů představovaných bloky a podmínkami. Detailní specifikace algoritmu je obsahem příslušných elementů.



Obrázek 5-6: Vývojový diagram

Při nedodržení určitých pravidel mohou konstrukce zachycené pomocí vývojových diagramů odporovat zásadám strukturovaného systémového návrhu, a tím mohou znesnadňovat případnou následnou realizaci.

Mezi metody, které podporují a dodržují zásady strukturovaného návrhu patří metoda grafického zápisu algoritmů podle Jacksona, označovaná jako Jacksonovy diagramy. Základní struktura algoritmu je popsána hierarchickým stromovým diagramem, detailní specifikace je obsahem příslušných elementů a je vyjádřena formalizovaným jazykem.



Obrázek 5-7: Jacksonův diagram

Metoda stavových diagramů

Je grafická metoda popisu chování použitelná pro vyjádření jednodušších algoritmů nebo pro popis algoritmů na hrubé úrovni.

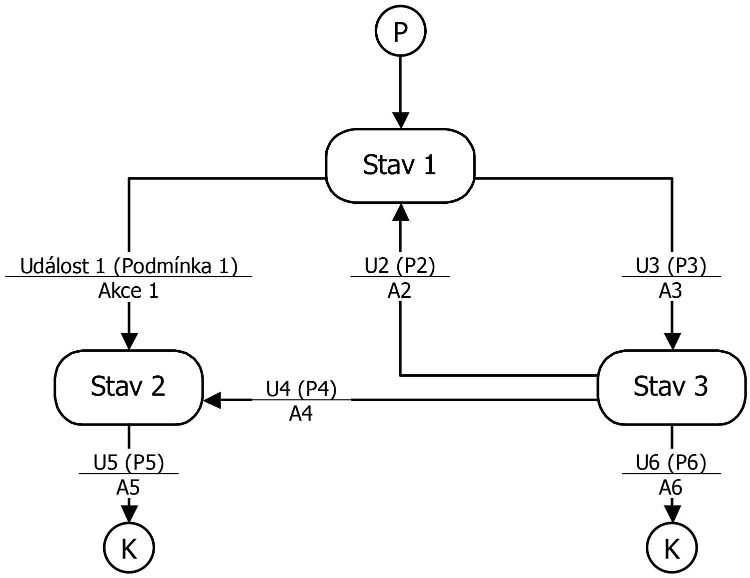
Stavové diagramy

Systém je popsán síťovým grafem, jehož uzly znázorňují stav systému a hrany naznačují možné přechody mezi stavy s vyjádřením podmínek přechodu a akcí s přechodem spojených. Akce a stavy systému pouze symbolicky označují funkce a jejich účinky. Algoritmickou náplň akcí je však nutné popsat s využitím jiných prostředků.

Metoda sekvenčních funkčních grafů.

Představuje grafickou metodu popisu chování systému vyhovující nejobecnějším nárokům na popis algoritmu. Základy metody jsou postaveny na principech Petriho sítí. Původně byla metoda vyvinuta pro detailní zachycení relačně transakčních (RT) vlastností systémů, tedy pro popis algoritmů, které kladou velké nároky na vzájemnou i časovou synchronizaci. Se značným časovým zpožděním se tato metoda dostala do povědomí i jako jedna z analytických metod pro popis chování systému.

Sekvenční grafy



Obrázek 5-8: Stavový diagram

Metoda sekvenčních funkčních grafů využívá k popisu systému obdobně jako metoda stavových diagramů **síťový graf**. Zásadní **rozdíl** však spočívá v tom, že **uzlem** síťového grafu **není stav systému**, ale krok algoritmu, respektive akce s daným krokem spojená.

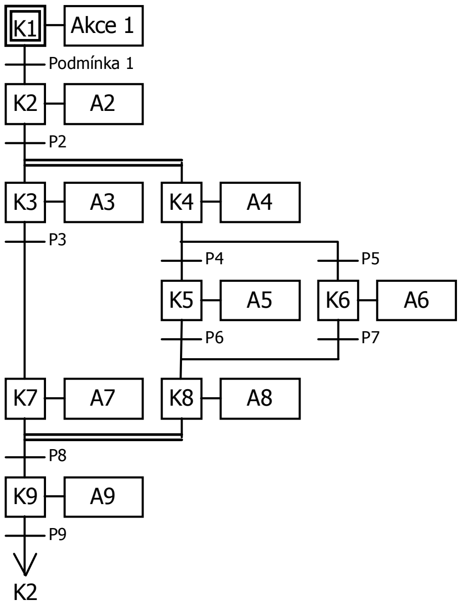
⇒ Přechod z kroku do kroku je vázán podmínkou přechodu a aktivitou kroků této podmínce bezprostředně předcházejících.

⇒ Síťový graf zachycuje základní strukturu algoritmu, detailní popis je pak obsahem akcí spojených s dílčími kroky.

Ačkoliv detailní algoritmický popis **není povinnou součástí analýzy** této metody a lze v případě potřeby zůstat na úrovni kvalitativního popisu, není tato metoda vhodným nástrojem pro vlastní analýzu systému, respektive pro její počáteční fázi. Velmi dobře však může navazovat na metodu informačních toků nebo na popis hierarchické funkční struktury.

Vzhledem k tomu, že metoda sekvenčních funkčních grafů je využívána jako grafický programovací jazyk, je zřejmé, že přechod od analýzy k detailnímu návrhu bude přímý a tedy vysoce efektivní.

Modularita je jedním z obecných principů redukce složitosti a v případě návrhů systémů umožňuje dosáhnout jejich přehlednosti, srozumitelnosti a udržovatelnosti. Modulová struktura se používá pro popis softwarových jednotek – modulů. V grafické formě **pomocí hierarchického stromového diagramu** umožňuje zachytit obsah modulů, tedy funkce jako algoritmické jednotky, data, reference na moduly a elementy uživatelského rozhraní.



Obrázek 5-9: Sekvenční funkční graf

SHRNUTÍ

Shrnutí

Strukturální analýza umožňuje analýzu struktury systému a následné jednoduché zobrazení systému v grafické podobě. Je vhodná pro analýzu jak statických, tak dynamických systémů. Existují však systémy, při jejichž analýze není použití metod strukturální analýzy vhodné.

Nejčastější problémy strukturální analýzy:

⇒ strukturovaně navržené systémy se časem obtížně udržují

⇒ při strukturovaném programování se zabýváme zvlášť funkcemi a zvlášť daty

⇒ funkce jsou aktivní, mají chování, data jsou pasivní, jsou zpracovávána funkcemi

⇒ funkce musejí znát strukturu dat

⇒ pokud se změní struktura dat (změna požadavků), je třeba změnit všechny funkce pracující s datovou strukturou

⇒ pokud máme zpracovávat podobná data, musíme přidat do všech funkcí podmínky a tím vzrůstá "entropie" (neuspořádanost) systému. Pokud dosáhne určitého limitu, cena modifikací naroste tak, že je ekonomicky neobhajitelné systém nadále udržovat ↔ je nutné systém přestrukturovat

5.1.2 Objektově orientovaná analýza

Z výše uvedeného plyne, že mapování mezi skutečností, konceptuálním modelem a systémem by mělo být co nejjednodušší (např. faktura ↔ datový typ "faktura").

⇒ Pojem "objektově orientovaný" znamená přibližně to, že systém je organizován jako množina objektů, které spolu komunikují.

⇒ Objekty slučují data a nad nimi pracující funkce

Objekt

Objekt

- Objekt je entita která má vlastní identitu, stav a množinu operací, které pracují se stavem (mění stav, zjišťují stav, vyvolají určité chování),
- každý objekt má jedinečnou identitu, její pomocí se na objekt odkazujeme po celou dobu existence objektu,
- stav objektu je reprezentován množinou atributů objektu,
- operace sdružené s objektem poskytují služby jiným objektům (klientům),
- klienti vyvolají operaci zasláním stimulu (stimuly se často nazývají "zprávy", i když nemusejí nutně nést informaci).

ÚKOL

K zamyšlení

Zkuste vymyslet příklad nějakého objektu a jeho atributů.

Řešení:

Objekty mohou odpovídat objektům reálného světa. Objektem na určité úrovni abstrakce může být např. „student OPF“, jeho atributy budou např. „jméno: Jiří Novák“, „studijní program: Systémové inženýrství“, operace mohou být „udělej test“, „běž na přednášku“ apod.

Třída

Třída

Třída objektu popisuje skupinu objektů se stejnou strukturou (atributy), chováním (operacemi), vztahy k ostatním objektům a významem.

- Objekty dané třídy mají obdobný význam (i když student a vyučující mají atributy "vyučovaný kurz" a "rozvrh hodin", pravděpodobně nebudou patřit do stejné třídy).
- Sdružováním objektů do tříd abstrahujeme společné vlastnosti objektů.
- Objekty stejné třídy = instance třídy, každá instance má jedinečnou identitu.
- Atributy i operace objektů jsou deklarovány jejich třídou.
- V objektově orientovaných systémech se objekty vytvářejí podle definice třídy.

ÚKOL

K zamyšlení

Zkuste vymyslet příklad nějaké instance.

Řešení:

Objekty "Jiří Novák" a "Kateřina Hudcová" mohou být instancemi třídy Člověk. I když se " Kateřina Hudcová " vdá a bude mít nové jméno, její identita se tím nezmění (identita je nezávislá na stavu objektu).

- Termín operace" se používá pro akci.
- Termín "metoda" pro implementaci operace.

Tím, že systém strukturujeme do objektů existujících v aplikační doméně (v prostředí definovaném pro vytvoření systémové aplikace – modelu), dospějeme k menší sémantické mezeře mezi aplikační doménou a modelem.některé objekty mohou sloužit jako znovupoužitelné komponenty (např. univerzální kontejner)

Pokud celý vývoj probíhá objektově orientovaným způsobem, můžeme pro všechny fáze vývoje používat stejnou terminologii a grafickou notaci (i když objekty budou na různé úrovni abstrakce.

analýza požadavků
(zabývá se vytvářením konceptuálního modelu studovaného systému)

při postupu k implementaci zjemňujeme předchozí model přidáváním detailů nových objektů poskytujících funkčnost

protože informace je ukryta v objektech, může být rozhodnutí o konkrétní realizaci dat odloženo až na implementaci

---

V některých případech můžeme obdobně odložit rozhodnutí o distribuci objektů i to, zda budou sekvenční nebo paralelní (může záviset na prostředí kde budou realizovány)

Objektová orientace

V analýze požadavků modelujeme systém jako množinu objektů ve vzájemné interakci (entit) a operací sdružených s řešeným problémem (např. nemocnice: pacienti, sestry, lékaři, výkony...)
V literatuře existují určité neshody v tom, co přesně znamená pojem "objektově orientovaný", dá se však většinou charakterizovat principy:

1. abstrakce
2. zapouzdření
3. dědičnost
4. polymorfismus

Abstrakce

Abstrakce : zaměření se na podstatné vlastnosti entity a zanedbání detailů, které jsou pro daný účel nepodstatné.

⇒ Při objektově orientovaném modelování umožňuje abstrakce zaměřit se nejprve na to, co objekt je a co dělá.

⇒ Detaily (např. návrh a implementaci) doplníme až budeme problému lépe rozumět, můžeme je např. vhodně uspořádat za použití vrstvené abstrakce (vrstvená abstrakce = vysokoúrovňová abstrakce je popsána pomocí nízkoúrovňových abstrakcí)

Zapouzdření

Zapouzdření: entita má dobře definované rozhraní a ukrytou vnitřní reprezentaci.
V objektově orientovaném řešení problému je jednotkou zapouzdření objekt.

- Zveřejňuje rozhraní - množinu nabízených operací,
- skrývá implementaci,
- objekt můžeme používat podle jeho specifikace nezávisle na vnitřní implementaci (která se může změnit).

PRŮVODCE TEXTEM, PODNĚT, OTÁZKA, ÚKOL

K zamyšlení

Zkuste vymyslet příklad zapouzdření objektu.

Řešení:

Příkladem zapouzdření v reálném světě je např. automobil: ovládá se pomocí volantu, spojky, brzdy, plynu atd. – téměř všechna auta ovládáme podobně nezávisle na jejich vnitřní implementaci.

Některé třídy mají společné vlastnosti. Například třídy Muž a Žena budou mít mnoho společných vlastností (operace "jez", "pij", atributy "jméno", "adresa", "datum narození") atd.

Společné vlastnosti můžeme sdílet tak, že je vyjmeme a vložíme do samostatné třídy Osoba (používají se termíny generalizace, zobecnění) ostatní třídy tyto společné vlastnosti (atributy a operace) mohou sdílet mechanismem dědění

Dědičnost

Dědičnost: ve třídách Muž a Žena můžeme potom popsat jenom vlastnosti, které nejsou již popsané v „nadřazené“ třídě Osoba.

Pokud je zapotřebí modifikovat společné chování tříd Muž a Žena, stačí změnit v definici Osoba

Někdy provádíme specializaci existující třídy - najdeme třídu která poskytuje operace a atributy potřebné pro novou třídu, nová třída je zdědí a přidá nové vlastnosti.

Např. specializací třídy Muž může být Pedagog, který bude mít další atributy ("vyučovaný předmět") a operace ("zapisuj známky").

⇒ Zobecňováním vzniká hierarchie tříd předkové, nadtřídy, které jsou obecnější a jednodušší.

⇒ Specializací vzniká hierarchie tříd potomci, podtřídy které jsou specializovanější, složitější.

Dědičnost může být jednoduchá a vícenásobná :

- jednoduchá = každá třída dědí pouze z jedné rodičovské třídy,
- vícenásobná = třída může mít více než jednoho rodiče.

Polymorfismus

Polymorfismus: pokud bychom v klasickém popisu systému potřebovali zpracovávat například dva geometrické obrazce (reprezentované například datovými strukturami typu "čtverec" a "obdélník"), mohli bychom například pro výpočet obsahu obou objektů použít samostatné funkční popisy:

- „zjisti obsah čtverce“,
- „zjisti obsah obdélníka“.

V objektově orientovaném přístupu najdeme mechanismus polymorfismu, který umožní dávat požadavek na zpracování různým objektům, které na něj odpoví každý svým způsobem (například „zjisti obsah objektu“, „zjisti barvu objektu“ apod.).

SHRNUTÍ KAPITOLY

Shrnutí

V této kapitole jste se naučili přistupovat k systémům z hlediska pochopení vazeb a vnitřní struktury. Naučili jste se rozkládat systém, přičemž znáte možná úskalí rozkladu (ztráta vypovídací schopnosti, nepřehlednost apod.), víte však jak postupovat, aby jste tato úskalí minimalizovali.
Naučili jste se novému pohledu na vnitřní strukturu systému. Dovedete pracovat s objekty a definovat jejich atributy a vlastnosti.

Strukturované metodiky pro analýzu a návrh systému historicky předcházely objektovým metodikám.

Objektově-orientovaný přístup - data a nad nimi pracující funkce chápeme jako objekty.

Strukturovaný přístup - na funkce a na data pohlížíme odděleně.

- Odpovídá strukturovanému programování,
- funkce jsou aktivní a mají chování,
- data jsou pasivní, ovlivněna funkcemi,
- funkce systému postupně rozdělujeme shora dolů na části, nejčastěji pomocí diagramů datových toků.

V současnosti se všeobecně dává přednost objektově orientovaným metodikám, ale strukturované metodiky mohou stále ještě sloužit v následujících případech:

- Malé systémy které jsou příliš jednoduché, aby se vyplatilo vytvářet třídy,
- systémy s krátkou dobou života, např. prototypy, které budou zahozeny (pokud cílem není získat představu o vytvářených třídách),
- pokud se pravděpodobně bude měnit funkčnost, ale ne data (v objektově orientovaném přístupu by funkčnost byla rozprostřena mezi více objektů, proto může být výhodnější strukturovaný přístup, pokud se naopak budou měnit data, je objektově orientovaný přístup výhodnější, protože změny jsou zapouzdřeny do jednotlivých objektů).

Výhody strukturovaných metodik:

- metodiky mohou být jednodušší, vytvářené modely mohou být srozumitelné zákazníkovi (zákazník se snáze účastní strukturované analýzy),
- návrh systému může být rychlejší (nevytváříme přídavnou strukturu tříd).

Nevýhody strukturovaných metodik:

- jsou považovány za nemoderní,
- výsledný systém se většinou hůře udržuje.

U strukturální i objektově orientované analýzy a návrhu se vytvářejí modely jako abstrakce klíčových vlastností studovaného systému.

Model slouží jako vstup do dalších fází analytického procesu.

Model kontextu systému - určuje hranice vytvářeného systému.

Modely strukturované analýzy - diagramy datových toků, datový slovník, ERA diagramy, specifikace činností procesů apod.

TESTY A OTÁZKY KE KAPITOLE

Test 5

1. metoda stavových diagr. zobrazuje: a) statické systémy
   b) dynamické systémy
   c) uzavřené systémy

2 dědičnost je znakem: a) strukturálních metod
   b) objektově orientovaných metod
   c) prognostických metod

3. objekt: a) je entita která má vlastní identitu
   b) je blok prvků
   c) je vazbou mezi prvky

ŘEŠENÍ A ODPOVĚDI, NÁVODY

Odpovědi na test 5 1b, 2b, 3a

KORESPONDENČNÍ ÚKOL 5

Jaké třídy objektů by jste definovali na sytému „křižovatka se semafory“

PRŮVODCE STUDIEM 10

Znáte metody analýzy, modelování popis systémů, můžete úspěšně vykročit k projektování systémů. Seznámíte se s konstruktivní teorií systémů a cyklem projektu

Průchod modulem

6 PROJEKTOVÁNÍ SYSTÉMŮ

RYCHLÝ NÁHLED DO PROBLEMATIKY KAPITOLY PROJEKTOVÁNÍ SYSTÉMŮ

Rychlý náhled

Systémové projektování vymezuje systémovou disciplínu umožňující vyhodnocení výchozího stavu včetně energetické analýzy a přípravu návrhu systému. Zabezpečuje formulace, rozbory, korekce apod. při návrhu nových systémů. Jedná se o rozsáhlý analytický a projekční aparát, jehož výsledkem je realizace nového systému.

CÍLE KAPITOLY PROJEKTOVÁNÍ SYSTÉMŮ

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

Budete umět

- vyhodnocovat výchozí stav před projekcí systémů
- formulovat vstupní představy
- vytvářet a hodnotit variantní představy
- provádět korekční a schvalovací procedury
- zpracovávat výsledné systémy a aplikovat je do prostředí

Získáte:

Získáte

- znalosti z konstruktivní teorie systémů
- přehled v procesu makroprojektování
- znalosti umožňující uvádět nové systémy do praxe, především z oblasti analýzy cyklu projektu

Budete schopni:

Budete schopni

- Navrhnout lineární cyklus a jeho modifikace
- Vyhodnotit realizovatelnost projektu
- Sledovat fáze tvorby systému
- Vytvořit strukturovaný cyklus projektu

ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

Celkový doporučený čas k prostudování KAPITOLY je **dvě hodiny**

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY PROJEKTOVÁNÍ SYSTÉMŮ

Klíčová slova

Projektování, projekce, systém, varianty, korekce, lineární cyklus, konstruktivní teorie systémů, realizace, makroprojektování, mikroprojektování, poimplementační kontrola, metoda etap, kaskádový cyklus projektu.

6.1 Systémové projektování (systémová projekce)

Systémové projektování (systémová projekce)

Pojem systémové projektování nebo systémová projekce vymezuje systémovou disciplínu, jejímž předmětem zájmu je úprava (nebo konstrukce) složitých (především řídících) systémů nebo příprava (vypracování návrhu, formulování a zobrazení rozumové představy):

- způsobu uspokojování společenské potřeby určité výrobní nebo nevýrobní činnosti,
- projektu takové činnosti, jeho formy, parametrů a funkcí,
- názorů na důsledky dané vznikem a funkcemi výsledného produktu, připravovaného procesu.

Do náplně systémového projektování patří i snaha o prvky automatizace při projektování např. prostředky CAD (Computer Aided Design).

Někteří autoři charakterizují takový projektový proces jako účelně uspořádanou soustavu prvků a vazeb s dynamickým chováním. Za prvky lze v ní považovat různé cílově zaměřené činnosti, jejichž vstup i výstup má informační povahu a které ve svém celku vytvářejí projekt. Vazbami jsou u projektového procesu informační vazby, které zajišťují přenos informace, efektivní provedení jednotlivých činností a výslednou tvorbu projektové dokumentace.

Za obecné složky projektování považujeme:
- poznání a vyhodnocení výchozího stavu skutečnosti z hlediska požadovaných změn v daném prostoru činností,
- poznání, bilancování a zhodnocení potřeb, požadavků a nárokových funkcí nové skutečnosti,
- formulaci vstupních variantních představ o nové skutečnosti (forma, funkce, způsob realizace),
- rozbory, hodnocení a oceňování variantních představ na základě přijaté soustavy hodnot a kritérií,
- konfrontaci s požadovanými parametry a funkcemi nové skutečnosti, konfrontaci se soubory možných vnějších podmínek,
- rozhodovací a schvalovací procedury, výběr zvolené varianty k dalšímu zpracování,
- korekční procedury, formulace výsledné představy nové skutečnosti,
- zpracování výsledného informačního modelu nové skutečnosti v žádané formě a na žádané informační úrovni.

Koncepce systémového projektování

Existuje více koncepcí systémového projektování, jejich odlišnost je vyvolána především věcnou povahou oblasti, na kterou je toto projektování zaměřeno (řídicí systémy, výrobní systémy v různých odvětvích, přepravní systémy, systémy výstavby a pod.). Systémové projektování klade ve všech svých koncepcích značnou váhu na fázi návrhu systému. Přesto se v etapě přípravy pro tuto syntézu neobejde bez analytických prací.

Na rozdíl od operační analýzy, která usiluje především o stanovení optimálních podmínek pro chod daného procesu v daném systému, snaží se systémová analýza upravit či navrhnout daný reálný systém takovým způsobem, aby proces (cíl), který se bude tímto systémem zajišťovat, probíhal pokud možno optimálním způsobem (vzhledem k výkonu a nákladům), aby systém dosáhl daného cíle co nejúčelněji (nejhospodárněji). Systémová analýza v tomto procesu využívá nástrojů systémového inženýrství (SI). SI je projektovou disciplínou zabývající se převážně úpravou existujících či navrhovaných nových systémů schopných při respektování daných omezení splnit vymezený úkol s minimálními náklady.

Hlediska posuzování

Při návrhu systému jsou při posuzování navrženého systému uvažována zejména tato hlediska:
- výkonnost systému,
- spolehlivost provozu systému a
- náklady na konstrukci a provoz systému.

Reálné systémy, jimiž se systémové inženýrství zabývá můžeme charakterizovat následovně:

- jsou umělé,
- mají svou integritu v tom smyslu, že všechny komponenty jsou zaměřeny na určitý cíl, který však na začátku projektování nemusí být přesně znám,
- jsou složité a rozlehlé, tj. skládají se z velkého počtu různých částí, vykonávají mnoho funkcí a jejich cena je značná,
- jejich interdependence je značná (změna jedné proměnné ovlivňuje mnoho jiných proměnných v systému,
- jsou řiditelné
- jejich vstupy jsou stochastické,
- působí v konfliktním okolí.

Je zřejmé, že ekonomické systémy odpovídají této charakteristice.

Reálné systémy

Ekonomické procesy lze charakterizovat jako reálné, rozsáhlé, složité systémy. Návrh složitých systémů se obyčejně skládá ze dvou základních etap:

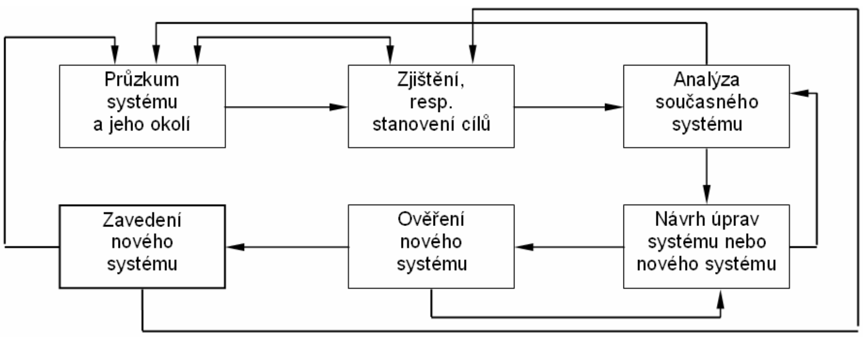
1. makroprojektování (projektování struktury a chování systému) a
2. mikroprojektování (projektování prvků nebo subsystémů).

Makroprojektování, mikroprojektování

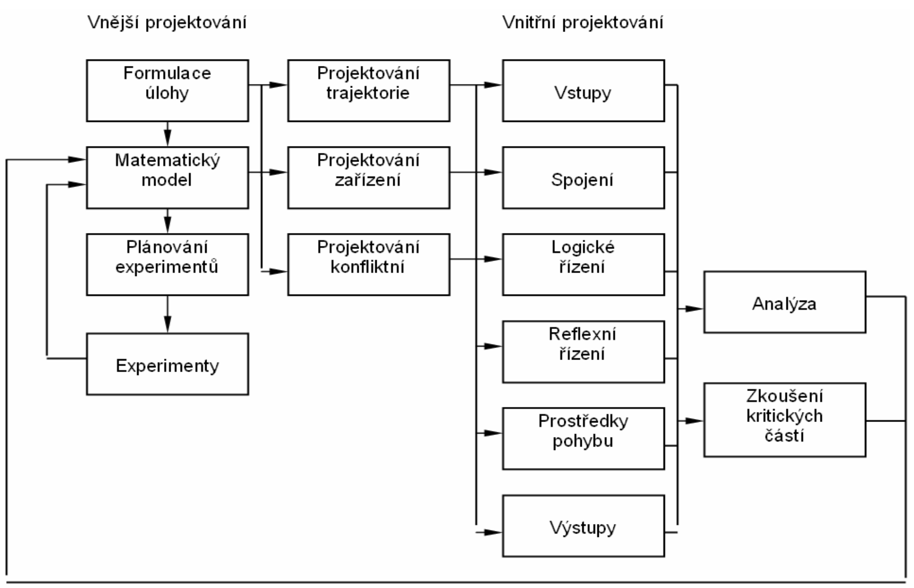
Při projektování vystupují tři druhy faktorů, které musíme v úvodní fázi projektování identifikovat a diferencovat. Jsou to tyto tři faktory:

1. přímo ovlivnitelné faktory (může je ovlivnit ten, kdo systém řídí nebo navrhuje),
2. nepřímo ovlivnitelné faktory (jejich ovlivnění lze dosáhnout např. dohodou s nadřízeným místem nebo s některým prvkem okolí) a
3. neovlivnitelné faktory.

Postup při návrhu systému se podle jednotlivých autorů v detailech sice liší, ale většinou je v základních rysech podobný. Na obr. 6-1 a 6-2 vidíme např. dvě varianty přístupu.



Obrázek 6-1: Postup při projektování - varianta A



Obrázek 6-2: Postup při projektování - varianta B

Systémové inženýrství navázalo na tradiční inženýrské disciplíny. Později se začalo v některých kruzích jeho pojetí rozšiřovat a do sféry zájmu systémového inženýrství se zahrnovaly mimo technické (tvrdé, převážně ostré problémy) systémy i systémy, v jejichž chování se silně uplatňuje vliv lidského faktoru (systémy s převážně neostrými, mlhavými problémy). V tomto směru vzniká velmi úzký kontakt mezi systémovým inženýrstvím a systémovou analýzou a návrhem. V některých pojetích je obsah obou disciplín velmi blízký.

6.2 Konstruktivní teorie systémů

Konstruktivní teorie systémů

V minulých letech se na základě teorie systémů, systémového řízení a systémového inženýrství formovala disciplína, kterou nazýváme konstruktivní teorie systémů. Jejím smyslem je propracovat formulaci opakovatelných úloh v různých systémech řízení, úlohy formalizovat, vymezit pro ně nutné a postačující podmínky, vytvořit banku metod umožňujících takové úlohy řešit a interpretovat jejich výsledky. Zajištěním vazby mezi takovými úlohami a jejich interpretací dosáhnout teoretické možnosti navrhovat pro dané objekty vhodné systémy řízení nebo stávající systémy řízení vhodným způsobem modifikovat. Konstruktivní teorie systémů má řadu styčných ploch se systémovým inženýrstvím, systémovým projektováním, systémovou analýzou a návrhem.

Původní idea konstruktivní teorie systémů reprezentovala teorii pro vytváření automatizovaných systémů řízení. Dnes je zaměřena spíše k takovým objektům či situacím, k jejichž řízení lze navrhovat ostré (tvrdé) řídicí metody. Základy konstruktivní teorie systémů jsou obsaženy především v pracích Vlčka (1978, 1985) a v některých publikacích Veselého (1980, 1979). Podle Vlčka je předmětem konstruktivní teorie systémů vytvoření prostředků, které by umožňovaly realizaci systému s jeho rozpoznatelnými vlastnostmi. Realizace systému může mít podle Vlčka více významů. Může jít o tvorbu systému jako souboru prostředků, které umožňují řízení již stávajících reálných objektů na základě analýzy jejich vlastností (realizace regulačních a řídících systémů). Hlavním úkolem konstruktivní teorie systémů je:

- rozpoznat, resp. zavést systémové vlastnosti na reálném objektu (Zde je hlavním problémem řešení relevantních vlastností objektu a podmínek jejich zobrazení v systémovém modelu, tj. problematika identifikace systému a vytvoření modelu.),
- zvládnout objekt pomocí systémového modelu, resp. objektu (Zde je úkolem vypořádat se ze specifikou metod projektování a formulaci nových úloh na systému včetně respektování náročnosti dat, metod a úloh.),
- zabezpečit funkce realizovaného objektu (Zde jde o formulaci stavů, které mohou nastat v rámci reálného chování systému, jejich zajištění, měření odchylek od očekávaného chování a opatření, která směřují k zabezpečení další funkceschopnosti systému.).

Matematická teorie nám nabízí celý soubor formálních prostředků především pro zobrazení systému, práci s tímto zobrazením a řešení úloh na tomto zobrazení. Konstruktivní teorie systémů má však určité problémy s využitím těchto prostředků (zejména z pohledu jejich zavedení a ovládnutí). Součástí konstruktivní teorie systémů je proto i snaha o vzájemné ovlivnění a konfrontaci s matematickým aparátem.

Pro řízení ekonomických systémů je vyžadované zavedení určitých předpokladů, které jsou poměrně obtížně zajistitelné. Použití konstruktivní teorie systémů vyžaduje totiž velmi precizní formulaci problému a spojení s interpretací získaných výsledků.

Systémová analýza a projektování

Systémová analýza se zabývá tvorbou složitých koncepčních systémů. Jde tedy o projekční činnost, ve které se provádí *základní makroprojektování nějakého umělého systému* např. technologického nebo plánovacího. Na návrh pak obvykle navazuje konstrukce (implementace, mikroprojektování), testování a provoz systému.

Systémová analýza se snaží optimálně navrhnout systém podle specifikovaných funkcí, požadavků a kritérií. Optimalizuje se jak struktura systému, tak chování vzhledem k investičním i provozním nákladům. Základním nástrojem při takovém to projektování je systémová analýza. Systémová analýza má řadu různých podob (klasická systémová analýza, objektově orientována systémová analýza, strukturální systémová analýza a pod.). Každá z těchto podob pak může používat celé řady různých nástrojů a to podle toho k jakému účelu slouží.

V systémové analýze *vyšetřujeme vlastnosti a kvantitativní charakteristiky systémů známé struktury.* Systémový návrh slouží *k hledání struktury systému, který má předem definované vlastnosti a má plnit dané funkce při daných kriteriích*. Máme obvykle dány požadavky na chování systému a množinu použitelných typů prvků. Základním problémem návrhu je nalezení takové struktury systému, která realizuje požadované chování a splňuje ostatní požadavky a obsahuje pouze předepsané prvky. Požadované chování může být obvykle realizováno mnoha různými strukturami, které se skládají ze stejných typů prvků. Hledáme obvykle struktury, které jsou optimální z hlediska nákladů.

Návrh systémů je složitá tvůrčí činnost. Obecná a ucelená teorie systémového návrhu však není dosud vytvořena. Jedná se totiž o velmi složitý a obtížný proces. Při tvorbě systémů se často používá řady empirických i deduktivních teorií. Velmi často se řeší i problémy, které mají výzkumné nebo vývojové rysy. V literatuře můžeme najít jak obecné principy, rámcové strategie tak i metodiky tvorby specifických rozsáhlých a komplexních systémů.

6.3 Cyklus projektu

Cyklus projektu

Systémový návrh představuje *proces vytvoření projektu v komplexním prostředí*. Takové prostředí je představováno řadou lidí, procedur a velkou rozmanitostí různých zařízení. Práce v takovém prostředí není jednoduchá. Existuje velké množství dostupných informací, které mohou analytiky zmást, a nebo zapomenou zahrnout některé významné faktory v průběhu návrhu. Je proto nezbytné provádět některé kroky řešení určitým, organizovaným způsobem. Organizovaný způsob práce je potřebný z řady důvodů. Práce musí být provedena co nejefektivnějším způsobem. Musí se najít všechny informace potřebné pro řešení a ty pak vhodně použít. Neméně významná je i otázka správné identifikace problému a jeho řešení.

Z těchto důvodů se ustálila praxe *budovat nový systém jako řadu postupných kroků*. Tato sekvence postupných kroků řešení se nazývá *cyklem*, *průběhu vývoje systému* (life cycle, problem-solving cycle, development cycle). Diagram cyklu projektu systému slouží k organizaci velkého množství činností, které jsou potřebné pro vývoj nového systému. Takový diagram pomáhá navíc analytikům při řešení problémů, které se vynoří v průběhu řešení. Diagram průběhu vývoje systému obvykle podporuje *systémový návrh typu shora dolů (top-down).* Analytik musí nejdříve přesně definovat řešený problém a pak stanovit řadu kroků, které souvisí s jeho řešením. Diagram průběhu vývoje systému (cyklus) dává celému projektu směr a návod na to, co by se mělo dělat při postupu prací na projektu. Diagram průběhu vývoje pak navíc slouží managementu pro vytváření zpráv o stavu projektu a k přidělování potřebných zdrojů pro projekt.

Obvykle všechny strukturované metodologie mají *cyklus* určitým způsobem *idealizovaný*. Ve velkých organizacích a podnicích se setkáme často s vlastním, interním průběhem cyklu. Jde obyčejně o unikát pro danou organizaci nebo podnik. Vy se seznámíte především se *strukturou cyklu projektu*. Budete se zabývat především prototypem cyklu .

Dříve než si uvedeme *moderní strukturované cykly projektů*, seznámíme se s *klasickým pojetím cyklu projektu*.

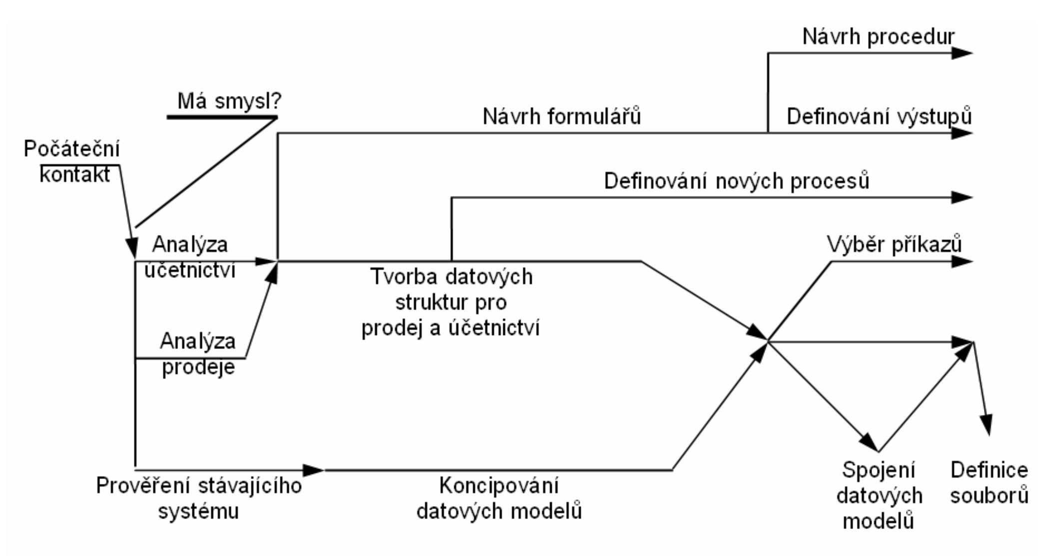
Nám ovšem nepůjde pouze o jeho popis, protože ten lze najít v řadě učebnic i příruček, ale o zdůraznění jeho slabin a omezení. Rovněž si ujasníme některé pojmy jako je *interaktivní, vývoj top-down* a pod.

6.3.1 Koncepce cyklu projektu

K vytvoření systému je zapotřebí celá řada různých, často i drobných činností. K těmto činnostem patří např. návrhy formulářů, zjištění toho, co uživatel vlastně potřebuje, výběr potřebného zařízení a pod.

Koncepce cyklu projektu

Při vytváření diagramu průběhu cyklu je prvním krokem vytvoření seznamu takových činností. Tento seznam by měl navíc specifikovat i následnost jednotlivých činností, které činnosti musí být ukončeny před tím, než začnou jiné apod., jak je to patrno z obr. 6-3,



Obrázek 6-3: Seznam činností cyklu projektu.

Tento typ diagramu se dříve používal při vývoji systémů velmi často. Dnes se už používá méně, protože většina projektů se dnes skládá z velkého množství různých činností, mezi kterými existuje množství různých souvislostí. Nakreslení všech těchto činností a jejich vzájemných souvislostí do jednoho diagramu by vedlo k nepřehlednosti a nesrozumitelnosti. Navíc si musíme uvědomit, že následné části projektu velmi často závisí na dokončení předchozích činností a tak součástí celkového plánu je i predikce času dokončení takových činností. V případě špatných časových odhadů se musí diagram upravovat. Časté změny v diagramu cyklu mohou být zásadním problémem, který znehodnocuje celou projekční práci.

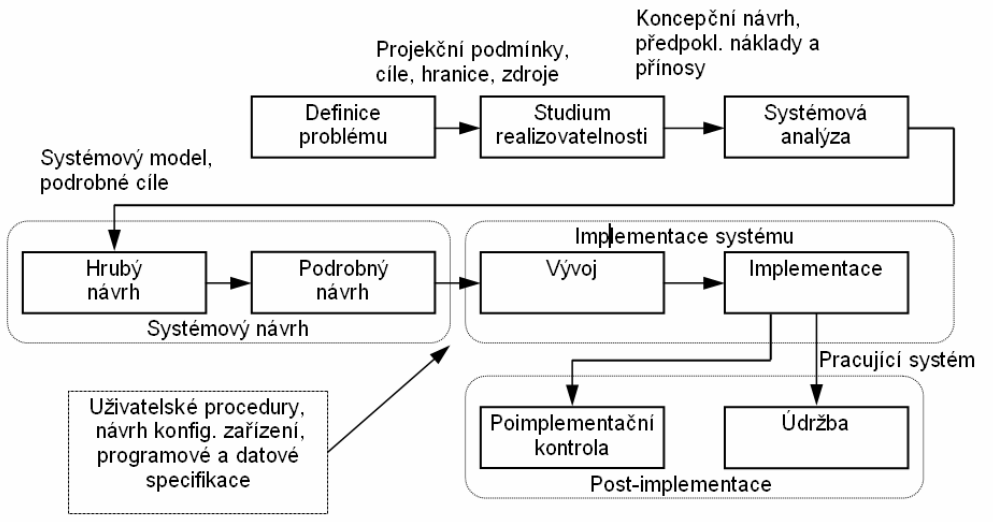
Z uvedených důvodů bývá dnes diagram cyklu definován častěji jako *sekvence fází na vyšší úrovni*. Každá taková fáze se skládá z řady činností, které jsou mnohem detailnější než jak bylo uvedeno v předchozím případě. Každá fáze má navíc stanovený svůj vlastní cíl. Jednotlivé detailní činnosti pro každou fázi nejsou definovány na počátku projektu. Po dokončení se obvykle každá fáze prověří. Výsledkem prověření každé fáze bývá zpráva, která definuje cíl i podrobný plán pro další fázi. Není proto nutné vytvářet podrobný plán pro celý projekt, ale pouze na počátku pro první fázi projektu.

V praxi se setkáme s celou řadou typů diagramů cyklu, které obyčejně závisí na typu řešeného problému. Určitý typ je vhodný k vývoji systémů pro podporu rozhodování, jiný typ se bude používat pro vývoj transakčního systému a pod. Nejobvyklejším typem diagramů průběhu cyklu je lineární cyklus.

6.3.2 Lineární cyklus

Lineární cyklus se skládá z řady po sobě jdoucích fází. Fáze v sekvenci může začít až po ukončení fáze předchozí. Na konci každé fáze se vytváří zpráva, která popisuje, čeho bylo dosaženo v dané fázi, a vytváří se plán pro fázi následující. Taková zpráva zároveň obsahuje všechny systémové deskripce nebo zvětšení rozsahu uživatelských požadavků, návrh rozhodnutí a problémy, které se v průběhu fáze vyskytly. Zpráva, která je výstupem fáze, slouží managementu organizace pro informaci, aby management mohl rozhodnout o případné změně směru, kterým se projekt bude ubírat a kam přidělovat zdroje potřebné pro zdárný průběh projektu.

Lineární cyklus



Obrázek 6-4: Lineární cyklus

Lineární cyklus (obr. 6-4), aplikovaný na řešení problému, podporuje systémový přístup top-down (shora dolů). Přístup k řešení metodou shora dolů zaručuje, že jak problém, tak i jeho řešení se v průběhu projektu postupně rozpracovává podrobněji. Lineární cyklus proto začíná nejdříve širokým pojetím toho co se má dělat a pokračuje postupně stále podrobnějším řešením. Prvním krokem takového podrobného vývoje je stanovení možné realizovatelnosti daného řešení. V případě, že je řešení proveditelné, provede se podrobná analýza systému. Analytici provádějí podrobnější studii systému a vytvářejí popis nového systému a rozšíření jeho rozsahu na základě uživatelských požadavků. Po analýze následuje systémový návrh a jeho implementace.

Definice problému

Často je definice problému považována za nejvýznamnější fázi. V této fázi se definuje problém, který se má řešit a tím se stanoví i směr, kterým se bude celý projekt ubírat. V této fázi se rovněž stanoví hranice systému, což znamená, že se definují části systému, které se mohou měnit a které ne. Do této fáze rovněž náleží i stanovení potřebných zdrojů. Tyto tři faktory, cíle, hranice a zdroje, se velmi často nazývají *projekční podmínky.* Projekční podmínky mají velký význam a proto je obyčejně stanoví management organizace.

Výstup fáze definice problému se skládá z cíle projektu, jeho hranic a stanovení potřebných zdrojů. Výstup může obsahovat i další omezení jako např., které části stávajícího systému nelze měnit. Stanovené zdroje nám specifikují jaké prostředky máme k dispozici a jaký personál je určen pro řešení projektu. Vyžaduje to obyčejně i návrh hrubých odhadů požadavků pro následné projekční fáze, včetně osob, které se budou na projektu podílet.

Studie realizovatelnosti

Studie realizovatelnosti připravuje jedno nebo více koncepčních řešení projektu. Koncepční řešení podává představu toho, jak by měl nový systém vypadat. Definuje činnosti a jejich návaznosti. Koncepční studie zároveň indikuje jaké vstupy bude systém potřebovat a jaké výstupy bude systém vytvářet. Návrhy těchto řešení se musí prověřit, zda jsou realizovatelné, a musí se vybrat z celé řady řešení to, které bude přijato.

Pro zjištění realizovatelnosti se musí udělat tři základní věci. První problém, který se musí posoudit je, zda je *projekt technicky realizovatelný*, tj. zda organizace má technologii a nezbytné předpoklady pro vypracování projektu, a v případě, že nemá, kde se tyto dají získat. Druhý problém, který se musí vyřešit, nazýváme *operativní realizovatelnost.*

Znamená to, že je nezbytné konzultovat navržený systém s uživateli, abychom viděli, zda navrhované řešení uspokojuje požadavky uživatelů a jejich představy, a jak zapadá do současného stavu provádění operací v systému. Třetí problém nazýváme *ekonomickou realizovatelnosti.* Studie musí stanovit, zda cíle projektu lze dosáhnout v rámci stanovených zdrojů. Zároveň se musí určit, zda má vůbec cenu projekt realizovat, tj., zda náklady na systém nepřekročí přínosy nového systému. V takovém případě se projekt ukončí.

Když máme k dispozici řadu alternativních řešení, musíme je analyzovat. Prvním krokem je *vyloučit takové alternativy, které jsou zřejmě nepraktické nebo neproveditelné*. Velmi často lze počáteční koncepční řešení modifikovat na základě takto získaných poznatků. Další informace povedou k podrobnější znalosti systému. Postupně získáme stále více informací o datech, které jsou požadovány zákazníkem, o komunikačním vzorku mezi zákazníky a producenty a pod. Zároveň získáme mnohem podrobnější a názornější pohled na problémy v distribuci dat a o produktech zákazníka.

Ve fázi systémové analýzy dochází *k podrobnému zhodnocení stávajícího systému*. Toto zhodnocení představuje prozkoumání toho, jak systém pracuje a co dělá.. Po této fázi by měl být systémový analytik důvěrně seznámený jak s detailními operacemi systému, tak i s požadavky na nový systém. Analytici využívají řadu obecných analytických metod a nástrojů, řadu specifických postupů pro získání informací o systému (interview s uživateli systému, dotazníky a pod.). Analytici musí zkoumat jednotlivé komponenty, např. různé formuláře, které se používají v systému v rámci operací stávajícího počítačového systému a pod. Analýza by měla určit, co je skutečně potřebné, např. se lze dotázat zákazníků na jejich názor na současný stav, požádat je o návrh informací, které potřebují a kdy je potřebují.

Systémová analýza

Výstupem této fáze je *podrobný model systému*. Model popisuje systémové funkce, systémová data a tok dat systémem. Zpráva o výsledku fáze obsahuje revizi cílů projektu a odhady ekonomických přínosů. Ve zprávě je obsažen mnohem podrobnější výklad systémových problémů než byl ve fázi definice problému. Tento výklad obsahuje podrobný soubor požadavků uživatelů. Tyto požadavky se použijí pro stanovení funkcí nového systému. Účast managementu na této fázi spočívá v kontrole těchto požadavků.

V této fázi *se vytváří systémový návrh nového systému*. Opět se musí zajistit řada skutečností. Projektanti musí vybrat pro implementaci potřebné zařízení. Musí specifikovat nové programy a změny ve stávajících programech. Musí specifikovat nové datové báze nebo změny stávajících datových bází. Projektanti musí rovněž vytvořit podrobné uživatelské procedury, které popisují jak budou uživatelé systém používat. Systémový návrh probíhá obyčejně ve dvou krocích. První krok je hrubý návrh a následný krok je podrobný návrh.

Systémový návrh

V průběhu hrubého návrhu se koncepční řešení, které bylo výstupem studia realizovatelnosti, *studuje mnohem podrobněji*. Hlavní náplní hrubého návrhu je navržení nových funkcí a definování změn funkcí stávajícího systému. V této fázi se definují významné vstupy a výstupy a provedení požadavků tak, jak byly specifikovány. *Hrubý návrh zároveň stanoví*, které *části systému budou automatizovány* a které se nadále budou *provádět manuálně*.

Podrobný návrh obvykle *nezačíná před dokončením hrubého návrhu*. V rámci fáze podrobného návrhu se *navrhují datové báze a moduly*. Provádí se zároveň podrobné dokumentování uživatelských procedur. Definuje se komunikační spojení mezi uživateli. Dokumentace podrobného návrhu přesně definuje, jak by měl uživatel systém používat.
Výstupem fáze návrhu je návrh spolu se specifikacemi datových bází a modulů. Výstupem jsou uživatelské procedury, všechny vstupní formuláře a interface mezi uživateli a systémem. Na konci této fáze lze obyčejně najít hotový *uživatelský manuál.*

Podobně jako fáze návrhu, tak i tato fáze, *se dělí na dvě menší podfáze*. První podfází je *vývoj* a druhou je *implementace*. V průběhu vývojové fáze *se skládá systém z jednotlivých komponent*. V této fázi dochází k vývoji a zkoušení systému uživateli a inicializují se datové báze.

Tvorba systému

V průběhu implementace se jednotlivé části systému zavádějí do provozu. Obvykle to znamená, že starý i nový systém pracují vedle sebe paralelně. K završení změn musí být uživatelé zaškoleni na nový systém a stávající procedury se musí konvertovat na nový systém.

Na konci fáze tvorby systému se poskytuje uživateli již funkční systém. Tím máme na mysli, že uživatelé obdrží soubor systémových modulů a inicializovanou datovou bázi. Součásti je i systémová dokumentace, která popisuje systémové moduly. Všichni uživatelé jsou proškoleni a umí používat nový systém.

Pracující systém je výstupem fáze tvorby systému, tj. systém byl dokončen. Nicméně však stále zbývá řada činností, které je třeba vykonat. Stále nemůžeme považovat práci za ukončenou. Zbývá zabezpečit dvě skutečnosti. První se nazývá *poimplementační kontrola,* t.j testování systému a jeho verifikace a druhá se nazývá *údržbou systému*.

Poimplementační kontrola

Testování systému probíhá následně po jeho implementaci. Testování systému by mělo zjistit, zda nový systém opravdu splnil stanovené cíle a zda opravdu splnil předpoklad očekávaných přínosů. V případě, že ne, musí se vypracovat studie proč tomu tak je. Součásti takové studie je obyčejně samotný diagram průběhu cyklu. Je důležité se vrátit k původním cílům projektu. Na základě získaných zkušeností by se mělo vrátit k rozhodnutím provedeným v průběhu projektu a zjistit, zda byla všechna optimální. Tento postup zhodnocuje celý proces a dává řadu doporuční pro rozhodování v případě dalších projektů. V této fázi lze rovněž navrhnou řadu drobných úprav na systému. Za vynímečných okolností, když je systém špatně zrealizován, lze jako výsledek poimplementační kontroly navrhnout realizaci nového projektu systému.

Údržba

Údržba systému je obvykle nezbytná. Musí se vyloučit nedostatky během provozu pracujícího systému a přizpůsobit systém všem možným alternativám, které se mohou vyskytnou při jeho nasazení v reálném prostředí. Obvykle se ukáže několik chyb, které se musí opravit, např. došlo k definování malého rozsahu systému nebo jeho některých částí, případně se v průběhu provozu změnily některé podmínky, a tak se musí provést potřebné opravy nebo úpravy. Tvůrci systémů by vždy měli s takovou alternativou počítat. V případně zásadních změn se musí zpracovat nový projekt, který by měl projít všemi uvedenými fázemi cyklu.

Lineární cyklus má jednu významnou vlastnost. *Všechny činnosti se provádí sekvenčně*. Každá fáze musí být dokončena dříve než začne fáze následná a žádná fáze se neopakuje. *Předpokládá se precizní práce při vývoji a systémový přístup top-down*. Úspěšně dokončená fáze zaručuje postupný nárůst podrobností. S každou fázi se definuje částečné řešení a to se pak podrobněji rozpracovává v následné fázi.

Problémy lineárního cyklu

Předpoklady z počátečních fází obyčejně v praxi dlouho nevydrží platit, protože předchozí práce nebyla dokonalá nebo úplná a nebo (což je nejčastější případ), bylo něco přehlédnuto. Zbývá obyčejně jedna cesta, a to vrátit se zpět k předchozí fázi, případně předefinovat cíle nebo závěry předchozí práce. Co se děje v těchto případech ilustruje obr. 6-4.

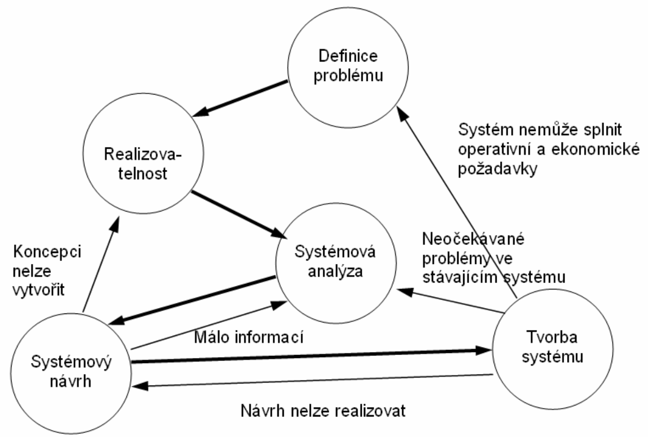
V průběhu systémového návrhu můžeme zjistit, že některé cíle, které byly definovány v rámci studie realizovatelnosti, nelze tak jednoduše realizovat jak se původně na první pohled zdálo. Musíme se proto vrátit ke studiu realizovatelnosti a to může vyžadovat předefinování požadavků. Horší případ nastane, když se problémy objeví ve fázi implementace. Vyžaduje to pak nový návrh systému a případný návrat až do fáze studia realizovatelnosti. Implementace často ukáže ukryté problémy systému, které volají po další systémové analýze.

Řešení problémů lineárního cyklu je znázorněno na obr. 6.-5 a nazývá se *lineární smyčka.* Její vznik je vyvolán obyčejně přehlédnutím něčeho významného v původních záměrech. Takové iterace nebo smyčky jsou velmi nákladné a je třeba proto hledat řešení jak se jim vyhnout. Obecně vždy vzniká požadavek přepracování některé z předchozích fází.

Jedním z důvodů vzniku chyb při projektování a následných smyček při řešení problému je obyčejně to, že řešený problém je mnohem širší nebo nejasný. V případě rozlehlého systému je nutno ho rozdělit na menší části a vytvářet systém jako stádia nebo etapy.

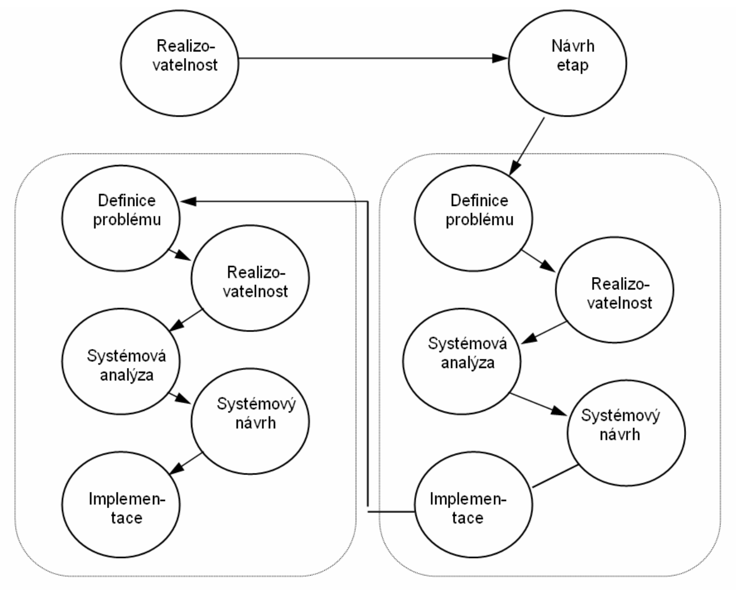
Metoda etap

Řešení problému lineárního cyklu pomocí etap vidíme na obr. 6-6. Dá se použít pouze v případě, že můžeme problém rozčlenit na řadu odpovídajících subsystémů. Prvním krokem studia realizovatelnosti je proto určení velikosti projektu. Studie realizovatelnosti může doporučit, že projekt je velmi rozsáhlý a měl by se rozdělit do etap. Pokud se na to přistoupí, pak následující krok představuje rozdělení projektu na jednotlivé etapy. Můžeme tak např. nejdříve vytvořit systém poskytující informace o našich výrobcích. Následuje přidání systému objednávek, můžeme připojit podrobnosti o dopravě a následně pak doplnit fakturačním systémem. Každý takový subsystém se může vytvářet odděleně a následně se jednotlivé části integrují do úplného pracujícího systému.



Obrázek 6-5: Lineární smyčka.

Každá etapa se vyvíjí za pomocí vlastního lineárního cyklu a rovněž každý subsystém se vyvíjí odděleně. Všimněme si, že každá etapa začíná vlastní definicí problému a studiem realizovatelnosti. Je to nezbytné pro získáni detailního plánu pro každou etapu a pro zabezpečení možnosti integrace systémů tvořených v různých etapách a v různém čase. Etapa pak pokračuje systémovou analýzou, systémovým návrhem a implementací systému.



Obrázek 6-6: Metoda etap.

6.3.3 Praktické aspekty cyklu projektu

Z uvedených příkladů přístupů k cyklu projektu si můžeme vyvodit vlastní smysl projekčního cyklu. Cyklus projektu musí splňovat především tato tři hlediska:

1. Musí přesně definovat jednotlivé aktivity, které se budou v průběhu systémového vývoje projektu provádět.

2. Musí zabezpečit konzistenci mezi různými projekty v téže organizaci.

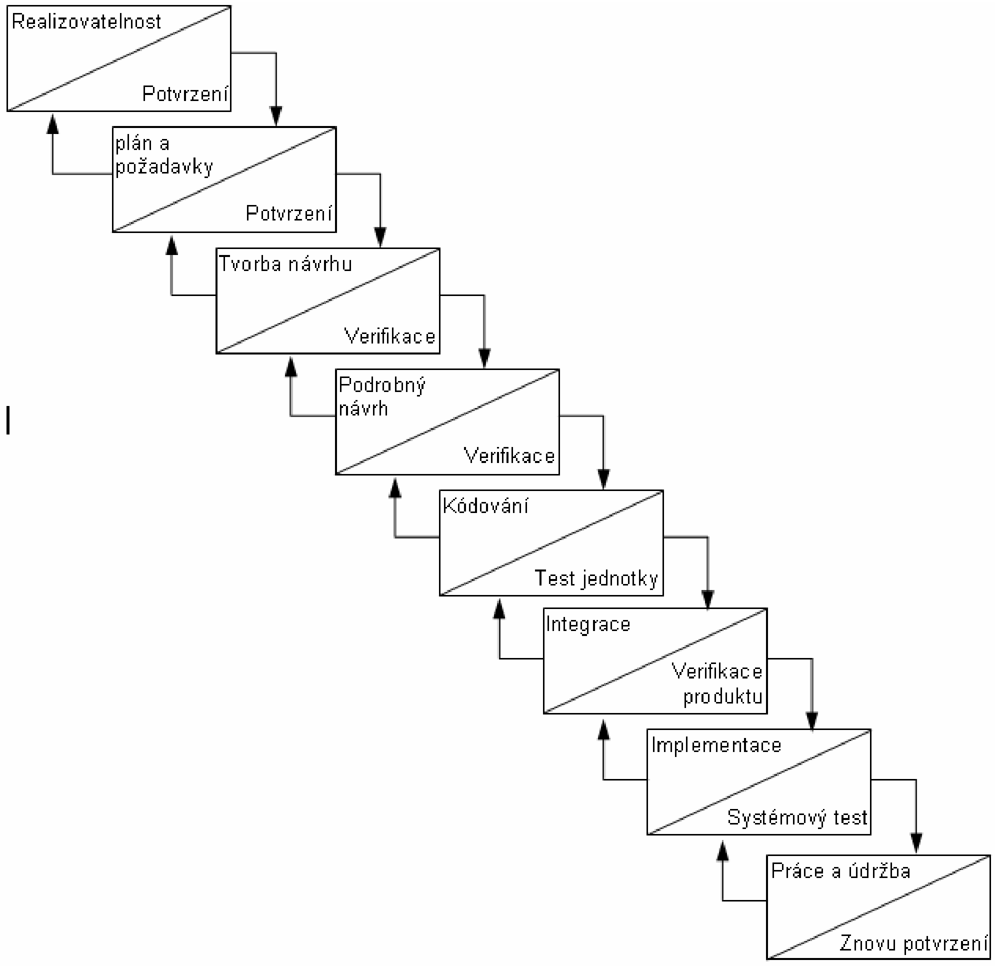
3. Musí stanovit v životě projektu místa, kde má management úkol schválit dosavadního průběh projektu a rozhodnout o tom, zda se bude v projektu pokračovat či nikoliv.

První hledisko je důležité především ve velkých organizacích, ve kterých dochází k častým změnám v řadách projekčního managementu a existuje vysoká fluktuace pracovníků. Noví pracovníci mohou přehlédnout nebo podcenit význam určitých důležitých fází projektu, pokud se řídí pouze intuicí.

Druhý aspekt je významný rovněž především ve velkých organizacích. Pro manažéry na vyšší úrovni je velice nepraktické řídit velké množství různých projektů, které jsou vypracovány pokaždé jiným způsobem. Významné je i to, aby management mohl objektivně posoudit, který projekt probíhá podle plánu a který je ve skluzu.

Třetí cíl standardního projekčního cyklu se týká potřeby řízení projektu managementem. U projektů, které se vyznačují jednoduchostí, lze stanovit kontrolní bod na samém konci projektu. Obyčejně se kontroluje dodržení časového a rozpočtového hlediska.

Často lze kontrolu zredukovat na pouhé konstatování, že úkol byl splněn podle požadavků uživatele. V případě velkých projektů to už není tak jednoduché. Management by měl mít během projektu několik kontrolních bodů, které by zajišťovaly možnost posouzení stavu projektu a zda nejsou náhodou potřebné případné další zdroje. Pokud máme dosti chytrého odběratele, pak tento sám bude vyžadovat několik kontrolních akcí během projektu, aby se mohl rozhodnou, zda bude pokračovat ve financování projektu a nebo financování projektu zastaví.



Obrázek 6-7: Model cyklu typu vodopád.

Implementace *zdola nahoru* (Bottom-Up) je jedním z velkých nedostatků klasického cyklu projektu.

Tento přístup předpokládá, že analytici vytvoří veškeré moduly, které se pak budou testovat, pak budou následovat testy subsystémů a nakonec proběhne testování celého systému.

Tento přístup je označován jako model cyklu typu vodopád (obr. 6-7).

Původ tohoto přístupu není znám, ale zřejmě pochází z průmyslového výroby. Přístup implementace *zdola nahoru* je jistě dobrý pro montáž automobilů na lince, ale pro systémový vývoj přináší pouze řadu vážných problémů, mezi kterými si můžeme zdůraznit následující:

- *Dokud není realizováno vše, není realizováno nic.* Pokud se projekt nachází ve skluzu a konečný termín padne do fáze testování, pak není možné odběrateli nic předvést.
- *Nejjednodušší chyby se obvykle odstraní na počátku testování* a nejnepříjemnější pak na konci testování. Testování modulů proto obvykle odhalí ty jednoduché chyby, ale neodhalí závažné chyby ve spojení jednotlivých subsystémů. Závažné chyby obvykle přinesou požadavek přeanalyzování celé řady modulů.
- *Při finálním testování systému se stává ladění neobyčejně obtížné.* Zde je potřeba spatřovat rozdíl mezi pojmy testování a ladění. *Testování* je proces, který nám pomáhá zjistit, zda jsou v systému nějaké chyby. V *procesu ladění* pak chyby objevené při procesu testování lokalizujeme a odstraňujeme. Objevení se chyby v rámci projektu *zdola nahoru* je velmi nepříjemné, protože je velmi obtížné stanovit, ve kterém modulu se tato chyba nachází, jelikož celá řada modulů spolupracuje poprvé.
- V průběhu konečné fáze testování enormně narůstá požadavek na spotřebu času, který je potřebný pro testování. Pokud jsme omezeni zdroji, pak se můžeme dostat do časové tísně nebo i skluzu.

Dalším nedostatkem klasického cyklu je to, že *jednotlivé fáze následují sekvenčně* za sebou. Takový postup je pochopitelně naprosto přirozený. Po dokončení určité fáze přejdeme k následující a k té předchozí se již nemusíme vracet (zakonzervovaná specifikace, zakonzervovaná dokumentace návrhu a pod.). Základním nedostatkem snahy po uspořádaném postupu je to, že je nereálná. Nebere se do úvahy, že člověk obvykle zřídka dokáže udělat složitou práci dobře hned na poprvé a musí proto provádět řadu postupných vylepšení, že uživatelé, kteří prověřují práci analytiků se mohou dopustit chyb, že pro některé fáze jsme si stanovili velmi málo času a pod. Význam může mít i určitý konservatismus při použití nových postupů a metodologií. Převládá názor, že cyklus vývoje je pouze věcí vrcholového řízení.

Jiný problém můžeme vidět v tom, že během prací na projektu, které mohou trvat několik měsíců, nebo i roků, dojde často k tomu, že uživatel změní názor na to co by měl systém vlastně dělat.

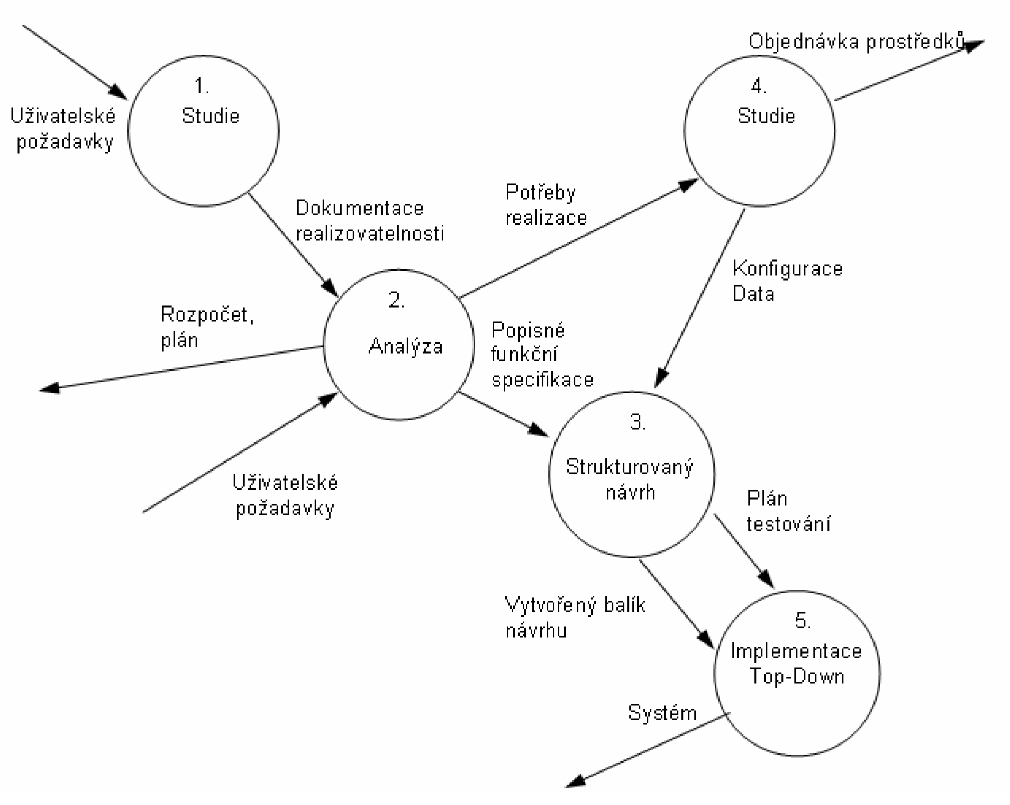
Během období vývoje systému může rovněž dojít ke změnám v okolí projektovaného systému (ekonomika, konkurence, legislativa), což silně může ovlivnit požadavky na nový systém.

6.3.4 Částečně strukturovaný cyklus projektu

V mnoha organizacích se dnes mění přístup k cyklu projektu a můžeme se setkat s řadou pozitivních změn. Tyto změny vedou obvykle k vytvoření částečně strukturovaného cyklu vývoje. Částečně strukturovaný cyklus je uveden na obr. 6-8. Z obrázku vidíme dvě vlastnosti, které neměl klasický lineární (sekvenční) cyklus:

1. Posloupnost analýzy, testování modulů a systémového testování metodou zdola nahoru je nahrazena implementací shora dolů. Nejdříve jsou analyzovány a testovány moduly na vyšší úrovni, pak následuje analýza a testování modulů na nižší úrovni podrobnosti. Strukturovaná analýza je základní metodikou používanou při analýze systému.

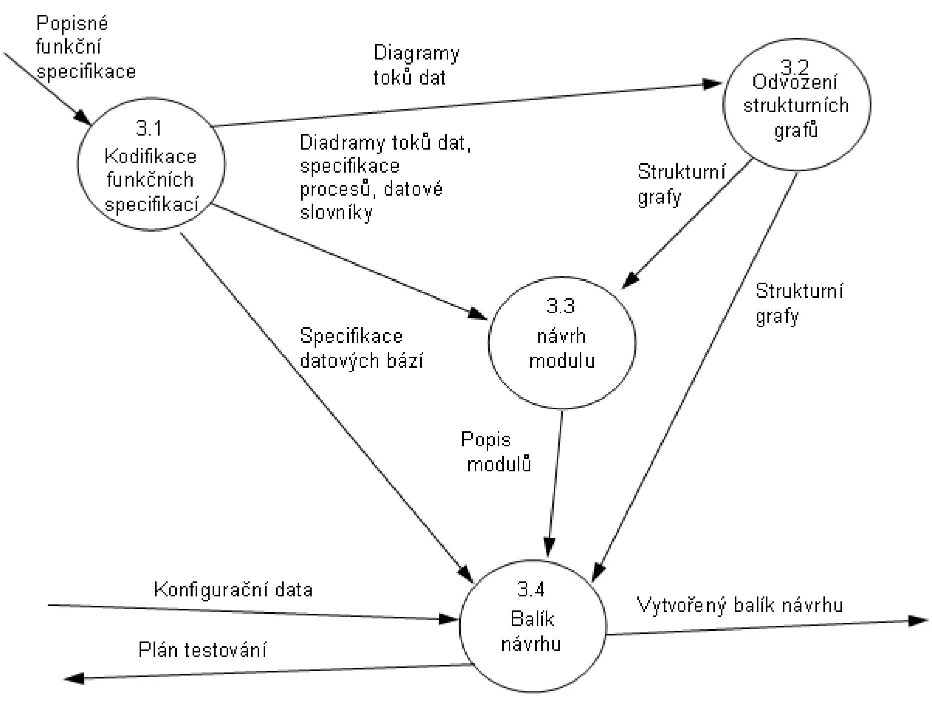
2. Klasický přístup k návrhu je nahrazený strukturovaným návrhem [Yordon-Constantine, 1989; Page-Jones, 1988].



Obrázek 6-8: Částečně strukturovaný cyklus

Bez ohledu na tyto zásadní rozdíly zde vidíme paralelní možnost analýzy a testování a je patrná zpětná vazba mezi analýzou a testováním. Význam přístupu shora dolů lze spatřovat především v možnosti rychlých změn specifikací v případě, že uživatelé takové změny požadují nebo přišli na některá pochybení nebo opomenutí. Takové změny se mohou dít tak rychle, že je nemusí management ani zaznamenat. Implementace shora-dolů dává zpětnou vazbu mezi implementaci a analýzu, třebaže není v obr. 6-8 explicitně zdůrazněna.

Částečně strukturovaný cyklus má ještě jednu zvláštnost a to strukturovaný návrh. Velká část práce je odváděna právě pod hlavičkou strukturovaného návrhu. Jde o snahu opravit špatně popsané specifikace. Můžeme to vidět na obr. 6-9, který nám zobrazuje proces strukturovaného návrhu (obr. 6-9 je rozšířením obr. 6-8).



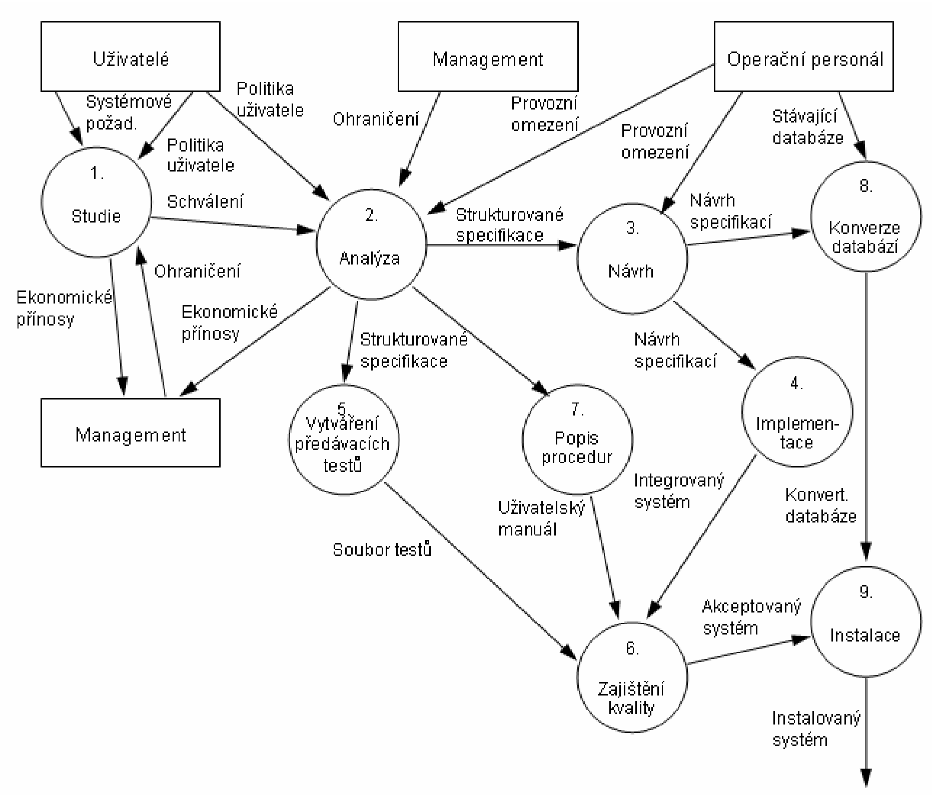
Obrázek 6-9: Proces strukturovaného návrhu.

Proces, který je na obr. 6-9 se nazývá *Kodifikace funkčních specifikací*, představuje převedení neprocedurální, popisné dokumentace na formu modelu, který bude základem pro odvození hierarchické struktury, a který bude obsahovat uživatelské požadavky. Úkolem je přetvořit tuto specifikaci do podoby diagramů toků dat, datových slovníků, entitně-relačních diagramů a procesních specifikací. Plně tuto situaci řeší *strukturovaný cyklus projektu*

6.3.5 Strukturovaný cyklus projektu

Plně strukturovaný cyklus projektu máme znázorněn na obr. 6-10. V souvislosti s tímto strukturovaným cyklem se zaměříme na devět základních fází strukturovaného cyklu a na tři terminátory, které představují uživatele, management a operační personál.

Terminátory představují jednotlivou osobu nebo skupinu osob, které zajišťují vstup informací pro projekční tým a jsou zároveň vlastně odběrateli systému. Terminátory mají jistý styk (interakci) s uvedenými devíti fázemi (činnostmi) uvedenými v obr. 6-10. V následujícím výkladu se budeme jednotlivými fázemi strukturovaného cyklu zabývat podrobněji.



Obrázek 6-10: Strukturovaný cyklus projektu.

Tato fáze projektu se označuje často jako úvodní studie, technicko-ekonomická studie nebo studie realizovatelnosti. Smyslem studijní fáze bývá obvykle:

Studie

1. *Zjistit kdo je odpovědným uživatelem a navrhnout počáteční hranice systému*. V této souvislosti proběhne řada interview, které mají ukázat, koho z uživatelů se projekt dotýká a koho ne. Obyčejně se navrhne úvodní digram toků dat, tj. kontextový diagram, kde celý systém je reprezentován jedním procesem.
2. *Zjistit stávající nedostatky v uživatelském prostředí*. Představuje to popisný seznam funkcí, které schází, nedostatků v provádění operací ve stávajícím systému (např. výstupy systému neodpovídají stávající legislativou požadovaným standardům, nemožnost produkovat výstupy ve formě a obsahu, které požadují jiná pracoviště organizace a pod.).
3. *Stanovit cíle a úkoly pro nový systém*. Obvykle se jedná o popis funkcí, které je třeba nahradit, které je nutno přidat a kritéria výkonu nového systému.
4. *Posoudit možnosti automatizace* a *odhadnout* potřebný *čas a náklady*. Stanovit alespoň předběžný scénář prací. Přesnost odhadu nákladů a času bývá v této fázi asi ± 50%.
5. Připravit schvalovací dokumentaci projektu, která bude pak jeho součástí. Schvalovací dokumentace projektu obsahuje informace uvedené v předchozích bodech a specifikuje práva a povinnosti vedoucího projektu. Součástí schvalovací dokumentace bývá i diagram cyklu projektu, který popisuje průběh celého projektu.

Je vhodné počítat s tím, že studie zabere 5 až 10% celkového času a zdrojů. Tuto fázi projektu nelze podceňovat ani v případě malých projektů. I kdyby studie nezabrala uvedené množství času, je rozhodně klíčovou fázi, protože slouží jako podklad managementu pro schválení projektu. Systémový analytik se sice může, ale vůbec nemusí, studie účastnit. Studie je zpravidla záležitostí uživatelů a managementu na příslušné úrovni. Spíše je pravidlem, že analytici se dostanou do styku s projektem až po uzavření studie. V případě rozsáhlých projektů, které se realizují jako externí zakázka, však bývají analytici zapojováni do projektu co nejdříve [Dickinson, 1981; Yourdon, 1988; Gore-Stubbe, 1983].

Smyslem systémové analýzy je vytvořit *strukturovanou specifikaci systému* (tj. diagramy toků dat, stavové diagramy, entitně-relační diagramy a pod.) ze dvou hlavních vstupů, tj. z politiky uživatele a schvalovací dokumentace systému. Systémová analýza představuje *vytvoření dvou modelů*:

Systémová analýza

1. modelu prostředí a
2. modelu chování.

Spojení těchto dvou modelů vytváří *základní model*, který představuje formální popis toho, co musí nový systém dělat v závislosti na povaze použité technologie při implementaci systémových požadavků. Výstupem systémové analýzy jsou vedle modelu systému, který popisuje uživatelské požadavky, již přesnější požadavky na rozpočet a propočet ekonomické efektivnosti.

Systémový návrh

Systémový návrh představuje přidělování jednotlivých částí specifikací (základní model) jednotlivým procesům (příslušné jednotlivé úlohy) [Inmon, 1988]. Pro každou úlohu (task) představuje systémový návrh vývoj příslušné hierarchické struktury programových modulů, jejich vzájemného vztahu, aby se splnily požadavky vyšlé ze systémové analýzy. Systémový návrh reprezentuje rovněž transformaci entitně-relačních diagramů datových modelů do podoby datových bází. [Yordon-Constantine,1989; Page-Jones, 1988;].

Součástí návrhu je část, která se jmenuje *uživatelský implementační model,* a která je z hlediska systémové analýzy velice zajímavá. Uživatelský implementační model popisuje tu stránku implementace, která je pro uživatele velmi významná, tj. rozhraní stroj-člověk a komunikaci člověk-stroj. *Rozhraní stroj-člověk* odděluje od sebe ty části základního modelu, které představují činnost člověka a činnost stroje (počítače). *Komunikace člověk-stroj* pak představuje přesný popis formátu a posloupností vstupů v případě dialogu uživatelů s výpočetní technikou (popis obrazů) a formát a posloupnost výstupů poskytovaných počítačem uživatelům.

Implementace

Implementace zahrnuje činnosti jako je kódování, integraci modulů do postupně stále komplexnější struktury konečného systému. *Implementace* proto zahrnuje jak strukturované programování tak i přístup shora dolů. Obvykle se systémový analytik na fázi *implementace přímo nepodílí*. V mnoha organizacích však bývají činnosti systémové analýzy, systémového návrhu a implementace propojeny právě jediným vykonavatelem těchto činností.

Strukturovaná specifikace by měla obsahovat všechny nezbytné informace potřebné k definování systému akceptovatelného z uživatelského hlediska. Po ukončení systémové analýzy a dokončení specifikací může začít vytváření souboru testů na základě specifikace. Jelikož vytváření testů může probíhat paralelně s návrhem a implementací, můžeme začít *s vytvářením testů po ukončení vývoje základního modelu*, tj. po ukončení systémové analýzy.

Zajištění kvality

Proces zajištění kvality je označován rovněž jako *finální testování* nebo *předávací testování.* Vstup této fáze je soubor testů z procesu vytváření předávacích testů a integrovaný systém z fáze implementace. Systémový analytik se obvykle této fáze neúčastní, ale není důvodů proč by tomu tak nemohlo být. Organizace uživatele zpravidla určí jednoho nebo několik pracovníků odpovědnými za vytvoření přejímací skupiny.

Proces zajištění kvality bývá někdy označován i pojmem *řízení jakosti (kvality)*. Označení tohoto procesu pochopitelně nemá vliv na skutečnost, že nutně potřebujeme proces, který nám zajistí odpovídající úroveň jakosti vyprodukovaného systému. Z moderního přístupu k řízení jakosti (spirála jakosti) víme, že zajišťováni kvality není jednorázový proces a musíme kvalitu zabezpečovat v průběhů všech fází projektu (tj. analýzy, návrhu, programování). Proces zajištění kvality podle obr. 6-10 nám však *reprezentuje* pouze *proces závěrečného testování*.

Popis procedur

V tomto učebním textu se *zabýváme vývojem systému jako celku*, tj. i těmi částmi, na kterých se podílejí lidé. Musíme proto zabezpečit vytvoření formálního popisu nejen činností prováděných automaticky, ale i činností zabezpečovaných manuálně. Vyplývá tedy z toho to, že náplní popisu procedur musí být i popis interakce mezi systémem a uživateli. Výstupem této fáze je uživatelský manuál. Na této fázi se mohou často podílet i systémoví analytici.

Konverze databází

V řadě případů *představuje konverze databází mnohem více práce a více strategického plánování než vlastní vývoj* nového systému. V některých případech, pokud neexistuje databáze, kterou je třeba konvertovat, můžeme tuto fázi projektu vypustit. Vstupem do této fáze projektu jsou obvykle stávající databáze uživatele a návrh specifikací z procesu systémového návrhu. Účast systémových analytiků na této fázi projektování závisí na povaze projektu.

Instalace

Instalace představuje *poslední fázi projekčního cyklu strukturovaného vývoje projektu*. Vstup této fáze je tvořen uživatelským manuálem z fáze popisu procedur, konvertované databáze z fáze konverze databází a akceptovaný systém po závěrečném testování. V některých případech může instalace představovat skokové nahrazení systému novým a v jiných případech může instalace představovat postupný proces, kdy jedna skupina uživatelů po druhé obdrží uživatelské manuály, prostředky a školení v oblasti používání nového systému. Nakonec se systém skutečně začne používat.

Strukturovaný cyklus na obr. 6-10 *nemáme zobrazen jako klasický vývojový diagram*, ale jako diagram toků dat. Smyslem toho je zdůraznit, že jednotlivé činnosti v průběhu cyklu mohou probíhat paralelně. Strukturovaný vývojový cyklus nelze tedy zobrazit jako posloupnost přesně po sobě probíhající sekvence činností, kdy jedna činnost může nastat až po ukončení činnosti předchozí. Z těchto důvodů by při strukturovaném cyklu bylo vhodnější používat spíše *pojem činnost* než *pojem fáze*. Takové použití termínů fáze a činnost by však mohlo způsobit určité nejasnosti a proto budeme i nadále při strukturovaném cyklu používat termíny fáze i činnost a na čtenáři je, aby si uvědomil rozdíl mezi fázi v lineárním cyklu a v cyklu strukturovaném.

Použití diagramů toků dat k zobrazení strukturovaného cyklu ***má jednu nevýhodu. Neumožňuje*** (ačkoliv je to řešitelné) explicitně ***zobrazit zpětnou vazbu ani způsob řízení.*** Ve skutečnosti však jednotlivé činnosti ovlivňují jiné a v krajních případech mohou určité fáze (výsledky jejich činností) vést i k ukončení projektu. Na obr. 6-10 sice vidíme vliv managementu pouze pro fázi analýzy (protože analýza je jediná činnost, která vyžaduje data od managementu), ale působnost managementu ovlivňuje (řídí) činnost všech fází strukturovaného cyklu.

Předchozí výklad zdůraznil, že **strukturování cyklu projektu** nám **dovoluje provádět** ***více fází současně***. V extrémním případě lze předpokládat, že dokonce všechny fáze strukturovaného cyklu, mohou probíhat současně. Jiným extremním případem může být i to, že někdo z vrcholového managementu může rozhodnout, že bude dodržován striktně sekvenční přístup a každá fáze může začít teprve po ukončení fáze předchozí. První případ můžeme označit jako radikální a druhý jako konzervativní přístup.. Při rozhodnutí ke které variantě se více přiklonit **musíme zvážit** následující **faktory:**

- Jak zkušený je uživatel?
- Pod jakým tlakem je tým projektantů nucen produkovat okamžité a hmatatelné výsledky?
- Pod jakým tlakem je vedení projektu nuceno vytvořit přesný plán prací, rozpočet a odhadnout potřebný počet pracovníků a dalších zdrojů?
- Jak velké hrozí nebezpečí dopuštění se zásadních technických pochybení?

Odpověď ani na jednu z těchto otázek není přímá ani jednoznačná. Pokud se setkáme např. s uživatelem, který nemá skoro žádné zkušenosti s podobným projektem, nutně si postavíme otázku, proč rok vyvíjet naprosto dokonalé specifikace, a nakonec zjistit, že uživatel vlastně ani nerozumí významu specifikace. Zde bude asi na místě spíše radikální přístup. V případě, že setkáme s uživatelem, který ví co chce a je nakloněn platit pouze za pracující systém, pak bude asi na místě spíše přístup konzervativní.

Další faktor, který je nutno brát do úvahy je **tlak produkovat okamžité a hmatatelné výstupy.** Čím větší je tlak na okamžité a hmatatelné výstupy, tím bude asi radikálnější přístup. Praxe nám ukazuje, že vedoucí projektu stále nese riziko, že systém bude realizován, v době termínu ukončení, pouze z části. Při tomto pohledu je asi vhodnější mít realizované funkční jádro systému a mít tak možnost něco odběrateli předvést, než mít ukončeny všechny systémové analýzy, návrhy a programy, ale nic co by se dalo předvést, že je funkční. I tlak na výsledky se může během projektu měnit.

Přístup top-down umožní zakonzervovat práci na určitém stupni vývoje a v další práci pokračovat až na základě požadavků nebo priorit. Obyčejně se totiž tak často nemění vlastní filozofie systému ale jeho detaily.

Problémem při vedení projektu ještě bývá otázka vytvoření a dodržení plánu práce, rozpočtu a pod. V případě malých organizací, malých projektů, které nejsou tak nákladné, je asi na místě přístup radikálnější a pro velké projekty ve velkých organizacích, které jsou obvykle mnohem dražší, pak přístup konzervativnější. Větší projekt vyžaduje totiž relativně detailnější odhad požadavků, analýzu zdrojů a pod.

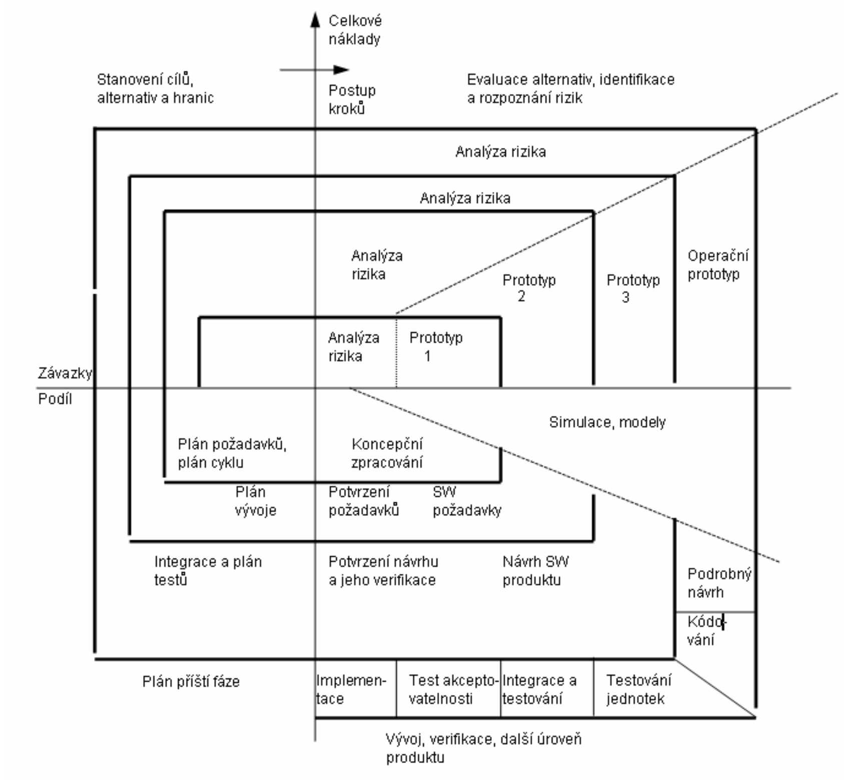
Posledním uvedeným aspektem je nebezpečí vzniku technických pochybení. Mezi ně můžeme počítat např. i špatné odhady časových hledisek zpracování a pod. Technickým problémem může být i snaha o vytvoření systémů ze špatně komponent. Zde bude vhodný radikální přístup, který nám může pomoci odhalit problémy vzájemného rozhraní komponent a možnosti vzájemné interakce systémovými komponentami.

Obecně bychom mohli říci, že *radikální přístup* budeme volit u projektů, které mají spíše *výzkumný a vývojový charakter*, tj. u systémů, u kterých není vysoký stupeň jistoty co bude systém dělat. Dále je radikální přístup vhodný pro systémy, které jsou v okolí, které má tendenci k častým změnám a jehož uživatelé mohou často měnit své požadavky a očekávání od systému.

Konzervativní přístup pak bude vhodnější *pro velké projekty*, které jsou velmi nákladné a pro které je nezbytný předpoklad vypracování podrobných a přesných analýz, návrhů a specifikací. Je třeba však mít na paměti, že každý projekt je obvykle jiný a vedení projektu musí být připraveno podle okolností k modifikaci svého přístupu k projektu.

Mnohem komplexnější model cyklu vývoje ve tvaru spirály se pokouší vyjádřit překrývání jednotlivých činností (obr. 6-11).

V praxi se můžeme ještě setkat s tzv. prototypovým cyklem, nebo jinak prototypovým přístupem. Strukturovaný přístup k cyklu předpokládá, že dříve nebo později, bude vytvořen kompletní model (t.j DTD, ERD, SD a pod.). Model bude v případě konzervativního přístupu dokončen dříve a v případě radikálního přístupu později, ale v každém případě na konci projektu bude vytvořena dokumentace, která by měla existovat v průběhu životnosti systému a podléhat současně s ním údržbě a korekcím.



Obrázek 6-11: Boehmova spirála cyklu.

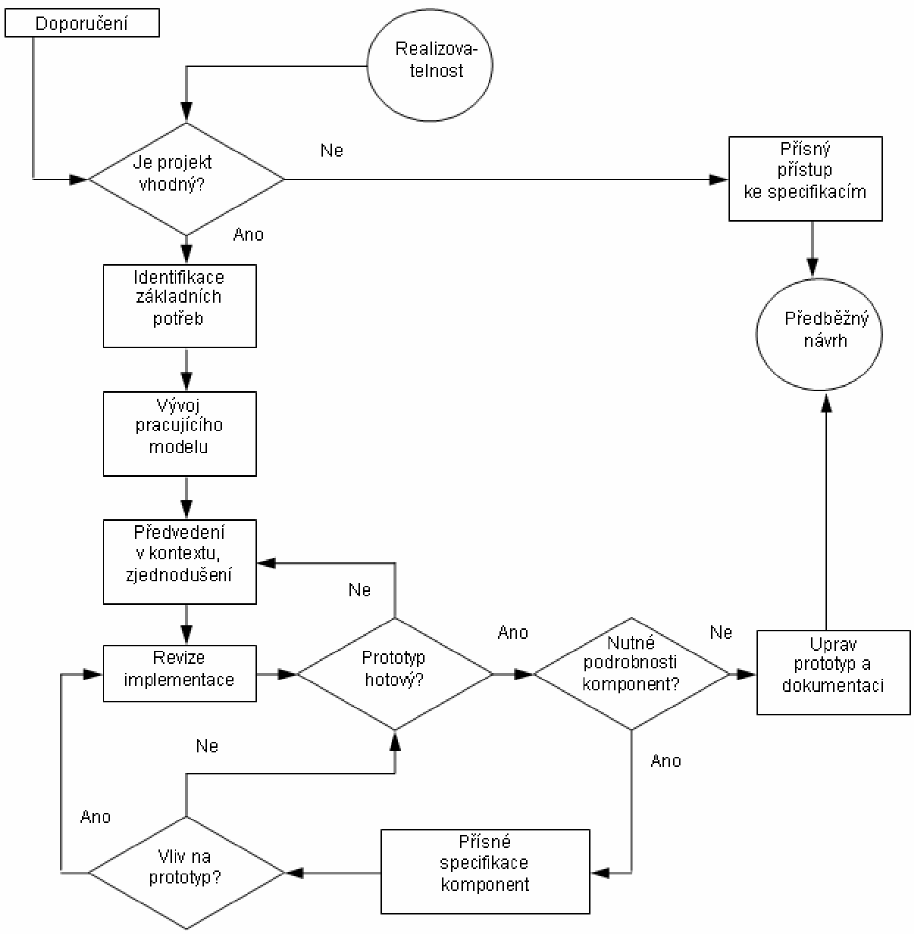
Prototypový přístup *předpokládá, že model bude pracujícím modelem*, tj. bude vytvořen jako soubor počítačových programů, které budou simulovat některé, nebo všechny funkce systému, které uživatel požaduje.

Prototypový cyklus navržený Boarem (obr. 6-12) *začíná studií*, pak bezprostředně následuje stanovení vhodnosti projektu pro prototypový přístup. Projekty vhodné pro prototypový přístup by měly mít následující vlastnosti:

- Uživatel neumí (nebo není ochotný) zkoumat abstraktní modely jako např. DTD.
- Uživatel neumí (nebo není ochotný) vyjádřit své požadavky v jakékoli formě a dokáže vyjádřit své požadavky pouze na základě pokusů a omylů, tj. neví co chce, ale dokáže to říci, až to vidí.
- Systém je orientovaný on-line systém.
- Systém nevyžaduje velké množství specifikací algoritmů, tj. systémy, kde je důraz kladen především na formální vstupy a výstupy pomocí klávesnice a obrazovky a které jsou orientované na chybová hlášení.

Prototypový přístup k cyklu *končí vstupem do fáze návrhu klasického strukturovaného cyklu* (obr. 6-12). Systém je použitelný především jako prostředek modelování uživatelských požadavků.

Prototypový přístup se dá v některých případech použít jako alternativa ke strukturovanému cyklu a v jiných případech jako projekční metoda ve spojení s DTD. Při aplikaci prototypového systému si musíme uvědomit, že tento model musí být nahrazen skutečným systémem, a to často svádí k tomu, aby byl prototypový systém transformován do konečného systému. Tento přístup však obyčejně vede k pochybením, protože nedokáže obsloužit požadovaný objem dat, zabezpečit možnosti restartu a pod. Výhodu má však v tom, že uživatel může s prototypovým systémem komunikovat a tak mít mnohem realističtější pocit funkcí než při práci s modely na papíře.



Obrázek 6-12: Prototypový cyklus

Další nebezpečí spočívá v tom, že projekt může končit bez záznamu uživatelských požadavků. Proto je někdy vhodnější strukturovaný cyklus, který vytváří dokumentaci, která je určená nejen pro vytvoření systému, ale i pro permanentní údržbu.

Pokud projekt umožňuje v čase pouze jednu činnost, diskuse o radikálním přístupu top-down a konzervativním top-down přístupu nemívá smysl. Mnohem těžší je řídit projekt, který má několik činností, které běží v paralelní rovině, což bývá běžné při rozsáhlejším projektu.

SHRNUTÍ

Σ

Shrnutí

Projekt

a) plán (návrh) rozsáhlé jednorázové operace

b) samotná rozsáhlá jednorázová operace (její průběh a řízení)

charakteristiky projektu:

- unikátnost (neopakovatelnost)
- přesně stanovený cíl
- stanovená omezení (čas, zdroje, náklady)

projekt (projektování) systému:

řízený proces vyvolaný za účelem řízení nebo adaptace (změny) systému

obvykle se člení na etapy (např. analýza požadavků, návrh systému, implementace, dokumentace, zajištění kvality), končí předáním do rutinního provozu

Projektování = **etapy** + **kontrolní body** + **dokumentace**

etapy (fáze, aktivity, úseky): skládají se z jednotlivých činností (kroků)

pro každou etapu definujeme:

- obsah a cíl (PROČ)
- produkty (CO)
- vstupy a výstupy (závislosti)
- techniky (JAK)
- metriky (KOLIK)
- role, odpovědnost (KDO)

kontrolní body

- koncové body nějakých aktivit (činností)
- následují po každé etapě – rozhoduje se, zda pokračovat v projektu

  checkpoints – kontrolní body

  milestones – milníky

  deliverable – „k předání“: zřetelný (hmatatelný) výstup nějaké aktivity (činnosti)

dokumentace

prostředek vyjádření (prezentace) projektu – každá etapa se zahajuje a končí dokumentem

typy dokumentace:

- uživatelská
- projekční (technická dokumentace – modely, specifikace dat, architektura systému)
- manažerská (smlouvy, plány projektu, záznamy z porad, kontrol a oponentur)

TESTY A OTÁZKY KE KAPITOLE

Které z uvedených tvrzení není pravdivé:

- systémová projekce je totéž, jako systémové projektování
- při návrhu systému je při posuzování uvažována výkonnost systému
- lineární cyklus se skládá z řady po sobě jdoucích fází
- pracující systém je výstupem fáze tvorby systému
- smyslem systémové analýzy je vytvořit strukturovanou specifikaci systému
- klasický cyklus projektu je sekvenční

ŘEŠENÍ A ODPOVĚDI, NÁVODY

Řešení – všechna tvrzení jsou pravdivá

KORESPONDENČNÍ ÚKOL 6

Popište model cyklu projektu typu vodopád. Řešíte problém oběhu účetních dokladů firmy.

NÁMĚTY PRO TUTORIÁLY

Systémové pojmy, systémové reprezentace a systémové konstrukce

[Obsah tutoriálu]
[Příprava na tutoriál]

Tutoriál chápejte jako diskusi nad danou látkou. V žádném případě se nejedná o přednášku. !!!!!!!!!!!!

Připravte si na tutoriál znalosti z úvodních kapitol. Budeme společně diskutovat na tato témata:

1. jak definovat systém, proč definovat systém a jaký zvolit přístup k realitě, kterou chceme systémem popsat.
2. jaké jsou vazby a vztahy mezi realitou, systémem a modelem
3. jak systém reprezentovat, jak ho popsat a definovat, jaké zvolit nástroje pro popis
4. jaké jsou vztahy mezi definováním systému a jeho využitím, proč vlastně definovat systém, proč tvořit model, proč provádět systémovou analýzu.
5. jak přistupovat k systémové konstrukci, jak vytvořit „života schopný systém", jak využít vytvořeného modelu.
6. Jak aplikovat obecné systémové teorie v ekonomice a jak přistupovat ke tvorbě systémů v ekonomice

Vzhledem k názornosti budou některé systémové přístupy objasňovány pomocí metodologie teorie grafů.

Zájemci si mohou před tutoriálem zběžně přečíst kapitoly o teorii grafů a síťové analýze.

PRŮVODCE STUDIEM 11

Průchod modulem

V procesu systémové analýzy je využívána metodologie a nástroje různých systémových disciplín. Teorie grafů nabízí prostředky převážně pro časovou, kapacitní a strukturální analýzu. Na základě teorie grafů vznikla i síťová analýza. Grafické prostředky nám v dnešní době umožňují zaznamenat statické i dynamické vlastnosti systémů. V následující kapitole se seznámíme se základy teorie grafů. Teorie grafů poskytuje grafický aparát pro zápis systémů. Velmi snadno však můžeme grafické zápis převést do matematické podoby. Seznámíte se proto s teorií precedenčních matic jako prostředku matematického zápisu grafů.

7 ZÁKLADY TEORIE GRAFŮ

RYCHLÝ NÁHLED DO PROBLEMATIKY KAPITOLY TEORIE GRAFŮ

Rychlý náhled

Naučíte se definovat graf, podgraf, multigraf, orientovaný a ohodnocený graf. naučíte se pracovat s komponenty grafu, se stromem, sledem, cestou, cyklem apod. seznámíte se se základními typy úloh na grafech.

CÍLE KAPITOLY TEORIE GRAFŮ

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět

Budete umět:

- definovat systém jako graf
- Řešit v grafu základní systémové úlohy, např. nalezení cesty v grafu, kapacitní úlohy na grafech ale i úlohy o rozhraní a struktuře řešené na precedenčních maticích

Získáte

Získáte:

- Základní znalosti z teorie grafů použitelné při analýze ekonomických systémů
- Základní znalosti o úlohách řešených v teorii grafů

Budete schopni

Budete schopni:

- Nakreslit systém jako graf
- Řešit základní úlohy na grafech
- Aplikovat teorii grafů v systémové analýze

ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

Celkový doporučený čas k prostudování KAPITOLY je **dvě hodiny,** Vzhledem k tomu, že zde dochází k překryvu obsahu látky s předmětem operační analýza, není látka této kapitoly povinná v celém rozsahu.zaměřte se na pojmy graf, orientovaný graf, sled, cesta.a na úlohy na grafech.

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY TEORIE GRAFŮ

Prvek, uzel, vazba, hrana, ohodnocená hrana, graf, podgraf, sled, cesta, cyklus, strom, smyčka, kapacita, orientace, fiktivní hrana

Klíčová slova

V této kapitole jsou definicemi zavedeny grafy a jejich komponenty a větami podány jejich vlastnosti a vztahy. Vzhledem k zaměření skript jsou věty uváděny bez důkazů. Je použita běžná symbolika výrokového a predikátového počtu. Definice uvádím ve znění, jak je uvádějí jiní autoři.
V teorií grafů není ještě zcela ustálena terminologie (např. pro jeden ze základních pojmů používají někteří autoři termín ***uzly***, někteří termín ***vrcholy***.

7.1 Základní pojmy teorie grafů

DEFINICE 7-1

Df

Definice grafu

Mějme konečnou množinu V; její prvky nazývejme vrcholy nebo také uzly; množina V je tedy množina vrcholů nebo také množina uzlů.
Mějme konečnou množinu E; její prvky nazývejme hrany.
Množina E je tedy množina hran.
Označme

$$V^2 = V \times V = \{ [u,v] \mid u \in V \wedge v \in V \}$$
$$V_2 = V * V = \{ \{u,v\} \mid u \in V \wedge v \in V \}$$

V^2 je kartézský součin (= množina uspořádaných dvojic) vrcholů, uzlů z V.

V_2 je množina všech dvouprvkových množin (= neuspořádaných dvojic), jejichž prvky jsou vrcholy, uzly z V.

Označme $J = V \times V \cup V^* V = V^2 \cup V_2$
(konečnou) množinu, jejímiž prvky jsou všechny uspořádané dvojice vrcholů, uzlů (prvky $V \times V$) a všechny neuspořádané dvojice vrcholů, uzlů (prvky $V^* V$).

Označme zobrazení F: $E \rightarrow$ **J.** Zobrazení F nazveme ***zobrazení incidence***.

Definice: Trojici **G** = (V,E,F), nazýváme ***grafem***

Df

V je množina vrcholů (uzlů),
E množina hran a
F zobrazení incidence,

Popis grafu

Popsat (definovat) graf **G** znamená popsat (definovat) každý element trojice ***V***, ***E*** a **F**.

Př.

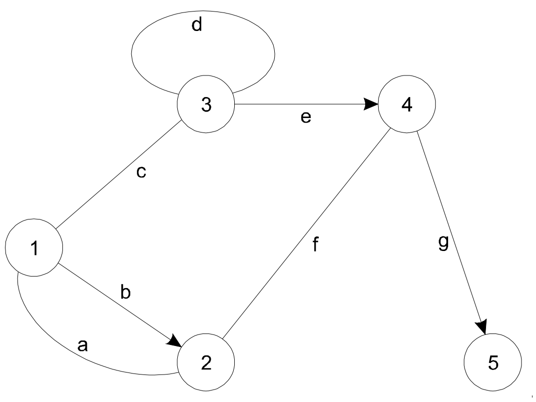
G = {***V***, ***E***, **F**}

V = { 1, 2, 3, 4, 5 }

E = { a, b, c, d, e, f, g }

F = { [a,{1,2}], [b,[1,2]], [c,{1,3}], [d,{3}], [e,[3,4]], [f,{2,4}], [g,[4,5]] }

Tato definice grafu je pro složitější grafy nepřehlednou, proto se často používá "obrazové" znázornění grafu. Obrázek pro shora definovaný graf **G** je. následující:



Obrázek 7-1: Příklad grafu.

Definice: Graf **G**, kde $E \subseteq J$ a pro jehož zobrazení incidence F platí F(e)=e pro každé $e \in E$, nazýváme ***prostým grafem***.

Označení: Symbolem ***V(G)*** budeme označovat množinu všech vrcholů (uzlů) grafu **G**, symbolem ***E(G)*** množinu všech hran grafu **G**.

Definice: Nechť **G**, **H** jsou dva grafy. Je-li $V(G) \subseteq V(H)$ a současně $E(G) \subseteq E(H)$, nazýváme graf G ***podgrafem*** grafu H a zapisujeme

$\mathbf{G} \subseteq \mathbf{H}$.

Definice: Nechť $\mathbf{G} \subseteq \mathbf{H}$. Je-li V(G)=V(H), nazýváme graf **G** ***faktorem*** grafu **H**.

Faktor **G** grafu **H** je tedy takový podgraf grafu **H**, který obsahuje stejné vrcholy jako **H**, nemusí však obsahovat všechny hrany **H**.

Definice: V obecném grafu může zobrazení incidence F přiřazovat dvěma nebo více různým hranám stejnou dvojici vrcholů (uzlů). Zobrazení tedy nemusí být prosté. Různé hrany, které jsou zobrazeny na stejnou dvojici vrcholů (uzlů), se nazývají ***rovnoběžné*** (***paralelní***) hrany. Zobrazení F v prostém grafu je prosté, proto prostý graf nemá rovnoběžné hrany.

Definice: Množinu všech $e \in \boldsymbol{E}$ takových, že $F(e) \subseteq \boldsymbol{V}_2$ nazýváme ***množinou neorientovaných hran*** grafu **G** a její prvky ***neorientované hrany***.

Definice: Množinu všech $e \in \boldsymbol{E}$ takových, že $F(e) \subseteq V^2$ nazýváme ***množinou orientovaných hran*** grafu **G** a její prvky ***orientované hrany***.

Definice: Množinu všech $e \in \boldsymbol{E}$ takových, že $F(e) \in \{ \{v,v\} \mid v \in \boldsymbol{V} \}$ nazýváme ***množinou neorientovaných smyček*** grafu **G** a její prvky ***neorientované smyčky***.

Definice: Množinu všech $e \in \boldsymbol{E}$ takových, že

$F(e) \in \{ [v,v] \mid v \in \boldsymbol{V} \}$

nazýváme ***množinou orientovaných smyček*** grafu **G** a její prvky ***orientované smyčky***.

Definice: Pokud množina ***E*** obsahuje pouze neorientované hrany a neorientované smyčky, nazývá se graf **G** ***neorientovaný graf***. Pokud množina ***E*** obsahuje pouze orientované hrany a orientované smyčky, nazývá se graf **G** ***orientovaný graf***.

Vrcholy (uzly)

Definice: Buď $e \in \boldsymbol{E}$ neorientovaná hrana. Je tedy $F(e) = \{u,v\} \in V_2$. Vrcholy (uzly) u a v nazýváme ***krajní vrcholy (uzly)*** hrany e.

Definice: Buď $e \in E$ orientovaná hrana. Je tedy $F(e) = [u,v] \in V^2$. Vrchol (uzel) u nazýváme ***počátečním vrcholem (uzlem)*** hrany e. Vrchol (uzel) v nazýváme ***koncovým vrcholem (uzlem)*** hrany e.

Definice: Buď $e \in \boldsymbol{E}$ orientovaná hrana. Je tedy $F(e) = [u,v] \in V^2$. Vrchol (uzel) u nazýváme ***bezprostředním předchůdcem*** (také ***rodičem***) vrcholu (uzlu) v. Vrchol (uzel) v nazýváme ***bezprostředním následníkem*** (také ***potomkem***) vrcholu (uzlu) u.
Krajní vrcholy (uzly) neorientované smyčky jsou totožné. Počáteční a koncový vrchol (uzel) orientované smyčku jsou totožné.

Označení: Symbolem $U^+_G(v)$, kde $v \in V$ je libovolný vrchol grafu G, budeme označovat množinu všech bezprostředních následníků (=potomků) vrcholu v. Symbolem $U^-_G(v)$, kde $v \in \boldsymbol{V}$ je libovolný vrchol grafu G, budeme označovat množinu všech bezprostředních předchůdců (=rodičů) vrcholu v.

***Poznámka**: Bude-li zřejmé, o jaký graf jde, používá se označení jen $U^-(v)$ a $U^+(v)$.*

Definice: Počet hran, jimž je vrchol (uzel) v neorientovaného grafu **G** krajním vrcholem, se nazývá ***stupněm vrcholu (uzlu)*** v.

Označení: Symbolem $M^{+}_{G}(v)$, kde $v \in V$ je libovolný vrchol *orientovaného* grafu G, budeme označovat množinu všech hran, jimž je vrchol v počátečním vrcholem. Symbolem $M^{-}_{G}(v)$, kde $v \in V$ je libovolný vrchol *orientovaného* grafu G, budeme označovat množinu všech hran, jimž je vrchol v koncovým vrcholem.

Definice: Počet hran, jimž je vrchol (uzel) v orientovaného grafu **G** počátečním vrcholem, se nazývá ***výstupním stupněm vrcholu (uzlu)*** v. Počet hran, jimž je vrchol (uzel) v orientovaného grafu **G** koncovým vrcholem, se nazývá ***vstupním stupněm vrcholu (uzlu)*** v.
Výstupním stupněm vrcholu v je tedy počet prvků množiny $M^{+}(v)$. Vstupním stupněm vrcholu v je tedy počet prvků množiny $M^{-}(v)$.

Sledy, dostupnost

Definice: Nechť $G = \{V, E, F\}$ je neorientovaný graf. Nechť $v_0, v_1, \dots, v_{n-1}, v_n$ jsou vrcholy (uzly) z V. Nechť $h_1, h_2, \dots, h_n$ jsou hrany z E takové, že $F(h_i) = \{v_{i-1}, v_i\}$.pro všechna i z <1,n>. Pak posloupnost $s=[v_0, h_1, v_1, \dots, h_n, v_n]$ se nazývá ***(neorientovaným) sledem*** mezi vrcholy (uzly) v_0 a v_n. Říkáme také, že v_0 a v_n jsou ***dostupné***, nebo že v_0 (v_n) je ***dostupný*** z v_n (v_0).

Definice: Nechť $G = \{V, E, F\}$ je orientovaný graf.

Nechť $v_0, v_1, \dots, v_{n-1}, v_n$ jsou vrcholy (uzly) z V.

Nechť $h_1, h_2, \dots, h_n$ jsou hrany z E takové, že $F(h_i) = [v_{i-1}, v_i]$ pro všechna i z <1,n>. Pak posloupnost $s = [v_0, h_1, v_1, \dots, h_n, v_n]$ se nazývá ***orientovaným sledem*** mezi vrcholy (uzly) v_0 a v_n (v tomto pořadí!). Říkáme také, že v_0 a v_n jsou ***orientovaně dostupné***, nebo že v_n je ***orientovaně dostupný*** z v_0.

Označení: Nechť **G** je orientovaný graf, G=(V,E,F). Nechť $v \in V$ je vrchol (uzel) grafu. Symbolem $\mathbf{D^{+}_{G}(v)}$ budeme označovat množinu všech vrcholů (uzlů), orientovaně dostupných z vrcholu v. Symbolem $\mathbf{D^{-}_{G}(v)}$ budeme označovat množinu všech vrcholů (uzlů), ze kterých je vrchol (uzel) v dostupný.

Definice: Množina $D^{-}_{G}(v)$ z předchozího označení se nazývá ***množina předchůdců*** vrcholu (uzlu) v v orientovaném grafu **G**, množina $D^{+}_{G}(v)$ z předchozího označení se nazývá ***množina následníků*** vrcholu (uzlu) v v orientovaném grafu **G**

Poznámka 1*: Bude-li zřejmé, o jaký graf jde, používá se označení jen $D^{-}(v)$ a $D^{+}(v)$.*

Poznámka 2*: Srovnej množiny $U^{+}_{G}(v)$ a $U^{-}_{G}(v)$ (množiny* ***bezprostředních*** *následníků a předchůdců) výše.*

Cesty, dráhy

Definice: Neorientovaný sled, v němž se každá hrana vyskytuje jen jednou, se nazývá ***cesta***. Cesta, v níž se každý vrchol (uzel) vyskytuje jen jednou, se nazývá ***prostá cesta***. Platí-li pro prostou cestu
$s = [v_0, h_1, v_1, \dots, h_n, v_n]$
rovnost $v_0 = v_n$, nazývá se taková prostá cesta ***kružnice***.

Definice: Orientovaný sled, v němž se každá hrana vyskytuje jen jednou, se nazývá ***dráha***. Dráha, v níž se každý vrchol (uzel) vyskytuje jen jednou, se nazývá ***prostá dráha***. Platí-li pro prostou dráhu
$s = [v_0, h_1, v_1, \dots, h_n, v_n]$
rovnost $v_0 = v_n$, nazývá se taková prostá dráha ***cyklus***.
Věta: Jestliže v neorientovaném (orientovaném) grafu **G** existuje mezi uzly u a v sled, pak mezi těmito uzly existuje také prostá cesta (prostá dráha).

Vzdálenosti

Definice: Počet hran ve sledu (cestě, dráze, kružnici, cyklu) se nazývá **délkou sledu** (cesty, dráhy, kružnice, cyklu).

Je zřejmé, že existuje-li mezi dvěma uzly sled, může mezi nimi existovat sledů více. Každý z těchto sledů má jistou délku. Mezi těmito délkami (což jsou přirozená čísla) jistě existuje jedna nebo více délek s nejmenší hodnotou. Jsou to délky nejkratších sledů.

Definice: Nechť **G** je neorientovaný graf. Nechť u a v jsou uzly takové, že existuje sled mezi u a v. Pak délku libovolného nejkratšího sledu mezi uzly u a v nazýváme ***vzdáleností*** mezi uzly u a v.

Definice: Nechť **G** je orientovaný graf. Nechť u a v jsou uzly takové, že existuje sled z uzlu u do uzlu v. Pak délku libovolného nejkratšího sledu z uzlu u do uzlu v nazýváme ***vzdáleností z uzlu*** u ***do uzlu*** v.

Označení: Vzdálenosti definované předchozími dvěma definicemi označujeme **d(u,v)**.

Definice: Jestliže mezi uzly u a v neexistuje sled, klademe $d(u,v) = \infty$. Symbol ∞ chápeme jako vyjádření té skutečnosti, že jakákoliv reálná vzdálenost je menší než ∞.

Věta: *Nechť v neorientovaném grafu **G** existuje sled mezi u a v a také sled mezi uzly v a w. Pak jistě existuje sled mezi u a w a platí (trojúhelníková) nerovnost*

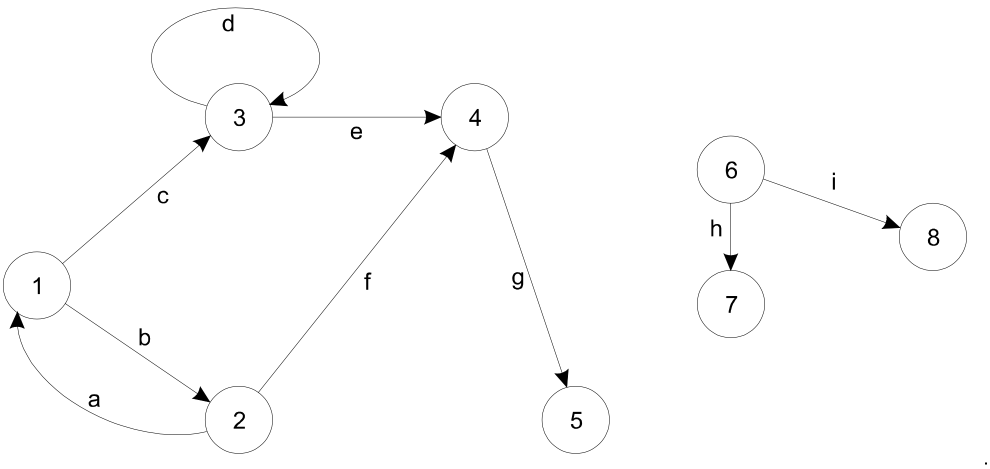
$$d(u,w) \le d(u,v) + d(v,w)$$

Analogicky platí věta pro orientované grafy. Pro neorientované grafy platí: $d(u,v) = d(v,u)$. Pro libovolný graf platí $d(u,u)=0$.

Souvislost grafu

Definice: Platí-li pro libovolné dva uzly <u>u</u> a <u>v</u> grafu **G** $d(u,v) \neq \infty$, pak graf **G** se nazývá ***souvislý graf***.

Souvislý graf je takový, kde mezi libovolnými uzly existuje sled Následující obrázek ukazuje graf, který není souvislý; neexistuje sled např. mezi uzlem 1 a uzlem 8.



Obrázek 7-2: Nesouvislý graf.

Dezorientace a orientace grafu

Nechť **G** = (***V***, ***E***, F) je orientovaný graf. Podle definice podané shora jsou všechny jeho hrany orientované. Pro každou hranu e ∈ ***E*** je tedy F(e)=[u,v], u,v∈***V***, <u>uspořádaná dvojice</u> vrcholů (uzlů) z ***V***. Definujme zobrazení H tak, že je-li F(e)=[u,v], je H(e)={u,v}. Obrazem hrany ve zobrazení H je tedy <u>neuspořádaná dvojice</u> (přesněji dvouprvková množina) vrcholů (uzlů) z V.

Definice: Nechť **G** = (V, E, F) je orientovaný graf. Je-li H zobrazení právě popsané, nazveme graf $\mathbf{G_D}$ = (V,E,H) ***dezorientací*** grafu G.
Je zřejmé, že pro každý orientovaný graf zobrazení H existuje, a to jediné. Pro každý orientovaný graf tedy existuje jediný neorientovaný graf vzniklý dezorientací orientovaného grafu.
Nechť naopak **G** = (V, E, F) je neorientovaný graf. Podle definice podané shora jsou všechny jeho hrany neorientované. Pro každou hranu $e \in E$ je tedy F(e)={u,v}, $u,v \in V$, neuspořádaná dvojice - přesněji dvouprvková množina - vrcholů (uzlů) z V. Definujme zobrazení H tak, že je-li F(e)={u,v}, je H(e)=[u,v]. Obrazem hrany ve zobrazení H je tedy uspořádaná dvojice vrcholů (uzlů) z V.

Definice: Nechť **G** = (V, E, F) je neorientovaný graf. Je-li H zobrazení právě popsané, nazveme graf $\mathbf{G_O}$ = (V,E,H) ***orientací*** grafu G.
Je zřejmé, že pro každý neorientovaný graf **G** zobrazení H existuje. Je-li však {u,v}, $u \neq v$, dvouprvková množina vrcholů (uzlů), lze vytvořit dvě uspořádané dvojice: [u,v] a [v,u]. Je-li n počet hran grafu **G**, pak pro neorientovaný graf **G** existuje nejvýš 2^n různých orientovaných graf vzniklý orientací neorientovaného grafu.

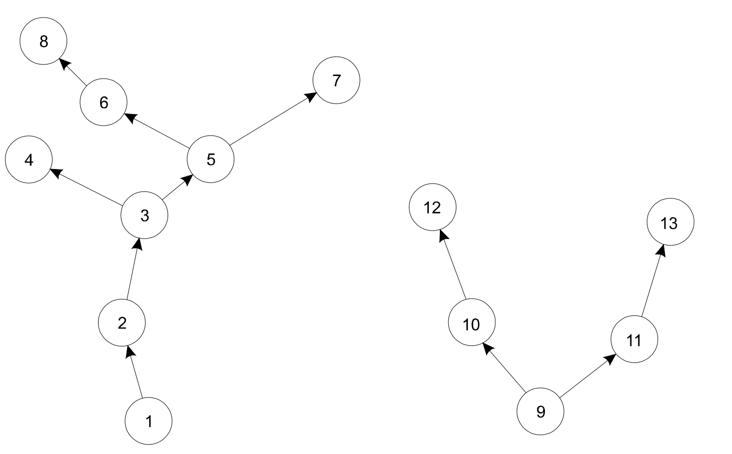
Les, strom

Definice: Neorientovaný graf bez kružnic se nazývá ***les***.

Definice: Souvislý les se nazývá ***strom***.

Definice: Orientovaný graf ze nazývá ***orientovaným lesem***, právě když graf vzniklý jeho dezorientací je lesem.

Definice: Orientovaný graf ze nazývá ***orientovaným stromem***, právě když graf vzniklý jeho dezorientací je stromem.



Obrázek 7-3: Graf, který je lesem.

Kostra grafu

Definice: Nechť **H** je souvislý neorientovaný graf, **G** jeho faktor. Je-li **G** zároveň stromem, říkáme, že podgraf **G** je ***kostrou*** grafu **H**.

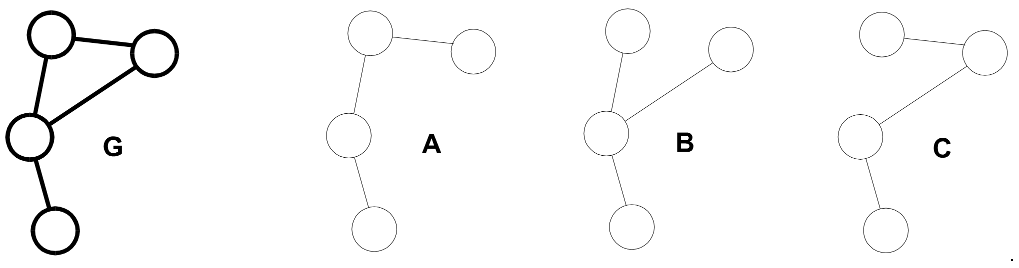
Definice: Nechť **H** je souvislý orientovaný graf. Jeho podgraf **G** je jeho ***kostrou***, je-li dezorientace grafu **G** kostrou dezorientace grafu **H**.

Věta: *V každém souvislém neorientovaném grafu existuje alespoň jedna kostra.*

Věta: *Kostra s n uzly má n-1 hran.*

Důsledek: Všechny kostry daného souvislého neorientovaného grafu mají týž počet hran.

Následující obrázek ukazuje graf **G** a tři jeho kostry **A**, **B** a **C**:



Obrázek 7-4: Kostry grafu.

7.2 Ohodnocené grafy

Ohodnocení

Nechť je dána množina M, na které je definována binární operace $\oplus : M\mathrm{x}M \rightarrow M$. Tuto operaci budeme často - zvláště je-li M množina číselných hodnot - označovat také jen symbolem +. Jsou-li $m_1, m_2, \ldots, m_n$ prvky M, budeme používat zřejmého označení $\sum \mathbf{m_i}$ pro prvek $(((\ldots(m_1 \oplus m_2) \oplus \ldots \oplus m_n$. Dále nechť je nad M definována reflexivní, antisymetrická a tranzitivní relace, kterou budeme označovat $\leq$ (neostré uspořádání).

Definice: Nechť je dán graf **G** = (V,E,F). Existuje-li zobrazení O_H:E(G)→M, říkáme, že graf **G** je ***hranově ohodnocený***. Prvek $O_H(e) = m \in M$ se nazývá ***ohodnocení hrany*** e.

Definice: Nechť je dán graf **G** = (V,E,F). Existuje-li zobrazení O_V:V(G)→M, říkáme, že graf **G** je ***vrcholově (uzlově) ohodnocený***. Prvek $O_V(v) = m \in M$ se nazývá ***ohodnocení vrcholu (uzlu)*** v.

Definice: Nechť je dán hranově ohodnocený graf **G** a v něm sled $\underline{s}$. Označme $e_1, e_2, \dots, e_n$ hrany tohoto sledu. Prvek $m = \sum O_H(e_i) \in M$ nazveme ***délkou sledu** s **v ohodnocení*** O_H.

***Poznámka**: Na jednom grafu může být současně definováno více ohodnocení. Existuje tedy tolik délek téhož sledu $\underline{s}$, kolik existuje různých ohodnocení grafu.*

V naprosté většině praktických aplikací jsou hrany a vrcholy (uzly) ohodnoceny numericky. Množinou M je pak množina všech reálných čísel, případně pro konkrétní úlohy množina racionálních, celých nebo i jen přirozených čísel.

Triviální ohodnocení

Definice: Nechť **G** je graf **G**=(V,E,F). Označme M množinu přirozených čísel, označme O_1 zobrazení O_1:E(G)→ 1 (tj. $O_1(e)=1$ pro všechna $e \in E$). Je zřejmé, že zobrazení O_1 existuje vždy. Podle definice je O_1 hranové ohodnocení, které nazveme ***triviální ohodnocení***.

Je zřejmé, že délka (dle definice výše) sledu v triviálním ohodnocení je rovna počtu hran tohoto sledu a tedy délce téhož sledu dle definice. Obdobná poznámka platí pro pojem "vzdálenost".

Minimální kostra

Podle odstavců výše má každá kostra **K** souvislého neorientovaného grafu **G** stejný počet hran. Zcela jistě existuje triviální ohodnocení grafu **G** i kostry **K** jako jeho podgrafu. Počet hran **K** je pak roven součtu ohodnocení všech hran v **K** v triviálním ohodnocení. Tedy každá kostra grafu **G** má součet ohodnocení hran v triviálním ohodnocení stejný.

Jinak je však tomu tehdy, existuje-li v souvislém neorientovaném grafu **G** ohodnocení O_H, které není triviální. V něm může každé kostře **K** příslušet jiný součet ohodnocení hran. Pro kostru **K** označme tento součet $O_H(K)$. Přitom všech koster je konečný počet.

Definice: Takovou kostru $\mathbf{K_m}$, pro níž je $O_H(K_m) = \min (O_H(K_i))$, nazýváme ***minimální kostra grafu*** **G** v ohodnocení O_H.

***Poznámka**: Minimálních koster tedy může být více. V triviálním ohodnocení je každá kostra minimální.*

7.3 Orientované grafy

Tento odstavec zavádí některé pojmy a popisuje některé vlastnosti, které se týkají pouze orientovaných grafů.

Df

Obrácený graf

Nechť **G** je orientovaný graf, G=(V,E,F). F je podle definice zobrazení incidence: pro všechny hrany $e \in E$ existují vrcholy (uzly) $u,v \in V$ tak, že F(e)=[u,v]. Označme H zobrazení takové, že je-li F(e)=[u,v], je H(e)=[v,u]. Je zřejmé, že takové zobrazení existuje vždy, a to jediné.

Definice: Nechť **G** je orientovaný graf, G=(V,E,F). Nechť H je zobrazení podle předchozího odstavce. Graf $\mathbf{G_x}$=(V,E,H), se nazývá ***obrácený graf*** ke grafu **G**.

Df

Populárně řečeno, obrácený graf je takový, ve kterém „všechny šipky směřují obráceně“.

Silná souvislost, silně souvislé komponenty

Definice: Orientovaný graf **G**=(V,E,F) ze nazývá ***silně souvislý***, jestliže pro každou dvojici vrcholů (uzlů) u, v $\in$ V existuje dráha z u do v a současně dráha z v do u.

Df

Definice: Každý podgraf **H** orientovaného grafu **G** nazveme ***silně souvislou komponentou***, je-li **H** silně souvislý a je zároveň "maximální" silně souvislý v tomto smyslu: je-li **L** jiný podgraf **G**, který je zároveň podgrafem **H**, pak již **L** není silně souvislý.

Df

Věta: *Každý vrchol grafu leží právě v jedné silně souvislé komponentě.*

Věta: *Hrana e je obsažena v nějakém cyklu právě tehdy, když oba její vrcholy (uzly) leží v téže silně souvislé komponentě.*

Důsledek: *Graf **G** je silně souvislý právě tehdy, když je souvislý každá jeho hrana leží v nějakém cyklu.*

Bezprostředně z definice silně souvislé komponenty a množin D^+ a D^- vyplývá věta:

Věta: Silně souvislá komponenta obsahující vrchol v má množinu vrcholů rovnou $D^+(v) \cup D^-(v)$.

Kondenzace grafu

Shora definovaný pojem silně souvislé komponenty a zvláště jejich vyznačení v zobrazení grafu vede k myšlence „odstranění“ cyklů a k jakémusi „globálnějšímu“ pohledu na graf. Uvažujme následující graf:

V grafu na tomto obrázku jsou rámečky vyznačeny všechny silně souvislé komponenty. Graf je souvislý, ale nikoliv silně souvislý. Za povšimnutí stojí, že v komponentě **K** každá hrana leží v nějakém cyklu, ale neexistuje cyklus, který by obsahoval všechny vrcholy **K**. Myšlenkou tzv. *kondenzace* je považovat silně souvislé komponenty za vrcholy nějakého nového grafu.

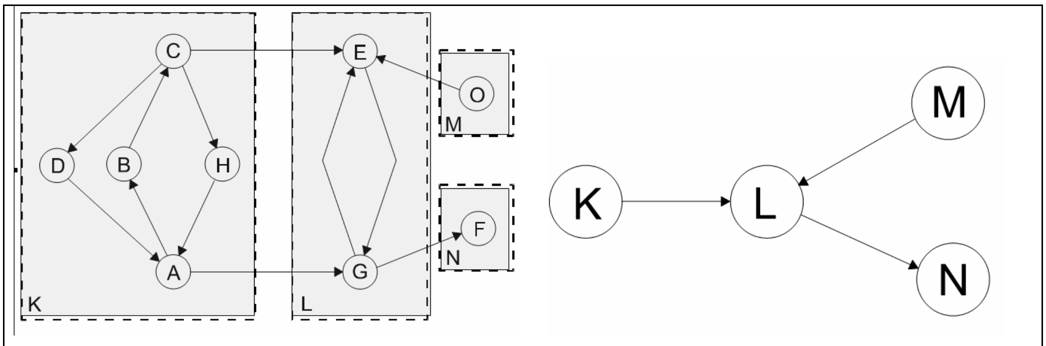
Definice: Nechť je dán orientovaný graf **G**. Označme V_K množinu všech silně souvislých komponent $\mathbf{K}_i$ grafu **G**. Vytvořme množinu E_K uspořádaných dvojic $[\mathbf{K}_i,\mathbf{K}_j]$ takto:

$[\mathbf{K}_i,\mathbf{K}_j]\in E_K$ právě tehdy, když $\mathbf{K}_i\neq\mathbf{K}_j$ a v grafu **G** existuje hrana z nějakého vrcholu $v\in\mathbf{K}_i$ do nějakého vrcholu $u\in\mathbf{K}_j$. Je-li $e=[\mathbf{K}_i,\mathbf{K}_j]\in E_K$, pak identita $H(e)=e$ je zobrazení $H:E_K\rightarrow V_K x V_K$. Uspořádaná trojice $\mathbf{K}=(V_K,E_K,H)$ tedy splňuje definici grafu; tento graf **K** nazveme ***kondenzací*** grafu **G**.

Kondenzace grafu z obrázku je následující:

Podle definice kondenzace neobsahuje kondenzace **K** grafu **G** smyčky. Kdyby kondenzace **K** grafu **G** obsahovala cyklus procházející alespoň dvěma různými vrcholy (vrchol **K** = silně souvislá komponenta **G**!), existoval by již v grafu **G** cyklus procházející přes tyto komponenty, což je ve sporu s definicí silně souvislé komponenty.

Věta: *Kondenzace libovolného orientovaného grafu neobsahuje žádný cyklus.*



Obrázek 7-5: Silně souvislé komponenty a kondenzace grafu.

Acyklické grafy, topologické uspořádání

Definice: Orientovaný graf **G** je ***acyklický***, když neobsahuje žádný cyklus ani orientovanou smyčku.

Věta: *Každý acyklický graf obsahuje alespoň jeden vrchol* u, *pro nějž je* $D^-(u)=\{\varnothing\}$, *a alespoň jeden vrchol* v, *pro nějž je* $D^+(v)=\{\varnothing\}$.

Definice: Nechť $[v_1, v_2, \dots, v_n]$ je posloupnost všech vrcholů orientovaného grafu **G**. Nechť v této posloupnosti platí: kdykoliv je v_i rodičem v_j, je $i<j$. Pak tuto posloupnost nazveme ***topologické uspořádání vrcholů*** (uzlů) grafu G.

V topologickém uspořádání vrcholů tedy platí: počáteční vrchol každé hrany "předchází" koncovému vrcholu této hrany.

Definice: Nechť $[e_1, e_2, \dots, e_m]$ je posloupnost všech hran orientovaného grafu **G**. Nechť v této posloupnosti platí: kdykoliv je koncový vrchol hrany e_i roven počátečnímu vrcholu hrany e_j, je $i<j$. Pak tuto posloupnost nazveme ***topologické uspořádání hran*** grafu G.

V topologickém uspořádání hran tedy platí: všechny hrany, mající koncový vrchol v, předchází všem hranám, majících v za počáteční vrchol.

Věta: *Topologické uspořádání vrcholů existuje tehdy a jen tehdy, existuje-li topologické uspořádání hran.*

Věta: Topologické uspořádání vrcholů orientovaného grafu **G** existuje tehdy a jen tehdy, je-li graf **G** acyklický.

Kořeny, listy a zdroje

Definice: Nechť $v \in V(G)$ je vrchol orientovaného grafu **G**. Řekneme, že v je ***kořen*** grafu **G**, jestliže $D^+(v)=V(G)$, tj. jestliže každý vrchol grafu **G** je orientovaně dostupný z vrcholu v.

Definice: Nechť $v \in V(G)$ je vrchol orientovaného grafu **G**. Řekneme, že v je ***list*** grafu **G**, jestliže $D^+(v) = \{\varnothing\}$, tj. jestliže vrchol v grafu **G** nemá bezprostředního následníka.

Definice: Nechť $v \in V(G)$ je vrchol orientovaného grafu **G**. Řekneme, že v je ***zdroj*** grafu **G**, jestliže $D^-(v) = \{\varnothing\}$, tj. jestliže vrchol v grafu **G** nemá bezprostředního předchůdce.

> ***Poznámka***: *Má-li orientovaný graf jediný kořen, je tento kořen zdrojem (a naopak). Má-li orientovaný graf více kořenů, nemá zdroj (a naopak).*

Definice kořene uvedená shora nevylučuje, aby graf měl více kořenů (v tom případě obsahuje graf alespoň jeden cyklus), jak to ukazuje následující obrázek; tento graf nemá zdroj:

Definice: Orientovaný graf, který je stromem a má kořen, se nazývá ***kořenový strom***.

Velká skupina praktických úloh se opírá právě o kořenové stromy. Některé vlastnosti kořenových stromů je možno vyjádřit následující větou:

Věta: *Nechť **G**=(V,E,F) je orientovaný graf s n vrcholy (uzly). Pak následující tvrzení jsou ekvivalentní:*

a. *Graf **G** je kořenovým stromem.*

b. *Graf **G** má kořen v a do každého vrcholu u různého od v vede právě jediná orientovaná cesta.*

c. *Graf **G** má kořen a po odstranění libovolné hrany již kořen nemá.*

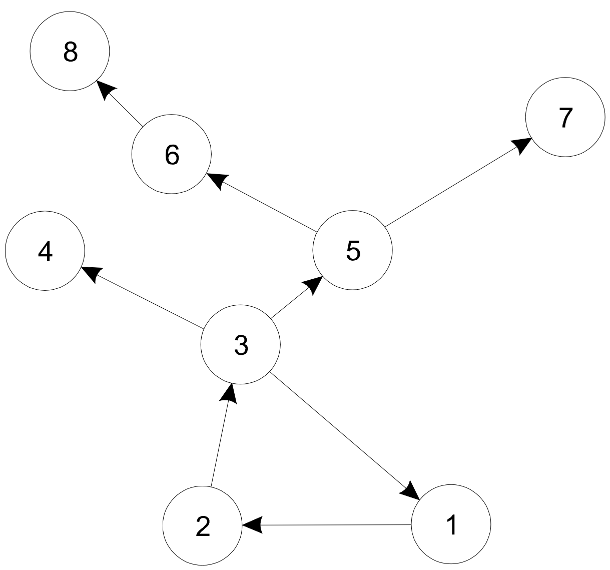
d. *Graf **G** má kořen a neobsahuje kružnici.*

e. *Graf **G** má kořen a má nejvýše n-1 hran.*

Důsledek: Kořenový strom má zdroj, a to jediný.

***Poznámka**: Výrok předchozí věty, že např. "tvrzení a je ekvivalentní tvrzení d" se lépe čte takto: (Graf **G** je kořenovým stromem) právě tehdy, když (Graf **G** má kořen a neobsahuje kružnici).*

Uvedená věta dovoluje jednak lehce rozhodnout, je-li daný graf kořenovým stromem, jednak umožňuje sestavit algoritmy např. pro vyhledání kořenového stromu s daným vrcholem.



Obrázek 7-6: Orientovaný graf se třemi kořeny

7.4 Sítě, toky

Definice: Libovolný orientovaný hranově ohodnocený graf se nazývá ***síť***, je-li ohodnocením zobrazení O_H:E(G)→***R*** (***R*** je množina reálných čísel). Toto zobrazení se nazývá ***kapacita*** sítě. Hodnotu O_H(e)=r∈R se nazývá kapacita hrany $\underline{e}$.

> ***Poznámka****: protože na jednom grafu může být dáno více ohodnocení, upřesňuje se pak síť XY podle příslušného konkrétního ohodnocení XY.*

Definice toku 1: Nechť je dána síť. Její ohodnocení O_H se nazývá ***tokem***, platí-li pro každý vrchol v∈V tzv. 1. Kirchhoffův zákon ("ve vrcholech se nic nehromadí"):

$$\sum_{e \in E^+(v)} O_H(e) = \sum_{e \in E^-(v)} O_H(e)$$

V praxi není tokem mnoho ohodnocení, které by rovnici splňovaly, nemít graf kořeny a (nebo) listy. Proto pojem toku lze modifikovat takto:

Definice toku 2: Ohodnocení je tokem, platí-li výše uvedená rovnice pro všechny vrcholy až na případný konečný počet vrcholů, pro které platí, že buď levá strana nebo pravá strana rovnice je rovna nule.

Právě grafů, na kterých je definován tok, se týká řada úloh aplikovatelných beze změny v ekonomických subsystémech. Jde o již shora uvedený výpočet maximálního toku nebo (v případě dolního a horního omezení pro ohodnocení hran) o obecnější úlohu stanovení přípustného toku. Je-li oceněním finanční hodnota, pak často řešenou úlohou je zjištění nejlevnějšího toku atd.

7.5 Základní úlohy na grafech

Aparát teorie grafů je důležitým prostředkem pro zachycení a analýzu struktury systému, algoritmy optimalizace na grafech slouží k řešení rozsáhlé třídy matematických modelů operačního výzkumu. Jednou z nejčastěji vyhledávaných skupin algoritmů s širokým uplatněním zejména v oblasti transportu jsou algoritmy pro hledání optimálních cest na grafech.

Rozeznáváme několik typů úloh o hledání optimálních cest:

- hledání nejkratší cesty
- hledání nejspolehlivější cesty
- hledání cesty s maximální kapacitou

Pro všechny typy úloh předpokládáme neorientovaný, souvislý, hranově ohodnocený graf, který představuje schematické znázornění dopravní sítě.

Hledání nejkratší cesty

Úlohy o hledání nejkratší cesty (někdy je nejkratší cesta označována také jako minimální cesta) mohou být dále rozčleněny takto:

- hledání nejkratší cesty z daného počátečního vrcholu do daného koncového vrcholu
- hledání nejkratší cesty z daného počátečního vrcholu do všech ostatních vrcholů grafu (popř. hledání nejkratší cesty ze všech ostatních vrcholů do daného koncového vrcholu)
- hledání minimální cesty mezi libovolnými dvěma vrcholy grafu

K řešení prvních dvou typů úloh se používají Dijkstrovy algoritmy. Pro hledání minimální cesty mezi libovolnými dvěma vrcholy se užívá Floydův algoritmus. Jeho výsledkem je matice vzdáleností mezi vrcholy (distanční matice), s využitím této matice a matice přímých vzdáleností lze pak snadno určit i minimální cestu mezi vybranými dvěma vrcholy.

Algoritmy pro hledání nejkratší cesty mají v silniční dopravě rozsáhlé použití. Podle charakteru úlohy může být graf hranově ohodnocen vzdáleností mezi vrcholy, náklady na přepravu apod.

Hledání nejspolehlivější cesty

Pro hledání nejspolehlivější cesty se využívá algoritmus hledání nejkratší cesty z počátečního do koncového vrcholu. Hrany grafu jsou ohodnoceny pravděpodobnostmi úspěšného nebo neúspěšného průchodu příslušnou hranou. Při ohodnocení pravděpodobností neúspěšného průchodu hranou je třeba ji přepočítat na pravděpodobnost úspěšného průchodu hranou, algoritmus uvažuje právě tuto pravděpodobnost úspěchu. V silniční dopravě se může jednat např. o pravděpodobnost, s jakou na daném úseku komunikace nedojde k nehodě, pravděpodobnost výskytu krizové situace, pravděpodobnost sněhové kalamity apod.

Úloha se pomocí logaritmické funkce převede na úlohu nalezení nejkratší cesty, spolehlivost cesty se pak určí podle vztahu:

$$s(m(u,v)) = \prod_{h \in m(u,v)} p(h),$$

kde *p(h)* $\in \langle 0,1 \rangle$ je pravděpodobnost úspěšného průchodu hranou *h* s krajními vrcholy *u,v*,

s(m(u, v)) je spolehlivost cesty *m(u,v)*.

Pro hledání cesty s maximální kapacitou se používá algoritmus využívající řezových množin a krácení hran podgrafu sestaveném z hran zkrácených v průběhu řešení, kapacita cesty se určí podle vztahu:

Hledání cesty s maximální kapacitou (propustností)

$$K(m(u,v)) = \min_{h \in m(u,v)} \{o(h)\},$$

kde *m(u,v)* $\in$*M* je cesta z množiny všech cest mezi vrcholy *u* a *v,*

o(h) je kapacita hrany *h*,

K(m(u,v)) je kapacita cesty *m(u,v)*.

Algoritmus pro hledání cesty s maximální kapacitou lze v silniční dopravě použít především při hledání trasy pro přepravu nadrozměrných nákladů.

Ke konstrukčním úlohám na grafech patří

Konstrukční úlohy na grafech

- nalezení kostry grafu
- nalezení eulerovského tahu
- nalezení hamiltonovské kružnice

Kostra grafu

Kostra grafu představuje vzájemné propojení všech míst na síti, které nesmí obsahovat kružnici. Pro hranově ohodnocené grafy lze sestrojit minimální, popř. maximální kostru grafu. Úlohu o hledání minimální kostry grafu lze aplikovat např. při hledání nejlevnějšího propojení dané oblasti telefonním kabelem, dopravní sítí apod. Algoritmus hledání kostry grafu je využitelný např. v krizových situacích.

Příkladem může být krizová situace, při níž dojde k částečnému nebo úplnému zneprůchodnění dopravních komunikací (sněhová kalamita, zasypání, zatopení apod.). Pro zajištění nejnutnějšího spojení mezi určenými strategicky významnými body je třeba alespoň částečně obnovit komunikační síť tak, aby každý ze strategických bodů byl propojen s ostatními. Známe vzdálenosti mezi vrcholy sítě, rychlost každého typu vozidla, který bude v dané situaci použit, a předpokládáme, že potřebný počet odklízecích mechanismů bude předem rozmístěn na určená stanoviště.

Ohodnocení hran udává vzdálenosti mezi krajními vrcholy hrany, a protože při krizové situaci je nejdůležitějším hlediskem čas, bude v tomto případě nutné vzdálenost přepočítat na čas potřebný k zprůjezdnění hrany (pomocí rychlostí jednotlivých typů vozidel). Nalezením minimální kostry tohoto grafu se určí komunikace, které mají být přednostně zprůjezdněny, aby byly vrcholy sítě navzájem propojeny co nejdříve.

Eulerovský tah je tvořen posloupností vrcholů a hran grafu, každá hrana grafu se v eulerovském tahu vyskytuje právě jednou. Eulerovský tah může být uzavřený nebo otevřený. Uzavřený eulerovský tah lze sestrojit pomocí Fleuryho algoritmu na grafu, který má všechny vrcholy sudého stupně. Tah projde každou hranou grafu právě jednou, začíná i končí ve stejném vrcholu. Otevřený eulerovský tah se konstruuje na grafu, který má právě dva vrcholy lichého stupně. Začíná v jednom z vrcholů lichého stupně, projde každou hranou grafu právě jednou a vrátí se do druhého z vrcholů lichého stupně. Také při konstrukci otevřeného eulerovského tahu v grafu se dvěma vrcholy lichého stupně lze použít upravený Fleuryho algoritmus.

Eulerovský tah

Pro konstrukci uzavřeného eulerovského sledu v souvislém grafu s počtem vrcholů lichého stupně větším než 2 se používá Edmonsonův algoritmus. V tomto případě nelze sestrojit eulerovský tah (posloupnost vrcholů a hran, v níž se každá hrana vyskytuje právě jednou), ale pouze tzv. eulerovský sled, ve kterém se budou některé hrany vyskytovat dvakrát. Je-li graf hranově ohodnocený, má význam hovořit o minimálním (popř. maximálním) eulerovském sledu (sled, který má minimální, popř. maximální součet ohodnocení hran). Praktický význam má především tento typ úloh, kde je důležitý správný výběr hran, po kterých bude nutno projít dvakrát, aby se minimalizovala nákladová funkce.

Úloha hledání uzavřeného eulerovského tahu je také známa jako úloha čínského pošťáka. Už z tohoto označení je zřejmá jedna z možností praktických aplikací problému. Pošťák vyjde z jednoho určeného vrcholu (poštovní úřad), projde každou ulicí ve svém rajónu a po skončení roznášky se vrací zpět do výchozího vrcholu. Další možnou praktickou aplikací úlohy je např. hledání optimální trasy čistícího vozu apod.

Hamiltonovská kružnice je takový podgraf grafu, který je kružnicí a ve kterém se každý vrchol grafu vyskytuje právě jednou. Pro řešení praktických úloh na hranově ohodnocených grafech je opět důležité vyhledávání minimální, popř. maximální hamiltonovské kružnice, pokud existuje. Pro tuto úlohu je známo několik metod řešení, mezi nejznámější patří heuristický algoritmus určení hamiltonovské kružnice pro kompletní grafy nebo metoda větvení a mezí, ze které vychází Littlův algoritmus.

Hamiltonovská kružnice

Zobecněním úlohy nalezení minimální hamiltonovské kružnice je tzv. úloha obchodního cestujícího.

Cílem je stanovit trasu obchodního cestujícího tak, aby celkové náklady byly minimální a aby cestující prošel každým vrcholem alespoň jednou. Obdobného charakteru jsou i možné praktické aplikace této úlohy.

Dopravní sítí se v teorii grafů rozumí orientovaný, neorientovaně souvislý acyklický graf, ve kterém je každé hraně přiřazeno číslo $c[h]$ - kapacita (propustnost) hrany. V dopravní síti je vždy pouze jeden zdroj (hrany z něj pouze vycházejí) a jedno ústí (hrany do něj pouze vcházejí). Tok hranou je nezáporné číslo, které nepřesáhne kapacitu hrany.

Toky v dopravních sítích

Pro nalezení maximálního toku v rovinných sítích se používá jednodušší algoritmus založený na hledání nejvýše položené dráhy ze zdroje do ústí, maximální tok ve všeobecných a intervalově ohodnocených dopravních sítích se konstruuje pomocí Ford - Fulkersonova algoritmu (tento algoritmus lze ale použít i pro rovinné sítě).

Hledání maximálního toku v síti má v silniční dopravě význam při sledování proudů dopravních kompletů po síti apod.

SHRNUTÍ KAPITOLY TEORIE GRAFŮ

Σ

Shrnutí

Jak již bylo řečeno, obsah této kapitoly se překrývá s předmětem operační analýza. Základní znalost grafů je ovšem nutnou podmínkou pro pochopení metod síťové analýzy. Proto se v případě nutnosti k této kapitole vracejte, Snad si ještě pamatujete, že i jedna z definic systému byla prostřednictvím grafu. Obsah této kapitoly bude tématem tutoriálu

PRŮVODCE STUDIEM 12

Průchod modulem

Základní znalosti teorie grafů nám umožní aplikovat grafické rozhraní při analýze systémů. Metody síťové analýzy pracují se speciálními typy grafů – síťovými grafy. Využití těchto metod je jak při analýzách a řešení statických systémů, tak dynamických systémů. Kapitolu chápejte spíše jako praktickou část, ve které si ukážeme postupy při síťové analýze na konkrétné metodě. Tento postup je volený z důvodu opětovného překryvu teorie s látkou předmětu operační analýza. Ve snaze o ucelenost učiva systémové analýzy má daná oblast v těchto skriptech své místo.

8 SÍŤOVÁ ANALÝZA

RYCHLÝ NÁHLED DO PROBLEMATIKY KAPITOLY SÍŤOVÁ ANALÝZA

Rychlý náhled

V této kapitole se seznámíme s aplikací teorie grafů při časové analýze v systému. Naučíte se (nebo si zopakujete) zásady tvorby síťového grafu, seznámíte se s některými metodami síťové analýzy a na konkrétním příkladě si ověříte své znalosti.

CÍLE KAPITOLY SÍŤOVÁ ANALÝZA

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

Budete umět

- Navrhnout a správně konstruovat síťový graf
- Zabezpečit v grafu vhodným přečíslováním uzlů časovou návaznost jevů
- Najít v sytému kritickou cestu
- Analyzovat časové rezervy v systému

Získáte:

Získáte

- Znalosti z oblasti síťové analýzy
- Praktické dovednosti při hledání kritické cesty

Budete schopni:

Budete schopni

- Převést verbální popis systému do grafické podoby
- Analyzovat časové následnosti jevů
- Zjistit časové rezervy v systému

ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

Celkový doporučený čas k prostudování KAPITOLY je **dvě hodiny**, jedna hodina je doporučena samostatnému úkolu

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY SÍŤOVÁ ANALÝZA

Síťový graf, časová analýza, časová rezerva, CPM, PERT

Klíčová slova

8.1 Metody síťové analýzy

PRŮVODCE STUDIEM 13

- některé úlohy, zejména týkající se časových analýz v systému můžeme řešit pomocí speciálních úloh síťové analýzy.

Naučíte se pomocí metod síťové analýzy:

- využití grafického rozhraní pro znázornění časové posloupnosti a technologické závislosti dílčích operací složitých projektů
- použití nástrojů pro rozbor struktury složitých projektů a dynamických systémů
- stanovení minimálních časů potřebných pro realizaci celého projektu
- vytipování činností, na jejichž průběhu závisí dodržení termínu pro realizaci celého projektu

Přednosti

- grafické znázornění průběhu akce
- propočítání dílčích i konečných termínů průběhu jednotlivých operací
- stanovení činností limitujících průběh realizace projektu
- přehled o rozsahu projektu
- přehled o návaznosti dílčích akcí a jejich podmíněnosti
- posouzení komplexnosti všech nutných prací včetně zdánlivě nepotřebných
- posouzení důsledků dílčích úprav projektu

⇕

metody síťové analýzy jsou adaptabilní vůči dílčím poruchám při realizaci projektu

Nejznámější metody :

- metoda kritické cesty – CPM
- technika hodnocení a rozboru programu – PERT
- LEST, PERT COST, RAMPS apod.

síťový graf, diagram (network chart)

Síťový graf

- orientovaný, souvislý, hranově definovaný obvykle ohodnocený graf, obsahující dva speciální uzly – vstup a výstup
- grafické zobrazení projektu vyjadřující vztahy a závislosti jeho jednotlivých činností (úloh) prostřednictvím sítě, v níž je každá úloha (činnost) znázorněna jako úsek mezi dvěma uzly grafu

① **uzly**

- označují události – začátek nebo konec činnosti

⟶ **hrany**

- označují vykonání činnosti (šipka znázorňuje směr toku práce)

①·······▶ ② **dummy** (falešná, fiktivní hrana)

- následnost událostí za sebou v čase, přičemž se nevykonává žádná činnost a nespotřebovávají žádné zdroje
- znázorňuje, že následující činnost (za uzlem 2) může být započata až po dokončení předchozí činnosti

Ganttovy tabulky, CPM, PERT grafy

užití: návrh časového plánu (harmonogramu) a řízení projektů (informačních systémů)

definujeme:

- úlohy
- zdroje pro každou úlohu vedoucí k příslušné události (čas, finance, osoby, materiál, přístroje...)
- události

zobrazujeme:

- časové překrývání úloh
- návaznost úloh
- přiřazení disponibilních zdrojů existujícím úlohám

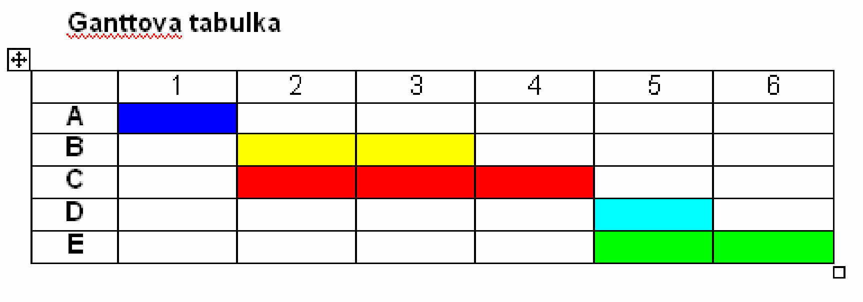
zjišťujeme (a příp. optimalizujeme): trvání projektu, kritickou cestu

Postup:

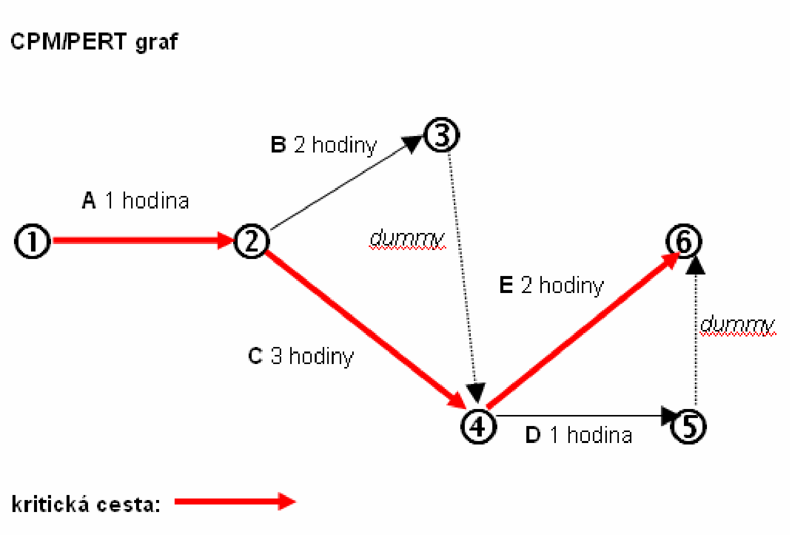
1. vytvoření seznamu činností, událostí,
2. stanovení nároků na zdroje – časových, příp. finančních a jiných pro každou činnost vedoucí k příslušné události
3. stanovení posloupnosti činností – které činnosti na sebe musí navazovat
4. určení, které činnosti mohou probíhat souběžně

Ganttovy tabulky

- sloupcové grafy (bar chart), jež ukazují, kolik práce se musí vykonat na každé úloze projektu
- každou úlohu znázorňuje čára (bar) o délce odpovídající času požadovanému na úlohu
- úlohy se umísťují do diagramu v pořadí, v jakém budou vykonány



Obrázek 8-1: Ganttova tabulka



Obrázek 8-2: CPM a PERT graf

Metoda kritické cesty (CPM – Critical Path Method)

- základní **deterministická** metoda pro časový rozbor projektu

Metoda PERT – The Project Evaluation and Review Technique (metoda vyhodnocení a sledování projektu)

- základní **stochastická** (pravděpodobnostní) metoda pro časový rozbor projektu

Metoda CPM

Nejrozšířenější metoda, umožňuje určit časovou náročnost celého projektu, termíny zahájení a ukončení dílčích operací projektu, posloupnost ***limitujících* operací**. Důkladnou analýzou můžeme zkrátit dobu realizace projektu.

Metoda je použitelná při **rozhodování za jistoty** (deterministický model).

Použití v oblasti řídící praxe

Metoda PERT

Metoda kritické cesty **zahrnující podmínky rizika**, dílčí operace odhadujeme s určitou pravděpodobností (ne s jistotou)

Použití při plánování výzkumných a vývojových prací

Problémy síťové analýzy :

- nedostatečné vyjasnění celé projektové akce
- nedostatečné informace o trvání dílčích operací
- změna koncepce celé akce po vypracování projektu
- nedostatečná dodavatelská disciplína

výhody:
převyšují podstatně nevýhody

- zřetelnost
- jednoduchost
- využití již vytvořených aparátů
- snadná použitelnost a realizovatelnost
- efektivnost

8.1.1 Metoda CPM

Metoda CPM

- Umožňuje :

- stanovit, které operace (činnosti) tvořící celou akci jsou „kritické“ z hlediska jejich vlivu na celkovou dobu trvání akce
- -jak nejlépe naplánovat všechny operace pro dosažení cílového termínu

postup :

a) naplánování postupu jednotlivých činností projektu pomocí síťového grafu
b) propočet časové náročnosti projektu i jeho dílčích činností
c) určení časových rezerv
d) nalezení kritické cesty a její analýza

Postup při metodě CPM

ad a) naplánování postupu jednotlivých činností projektu pomocí síťového grafu

- Síťový graf – konečný orientovaný graf tvořený množinou uzlů (P0,P1..Pn) a množinou hran (PiPj). Hrany které mají počátek v uzlu Pi jsou **výstupní** z uzlu Pi, které mají konec v Pj jsou **vstupní** do uzlu Pj.
- Existuje – li pouze jeden uzel počáteční a 1 koncový a každé hraně je přiřazeno číslo pak graf nazveme **síťovým grafem – sítí**.
- Posloupnost navazujících hran v síti nazýváme **cesta v síti**
- Číslo přiřazené hraně nazýváme **délka hrany.**
- Součet délek hran na cestě v síti nazýváme **délka cesty**

Postup při metodě CPM - naplánování postupu jednotlivých činností projektu pomocí síťového grafu

Při aplikaci metody CPM hledáme nejdelší cestu v grafu, která nám určí <u>nejdříve možný konec provedení projektu</u>

- **Hrana v síti** představuje činnost vyjadřující úsilí probíhající v čase (dynamický pojem)
- **Uzel v síti** představuje okamžik zahájení nebo ukončení činnosti (statický pojem)
- Všechny činnosti , znázorněné hranami vstupujícími do uzlu Pi musí skončit, aby mohly začít činnosti znázorněné hranami vystupujícími z uzlu Pi
- Síťový graf nesmí obsahovat cyklus jako podgraf (je **acyklický**)
- Neexistuje současně hrana Pij a Pji (je **asymetrický**)

Před sestrojením síťového grafu je dobré zapsat počáteční informace o projektu do tabulky obsahující

- vyčerpávající soupis nezbytných činností pro provedení projektu
- posloupnost provádění činností (návaznost)
- ohodnocení činností (doba trvání)

počáteční informace získáme :

a) **metodou postupu vpřed** :

- vycházíme z počátečních činností a postupně navazujeme další činnosti podle klíče : „které činnosti můžeme bezprostředně začít po ukončení právě stanovených činností“
- toto provádíme tak dlouho, až stanovíme všechny činnosti vytvářející projekt.
- Je vhodné tam, kde činnosti tvořící projekt dobře známe, při znázorňování opakovaných a jednoduchých projektů.

Příklad tabulky počátečních informací

Označení činnosti	Název činnosti	Následující činnost	Ohodnocení činnosti
K1		K3, K5	2
K2		K9, K6	5
K3		K7	3
K4		K8	4
K5		K6, K9	4
K6		-	4
K7		-	2
K8		-	7
K9		K7	6

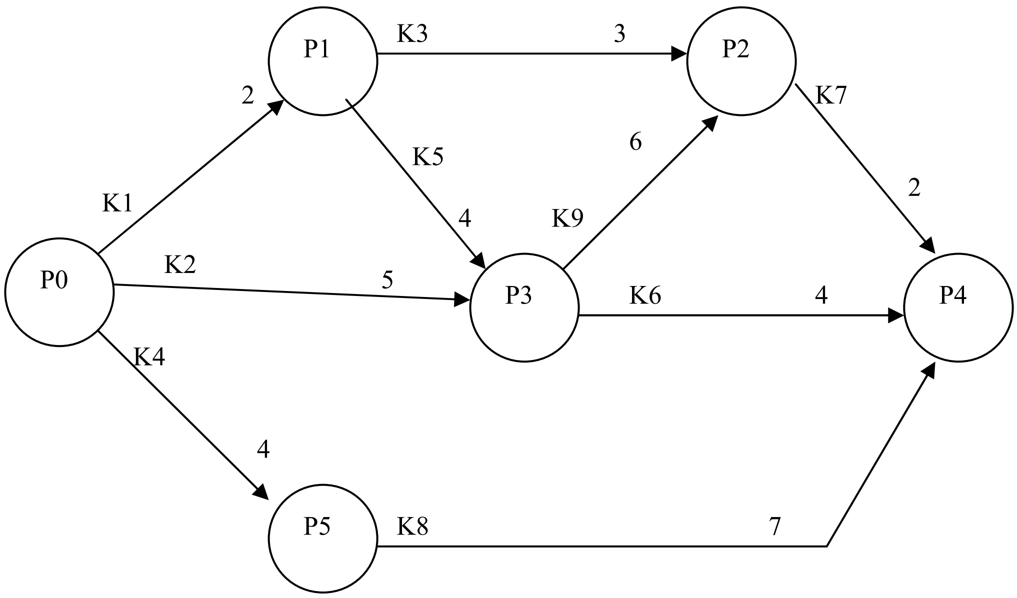
b) **metoda postupu zpět**:

- Postupujeme od cílových činností a předcházející stanovujeme na základě dotazu: „ co musíme bezprostředně učinit před tím, abychom mohli provést stanovené činnosti)
- Aplikujeme u složitých nebo doposud nevyzkoušených projektů

Označení činnosti	Název činnosti	předchozí činnost	Ohodnocení činnosti
K9		K5, K2	6
K8		K4	7
K7		K3, K9	2
K6		K5, K2	4
K5		K1	4
K4		-	4
K3		K1	3
K2		-	5
K1		-	2

Při metodě CPM používáme zpravidla první způsob, při metodě PERT druhý.

Sestrojíme síťový graf



Obrázek 8-3: síťový graf pro metodu CPM

Graf před přečíslováním

- Aby byla dodržena časová následnost jevů v systému, musíme zabezpečit pro každou činnost vyjádřenou hranou, že její počátek nastane dříve než její konec.

- (musíme si uvědomit, že málokdy se podaří sestavit graf napoprvé – pomáháme si hrano-hranovou maticí)

při výpočtu časové náročnosti předpokládáme, že pro každou hranu PiPj platí, že i<j

Po sestavení síťového grafu musíme provést přečíslování uzlů
Metody :

- metoda přeškrtávání hran
- Fordův algoritmus
- Upravený Fordův algoritmus

Uvedené metody umožňují určit řády uzlů – uzly pak číslujeme tak, aby indexy uzlů řádu vyššího byly větší než indexy uzlů řádu nižšího. Číslování uzlů stejného řádu je libovolné.
Řád uzlu Pi
udává maximální počet hran na cestě z počátečního uzlu do uzlu Pi

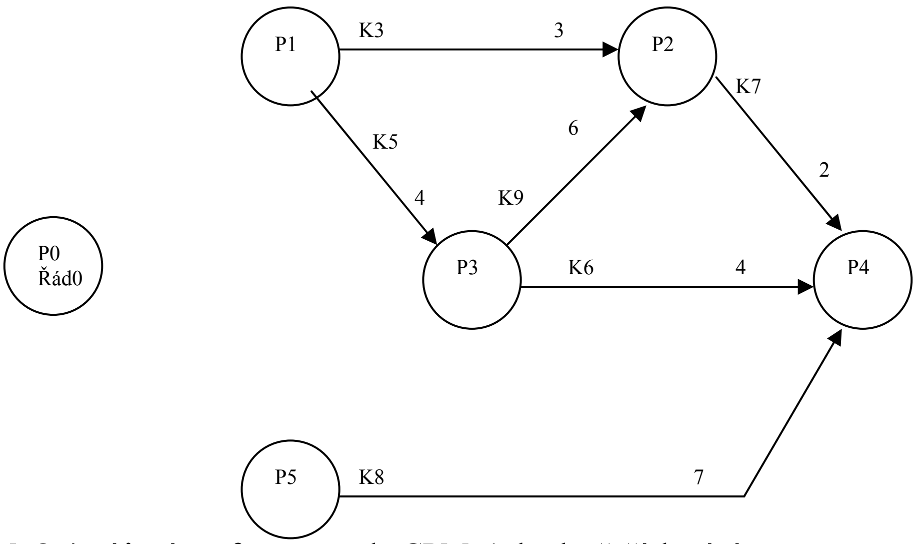
Metoda přeškrtávání hran

Metoda přečíslování uzlů pomocí přeškrtávání hran

- počátečnímu uzlu přiřadíme řád 0 a index 0, začneme prohlížet síť od uzlu P0, vyškrtneme všechny hrany vycházející z uzlu P0
- hledáme uzly, které nyní (po přeškrtání) nemají vstupní hrany, přidělíme jim řád 1, přeškrtneme hrany vycházející z uzlů prvního řádu
- opakujeme, určíme řády všech uzlů
- očíslujeme všechny uzly tak, aby index uzlu řádu vyššího byl větší, než indexy všech uzlů řádu nižšího (indexy uzlů stejného řádu jsou libovolné, různé)

1. krok

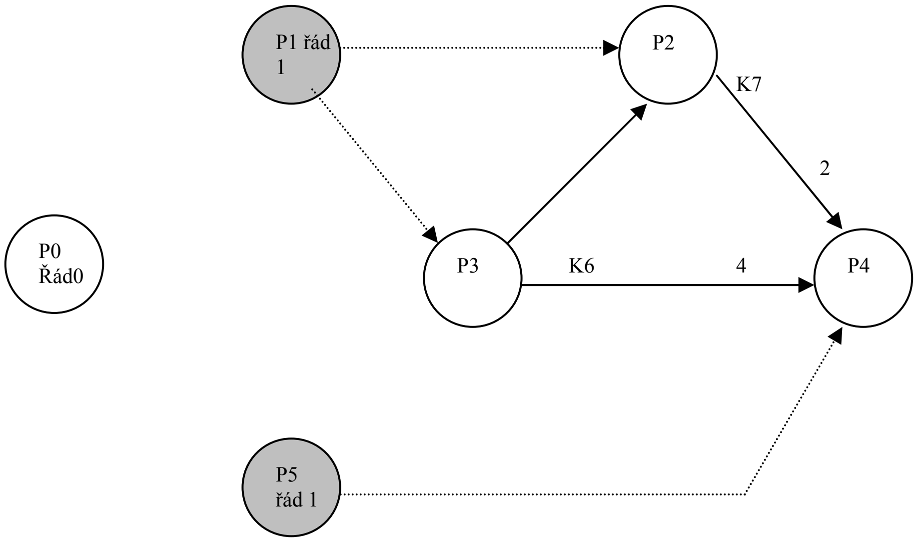
počátečnímu uzlu přiřadíme řád 0 a index 0, začneme prohlížet síť od uzlu P0, vyškrtneme všechny hrany vycházející z uzlu P0



Obrázek 8-4: síťový graf pro metodu CPM 1. krok přečíslování

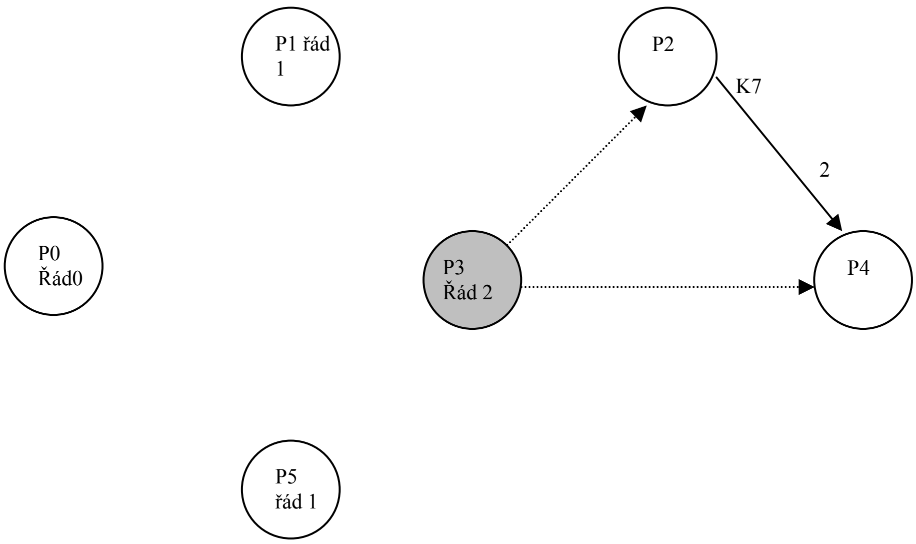
2. krok

hledáme uzly, které nyní (po přeškrtání) nemají vstupní hrany, přidělíme jim řád 1, přeškrtneme hrany vycházející z uzlů prvního řádu



Obrázek 8-5: síťový graf pro metodu CPM 2. krok přečíslování

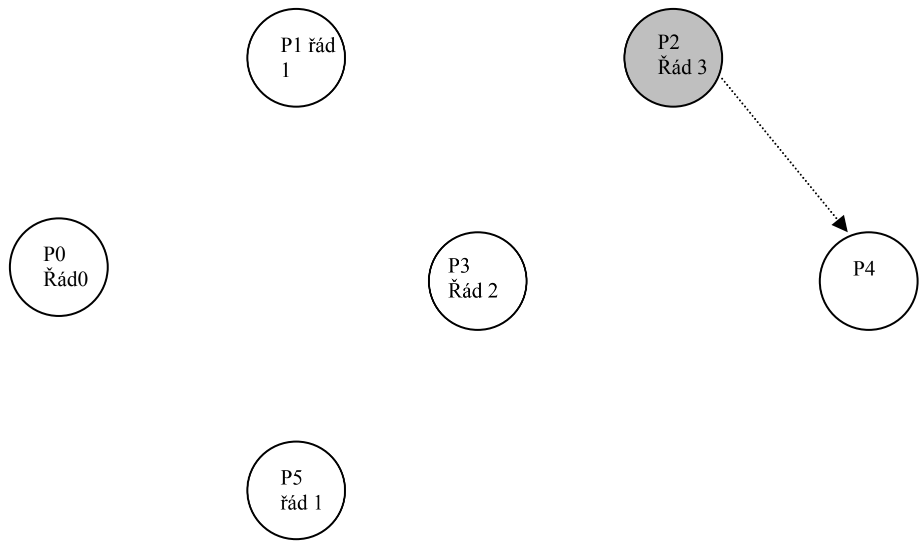
3. krok
hledáme uzly, které nyní (po přeškrtání) nemají vstupní hrany, přidělíme jim řád 2, přeškrtneme hrany vycházející z uzlů druhého řádu



Obrázek 8-6: síťový graf pro metodu CPM 3. krok přečíslování

4. krok

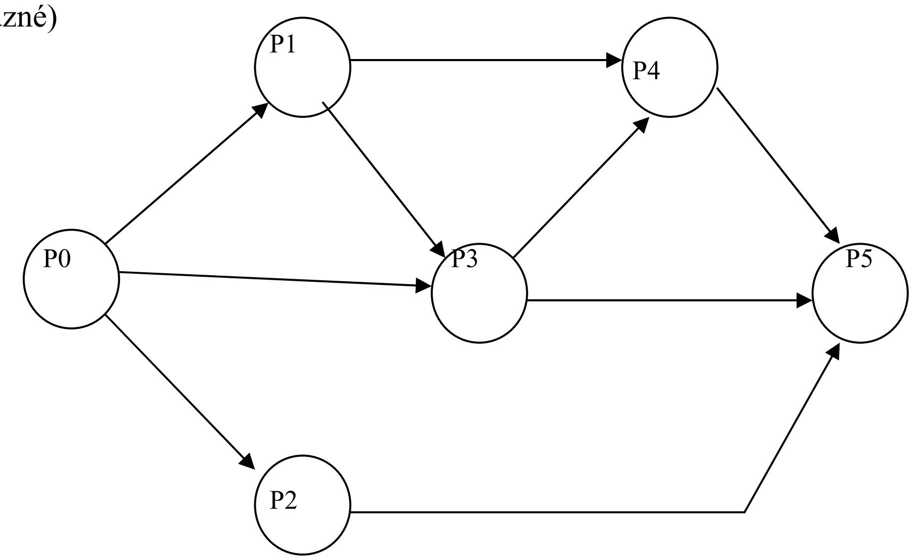
hledáme uzly, které nyní (po přeškrtání) nemají vstupní hrany, přidělíme jim řád 3, přeškrtneme hrany vycházející z uzlů třetího řádu



Obrázek 8-7: síťový graf pro metodu CPM 1. krok přečíslování

5. krok

očíslujeme všechny uzly tak, aby index uzlu řádu vyššího byl větší, než indexy všech uzlů řádu nižšího (indexy uzlů stejného řádu jsou libovolné, různé)



Obrázek 8-8: síťový graf pro metodu CPM 5. krok přečíslování

Fordův algoritmus - vhodný pro větší sítě

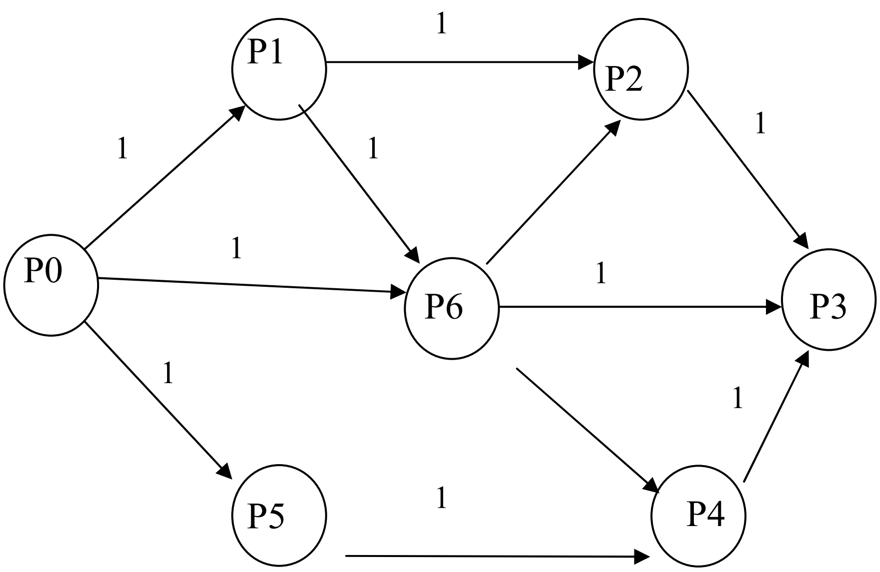
Metoda přečíslování uzlů pomocí Fordova algoritmu

- počáteční krok : přiřadíme každému uzlu Pj číslo xj0 = 0 a každé hraně (PiPj) číslo yij =1
- obecný krok q : vyšetřujeme všechny uzly sítě ve zvoleném pořádku a čísla xj(q-1) vypočtená v předchozím kroku nahradíme novými čísly xjq >= xj(q-1) podle vztahu :

  xjq=max(xjp+yij) pro všechna j

  kde p=q v případě, že uzel Pi už byl vyšetřován v kroku q,
  p=q-1 v případě, že uzel vyšetřován nebyl,
  i je index uzlu , ze kterého vystupuje hrana vstupující do uzlu Pj
- obecný krok opakujeme do té doby, až po provedeném kroku zůstanou beze změny všechna čísla xjq
- pak platí : xj=xjq=xj(q-1) pro j=1,2,…a, kde xj jsou řády uzlů Pj
- při každém kroku vyšetřujeme uzly v různých sledech
- nové přečíslování provedeme jako u metody přeškrtávání hran

počáteční krok : přiřadíme každému uzlu Pj číslo xj0 = 0 a každé hraně (PiPj) číslo yij =1
xj0=0 pro j=1,2…6
yij=1 pro i=0,1,..6, j=1,2,..6



i – indexy uzlů ze kterých vedou hrany které do uzlu vstupují	- obecný krok q : vyšetřujeme všechny uzly sítě ve zvoleném pořádku a čísla xj(q-1) vypočtená v předchozím kroku nahradíme novými čísly xjq >= xj(q-1) podle vztahu : **xjq=max(xjp+yij**) pro všechna j **kde p=q** v případě, že uzel Pi už byl vyšetřován v kroku q, **p=q-1** v případě, že uzel vyšetřován nebyl, i je index uzlu , ze kterého vystupuje hrana vstupující do uzlu Pj

krok 1 (q=1)
vyšetříme v pořadí 0,1,2,…6
x01=**0**
x11=x01+y01=**1**
x21=max pro 1,6 (x11+1,x60+1) = max (2,1)=**2**
x31=max pro 2,4,6 (x21+1,x40+1, x60+1) = max(3,1,1) = **3**
x41=max pro 5,6 (x50+1, x60+1) = max (1,1) = **1**
x51 = x01+1 = **1**
x61 = x01+1 = **1**

krok 2 (q=2)
vyšetříme v pořadí 6,5,…0
x62=x01+1=1
x52= x01+1=1
x42 = max pro 5,6 (x52+1, x62+1) = max(2,2)= 2
x32 = max pro 2,4,6 (x21+1, x42+1, x62+1) = max (3,3,2) =3
x22 = max pro 1,6 (x11+1, x62+1) = max (2,2) = 2
x12 = x01+1 = 1
x02 = 0

po třetím kroku zjistíme, že nedošlo k záměně žádné hodnoty xj2, proto
xj=xj3=xj2 pro j= 0,1, ..6

přečíslujeme

řád	uzly	Přečíslování
0	P0	P0
1	P1	P1
	P5	P2
	P6	P3
2	P4	P4
	P2	P5
3	P3	P6

Postup při metodě CPM - propočet časové náročnosti projektu i jeho dílčích činností

ad b – propočet časové náročnosti
první fáze CPM předpokládá, že máme ohodnocení jednotlivých činností (doba trvání činnosti)
určení tzv. očekávané doby trvání činnosti

Pro činnosti stanovené hranou PiPj známe :
optimistický odhad trvání činnosti **- aij**
pesimistický odhad trvání činnosti – **bij**
pak – očekávaná doba trvání činnosti – **tij** – určujeme : **tij= (3*aij+2*bij)/5**
máme – li nejpravděpodobnější dobu trvání činnost – **mij**
pak – tij = (aij+4*mij+bij)/6

pro celý projekt je nutné určit :

- **termín nejdříve možného zahájení projektu**
- **termín nejdříve možného ukončení projektu**
- **termín nejdříve možného zahájení dílčích činností**
- **termín nejdříve možného konce dílčích činností**
- **termín nejpozději přípustného zahájení projektu**
- **termín nejpozději přípustného ukončení projektu**
- **termín nejpozději přípustného zahájení dílčích činností**
- **termín nejpozději přípustného ukončení dílčích činností**
- **termín nejdříve možného zahájení a ukončení projektu a dílčích činností**

Nejdříve možné

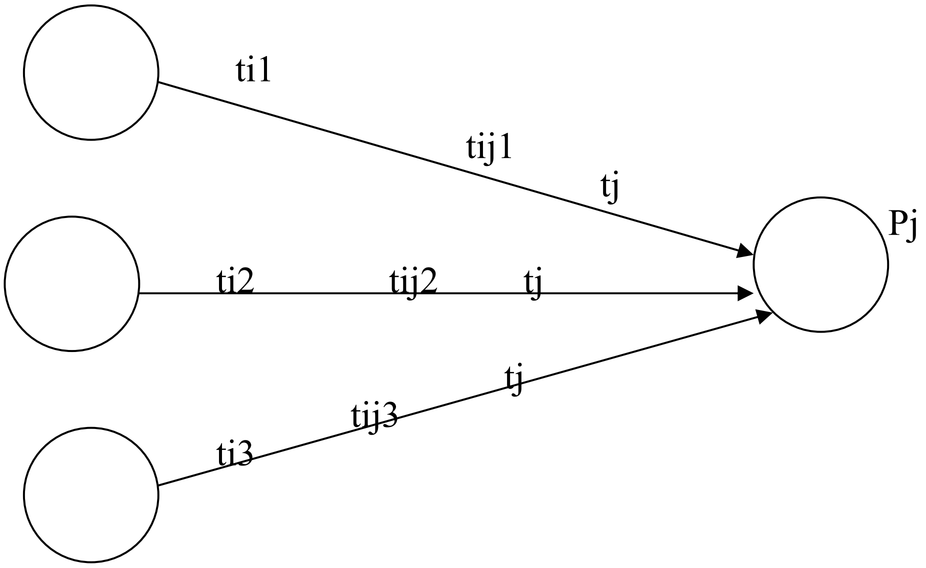
činnost znázorněná hranou PiPj může být zahájena až v okamžiku, kdy v síti nastane jev znázorněný jako uzel Pi
dobu, t_{iu} kdy může nejdříve nastat jev Pi nazveme **termín nejdříve možné aktivace uzlu Pi**
Pro počáteční uzel stanovíme $t_{iu} = 0$
jev znázorněný uzlem Pi může nejdříve nastat až po ukončení všech cest, které vedou **z počátečního uzlu do uzlu Pi**
termín nejdříve možné aktivace uzlu je daný nejdelší z těchto cest
nejdříve možný začátek činností znázorněných hranami vystupujícími z uzlu Pi označíme ti a platí

$$t_i = t_{iu}$$

nejdříve možný konec činností znázorněné hranou PiPj značíme tj a platí

$$tj = ti + tij$$

termín nejdříve možné aktivace uzlu je dán maximem z nejdříve možných konců činností znázorněných hranami vstupujícími do Pj



Obrázek 8-9: nejdříve možné časy

Termín nejdříve možné aktivace koncového uzlu = termín dokončení projektu.

Termín nejdřive možného dokončení projektu = nejdelší cesta v grafu.

Je li termín dokončení větší, než požadovaný, je nutné přehodnotit podmínky potřebné pro tvorbu síťového grafu.

Obdobně:

termín nejpozději přípustného zahájení a ukončení projektu a dílčích činností

Nejpozději přípustné

činnost znázorněná hranou PiPj musí nejpozději skončit v okamžiku, kdy nastane v síti jev znázorněný uzlem Pj

- Tju – **nejpozději přípustná aktivace uzlu**

nejpozději přípustný konec činností znázorněných hranami vstupujícími do uzlu Pj = **Tj**

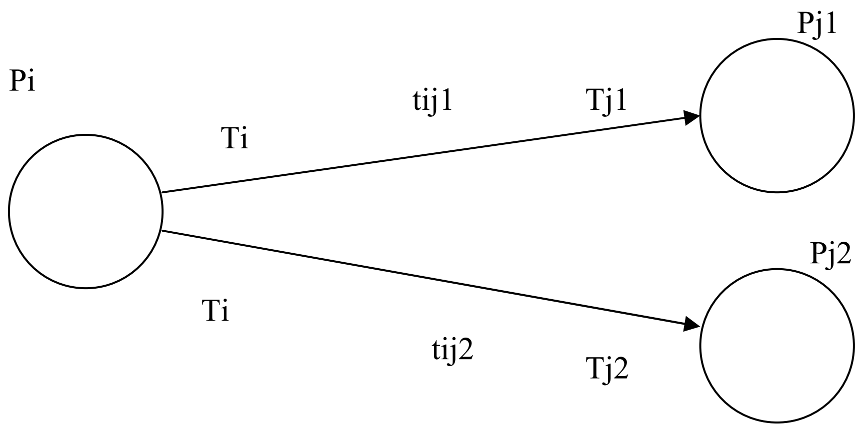
platí Tju = Tj

nejpozději přípustný začátek činnosti znázorněné PiPj **= Ti=Tj-tij**

pro koncový uzel položíme Tiu=ti

pro ostatní uzly : Tiu = min Ti

(termín nejpozději přístupné aktivace uzlu je dán minimálním z nejpozději přípustných začátků činností znázorněných hranami vystupujícími z uzlu Pi.)



Obrázek 8-10: nejpozději přípustné termíny

Postup při metodě CPM - určení časových rezerv

Ad c – časové rezervy činností

Čas, který je maximálně k dispozici pro uskutečnění činnosti znázorněné hranou PiPj - **maximální přípustný čas (disponibilní doba pro provedení činnosti)**

Je dán rozdílem nejpozději přípustného ukončení činnosti a nejdříve možného začátku činnosti

Tj-ti

Časová rezerva –

Je-li maximálně přípustný čas pro provedení činnosti větší než doba jejího trvání, pak existuje časová rezerva

Tj-ti > tij

Typy časových rezerv :

- **celková Rc** – udává počet časových jednotek, o které můžeme prodloužit dobu trvání činnosti, případně posunout termín nejdříve možného začátku

Rc=Tj-tj = Tju-tj

Časové rezervy

(rozdíl nejpozději přípustného a nejdříve možného konce činnosti)

- Volná Rv – vzniká pouze v případě, že do uzlu Pj vstupuje více než 1 hrana. Udává počet časových jednotek, o které je možno prodloužit dobu trvání činnosti, případně posunout termín jejího nejdříve možného začátku při dodržení nejdříve možných termínů následujících činností.

Rv=tju-tj

(rozdíl nejdříve možné aktivace uzlu Pj a nejdříve možného ukončení činnosti)

- **Nezávislá Rn** – vyjadřuje počet časových jednotek, o které je možno prodloužit dobu trvání činnosti, případně posunout termín jejího nejdříve možného začátku při dodržení všech ostatních termínů projektu

Rn = max {0;tju-Tiu-tij}

(rozdíl termínu nejdříve možné aktivizace uzlu Pj a doby trvání činnosti)

Na uzlu Pj může vzniknout Rjk – *kritická časová rezerva*

Čím menší je Rjk, tím větší je pravděpodobnost, že se v průběhu realizace dostane uzel Pj na kritickou cestu.

Kritická časová rezerva uzlu vyjadřuje časový úsek, ve kterém očekáváme, že nastane jev v síti znázorněný jako uzel Pj. (musí skončit všechny činnosti znázorněné hranami vstupujícími do uzlu)

Kritická časová rezerva

Kritická časová rezerva je dána rozdílem termínů aktivizace uzlu:

Rjk=Tju-tju

Ad d) **Kritická cesta a její analýza**

Postup při metodě CPM - nalezení kritické cesty a její analýza

Pokud **maximálně přípustný čas** pro provedení činnosti **je právě roven době jejího trvání**, pak celková rezerva a tím i ostatní **časové rezervy** na činnosti **nevznikají**

Takovou činnost nazýváme

kritická činnost

posloupnost kritických činností tvoří

kritickou cestu

kritická činnost mezi uzly Pi a Pj :

Tj-ti=tij
Tj-(ti+tij)=0
tij=ti
Tj-tj=0
Ti=tj
Tj=tj
Kritická činnost má termín nejdříve možného začátku roven termínu nejpozději přípustného začátku
Termín nejdříve možného konce je roven termínu nejpozději přípustného konce

K ZAPAMATOVÁNÍ 19

Kritická cesta je nejdelší ze všech možných cest v grafu od počátečního po koncový uzel. Realizace činností ležících na kritické cestě limituje dokončení projektu.

Analýza kritické cesty :
- vyloučíme na kritické cestě činnosti, které nejsou nezbytně nutné
- činnosti plánované za sebou se snažíme plánovat vedle sebe
- kde je možné, tam převedeme zdroje z nekritických na kritické činnosti
- požádáme o dodatečné zdroje pro zkrácení kritických činností

tři způsoby analýzy :

a) časová – včetně subkritických cest a činností

b) zdrojová – máme omezené zdroje
   - optimalizace rozvrhu zdrojů vzhledem k času, (rozdělení zdrojů tak, aby doba provedení projektu byla minimální)
   - optimální vyrovnání nároků na zdroj při zadaném termínu (rozdělení zdrojů tak, aby čerpání bylo rovnoměrné a minimální při dodržení konce projektu)

   řešení – heuristické algoritmy na práci s lineárním diagramem projektu

c) nákladová – umožňuje řešit otázku optimálního průběhu projektu z hlediska minimalizace nákladů
   - minimalizace nákladů při konstantní době trvání projektu (za cenu prodloužení určitých činností, při dodržení celkové doby projektu)
   - minimalizace termínu dokončení (doba nutná na provedení projektu co nejmenší)

časová náročnost projektu

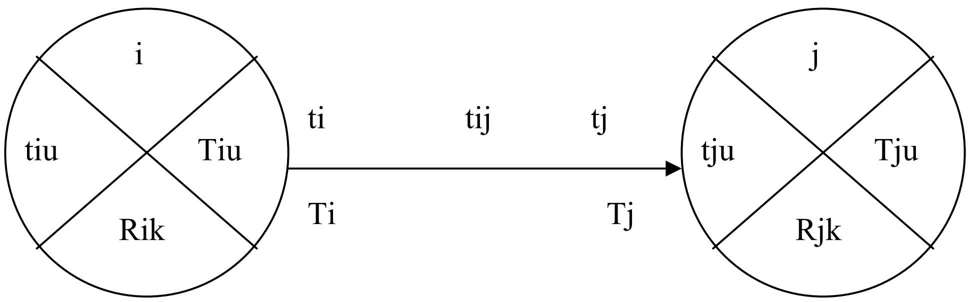
Pro výpočet časové náročnosti známe několik metod:

- ruční výpočet
- výpočet pomocí incidenční matice
- výpočet v tabulce
- lineární diagram

Vzhledem k zaměření učebního textu si objasníme pouze ruční výpočet, který vede k nejsnazšímu pochopení principu řešení.

Ruční výpočet - vhodný pro méně rozsáhlé sítě

Zavedeme následující popis hran a uzlů :



Obrázek 8-11: zápis časových údajů do uzlů grafu

i,j jsou indexy uzlů, tij je doba trvání činnosti dané hranou

Každý uzel grafu si graficky rozdělíme na 4 kvadranty a do těchto pak doplňujeme příslušné další hodnoty

SAMOSTATNÝ ÚKOL 1

pomocí metody CPM zjistěte časovou náročnost opravy pece.

Návaznost činností máte uvedenu v následující tabulce.

Označení činnosti	Název činnosti	Následující činnost	Doba trvání činnosti
A	Stanovení termínu opravy pece	B	9 měsíců
B	Objednání vyzdívkových materiálů	C	2 měsíce
C	Doprava materiálu	D	5 dní
D	Příprava mater. (řezání cihel)	E	105 hodin
E	Bourání klenby	F	95 hodin
F	Chlazení pece	G, I, J1, H	25 hodin
G	Bourání čelní stěny	K	25 hodin
H	Bourání boční stěny, spodní části	L1	120 hodin
I	Bourání boční stěny, horní části	N	65 hodin
J1	Bourání půdy-Mg	P, J2, L1, N	380 hodin
J2	Bourání půdy – Sh	O	110 hodin
K	Zdění čelní stěny	R, V	100 hodin
L1	Zdění boční stěny	L2, M	470 hodin
L2	Dozdívka boční stěny	R, V	70 hodin
M	Příprava bednění pro zdění klenby	R, V	30 hodin
N	Zdění boční stěny	R, V	340 hodin
O	Zdění půdy Sh	R, V	140 hod
P	Zdění půdy Mg	R, V	370 hodin
R	Zdění klenby	S	290 hodin
S	Vysoušení pece	T	30 hodin
T	Zalití klenby maltou	U	10 hodin
U	Zasypání půdy Mg izolací	-	30 hodin
V	Čištění rekuperátoru	X, Y	160 hodin
X	Zdění rekuperátoru	-	30 hodin
Y	Zdění kouřovodu	-	20 hodin

V tomto příkladě si naznačíme postup,

vlastní výpočet provedete sami

Řešení příkladu

a) **analýza**

činnosti A, B, C, D jsou přípravné, při vlastní aplikaci CPM je nebudeme uvažovat

b) **sestavíme síťový graf**

- pro sestavení použijeme hrano-hranovou matici (zabezpečíme při sestavování, že každá hrana PiPj bude mít i<j)
- (můžeme použít i jiné metody (proškrtávání hran, Fordův algoritmus), ale musíme zabezpečit podmínku PiPj – i<j)

Řešení příkladu

- **postup** :
  - sestavíme precedenční matici
  - provedeme součty ve sloupcích
  - činnosti, kde součet je rovný 0 (nultého řádu) vyškrtneme z řádků matice
  - opakujeme součty pro první a další řády
  - pokud jsou všude nuly končíme

(bystřejší postřehnou, že se v podstatě jedná o metodu přeškrtávání hran aplikovanou přímo v precedenční matici)

[Řešení příkladu]

	E	F	G	H	I	J1	J2	K	L1	L2	M	N	O	P	R	S	T	U	V	X	Y
E		1																			
F			1	1	1	1															
G								1													
H									1												
I												1									
J1							1		1			1		1							
J2													1								
K															1				1		
L1										1	1										
L2															1				1		
M															1				1		
A															1				1		
O															1				1		
P															1				1		
R																1					
S																	1				
T																		1			
U																					
V																				1	1
X																					
Y																					
0. řád	0	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	6	1	1	1	6	1	1
1. řád		0	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	6	1	1	1	6	1	1
2. řád			0	0	0	0	1	1	2	1	1	2	1	1	6	1	1	1	6	1	1
3. řád							0	0	0	1	1	0	1	0	6	1	1	1	6	1	1
4. řád										0	0		0		3	1	1	1	3	1	1
5. řád															0	1	1	1	0	1	1
6. řád																0	1	1		0	0
7. řád																	0	1			
8. řád																		0			

Pomocí hrano-hranové matice jsme určili tyto řády činností :

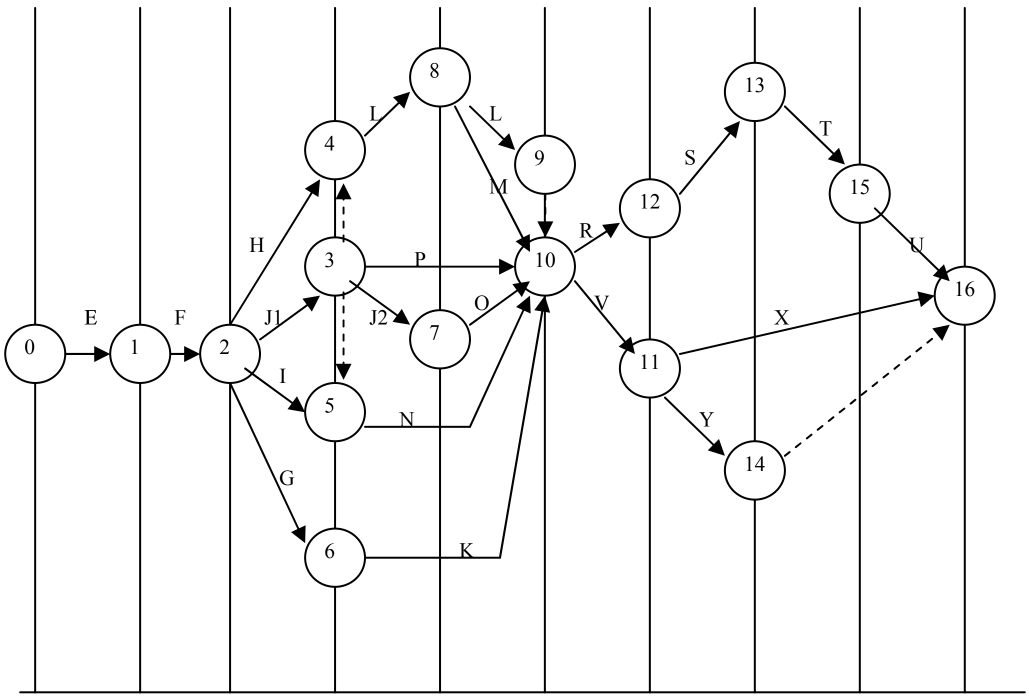
Řešení příkladu

Číslo řádu	Označení činnosti
0	E
1	F
2	G, H, I, J1
3	J2, K, L1, N, P
4	L2, M, O
5	R, V
6	S, X, Y
7	T
8	U

Řešení příkladu

c) postupem shodným s metodou přeškrtávání hran očíslujeme vrcholy, činnosti přidělíme za pomocí původní tabulky činností

řád 0 1 2 3 4 5 6 7 8



Obrázek 8-12: graf po přečíslování

KORESPONDENČNÍ ÚKOL 7

V dalším výpočtu pokračujte sami.

Postupně projděte graf od počátečního ke konečnému uzlu. Stanovte nejdříve možné začátky a konce činností .

Hodnota t_{nu} (nejdříve možný začátek koncového uzlu) je rovná konci projektu.

Pokračujte od koncového k počátečnímu uzlu, stanovte nejpozději přípustné začátky a konce činností .

Vypočítejte časové rezervy. Kritická cesta prochází uzly pro které je Rjk=0

PRŮVODCE STUDIEM 14

V této kapitole jste se naučili na konkrétních vybraných metodách prakticky analyzovat systémy. Ukázali jsme si možné způsoby využití získaných vědomostí

Průchod modulem

SHRNUTÍ KAPITOLY SÍŤOVÁ ANALÝZA

I když jsme metodu síťové analýzy probrali pouze okrajově, tvoří nedílnou součást při analýzách systémů. Uplatnění nachází zejména v oblasti řízení časových projektů. Proto je často nástrojem managementu firem.

Shrnutí

9 STATICKÉ SYSTÉMY

RYCHLÝ NÁHLED DO PROBLEMATIKY KAPITOLY STATICKÉ SYSTÉMY

Rychlý náhled

Jak bylo uvedeno v dřívějším textu, dělení systémů na statické a dynamické je jedním z ze základních principů klasifikace systémů. Jeho specifičnost spočívá v tom, že u každého systému můžeme rozhodnout, zda je nebo není na čase závislý, respektive zda chceme provádět analýzu chování nebo struktury. Proto je v tomto učebním textu věnovaný širší prostor statickým i dynamickým systémům.

Rozmanitost systémových věd vedla k vytvoření samostatných disciplín pro analýzu statických a dynamických systémů. Je to například matematické programování, lineární programování, operační analýza apod. Abychom nesuplovali jiné vědní disciplíny, nastíníme v této kapitole matematický aparát ale nebudeme řešit konkrétní matematické příklady. Spíše se zaměříme na analýzu těchto systémů. Jak bylo řečeno, u statických systémů analyzujeme převážně strukturu, proto si ukážeme metody práce se strukturou, které nám umožní analyzovat statické chování a vlastnosti systémů.

CÍLE KAPITOLY STATICKÉ SYSTÉMY

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

Budete umět

- Popsat systém matematickými prostředky
- Analyzovat a modelovat statické systémy
- Zjistit dosažitelnost objektů v systémech
- Analyzovat následnosti prvků systémů
- Zachytit strukturu systému

Získáte:

Získáte

- Znalosti o základních matematických metodách a postupech
- Znalosti o metodách pro práci se strukturou systémů

Budete schopni:

- **Řešit úlohy týkající se struktury systémů**
- **Matematickým aparátem zachytit vybrané ekonomické jevy (pohyb zboží, oběh prostředků, stavy zásob, výrobní proces apod.**

Budete schopni

ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

Celkový doporučený čas k prostudování KAPITOLY je **3 hodiny**, jedna hodina je doporučena samostatným úkolům

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY STATICKÉ SYSTÉMY

Statický systém, relace, precedence, sukcedence, incidence, Leontiefské ekonomické modely

Klíčová slova

9.1 Statický systém

Statický systém

Studujeme-li reálné systémové jevy, nemůžeme zpravidla od sebe navzájem zcela oddělit jejich statickou stránku od dynamické. Mezi oběma stránkami existuje často úzké spojení. Teorie systému začala však rozvíjet odděleně systémovou statiku a systémovou dynamiku. Statika, se zaměřuje zejména na metody analýzy časově invariantních vztahů a struktur i na problémy statické optimality. Dynamika se zabývá metodami analýzy chování reálných a koncepčních systémů. Rozdělení teorie systémů na statiku a dynamiku je účelné hlavně z metodologického hlediska.

Vymezení pojmu statický systém vychází z Mesarovičovy matematické definice obecného systému. Obecný abstraktní statický systém pak můžeme vymezit následujícím způsobem:

Obecný statický systém je relace R definovaná na kartézském součinu

$X=X_1 \times X_2 \times \ldots \times X_n$

statických formálních objektů X_i.

Termínem statický formální objekt zde označujeme formální objekty (např. množiny), jejichž prvky nejsou časové proměnné ani funkce času.

Obecným statickým systémem je např. obecná soustava m rovnic o n neznámých

$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots\ldots + a_{1n}x_n = b_1$

$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots\ldots + a_{2n}x_n = b_2$

$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$

$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots\ldots + a_{mn}x_n = b_m$

kde a_{ij}, b_i, jsou libovolná reálná čísla a x_j jsou neznámé proměnné. Hodnoty těchto neznámých proměnných jsou zde hodnotami statických formálních objektů X_i.

Definovaný statický systém má určité **vlastnosti.** Závažnými vlastnostmi tohoto systému jsou **konzistence, homogenita** (resp. nehomogenita) nebo **určitost** soustavy, které vyšetřuje lineární algebra při jejich řešení.

Jestliže je počet nezávislých rovnic soustavy roven počtu neznámých (tj. je-li $m = n$) a je-li soustava konzistentní a nezávislá, pak je řešitelná např. pomocí Cramerova pravidla. Obsahuje-li tato soustava více neznámých x_i než rovnic, tj. je-li $n > m$; pak obecným řešením dané soustavy je celá množina vektorů (x_1, x_2, ... x_n), která je vlastní podmnožinou množiny $\boldsymbol{X} = \boldsymbol{R}^n$ všech n-tic reálných čísel. Tuto podmnožinu pak můžeme chápat jako n-ární relaci R definovanou v n-rozměrném euklidovském prostoru $\boldsymbol{E_n}$.

Obecnějším typem statického systému je soustava lineárních nerovností typu

$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots\ldots + a_{1n}x_n + b_1 =<> 0$

$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots\ldots + a_{2n}x_n + b_2 = <> 0$

$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$

$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots\ldots + a_{mn}x_n + b_m =<> 0$

kde symbol =<> zastupuje libovolný ze znaků >, <, ≤, ≥.

Je-li daná soustava konzistentní, pak všechna řešení této soustavy vytvářejí konvexní množinu, která je rovněž podmnožinou prostoru $\boldsymbol{E}_n$. Je-li daná soustava nerovností nekonzistentní, pak obor řešení je prázdný (neobsahuje žádný prvek). Jde o degenerovaný případ statického systému.

Ještě obecnějším typem statického systému je obecná soustava rovnic a nerovností typu:

$f_1(x_1, x_2,..., x_n) =<> 0$,

$f_2(x_1, x_2,... , x_n) =<> 0$,

....

$f_m(x_1, x_2,... , x_n) =<> 0$

Leontiefské ekonomické modely:

Leontiefské ekonomické modely

Typickým ekonomickým příkladem statických systémů jsou obecné ekonomické modely Leontiefského typu. Jde o modely, které se často používají v ekonomické strukturní analýze i v hospodářském plánování. Tyto modely popisují statické strukturní vztahy v ekonomických objektech, bývají jimi různé hospodářské soustavy, např. národní hospodářství, podniky, skupiny podniků, firmy apod. Prvky reálných systémů zavedených na těchto objektech se nazývají odvětví. Vazbami jsou toky komodit (zboží, výkonů a služeb) měřené zpravidla ve finančních jednotkách. Předpokládá se, že každé odvětví může spotřebovávat komodity své i komodity produkované ostatními odvětvími. Každé odvětví však může produkovat pouze jednu komoditu (všechny komodity je nutno ocenit ve finančních jednotkách a agregovat do jednoho agregátního toku komodit). Dále se předpokládá, že velikost spotřeby komodit z i-tého odvětví v j-tém odvětví je přímo úměrná produkci j-tého odvětví a že všechny konstanty a proměnné modelu jsou nezávislé na čase. Uvažujme zde pro ilustraci pouze nejjednodušší verzi Leontiefského modelu: model uzavřený a rovnovážný (vybilancovaný). V tomto modelu se předpokládá, že celá produkce, která se v daném období vyrobí, se v témže období také spotřebuje v jednotlivých odvětvích. Neuvažují se vztahy s okolím objektu, kterými jsou např. obchodní vztahy k zahraničí.

Tento model má v maticovém zápisu tvar:

$$\boldsymbol{X} = \boldsymbol{AX}$$

nebo po úpravě

$$[\boldsymbol{E}_n - \boldsymbol{A}]\, \boldsymbol{X} = \boldsymbol{0}$$

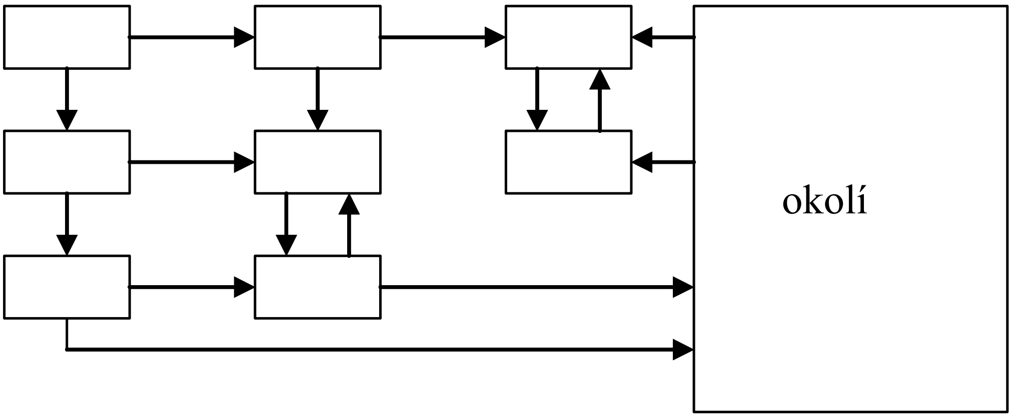
kde $\boldsymbol{X}$ je sloupcová matice typu $(n,1)$ jejíž prvky x_j udávají velikost produkce jednotlivých odvětví, $\boldsymbol{E}$, je jednotková matice typu (n, n) a $\boldsymbol{A} = [a_{ij}]$ je čtvercová matice typu (n, n). Prvky a_{ij} této matice se nazývají *technické koeficienty a* vyjadřují v podstatě normy spotřeby produktu i-tého odvětví v j-tém odvětví.

Modely struktur soustav programů

Modely struktur soustav programů

Při tvorbě soustav programů pro počítačové systémy používané v řízení technologických a ekonomických procesů se analyzuje statická struktura těchto soustav. Soustavy programů se člení na dílčí soustavy (subsystémy), prvky těchto subsystémů jsou pak jednotlivé programy (které je možno dále členit na bloky).

Analyzují se vzájemné vazby mezi programy, které jsou v čase neměnné. Jde o vazby mezi vstupy a výstupy těchto programů. Daný program může používat výstupů z řady jiných programů i informací z okolí. Výstupy získané z tohoto programu se mohou používat jalo vstupy do řady jiných programů. Strukturu soustavy programů lze graficky zobrazit pomocí blokového schématu.



Obrázek 9-1: Model struktur soustav programů

Jednotlivé bloky v tomto schématu zobrazují programy a šipky spojující bloky znázorňují vazby mezi nimi. Toto schéma můžeme dále matematicky zobrazit pomocí orientovaného grafu, ve kterém jsou bloky zobrazeny jako uzly grafu a spojnice mezi bloky jako orientované hrany grafu.

Bloková schémata i orientované grafy je možné považovat za statické systémy, které vyhovují naší definici statického systému, neboť orientovaný graf se někdy definuje jako mnohoznačné zobrazení množiny uzlů U do sebe a toto mnohoznačné zobrazení je binární relací definovanou na kartézském součinu ***U*** x ***U***.

Modely struktur automatizovaných systémů řízení

Modely struktur systémů

V analýze a v syntéze automatizovaných systémů řízení se často zobrazuje struktura jejich jednotlivých dílčích částí pomocí blokových schémat, orientovaných grafů nebo maticemi.

Základními *prvky*, systémů řízení bývají činnosti. *Činnost* je dílčí část systému řízení, která zahrnuje operace v řídicích útvarech určité organizační jednotky.

Činnosti se někdy ještě dále člení na operace, úkony a pokyny. Činností je například vypracování výrobních postupů, určité rozhodování, zpracování dat, příprava dat apod.

Vazbami mezi prvky systémů řízení bývají obvykle *informace v* podobě dokladů, výkresů, ústních sdělení apod. Při mapování struktury existujícího systému řízení nebo při analýze struktury koncepčního automatizovaného systému řízení se pro každou činnost vyplní formulář, ve kterém je uvedena její charakteristika (případně číslo) a dále informace o činnostech (resp. informacích), které dané činnosti předcházejí (resp. do ní vstupují). Údaje z těchto formulářů slouží pak jako vstupní údaje do modelů struktur. V blokových schématech se činnosti zobrazují pomocí bloků a podstatné vazby mezi nimi pomocí spojnic mezi bloky.

V orientovaných grafech se činnosti zobrazují jako uzly grafu a vazby mezi nimi jako orientované hrany grafu.

V maticových modelech struktur se struktura zobrazuje např. pomocí matice $\boldsymbol{A} = [a_{ij}]$ s binárními hodnotami prvků a_{ij}, které označují existenci či neexistenci informační vazby mezi činnostmi i a j (resp. mezi objekty).

Bloková schémata, orientované grafy i maticové modely struktur systémů řízení jsou určité konkrétní statické systémy, které (analogicky jako v předcházejícím případě) vyhovují definici statického systému.

9.2 Obecné modely struktur

Prutové soustavy, Leontiefské modely, modely struktur soustav modulů nebo modely struktur automatizovaných systémů řízení jsou příklady určitých konkrétních modelů struktur reálných systémů. Teorie systémů zavedla jednotný pohled na všechny tyto modely. Vymezila strukturu systému jako množinu (vazeb) vztahů mezi jeho prvky a zkonstruovala obecné abstraktní modely struktur. Jestliže P je množina všech prvků p_i daného systému, pak množina všech vazeb tohoto systému vytváří nějakou podmnožinu množiny všech uspořádaných dvojic prvků (p_i, p_j). Jde v podstatě o nějakou vlastní podmnožinu kartézského součinu $\boldsymbol{P}$ x $\boldsymbol{P}$ množin prvků, která může být definována pomocí binární relace R. Teoreticky lze statické modely struktur zapisovat pomocí n-árních relací typu $R(P \times P \times ... \times P)$ definovaných na kartézském součinu $P \times P \times ... \times P$ celkem n množin abstraktních objektů; kterými jsou zde identické množiny $\boldsymbol{P}$. Častěji se však obecné modely struktur zapisují jednodušeji a názorněji pomocí pojmů teorie grafů. Binární relace se zadávají obvykle jednoduchým orientovaným grafem. Představa struktury systému je v podstatě totožná s pojmem orientovaného grafu. Jednoduchý orientovaný graf je prakticky obecným modelem monostruktury. *Monostrukturou* nazýváme takovou strukturu systému, ve které může existovat mezi dvěma prvky v každém směru pouze jedna orientovaná vazba. Jestliže se ve struktuře systému může mezi dvěma prvky vyskytovat (v každém směru) více vazeb (různých typů), pak danou strukturu nazýváme *multistrukturou.* Vazby v multistrukturách se popisují pomocí multigrafů.

Obecné modely struktur

Pro účely modelování struktur se vyvíjejí různá maticová zobrazení grafů a různé (i nestandardní) maticové operace na grafech. Pomocí těchto prostředků se pak řeší různé typy statických úloh o struktuře systémů. Algebraický aparát, kterého se při řešení těchto úloh používá, se nazývá někdy systémovou algebrou. Systémová algebra usnadňuje řešení rozsáhlejších úloh pomocí prostředků výpočetní techniky. Při budování této algebry se vychází ze zobrazení struktury systému pomocí orientovaného grafu. Maticové modely struktur systémů nám poskytují rychle a efektivně řadu informací potřebných pro analýzu reálných a koncepčních systémů; Umožňují nám odhalit řadu vlastností struktur těchto systémů, které se vyšetřují v úlohách o struktuře systémů. Strukturu zobrazíme pomocí *maticí incidencí (vazeb)* .

PRŮVODCE STUDIEM 15

Analýza systémů popsaných pomocí maticového zápisu grafu umožňuje s výhodou řešit poměrně obsáhlý soubor úloh systémové analýzy.

1. Zjistit, zda je vrchol t dosažitelný z vrcholu r,

2. najít množinu všech vrcholů dosažitelných z vrcholu r,
3. najít (jakoukoli) cestu z vrcholu r do vrcholu t, resp. zjistit existenci takovéto cesty,
4. najít cesty z vrcholu r do všech vrcholů, resp. zjištění existence těchto cest,

Předchůdci- následníci

(precedenční a sekvenční analýza)

Předchůdci:= prvky, ležící na cestách, vedoucích **do** daného prvku.

Následníci:= prvky, ležící na cestách vedoucích **z** daného prvku.

Pokolení:=jednotková délka cesty *(v počtu po sobě jdoucích hran),* která spojuje referenční prvek s předchůdcem, resp. následníkem, o nějž se jedná.

Předchůdci a následníci

K ZAPAMATOVÁNÍ 20

Analýza se provádí proto, aby se zjistilo, co určitá **událost** nebo určitý **proces** v systému způsobí.

Příklady využití:

- zkoumání šíření poruchy
- ověřování důsledků regularizace
- zjištění hraničních toků v síti
- indexovaní a vyhledávací systémy
- zabezpečení integrity dat při jejich poškození atd.

Hledání předchůdců vede někdy do blízkého okolí systému → *hledání aktivačních zdrojů.*

Podobně u následovníků → *hledání aktivovaných výstupů a impaktů na okolí.*

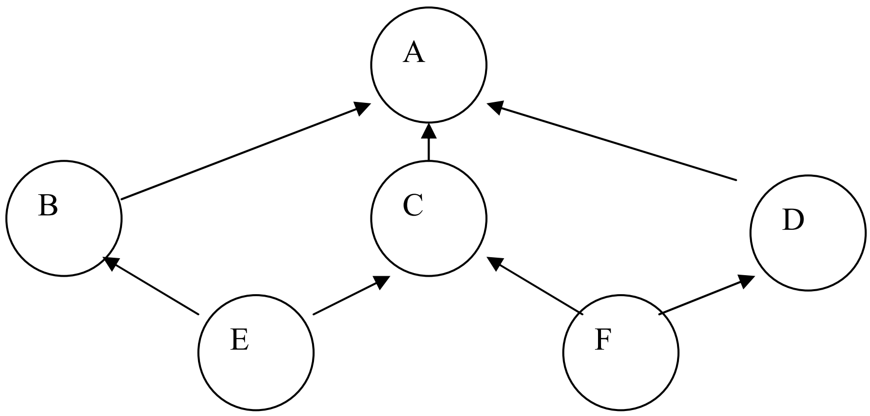
K ZAPAMATOVÁNÍ 21

V procesu systémové analýzy se setkáváme s problémem ztráty konzistence dat popisujících daný systém. Vycházíme z klasické definice systému: S={P,R}, což je účelově definovaná množina prvků P={p_i}, kde i je z I (I je množina indexů) a množina vazeb R={$r_{i,j}$}, (i,j) je z I) mezi těmito prvky p_i, p_j, která má jako celek určité vlastnosti. Pojem vazba můžeme interpretovat jako pojem relace.

V takto definovaném systému máme jednoznačně definovány následnosti (ať časové nebo vazební), a jsme schopni takovýto systém snadno popsat pomocí matic, které vycházejí z principu precedence (předcházení), sukcedence (následnosti) resp. incidence (vazby) mezi jednotlivými prvky systému. V českém jazyce se setkáváme spíše s pojmem matice sousednosti.

Popis systému :	popis objektů a relací mezi nimi
Diagram:	popis systému (kroužky, křížky, šipky)
Graf:	grafický popis systému
Orientovaný graf:	jednosměrné relace, šipky
Vrcholy grafu:	body, kroužky
Hrany grafu:	úsečky, šipky
Precedence:	orientovaná relace (relace precedence)
Předchůdci (precedenti):	prvek nebo podsystém který souvisí s jinými pomocí relace precedence
Následníci (sukcedenti):	je-li A precedentem B, pak B je sukcedentem A

Příklad : stavba domu, vrcholy označují termíny zahájení dílčích akcí reprezentovanými hranami.



Obrázek 9-2: graf systému

Bezprostřední precedenti: přímá relace
(bezprostřední precedenti k prvku M jsou precedenti, mající s tímto prvkem přímou relaci)
Pro snazší přehlednost zapisujeme precedenci následovně:
P(A) = B,C,D
Uvedený zápis znamená, že precedenty prvku A jsou prvky B,C,D

Graf : ***Y* ==> *P*** (***Y***) = seznam seznamů precedentů.
(Graf můžeme zapsat jako seznam precedencí, tj. seznam seznamů jednotlivých precedentů pro všechny prvky v grafu. V tomto příkladě popisujeme precedenci vrcholů grafu.)

P (A) = B,C,D
P (B) = E
==> ***P*** (***Y***) = ***P*** (C) = E,F
P (D) = F
P (E) = ***P*** (F) = ø

Jiná forma zápisu:

P (***Y***) : A (B,C,D) B (E) C (E,F) D (F) E (ø) F (ø)

Precedent precedentu : *precedent druhého řádu* (druhý precedent)
Obdobně můžeme definovat bezprostřední precedenci k druhým precedentům, třetím precedentům… atd.

n-tý precedent

je precedentem n-1 precedenta
označme relaci B ∈ P (A) následovně: B<<A
Pokud platí : C<<B a B<<A, potom C<A (C je precedentem A)
Kde

- << - relace precedence prvního řádu
- < - relace precedence libovolného řádu

DEFINICE 9-1

Maticí precedentů **P** nazveme matici, jejíž prvky $\mathbf{p}^{ij}$ mají hodnotu 1 v případě, že řádkový objekt je předchůdcem sloupcového objektu. Prvek $\mathbf{p}^{ij}$ je prvek matice v příslušném řádku a sloupci. Řádkový (resp. sloupcový) objekt je prvek nebo relace v systému. Podle toho, zda se jedná o prvek systému nebo relaci, definujeme tento objekt jako 0 nebo 1 rozměrný.

Poznámka

0 nebo 1 rozměrné (nula nebo jedna rozměrné) definování prvků je zavedeno pouze pro lepší orientaci v označování jednotlivých precedenčních matic.
Jako 1 rozměrný prvek chápeme hranu (má svůj rozměr – kapacitní ohodnocení, časové ohodnocení, … atd.)
Jako 0 rozměrný prvek chápeme uzel (nemá rozměr, označuje pouze začátek nebo konec jevu reprezentovaného hranou)

Následně pak můžeme definovat matice $\mathbf{P}^{01}$, $\mathbf{P}^{10}$, $\mathbf{P}^{00}$ a $\mathbf{P}^{11}$, podle toho, který objekt předchází kterému. (V literatuře je možno se setkat s pojmy „matice počátečních vrcholů, matice vstupních hran, matice sousednosti a matice hrano-hranová“. Nevylučuji ani jinou terminologii.)

DEFINICE 9-2

$\mathbf{P}^{01}$ označuje matici, jejíž řádkové indexy jsou tvořeny 0 rozměrnými prvky (uzly) a sloupcové indexy jsou tvořeny 1 rozměrnými prvky (hranami)
$\mathbf{P}^{10}$, označuje matici, jejíž řádkové indexy jsou tvořeny 1 rozměrnými prvky (hranami) a sloupcové indexy jsou tvořeny 0 rozměrnými prvky (uzly)
$\mathbf{P}^{00}$ označuje matici, jejíž řádkové i sloupcové indexy jsou tvořeny 0 rozměrnými prvky (uzly)
$\mathbf{P}^{11}$ označuje matici, jejíž řádkové i sloupcové indexy jsou tvořeny 1 rozměrnými prvky (hranami)

Jinými slovy:

Bude.li graf tvořen 6 vrcholy a 7 hranami a označíme-li prvky matice jako $\mathbf{p}^{ij}$, pak nám uvedené označení v podstatě říká, zda řádkové indexy i a sloupcové indexy j budou tvořeny 0 nebo 1 rozměrnými prvky.

$\mathbf{P}^{01}$ bude mít rozměr (6x7) tj. 6 řádků (protože 0 rozměrných prvků tj. uzlů je 6) a 7 sloupců (protože 1 rozměrných prvků, tj. hran je 7), $\mathbf{P}^{10}$ bude mít rozměr (7x6), $\mathbf{P}^{00}$ bude mít rozměr (6x6) a $\mathbf{P}^{11}$ bude mít rozměr (7x7)

K ZAPAMATOVÁNÍ 22

Matice $\mathbf{P}^{11}$ má speciální vlastnost, kterou nemá matice $\mathbf{P}^{00}$.

Vyskytuje-li se v $\mathbf{P}^{11}$ řádek, kde se nacházejí jedničky ve dvou různých sloupcích, potom tyto sloupce mají jedničky vždy ve stejných řádcích.

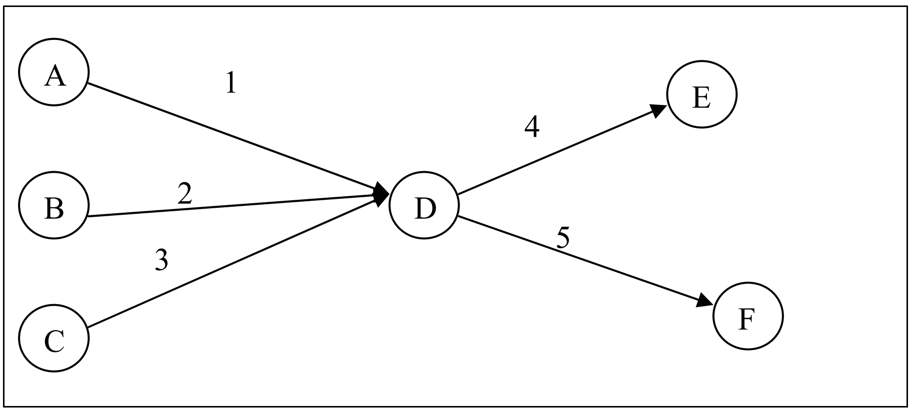
Tuto vlastnost můžeme využít pro analýzu systému s fiktivními hranami.

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD 9-1

Mějme systém popisující tok zboží.

Zboží z míst A, B a C má projít místem D a dále pokračovat následovně: všechno zboží z A poteče do místa E, zboží z míst B a C poteče do E i F.

Napište matici precedentů $\mathbf{P}^{11}$



Řešení příkladu

Precedenční matice by byla následující:

$\mathbf{P^{11}}$ =

	1	2	3	4	5
1				1	1
2				1	1
3				1	1
4					
5					

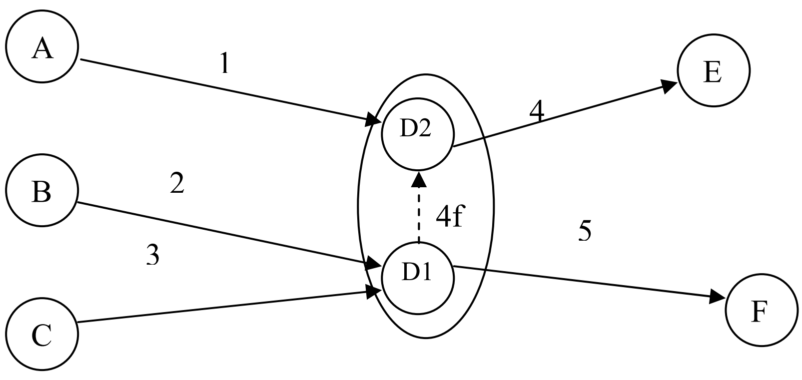
Víme-li však, že tok z místa A nejde do místa F, musíme upravit matici precedentů následovně:

$\mathbf{P^{11}}$ =

	1	2	3	4	5
1				1	
2				1	1
3				1	1
4					
5					

Tato matice však nesplňuje dříve zmíněnou podmínku danou pro matice $\mathbf{P^{11}}$.

Abychom uvedli do souladu systém a precedence, musíme zavést do systému fiktivní hrany tak, aby matice $\mathbf{P^{11}}$ byla validní.



Vrchol D jsme rozdělili na D1 a D2. Mezi těmito vrcholy zavedeme fiktivní hranu 4f, jejíž orientace znemožní aby se zboží z vrcholu A dostalo do vrcholu F.

P^{11} =

	1	2	3	4f	4	5
1					1	
2				1		1
3				1		1
4f					1	
4						
5						

Výsledná tabulka precedence hran

DEFINICE 9-3

Matice E^{10}

Incidenční matici $\mathbf{E}^{10}$ definujeme jako matici, která má pro každou relaci jeden řádek a pro každý prvek jeden sloupec.

Prvky $e_{ij} \in \mathbf{E}^{10}$ jsou definovány následovně :

- „-1“- předchází-li i-rozměrný prvek j-rozměrnému prvku,
- „1“ v opačném případě a
- „0“ ve všech ostatních případech.

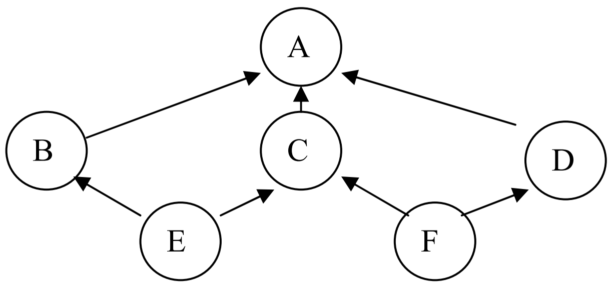
Tato matice je charakteristická tím, že má v každém řádku právě jeden prvek s hodnotou „1“ a právě jeden s hodnotou „-1“. (Upozornění! V literatuře bývá často incidenční matice zaměňována s maticí $\mathbf{P}^{00}$, resp. obecně s maticí $\mathbf{P}$!)

DEFINICE 9-4

Výběrovým vektorem **s** nazveme vektor, jehož rozměr je dán vybíranými objekty (vybírá-li z relací /resp. prvků systému/, pak má tolik prvků, kolik je relací v systému /resp. prvků v systému/.) a hodnoty prvků vektoru jsou rovny „1“ v případě, že je daný objekt systému (relace, prvek systému) vybrán.

Příklad : výběrový vektor, kterým vybereme skupinu prvků BCF bude mít rozměr 6 (existuje 6 vrcholů).

	s
A	
B	1
C	1
D	
E	
F	1



K ZAPAMATOVÁNÍ 23

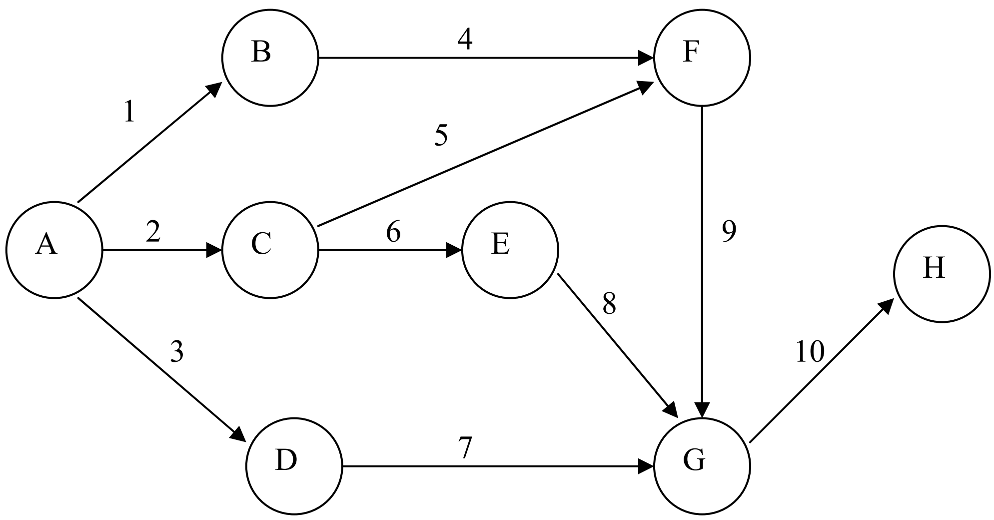
Obdobně jako můžeme u předcházení objektů definovat matice precedentů, můžeme definovat pro následnost jevů matice sukcedenční.

Maticí sukcedentů **P** nazveme matici, jejíž prvky $\mathbf{p}^{ij}$ mají hodnotu 1 v případě, že řádkový objekt je následníkem sloupcového objektu. Prvek $\mathbf{p}^{ij}$ je prvek matice v příslušném řádku a sloupci. Řádkový (resp. sloupcový) objekt je prvek nebo relace v systému. Podle toho, zda se jedná o prvek systému nebo relaci, definujeme tento objekt jako 0 nebo 1 rozměrný.

Dá se snadno dokázat, že sukcedenční matice je rovna transponované precedenční matici $\mathbf{P}^{\mathbf{T}}$.

Je-li v řádku precedenční matice hodnota „1“ v případě, že řádkový objekt je precedentem sloupcového objektu, pak je zřejmé, že sloupcový objekt je sukcedentem řádkového objektu. Provedeme-li tedy transpozici precedenční matice podle hlavní diagonály, dostaneme matici sukcedentů

Definujme jako příklad systém popsaný následovně pomocí prvků (vrcholů) a relací (hran).



popis systému pomocí síťového grafu

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD 9-2

Popište daný systém pomocí základních matic

Řešení příkladu

P^{00} =

	A	B	C	D	E	F	G	H
A		1	1	1				
B						1		
C					1	1		
D							1	
E							1	
F							1	
G								1
H								

P^{11} =

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1				1						
2					1	1				
3							1			
4									1	
5									1	
6								1		
7										1
8										1
9										1
10										

P^{10} =

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		1						
2			1					
3				1				
4						1		
5						1		
6					1			
7							1	
8							1	
9							1	
10								1

P^{01} =

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	1	1	1							
B				1						
C					1	1				
D							1			
E								1		
F									1	
G										1
H										

E^{10} =

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	-1						
2	1		-1					
3	1			-1				
4		1				-1		
5			1			-1		
6			1		-1			
7				1			-1	
8					1		-1	
9						1	-1	
10							1	-1

Operace definované nad popsanými maticemi

Nad maticemi můžeme definovat velmi snadno obecné operace, jejichž konkretizací dosáhneme různé výsledky. Obecně se dají popsat dvě základní operace – výběr a kompozice.

1. Výběrová operace – na základě hodnot prvků výběrového vektoru vybere pro další zpracování požadované části systému (tj. části matic).
2. Kompozice – na základě výběru provede kompozici vybraných částí v rámci stávajícího systému.

Mějme daný systém popsaný pomocí $\mathbf{P}^{00}$.

$\mathbf{P}^{00}$ =

	A	B	C	D	E	F	G	H
A		1	1	1				
B						1		
C					1	1		
D							1	
E							1	
F							1	
G								1
H								

Ad 1.) – operace výběru

Pomocí výběrového vektoru definujeme množinu objektů (součástí) v systému určených pro další práci. Výběrová operace potom vybírá na základě hodnot výběrového vektoru příslušné části daných matic.

Chceme-li například pracovat s množinou prvků systému **V**=E,F,G, pak dostaneme výběrový vektor s:

$\mathbf{s}^T$=

				1	1	1	

Výběrová operace potom vybere z matice $\mathbf{P}^{00}$ příslušné sloupce. (Poznámka: jedná-li se o matici precedentů, jsou v příslušném sloupci hodnoty rovny „1“ v případě, že objekt v daném řádku je precedentem. Je jasné, že danou operaci můžeme definovat pro různé typy matic.) Označme tuto operaci pro matici precedentů (vp). Výsledkem je množina vektorů.

Pro zjednodušení budu matici $\mathbf{P}^{00}$ označovat v tomto příkladě bez rozměru, tj. jako **P.**

Na příkladu je patrné, že výsledkem operace je výběr příslušných sloupců precedenční matice. Uvědomíme-li si skutečnost, že ve vybraných sloupcích (vektorech) jsou jedničky na místech precedentů, dostali jsme jako výsledek množinu precedentů k prvkům, které jsou vybrány výběrovým vektorem.

	A	B	C	D	E	F	G	H		s		E		F		G
A		1	1	1												
B						1								1		
C					1	1						1		1		
D							1		(vp)		=		,		,	1
E							1			1						1
F							1			1						1
G								1		1						
H																

Ad 2.) – operace kompozice

Operace kompozice stanovuje, jak dále budeme zpracovávat vybrané vektory.

V podstatě definujeme operaci (oper), pomocí níž dostaneme:

P (op) **s** = **s‘**

Operace (op) v sobě zahrnuje operaci (vp) a kompozici výsledných vektorů. Pohybujeme-li se v rovině booleovských matic, připadají v úvahu pro kompozici standardní booleovské operace. V případě ohodnocených systémů pracujeme s tzv. zobecněnými maticemi a k dispozici máme klasické matematické operace.

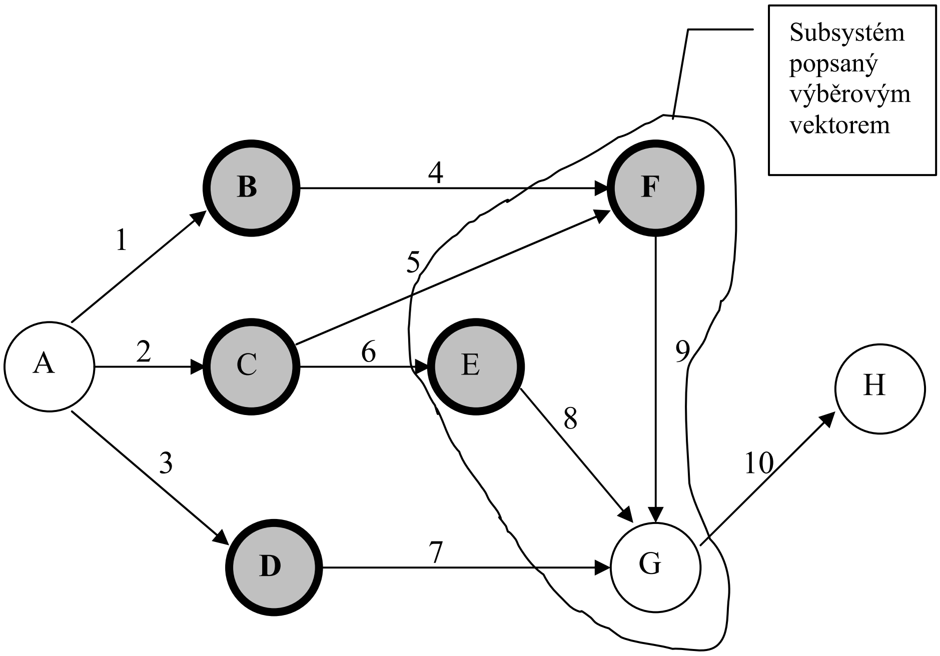
V našem příkladě si nadefinujeme operaci (oper) vycházející z booleovského sjednocení vektorů. Označme ji jako (∪).Výsledný vektor v našem příkladě bude sjednocením vybraných vektorů.

Nebude-li pochyb o typu operace budeme operaci (∪) nazývat násobení (logické násobení) matice vektorem a zapisovat následovně:

Ps=s’

	A	B	C	D	E	F	G	H		s		s‘
A		1	1	1								
B						1						1
C					1	1						1
D							1		(∪)		=	1
E							1			1		1
F							1			1		1
G								1		1		
H												

Vidíme, že v tomto případě vektor **s‘** určuje precedenty vybrané části systému definované prostřednictvím výběrového vektoru. Nebudeme-li brát v úvahu prvky, které jsou současně prvky výběru, můžeme pomocí námi definované operace zjistit precedenty libovolného subsystému.



Obrázek 9-3: precedence k části systému

K ZAPAMATOVÁNÍ 24

Operace výběru není inverzní ve vztahu precedent - sukcedent.

Platí-li pro libovolný výběrový vektor a matici precedentů, že

$$\mathbf{Ps}=\mathbf{s}'$$

pak touto operací vybereme precedenty části systému. Neplatí však, že sukcedenti tohoto výběru jsou původní výběrové prvky.

$$\mathbf{P}^T(\mathbf{Ps}) \neq \mathbf{s}$$

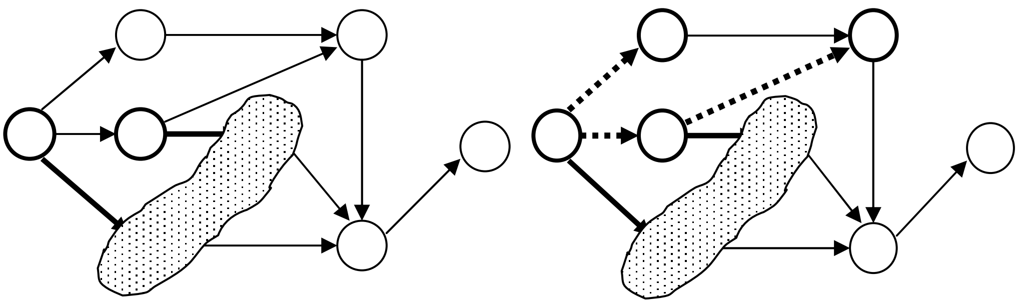
$$\mathbf{P}(\mathbf{P}^T\mathbf{s}) \neq \mathbf{s}$$

Bude-li v našem příkladě výběrový vektor například :

	A	B	C	D	E	F	G	H
$s^T=$				1		1		

pak precedenti k této skupině jsou A a C. Sukcedenti k prvkům A a C jsou ale B,C,D,E,F, což není totožné s původní množinou.

(pojmenování uzlů je totožné s úvodním příkladem)



Precedenti skupiny prvků sukcedenti precedentů

Obrázek 9-4: sukcedence k precedentům části systému

Tento princip se s výhodou využívá v indexovacích a vyhledávacích systémech.

K ZAPAMATOVÁNÍ 25

Vyjdeme-li z výše uvedených příkladů, pak je zřejmé, že:

- rozměr výběrového vektoru je shodný s počtem sloupců precedenční matice
- rozměr výsledného vektoru je shodný s počtem řádků výběrové matice
- výsledkem této operace je jeden vektor
- pokud bychom operaci prováděli s *n* výběrovými vektory, výsledkem bude *n* vektorů
- můžeme-li provádět danou operaci s *n* vektory, pak se dá tato operace definovat mezi maticemi, budeme-li chápat matici jako množinu vektorů.

Protože jednotlivé sloupce precedenční matice obsahují precedenty k objektu který je popsán tímto sloupcem, plyne z výše uvedeného, že pokud bude množina výběrových vektorů shodná s jednotlivými sloupci precedenční matice, budeme počítat precedenty jednotlivých precedentů, tj. druhé precedenty.

DEFINICE 9-5 Df

Na základě výše uvedeného se dá definovat

$$\mathbf{P}^2 = \mathbf{P}\ (\cup)\ \mathbf{P}$$

Ve většině literatury se v případě, že není pochyb o jakou operaci jde, používá zkrácený zápis.

$$\mathbf{P}^2 = \mathbf{PP}$$

Operaci budeme nazývat násobení matic.

Matice $\mathbf{P}^2$ vznikne složením jednotlivých vektorů, které jsou výsledkem postupné kompozice jednotlivých sloupců matice s s celou maticí.

Výsledná matice $\mathbf{P}^2$ má shodný rozměr s původní maticí **P**. Bude proto analogicky platit, že

$$\mathbf{P}^3 = \mathbf{P}^2\mathbf{P},\ \ \mathbf{P}^4 = \mathbf{P}^3\mathbf{P},\ \ \ldots,\ \ \mathbf{P}^n = \mathbf{P}^{n-1}\mathbf{P}$$

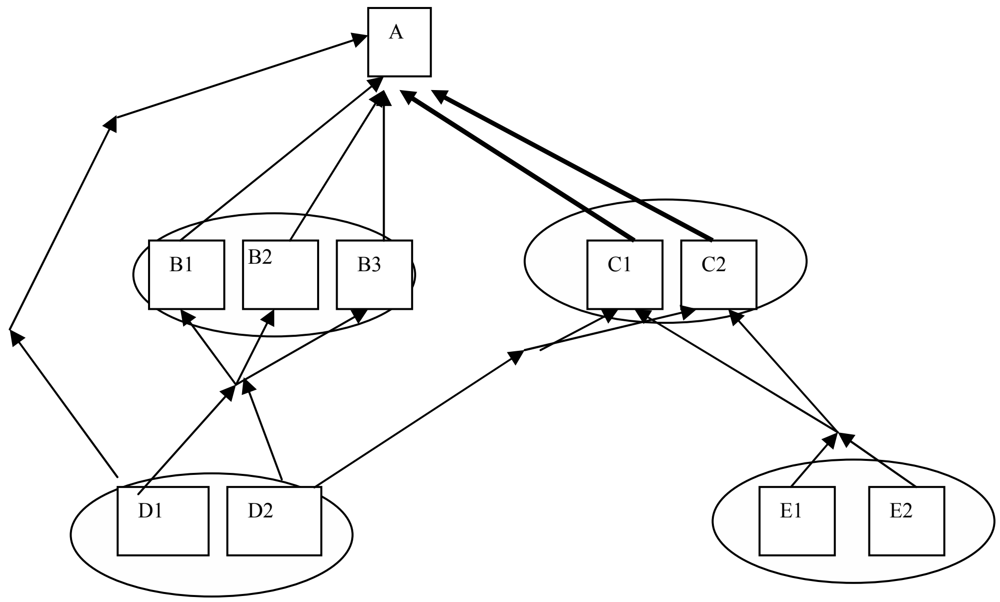
Dá se dokázat, že platí:

$$\mathbf{P}^n = \mathbf{P}^{n-1}\mathbf{P} = \mathbf{P}^{n-2}\mathbf{P}^2 = \mathbf{P}^{n-3}\mathbf{P}^3 \ldots = \mathbf{P}\,\mathbf{P}^{n-1}$$

Zevšeobecnění pojmu precedence

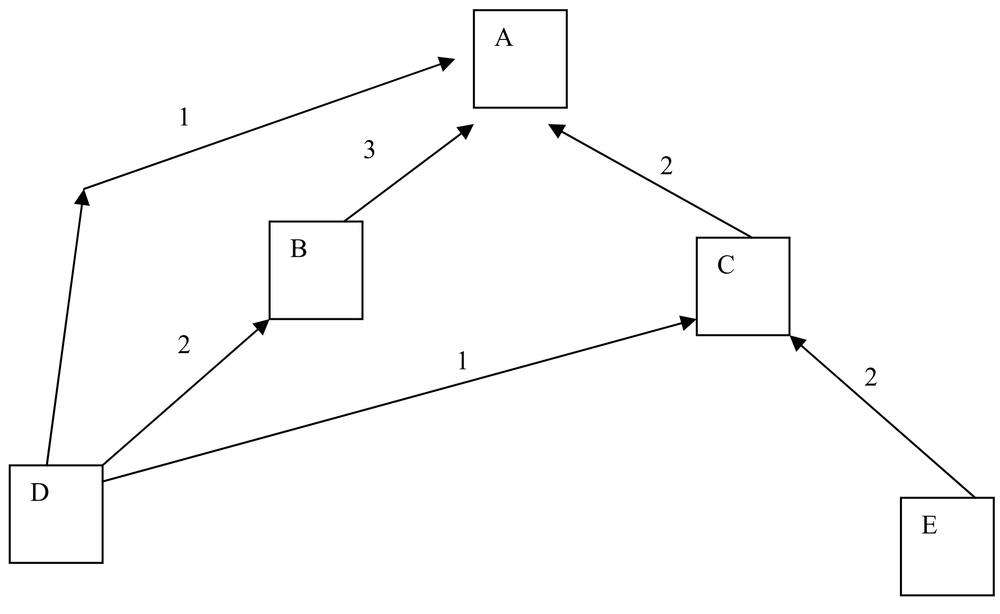
V předchozích textech jsme se více-méně zabývali neohodnocenými grafy. Hrany byly pouze číslovány, neměly přiřazené žádné ohodnocení. V praxi se však setkáváme spíše se systémy, v nichž je hrana nějakým způsobem ohodnocena. Zpravidla nese hrana informaci například o délce jevu vyjádřeného hranou nebo o kapacitě jakou může hrana přenést (například u grafu silniční sítě to může být délka vozovky mezi uzly ale i například maximální kapacita vozidel).

Na základě principu kompozice a dekompozice systémů se dá nalézt analogie mezi analýzou ohodnocených a neohodnocených grafů.



Obrázek 9-5: systém před kompozicí

Neohodnocený systém můžeme vhodnou úpravou převést na ohodnocený a naopak.



Obrázek 9-6: systém po kompozici

K ZAPAMATOVÁNÍ 26

Bude-li výběrový vektor obsahovat ohodnocení příslušných hran, potom

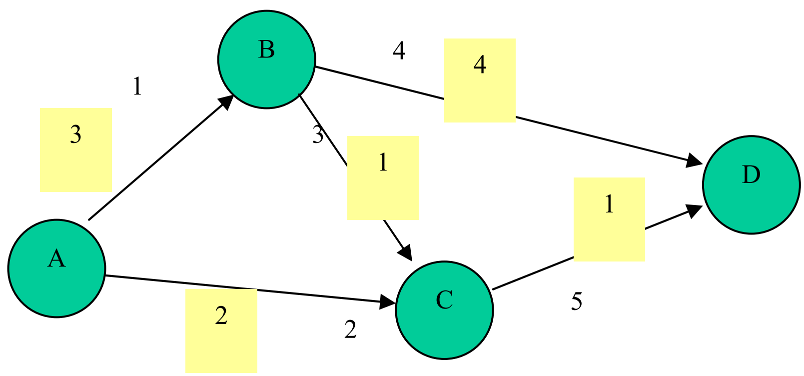
$$(\mathbf{E}^{10})^T s = q$$

vypočítá hraniční toky v systému

ŘEŠENÝ PŘÍKLAD 9-3

Graf popisuje kapacitu rozvodu vody v obytném domě. Vypočítejte celkovou kapacitu přívodního potrubí a zjistěte, zda v domě nedochází ke ztrátám. .

Řešení příkladu



Ve žlutých obdélnících jsou udány kapacity potrubí v domě

$(\mathbf{E}^{10})^T$

	1	2	3	4	5
A	1	1			
B	-1		1	1	
C		-1	1		1
D				-1	-1

s

1	3
2	2
3	-1
4	4
5	1

$$(\mathbf{E}^{10})^T s = q = \begin{pmatrix} 3 \\ -3 \\ \\ \\ \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 2 \\ \\ -2 \\ \\ \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \\ 1 \\ -1 \\ \\ \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \\ 4 \\ \\ -4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \\ \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 \\ 0 \\ 0 \\ -5 \end{pmatrix}$$

Kapacita přívodního potrubí je 5 jednotek. V domě nedochází ke ztrátám, protože 5 kapacitních jednotek je i na výstupu systému. (do uzlu A „teče“ 5 jednotek, z uzlu D vytéká 5 jednotek)

K ZAPAMATOVÁNÍ 27

Zapamatujte si nejčastější případy použití popsaných matic v procesu systémové analýzy

Je zřejmé, že popis struktury dat pomocí výše uvedených matic je vhodný k matematickému zpracování a archivaci.

---

příklad 1: Výpočet vazeb objektů systému k určité části systému – v praxi se často setkáváme u systémů na bázi časových projektů (především) s úkolem, zjistit které činnosti musí být dokončeny před začátkem realizace následující projektové etapy. Úloha se dá různě modifikovat, např. na zjištění skupiny dodavatelů pro určité práce, na vyhledání všech navazujících projektových etap apod. Tyto případy řešíme výpočtem příslušných precedencí k dané skupině objektů.

---

příklad 2: Zjištění maximální jednotkové cesty v systému (doba trvání projektu, počet realizačních etap apod.) – při analýze systému potřebujeme v určitých případech zjistit, jak je systém rozsáhlý, zda je acyklický, jaký je stav realizace projektu apod. Vycházíme ze vztahů

$$\mathbf{P^2 = PP,\ P^3 = P^2P,\ P^4 = P^3P,\quad \ldots,\ P^n = P^{n-1}P}$$

Pomocí stupně počítané matice zjistíme n-té precedenty v systému.

Jsme proto schopni analyzovat systém z hlediska n - tých vazeb v systému. Například systém s časovým intervalem jevů 1 hodina můžeme transformovat na systém s větším časovým intervalem (třetí precedence nám dá časový interval 3 hodiny apod.)

Budeme-li počítat stupně matic tak dlouho, až výsledná matice nebude obsahovat žádný prvek s hodnotou „1“, znamená to, že neexistuje precedent daného stupně.

Nejdelší cesta v daném (jednotkovém) systému je pak rovna největšímu stupni matice která obsahovala alespoň jeden prvek „1“.

Nelze-li vypočítat stupeň matice tak, aby matice neobsahovala prvek hodnoty „1“, pak systém obsahuje cyklus.

---

příklad 3: Nezastupitelnou vlastnost mají matice v případě analýzy konzistence systému.

Dají se dokázat následující vztahy:

$$\mathbf{P}^{01}\mathbf{P}^{10} = \mathbf{P}^{00},$$

$$\mathbf{P}^{10}\mathbf{P}^{01} = \mathbf{P}^{11},$$

$$\mathbf{E}^{10} = \mathbf{P}^{(01)^{T}} - \mathbf{P}^{10}.$$

Ztrátu části dat a poškození určité matice můžeme na základě vztahů mezi maticemi obnovit a tím obnovit celý systém.

příklad 4:

Pomocí incidenční matice se dají vypočítat hraniční toky v systému a definovat hraniční operace

SAMOSTATNÝ ÚKOL 2

V řešeném příkladu 9-3 máte vypočítané matice $\mathbf{P}^{01}$ a $\mathbf{P}^{10}$.

Zkuste vypočítat $\mathbf{E}^{10}$ **z matic** $\mathbf{P}^{01}$ a $\mathbf{P}^{10}$

Správný výsledek porovnejte opět s maticí $\mathbf{E}^{10}$ v příkladu 9-3

SHRNUTÍ

Shrnutí

Je zřejmé, že speciální maticové operace hrají významnou roli v procesu systémové analýzy. Skýtají nepřeberné množství a kombinace možných operací, přitom se však jedná o relativně jednoduchý aparát.

9.3 Úlohy na statických systémech

Na různých typech statických systémů řešíme řadu odlišných typů úloh. Nejpoužívanější úlohy můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin:

Úlohy na statických systémech

1. Optimalizační úlohy se systémem nerovností.

2. Úlohy o struktuře systémů.

Dále se zmíníme pouze o základních úlohách z obou skupin a budeme se zabývat jen některými metodami jejich řešení. Neklademe si za cíl podat vyčerpávající přehled všech možných úloh ani podrobný popis metod jejich řešení. V těchto skriptech jde pouze o orientační přehled teto problematiky

Termínem optimalizace rozumíme v tomto odstavci hledání maxima nebo minima nějaké funkce (resp. funkcionálu). Teorie optimalizace funkcí vzhledem k omezením, která se při řešení daných úloh užívá, se zabývá v podstatě hledáním extrémů funkcí na množinách. Součástí této teorie je i matematické programování. Množiny mohou být zadány v této teorii různými způsoby, např. pomocí soustavy m rovnic o n neznámých, pomocí soustavu lineárních nerovností, pomocí soustavy obecných rovnic a nerovností nebo i pomocí jiných způsobů popisu (např. výčtem prvků). Vývoj v posledních dvaceti letech přinesl řadu nových technik optimalizace.

Optimalizační úlohy na systémech nerovností

Matematické programování, které se začalo rozvíjet v operačním výzkumu, je jedním z nejčastěji používaných nástrojů systémové analýzy. V řadě prací z oblasti teorie systémů se předpokládají dosti rozsáhlé znalosti z oblasti matematického programování. Obecné modely matematického programování, kterými se později začala zabývat širší matematická teorie systémové optimalizace, jsou typickými příklady obecných abstraktních systémových modelů.

V předchozím textu jsme ukázali, že obecná soustava nerovností je v podstatě speciálním případem obecného statického systému. Tato soustava se v matematickém programování obvykle zapisuje zkráceně ve tvaru

$$g^i(x) \leq 0,\ i = 1, \dots m$$

kde $\boldsymbol{x} = (x_1, x_2, \dots x_n)$ a $g^i(x)$ jsou lineární nebo nelineární funkce;

lze ji zapsat vektorovou funkcí, pak má soustava tvar:

$$\boldsymbol{g(x)} \leq 0$$

kde $\boldsymbol{g(x)} = (g^1(x), g^2(x), \dots g^m(x))$

V optimalizačních úlohách se na soustavách nerovností typu hledá vektor $\boldsymbol{x}$, pro který nabývá funkce *f(x)* maxima nebo minima. Funkce *f(x)* se nazývá *kriteriální* (resp. účelovou) funkcí.Řešíme tedy úlohu: Nalézt vektor $\boldsymbol{x}$, který maximalizuje funkci *f(x)* na soustavě nerovností $gi(x) \leq 0.\ i = 1, 2, \ldots.\ m.$ Předpokládáme-li že některé komponenty x_i vektoru $\boldsymbol{x}$ jsou nezáporné, pak jde v podstatě o obecný optimalizační problém, který se standardně zapisuje ve tvaru

$$\max f(x)$$

při omezeních

$$gi(\mathbf{x}) \leq 0$$
$$x_k \geq 0,$$

kde $x = \{x_j\}$, $j=1, \ldots n;\ i = 1, \ldots m;\ k$ je z množiny indexů. Problém může mít i minimalizační verzi, (hledání minima funkce *f(x)*).

Jestliže předpokládáme, že všechny proměnné x_i jsou nezáporné a jsou-li všechny funkce *gi(x)* konvexní a kriteriální funkce *f(x)* konkávní, jde o standardní úlohu konkávního programování typu

$$\max f(x)$$

při omezeních

$$\mathbf{g}(\mathbf{x}) \leq 0,$$
$$\mathbf{x} \geq 0.$$

Množina přípustných řešení této úlohy je konvexní. Množina optimálních řešení je rovněž konvexní. Jestliže je kritérium *f(x)* lineárním funkcionálem typu $f(x) = c_1x_1 + c_2x_2 + \ldots + c_nx_n$ a jsou-li všechny funkce $g^i(x)$ lineární, pak obecná optimalizační úloha je úlohou lineárního programování, která se standardně zapisuje ve tvaru

$$\max \boldsymbol{cx}$$

při omezeních

$$\boldsymbol{Ax} \leq \mathbf{b},$$
$$\boldsymbol{X} \geq \mathbf{0}.$$

Kde $\boldsymbol{c} = (c_1, c_2, \ldots.\ c_n.)$ je vektor konstant, $A = \{a_{i,j}\}$ je matice typu (m, n), $\boldsymbol{b}$ je sloupcová matice typu (m,1).
Úlohy se mohou řešit např. pomocí Simplexové metody

Úlohy o struktuře systému

Úlohy o struktuře systému řešíme obvykle na orientovaných grafech a multigrafech. Metody řešeni těchto úloh v používají zejména v analýze a v syntéze systémů řízení. Řešení těchto úloh nám usnadňuje analýzu vlastností reálných i koncepčních systémů, orientaci ve složitých a rozsáhlých systémech, zjišťování vztahů mezi systémem a jeho okolím. V projektování informačních a řídicích systémů a bank dat usnadňují metody řešení těchto úloh posuzování významu různých informací, vazeb i vztahů a odlišení podstatných informací a vazeb od nepodstatných. Praktický význam řešení těchto úloh se projevuje zejména v analýze struktur rozsáhlejších soustav.

Základní úlohu o struktuře můžeme rozdělit do těchto skupin:
A. Identifikační úlohy.
B. Úlohy o cestách a cyklech.
C. Úlohu o společném rozhraní (interface).
D. Ostatní úlohy.

9.3.1 Identifikační úlohy.

A. Identifikační úlohy.
Jde o úlohy, ve kterých se vybírají a třídí některé prvky a vazby systémů podle určitých vlastností či znaků. Jde zejména o tyto úlohy:

Identifikační úlohy

- identifikace hranice systému (hraničních prvků),
- identifikace hranice subsystémů.
- identifikace prvků podle počtu jejich vazeb,.
- identifikace prvků podle typu transformace v prvku.

Dále sem zařazujeme i úlohy precedenční a sekvenční analýzy, ve kterých se vyšetřují prvky nebo posloupnosti vazeb předcházejících danému prvku (vazbě) nebo následujících za daným prvkem (vazbou). Jsou to hlavně tyto:

Úlohy precedenční a sekvenční analýzy

- identifikace všech předchůdců či následovníků daného prvku nebo subsystému (identifikace počátečních nebo koncových prvků precedenčních nebo sekvenčních cest k danému prvku),
- identifikace precedenčních cest (posloupností vazeb). - identifikace sekvenčních cest.

Řešení identifikačních úloh o vybraných prvcích a vazbách v jednoduchých systémech s malým počtem prvků a vazeb je zcela jednoduché. Najdeme je přímo na grafu systému nebo v precedenční matici.

Hraniční prvky jsou prvky, které mají vstupní a výstupní vazbu alespoň s jedním prvkem okolí. Jde o ty prvky, které jsou na grafu systému spojeny orientovanými hranami s okolím. V precedenční matici jsou to prvky, které mají jedničky v řádku nebo sloupci popisujícím okolí systému. Podobně si počínáme i při identifikaci hranic subsystémů. Zde považujeme za okolí daného subsystému všechny ostatní subsystémy nebo ty prvky systému, které do daného subsystému nepatří a také prvky okolí celého systému. Počty vazeb prvků lze zjistit přímo na grafu nebo v precedenční matici. Počet vstupních vazeb je dán počtem všech jedniček ve sloupci, který odpovídá danému prvku. Jestliže pak dané prvky seřadíme podle počtu vstupujících či vystupujících vazeb (nebo součtu obou typů vazeb) a najdeme prvních r prvků, u nichž je daný součet vazeb největší, máme tím třetí identifikační úlohu vyřešenu. Podobně si počínáme i při výpisu prvků, u nichž probíhají transformace vykazující některé závažné a v definici systému vymezené znaky (jde např. o prvky, v nichž probíhají logické operace nebo rozhodovací procesy).

Poněkud obtížnější je řešení těchto úloh na rozsáhlejších systémech, protože vyžaduje zpravidla použití výpočetní techniky. Při řešení se užívají např. třídicí operace na *souborech* dat.

Metody řešení úloh precedenční a sekvenční analýzy mají význam např. pro tvorbu systémů detekce a korekce chyb v automatizovaných informačních systémech. Zde nás zajímají všechna následující zpracování (prvky), do kterých může proniknout chyba vzniklá v určitém předchozím zpracování (prvku) nebo hledáme všechna předcházející zpracování, ze kterých se mohla chyba dostat do chybného zpracování. V úlohách identifikace všech předchůdců (resp. následovníků) daného prvku nebo subsystému se hledají všichni předchůdci, resp. následovníci daného prvku či podsystému.

Předchůdci daného prvku jsou prvky, které jsou počátečními uzly cest grafu, které v daném prvku končí. *Následovníci* daného prvku jsou koncové uzly cest grafu systému, které v daném prvku začínají. Při řešení těchto úloh se používají algebraické metody teorie grafů a systémové algebry. Užívají se zejména výpočty mocnin precedenční matice systému (resp. incidenční matice grafu systému) $\boldsymbol{P}^2$, $\boldsymbol{P}^3$, **...** a selekční operace. Prvky j-tého sloupce matice $\boldsymbol{P}^i$ nám udávají všechny předchůdce prvku *pi* o vzdálenosti dané exponentem, tedy *i*. *Vzdálenost se* měří počtem za sebou následujících vazeb (hran grafu). Prvky j-tého řádku matice $\boldsymbol{P}^i$ nám udávají všechny následovníky j-tého prvku, a to ve vzdálenosti i.

9.3.2 Úlohy o cestách a cyklech

B Úlohy o cestách a cyklech

Úlohy o cestách a cyklech

Cesta mezi prvky p_0 a p_n systému S je konečná posloupnost prvků a vazeb p_0, (p_0, p_1), p_1, (p_1, p_2), …, p_{n-1} (p_{n-1}, p_n), p_n. Prvek p_0 je *počáteční prvek cesty,* prvek p_n je *koncový prvek cesty.* Prvky p_1, p_2, ..., p_{n-1} jsou *vnitřními prvky cesty.* Číslo *n* se nazývá délka cesty mezi prvky p_0, p_n. Znázorníme-li strukturu daného systému pomocí orientovaného grafu, pak cesta vytváří *orientované spojení* mezi uzly p_0 a p_n. Cestu, v níž se každý prvek systému vyskytuje pouze jednou. nazýváme *elementární cestou.* Uzavřenou elementární cestu nazýváme *cyklem.* Je-li struktura systému zobrazena pomocí orientovaného grafu, pak cyklus vytváří v tomto grafu konečný souvislý podgraf, ve kterém z každého jeho uzlu vystupuje jedna hrana a do každého uzlu jedna hrana vstupuje. Počet hran grafu nebo počet prvků ležících ne daném cyklu nazýváme *délkou cyklu.*

V úlohách o cestách v systému se studují cesty mezi prvky systémů a vyšetřují se jejich vlastnosti, např. délku cest, doby nutné pro realizaci cesty mezi dvěma prvky, kapacity cest apod.
Řešení těchto úloh má význam zejména pro poznání souvislostí v systémech, pro posuzování složitosti a vlastností systémů a pro hodnocení různých alternativních struktur systémů v systémové analýze a syntéze.

Vyšetřování cyklů

Vyšetřování cyklů má význam pro studium zpětných vazeb v systémech. Provádí se např. v analýzách informačních soustav, zejména v analýzách složitých kontrolních a autokorekčních systémů. Také v některých metodách řešení úloh o cestách se předpokládá, že orientovaný graf systému je acyklický. Proto se napřed vyšetřují a odstraňují cykly z grafu.

Algebraické operace

Při řešení úloh o cestách a cyklech se užívají zejména metody teorie grafů a systémové algebry. Často se používají zejména algebraické operace na grafech, jako jsou např. operace logické umocňování nebo inverze incidenční matice grafu.
Základní úlohy o cestách a cyklech můžeme rozdělit do těchto skupin: identifikace cest mezi dvěma prvky systému,

- identifikace precedenčních či sekvenčních cest,
- identifikace cyklů v systému,
- zjištění délky cesty (resp. cyklu) nebo doby nutné pro realizací cesty nebo cyklu,
- úlohy o tocích mezi dvěma prvky,
- kapacitní úlohy.

Mocniny matic

První tři úlohy lze řešit pomocí dříve popsané operace logického umocňování incidenční matice grafu (precedenční matice systému)

Mocniny incidenční matice $\boldsymbol{P^2}$, $\boldsymbol{P^3}$, … grafu nám udávají všechny předchůdce, resp. následovníky určitého prvku systému. Je-li p^n_{ij} prvek v i-tém řádku a j-tém sloupci matice $\boldsymbol{P^n}$ a je-li $p^n_{ij} = 1$, pak existuje cesta délky n mezi prvky systému p_i a p_j. Jedničky v j-tém sloupci matice $\boldsymbol{P^n}$ udávají všechny předchůdce j-tého prvku o vzdálenosti n, tj. existenci precedenčních cest délky n k prvku p_j. Prvky i-tého řádku matice $\boldsymbol{P^n}$ nám udávají všechny následovníky prvku p_i o vzdálenosti n, tj. všechny sekvenční cesty délky n k danému prvku p_i. Jestliže prvek $p^n_{ii} = 1$, znamená to, že i-tý prvek leží na cyklu. Informace obsažené v posloupnosti matic $\boldsymbol{P}$, $\boldsymbol{P^2}$, **....** $\boldsymbol{P^n}$ je často dostatečná i pro určení posloupnosti uzlů a hran, které dané cesty nebo cykly vytvářejí. Výskyt cyklů nám řešení úloh o cestách často komplikuje, zejména tehdy, kdy hledáme pouze elementární cesty. Průchod cyklem, který je na dané cestě, může být i vícenásobný. Tím se stejná cesta objeví v posloupnosti mocnin matice **P** několikrát.

Některé metody identifikace cest předpokládají proto trojúhelníkovou matici, které odpovídá acyklický graf. Jestliže graf obsahuje cykly, pak se řeší nejprve problém identifikace cyklů a nalezené cykly se vhodný m způsobem odstraní (např. přerušením některých vazeb apod.), aby se dosáhlo popisu acyklickým grafem. Metodou je možno zjistit jak existenci elementární cesty mezi libovolnými dvěma uzly, tak počet cest mezi těmito uzly i výpisy posloupností vnitřních uzlů těchto cest. Graf struktury systému může obsahovat i cykly a smyčky (cykly délky 1). Cykly není nutné před výpočtem odstraňovat. Metoda umožňuje také systematické vyhledání všech cyklů a smyček v grafu přiměřeného rozsahu.	***Acyklický graf***
Délkou cesty mezi prvky *pi a pj* systému nazýváme počet vazeb ležících na této cestě. *Dobou realizace cesty* mezi dvěma, prvky nazýváme součet dob transformace v prvcích (tj. součet dob zpoždění mezi vstupem a výstupem prvků a dob přenosu po vazbách dané cesty). Tyto úlohy řešíme prostým sčítáním vazeb nebo sčítáním uvedených časových parametrů prvků a vazeb. Podobně lze vypočítat i délky cyklů nebo doby realizace cyklů (jde o uzavřené cesty).	***Délka cesty***
V úlohách o tocích se hledá maximální stacionární tok mezí dvěma danými prvky *pi* a *pk* v systému, jehož vazbám jsou přiřazeny jako parametry nezáporná reálná čísla, která popisují propustnou schopnost těchto vazeb. V kapacitních úlohách se hledá např. cesta mezi prvky p_i a p_j s maximální kapacitou, při čemž se obecně předpokládá, že kapacita cesty závisí na kapacitě prvků i vazeb, které na této cestě leží. Kapacita cesty je daná nejnižší kapacitou prvků či vazeb na cestě. Dále se pak stanovují kapacitní profily cest, vyhledávají se úzké profily cest a vyrovnávají se jejich kapacitní profily. Kapacitním profilem cesty je výpis kapacit uzlů a hran ležících na dané cestě a vhodné grafické zobrazení těchto kapacit.	***Maximální tok***
Při vyhledávání úzkých profilu cest se vypisuje prvních n prvků a vazeb dané cesty o nejmenší kapacitě. Při vyrovnávání kapacitního profilu dané cesty se rozšiřuje kapacita některých prvků a vazeb na optimální úroveň. Optimalita se hodnotí pomocí nákladových nebo užitkových kritérií. Kritériem může být např. celkový ekonomický efekt z přírůstku kapacity.	***Úzký profil***
Existuje ještě řada dalších úloh o cestách. Jde např. o úlohy, ve kterých se hledá nejkratší cesta mezi dvěma prvky. Zajímavé jsou i úlohy precedenční a sekvenční analýzy s kalendářem. Tyto úlohy se řeší na orientovaných grafech systémů, které mají hrany a uzly ohodnoceny dobami trvání. Při řešení precedenčních úloh se hledají okamžiky, v nichž musí být skončen transformační nebo přenosový proces v prvcích nebo vazbách, které leží na cestách předcházejících danému prvku *pk.* V sekvenčních úlohách se hledají zase okamžiky, v nichž může být zahájen transformační nebo přenosový proces v jednotlivých prvcích nebo vazbách, které leží na cestách, jež následují po daném prvku *pk,* jestliže transformace v uzlu *pk* byla ukončena v čase t.	

9.3.3 Úlohy o rozhraní (interface)

C. Úlohy o rozhraní (interface)

Úlohy o rozhraní (interface)

V těchto úlohách se analyzují vlastnosti sousedních prvků, subsystémů nebo prvků a vazeb, které do nich vstupují nebo z nich vystupují. Vyšetřuje se konzistence (regulárnost) parametrů na vstupech a výstupech sousedních prvků. Zkoumá se, za jakých podmínek bude existovat shoda mezi přípustnými hodnotami parametrů na vstupech a výstupech sousedních prvků nebo shoda mezi přípustnými hodnotami parametrů na vstupu či výstupu prvku a přípustnými hodnotami parametrů vstupní nebo výstupní vazby.

Úlohy tohoto typu nejsou doposud systematicky prozkoumány a jejich obsah není podrobně specifikován. Byly řešeny jen některé speciálnější úlohy, např. úlohy z oblasti syntézy informačních systémů. Obecné úlohy o rozhraní se zaměřují hlavně na analýzu a úpravy rozhraní mezi sousedními prvky, mezi dvěma subsystémy, mezi prvky a incidujícími vazbami, které do nich vstupují a z nich vystupují, a mezi systémem a okolím. Matematické formulace těchto úloh nejsou ještě ve všech případech nalezeny.

Řada úloh o rozhraní má dynamickou povahu a spadá do úloh o chování systémů. Formulace a řešení některých úloh z oblasti zpracování hromadných dat ukazují, že úlohy o rozhraní lze často formulovat a řešit pomocí algebraických prostředků. Jde o některé úlohy zaměřené na analýzu a úpravy rozhraní mezi sousedními prvky. Metoda řešení těchto úloh se zakládá na algebraickém zápisu struktury systému.

Máme-li na daném systému řešit úlohu o rozhraní mezi prvky systému, pak postup spočívá v prověření shody parametrů na vstupech a výstupech sousedních prvků. Je-li u vazby v_{ij} splněna rovnost $p^v{}_i = p^u{}_j = p(v_{ij})$ pak říkáme, že daná vazba je regulární a má parametr $p(v_{ij})$. Není-li splněna, je v_{ij} neregulární. Informace o existenci vazeb v_{ij} jsou obsaženy v incidenční matici $\boldsymbol{P}$. Při řešení dané úlohy vyhledáváme systematicky všechny nenulové prvky matice $\boldsymbol{P}$. Je-li v průsečíku *(i. j)* jednička, pak existuje vazba v_{ij} mezi prvky p_i, p_j. *Srovnáním* $p^v{}_i$ *a* $p^u{}_j$ prověříme regulárnost vazby. Informaci o neregulárních vazbách zapisujeme do matice $\boldsymbol{P}^r = [p^r{}_{ij}]$. Je-li vazba v_{ij} regulární, pak píšeme $p^r{}_{ij\,j} = 0$, není-li regulární, pak je $p^r{}_{ij} = 1$.

Tato matice je řešením dané úlohy o rozhraní. Je možno ji použít např. při úpravách rozhraní mezi prvky v iteračním procesu syntézy systému. V tomto procesu je nutno systém postupně upravovat tak, aby všechny vazby byly regulární (tj. aby matice $\boldsymbol{P}^r$ byla nulová). Úpravy se provádějí např. modifikací parametrů vstupů a výstupů, záměnami prvků, modifikací celkové struktury apod. Analogicky je možno postupovat i v případech, kdy vstupy a výstupy prvků systému jsou charakterizovány vektorovými parametry, při větším počtu různých vstupů a výstupů jednotlivých prvků i v systémech s multistrukturou.

9.3.4 Ostatní úlohy

D. Ostatní úlohy

Simplifikační úlohy

Existuje ještě řada dalších úloh o struktuře systémů. My se však zmíníme pouze o simplifikačních úlohách.

Simplifikační úlohy se zabývají zjednodušováním struktur systémů. Metodologie zjednodušování má značný význam pro systémovou analýzu a syntézu. Cílem zjednodušování bývá obvykle snížení objemu zpracovávaných dat a zvýšení efektivnosti systémové analýzy. Analýza rozsáhlých a složitých systémů není bez zjednodušování ani prakticky možná. Mezi simplifikační úlohy patří úlohy dekompoziční, agregační a eliminační.

Dekompoziční úlohy

V dekompozičních úlohách se hledá vhodný rozklad dané struktury na podstruktury. Při řešení těchto úloh se obvykle vychází z hodnocení významnosti vazeb v systému a systém se rozkládá (dekomponuje) na subsystémy tak, aby se minimalizovaly interakce podél rozhraní mezi subsystémy a aby subsystémy obsahovaly takové prvky, které mají (podle zvoleného kritéria) mezi sebou významnější vazby, než jsou jejich vazby k ostatním prvkům systému. Jako kritéria se používají např. náklady na spojení systémů (např. v ekonomických systémech), náklady na komunikaci v projektovaném systému řízení apod.

Agregační úlohy

V agregačních úlohách se zjednodušuje struktura systému tak, že několik vybraných prvků p_1, p_2, …. p_k se agreguje (slučuje) v jeden prvek p_a a vzájemné vazby těchto vybraných prvků se zanedbávají. Dostaneme tak nový systém o menším počtu prvků. Vazby prvků p_1, p_2. …, p_k s ostatními prvky systému považujeme nyní za vazby mezi prvkem p_a a ostatními prvky systému. Jiným způsobem agregace je zjednodušení systému tak, že sloučíme několik stejně orientovaných vazeb mezi prvky p_i *a* p_k do jedné agregované vazbu.

Eliminační úlohy

V eliminačních úlohách se hledá vhodné zjednodušení systému zanedbáním některých prvků a některých sazeb systému. Zanedbávají se vazby, které incidují (vstupují nebo vystupují) s eliminovanými prvky: Někdy se také množina prvků nemění a eliminují se pouze některé vazby.

SHRNUTÍ KAPITOLY STATICKÉ SYSTÉMY

Σ

Shrnutí

V této kapitole jme si ukázali, že úlohy na statických systémech řešíme podstatě dvojím způsobem. Pomocí matematických metod (především soustav lineárních rovnic) a pomocí metod teorie grafů (včetně navazujících maticových operací)

TESTY A OTÁZKY KE KAPITOLE

Příklad:

Drobný podnikatel vyrábí a prodává bramborové lupínky a hranolky pořadě za ceny 120 a 76 peněžních jednotek za kilogram produktu. Na výrobu 1 kg lupínků je zapotřebí 2 kg brambor a 0.4 kg oleje, na výrobu 1 kg hranolků je třeba 1.5 kg brambor a 0.2 kg oleje. Podnikatel nakoupil před zahájením výroby 100 kg brambor a 16 kg oleje za regulované ceny 12 a 40 peněžních jednotek za kilogram příslušné suroviny. V době zahájení výroby v důsledku zavedení regulované ceny surovin vznikl jejich nedostatek a na trhuje za regulovanou cenu nelze získat. Jaká množství jednotlivých produktů má podnikatel vyrábět a prodávat, aby maximalizoval svůj zisk při respektování omezených množství obou surovin, které má k dispozici?

ŘEŠENÍ A ODPOVĚDI, NÁVODY

Řešení příkladu:

Sestavení modelu: Nechť *c1*, *a c2* jsou konstanty odpovídající pořadě zisku z výroby a prodeje kilogramového množství lupínků a hranolků.

Zisky *c1* a *c2* vypočítáme jako rozdíl prodejní ceny a výrobních nákladů. V našem případě:

$c1 = 120 - 12 * 2 - 40 * 0{,}4 = 80$ *[peněžní jednotka/kg]*
$c2 = 76 - 12 * 1{,}5 - 40 * 0{,}2 = 50$ *[peněžní jednotka/kg].*

Budete-li modelovat nezápornými reálnými proměnnými x1 a x2 rozhodnutí o počtu kilogramů vyráběných lupínků a hranolků, získáme následující model úlohy.

maximalizujte $f(x) = 80x1 + 50x_2$

za podmínek $2x1 + 1{,}5x_2 \leq 100$

$$0{,}4x1 + 0{,}2x_2 \leq 16$$

$$x1,\ x_2 \leq 0$$

KORESPONDENČNÍ ÚKOL 8

Máte vyřídit žádost o státní příspěvek. Musíte vyřídit administrativní úkony u šesti institucí (označeny postupně A až F). Některé instituce požadují potvrzení jiných institucí. V následující tabulce máte formou precedencí znázorněno, které instituce požadují potvrzení jiných.

Zjistěte, zda některou instituci musíte navštívit vícekrát. (návod k řešení: na vaší cestě po institucích by byl cyklus)

	A	B	C	D	E	F
A		1	1		1	
B				1	1	
C					1	1
D	1		1			
E				1		1
F						

PRŮVODCE STUDIEM 16

Průchod modulem

V kapitole o statických systémech máte mnoho typů úloh a možných postupů pro aplikaci systémové analýzy na tyto systémy. Viděli jste i různorodost nástrojů, od matematických, přes teorii grafů až po využití incidenčních matic. Při řešení úloh na statických systémech se nejedná zpravidla o složité postupy a metody. V následujícím textu se seznámíte s metodami pro řešení dynamických systémů. Uvidíte, že matematický aparát je nepoměrně složitější a vychází z diferenčních a diferenciálních soustav rovnic. Úlohy na dynamických systémech se většinou týkají řízení a regulace, na statických systémech se spíše zabýváme optimalizací a hledáním strukturálních vazeb.

10 DYNAMICKÉ SYSTÉMY

RYCHLÝ NÁHLED DO PROBLEMATIKY KAPITOLY DYNAMICKÉ SYSTÉMY

Rychlý náhled

V této kapitole se setkáte se základní metodologií a nástroji pro analýzu dynamických systémů. V úvodu převažuje matematický aparát a matematické modely dynamických systémů. Tato látka však překračuje požadavky na látku systémové analýzy ekonomických fakult. Berte ji proto jako informativní, pro seznámení s metodami modelování dynamických systémů. Naučte se pouze základní postupy a snažte se spíše pochopit princip přístupu k dynamickým systémům. V další části se seznámíte se speciální formou grafů – Petriho sítěmi. V této části máte uvedeny i jednoduché příklady využití dané metody.

CÍLE KAPITOLY DYNAMICKÉ SYSTÉMY

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

Budete umět

- Budete se orientovat v metodologii dynamických systémů
- Seznámíte se s matematickým aparátem pro řešení úloh na dynamických systémech
- Budete umět klasifikovat dynamické systémy
- Budete umět zobrazit dynamický systém grafickými metodami

Získáte:

Získáte

- Znalosti matematického aparátu dynamického modelování
- Přehled o metodách pro práci s dynamickými systémy

Budete schopni:

Budete schopni

- Řešit jednoduší úlohy na dynamických systémech
- Efektivně analyzovat změny stavů systémů pomocí petriho sítí

ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

Celkový doporučený čas k prostudování KAPITOLY je **dvě hodiny**, jedna hodina je doporučena samostatným úkolům

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY DYNAMICKÉ SYSTÉMY

Dynamický systém, lineární dynamický systém, hladký dynamický systém, stacionární, diskrétní a spojitý dynamický systém, petriho sítě

Klíčová slova

10.1 Základní pojmy

Dynamický systém je systém, který se v čase vyvíjí. Všechny veličiny dynamického systému jsou určeny v čase *t*, který je prvkem dané množiny časových okamžiků, kterou budeme značit *T*.

Pokud je dynamický systém řízeným systémem, pak v každém okamžiku *t* působí na systém nějaký vstupní děj (vstupní signál, vstupní veličina, řídicí veličina) *u(t)* a vystupuje z něj nějaký výstupní děj (výstupní signál, výstupní veličina) *y(t).* Vstupní veličina dynamického systému může mít obecně více složek, budeme ji tedy považovat za vektorovou veličinu o r složkách, pak

$$u(t) = [u_1(t), u_2(t),..., u_r(t)]^T$$

Podobně i výstupní veličina *y(t)* je vektorová veličina o *m* složkách, pak

$$y(t) = [y_1(t), y_2(t), . . . , y_m(t)]^T.$$

Všechny možné hodnoty vstupních veličin *u(t)* tvoří nějakou pevnou množinu, kterou budeme značit ***U***. Z fyzikálních důvodů je omezena velikost vstupních veličin, a proto množina ***U*** je často ohraničená. Často také nemůže být vstupní veličina libovolnou funkcí času, ale musí příslušet některé užší třídě funkcí, kterou budeme značit $\mathcal{U}$. Výběr $\mathcal{U}$ je podmíněn matematickými a fyzikálními požadavky kladenými na systém.

U řízených dynamických systémů nestačí znalost okamžité hodnoty vstupní veličiny *u(t)* k jednoznačnému určení výstupní veličiny *y(t).* V obecném případě totiž výstup systému závisí nejen na současné hodnotě vstupu, ale i na předcházejícím průběhu vstupního děje. Dynamický systém má "paměť".

Abychom mohli nějakým způsobem oddělit minulost od přítomnosti, zavádíme pojem stav systému. Stav systému je soubor nějakých vnitřních veličin systému, které budeme značit vektorem *x*.

Platí tedy: $x(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]T$.

Stav systému $x(t)$ v čase t v sobě zahrnuje veškerou informaci o minulém vývoji systému.

U mechanických soustav jsou stavové veličiny hodnoty poloh a rychlostí všech elementů v daném okamžiku. U elektrických obvodů jsou stavové veličiny napětí a proudy na elementech obvodu. U systému, který vznikl z nějakého fyzikálního objektu, mohou (ale nemusí) mít stavové veličiny určitý fyzikální význam.

Z předchozího vyplývá, že dynamický systém má tu vlastnost, že znalost stavu systému $x(t)$ v čase t_0 spolu se znalostí vstupní veličiny $u(t)$ na intervalu $t_0 < t < ti$ jednoznačně určuje výstupní veličinu $y(t)$ na stejném časovém intervalu. Heuristicky můžeme stav systému definovat jako vektorovou veličinu, která obsahuje v souhrnu veškerou informaci o minulém vývoji systému, nutnou k určení průběhu všech veličin v systému v budoucnosti.

Vývoj stavu $x(t)$ systému v čase je vlastně vývoj systému. Znalost vývoje stavu systému v čase je pro pochopení vlastností systémů nejdůležitější.

Vývoj stavu dynamického systému podléhá určitým zákonitostem, které vedou k definici dynamického systému. Definice, kterou nyní uvedeme, blíže specifikuje stavově přechodovou strukturu systému

Dynamický systém je definován množinami a zobrazeními:

1. Jsou dány množiny
   - a) časových okamžiků T,
   - b) stavů systému X,
   - c) okamžitých hodnot vstupních veličin U,
   - d) přípustných vstupních funkcí (signálů) $\mathcal{U} = \{u(t) : T \to U\}$,
   - e) okamžitých hodnot výstupních veličin Y,
   - f) přípustných výstupních funkcí (signálů) $\boldsymbol{Y} = \{y(t) : T \to Y\}$,

2. Je dána orientace času, tzn., že množina časů T je uspořádanou podmnožinou reálných čísel.

3. Množina vstupních funkcí $\mathcal{U}$ vyhovuje následujícím podmínkám:

a) netriviálnost - množina $\mathcal{U}$ je neprázdná, tzn., že obsahuje alespoň jeden prvek (např. nulu),
b) sjednocení vstupních dějů - jsou-li dva vstupní děje definované na různých intervalech přípustné, pak vstupní děj vzniklý jejich sjednocením je také přípustný.

4. Je dána přechodová funkce stavů *φ*. Jejími hodnotami jsou stavy *x(t)*

x(t) = φ (t, τ, x(τ), u)

Ve stavu *x(t)* se systém nachází v čase $t \in T$, jestliže v čase $\tau \in T$ byl ve stavu $x(\tau) \in X$ a jestliže na intervalu $\langle \tau, t \rangle$ působila vstupní funkce *u*.

5. Přechodová funkce stavu má následující vlastnosti:

a) orientace času - funkce *φ (t, τ, x, u)* je definována pro všechna $t \geq \tau$ a nemusí být definována pro t < *τ*;
b) identičnost - platí

$$\varphi(t, t, x(t), u) = x(t)$$

pro všechna $t \in T,\ x(t) \in X,\ u \in U$;
c) vlastnost pologrupy - pro libovolné $t_1 \leq t_2 \leq t_3$ a libovolné $x \in X, u \in \mathcal{U}$ platí

$$\varphi(t_3, t_1, x, u) = \varphi(t_3, t_2, \varphi(t_2, t_1, x, u), u)$$

c) kauzalita - je-li

$$u, \overline{u} \in \mathcal{U} \text{ a } u(t) = \overline{u}(t) \text{ na intervalu } t_1 \leq t \leq t_2,$$

d) pak

$$\varphi(t_2, t_1, x, u) = \varphi(t_2, t_1, x, \overline{u})$$

Funkce *φ* je tedy jednoznačná vzhledem ke vstupnímu ději.

6. Je dáno výstupní zobrazení *g*, které určuje výstupní veličinu

g(t) = g (x (t), u(t), t)

Podle předchozí definice je dynamický systém S určen osmicí množin a zobrazení, což zapisujeme ve tvaru

$$S \equiv (T, X, U, \mathcal{U}, Y, \mathcal{Y}, \varphi, g)$$

Uspořádaná dvojice $(t, x(t)), t \in T, x \in X$ se nazývá událostí v systému, prostor *T x X* je prostor událostí.

Přechodová funkce stavu φ se nazývá často také trajektorií, pohybem, řešením nebo tokem systému.

Je-li výstupní zobrazení nezávislé explicitně na řízení, pak

g(t) = g(x(t), t),

Takový systém nazýváme **ryze dynamický** nebo striktně (přísně) ryzí systém. Přechod za stavu *x(t1)* do stavu *x(t3)* můžeme uskutečnit jako dva přechody, a to nejprve přechod za stavu *x(t1)* do stavu *x(t2)* a poté přechod ze stavu *x(t2)* do stavu *x(t3)*. Proto mezi časy t1, t2, t3 musí platit $t_1 \leq t_2 \leq t_3$.

Množina okamžitých hodnot výstupních veličin *Y* i množina výstupních funkcí $\mathcal{Y}$ je implicitně určena zobrazením *g*, φ a množinami ***U*** a $\mathcal{U}$

Předchozí definice systému je příliš obecná, a proto se zavádějí některé doplňující předpoklady. Dostáváme tak speciální druhy systémů, jejichž vlastnosti nyní uvedeme:

1. Dynamický systém *S* se nazývá systém s konečnou dimenzí, je-li množina stavů lineární prostor konečné dimenze. Pak platí

$$\dim\ S = \dim\ X = n$$

Dimenze systému je tedy totožná s dimenzí stavového prostoru *X*, stav systému je vektor mající n složek. Dimenzi systému nazýváme také řádem systému. Systémy s konečnou dimenzí jsou abstrakcí fyzikálních objektů se soustředěnými parametry. Naproti tomu systémy s nekonečnou dimenzí vznikají z objektů s rozprostřenými parametry (rozloženými parametry). Předpoklad konečné dimenze systému je důležitý, chceme-li získat numerické výsledky. Proto při numerické analýze systému s rozloženými parametry používáme často aproximace konečné dimenze.

2. Dynamický systém je volný (neřízený, neutrální), je-li množina $\mathcal{U}$ tvořena jediným, nulovým prvkem $\mathcal{U}$ = {0}. Volný systém je tedy izolován od svého okolí.

3. Dynamický systém *S* je reverzibilní, je-li přechodová funkce stavu $\varphi(t, \tau, x, u)$ definována pro všechny hodnoty $t, \tau \in T$.

Vývoj stavu reverzibilního systému můžeme vyšetřovat nejen od přítomnosti do budoucnosti, ale i od přítomnosti do minulosti. Většina běžných systémů je reverzibilních (např. systémy popsané diferenciálními rovnicemi), protože obrácený vývoj způsobí pouze změna znaménka času.

4. Dynamický systém je spojitý, je-li množina *T* množinou reálných čísel. Systém *S* je diskrétní, je-li množina *T* množinou celých čísel.
Spojitý systém odpovídá intuitivní představě dynamického systému. Diskrétní systém je tedy systém s diskrétním časem. Diskrétní systém může vzniknout také tím způsobem, že všechny veličiny spojitého systému měříme pouze v diskrétních časových okamžicích.

---

5. Dynamický systém *S* je stacionární, jestliže

a) množina času *T* je aditivní grupa (množina, na které je definováno sčítání prvků),

b) množina přípustných vstupních funkcí $\mathcal{U}$ je uzavřena vůči operátoru posunutí v čase $z^\nu\colon \boldsymbol{u} \to \bar{\boldsymbol{u}}$, který je určen vztahem

$$\bar{\boldsymbol{u}}(t) = \boldsymbol{u}(t+\nu) = z^\nu(\boldsymbol{u}(t))$$

pro všechna $\nu, t \in T$,

c) platí

$$\varphi(t, \tau, \boldsymbol{x}, \boldsymbol{u}) = \varphi(t+\nu, \tau+\nu, \boldsymbol{x}, z^\nu(\boldsymbol{u}))$$

Z definice plyne, že vlastnosti stacionárního systému se nemění v čase. Stacionarita systému je důležitá vlastnost systému, neboť všechny vlastnosti stacionárního systému jsou časově invariantní. Proto někteří autoři místo názvu stacionární systém používají názvu t-invariantní systém nebo lépe časově invariantní systém.

---

6. Dynamický systém *S* se nazývá systém s konečným stavem, jestliže stavy systému tvoří konečnou množinu *X*. Dynamický systém S se nazývá konečný automat, když množiny *X, U, Y* jsou konečné množiny (mají konečný počet prvků) a systém je diskrétní a stacionární.
Typickým konečným automatem je sekvenční synchronní logický obvod, u kterého všechny veličiny nabývají pouze dvou hodnot, které jsou definovány pouze v diskrétních časových okamžicích.
Základním pojmem a zároveň základním zjednodušujícím předpokladem je linearita systému. Lineární teorie se používá i při zkoumání lokálního chování nelineárních systémů. Linearita systému se vykládá často na základě tzv. "principu superpozice". Přitom princip superpozice je důsledkem linearity systému.

---

7. Dynamický systém *S* se nazývá lineární, když

a) množiny *X, U,* $\mathcal{U}$, *Y*, y jsou vektorové prostory,
b) zobrazení $\varphi(t, \tau, ., .)\colon\ X \times \mathcal{U} \to X$, je lineární pro všechna *t, τ*,
c) zobrazení $g(., ., t)\colon\ X \times U \to Y$ je lineární pro všechna *t*.

U lineárního systému je přechodová funkce stavu φ lineární vzhledem k počátečnímu stavu a řízení s výstupní funkce g je také lineární vzhledem k okamžité hodnotě stavu a razení.

Chceme-li při popisu dynamických systémů používat diferenciální rovnice, je nutno obecnou definici systému zúžit o některé předpoklady týkající se spojitosti veličin a zobrazení.

8. Dynamický systém *S* je hladký, jestliže

   a) množina času je množina reálných čísel (systém je spojitý),

   b) přechodová funkce stavu φ má tu vlastnost, že $\tau, x, u \rightarrow \varphi(., \tau, x, u)$ definuje spojité zobrazení *T x X x U* na prostor spojitých funkcí $T \rightarrow X$.

Hladký dynamický systém je spojitý systém, ve kterém je vývoj stavu spojitou funkcí času pro libovolné řízení. Je-li přechodová funkce stavu φ spojitou funkcí času, můžeme vývoj stavu popsat diferenciální rovnicí. Proto se hladké systémy někdy také nazývají diferenciální dynamické systémy. Pro přechodovou funkci stavu potom totiž platí

$$\varphi(t+\Delta t, t, x, u) = x(t+\Delta t) = x(t) + f(x, u, t)\Delta t + \varepsilon(\Delta t)$$

Změna stavu za malý časový okamžik Δt je lineární funkcí Δt; $\varepsilon(\Delta t)$ je chyba druhého řádu. Odtud plyne

$$\frac{x(t+\Delta t) - x(t)}{\Delta t} = f(x, u, t) + \frac{\varepsilon(\Delta t)}{\Delta t}$$

a limitním přechodem pro Δt --> 0 dostaneme diferenciální rovnici popisující vývoj stavu systému

$$\frac{dx}{dt} = f(x, u, t)$$

Funkce *f (x, u, t)* se nazývá tvořící funkce spojitého systému.

V dalším uvažujeme, že spojité systémy jsou hladké a mají konečnou dimenzi. To znamená, že je lze popsat diferenciálními rovnicemi. Soustavu rovnic takových systémů ve tvaru

Stavové rovnice spojitých systémů

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= f(x, u, t) \\ y(t) &= g(x, u, t) \end{aligned}$$

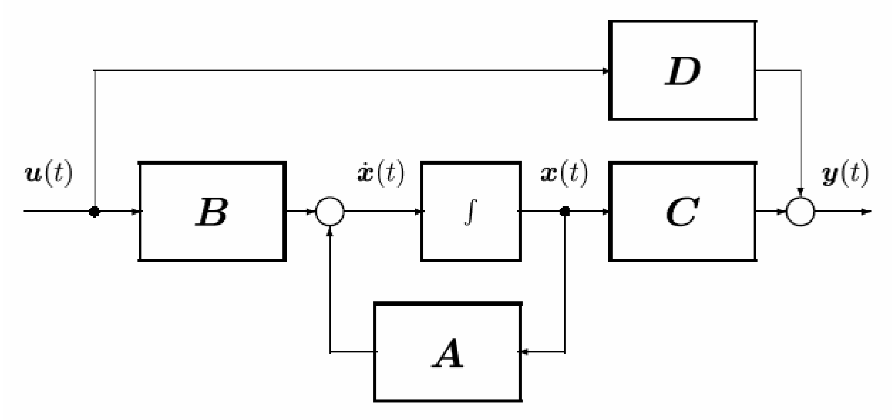
nazýváme stavové rovnice systému. Vektory *u, y, x* jsou řídicí, výstupní a stavové vektory systému. Jsou-li ***f* , *g*** nelineární funkce, jedná se o stavové rovnice nelineárního spojitého dynamického systému.

Je-li navíc takový systém lineární, je přechodová funkce stavu lineární, a proto i tvořící funkce ***f*** a výstupní funkce ***g*** jsou lineární funkce vzhledem ke stavu a řízení. Proto je můžeme vyjádřit ve zvolené bázi pomocí matic.
Potom platí

$$\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{x}}(t) &= \boldsymbol{A}(t)\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{B}(t)\boldsymbol{u}(t) \\ \boldsymbol{y}(t) &= \boldsymbol{C}(t)\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{D}(t)\boldsymbol{u}(t) \end{aligned}$$

kde ***A(t)*** je matice systému rozměru (n x n),
B(t) je matice řízení rozměru (n x r),
C(t) a ***D(t)*** jsou výstupní matice rozměru (m x n) a (m x r).

Předchozí rovnice jsou stavové rovnice lineárního spojitého systému. Jsou tedy určeny čtveřicí matic ***A(t), B(t), C(t), D(t)***. Je-li navíc lineární systém stacionární, pak ***A, B, C, D*** jsou konstantní matice, jejichž prvky jsou nezávislé na čase. Podle předchozích rovnic můžeme nakreslit blokové schéma spojitého lineárního dynamického systému. Ryze dynamický systém (striktně ryzí systém) má matici ***D*** = 0.



Obrázek 10-1: Blokové schéma spojitého lineárního dynamického systému

Z předchozího obrázku i ze stavových rovnic plyne, že k realizaci lineárního spojitého systému potřebujeme integrátory (jejich počet je roven řádu systému n), zesilovače a sumátory. Toto jsou jediné tři stavební prvky každého spojitého lineárního systému.

Exponenciální růst

Ve spojitých systémech je často rychlost změny nějaké veličiny úměrná její velikosti. Například růst nějaké populace se řídí tímto zákonem. Pro změnu veličiny, kterou označíme *x(t),* tedy platí diferenciální rovnice

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x(t)$$

Řešení této rovnice je zřejmě

$$x(t) = ce^{\alpha t}$$

Toto je rovnice exponenciálního růstu a je zřejmě *x(t)* = konst. pro $\alpha = 0$, *x(t)* klesá pro

$\alpha < 0$ a *x(t)* roste pro $\alpha > 0$. Konstanta *c* je určena počáteční podmínkou *x(0).*

ÚKOL K ZAMYŠLENÍ 1

Představme si, že na ohraničeném území se vyskytují dva druhy na sobě závislých živočišných druhů, např. vlci a ovce. Ovce se živí pastvou a vlci se živí lovem ovcí.
Bylo pozorováno, že v takovém uzavřeném systému se vyskytují oscilace v počtu jedinců jednotlivých druhů. Sestavme model vývoje popisující dynamické vlastnosti tohoto ekologického systému. Označme *x1 (t)* počet ovcí v čase *t* a *x2 (t)* počet vlků v čase *t*. Stavové rovnice takového systému jsou obvykle tvaru

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= ax_1(t) - bx_1(t)x_2(t) \\ \frac{dx_2}{dt} &= -cx_2(t) + dx_1(t)x_2(t) \end{aligned}$$

kde *a, b, c, d* jsou kladné konstanty.

Tento model má jednoduchou biologickou interpretaci. Nejsou-li vlci *x2(t)* =0, pak počet ovcí roste exponenciálně s faktorem růstu *a*. Nejsou-li ovce *x2(t)*=0, počet vlků exponenciálně klesá s faktorem -*c*. Tím jsou vysvětleny první členy na pravé straně diferenciálních rovnic. Vyskytují-li se v dané oblasti vlci i ovce, nastane mezi nimi vzájemné působení takové, že vlk uloví ovci, setká-li se s ní, (faktor -*b*) a vývoj populace vlků je úměrný dostupné potravě (faktor +*d*). Při náhodném pohybu obou zvířat je četnost setkání úměrná součinu počtu vlků a ovcí. Tím roste počet vlků a naopak klesá počet ovcí. To je význam druhých členů na pravé straně diferenciálních rovnic.

Chceme-li vyšetřovat lokální vlastnosti nelineárního systému, provádíme často jeho linearizaci. Lineární modely používáme proto, že se s nimi lépe pracuje a že v mnoha případech s dostatečnou přesností vyhovují.
Chování nelineárního systému při malých odchylkách veličin od nominálních trajektorií můžeme při rozumných vlastnostech tvořící funkce ***f*** a výstupní funkce ***g*** popsat lineárním modelem.

Linearizace stavových rovnic

Diskrétní dynamické systémy se skládají z posloupnosti událostí, o kterých předpokládáme, že probíhají mžikově v jednotlivých navzájem izolovaných časových okamžicích. Co se děje mezi těmito okamžiky, není podstatné.
Velké množství fyzikálních objektů můžeme popsat diskrétním systémem. Jsou to například a různé organizační postupy ve výrobě nebo v administrativě.
I objekty, jejichž veličiny jsou spojitými funkcemi času, můžeme popsat diskrétním způsobem. Provedeme to jednoduše tak, že veličiny v objektu měříme v diskrétních okamžicích. Průběhy mezi těmito okamžiky bud ignorujeme, nebo sledujeme jiným způsobem.

Stavové rovnice diskrétních systémů

U diskrétního systému je množina časů *T* množinou celých čísel. Diskrétní čas budeme na rozdíl od spojitého času *t* značit písmenem *k*, $k \in T = \{\ldots, 0, 1, 2, \ldots\}$. Diskrétní systém je systém, který zpracovává posloupnost hodnot řídicích veličin ***u****(k)* a vydává posloupnost hodnot výstupních veličin ***y****(k)*. Vyjdeme-li z obecné definice dynamického systému, pak můžeme vývoj stavu diskrétního systému psát ve tvaru

$$\boldsymbol{x}(k+1) = \boldsymbol{\varphi}(k+1, k, \boldsymbol{x}(k), \boldsymbol{u}(k))$$

Přechodová funkce stavu $\boldsymbol{\varphi}(k+1, k, \boldsymbol{x}, \boldsymbol{u})$ zde ukazuje vývoj stavu za jeden časový krok (od času *k* do času *k+1*) působením řízení ***u****(k)*. Zavedeme si nové značení

$$\boldsymbol{\varphi}(k+1, k, \boldsymbol{x}, \boldsymbol{u}) = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}(k), \boldsymbol{u}(k), k)$$

potom stavové rovnice diskrétního systému můžeme psát ve tvaru

$$\begin{aligned} \boldsymbol{x}(k+1) &= \boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}(k), \boldsymbol{u}(k), k) \\ \boldsymbol{y}(k) &= \boldsymbol{g}(\boldsymbol{x}(k), \boldsymbol{u}(k), k) \end{aligned}$$

Povšimněte si analogie se stavovými rovnicemi spojitého systému. Předchozí stavové rovnice jsou stavové rovnice nelineárního diskrétního systému. Je-li diskrétní systém lineární, pak funkce $\boldsymbol{f}$ i $\boldsymbol{g}$ jsou lineární vůči stavu a řízení. Můžeme je tedy vyjádřit pomocí matic podobně jako u spojitého systému. Stavové rovnice lineárního diskrétního systému jsou potom ve tvaru

$$\begin{aligned} \boldsymbol{x}(k+1) &= \boldsymbol{M}\boldsymbol{x}(k) + \boldsymbol{N}\boldsymbol{u}(k) \\ \boldsymbol{y}(k) &= \boldsymbol{C}\boldsymbol{x}(k) + \boldsymbol{D}\boldsymbol{u}(k) \end{aligned}$$

kde $\boldsymbol{M}(k)$ je matice diskrétního systému rozměru (n x n),
$\boldsymbol{N}(k)$ matice řízení rozměru (n x r) a
$\boldsymbol{C}(k)$, $\boldsymbol{D}(k)$ jsou výstupní matice rozměrů (m x n), (m x r).
Lineární diskrétní systém popsaný stavovými rovnicemi je tedy plně charakterizován čtveřicí matic $(\mathbf{M}, \mathbf{N}, \mathbf{C}, \mathbf{D})_n$.

Z výše uvedeného je zřejmé, že pro analýzu dynamických systémů je využíván poměrně složitý aparát založený na řešení diferenciálních rovnic. V praxi se tento postup využívá převážně u technických oborů.
Pro analýzu ekonomických, společenských či jiných netechnických vědních disciplín se s úspěchem využívají metody strukturální analýzy speciálně vyvinuté pro řešení dynamických systémů. Tyto metody jsou založeny na méně náročné grafické analýze, mají však již poměrně kvalitní návaznost na matematický aparát. Mezi tyto metody patří především analýza dynamických systémů pomocí Petriho sítí.

10.2 Úvod do Petriho sítí

PRŮVODCE STUDIEM 17

Pro zkoumání systémů v procesu systémové analýzy existuje mnoho metod a způsobů, závislých na požadovaných výsledcích analýzy.

Přístup k analýze a volbu metody ovlivňuje požadavek na zkoumané veličiny, které mohou charakterizovat strukturu systému, datové toky, stavy systému, časové závislosti apod.

Pokud máte analyzovat dynamický systém, je jedním z nástrojů metoda Petriho sítí.

Vychází z klasické teorie grafů. Zavádí však nové nástroje pro popis přechodu mezi stavy systému.

Petriho sítě jako prostředek popisu dynamických systémů

Za dynamický systém považujeme systém, jehož stav lze popsat konečnou množinou stavových proměnných. Okamžitý stav systému určuje jeho následné chování. Znamená to tedy, že určuje další hodnoty stavových proměnných v čase.

V ekonomických systémech mohou být stavovými veličinami produkce, spotřeba, investice, skladové zásoby, míra inflace, úrokové sazby apod.

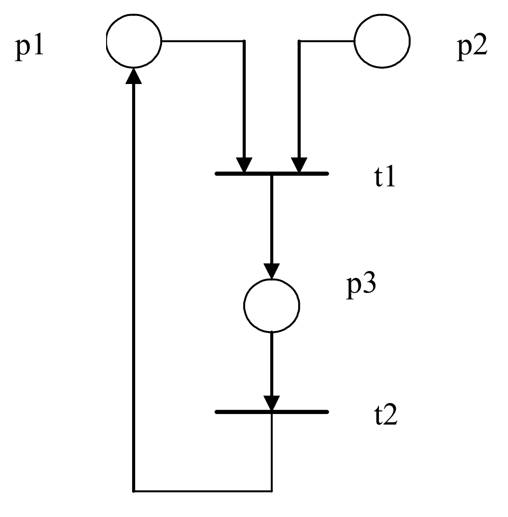
K ZAPAMATOVÁNÍ 28

Dynamické systémy jsou obecně charakterizovány stavem a událostí. Stav systému lze charakterizovat jako vlastnost, kterou lze v daném časovém okamžiku rozeznat. Jako událost můžeme chápat přímo změnu stavu systému. Vzhledem k tomu, že změny stavů jsou definovány pomocí přechodové funkce, používá se pro vyjádření události termín přechod.
Aplikujeme-li takto zavedený popis dynamického systému do roviny teorie grafů, můžeme popsat systém následovně:

a) uzly P (podmínky, místa)
b) uzly T(události, přechody)
c) F (orientované hrany z míst do přechodů)
d) B (orientované hrany z přechodů do míst)

P,T,F a B jsou množiny příslušných prvků

Takto popsané systémy se označují jako Petriho sítě.



Obrázek 10-2: graf Petriho sítě.

Klasifikace Petriho sítí

Petriho sítě byly postupně modifikovány tak, aby jejich modelovací schopnost vyhověla praktickým potřebám. V různé literatuře se nepoužívá vždy shodné členění ani popis jednotlivých typů, my se dohodneme na následujícím členění.

- C/E (Condition/Event) Petriho sítě,
- P/T (Place/Transitions) Petriho sítě,
- Petriho sítě s inhibitory,
- Barevné Petriho sítě,
- Hierarchické Petriho sítě.

K ZAPAMATOVÁNÍ 29

. **C/E Petriho sítě** *(Condition/Event Petri Nets)* je definována:

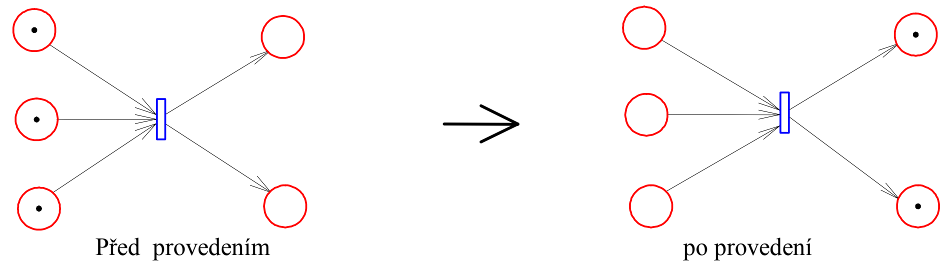
a) podmínkami (conditions) zobrazovanými kroužky,
b) událostmi (events) zobrazovanými obdélníky (případně úsečkami),
c) hranami (relacemi) vedoucími od podmínek k událostem,
d) hranami (relacemi) od událostí k podmínkám,
e) tokeny (zobrazenými tečkami v kroužcích podmínek) indikujícími logický stav podmínek.

Takto definované Petriho sítě se nazývají taky "značenými" Petriho sítěmi Značení bývá dané funkcí M(p). Funkce přiděluje každé podmínce celočíselnou hodnotu (např. časovou konstantu). Rozmístění značek (tokenů) je možno chápat jako stav sítě. Změna stavu systému nastane spuštěním přechodu (tj. vznikem události, realizací akce ap.) za podmínky, za které je přechod povolen.

- Podmínka p_i je vstupní podmínkou (precondition) události t_i, jestliže od podmínky pi existuje orientovaná hrana f_i k události t_i,
- podmínka p_j je výstupní podmínkou (post condition) události t_j, jestliže od události t_j existuje orientovaná hrana k podmínce p_j,
- každá podmínka je vždy buď splněna nebo nesplněna,
- každá splněná podmínka je indikována tokenem,
- stav sítě je zadán podmínkami, které jsou v daném okamžiku splněny.

Změny stavů C/E Petriho sítě probíhají podle následujících pravidel:

- událost může nastat, jsou-li současně všechny její vstupní podmínky splněny a všechny její výstupní podmínky nesplněny - takovou událost nazýváme proveditelnou,
- provedena může být pouze proveditelná událost,
- po provedení proveditelné události jsou všechny její výstupní podmínky splněny a všechny její vstupní podmínky nesplněny.

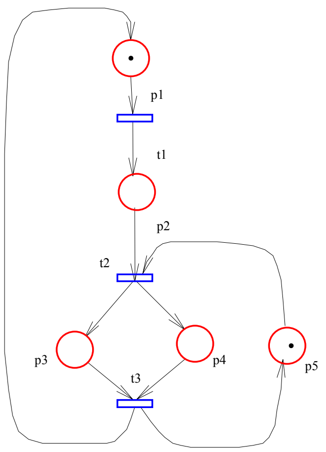


Obrázek 10-3: C/E Petriho sítě.

ÚKOL K ZAMYŠLENÍ 2

Příklad 1 – pokuste se na daném příkladě provést aktivace jednotlivých procesů

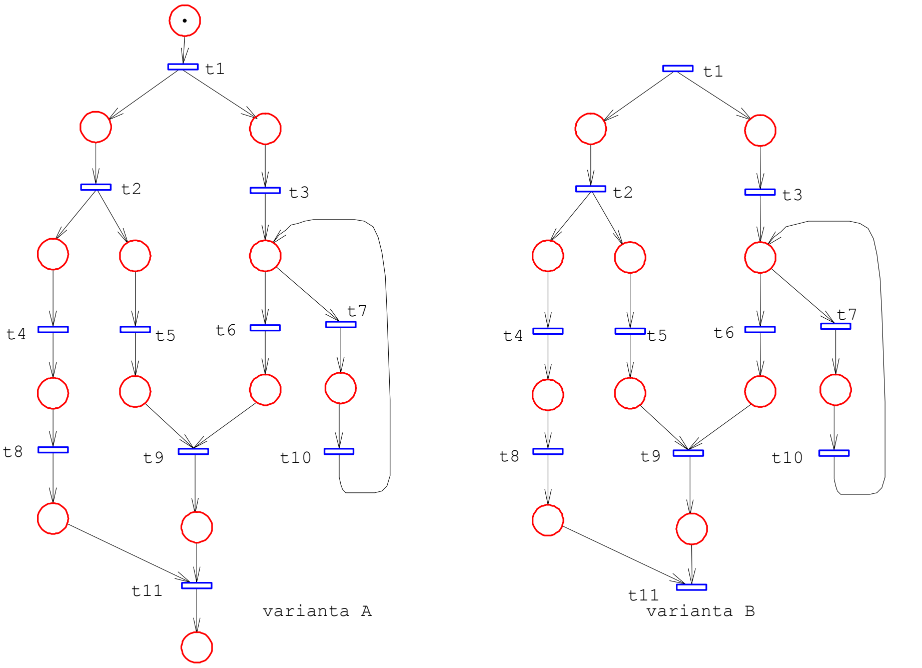
Systém popsaný pomocí C/E Petriho sítě. Cyklický proces, který čas od času potřebuje využívat nějaký zdroj. (např. výrobní proces který za určitých podmínek aktivuje expedici výrobku)



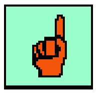
p1 : proces činný bez potřeby zdroje
p2 : proces žádá o přidělení zdroje
p3 : proces využívá zdroj
p4 : zdroj je využíván
p5 : zdroj není využíván
t1 : vznik požadavku na zdroj
t2 : počátek využívání zdroje
t3 : ukončení využívání zdroje

Obrázek 10-4: výrobní proces

C/E Petriho síť reprezentující paralelní program.
(Např. výroba, ve které výrobní procesy t4,t5,t3 nebo t8,t5,t7 nebo t8,t5,t10 nebo t8,t9 atd.) mohou probíhat současně.)



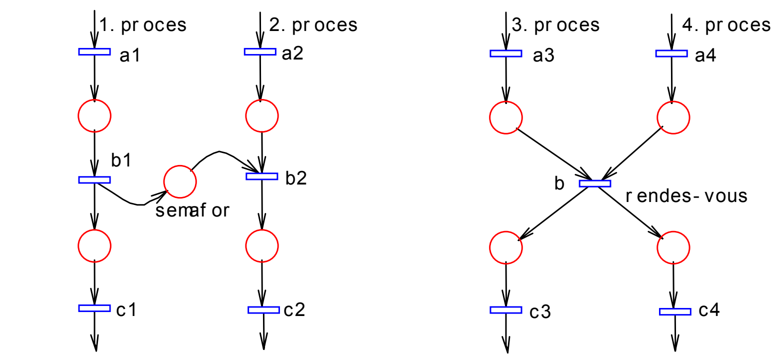
Obrázek 10-5: paralelní procesy



Synchronizaci paralelních procesů můžeme v Petriho sítích realizovat

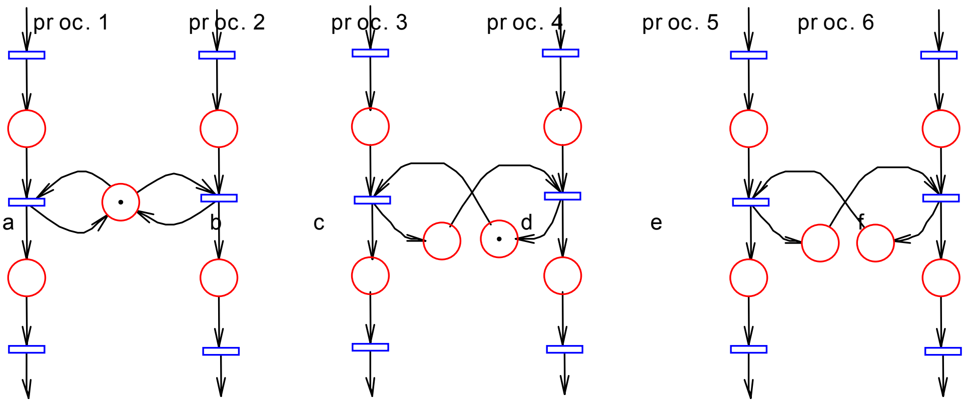
a) pomocí semaforu,
b) pomocí tzv. rendes-vous.

Proces 1. nastavuje semafor na "volno" pro proces 2. (událost b2 nemůže nastat dříve než událost b1), který jej za sebou shazuje (nastavuje na "stát").
Událost b představuje schůzku /rendes-vous/ procesů 3.a 4., kterákoliv z událostí c3,c4 může nastat až po uskutečnění obou dvou událostí a3,a4.



Obrázek 10-6: Synchronizace procesů

Následující fragmenty Petriho sítí, ilustrují některé další typické obraty při modelování paralelních procesů: vyloučení souběhu činnosti v tzv. kritické sekci a zabezpečení pravidelného střídání dvou činností. Na následujícím obrázku je rovněž zobrazen triviální případ tzv. deadlocku (uzamčení). Události a,b procesů 1 a 2 nemohou nastat (činnosti a,b nemohou probíhat) současně. Události c,d procesů 3 a 4 se musí pravidelně střídat. Žádná z událostí e,f nemůže nikdy nastat.



Obrázek 10-7: Kritická sekce, střídání událostí, triviální deadlock

K ZAPAMATOVÁNÍ 30

P/T Petriho sítě *(Place/Transitions PN)*

P/T Petriho síť je tvořena následujícími objekty:

a) místy (places), graficky reprezentovanými kružnicemi,
b) přechody (transitions), graficky reprezentovanými obdélníky,
c) orientovanými hranami (arcs), graficky reprezentovanými šipkami směřujícími od míst k přechodům nebo od přechodů k místům,
d) udáním kapacity (capacity indication) pro každé místo sítě, tj. přirozeného čísla udávajícího maximální počet tokenů, který se může v místě nacházet,
e) udáním váhy (weight) pro každou hranu sítě, tj. přirozeného čísla udávajícího násobnost hrany,
f) udáním počátečního značení (initial marking), udávajícího počet tokenů pro každé místo sítě.

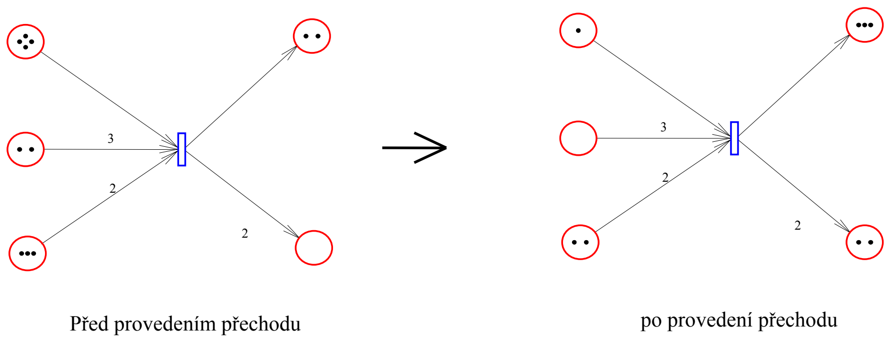
Kapacity míst a násobnosti hran se na grafovém diagramu objevují jako ohodnocení míst a hran. Hranu bez ohodnocení považujeme za jednoduchou (s násobností 1) a místo bez ohodnocení považujeme za místo s neomezenou (nekonečnou) kapacitou.

K ZAPAMATOVÁNÍ 31

Změny stavů (značení) sítě jsou charakterizovány následujícími pravidly:

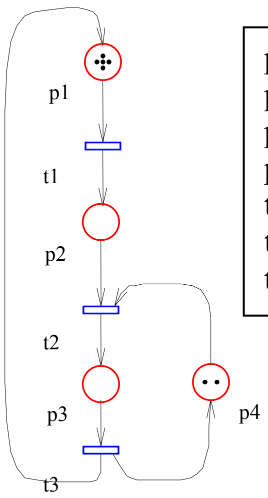
a) stav sítě je určen značením, tj. počtem tokenů v každém místě,
b) místo p patří do vstupní množiny (pre-set) přechodu t, jestliže z místa p vede hrana do přechodu t a místo p patří do výstupní množiny (post-set) přechodu t, jestliže z přechodu t vede hrana do místa p,
c) přechod t je proveditelný (enabled, activated), jestliže:
   - pro každé místo p vstupní množiny přechodu t platí, že obsahuje alespoň tolik tokenů, kolik činí násobnost hrany z místa p do přechodu t,
   - pro každé místo p výstupní množiny přechodu t platí, že počet tokenů obsažených v místě p zvětšený o násobnost hrany, mířící z přechodu t do místa p, nepřevyšuje kapacitu místa p,
d) při provedení (firing) proveditelného přechodu t se změní stav /značení/ sítě takto:
   - počet tokenů v každém vstupním místě p přechodu t se zmenší o násobnost hrany spojující toto místo s tímto přechodem,
   - počet tokenů v každém výstupním místě p přechodu t se zvětší o násobnost hrany spojující toto místo s tímto přechodem.

C/E Petriho síť je speciálním případem P/T Petriho sítě, ve které kapacita každého místa a násobnost každé hrany je rovna 1.



Obrázek 10-8: Změna stavu po provedení proveditelného přechodu

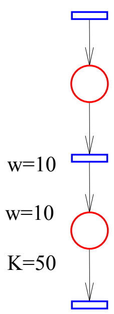
P/T Petriho síť zobrazující pět cyklických procesů (pět exemplářů téhož procesu) využívajících dva zdroje (dva exempláře téhož zdroje). Např. se může jednat o pět bankovních přepážek společně využívající dvě místa výplaty peněz (pokladny).



p1: počet procesů nevyužívajících zdroj
p2: počet procesů čekajících na zdroj
p3: počet procesů využívajících zdroj
p4: počet nevyužitých zdrojů
t1: vznik požadavku na přidělení zdroje
t2: přidělení zdroje procesu
t3: uvolnění zdroje procesem

Obrázek 10-9: Pět procesů a dva zdroje

P/T síť zobrazujících pohyb zboží v regálu supermarketu. Platí pravidla, že počet kusů v regálu z kapacitních důvodů v žádném okamžiku nesmí překročit 50 a že do regálu se doplňuje zboží po 10 kusech. Zboží se prodává po jednotlivých kusech.

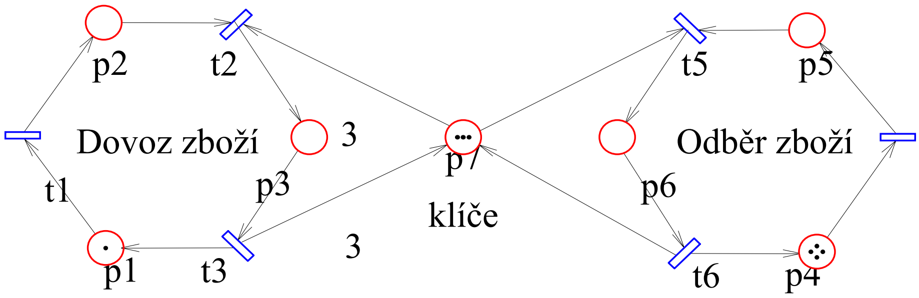


t1: dovoz zboží do skladu hypermarketu
p1: zboží (kusy) ve skladě
t2: doplnění 10 ks zboží do regálu
p2: počet ks zboží v regálu (max 50)
t3: prodej zboží (po 1 ks)

Obrázek 10-10: oběh zboží v hypermarketu

Máme sklad, ze kterého odebírají zboží 4 skladníci. Současně mohou zboží odebírat 3 skladníci. V době, kdy se zboží do skladu přiváží, nemůže odebírat žádný skladník.

Systém tedy zahrnuje čtyři procesy (odběry jednotlivých skladníků) a jeden proces (nové zboží do skladu). Systém je implementován pomocí tzv. klíčů, které jsou v systému celkem 3. K tomu, aby proces (skladník) mohl odebírat ze skladu musí získat jeden klíč, k tomu, aby mohlo být zboží do skladu přivezeno musí získat všechny tři klíče (nesmí povolit odebírat skladníkům).



Obrázek 10-11: proces řízení skladu realizovaný pomocí klíčů

Význam míst a přechodů:

- p1: neexistence potřeby plnění skladu
- t1: vznik potřeby plnění skladu
- p2: čekání na plnění skladu (čekání na tři klíče)
- t2: získání povolení plnění skladu
- p3: plnění skladu
- t3: ukončení plnění skladu (vrácení tří klíčů)
- p4: neexistence potřeby odebírání ze skladu
- t4: vznik potřeby odběru ze skladu
- p5: čekání na povolení odběru (čekání na jeden klíč)
- t5: získaní povolení odběru
- p6: odběr
- t6: ukončení odběru (vrácení klíče)
- p7: počet disponibilních klíčů

K ZAPAMATOVÁNÍ 32

Petriho sítě s inhibičními hranami *(PN with inhibitors)*
Petriho síť s inhibičními hranami je tvořena následujícími objekty:

- místy (places), graficky reprezentovanými kružnicemi,
- přechody (transitions), graficky reprezentovanými obdélníky,
- vstupními hranami (input arcs) směřujícími od míst k přechodům a zobrazenými orientovanými úsečkami zakončenými šipkou,
- výstupními hranami (output arcs) směřujícími od přechodů k místům a zobrazenými orientovanými úsečkami zakončenými šipkou,
- inhibičními hranami (inhibitor arcs) směřujícími od míst k přechodům a zobrazenými orientovanými úsečkami zakončenými kroužkem,
- udáním kapacity (capacity indication) pro každé místo sítě, tj. přirozeného čísla udávajícího maximální počet tokenů, který se může v místě nacházet,
- udáním váhy (weight) pro každou hranu sítě, tj. přirozeného čísla udávajícího násobnost hrany,
- udáním počátečního značení (initial marking), udávajícího počet tokenů pro každé místo sítě.

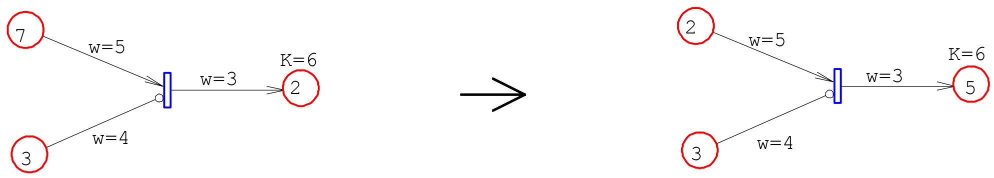
Kapacity míst a násobnosti hran se na grafovém diagramu objevují jako ohodnocení míst a hran. Hranu bez ohodnocení považujeme za jednoduchou (s násobností 1) a místo bez ohodnocení považujeme za místo s neomezenou (nekonečnou) kapacitou.

Změny stavů (značení) sítě jsou charakterizovány následujícími pravidly:

- stav sítě je určen značením, tj. počtem tokenů v každém místě,
- místo p patří do vstupní množiny přechodu t, jestliže z místa p vede hranu do přechodu t a místo p patří do výstupní množiny přechodu t, jestliže z přechodu t vede hranu do místa p, místo p patří do vstupní inhibiční množiny přechodu t, jestliže z místa p vede hranu do přechodu t
- přechod t je proveditelný (enabled), jestliže:
    - pro každé místo p vstupní množiny přechodu t platí, že obsahuje alespoň tolik (≥) tokenů, kolik činí násobnost hrany z místa p do přechodu t,
    - pro každé místo p vstupní inhibiční množiny přechodu t platí, že obsahuje méně (<) tokenů než kolik činí násobnost hrany z místa p do přechodu t,
    - pro každé místo p výstupní množiny přechodu t platí, že počet tokenů obsažených v místě p zvětšený o násobnost hrany, mířící z přechodu t do místa p, nepřevyšuje kapacitu místa p,

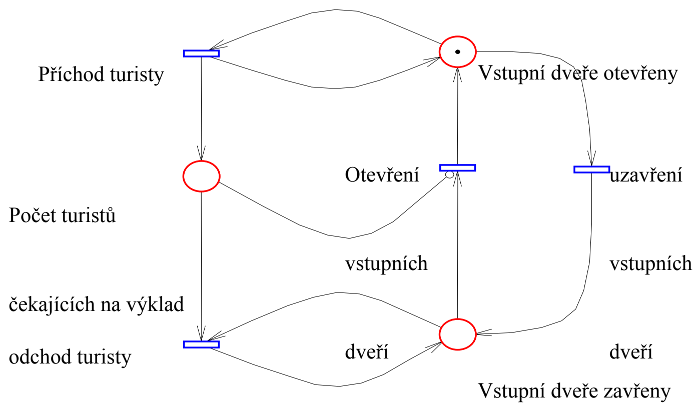
- při provedení (firing) proveditelného přechodu t se změní stav (značení) sítě takto:
    - počet tokenů v každém místě vstupní množiny přechodu t se zmenší o násobnost hrany spojující toto místo s tímto přechodem,
    - počty tokenů ve všech místech vstupní inhibiční množiny přechodu t zůstávají beze změny,
    - počet tokenů v každém výstupním místě přechodu t se zvětší o násobnost hrany spojující toto místo s tímto přechodem.

P/T Petriho síť je speciálním případem Petriho sítě s inhibitory, ve které je množina inhibičních hran prázdná.



Obrázek 10-12: Změna značení po provedení proveditelného přechodu

Mějme systém obsluhy turistů při prohlídce galerie. Turisté jsou pouštěni do galerie a dříve než začne výklad průvodce se uzavřou vstupní dveře. Turisté odcházejí jednotlivě jinými dveřmi. Vstupní dveře se otevřou až je průvodcem vysvětlen výklad všem turistům a odejde poslední turista. Až se nashromáždí dostatečný počet dalších turistů, vstupní dveře se opět zavřou a započne se s obsluhou.



Obrázek 10-13: Systém turistů v galerii

K ZAPAMATOVÁNÍ 33

Barevné Petriho sítě *(Coloured Petri Nets)*

Barevná Petriho síť je tvořena následujícími objekty:

- místy (places), graficky reprezentovanými kružnicemi,
- přechody (transitions), graficky reprezentovanými obdélníky,
- vstupními hranami (input arcs) směřujícími od míst k přechodům a zobrazenými orientovanými úsečkami zakončenými šipkou,
- výstupními hranami (output arcs) směřujícími od přechodů k místům a zobrazenými orientovanými úsečkami zakončenými šipkou,
- inhibičními hranami (inhibitor arcs) směřujícími od míst k přechodům a zobrazenými orientovanými úsečkami zakončenými kroužkem,
- typy tokenů; každý token je objekt určitého typu (individuum patřící do určité třídy), neboli obrazně: každý token má svou barvu, která patří do určité množiny barev (colour sets),
- vektorovou kapacitou (capacity indication) pro každé místo sítě, tj. vektoru přirozených čísel udávajících maximální počty tokenů jednotlivých typů, které se mohou v místě nacházet,
- ohodnocením přechodů booleovskými výrazy (guard functions) utvořenými z proměnných a konstant, jejichž typy jsou podmnožinou množiny tokenových typů; splnění podmínky (booleovského výrazu) přechodu je nutnou podmínkou jeho provedení,
- ohodnocením hran výrazy (arc expressions) utvořenými z proměnných a konstant, jejichž typy jsou podmnožinou množiny tokenových typů; hodnotou hranových výrazů jsou multimnožiny nad množinou tokenových typů,
- počátečním značením (initial marking), udávajícího počet tokenů jednotlivých typů pro každé místo sítě.

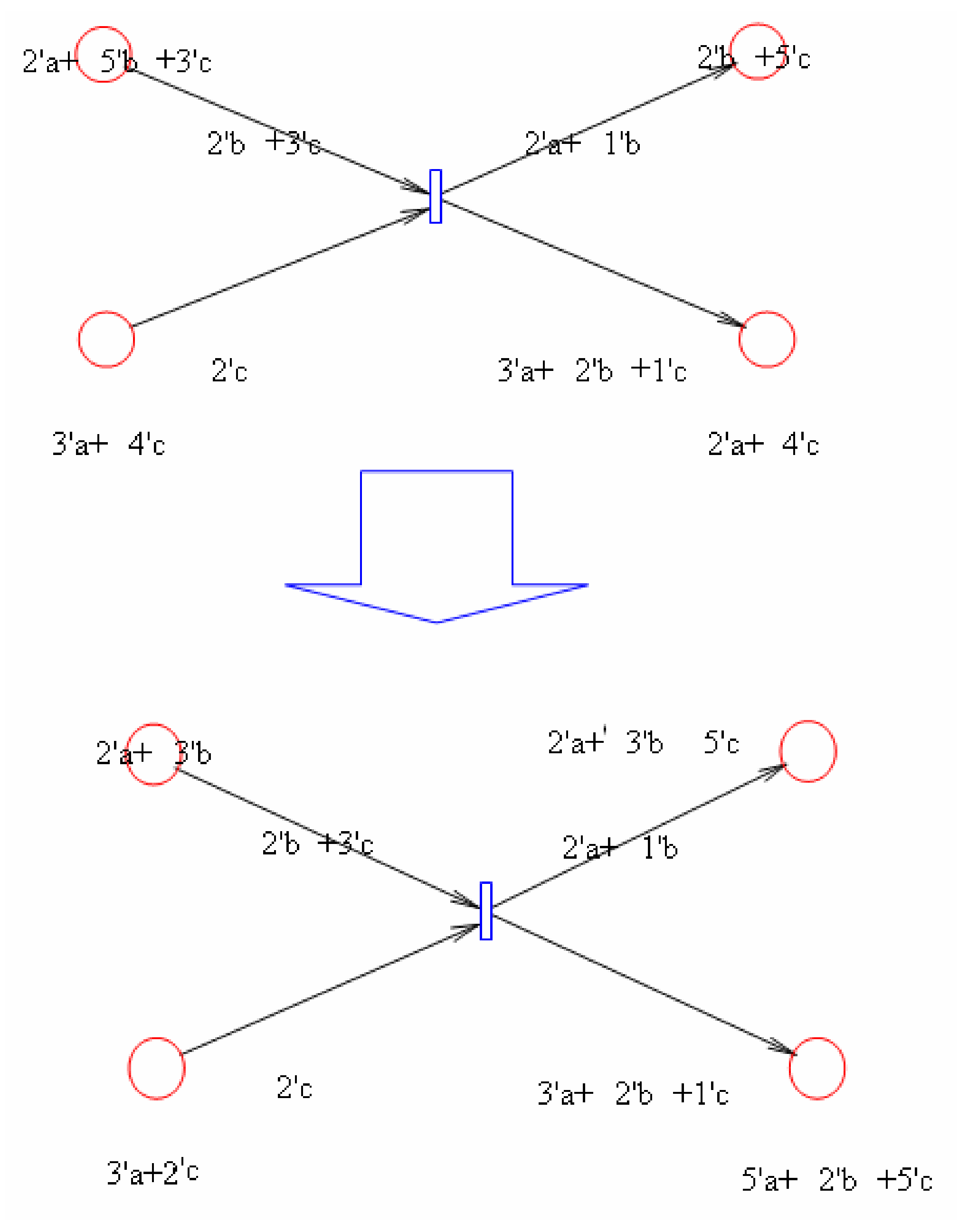
Značení jednotlivých míst, kapacity jednotlivých míst, jakož i výsledky vyhodnocení hranových výrazů lze vyjádřit jako symbolické lineární kombinace tokenových typů. Např. zápis 3'A + 5'B + 2'C značí, že místo obsahuje tři tokeny typu A, 5 tokenů typu B a 2 tokeny typu C.
Označíme-li takto kapacitu místa, pak to znamená, že dané místo nemůže obsahovat více než tři tokeny typu A, 5 tokenů typu B a 2 tokeny typu C.
Jedná-li se o ohodnocení hrany, pak to znamená, že v případě provedení přechodu přechází po hraně (do nebo z přechodu) právě uvedená kombinace typů tokenů.

Změny stavů (značení) C/E Petriho sítě jsou charakterizovány následujícími pravidly:

- **přechod t je proveditelný** (enabled), jestliže (enabling rule):
  - kombinace tokenů obsažená v každém vstupním místě p přechodu t je větší nebo rovná ohodnocení hrany, která vede z místa p do přechodu t,
  - kombinace tokenů obsažená v každém místě p vstupní inhibiční množiny je menší než je ohodnocení hrany, která vede z místa p do přechodu t,
  - pro každé místo p výstupní množiny přechodu t platí, že kombinace tokenů obsažená v místě p zvětšená o ohodnocení hrany, mířící z přechodu t do místa p, nepřevyšuje kapacitu místa p,
  - je splněná podmínka přechodu
- **při provedení** (firing) proveditelného přechodu t **se změní stav** (značení) sítě takto (firing rule):
  - kombinace tokenů v každém místě vstupní množiny přechodu t se zmenší o kombinaci, kterou je ohodnocena hrana spojující toto místo s přechodem t,
  - kombinace tokenů ve všech místech vstupní inhibiční množiny přechodu t zůstávají beze změny,
  - kombinace tokenů v každém výstupním místě přechodu t se zvětší o kombinaci, kterou je ohodnocena hrana spojující toto místo s přechodem t.

Petriho síť s inhibitory je speciálním případem barevné Petriho sítě, která pracuje pouze s jedinou a to jednoprvkovou množinou barev.

Na následujícím obrázku je ilustrován pojem proveditelnosti přechodu a změna značení po jeho provedení. Na obrázku je zobrazen případ, kdy kapacity všech míst jsou neomezené, podmínky spojené s přechody jsou vždy splněny, do přechodu nevstupuje žádná inhibiční hrana a hranové výrazy netřeba vyhodnocovat, protože jsou kombinacemi konstant (tokenových typů a,b,c).



Obrázek 10-14: Proveditelnost a provedení přechodu

K ZAPAMATOVÁNÍ 34

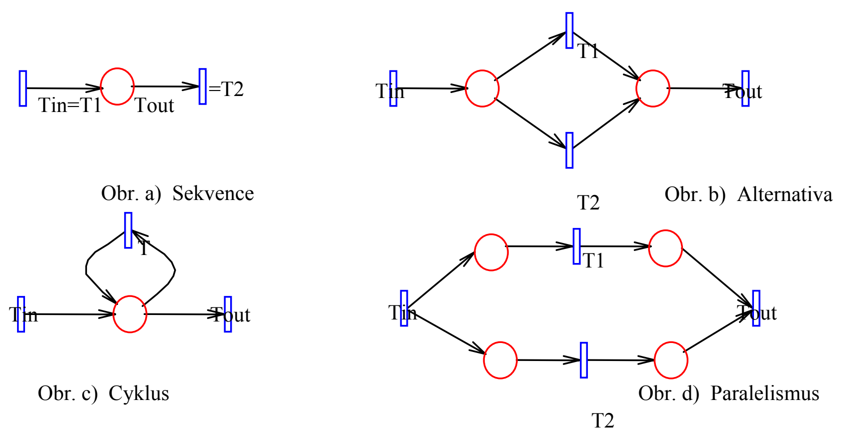
Hierarchické Petriho sítě (Hierarchical PN)

Jednoúrovňový způsob navrhování a modelování systémů má řadu známých nevýhod:

- ztráta přehledu, záběr příliš mnoha detailů v jednom okamžiku,
- žádné nebo nedostatečné zobrazení struktury systému,
- pracný návrh, malá spolehlivost navrženého systému, obtížná údržba systému.

Hierarchický způsob návrhu a modelování tyto nedostatky překonává a vyznačuje se následujícími přednostmi:

- rozdělení systému do dobře definovaných komponent,
- zakrytí vnitřní struktury komponent při práci s komponentami,
- možnost vícenásobného užití komponent při návrhu systému,
- možnost návrhu systému metodou "shora dolů" i "zdola nahoru",
- možnost paralelní práce při návrhu, snadná údržba systému.



Obrázek 10-15: Základní konstrukce hierarchicky členěných systémů

SHRNUTÍ

Σ

Shrnutí

Při návrhu a modelování systémů pomocí Petriho sítí různé úrovně obecnosti (C/E sítě, P/T sítě, sítě s inhibitory, barevné Petriho sítě) lze používat různé hierarchizační konstrukty

- substituce přechodů
- substituce míst
- volání přechodů
- volání míst
- slučování přechodů
- slučování míst

Při substituci přechodu je daný přechod v dané síti nahrazen složitější sítí, která poskytuje podrobnější popis aktivity, kterou reprezentuje substituovaný přechod.

Část věnovaná Petriho sítím má posloužit jako názorný příklad použití teorie grafů při řešení dynamických systémů.
Nebudu u zkoušek požadovat detailní znalost. Postačující bude znalost principu C/E Petriho sítí, klasifikace a základní jevy v síti .
Příklady Vám mají sloužit jako vodítko k pochopení principu.

SHRNUTÍ KAPITOLY DYNAMICKÉ SYSTÉMY

Σ

Shrnutí

V této kapitole jste se naučili základní práci s dynamickými systémy. Na příkladech jste viděli zápis jednoduchého biologického systému formou matematického modelu. Naučili jste se rozpoznat vlastnosti dynamických systémů a z toho plynoucí klasifikaci. V části věnované Petriho sítím jste na praktických ukázkách mohli sledovat metody analýzy jevů v dynamických systémech.

Dynamické systémy se používají především v oblastech, kde je nutné řídit nebo regulovat chování systémů. Z toho plyne i matematický aparát diferenciálních rovnic.

KORESPONDENČNÍ ÚKOL 9

Na řešeném příkladě o vlcích a ovcích jste viděli zjednodušený přístup k modelování. Vytvořte analogickou úlohu z oblasti ekonomie.

PRŮVODCE STUDIEM 18

V předchozích kapitolách jste se seznámili se statickými a dynamickými systémy. Jistě jste si povšimli (a bylo to několikrát zdůrazněno), že při analýze dochází k prolínání jednotlivých systémových disciplín. Proto si v následující části ukážeme možné aplikace jednotlivých systémových věd a seznámíte se s jejich obsahem a oblastmi nasazení.

Průchod modulem

11 APLIKACE TEORIE SYSTÉMŮ

RYCHLÝ NÁHLED DO PROBLEMATIKY KAPITOLY APLIKACE TEORIE SYSTÉMŮ	
Aplikační systémové teorie vycházejí z obecné teorie systémů , která tvoří základné pojmový a metodologický rámec. V předchozím textu jste si mohli několikrát všimnout, že jednotlivé aplikační disciplíny se překrývají nejenom obsahově ale vzájemně využívají i své metody, nástroje a matematický aparát. Mezi základní aplikační disciplíny patří operační analýza. tu vymezujeme jako způsob řešení složitého ekonomického problému. Při řešení úkolu využívá matematického modelování a souboru speciálních matematických metod. Další aplikační disciplína, systémové inženýrství, usiluje na rozdíl od operační analýzy o stanovení optimálních podmínek pro chod procesů. Při analýze používáme dále např. systémové projektování, systémové řízení apod. Některé aplikační disciplíny zaznamenávají ve dnešní době útlum, např. kybernetika či teorie automatizovaného řízení. Některé disciplíny, jako např. synergetika, se naopak stále více rozvíjejí.	*Rychlý náhled*

CÍLE KAPITOLY APLIKACE TEORIE SYSTÉMŮ

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět: • Budete se orientovat v aplikačních systémových disciplínách, orientovat se v jejich oblastech nasazení , metodologii a nástrojích	*Budete umět*
Získáte: • Přehled o jednotlivých aplikačních disciplínách.	*Získáte*
Budete schopni: • Požít vhodné metody a nástroje pro analýzu, modelování a řešení obecných problémů	*Budete schopni*

ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

Celkový doporučený čas k prostudování KAPITOLY je **dvě hodiny**

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY APLIKACE TEORIE SYSTÉMŮ

Teorie systémů, obecná TS, konstruktivní TS, operační analýza, operační výzkum, systémové plánování, systémové řízení, praxeologie, synergetika

Klíčová slova

Teorie systémů vytváří teoretické základy pro ostatní systémové disciplíny. Využívání metodologie a nástrojů teorie systémů umožnilo rozvinutí aplikačních systémových věd.

11.1 Obecná teorie systémů

Obecná teorie systémů

Teorie systémů vytváří teoretické základy pro ostatní systémové disciplíny. Využívání metodologie a nástrojů teorie systémů umožnilo rozvinutí aplikačních systémových věd.
Charakteristickými znaky jsou:

- interdisciplinární přístup
- studium komplexity a vztahu celku a jeho částí (holismus)

Základním rysem teorie systémů je snaha najít společné rysy složitých systémů napříč disciplinami; (později došlo k určité rezignaci na nalezení univerzálních systémových principů a zákonitostí).

Teorie systémů je disciplínou obsahující větší počet navzájem diferencovaných teoretických koncepcí. Stupeň propracování těchto koncepcí se různí, liší se i stupeň jejich vzájemné diferenciace.

K nejzávažnějším z těchto směrů patří *teorie obecných systémů*, z niž mnohé další směry vycházejí a na niž navazují. *Základy teorie obecných systémů* byly vypracovány biologem Bertalanffym přibližně v letech 1949 - 1952. Teorie obecných systémů navázala na teorii otevřených systémů.

Soubor problémů, jimiž se teorie obecných systémů zabývá se zaměřuje na:

Soubor problémů

- vytvoření obecné systémové terminologie,
- studium metajazyků pro popis pojmů i vztahů mezi nimi,
- nalezení formálně analogických zákonů platných ve více oborech a vedoucích postupně ke sjednocení vědy,
- studium matematického izomorfizmu mezi systémy,
- formalizování přístupu k definování systému na objektu a k definování subsystému v systému,
- studium podmínek existence systému,
- studium možných způsobů chování systému a studium podmínek ovladatelnosti tohoto chování,
- studium cílů systému a metod testování chování systému z hlediska stanoveného cíle.

Podle Mesaroviče existují čtyři základní přístupy k rozvíjení teorie obecných systémů:

Základní přístupy

1. Přístup usilující o propracování formalizovaných způsobů definování systému a jeho zobrazení. Formální zobrazení je východiskem pro řešení různých systémových úloh pomocí matematického aparátu. Jde v podstatě o různé koncepce matematické teorie systémů.
2. Přístup usilující jen o slovní popis systému a bránící se formalizaci vzhledem k tomu, že formalizace snižuje obecný charakter přístupu. Tento směr usiluje o výměnu vědeckých poznatků mezi vědci různých oborů tj. hledání analogií.
3. Přístup považující systémovou teorii pouze za nástroj, který se použije k řešení daného praktického problému.
4. Přístup usilující o vytvoření dostatečně rozsáhlé kolekce metod pro syntézy různého druhu bez usilování o další zobecňování.

Na základě teorie systémů, systémového řízení a systémového inženýrství se formovala *konstruktivní teorie systémů*.

Konstruktivní teorie systémů

Jejím smyslem je propracovat formulaci opakovatelných úloh v různých systémech řízení, úlohy formalizovat, vymezit pro ně nutné a postačující podmínky, vytvořit banku metod umožňujících takové úlohy řešit a interpretovat jejich výsledky, zajistit vazby mezi úlohami a jejich interpretací dosáhnout teoretické možnosti navrhovat pro dané objekty vhodné systémy řízení nebo stávající systémy řízení vhodným způsobem modifikovat. Aplikace konstruktivní teorie systémů mají těsnou vazbu se systémovým inženýrstvím, systémovým projektováním, systémovou analýzou a návrhem.

Konstruktivní teorie systémů je zaměřena na takové objekty či situace, k jejichž řízení lze navrhovat ostré (tvrdé) řídicí metody.

Předmětem konstruktivní teorie systémů je vytvoření prostředků, které by umožňovaly realizaci systému s jeho rozpoznatelnými vlastnostmi. Realizace systému může mít více významů. Může jít o tvorbu systému jako souboru prostředků, které umožňují řízení již stávajících reálných objektů na základě analýzy jejich vlastností (realizace regulačních a řídících systémů).

Hlavním úkolem konstruktivní teorie systémů je:

- rozpoznat, resp. zavést systémové vlastnosti na reálném objektu (hlavním problémem je řešení relevantních vlastností objektu a podmínek jejich zobrazení v systémovém modelu, t.j. problematika identifikace systému a vytvoření modelu.),
- zvládnout objekt pomocí systémového modelu, resp. objektu (úkolem je se vypořádat se specifikou metod projektování a formulací nových úloh na systému včetně respektování náročnosti dat, metod a úloh.),
- zabezpečit funkce realizovaného objektu (jde o formulaci stavů, které mohou nastat v rámci reálného chování systému, jejich zajištění, měření odchylek od očekávaného chování a opatření, která směřují k zabezpečení další funkceschopnosti systému.).

Konstruktivní teorie systémů se snaží o nalezení takových metod a technik, pomocí kterých lze systémové vlastnosti, zavedené v obecné teorii, zobrazit, zavést, zvládnout a zabezpečit.

V systémovém inženýrství jde především o nalezení a využití efektivních pracovních postupů.

11.2 Systémové aplikační disciplíny

Systémové aplikační disciplíny se během minulých let až překvapivě teoreticky rozvinuly a i z hlediska využití zaznamenaly značné úspěchy, i když jejich teoretický rozvoj má vůči rozsahu a kvalitě jejich aplikací stále značný předstih. Některé z nich mají již dnes standardní náplň, jiné jsou ještě ve fázi, kdy svou náplň hledají, a konečně u některých se zjišťuje, že jde pouze o nový název pro již dříve známé metody a postupy a zanikají poměrně brzy po svém bouřlivém nástupu. Hlavní z nich se v dalším pokusíme stručně charakterizovat, upozorníme na jejich aplikační oblasti i na vzájemné vztahy těchto disciplín. Vzhledem k tomu, že o většině z nich existuje již dnes u nás dostupná literatura, bude výklad poměrně stručný.

11.2.1 Operační analýza

Operační analýzu vymezujeme jako *způsob řešení složitého ekonomického, organizačního, technického či vojenského problému týmem pracovníků různého odborného zaměření*. Při řešení úkolu se využívá matematického modelování a souboru speciálních matematických a statistických metod nazývaných někdy souborně *metodami operační analýzy*.

Operační výzkum – je *vědeckou metodou získávání kvantitativní základny pro rozhodování výkonných orgánů o operacích, které mají řídit.*

Novější publikace z operační analýzy se soustřeďují především na výklad matematických a statistických metod operační analýzy a výklad řešení problémů jistého typu pomocí různých metod téměř zanedbávají. V praxi se dnes při používání metod operační analýzy častěji setkáváme se snahou zavádět určitou metodu operační analýzy než snahou řešit pomocí metod operační analýzy komplexně určitý problém. Matematických metod operační analýzy je dnes mnoho, některé z nich jsou velmi podrobně propracovány. Uvedeme si zde stručný přehled těch z nich, které se při řešení problémů ekonomických systémů nejčastěji používají.

Metody matematického programování (lineárního, nelineárního, stochastického, dynamického). Převážně se používají k řešení takových ekonomických problémů, při nichž je k dispozici více druhů omezených zdrojů, vykonáváno více činností a každá z nich má jistý soubor nároků na zdroje. Chceme volit takovou kombinaci činností, aby byla pro nás z jistého hlediska ze všech možných kombinací nejvhodnější a respektovala daná omezení (optimální výrobní program, příprava optimálních krmných směsí, optimální program přepravy atd.).

Metody matematického programování

Modely strukturní analýzy (strukturní modely, bilanční modely) popisují podmínky existence rovnovážného stavu mezi zdroji a potřebami v daném celku. Lze jich používat k bilančním propočtům na různých úsecích plánování.

Modely strukturní analýzy

Metody síťové analýzy popisují časovou i technologickou závislost mezi souborem činností nutných k provedení složité akce (obyčejně realizace projektu). Usnadňují časové plánování prací a upozorňují na ty práce, jejichž zdržení by vyvolalo zdržení celé akce (činnosti ležící na kritické cestě).

Metody síťové analýzy

Modely hromadné obsluhy (modely teorie front) pomáhají řešit problémy vznikající v systému při vzájemném styku dvou souborů (dvou množin) prvků, a to:

- prvků, které mají být obslouženy (na nichž má být provedena jistá operace),
- prvků, které mají obsluhu poskytnout (provést jistou operaci).

Hledá se optimální relace mezi počtem obsluhujících a obsluhovaných prvků, optimální režimy práce obsluhujících prvků a pod.

Modely hromadné obsluhy

Sekvenční modely usnadňují vytvoření vhodné posloupnosti činností, které mohou být prováděny v různém pořadí, kde však na volbě pořadí závisí, např. celkové náklady na provedení všech činností, celková spotřeba času na provedení činností a pod.

Sekvenční modely

Modely teorie her usnadňují hledání vhodného rozhodnutí tehdy, kdy výsledek činnosti vyvolané naším rozhodnutím může být podstatně modifikován způsobem chování (rozhodnutí) protivníka, kterým může být např. i příroda. Různé varianty našeho rozhodnutí vedou při téže variantě chování protivníka k různým výsledkům a naopak. Hledáme takové naše rozhodnutí, které by při různých možných variantách protivníka, které neznáme, maximalizovalo náš možný úspěch, případně minimalizovalo náš neúspěch.

Modely teorie her

Zásobovací modely pomáhají hledat nejvýhodnější velikost a rozložení zásob. Existence zásob i nedostatek zásob je spojen s náklady nebo ztrátami (např. náklady na skladování, ztráty na kvalitě vzniklé dlouhým skladováním a proti tomu ztráty z prostojů strojního zařízení při nedostatku surovin a pod.).

Zásobovací modely

Modely obnovy hledají takovou situaci (okamžik), kdy je výhodné provést opravu zařízení nebo kdy je vhodné zařízení obnovit. Proto rozeznáváme dva druhy modelů. Jedná se o modely obnovy zařízení postupně se opotřebovávajícího a modely obnovy zařízení, které selhává v náhodných okamžicích.

Modely obnovy

Modely pátrání. Usnadňují rozhodnutí o tom, jakým způsobem prohledávat jistou oblast, abychom např. při daných omezeních (zdroje pro pátrání, čas), maximalizovali naději na nalezení příslušného objektu. K významnějším civilním aplikacím patří problémy geologického průzkumu, některé ekologické problémy, problémy plánování experimentů ve výzkumu a pod. Operační analýza se většinou používá k řešení ostrých (tvrdých) i některých neostrých problémů v technice, ekonomice a v různých složkách branných sil.

Modely pátrání

11.2.2 Systémové inženýrství

Na rozdíl od operační analýzy, která usiluje především o stanovení optimálních podmínek pro chod daného procesu v daném systému, snaží se systémové inženýrství upravit či navrhnout daný reálný systém takovým způsobem, aby proces (cíl), který se bude tímto systémem zajišťovat, probíhal pokud možno optimálním způsobem (vzhledem k výkonu a nákladům), aby systém dosáhl daného cíle co nejúčelněji (nejhospodárněji). Systémové inženýrství je projektovou disciplínou zabývající se převážně úpravou existujících či navrhovaných nových systémů schopných při respektování daných omezení splnit vymezený úkol s minimálními náklady.

Reálné systémy, jimiž se systémové inženýrství zabývá můžeme charakterizovat následovně:

Reálné systémy

- jsou umělé,
- mají svou integritu v tom smyslu, že všechny komponenty jsou zaměřeny na určitý cíl, který však na začátku projektování nemusí být přesně znám,
- jsou složité a rozlehlé, t.j. skládají se z velkého počtu různých částí, vykonávají mnoho funkcí a jejich cena je značná,
- jejich interdependence je značná (změna jedné proměnné ovlivňuje mnoho jiných proměnných v systému,
- jsou poloautomatické nebo automatické (některé řídící funkce vykonávají počítače a některé lidé, nebo dokonce je vykonávají všechny počítače),
- jejich vstupy jsou stochastické,
- působí v konfliktním okolí.

Při návrhu systému pomocí systémového inženýrství jsou při posuzování navrženého systému uvažována zejména tato hlediska:

- výkonnost systému,
- spolehlivost provozu systému a
- náklady na konstrukci a provoz systému.

Při projektování vystupují tři druhy faktorů, které musíme v úvodní fázi projektování identifikovat a diferencovat. Jsou to tyto tři faktory:

- přímo ovlivnitelné faktory (může je ovlivnit ten, kdo systém řídí nebo navrhuje),
- nepřímo ovlivnitelné faktory (jejich ovlivnění lze dosáhnout např. dohodou s nadřízeným místem nebo s některým prvkem okolí),
- neovlivnitelné faktory

11.2.3 Ostatní systémové aplikační disciplíny

Kromě operační analýzy, systémového inženýrství a systémové analýzy a návrhu se postupně formulovalo více systémových aplikačních disciplín nebo systémových aplikačních směrů. Některých zajímavých si všimneme. Pořadí, ve kterém jsou uváděny je dáno spíše logickými návaznostmi než významem.

Systémové projektování (systémová projekce

Systémové projektování (systémová projekce

Pro tuto synteticky zaměřenou disciplínu zavádějí autoři pojem systémové projektování nebo systémová projekce. Vymezují je jako systémovou disciplínu, jejímž předmětem zájmu je úprava (nebo konstrukce) složitých řídících systémů nebo příprava (vypracování návrhu, formulování a zobrazení rozumové představy):

- způsobu uspokojování společenské potřeby určité výrobní nebo nevýrobní činnosti,
- projektu takové činnosti, jeho formy, parametrů a funkcí,
- názorů na důsledky dané vznikem a funkcemi výsledného produktu, připravovaného procesu.

Do náplně systémového projektování patří i snaha o prvky automatizace při projektování např. prostředky CAD (Computer Aided Design).

Projektový proces charakterizujeme jako účelně uspořádanou soustavu prvků a vazeb s dynamickým chováním. Za prvky lze v ní považovat různé cílově zaměřené činnosti, jejichž vstup i výstup má informační povahu a které ve svém celku vytvářejí projekt. Vazbami jsou u projektového procesu informační vazby, které zajišťují přenos informace, efektivní provedení jednotlivých činností a výslednou tvorbu projektové dokumentace.

Za obecné složky projektování považujeme:

- poznání a vyhodnocení výchozího stavu skutečnosti z hlediska požadovaných změn v daném prostoru činností,
- poznání, bilancování a zhodnocení potřeb, požadavků a nárokových funkcí nové skutečnosti,
- formulaci vstupních variantních představ o nové skutečnosti (forma, funkce, způsob realizace),
- rozbory, hodnocení a oceňování variantních představ na základě přijaté soustavy hodnot a kritérií,
- konfrontaci s požadovanými parametry a funkcemi nové skutečnosti, konfrontaci se soubory možných vnějších podmínek,
- rozhodovací a schvalovací procedury, výběr zvolené varianty k dalšímu zpracování,
- korekční procedury, formulace výsledné představy nové skutečnosti,
- zpracování výsledného informačního modelu nové skutečnosti v žádané formě a na žádané informační úrovni.

Existuje více koncepcí systémového projektování, jejich odlišnost je vyvolána především věcnou povahou oblasti, na kterou je toto projektování zaměřeno (řídicí systémy, výrobní systémy v různých odvětvích, přepravní systémy, systémy výstavby a pod.). Systémové projektování klade ve všech svých koncepcích značnou váhu na fázi návrhu systému. Přesto se v etapě přípravy pro tuto syntézu neobejde bez analytických prací.

Systémové plánování, systémová teorie řízení, systémové řízení

Systémové plánování, systémová teorie řízení, systémové řízení

Pod uvedenými názvy probíhala a stále probíhá celá řada výzkumných i praktických plánovacích a řídicích činností, jejichž cílem je uplatnit v plánování a řízení ekonomických objektů principy systémového přístupu spolu s ekonomickomatematickými (analytickými i rozhodovacími) modely výpočetní techniku, dialogové režimy práce počítače a pod. Ačkoliv práce v oblasti systémového plánování a systémového řízení probíhají často odděleně, mají řadu oblastí společných a je vhodné řadit je do jedné skupiny. Kromě toho systémový přístup k plánování a řízení by podle mého názoru vyžadoval komplexní přístup i z hlediska času. Strohé (ostré) oddělování plánu činnosti objektu od řízení objektu v konkrétním (současném) čase není ze systémového hlediska správné. Plán činnosti představuje ve skutečnosti model chování systému v budoucím období a současná činnost a její výsledky podmiňují reálnost plánu a zaměření budoucího plánu. Plán často motivuje naši dnešní činnost.

Práce v oblasti teorie systémového plánování a v oblasti teorie systémového řízení nevedly k formulaci vyhraněné systémové disciplíny. Spíše vznikl myšlenkový směr, který je vnitřně značně diferencován.

Koncepce vícedimenzního modelu systému řízení.
V tomto modelu vystupují jako prvkové komponenty především:

- množina lidí tvořících systém,
- množina nástrojů zapojených do řídícího působení a
- množina technických prostředků zapojených do systému.

Jako vazební komponenty systému řízení definuje:

- množinu mocensko-formálních vazeb,
- množinu neformálních vazeb,
- množinu informačních vazeb a
- množinu hodnotových vazeb.

Na takto vymezeném systému můžeme rozpoznat více struktur (více dimenzí struktury, např. dějovou dimenzi struktury, předmětnou dimenzi struktury, nositelskou dimenzi struktury a pod.).

Některé přístupy k teorii řízení se snaží o to, aby byly považovány za systémové. Ukazuje se však, že jsou spíše teoriemi systémové organizace. Nejsou dostatečně dynamické a nechápou řízení jako posloupnost interaktivních a adaptivních procesů, které probíhají velmi často za neúplné informovanosti, za podmínek rizika až neurčitosti. Mezi těmito rozhodovacími procesy existují četné věcné, informační a časové vazby, které společně určují vlastnosti chování a funkce řízení celku.

Systémové řízení

Za systémové řízení považujeme cílové mnohoaspektové řízení, které v posloupnosti rozhodovacích aktů (řídících úloh) respektuje věcné i časové souvislosti, globální i dílčí cíle, vnitřní i vnější interakce řízeného objektu a tyto souvislosti chápe v jejich dynamice, hierarchické struktuře a v preferenčním uspořádání podle předem vymezeného (a ovšem též dynamického) hodnotového systému. Systémové řízení včas anticipuje a řeší vznikající problémy. Zajišťuje pasivní a aktivní adaptaci a schopnost učit se.

Systémové řízení je mnohoaspektové. K rozhodovacím aktům přistupuje současně z hlediska hodnot parametrů technických prostředků, z hlediska vlastnosti a zájmů, z hlediska teoretických koncepcí i empirie, z hlediska heuristických postupů i exaktních metod. Pro přípravu i realizaci posloupnosti rozhodovacích aktů se opírá o organizační strukturu, jejíž forma odpovídá jejímu funkčnímu obsahu a cílům, které systém sleduje.

Teorie automatizovaných systémů řízení

Teorie automatizovaných systémů řízení

K systémové teorii řízení má relativně blízko teorie automatizovaných systémů řízení. Tato teorie je velmi podrobně propracována pro technické (ostré) systémy.

Mnohem složitější je situace v automatizovaných systémech řízení budovaných na ekonomických objektech. Pragmaticky zaměřené práce se opírají především o automatizované zpracování dat a o některé ekonomickomatematické modely. Tyto modely jsou zde sice velmi široce rozvinuty, teorie tvorby těchto automatizovaných systémů řízení je však propracována pouze v ojedinělých publikacích a často pouze z dílčích pohledů. Vzhledem k aktivnímu podílu lidského faktoru v těchto systémech řízení je jejich automatizace zásadně odlišná od automatizace technických systémů a po teoretické stránce poměrně obtížně zvládnutelná. Potíže činí také integrace automatizovaného zpracování informací, řídícího procesu a organizace v daném ekonomickém objektu.

Praxeologie

Praxeologie

Praxeologie je věda o cílovém jednání, resp. věda o správném jednání. Za základní východisko praxeologie lze považovat celostní přístup. Předmětem zájmu je cílové jednání člověka nebo skupin (společenství) lidí. Toto cílové jednání se realizuje v systémech jednání (v akčních systémech), které lze označit jako praxeologické systémy. Při zkoumání těchto systémů se vychází z hlediska ohodnocení a sledování správného průběhu akcí (jednání). Praxeologie se dá členit na několik částí:

- praxeologie popisná,
- praxeologie formální matematická
- praxeologie aplikovaná.

Praxeologie má úzký vztah zejména k ekonomice, teorii organizace, teorii systémů a kybernetice.

Kybernetika

Kybernetika

Velmi obecně lze kybernetiku vymezit jako vědní obor zabývající se otázkami řízení a komunikace (sdělování) v samoregulujících se a rovnovážných systémech. Její pojetí však není jednotné a rozsah jejího vymezení se u jednotlivých autorů liší. Za zrod kybernetiky jako vědecké disciplíny se obecně považuje vydání knihy N. Wienera: *Cybernetics or Control and Commucation in the Animal and the Machine* Kybernetika je zde charakterizována jako aplikace živých organizmů na neživé.

Jiná definice kybernetiky (Kanel 1980): *„Hlavní úlohou kybernetiky je odhalovat a formulovat všeobecné zákonitosti organizace a činnosti určitých tříd dynamických systémů různého materiálního charakteru, a to systémů, které pomocí získávání, přenosu, přijímání, uchování a zpracování informací jsou schopné vykazovat aktivní cílový způsob chování, které má - v určitých hranicích - samořídící a tím i stabilizující charakter. Systémy s těmito znaky a vlastnostmi se nazývají (abstraktními) samořídícími dynamickými systémy neboli krátce kybernetickými systémy“.*

Kybernetika chápe významný rozdíl mezi *řízením systémů* a *řízením v systémech*. Zatímco při studiu řízení systémů (tradiční obsah teorie řízení) se zabýváme řízením systémů subjektem stojícím mimo systém, je při studiu řízení v systémech předmětem našeho zájmu to, jak systém sám sebe řídí, jak v něm probíhají procesy samy sebe (a v interakci mezi sebou sebe navzájem) regulují resp. řídí. V tomto případě je systém současně řízeným objektem i řídícím subjektem.

Ekonomická kybernetika

Ekonomická kybernetika se zabývá problematikou organizace, řízení a fungování (chování) ekonomických objektů, které mají alespoň z části vlastnosti kybernetického systému (tj. jsou dynamické, mají cílové chování, jsou adaptivní a aktivní, cílové, v určitých mezích samořídící).

Takto koncipovaná ekonomická kybernetika komplexně řeší problematiku fungování (chování) vnitřního mechanismu řízení ekonomických objektů. Přitom by nemělo jít pouze o techniku řízení ekonomických procesů (na co se též někdy obsah ekonomické kybernetiky zužuje), ale o analýzu mechanismu ekonomických procesů, možnosti a způsobu jejich ovlivňování (regulování a řízení), vyšetřování jejich stability apod.

Takto chápaná ekonomická kybernetika by musela vycházet z velmi dobře zvládnuté ekonomické teorie a byla by vlastně její částí. V tomto směru je rozvoj ekonomické kybernetiky ještě v začátcích. Syntéza mezi ekonomickou teorií a teoretickou i aplikovanou kybernetikou je dnes obecně ještě na nízké úrovni. Obtížnost takové syntézy je ovšem zřejmá.

Objektivně ve výhodnější situaci než ekonomická kybernetika je *organizační kybernetika*. Syntéza poznatků teorie organizace a kybernetiky je snazší, neboť v obou případech jde o formální disciplíny.

11.3 Synergetika a systémový přístup

Synergetika rozděluje 6 tříd nových kvalit, které vznikají kooperačním mechanismem.

1. Vznik časových struktur (původně stacionárně pracující systém začne vykazovat periodické oscilace).

2. Vznik prostorových struktur (původně chaotický systém začne vykazovat určitou prostorovou mozaiku).

3. Vznik časových struktur impulsního charakteru (laser pracující v konstantním režimu se při určitém kritickém výkonu mění v pulzně pracující laser).
4. Vznik solitónů (vlnových balíků, které se při šíření nerozplývají).

5. Vznik „spirál“ a „hypercyklů“ v biologických systémech. Sem je možné zařadit i další jevy pozorované v biologické říši, například mutace, selekce, vznik nových druhů atd.

6. Vznik deterministického chaosu (původně deterministický systém - např. kapalina s laminárním prouděním - se skokem mění na chaotický systém s turbulentním prouděním).

Synergetika je pokračováním systémového přístupu. Tím, že učinila složité struktury života přístupné ve svém "vývoji" popsatelné fyzikálními prostředky, vytvořila určitou iluzi nepotřebnosti či "slepé koleje" jiných vysvětlení. Stala se základem ontologického plánu universa, který vyhovuje vědecké a technologické racionalitě.

Aspiruje na roli "struktury univerzální ontologie" a snaží se popřít jako iluzorní veškeré koncepty, které nejsou v těchto fyzikálních a strukturalistických pojmech popsatelné.

Vážným metodologickým důsledkem takového postupu je např. budování nejen nové systémové ontologie, ale i gnoseologie, psychologie, a dalších disciplín, jejichž původní poznatková "bohatost" se tím zdaleka nevyčerpává, ale značně redukuje. Přestože jsou tímto způsobem jistě získány nové poznatky a nová vysvětlení, jedná se o další řez dosavadními vědeckými disciplinami, podobný tomu, který vytvořila aplikovaná matematika, formální logika či klasická teorie systémů.

Jde o modelování určitých aspektů reality jako synchronních a zvratných, ač se nám to na první pohled nezdá, neboť jde o vývoj (diachronii), který se uskutečňuje v čase (a ten je, alespoň jak se nám dosud jeví, nevratný).

Přístup synergetiky

Přístup synergetiky

V předcházejících částech jsme uvedli, že "klasický" systémový přístup vlastně "končí" funkcionálními a stochastickými vztahy. Přírodní vědy však vždy aspirovaly na postižení veškeré ontologie svými specifickými prostředky. Základem přírodovědního vědění je fyzika, a právě prostřednictvím fyzikálních zákonů je možné vysvětlit i různé skutečnosti jinak biologické či společenské povahy. Zda se jedná o universalitu fyzikálních zákonů či o redukci, která nevyčerpává základní kvalitativní specifika biologie či věd o společnosti, o tom se vedly a vedou rozsáhlé diskuse. Jejich jádro tkví v definování právě oněch specifik, představujících novou kvalitu. Pokud např. biologie definuje svůj obor takovým způsobem, že ústředním pojmem není kvalitativně odlišený "život", ale atributivně pojatý "živý organismus" nebo dokonce "systém", není divu, že lze takto založené vědění redefinovat na fyzikálních základech. Obdobně ve společenských či humanitních vědách, pokud se nebavíme o "lidské existenci" ale o "společenském organismu" či "systému", nikoliv o "duchu", ale "o člověku jako jedinci či jako společenském druhu", není divu, že se objevují redefinice biologické a po té i fyzikální.

Formální a formativní povaha

Formální a formativní povaha

Uvedli jsme, že systémový přístup vystupuje na úrovni obecného nazíracího, myšlenkového a explikačního schématu, a to v podstatě ve všech přírodovědeckých a většině společenskovědních disciplin. Je to umožněno jeho **formální** a **formativní** povahou, která se stává všepřítomným invariantem. Jedná se však o dosti statickou synchronní strukturu, v níž je pohyb a vývoj zobrazen jako funkce stavů. Je proto logické, že byly dále hledány cesty, jak do této struktury pojmout další diachronní atributy pohybu, vývoje, změny. To bylo umožněno zavedením **náhodného prvku**, tzv. **fluktuace**, která představuje unikátní výskyt „nového“, které nebylo obsaženo v dřívějším systému, a které se vůči popisu pohybu či „vývoje“ funkcí jeví spíše jako porucha, chyba, diskontinuita, změna funkce. Právě takovouto změnu celkového nazíracího, myšlenkového a explikačního schématu přinesla **synergetika**. Přestože její poznatková mohutnost sleduje výše popsanou tendenci fyzikálními prostředky postihnout **vývoj**, který je typickou doménou biologie a dále společenských a duchovních věd, její **metodická** a **formální** a tedy **formativní** stránka **aspiruje na obecný přístup**, podobně jako předchozí systémový.

K pojmu synergie

K pojmu synergie

Synergetika se přes svou univerzalistickou aspiraci konstituovala v řadě dílčích výzkumů, které však byly každý zvlášť svou povahou konglomerátem různě se prolínajících dřívějších oborů, jakými jsou např. teorie informace, kybernetika, systémové výzkumy apod. Ústřední pojem je **synergie**, znamenající spolupůsobení. Dal název souhrnu těchto bádání, kde jsou tak označovány **dynamické vlastnosti velkých systémů, a kde je jeho prostřednictvím explikována jednota funkčních a evolučních struktur**. Synergie představuje ve svém důsledku jádro strukturální proměny systému, vedoucí k **vytvoření kvalitativně nových struktur**. Celý tento pohyb je chápán jako **samopohyb**, nebo označován jako **samoorganizace**. Předpokládá se tedy, že synergetika odhaluje **strukturu** určitého **řádu, pořádku, zákonitosti tvorby kvalitativně nových struktur**.

Základní myšlenkou synergetiky je vytvoření takového obrazu světa, který vychází ze samopohybu zabezpečovaného samoregulací. Samoregulativní systém soustavně blokuje tzv. "poruchy", např. nežádoucí informace či nežádoucí hmotné či energetické toky, což umožňuje nepřetržitou funkčnost existující organizace, a zabezpečuje přechody do vývojově vyšších stádií. Tuto myšlenku jako myšlenku **dynamické homeostáze** již známe z teorie otevřených systémů, nyní je však spojena právě s nutným a logickým vznikem **nové kvality**. Tento přechod je přitom popsán v podstatě fyzikálním způsobem.

Další pojmy užívané v synergetice

Další pojmy užívané v synergetice

Synergie systému souvisí se **zákonem nutné variety**, jak jej definoval W.R. Ashby. Podle něj pouze určitá "nutná" varieta systému regulátorů může omezit varietu regulovaného systému. Velký (synergetický) systém musí pro zachování své podstaty (funkce) obsahovat alespoň takovou varietu informace, která se rovná varietě poruch přicházejících z prostředí. Novými pojmy v synergetice pak jsou tzv. **disipativní struktury, bifurkace, a fázové přechody** (ev. hypercykly a supercykly).

V tzv. velkých otevřených systémech existují vždy struktury, vystavené náhodným **fluktuacím** či **turbulencím**, (*Fluktuace (lat.)- nahodilé kolísání hodnoty (např. fyzikální) veličiny kolem rovnovážné hodnoty. Používá se též ve významu kolísání, nestálosti, vlnění,)* díky nimž se celkový systém dostává do nerovnovážného, rozkolísaného stavu. Pokud na takový systém působí negativní zpětné vazby, které ruší tyto odchylky, náhodné fluktuace a turbulence se eliminují, a udržuje se původní stav. Pokud však zde působí **pozitivní zpětné vazby, které odchylky tvoří a zvětšují**, mohou původní nahodilosti přerůst v novou uspořádanost a ve vznik nových struktur. Původně uspořádaný pohyb prochází stadiem neuspořádanosti do nové uspořádanosti.

Jako **bifurkace** je označován bod zvratu na vývojové linii, kdy v důsledku nerovnováhy negativních a pozitivních zpětných vazeb dojde k rozdělení trajektorie vývoje původní kvality v několik nových struktur, které se kvalitativně liší.

Bifurkace

Myšlenka **fázových přechodů** (např. vratná změna skupenství led, voda, pára) prochází přes vysvětlení supercyklů a hypercyklů (cyklické přeměny struktur na principu fázových přechodů) až po označení živých organismů za "složité systémy" založené na principu těchto hypercyklů.

Fázové přechody

Představa **disipativních** (roztroušených) struktur vychází z toho, že v dostatečně velkém otevřeném systému se vyskytují náhodné fluktuace na několika (mnoha) místech, a v případě převládající tendence pozitivních zpětných vazeb zesilujících odchylky vznikají **jádra (shluky) nových struktur (kvalit)** na několika (mnoha) místech současně. Celkově se tedy nová kvalita může objevovat jako roztroušená, disipativní.

Disipativní (roztroušené) struktury

SHRNUTÍ KAPITOLY APLIKACE TEORIE SYSTÉMŮ

Σ

Aplikované systémové disciplíny

- Operační výzkum
- Systémová analýza
- Systémové inženýrství
- Kybernetika
- Metodologie „měkkých“ systémů
- Tvorba/rozvoj IS

Operační výzkum

Tvorba a využití matematických modelů pro rozhodování

- Formulace problému
- Konstrukce modelu
- Odvozování řešení z modelů
- Implementace a kontrola řešení

Systémová analýza

- zaměřena na poznání systému; rozeznat podstatné vlastnosti systému, obecné od jedinečného;
- nástroje: dekompozice, analýza a syntéza

úskalí: celek je víc než součtem svých částí

Systémové inženýrství

- Projektování a řízení složitých technických systémů
- hlavní zdroje: 4M - lidé (Men), stroje (Machines), materiály, peníze (Money)
- zaměřuje se na umělé systémy - artefakty

Metodika:

- definování problému nebo úlohy (systému)
- stanovení (systémových) cílů
- konceptuální návrh systému (systémová syntéza)
- analýza navrhovaného systému
- výběr vhodného (optimálního) systému
- implementace a provoz systému

Typické vlastnosti umělých systémů:

- cíle formulovány předem a mimo systém
- systém je uspořádaný, prvky nejistoty jsou nežádoucí
- člověk stojí vně systému jako uživatel, klient; pasivní role nebo systémový zdroj

Kybernetika

Zakladatel :Norbert Wiener, 1945

- Kybernetika je věda která se zabývá aplikací živých organizmů na neživé
- Kybernetika je studiem systémů, které mohou být mapovány s použitím smyček v sítích popisujících toky informací.
- Systémy automatického řízení musejí používat alespoň jednu zpětnovazební smyčku.

Metodologie měkkých systémů

Prohloubení možností aplikace systémových přístupů k sociálním systémům.

- odráží subjektivní zájmy, přístupy a postoje včetně neurčitosti spojené se subjektivní interpretací informace a vágností jazyka (tvrdé metody jsou úspěšné jen pro dobře strukturované problémy deterministického charakteru)
- přejímá poznatky z biologie, ekonomických věd, informatiky, psychologie, antropologie, jazykovědy, antropologie aj.
- kognitivní věda
- celistvost, emergence, synergetika versus. Redukcionismus

Synergetika

Synergie- spolupůsobení.
představuje jádro strukturální proměny systému, vedoucí k **vytvoření kvalitativně nových struktur**
odhaluje **strukturu** určitého **řádu, pořádku, zákonitosti tvorby kvalitativně nových struktur**
zkoumá dynamické vlastnosti velkých systémů,
explikována jednota funkčních a evolučních struktur. **samopohyb, samoorganizace**..

KORESPONDENČNÍ ÚKOL 10

Nalezněte a charakterizujte ekonomické aplikace synergetiky.

PRŮVODCE STUDIEM 19

V závěru aplikačních věd jste se seznámili s pojmem synergetika. Následující kapitola se bude zabývat stabilitou a optimalizací systémů. Učební text se zaměří na ekonomické systémy a seznámíte se se stabilitou z pohledu teorie chaosu. Ekonomické závislosti můžeme pochopit pouze v závislosti na okolním životě. V tom případě jako nástroj zkoumání stability a optimalizace můžeme vhodně použít právě synergetiku

Průchod modulem

12 STABILITA A OPTIMALIZACE SYSTÉMŮ

RYCHLÝ NÁHLED DO PROBLEMATIKY KAPITOLY STABILITA A OPTIMALIZACE SYSTÉMŮ

Rychlý náhled

S principy optimalizace a stability jste se setkali v předchozích kapitolách. Proto se v této kapitole při zkoumání stability a optimalizace systémů zaměříme na ekonomiku jako na rozsáhlý otevřený systém. Charakteristické chování plyne z homeostáze (samoregulace), chaotických jevů (burza apod.), deterministiky, i cykličnosti jevů. V závěru kapitoly se seznámíte s elementárním chováním obecných jevů

CÍLE KAPITOLY STABILITA A OPTIMALIZACE SYSTÉMŮ

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět: • Rozlišit elementární chování na hranici stability • Vymezit chování ekonomických systémů	*Budete umět*
Získáte: • Znalosti z oblasti chování systémů, optimalizace, chaotického chování a přírodních zákonitostí vztahujících se na ekonomické systémy. • Metodologii pro popisy a analýzu chování rozsáhlých systémů	*Získáte*
Budete schopni: • Popsat základní priority chování ekonomiky • Aplikovat teorii chaosu na ekonomické jevy	*Budete schopni*

ČAS POTŘEBNÝ KE STUDIU

Celkový doporučený čas k prostudování KAPITOLY je **dvě hodiny**

KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY STABILITA A OPTIMALIZACE SYSTÉMŮ

Otevřené systémy, rovnovážný stav, bifurkace, fluktuace, chaotické chování, elementární chování, optimalizace, optimalizační metody

Klíčová slova

12.1 Chování v nerovnovážných stavech

Teorie chaosu

Izolované systémy se vyvíjejí zpravidla směrem k chaosu, k nepořádku Jejich budoucnost se vyvíjí směrem nárůstu entropie. Termodynamické rovnováze zde odpovídají stavy s maximální entropií, s maximem ztrát energie uvnitř systému. Nárůst hodnoty entropie odpovídá samovolnému izolovaného systému, vývoj v čase znamená zapomínání počátečních podmínek, růst stejnorodosti a vývoj směrem k nepořádku.

Otevřené systémy

Otevřené systémy se však vyvíjejí směrem k vyšší a vyšší složitosti, směrem od jednoduchého k složitému, od nerozlišených k rozlišeným strukturám, od struktur méně uspořádaných ke strukturám "lépe" uspřádaným". Určitá minimální složitost v daném systému je podmínkou jeho vnitřní nevratnosti (jednostrannosti dějů uvnitř systému), která pak vyvolává jeho nahodilost a nestálost (nestabilitu). Tato nestabilita se může stát zdrojem nové uspořádanosti a nového řádu. Nestabilita a systémová nerovnováha mohou vytvářet **"řád z chaosu"** Potřebná nestabilita je ovšem nutně spojena s růstem fluktuací, kterým je systém vystaven.

Rovnovážný stav

Z pohledu teorie chaosu každý složitý systém obsahuje podsystémy, které neustále kolísají čili fluktuují. **Systém v oblasti blízko rovnovážného stavu je vůči fluktuacím "odolný".** Fluktuace sice mohou systém posunout pryč od jeho stacionárního stavu, avšak dochází k potlačení fluktuací. Chování systému je tak předvídatelné, směřující k dosažení stacionárního stavu s minimem změny entropie, slučitelným s omezeními systému. Takový systém předává entropii svému okolí. Proto bez ohledu na počáteční podmínky systém dosáhne stavu určeného konečnými podmínkami. Systém „blízko rovnováhy“ se chová cyklicky. Po malém vychýlení se systém vrací na svou dráhu a jeho traktorem je limitní (mezní) cyklus, značící chování směřující ke stacionárnímu stavu, či chování neustále se opakující.

V silně nerovnovážných stavech jsou určité fluktuace místo potlačení zesíleny a mohou celý systém přinutit ke zcela novému chování. Spolupůsobení systému s vnějším světem za nerovnovážných podmínek se pak může stát počátkem utváření zcela nových stavů a struktur- **tzv. disipativních struktur.** Jde o struktury, které ke svému udržení potřebují více energie ve srovnání s jednoduššími strukturami, které nahrazují; jakmile ustane dodávka energie, přestanou existovat, (rozplynou se, disipují). Malé fluktuace tak mohou podnítit zcela nový vývoj, který změní celkové chování makroskopického systému.

Disipativní struktury

Pokud se systém vzdaluje od rovnováhy, v určitém okamžiku dosáhne meze stability, **tzv. bifurkačního (větvícího) bodu**. Systém pak může dosáhnout dvou či více stacionárních stavů, což vyvolá jev **hystereze** (kdy stav, kterého systém dosáhne, závisí od předchozího vývoje systému). Prvotní rozdělení (primární bifurkace) zavede jediný typický čas (periodu mezního cyklu) nebo jedinou charakteristickou délku. Při dalším vzdalování od rovnováhy se zvyšuje počet oscilačních frekvencí, "skládání" frekvencí posléze umožní vznik velkých fluktuací a systém se ocitá v oblasti, která bývá označována za "chaotickou".

Hysterze

Systém se tak vyznačuje **posloupností (kaskádou) bifurkací**, což vytváří typický průběh jeho chování, začínající jednoduchým periodickým chováním a přecházející ve složité aperiodické chování. Systém tedy nejprve osciluje mezi dvěma různými stavy (perioda 2), pak rozdělení (bifurkace) přicházejí častěji, dochází ke **zdvojování period** (vytvoří se periody 4, 8, 16 atd.) až nakonec se systém stává chaotickým, neobsahující žádné pravidelné cykly. Jeho chování lze pak geometricky znázorňuje tzv. podivný atraktor, který může mít nejrůznější tvar (např. tvar stuhy, zavinuté do věnečku se záhybem či tvar vejčité křivky).

Posloupnost bifurkací

Kdykoliv systém dosáhne bifurkačního bodu, deterministický popis selhává. Rozvětvení v bifurkačním bodě je náhodný děj stejně jako házení mincí. Dochází i k **porušení zákona velkých čísel.** Nestabilitu lze tak pokládat za výsledek fluktuace, která je v malé části systému a pak se rozšiřuje a vede k novému makroskopickému stavu. Způsob vznikání řádu z chaosu lze proto nazvat **"fluktuacemi k řádu"**, vytvoření nové struktury totiž předchází růst fluktuací.

Fluktuace k řádu

Systém v "nerovnovážném stavu" je velmi citlivý (buzení jeho vnitřní činností, fluktuace vytvářené okolím). Tzv. vnější svět (tj. okolí, ve kterém fluktuace probíhají) má sice sklon tlumit fluktuace, ovšem **následkem kladných (pozitivních) zpětných vazeb** mohou být fluktuace posilovány (negativní zpětná vazba odchylku od normálu zmenšuje, pozitivní zpětná vazba .odchylku od normálu zvětšuje. Kritická mez stability systému je pak určena soutěží integračních schopností systému (mezi typické vlastnosti disipativních struktur patří jejich soudržnost, systém se chová jako jeden celek, každá část je ovlivněna celkovým stavem systému a mechanismů zesilujících fluktuace).

Zpětné vazby (např. katalytické jevy) představují jednou z důležitých vlastností nelineárních reakcí, charakteristických pro složité systémy ve stavu nerovnováhy (pro systém, nacházející se "blízko rovnovážného" stavu, jsou naopak charakteristické lineární vztahy, kde toky jsou lineárními funkcemi působících sil). **V důsledku nelineárních vazeb se chování systému může stát chaotickým**, nikdy se pak neustálí v rovnoměrném tempu a nikdy se neopakuje předpověditelným způsobem. Výstupy lineárních operací se mění spojitě a hladce se změnou jejich vstupů a proto se lineární jevy dají velmi přesně modelovat. Nelineární procesy reagují naopak reagují na velmi malé vstupy nespojitým a nepředvídatelným způsobem.

Někdy se v této souvislosti hovoří o **tzv. motýlím efektu**, ten vede k tomu, že se chyby a nepřesnosti násobí, tvoří kaskádu turbulentních jevů (turbulence- z lat. neuspořádanost, nestálost, vířivost). Nestačí zde sečíst dílčí lokální chování, je potřebný holistický přístup, v němž se na systém pohlíží jako na celek. Nutno také opustit předpoklad lokálnosti (hlavní vliv mají události, k nimž došlo v bezprostředním okolí prostoru a času) a naopak je třeba **akceptovat nelokalitu, vzájemnou provázanost jevů**.

Chaotické systémy se vyznačují tím, že neznalost stavu systému v jedné chvíli vede ke ztrátě informace o jeho přesném stavu. Není pak podstatné, jak přesně známe pravidla změn, protože nemůžeme dokonale rozpoznat přítomný stav věcí.

Ještě donedávna byly nahodilost, chaos spojovány s nežádoucími aspekty skutečnosti, **dnes** však **na chaotické procesy pohlížíme jako něco běžného pro nejtypičtější formy změny**. Běžně se setkáváme s vlivem chaotických procesů, (vytékání vody z otvoru, ekonomika státu, výkyvy finančních trhů, proměny klimatu). I jednoduché systémy se mohou začít chovat složitě a naopak složité systémy někdy umožňují jednoduché chování. Ukazuje se zbytečnost izolovaného studia pouze části celku. Na neobvyklé fluktuace či oscilace (chvění, kmitání) nelze reagovat tradičním způsobem- totiž tím, že je možné je ignorovat.

Fluktuace mohou vést k chaosu a chaos paradoxně ke vzniku nových struktur. Přechod systému do nového, kvalitativně odlišného stavu může mít minimálně tři podoby:

- náhlé skokové řešení směrem nahoru či dolů (katastrofa),
- zpětně směřování k určitému bodu, ale jinému než původní,
- výchozí stav (hystereze) či proces postupných malých změn k novým stavům (divergence).

Pohled na ekonomiku očima systémového přístupu a teorie chaosu již v této kapitole naznačil některé **zajímavé souvislosti** (ohledně nezastupitelnosti holistického přístupu, komplexnosti ekonomiky, nemožnosti dosažení stavu tzv. pravé rovnováhy či možnosti přechodu do kvalitativně nového stavu).

12.2 Ekonomika jako rozsáhlý otevřený systém

Ekonomika a systémové vědy

Pojem ekonomika může být spojován s určitém modelem hospodářství (tržní ekonomika, příkazová ekonomika, smíšená ekonomika, zvyková ekonomika), nebo s určitou vědní disciplínou, která zkoumá zvláštnosti hospodářské činnosti v určitém úseku či odvětví (ekonomika průmyslu, ekonomika dopravy, ekonomika služeb atd.). Zde je však ekonomika pojímána na obecné úrovni jako systém, ve kterém se realizuje hospodářský proces vymezený hranicemi určitého území – nejčastěji státu (např. česká ekonomika) či nějakého sdružení států (ekonomika Evropské unie). Na této úrovni **je ekonomika složitým systémem** a jako většina složitých systému (např. hudba, jazyk, právo, morálka) vzniká postupně na základě svobodného lidského jednání. Vzhledem ke její velké komplexnosti (organizovanosti), vzniklé ovšem převážně spontánně, **lze ekonomiku zařadit mezi rozsáhlé** (rozlehlé, velké**) systémy**.

Ekonomika jako otevřený systém

Obdobně jako ostatní společenské systémy **je ekonomika také otevřeným (kontinuálním) systémem**, které nemohou být odděleny od proudu vnější energie a hmoty, které nepřetržitě proměňují. Z důvodu závislost na vnější energii lze **ekonomiky řadit k disipativním strukturám**. Je tedy schopna jako jiné disipativní struktury snížit vlastní neuspořádanost (entropii na úkor volné energie z prostředí, kterou následně do tohoto prostředí odevzdává v degenerované formě. Díky schopnosti přeměny vnější energie **vykazuje ekonomika** jako disipativní struktura **nemalou soudržnost** (integrační schopnosti), je schopna tzv. homeostáze (čili udržení základních parametrů vnitřního a vnějšího prostředí dlouhodobě na konstantní úrovni).

Ekonomika je schopna spontánní samoregulace a samoorganizace, proto **patří mezi kybernetické systémy. (**viz ekonomická kybernetika). Z důvodu projevu neostrosti a mlhavosti při určování samotných hranic ekonomického systému ekonomika **náleží mezi tzv. měkké systémy**, jejichž fungování je spojeno s větší nejistotou.

Homeostáze

Homeostáze jako projev samoregulace a samoorganizace je charakteristická pro větší počet subjektů. Podobně i ekonomika existuje jen v rámci společenství živých bytostí a ekonomický život je jev společenský. Vývoj **ekonomiky se může** obdobně jako evoluce života a prostředí vyznačovat **poměrně dlouhými obdobími homeostáze (stabilního vývoje)**, přerušovanými velkými změnami, tzv. punktacemi čili obdobími náhle, zrychlené evoluce (jevícími se mnohdy spíše jako krizová období).

Chaotické chování

Ekonomika jako každý velký otevřený systém **je vystavena** (vnitřním i vnějším) **fluktuacím**. V oblasti blízko rovnovážného stavu (kdy v zásadě platí lineární vztahy) je však takovýto systém vůči fluktuacím odolný a chová se **cyklicky**. V silně nerovnovážných stavech jsou určité fluktuace místo potlačení zesíleny a prioritně ovlivnit celý systém a přinutit ho k zcela novému chování. **V důsledku nelineárních vazeb se i chování ekonomického systému (ekonomiky) může stát chováním chaotickým.** Potom je nutno předpoklady ekonomické analýzy jako spojitost ekonomických veličin, lokálnost či linearita nahradit kategoriemi diskrétnosti (nespojitosti), nelokálnosti (vzájemné provázanosti), nelinearity, motýlího efektu či algoritmické nestlačitelnosti.

Deterministický chaos

Při vzdalování ekonomického systému od rovnováhy by mělo docházet k růstu fluktuací a ke zdvojování period. Nakonec by se ekonomika chovala chaoticky, čili by nedocházelo k žádným pravidelným cyklům (chování ekonomiky by šlo geometricky znázornit pomocí podivného chaotického atraktoru). Jelikož by zde došlo ke změně původně deterministického systému v systém chaotický, vzniklý chaos bychom mohli nazvat **deterministickým chaosem**. Jednalo by se tedy o zdánlivě náhodné chování, bylo by totiž výsledkem přesných pravidel, popsatelných pomocí diferenciálních rovnic. Zároveň by však bylo silně závislé na hodnotách vstupních, počátečních parametrů a ty nemusíme přesně znát či umět adekvátně analyticky vyjádřit. Nepatrná událost by mohla mít velké následky (již nám známý tzv. motýlí efekt). **V důsledku toho můžeme sice úspěšně předpovídat krátkodobý vývoj ekonomiky, nedokážeme však správně odhadovat její dlouhodobý vývoj.** Vlivem náhodné poruchy (např. z vnějšího prostředí) se ekonomika může stát nestabilní a krátce na to přeskočit do kvalitativně nového stavu.

Cykličnost

Z hlediska teorie chaosu **je ekonomika konečný společenský systém operující v podmínkách s omezeným počtem zdrojů** Proto jsou pro ni charakteristické samovolně se opakující pochody, periodické chování čili limitní (mezní) cykly (dva póly stanoví limity pro cykly změn). Živá společenství ovšem neustále zavádějí nové způsoby využívání zdrojů, objevují nové zdroje či nové způsoby reprodukce a rozvoje.

Každá společenská, ekologická a ekonomická rovnováha je pouze dočasná. Objev či zavedení nové technologie nebo výrobku (každá inovace) narušuje společenskou, technologickou a ekonomickou rovnováha. Inovace přeměňují prostředí, ve kterém se objevují a při svém rozšíření vytvářejí i podmínky pro svůj vlastní růst. Vznik poptávky a potřeba ji uspokojit se často jeví jako vzájemně provázané s výrobou zboží nebo technologie, které je uspokojuje.

Odpovídající růst společenství, výroby či služeb je spojen silnou zpětnou vazbou a nelinearitami. Výskyt nahodilých činitelů (mimo vlastní model) je postačující k narušení souměrnosti. Velikost a hustota systému se tak mohou stát bifurkačním parametrem (činitelem vyvolávajícím bifurkaci) a často kvantitativní růst může vést ke kvalitativně novým jevům. Opět si zde můžeme připomenout, že např. současný **exponenciální růst** populace a světového průmyslu (znamenající jejich zdvojnásobení za každé stejné časové období) se dostává do rozporu s omezenými zdroji a poklesem schopnosti ekosystému absorbovat odpady lidské činnosti. V oblasti bifurkací ovšem nebývale narůstá význam individuální iniciativy, jednotlivec, nová myšlenka či nové chování mohou změnit celkový stav.

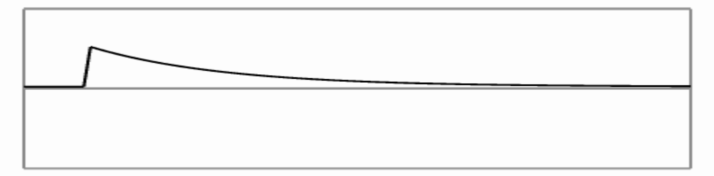
Teorie chaosu i systémový přístup jsou prostředky pro studování a analýzu ekonomiky a jejího možného cyklickém či chaotickém chování. Systémový přístup vede k představě ekonomiky jako živoucího systému složeného z lidí a společenských organizací v neustálé vzájemné interakci, které jsou obklopeny ekosystémy, na nichž závisí lidský život. Tyto ekosystémy jsou přitom samoorganizované a samoregulující soustavy, v nichž jsou subjekty propojeny složitou sítí vzájemných vazeb, jež spočívají ve výměně hmoty a energie **v nepřetržitých cyklech**. Hospodářská činnost (výroba) společnosti je pak založena např. na výměně látek mezi člověkem a přírodou, a to s cílem využít vzácné zdroje k výrobě užitečných komodit. Proto umožňuje systémový pohled lépe pochopit, proč **cirkularita a cykličnost patří mezi základní znaky každé ekonomiky**.

12.3 Elementární chování

Popisujeme-li ekonomické systémy na hranici stability, je možné aplikovat na ekonomické systémy modely klasických nelineárních diferenciálních rovnic. Chápeme potom ekonomické jako systémy se zpětnou vazbou, jako řízené a řiditelné systémy. Jejich chování (jako obraz změny stavu v závislosti na vnějším podnětu) je možno na „limitně omezených“ časových úsecích možno regulovat. V závislosti na koeficientech rovnic se systém bude chovat jedním z pěti následujících způsobů:

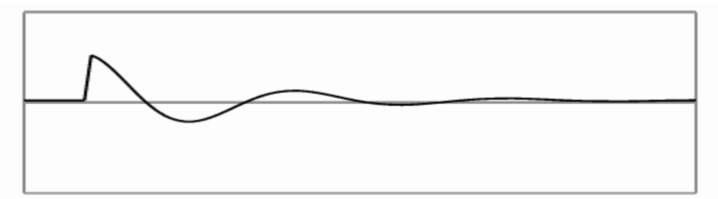
1. Tlumení.

Upraví změny zpět na požadovanou hodnotu poměrně hladce (nejlepší požadovaná odezva):



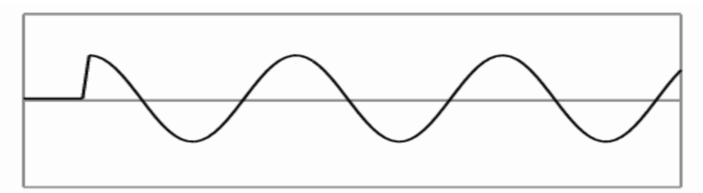
2 - Tlumené kmity.

Upraví změny zpět na požadovanou hodnotu po určitých překmitech (rovněž vhodná odezva):



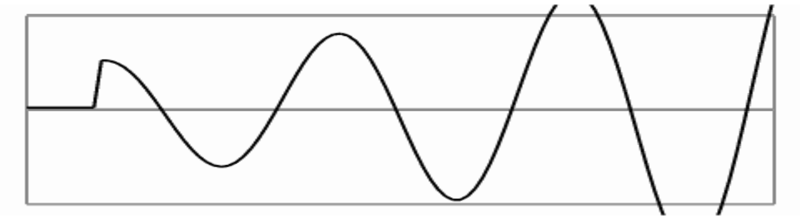
3 – Oscilace.

Trvale osciluje, což je neúčinná odezva. Je však charakteristickou samovolnou reakcí v dlouhodobém časovém horizontu :



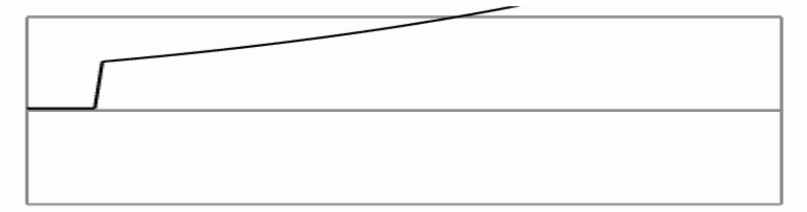
4 - Netlumené kmity.

Osciluje s rostoucí amplitudou, dokud nedojde k explozi. Většinou se jedná o vynucené, nežádoucí chování. Jak ale bylo dříve uvedeno, v teorii chaosu se jedná o principiální jev. V ekonomických systémech může proto naopak být toto chování požadované. Nicméně se jedná o přirozený dlouhodobý aspekt ekonomických jevů (cykličnost jevů ve spirále) :



5 - Exploze

Systém reaguje na podnět neřízenou změnou entropie.



Chování systémů je ovlivněno zpětnou vazbou, pomocí které můžeme systém regulovat a řídit.

Zpětná vazba.

- Negativní (1,2) – stabilita systému, homeostáze, častá v technických a živých systémech
- Positivní (4,5) – posílení odezvy, vítaná např. v ekonomice – multiplikační efekty, synergické jevy

Příklad ekonomické zpětné vazby:

Rodinné finance

- Vstup - příjmy z mezd, darů, dědictví, ...
- Proces - ukládání peněz na účty, platby v hotovosti, bezhotovostní převody, záznamy o výdajích, příprava rozpočtu.
- Výstup - nakupované zboží a služby (energie, nájemné, pojištění, potraviny, vybavení domácnosti, kultura, ...)
- Zpětná vazba - Výpisy z účtů, porovnání příjmů s výdaji a případná změna hospodaření.

12.4 Optimalizační úlohy

Dovedeme-li popsat chování systému a dovedeme-li ho ovlivnit (regulovat, řídit), snažíme se dosáhnout požadovaného chování, které požadujeme. Snažíme se optimalizovat chování systému podle kritérií. **Optimalizační metody jsou doménou matematického programování, lineárního programování a operační analýzy.** V našich skriptech jsme se o optimalizaci zmínili v kapitolách o modelování, systémové analýze, statických a dynamických systémech. Úlohy o optimalizaci jsou založeny na hledání extrémů funkcí matematických modelů.

Problémy hledání extrémů funkcí na množinách se zabýval již klasický diferenciální počet. Některé problémy tohoto typu se řešily např. pomocí Lagrangeových multiplikátorů a Eulerovy diferenciální rovnice, o kterou se opírá klasický variační počet. Ve 40. letech začalo systematické studium problémů **hledání extrémů lineárních funkcionálů na množinách zadaných pomocí soustav lineárních rovnic a nerovností**.

Soubor metod řešení těchto úloh se nazývá **lineární programování,** později i **nelineárního programování**. Metody hledání extrémů funkcionálů na množinách funkcí se začaly systematicky rozvíjet v **dynamickém programování** a v teorii optimálních procesů. **Extrémem funkce je buď její maximum nebo minimum. Maximalizaci nebo minimalizaci funkcí se říká optimalizace.** Systematickým studiem metod hledání extrémů funkcí na množinách (metod optimalizace) se zabývá matematická teorie optimalizace. V posledních dvaceti letech vznikla řada nových efektivních optimalizačních metod a algoritmů.

Proměnné základních úloh teorie optimalizace uvažujeme ve tvaru vektorů.. Obecná struktura optimalizačních problémů, kterými se zabývá matematické programování, je následující. Máme zadánu **množinu přípustných řešení** a **kritérium optimality**. Hodnoty této funkce mají být optimalizovány pro *x z množiny přípustných řešení.* Jestliže takový vektor x existuje, pak říkáme, že problém má ***slabé globální maximum***. Slabé proto, že splňuje neostrou nerovnost. Globální proto, že nerovnost existuje pro všechna x z množiny přípustných řešení.matematické metody definují další pojmy, jako globální *maximum, optimální bod apod.* Má-li problém jen slabé optimum, pak má více optimálních bodů. Jestliže existuje **silné globální optimum**, pak je optimální bod pouze jeden. Obrátíme-li nerovnosti, dostaneme minimum (slabé nebo silné). Jestliže *f(x)* nabývá minima, pak -f(x) nabývá maxima. Vektor x se obvykle nazývá *řešení* daného optimalizačního problému nebo ***optimální řešení*** **nebo** ***optimální bod.***

Problémy tohoto typu nejsou zpravidla řešitelné technikami diferenciálního počtu. Diferenciální počet řeší pouze problémy zaměřené na hledání lokálního maxima (resp. lokálního minima), Někdy se místo termínu lokální a globální používají termíny relativní a absolutní. Jestliže *f(x)* nabývá optima, musí mít globální optimum a toto optimum je nutně i lokálním optimem. Lokální optimum nemusí však nutně být i optimem globálním. **Při řešení optimalizačních úloh se zajímáme zejména o globální optimum**, které budeme nadále nazývat pouze optimem. **Zajímají nás** např. **podmínky, které musí splňovat struktura problému,** jež zaručí, že lokální optimum je také globálním optimem. Jestliže *f(x)* má lokální optimum, neznamená to, že má optimum jediné. Lokálního optima může nabývat i v několika různých bodech. každý z nich může být silným lokálním optimem.

Množina K přípustných řešení může být definována jakýmkoliv vyhovujícím způsobeni. Jsou-li **proměnné diskrétní**, může být někdy zadána výčtem prvků. Obvykle však bývá definována pomocí **rovnic nebo nerovností**. Vztahy, které definují množinu přípustných řešení, se nazývají *omezení problému.* Množina ***K*** **přípustných řešení může být ohraničená i neohraničená**. Může být i prázdnou množinou, pak obvykle považujeme soustavu omezení za nekonzistentní. Některé metody řešení vyžadují, aby množina přípustných řešení byla konvexní.

Obecný problém matematického programování se zapisuje obvykle v následujícím standardním tvaru: hledáme vektor x = (xi, x2, ... x„). který maximalizuje funkci *tak, jak bylo uvedeno v kapitole o statických, resp. dynamických systémech.* Prakticky je to však často neschůdná a výpočetně náročná cesta. Není-li *f(x)* všude diferencovatelná, musí být vyzkoušeny i body, ve kterých není *f(x)* diferencovatelná. Efektivní metody řešení optimalizačních problémů matematického programování vycházejí z vlastností některých speciálně strukturovaných úloh (např. lineárních, konvexních apod.) a opírají se o matematicky dokázané podmínky pro globální optimum. **U problémů zaměřených na optimalizaci spojitých funkcí *f(x)* na uzavřených množinách K přípustných řešení je každé lokální optimum také globálním, jestliže:**

***a) f(x)* je konkávní (konvexní) funkce pro maximum (minimum),**
b) *K* je konvexní množina.

Teorie optimalizace je dobře vybudována zejména pro **dvě speciální skupiny** problému, a to pro **problémy lineárního programování** a pro **klasické problémy matematické analýzy.** Většina ostatních metod vychází z jedné z obou teorií nebo z jejich kombinace. Klasické metody matematické analýzy založené na Lagrangeových multiplikátorech byly v průběhu rozvoje matematického programování rozšířeny. Některé speciální techniky numerického řešení se používají v **celočíselném programování, v konkávním programování a v dynamickém programování.**

V problémech ***lineárního programování*** jsou **kriteriální (účelové) i omezující funkce lineární.** Řešení základního problému se obvykle hledá *simplexovou metodou*. Kromě této metody existuje řada speciálních metod pro řešení některých speciálních úloh lineárního programování, jako jsou např. dopravní úlohy. Existují i metody řešení úloh ve kterých se požaduje celočíselné řešení (tzv. celočíselné programování).

Je rozpracována také teorie řešení úloh, ve kterých jsou koeficienty ve funkcích parametrizovány (tzv. lineární parametrické programování). Teorie lineárního programování obsahuje ještě řadu dalších vět a metod. Jde např. o **věty o dualitě a duální metody**. Lineární programování je značně rozvinutou a téměř uzavřenou kapitolou teorie optimalizace.

Klasické metody matematické analýzy předpokládají že kriteriální a omezující funkce jsou spojité a diferencovatelné, jinak však mohou být libovolného tvaru.

Zobecněním klasických problémů vznikl **obecný problém nelineárního matematického programování,** spočívající v nalezení maxima funkce $f(x)$ na množině přípustných řešení, daných soustavou nerovností.

Řada úloh teorie **optimalizace je řešitelná metodami klasického variačního počtu a pomocí Pontrjaginova principu maxima**. Pomocí těchto metod se řeší úlohy optimalizace funkcionálů.

Metody variačního počtu byly aplikovány i na úlohy s omezeními ve tvaru integrálních a diferenciálních rovnic, na úlohy s proměnlivými koncovými body apod.

Některé zobecněné úlohy variačního počtu se řeší v **teorii optimálních procesů** a jejich řešení je založené na Pontrjaginově principu maxima. V těchto úlohách se optimalizuje integrál speciálního tvaru.

Tyto typy problémů se týkají **teorie optimální regulace**. Proměnné se v nich obvykle člení do dvou množin. První množinu vytvářejí ***stavové proměnné*** a druhou množinu ***řídicí (vstupní) proměnné.*** Stavové proměnné jsou omezeny dynamickými omezeními, řídicí proměnné mohou být omezeny pouze statickými omezeními.

V ekonomických systémech se řeší zpravidla jednodušší lineární rovnice, popřípadě se hledá extrém funkce pomocí derivací. Zájemce o hlubší pochopení této problematiky odkazujeme na metody matematického programování.

SHRNUTÍ KAPITOLY STABILITA A OPTIMALIZACE SYSTÉMŮ

Σ

V této kapitole jsme si ukázali možné pohledy na analýzu stability systémů. Zaměřili jsme se na ekonomické systémy, především pro jejich rozlehlost, nestabilitu a míru chaosu. O klasické stabilitě systému bylo již pojednáno v předchozích kapitolách.

Shrnutí

Problém optimalizace je řešen v jiných systémových aplikačních disciplínách. Proto jsme uvedli pouze principy a základní přehled

SHRNUTÍ MODULU SYSTÉMOVÁ ANALÝZA

Σ

Po absolvování tohoto modulu sice ještě nejste špičkoví systémoví analytici, ale máte znalosti potřebné pro orientaci v systémových vědách, při analýze problémů, modelování a analýze konkrétních reálných systémů.

Shrnutí modulu

KLÍČOVÁ SLOVA MODULU SYSTÉMOVÁ ANALÝZA

Systém, prvek systému, vazba v systému, stav systému, stavová rovnice, přechod, přechodová funkce, okolí systému, organizace systému, struktura systému, informace, model, modelování, Normální chování, mutace, poruchové chování, měkký systém, tvrdý systém, klasifikace systémů, Kompozice, dekompozice, model, zobrazení, systémový návrh, subsystém, stabilita, strukturální analýza, objektově orientovaná analýza, graf, podgraf, indukovaný graf, uzel, hrana, cyklus, precedenční matice, sukcedenční matice, incidenční matice, cesta v grafu, kritická cesta, časová rezerva

Klíčová slova

DOPLŇUJÍCÍ ZDROJE

Kniha

VEPŘEK, J. ; NEDOMA, J. ; Metody analýzy struktury systémů v ekonomice, Academia Praha, 1986,

JANÁČEK, J. ;Matematické programování, Žilina:Edis, ISBN 80-7100-573-8

BORJE, L. ; Teoretická analýza informačních systémů, Alfa, Bratislava, 1981, 63-110-81,

MOLNÁR Z. ; Moderní metody řízení informačních systémů. Grada ,Praha 1992 , ISBN 80-85623-07-2

TIETZE P. ; Strukturální analýza - Úvod do projektu řízení, Grada ,Praha 1992,

ŠTACH, J. ; Základy teorie systémů, Praha, SNTL, 1982,

VLČEK, J. ; a kol.: Systémová teorie jako základ teorie řízení, Praha, Institut řízení, 1972,

TOMIS, L. ; NĚMEC, F. ; BALCOVÁ, J. ; Základy teorie systémů, VŠB Ostrava, 1989,

TVRDÍKOVÁ, M. ; Zavádění a inovace informačních systémů ve firmách. Praha : Grada, 2000. 110 s. ISBN 80-7169-703-6,

HABR, J. ; VEPŘEK, J. ; Systémová analýza a syntéza : zdokonalování a projektování systémů. 2. přepracované vydání, Praha : SNTL, 1986,

HORNÝ, S. ; Analýza a návrh systémů. Praha : Vysoká škola ekonomická, 2000, ISBN 80-245-0007-8,

HORNÝ, S. ; PALOVSKÁ, H. ; VÁCLAVÍKOVÁ, M. ; Systémová metodologie : Materiály ke cvičení. Praha : Vysoká škola ekonomická, 2001. ISBN 80-245-0132-5,

MALÝ, Jaroslav. Teorie systémů I. 2. vydání, Hradec Králové : Gaudeamus, 2000. ISBN 80-7041-741-1,

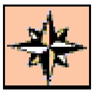
MALÝ, J. ; VÍTEK, M. ; Teorie systémů II. 2. vydání, Hradec Králové : Gaudeamus, 2000. ISBN 80-7041-759-5,

POLÁK, J. ;MERUNKA, V. ;CARDA, A. ; Umění systémového návrhu : Objektově orientovaná tvorba informačních systémů pomocí původní metody BORM. Praha : Grada, 2003.. ISBN 80-247-0424,

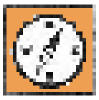
BOTLÍK, J. ; Využití maticových operací v procesu systémové analýzy, ISBN 80-7302-005-X, str. 25-29, Sborník konference MendelNET 2000, Brno 2000, MZLU Brno, 2000, BOTLÍK, J. ; Maticové operace v síťové analýze, , ISBN 80-7302-005-X, Sborník příspěvků z konference studentů doktorského studia MendelNET 2001 – 1. díl, str.75-77, Brno 2001, MZLU Brno, 2001,	Článek ve sborníku
MIŠOVIČ, M. ; Podpůrné texty k předmětu TEORETICKÉ ZÁKLADY INFORMATIKY, fakulta informatiky, MU Brno, http://is.mendelu.cz/pracoviste/predmety.pl?id=8;lang=cz pri_teze.doc – elektronická verze tezí k předmětu Projektování informačních systémů pro online studium http://www.sks.cz ÚVOD DO OPTIMÁLNÍHO ROZHODOVÁNÍ http://orms.czu.cz/text/cesky/kapitola1.html http://home.eunet.cz/berka/o/grafy.htm http://mujweb.atlas.cz/veda/kunzmilan/inverz.htm	Web

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK, SYMBOLŮ A ZKRATEK

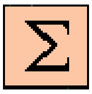
Informativní, navigační, orientační



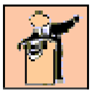
Průvodce studiem



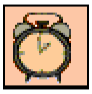
Průvodce textem, podnět, otázka, úkol



Shrnutí



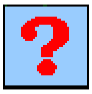
Tutoriál



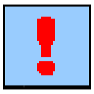
Čas potřebný k prostudování

Nezapomeň na odměnu a odpočinek

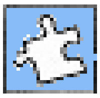
Ke splnění, kontrolní, pracovní



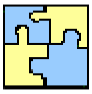
Kontrolní otázka



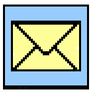
Samostatný úkol



Test a otázka

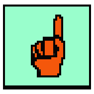


Řešení a odpovědi, návody

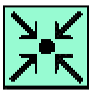


Korespondenční úkoly

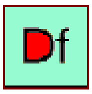
Výkladové



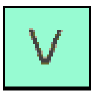
K zapamatování



Řešený příklad

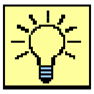


Definice

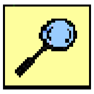


Věta

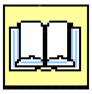
Náměty k zamyšlení, myšlenkové, pro další studium



Úkol k zamyšlení



Část pro zájemce



Další zdroje

Vlastní značky, symboly, zkratky

Zdůrazněná informace nebo námět k přemýšlení …