

Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Použitie lineárnej logiky v oblasti lingvistiky

Diplomová práca

2016

Bc. Zuzana Dorkinová

Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Použitie lineárnej logiky v oblasti lingvistiky

Diplomová práca

Študijný program: Informatika
Študijný odbor: 9.2.1 Informatika
Školiace pracovisko: Katedra počítačov a informatiky (KPI)
Školiteľ: Ing. Daniel Mihályi, PhD.
Konzultant: Ing. Daniel Mihályi, PhD.

Košice 2016

Bc. Zuzana Dorkinová

Abstrakt v SJ

Logická analýza prirodzeného jazyka je lingvistickou oblasťou založenou na štúdiu logických štruktúr vytvorených z prirodzeného jazyka - ich vlastností a vzťahov. Richard Montague, ktorý bol jednou z najvýznamnejších osobností v oblasti logickej analýzy prirodzeného jazyka, vytvoril priekopnícky logický prístup k sémantike prirodzených jazykov, známy ako Montaguova gramatika. Táto diplomová práca pojednáva o prepojení logickej oblasti reprezentovanej predikátovou lineárnou logikou a teóriou Ludics, s lingvistickou oblasťou reprezentovanou Montaguovou gramatikou. Hlavným cieľom práce je preklad vety prirodzeného jazyka do formuly predikátovej lineárnej logiky a jej popis v čas priestorovom kalkule.

Kľúčové slová

ludics, montaguova gramatika, predikátová lineárna logika

Abstrakt v AJ

Logic analysis of natural language is a linguistic area based on study logic structures made from natural language - their properties and relations. Richard Montague, which is major figure in logic analysis of natural language, pioneered a logical approach to natural language semantics which became known as Montague grammar. This thesis is about connection between logic area represented by predicate linear logic and Ludics theory, and linguistic area represented by Montague grammar. The main goal of this work is to translate sentence of natural language into predicate linear formulae and describe it in time-spatial calculus.

Kľúčové slová v AJ

ludics, montague grammar, predicate linear logic

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
Katedra počítačov a informatiky

ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študijný odbor: **9.2.1 Informatika**
Študijný program: **Informatika**

Názov práce:

Použitie lineárnej logiky v oblasti lingvistiky
Applications of Linear Logic in Linguistics

Študent: **Bc. Zuzana Dorkinová**
Školiteľ: **Ing. Daniel Mihályi, PhD.**
Školiace pracovisko: **Katedra počítačov a informatiky**
Konzultant práce:
Pracovisko konzultanta:

Pokyny na vypracovanie diplomovej práce:

1. Naštudovať možnosti použitia predikátov zdrojovo orientovaného logického systému v oblasti lingvistiky.
2. Analyzovať súčasný stav v oblasti formalizácie vetnej skladby v teoretickej informatike.
3. Realizovať na konkrétnom príklade rozbor vety prirodzeného jazyka použitím Montagueho prístupu v rámci formuly umiestnenej v logickom priestore a čase.
4. Vypracovať dokumentáciu podľa pokynov vedúceho inžinierskej záverečnej práce.

Jazyk, v ktorom sa práca vypracuje: slovenský
Termín pre odovzdanie práce: 29.04.2016
Dátum zadania diplomovej práce: 31.10.2015


doc. Ing. Jaroslav Porubán, PhD.
vedúci garantujúceho pracoviska




prof. Ing. Liberios Vokbrokos, PhD.
dekan fakulty

Čestné vyhlásenie

Vyhlasujem, že som diplomovú prácu vypracoval(a) samostatne s použitím uvedenej odbornej literatúry.

Košice 29. 4. 2016

.....

Vlastnoručný podpis

Podakovanie

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce Ing. Danielovi Mihályimu, PhD. za množstvo odborných rád a hodnotných pripomienok pri písaní práce, mimoriadnu podporu pri riešení problémov a trpezlivý, ľudský prístup.

Obsah

Úvod	1
1 Formulácia úlohy	3
2 Logická analýza prirodzeného jazyka	4
2.1 Transformačná - generatívna gramatika	11
2.1.1 Úvod do problematiky	12
2.1.2 Základné princípy teórie generatívnej gramatiky	13
2.1.3 Gramatické prístupy v generatívnej gramatike	15
2.2 Montagueova gramatika	24
2.2.1 Úvod do problematiky	25
2.2.2 Montagueovský prístup k intenziál	27
2.2.3 Aplikácia Montagueovej teórie	29
2.2.4 Vetný rozbor v PTQ	41
2.3 Transparentná intenzionálna logika	47
3 Predikátová lineárna logika	51
3.1 Syntax lineárnej predikátovej logiky	53
3.2 Fragmentácia a sémantika lineárnej predikátovej logiky	55
3.3 Dokazovací kalkul predikátovej lineárnej logiky	57
4 Ludics	62
4.1 Čas v lineárnej logike	62
4.2 Priestor v lineárnej logike	64
5 Syntéza riešenia	68
6 Aplikácia Ludics na vetu prirodzeného jazyka	73
6.1 Lingvistická časť - preklad vety do formálneho jazyka	74
6.2 Logická časť - Ludics	79

6.3	Počítačové spracovanie prirodzeného jazyka a Ludics	84
7	Záver (zhodnotenie riešenia)	88
	Zoznam použitej literatúry	91

Zoznam obrázkov

2-1 Odvodenie zvolenej vety vyjadrené stromovým grafom 1	19
2-2 Odvodenie zvolenej vety vyjadrené stromovým grafom 2	20
2-3 Fázy spracovania prirodzeného jazyka v Montagueovej teórii	42
2-4 Výraz "the price rises" zachytený pomocou prístupu Chomského	43
2-5 Syntaktická derivácia výrazu	43
2-6 Preklad výrazu do logického jazyka	44
2-7 De dicto rozklad vety "Every man loves a woman."	45
2-8 De re rozklad vety "Every man loves a woman."	45
2-9 Syntaktická derivácia vety "Bill believes that John talks."	46
2-10 Preklad vety "Bill believes that John talks." do logického jazyka . . .	47
3-1 Prepojenie lingvistiky a (zdrojovo orientovanej) logiky	53
3-2 Fragmentácia lineárnej logiky	56
5-1 Konceptuálny návrh riešenia	68
5-2 Cieľ práce	71
6-1 Popis aplikácie Ludics na formulu vytvorenú pomocou LANL	74
6-2 Syntaktická derivácia vety "Every adventurer seeks a glory and some adventurer finds a death."	76
6-3 Preklad vety "Every adventurer seeks a glory and some adventurer finds a death." do logického jazyka	77
6-4 Dôkazový strom formuly predikátovej lineárnej logiky	81
6-5 Redukovaný strom formuly predikátovej lineárnej logiky znázorňujúci inkrementáciu logického času	83
6-6 Strom adries formuly predikátovej lineárnej logiky znázorňujúci lo- gický priestor	83

Zoznam tabuliek

2–1	Množina <i>Cat</i> Montagueovej gramatiky	31
5–1	Porovnanie vybraných logík	69
6–1	Prepis symbolov predikátovej logiky 1. rádu do intenzionálneho frag- mentu predikátovej lineárnej logiky	79

Zoznam symbolov a skratiek

$!$ *samozrejme*, že, symbol lineárnej logiky

$?$ *prečo nie*, symbol lineárnej logiky

A, B symboly označujúce formuly, resp. podformuly lineárnej logiky

B_{X_C} množina lexikálnych jednotiek pre kategóriu X_C v PTQ, napr. B_{CN_C} pre množinu lexikálnych jednotiek kategórie podstatných mien

Cat množina všetkých kategórií v PTQ

Con_{x_T} množina konštánt typu x_T v PTQ

E výraz prirodzeného jazyka

I, J, K symboly používané v teórii Ludics, označujúce ramifikáciu

$LANL$ logická analýza prirodzeného jazyka

ME_{x_T} množina zmysluplných výrazov typu x_T v intenzionálnej logike

NP nominálna fráza, pojem chomského frázovej gramatiky

PTQ The Proper Treatment of Quantification in Ordinary English

VP verbálna fráza, pojem chomského frázovej gramatiky

Var_{x_T} množina premenných typu x_T v PTQ

X, Y pomocné symboly používané v teórii generatívnej gramatiky

X_C kategórie v PTQ, kde X predstavuje konkrétny názov kategórie, napr. CN_C pre kategóriu podstatných mien

X_T	typy v PTQ, kde X predstavuje konkrétny názov typu, napr. CN_T pre typ podstatných mien
Λ	kontext používaný v teórii Ludics, predstavujúci konečnú množinu adries
α, β, γ	<i>reťazce</i> , symboly používané v teórii generatívnej gramatiky
$\&$	<i>aditívna konjunkcia</i> , binárna logická spojka v lineárnej logike
$\wp$	<i>multiplikatívna disjunkcia</i> , binárna logická spojka v lineárnej logike
$\multimap$	<i>implikácia</i> , binárna logická spojka v lineárnej logike
$\oplus$	<i>aditívna disjunkcia</i> , binárna logická spojka v lineárnej logike
$\otimes$	<i>multiplikatívna konjunkcia</i> , binárna logická spojka v lineárnej logike
$\perp$	<i>negácia</i> , unárna logická spojka v lineárnej logike
σ	symbol používaný v teórii Ludics, označujúci adresu (resp. konečnú postupnosť biasov)
$\sqsubseteq$	symbol používaný v teórii Ludics, označujúci reláciu usporiadania
ξ	symbol používaný v teórii Ludics, predstavujúci umiestnenie formuly v dôkaze
e_C	kategória individuálnych výrazov v PTQ
e_T	typ individuálnych výrazov v PTQ
i, j, k	symboly používané v teórii Ludics, označujúce bias
t_C	kategória pravdivostných hodnot v PTQ
t_T	typ pravdivostných hodnot v PTQ
$*$	symbol používaný v teórii Ludics, označujúci zretazenie

Slovník termínov

Antimentalizmus je opakom mentalizmu. Mentalizmus je učenie, v lingvistike smer, ktorý chápe rečový akt ako výsledok zložitého komplexu javov, založených na mentálnej činnosti hovoriaceho individua.

Antitéza je prirovnanie rozvinuté protikladom, prirovnanie na základe popretia.

Bias je pojem z teórie Ludics. Pri fokalizácii sa tak nazývajú priame podformuly konkrétnej formuly.

Dizajn je základný objekt v teórii Ludics, ktorý predstavuje abstraktnú reprezentáciu dôkazu lineárnej logiky.

Derivačná história výrazu skúma sa pri nej rekognoskácia vstupného výrazu z hľadiska spôsobu, akým bol výraz vytváraný.

Deskriptivizmus americká forma štrukturalizmu. Predstavitelia: E. Sapir, L. Bloomfield, Z. S. Harris, L. Pike.

Dvojtypová teória typov bola definovaná Pavlom Tichým. Danú teóriu vytvoril z Churchovho jazyka teórie typov, ktorý obohatil o typ možných svetov.

Fokalizácia je pojem z teórie Ludics. Slúži na uzavretie viacerých, za sebou idúcich krokov dôkazu (zavádzajúcich kladnú logickú spojku) do jedného kroku.

Intenzionálna logika je logika nestotožňujúca obsah výrazov iba s triedami a pravdivostnými hodnotami.

Invertibilita je pojem z teórie Ludics. Slúži na uzavretie viacerých, za sebou idúcich krokov dôkazu (zavádzajúcich zápornú logickú spojku) do jedného kroku.

Fonéma predstavuje najmenšiu komplexnú jednotku zvukového systému jazyka, akúsi abstrakciu, ktorá jestvuje v jazykovom vedomí používateľov jazyka.

Generativisti označenie jazykovedcov, ktorí sa venujú štúdiu a rozvíjaniu genera-

tívnej gramatiky.

Generatívna lingvistika predstavuje myšlenkový rámec lingvistiky, zaoberajúcej sa pojmom generatívna gramatika.

Graféma predstavuje najmenšiu funkčnú jednotku segmentálneho (hláskového resp. abecedného) systému jazyka, akýsi abstraktný typ písmena a jeho pozíciu v danej písmovej sústave.

Hyperintenzionálna sémantika predstavuje akúkoľvek sémantickú teóriu, ktorej princíp individualizácie významov je jemnejší ako logická ekvivalencia.

Kognitívna lingvistika - jej východiskom je predpoklad, že jazyk a jeho používanie je jednou z kognitívnych aktivít ľudskej mysle. Kognitívni lingvisti predpokladajú, že jazyk umožňuje poznávať procesy v mysli, ktoré sú inak nepozorovateľné.

Kognitívna psychológia študuje vedomé a nevedomé poznávacie procesy (vnímanie, myslenie, predstavivosť, reč, pamäť, učenie).

Kripkeho modely sú štruktúry, pozostávajúce z určitého množstva obyčajných modelov pre výrokovú logiku (tradičná logika na sémantickej tradícii Tarského), usporiadané medzi sebou nejakou reláciou a slúžiace na interpretáciu rôznych netradičných logík (intuicionistická, modálna atď.).

Lineárne logické programovanie je jednou z foriem logického programovania, ktoré funguje na princípoch lineárnej logiky.

Locus je pojem z teórie Ludics. Označuje sa ním adresa, ktorá je konečnou postupnosťou biasov.

Morfologické pravidlá pravidlá používané v rámci náuky o tvarosloví, manipulujúce so slovnými druhmi a ich gramatickými kategóriami.

Neohumboltizmus oživenie myšlienok Humboldta. Jazykoveda predstavuje du-

chovnú vedu, jazykový medzissvet – duchovné objekty medzi svetom a individuálnym vedomím.

Petriho sieť je grafický a matematický prostriedok vhodný na modelovanie systémov, pozostávajúcich z paralelných komponentov vo vzájomnej interakcii.

Princíp kompozicionality resp. skladobnosti - význam vety je jednoznačne určený významom zložiek, ktorými je veta komponovaná a spôsobom ich zloženia. Podobne pravdivostná hodnota získaná ohodnotením zloženej formuly je jednoznačne určená pravdivostnými hodnotami ohodnotenia podformúl zloženej formuly, ktorými je komponovaná v závislosti od spôsobu ich zloženia.

Propozícia predstavuje jazykovo spracovaný odraz úsekov skutočnosti, o ktorých hovoriaci vypovedá. Ide o významovú stránku vety, najmä o jej kognitívnu zložku.

Ramifikácia je pojem z teórie Ludics. Označuje sa ním množina (relatívnych) umiestnení - biasov.

Supozícia je vlastnosť výroku vyskytujúceho sa v propozícii. Jej úholou je zastupovanie vecí na ktoré poukazuje, pričom jeden výrok môže suponovať rôzne signifikáty (kde signifikácia je vlastnosť singulárneho výroku). Rozlišujú sa supozície de dicto a de re, ktoré predstavujú frázy použité na rozlíšenie intenzionálnych vyhlásení.

Štrukturalizmus výskumný smer, ktorý vznikol v 20. rokoch 20. storočia v lingvistike a v iných vedách. Jeho iniciátorom bol F. de Saussure dielom *Cours de linguistique générale* (1916). Tento tzv. "špeciálnovedný" štrukturalizmus kládol dôraz na výskum opakovateľných štruktúr javov.

Kritérium théta je pojem zavedený Noamom Chomskym v rámci teórie théta, ktorá sa zaoberá distribúciou a pridelovaním théta-rolí. Platí, že každý argument nesie práve jednu théta-rolu a každý théta-rola je priradená práve k

jednému argumentu.

Vidly je pojem z teórie Ludics. Označuje sa ním štruktúra, ktorý vznikne po tom, čo sú zo sekventu odstránené všetky informácie okrem umiestnenia.

Výpočtová lingvistika je interdisciplinárna veda na rozhraní kybernetiky, jazykovedy a kognitívnej psychológie.

Úvod

"Jazyk je oblekom myšlienky."

Samuel Johnson

Analýza prirodzeného jazyka nie je pojem, ktorý by bol v informatike novinkou, v skutočnosti ide o často diskutovaný tému. Bude v budúcnosti možné dorozumieť sa s počítačom v prirodzenom jazyku? Odpoveď na túto otázku dnes ešte nepoznáme, aj keď sa jej po celom svete intenzívne venuje množstvo vedeckých skupín - stačí spomenúť napríklad Centrum spracovania prirodzeného jazyka na Fakulte informatiky Masarykovej univerzity v Brne, kde informatici spolupracujú s lingvistami už od 60. rokov minulého storočia. Pokusy s formalizáciou a algoritmizáciou prirodzeného jazyka však neustále prebiehajú a prinášajú priaznivé výsledky v oblasti vyhľadávania informácií, pri strojovom preklade, dialógových systémov počítačových hier, ďalej pri jazykovom modelovaní pre rozpoznávanie a syntézu reči a v mnohých ďalších sférach, pričom jej budúcnosť informatici vidia predovšetkým v súvislosti s umelou inteligenciou.

Je viacero typov analýzy prirodzeného jazyka. V predloženej diplomovej práci ma primárne zaujíma logická analýza prirodzeného jazyka, ktorá okrem pomerne jednoduchého syntaktického rozboru vety umožňuje aj jej sémantický rozbor a taktiež spája nepríbuzné oblasti lingvistiky a logiky, čím vytvára v rámci teoretickej informatiky ucelený systém.

Motiváciou pre napísanie diplomovej práce venujúcej sa použitiu lineárnej logiky v lingvistike bol v prvom rade záujem o túto oblasť. Lineárna logika bola ústrednou témou mojej bakalárskej práce, kedy som ju dôkladne naštudovala a následne v som vypracovala rad príkladov v interpretácii predikátového lineárneho jazyka v paradigme zdrojovo - orientovaného logického programovania. Pri spracúvaní lineárnej logiky, ako aj na prednáškach predmetu Logika pre informatikov, som sa zoznámila aj s problematikou časopriestorového kalkulu lineárnej logiky nazývanom Ludics.

Jedinou neznámou oblasťou, ktorej sa venuje moja diplomová práca, bola pre mňa lingvistická časť venujúca sa prevažne Montaguovskému prístupu k logickej analýze prirodzeného jazyka. Práve v tejto časti som zistila, že publikácie venované tejto problematike sú často príliš všeobecného charakteru a chýbajú im dôležité detaily, definície, ako aj následná aplikácia popísaných princípov na konkrétnych príkladoch s ich vysvetlením. Mnohé z publikácií sú naopak veľmi úzko špecializované a u čitateľa predpokladajú prechádzajúce rozsiahle vedomosti o daných lingvistických prístupoch, na ktoré sa zameriavajú a častokrát je skoro nemožné plne im rozumieť.

Diplomová práca bola práve z tohto dôvodu písaná s cieľom zachytiť široké spektrum otázok, skompletizovať ich a uspokojivo ich spracovať. Sú v nej zahrnuté aj základné princípy potrebné na komplexnú ilustráciu tejto oblasti, so zámerom vytvoriť materiál vhodný pre čitateľov, ktorí v danej tematike nie sú zbehlí a ukázať im náväznosť jednotlivých postupov. Zároveň sa pokúsim zachovať v diplomovej práci vysokú úroveň odbornosti a pokúsim sa kvalitne spracovať túto zaujímavú oblasť nielen v teoretickej úrovni, ale aj vo vlastnej praktickej aplikácii nadobudnutých princípov, kedy sa pomocou teórie Ludics pokúsim dodať výrazom prirodzeného jazyka logický čas a priestor.

1 Formulácia úlohy

Úlohou tejto záverečnej práce je v úvode analyzovať súčasný stav v oblasti formalizácie vetnej skladby v teoretickej informatike. Táto analýza zahŕňa:

- tradičný Chomského prístup v transformačno-generatívnej gramatike,
- logickú analýzu prirodzeného jazyka reprezentovanú Montaguovou gramatikou, resp. Montaguovou intenzionálnou logikou a Tichého intenzionálnou logikou (pričom dôraz je kladený na Montaguovu teóriu).

Následne je potrebné spracovať možnosti použitia predikátov zdrojovo orientovaného logického systému v oblasti lingvistiky. Aj keď sa ako jediný vhodný logický systém na túto úlohu javí predikátová lineárna logika, určitý priestor je potrebné venovať úvahe, či neexistuje iná logika, ktorá by sa dala zvoliť ako východiskový aparát.

Po zavedení predikátovej lineárnej logiky je potrebné oboznámenie sa s časopriestorovým kalkuлом teórie Ludics. Ďalší krok predstavuje realizáciu rozboru vety prirodzeného jazyka použitím Montagueho prístupu na konkrétnom príklade, v rámci formuly umiestnenej v logickom priestore a čase. V závere práce je potrebné zamyslieť sa nad praktickým využitím vypracovaného riešenia práce, ako aj nad jej ďalšími možnosťami uplatnenia v budúcnosti.

2 Logická analýza prirodzeného jazyka

Pri zavádzaní gramatických systémov v lingvistike, určených na logickú analýzu prirodzeného jazyka je najprv potrebné definovať základné pojmy, ktoré predstavujú teoretické východiská práce, opierajúc sa o publikáciu Juraja Dolníka [13]. Pojem **lingvistika** (z franc. *linguistique*, z lat. *lingua* = jazyk), ktorý zaviedol švajčiarsky jazykovedec a štrukturalista Ferdinand de Saussure, predstavuje vedu skúmajúcu jazyk (hlavne prirodzený jazyk). Jazyk skúma s viacerých hľadísk - z hľadiska jeho lexikálnych jednotiek, funkcií, stavby alebo vývinu, pričom sa snaží odpovedať na základné otázky ako: „Čo je jazyk?“ a „Akým spôsobom je jazyk reprezentovaný v mysli človeka?“.

Jazyk je podľa Františka Čermáka [11] systém, ktorý používa fonémy a grafémy (kde fonéma je zvuková jednotka, ktorá je schopná rozlišovať význam slov alebo tvarov a graféma je najmenšia grafická jednotka - teda písmeno, pričom platí, že jednej fonéme zodpovedá jedna graféma), lexikálne a gramatické prostriedky na vyjadrenie myšlienok a komunikáciu ľudí prostredníctvom reči. Základné funkcie jazyka sú: dorozumievacia, reprezentatívna, poznávacia a estetická funkcia. Medzi atribúty jazyka patrí:

1. *komunikatívnosť* - umožňuje dorozumievanie sa ľudí,
2. *štruktúrovanosť* - systémy jazyka sa zoradujú špecifickým spôsobom, nie náhodne,
3. *arbitrárnosť* - vzťah medzi významom jazyka a jeho symbolmi je ľubovoľný,
4. *komplexnosť* - v jazyku je možné vytvoriť nekonečné množstvo výrazov (napr. z 5 slov je možné vytvoriť 120 viet), aj keď len zlomok z nich je významovo korektných,
5. *generatívnosť* - slová môžu vyjadrovať nekonečné množstvo významov, pričom ľudia dokážu porozumieť aj vetám, ktoré predtým nikdy nepočuli,

6. *vrodenosť* - deti majú schopnosť naučiť sa jazyk bez priamej výučby len s minimom relevantných, systematicky prezentovaných údajov.

Medzi oblasti štúdia jazyka patria podľa [39] Norberta Kopča:

1. **štruktúry** jazyka:

- *fonetika* - zvuková štruktúra jazyka, kde slová sú reprezentované ako sekvencia diskretných zvukov, pričom fonetika symbolicky zapisuje všetky zvuky používané v jazyku pomocou symbolov grafém,
- *syntax* - gramatická štruktúra jazyka, ktorá definuje pravidlá určujúce, čo je v danom jazyku gramaticky správne. Gramatika predstavuje náuku o stavbe jazyka, pričom sa neprihliada k vecnému obsahu jazykových prostriedkov. Obsahuje morfológiu (tvaroslovie), náuku o skladbe vety a náuku o hláskosloví.
- *sémantika* - významová štruktúra jazyka, ktorá popisuje spôsob, akým sa v mysli reprezentuje význam slov a ako sa táto reprezentácia používa pri tvorení viet,
 - *denotácia* - je to základný vzťah označovania jazykovej jednotky k označenému predmetu, korešpondencia medzi transparentným znakom (vedie jednoznačne k svojmu denotátu, resp. tomu, čo je označované) a tým, čo je označené, napr. jar je ročné obdobie,
 - *konotácia* - opak denotácie. V lingvistike sa jedná o pragmatické, teda nepojmové črty významu (napr. expresivita, postojové, citovo hodnotiace, estetické, intenzifikačné, evokačné a ideologické príznaky). Konotácia tak predstavuje jazykový význam s dôrazom na jeho extenziu, napr. jar je prebúdžanie, zrodenie,

semiotika - veda skúmajúca znaky a znakové sústavy, od signalizačných sys-

témov, až po prirodzené jazyky a formalizované jazyky. Medzi jej podobory patria spomínané štruktúry jazyka - syntax a sémantika, a tiež pragmatika, ktorá sa zaoberá používaním znakov a tiež vzťahmi medzi znakmi a ich používateľmi (vzťah prostredníka resp. nositeľa - znaku a interpreta - príjemcu).

2. **porozumenie** jazyku - porozumenie počutého resp. prečítaného zvyčajne býva bezproblémové, čo je spôsobené vysokou špecializáciou, komplexnosťou a výkonnosťou mozgových štruktúr, ktorých efektivita úzko súvisí so skutočnosťou, že sú do veľkej miery vrodené. Porozumenie prebieha v 3 krokoch:

- (a) *vizuálna a sluchová analýza* - identifikácia konkrétnych (napísaných alebo hovorených) slov,
- (b) *syntaktická translácia* - priradenie syntaktickej reprezentácie k identifikovaným slovám a následné vygenerovanie sekvencie sémantických kategórií,
- (c) *aktivácia reprezentácií v mentálnom lexikóne pamäte* - v lexikóne sa uchovávajú informácie, akými sú napríklad výslovnosť, význam, gramatické kategórie atď. pre jednotlivé slová,

3. **osvojovanie si jazyka** - pre osvojenie jazyka je dôležitá skutočnosť, že všetky jazyky majú určité univerzálne vlastnosti a to, že všetky ľudské komunity používajú jazyk podobným spôsobom a ľudia si dokážu osvojiť akýkoľvek cudzí jazyk. Z toho možno usúdiť, že všetky jazyky vychádzajú z určitých podobných základných štruktúr. Táto skutočnosť priamo súvisí s ideou univerzálnej gramatiky, viď kapitola 2.1.1, ktorej hlavným predstaviteľom bol Avram Noam Chomsky.

Pred zavedením vybraných lingvistických systémov je potrebné zaviesť aj ďalšie pojmy a skutočnosti, týkajúce sa sémantického a logického hľadiska problematiky, ktoré nám pri ich podrobnom vysvetľovaní umožnia vysvetliť, akým spôsobom je možné aplikovať sémantické a logické princípy na danú oblasť lingvistiky.

Kripkeho model možných svetov

Myšlienka na možné svety, ktorá bola prvý raz formulovaná Leibnizom už v 18.stor., sa výrazne rozvíja až o dve storočia neskôr pri vzniku modálnych logík (modálne kategórie nutnosti a možnosti), ktoré sú ideovou základňou pre viacero logických kalkulo, ktoré vo svojej implementácii používajú množinu možných svetov.

Možný svet podľa učebnice [40] Vladimíra Kvasničku v tomto poňatí predstavuje maximálny konzistentný (tzn. bez rozporov) súbor platných faktov. V tejto teórii sa pracuje aj s pojmami aktuálny svet - je to jeden prvok z možných svetov, s ktorým sa práve pracuje a logický priestor - množina všetkých možných svetov.

So sémantikou modálnej logiky Kripke, vychádzajúc z prednášky Valerie Novitzkej [55], pracuje pomocou modelov definovaných usporiadanou trojicou $(W, \leq, \models)^1$, kde

- W označuje neprázdnu množinu svetov,
- $\leq$ označuje reláciu dosiahnuteľnosti na W ,
- $\models$ označuje pravdivostnú reláciu.

Podľa Kripkeho slúžia možné svety na odlíšenie pravdivých viet od nepravdivých viet a významom vety je funkcia z množiny možných svetov do množiny pravdivostných hodnôt. Platí, že sémantika je závislá na aktuálnom svete.

Ak máme výrok V , ktorého významom je funkcia f , potom môžeme to, že $f(G) = V$ vyjadriť nasledovne: V je pravdivý vzhľadom k aktuálnemu svetu G . Podľa Kripkeho je významom výroku množina možných svetov resp. funkcia z možných svetov do pravdivostných hodnôt.

Ďalšie pojmy, ktoré zavedieme, sú extenzionálna logická sémantika a intenzionálna logická sémantika.

¹Niekedy Kripkovský model predstavuje usporiadanú štvoricu, kde prvé tri položky sú rovnaké ako som popísala a štvrtá položka predstavuje aktuálny svet.

Estenzionálna logická sémantika

Táto sémantika podľa Mariána Zouhara a jeho [80] predstavuje pôvodnú predstavu sémantiky (hl. predstaviteľ - B. Russell), kde:

- významom výrazu, mena je označovaný predmet, resp. logický objekt,
- významom výroku je pravdivostná hodnota tohto výroku,
- významom predikátu je funkcia (nazývaná aj klasifikačná), ktorá priradí pravdivostnú hodnotu tomuto predikátu.

Podľa [8] Pavla Cmoreja je prechod od extenzionálnej logickej sémantiky k intenzionálnej logickej sémantike nasledovný:

Fregeho dualita význam/zmysel, je nahradená dvojicou extenzia/intenzia od Rudolfa Carnapa. Ten extenziu chápe ako *”to, čo je spoločné”* ekvivalentným výrazom, pričom ich ekvivalencia predstavuje pravdivý výrok. Platí, že:

- extenziou mena, termu je označovaný predmet, resp. logický objekt,
- extenziou výroku je pravdivostná hodnota tohto výroku,
- extenziou predikátu je trieda všetkých aktuálnych predmetov, ku ktorým sa tento predikát viaže ako pravdivý.

Intenzionálna logická sémantika

Jej počiatky, vychádzajúc z práce [21] Kaia von Fintela a Irene Heimovej, siahajú k zavedeniu jednoduchkej teórie typov a modálnym logikám s princípom možných svetov, kde intenzia predstavovala *”význam”*, teda akúsi extenziu prispôbenú teórii možných svetov. Základnými princípmi intenzionálnej logickej sémantiky tak bola matematizácia významu viet a prechod od extenzionálneho k intenzionálnemu modelu sémantiky prirodzeného jazyka (čo bolo umožnené zapojením možných svetov). Intenzia je vlastne extenzia relativizovaná k možnému svetu a poznať intenziu

významu znamená byť schopný určiť jeho extenziu vo všetkých možných svetoch. V sémantikách možných svetov tak pojem intenzia predstavuje funkciu, ktorá možným svetom priraduje konkrétne hodnoty. Priradená hodnota môže byť:

- pravdivostná hodnota výroku v danom možnom svete, ak hovoríme o intenzii výroku,
- objekt označovanej frázy v danom možnom svete, ak hovoríme o intenzii singularnej frázy,
- trieda objektov, o ktorých platí, že je predikát pravdivý v danom možnom svete, ak hovoríme o intenzii predikátovej frázy.

Intenzia sa podľa profesora Pavla Maternu [45] teda týka toho, čo je spoločné všetkým nutne ekvivalentným výrazom, je obsiahlejšia ako extenzia, teda 2 výrazy s rovnakou intenziou majú totožnú extenziu, čo ale naopak neplatí (napr. výrazy štvornohý cicavec a pes majú rovnakú extenziu - označovaný výraz má meno štandardne pes, no i druhé označenie je pravdivé, ale majú rôznu intenziu, lebo výrazy štvornohý cicavec a pes nie sú nutne ekvivalentné).

R. Montague prichádza s novou variantou intenzionálnej logiky, kde je významom výrazu naďalej jeho extenzia. Pokúša sa zachovávať extenzionálny prístup všade kde sa to dá a intenzie používa len v nevyhnutných prípadoch, takže je intenzia v určitých kontextoch povyšovaná na extenziu. Takýto prístup nazývame lokálne intenzionálna sémantika.

Vo formálnych jazykoch sa spája význam výrazov s pojmom interpretácia, no keďže gramatická a logická štruktúra výrazu nie sú totožné, význam takýchto výrazov sa zisťuje pri analýze prirodzeného jazyka. S touto analýzou sa spája pojem LANL (Logic Analysis of Natural Language), ktorý je podrobne spracovaný napríklad v dizertačnej práci Allana Thirda [76]. LANL predstavuje logickú disciplínu, ktorá sa zaoberá interpretáciou významov prirodzeného jazyka, čím umožňuje riešiť prob-

lémy vznikajúce vďaka chybnjej analýze premís. LANL sa rozvíjala nezávisle od seba v dvoch charakteristických prístupoch, nazývaných Montagueova gramatika a transparentná intenzionálna logika.

Logická analýza výrazu prirodzeného jazyka predstavuje nájdenie zodpovedajúcej logickej formuly tohoto výrazu, pričom samotná analýza má hlavne prispieť k zisteniu, ako sa daný výraz podieľa na správnosti, resp. nesprávnosti úsudkov, v ktorých sa vyskytuje.

Problémy logickej analýzy prirodzeného jazyka:

- značná neurčitost prirodzeného jazyka,
- bežné vety prirodzeného jazyka nemajú jasne danú pravdivosť, získavajú ju až v konkrétnom kontexte (Veta "Čokoláda je pochúťka." nie je nutne pravdivá, existujú ľudia, ktorí čokoládu radi nemajú. Veta bude pravdivá, až keď jej dodáme konkrétny kontext, napr. "Zuzka zbožňuje všetky sladkosti, čokoláda je pre ňu pochúťka.").

Logici venujúci sa logickej analýze prirodzeného jazyka sa zaoberajú inou oblasťou výskumu ako filozofovia alebo lingvisti venujúci sa sémantike prirodzeného jazyka. Ak sa aj obe tieto skupiny venujú rovnakej problematike, vychádzajú z iných predpokladov o vzťahu jazyka a významu.

Rozdiely medzi LANL a sémantikou prirodzeného jazyka:

- v LANL ide o nájdenie logickej nutnosti, ktorej podliehajú dôležité vzťahy medzi jednotlivými prvkami jazykovej štruktúry,
- v sémantike prirodzeného jazyka ide o všeobecný popis sémantiky konkrétnych jazykov.

Všetky vyššie uvedené pojmy je potrebné pochopiť ešte pred zavedením vybraných systémov, a to Chomského **transformačno - generatívnej gramatiky** zameriavajúcej sa na syntaktickú oblasť problematiky a systémov pre logickú analýzu priro-

dzeného jazyka - **Montagueovej gramatiky** a **Tichého transparentnej intenzionálnej logiky**, umožňujúcich nájsť jednoznačný význam výrazov prirodzeného jazyka.

2.1 Transformačná - generatívna gramatika

S počiatkom logickej analýzy prirodzeného jazyka (a idei univerzálnej gramatiky) sa spája meno Leibniz, ktorý ako prvý prišiel s myšlienkou univerzálneho umelého jazyka. V Leibnizovej predstave sa to, či je fráza korektne vytvorená a to, aké vety z nej plynú, určovalo pomocou algoritmu odvodeného z pravidiel tohto jazyka. Gottlob Frege [5], praotec modernej sémantiky, ktorý stojí aj za vznikom matematickej logiky, sa túto Leibnizovu myšlienku pokúsil realizovať a pomocou umelého logického jazyka dokázal zachytiť logickú štruktúru obmedzeného množstva výrazov prirodzeného jazyka.

Gramatika jazyka predstavuje množinu pravidiel, podľa ktorých sa tvoria zmysluplné vety. Podľa Márie Bednárikovej [5] sa pojmom univerzálna gramatika, ktorý sa objavuje už v období scholastiky, rozumela gramatika platná pre všetky jazyky, schopná popísať vzťah jazyka ku skutočnosti. Touto ideou sa zaoberali filozofi, technici i lingvisti (hľadali invariant spoločný všetkým gramatikám, patrí tu i Chomského generatívna gramatika, kde sa tento invariant hľadal pomocou metód štrukturálnej analýzy).

Avram Noam Chomsky, americký lingvista, filozof a logik, profesor lingvistiky na Massachusetts Institute of Technology, je známy v oblasti teoretickej informatiky predovšetkým ako tvorca dnes už tradičnej *Chomského hierarchickej klasifikácie formálnych jazykov*. Je však i autorom teórie **transformačnej - generatívnej gramatiky** (skrátene generatívnej gramatiky), prvýkrát predstavenej v publikácii *Syntactic structures* [35]. Tento lingvistický smer, ktorý Chomsky vytvoril na základe kritiky deskriptivismu v 50-tych rokoch 20. storočia, predstavuje inovatívny prístup

k tvorbe gramatiky. Generatívna gramatika predstavuje antitézou k antimentalizmu a behaviorizmu, pokúša sa zjednotiť neohumboltizmus a štrukturalizmus. Ako reakcia na generatívnu gramatiku vznikla kognitívna lingvistika. Často býva považovaná za najväčší prínos na poli teoretickej lingvistiky v 20. storočí.

Chomsky sa (vychádzajúc z [31]) zameriaval predovšetkým na syntaktickú oblasť problematiky. Ako zakladateľ odvetvia generatívnej lingvistiky, sa pokúsil formalizovať lingvistiku tým, že prišiel s ideou ako pomocou matematických prostriedkov popísať generovanie nekonečného množstva viet, ak existuje konečný slovník. Pri pokuse dosiahnuť tento cieľ sa zameriaval hlavne na syntaktickú stránku jazyka. Sémantike podľa Chomského [34] pripadá iba úloha interpretovať štruktúry generované syntaxou.

2.1.1 Úvod do problematiky

Podľa Ludmily Veselovskej [77], Chomsky zaviedol pojem **univerzálna gramatika** predstavujúci jeho ideu, podľa ktorej je vývoj reči podmienený geneticky. Dieťa sa rodí s určitou gramatickou šablónou, na ktorú je možné napasovať ľubovoľný svetový jazyk. Človek tak má podľa tejto teórie od narodenia znalosť základnej gramatickej štruktúry jazyka a univerzálna gramatika je mu vrodená, nie získaná počas života učením sa. Chomsky pri dokazovaní tejto svojej teórie poukazuje na fakt, že si deti osvoja svoj materinský jazyk za veľmi krátku dobu, pričom lingvistické údaje, ku ktorým majú prístup, sú nedostatočné pre získanie rozsiahlych lingvistických znalostí dosiahnutých v dospelosti, ako bolo popísané v práci [72] Martina Takáča.

Ďalší významný pojem - **transformačná gramatika**, predstavený v knihe *Logical Structure of Linguistic Theory* [32], reprezentuje teóriu, podľa ktorej majú výroky (vety, postupnosti slov) určitú syntax, ktorá je opísateľná formálnou, presnejšie bezkontextovou gramatikou, rozšírenou o transformačné pravidlá. Chomsky ďalej tvrdí, že tvorba výrokov použitím formálnej gramatiky spôsobuje rozširovanie jazyka, kde

s konkrétnou množinou gramatických pravidiel a konečnou množinou pojmov, sa dajú vytvoriť nekonečné počty viet.

Generatívna gramatika (štandardná teória generatívnej gramatiky bola predstavená v publikácii [31]) je označenie pre abstraktné analýzy syntaxe, ktoré sú založené na pozorovaní hraníc medzi negramatickými a gramatickými jazykovými konštrukciami. Konkrétne vety sú produkované prostredníctvom transformácií abstraktných hĺbkových štruktúr na konkrétne povrchové štruktúry. Táto lingvistická koncepcia nadväzuje na transformačnú gramatiku, podľa ktorej je jazyk systémom pravidiel, ktoré umožňujú vytvárať nekonečný počet gramaticky správnych viet.

Keďže východiskovou myšlienkou Chomského bolo, že jazyková teória má opísať a vysvetliť jazykovú kompetenciu používateľa jazyka, tak sa dôraz sa kladie na opis kompetencie (teda znalosti jazyka) hovoriaceho, pričom táto jeho kompetencia nie je prístupná bezprostrednému pozorovaniu pozorovateľa. **Jazyková kompetencia** predstavuje súhrn jazykových znalostí nositeľov jazyka. Tie mu umožňujú vytvoriť všetky gramaticky správne vety podľa gramatických pravidiel, týmto vetám pripísať zodpovedajúce štruktúry, vyslovovať hodnotenia, či sú správne alebo nesprávne a tiež určiť, do akej miery je porušenie pravidiel odchýlkou voči gramaticky korektným tvarom viet. Jazykovedci, ktorí sa venujú štúdiu a rozvíjaniu generatívnej gramatiky, sa nazývajú generativisti.

Zjednodušene povedané, generatívna gramatika predstavuje súbor formálnych pravidiel, na základe ktorých možno vytvoriť, čiže generovať všetky správne vety daného jazyka.

2.1.2 Základné princípy teórie generatívnej gramatiky

Ako je popísané v publikácii Jaromíra Janouška [37], základnou myšlienkou Chomského bola predstava, že každá veta je reprezentovateľná na 2 úrovniach:

- **Hĺbková úroveň** - hĺbková štruktúra (D - štruktúra) obsahuje jadro séman-

tických vzťahov. Ide o "vnútornú" štruktúru, ktorou je veta reprezentovaná v mozgu, dá sa popísať stromovým diagramom (tzv. frázovou štruktúrou).

- **Povrchová úroveň** - reprezentuje to, ako vety vyslovujeme v skutočnosti. Postupným aplikovaním gramatických transformačných pravidiel je možné hĺbkovú štruktúru zobraziť do povrchovej štruktúry (S - štruktúra).

Napríklad definujeme 3 rôzne povrchové reprezentácie totožnej hĺbkovej štruktúry:

1. Dievča hodilo kamienok do vody.
2. Kamienok bol dievčaťom hodený do vody.
3. Kamienok dievča do vody hodil.

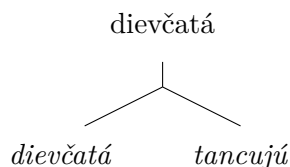
Prvá aj druhá zvolená povrchová reprezentácia danej hĺbkovej štruktúry je považovaná za gramaticky prípustnú, zatiaľ čo tretia reprezentácia je gramaticky neprípustná.

V generatívnej gramatike sú dôležité okrem korektných a autentických viet (veta 1., 2.) aj vety konštruované zámerne zle (veta 3.), v ktorej bol zámerne zle konštruovaný princíp pridelovania sémantických rolí, tzv. "*kritérium théta*". Pre pokrok jazykovedy a poznanie gramatického systému je dôležité pochopiť práve tento rozdiel, medzi gramatickou a negramatickou vetou. V 90-tych rokoch minulého storočia sa Chomsky začína na túto problematiku pozeráť z nových uhlov a prichádza s teóriou **minimalizmu** [33] a zavádza pojmy: štruktúra holej frázy resp. teória frázovej štruktúry. Pri teórii frázovej štruktúry sa pracuje s dvoma operáciami - *Zlúčenie* (z angl. merge) a *Posun* (z angl. move). Okolo problematiky operácie *Move* prebieha živá diskusia a je možné nazerať na ňu viacerými spôsobmi, pre vysvetlenie základných princípov je však postačujúce popísať funkcionality operácie *Merge*.

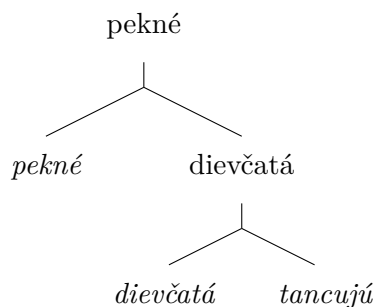
Definícia funkcie: $Merge(\alpha, \beta) \rightarrow \alpha, \alpha, \beta$, kde objekty α, β sú začlenené do neusporiadaného súboru s hlavičkou, v tomto prípade α , určujúcou náležitosť frázy.

Uvedme ako príklad vetu: "Pekné dievčatá tancujú.". V takomto prípade ozna-

číme ako hlavičku frázy "dievčatá". Aplikáciou funkcie *Merge* (*dievčatá*, *tancujú*) $\rightarrow \{\textit{dievčatá}, \{\textit{dievčatá}, \textit{tancujú}\}\}$ vytvoríme nasledujúci syntaktický strom:



Pre komplexné spracovanie pôvodnej vety "Pekné dievčatá tancujú.", pracujeme s už vytvorenou štruktúrou pripojením novej hlavičky "pekné", čím vznikne *Merge* $(\gamma, \alpha, \alpha, \beta) \rightarrow \gamma, \gamma, \alpha, \alpha, \beta$. Tentoraz aplikáciou funkcie *Merge* (*pekné*, $\{\textit{dievčatá}, \{\textit{dievčatá}, \textit{tancujú}\}\}$) $\rightarrow \{\textit{pekné}, \{\textit{pekné}, \{\textit{dievčatá}, \{\textit{dievčatá}, \textit{tancujú}\}\}\}\}$ vznikne nasledujúci syntaktický strom.



Operácia *Merge* teda premieta hlavičky do všemožných kombinácií, pričom tento proces je automatický.

Pre potreby tejto práce budú viac ako nové smery v teórii generativizmu, z ktorých je najdôležitejší napríklad spomínaný minimalizmus, zaujímavé skôr rôzne gramatické prístupy klasifikované podľa Petra Sgalla [66] s konkrétnymi príkladmi použitia.

2.1.3 Gramatické prístupy v generatívnej gramatike

Podľa prof. Štefana Hudáka [30] pre definovanie pojmu formálna gramatika G predpokladáme existenciu abecedy neterminálnych symbolov V_N a abecedy terminálnych symbolov V_T . Formálna gramatika potom predstavuje štvoricu $G = (V_N, V_T, P, S)$, kde S je neterminálny štartovací symbol a P je množina substitučných pravidiel p

zapísaných v tvare $p : \alpha \rightarrow \beta$ (kde α predstavuje ľavú a β pravú stranu pravidla p).

Prirodzený jazyk, narozdiel od formálnych jazykov, sa skladá z viet a slov. Neterminálne symboly (vnútorná abeceda gramatiky, objekty typu slovné druhy, vetné druhy, vetné časti) budeme zapisovať do zátvoriek, terminálne symboly (koncové symboly, konkrétne slová vytvárajúce vetu) budú objekty zapísané bez zátvoriek. Proces rozkladu vety je možné vyjadriť pomocou stromového grafu alebo pomocou produkčných pravidiel (resp. substitučných, prepisovacích, nahradzovacích pravidiel), zapísaných v tvare $\alpha \rightarrow \beta$. Platí, že symbol $\rightarrow$ reprezentuje skutočnosť, že ľavá časť pravidla môže byť nahradená pravou časťou, čítame "prepíš". Vetný rozklad je takto možné vyjadriť ako množinu produkčných pravidiel. Musí existovať určitý reťazec symbolov, ktorý je štartovacím reťazcom, z ktorého sa následne používajú pravidlá gramatiky, až kým sa nedôjde k reťazcu, ktorý už podľa pravidiel danej gramatiky nie je možné ďalej prepisovať.

Gramatické (produkčné) pravidlá vyhovujú rôznym formálnym podmienkam a obmedzeniam v prípadoch, kde je pre formalizáciu gramatiky nevyhnutné formulovať tieto podmienky. Na základe toho, akým obmedzeniam vyhovujú pravidlá gramatík, je možné generatívne gramatiky roztriediť do rôznych typov. V nasledovnom delení vychádzajúc z článku Evy Benešovej [4] platí, že formálne obmedzenia sú postupne čoraz slabšie a súčasne s tým rastie generatívna sila gramatík.

Delenie gramatických typov:

1. Gramatiky s konečným počtom stavov

Základným princípom gramatiky s konečným počtom stavov je, že sa pamätajú pravidlá pre všetky možné gramaticky prípustné vety, pričom sa do týchto pravidiel iba dopĺňajú slová. Veta je teda lineárnym zretazením slov. Každé pravidlo má na ľavej strane práve jeden symbol a na pravej strane práve jeden koncový symbol, resp. koncový symbol spojený s pomocným symbolom.

Majme $\alpha \rightarrow \beta$, potom platí, že existujú $X, Y, a\sigma$ také, že $X \rightarrow \sigma, \sigma = XY$

alebo $\sigma = a$. Symboly X, Y označujú vždy jeden pomocný symbol, symbol a reprezentuje symbol koncový, α, β, σ sú refazce symbolov. Ak pravidlá obsahujú rekurzívne symboly, napr. $X \rightarrow aY, Y \rightarrow bX$, dajú sa takýmto spôsobom zostrojiť ľubovoľne dlhé vety.

Napríklad majme vetu "Divoké kačky lietajú v krdloch.". Táto veta je vytvorená použitím pravidla:

$\langle \text{VETA} \rangle \rightarrow \langle \text{PRÍDAVNÉ MENO} \rangle \langle \text{PODSTATNÉ MENO} \rangle \langle \text{SLOVESO} \rangle \langle \text{PREDLOŽKA} \rangle \langle \text{PODSTATNÉ MENO} \rangle$.

Ak by sme túto vetu modifikovali na "Divoké kačky, na rozdiel od sliepok domácich, lietajú v krdloch", nemôžeme na ňu použiť staré pravidlo, ale potrebujeme pravidlo nové, rovnako ako pri ďalších modifikáciách pôvodnej vety. Tiež z tejto gramatiky nie je jasné, prečo sloveso "lietajú" aplikujeme na slovo "kačky" a nie na "sliepky".

2. Frázové gramatiky

(a) Frázová bezkontextová gramatika

Východiskom tejto gramatiky je, že definuje vety na základe fráz, resp. klauzúl a nie slov. Podstatné sú frázové ukazovatele, označujúce poradie a vzájomné vzťahy vetných zložiek. Tento ukazovateľ je charakterizovaný ako štruktúrny popis vety, majúci podobu stromu alebo postupného vetného rozkladu pravidlami. Veta je vo frázovej gramatike rozložená na základné frázy - NP (z angl. noun phrase, nominálna fráza resp. podmetová časť) a VP (z angl. verb phrase, verbálna fráza resp. prísudková časť), následne sú definované odvodzovacie pravidlá, vďaka ktorým z fráz získame informáciu o tom, ktorý slovný druh sa v danej fráze nachádza. Takýmto spôsobom sú konštruované pravidlá pre zostavenie vety, napr.:

- $\langle \text{VETA} \rangle \rightarrow \langle \text{PODMETOVÁ ČASŤ} \rangle \langle \text{PRÍSUDKOVÁ ČASŤ} \rangle$,
- $\langle \text{PODMETOVÁ ČASŤ} \rangle \rightarrow \langle \text{PRÍDAVNÉ MENO} \rangle \langle \text{PODSTATNÉ}$

MENO>,

- $\langle \text{PRÍSUDKOVÁ ČASŤ} \rangle \rightarrow \langle \text{SLOVESO} \rangle \langle \text{PREDMET} \rangle$,
- $\langle \text{PREDMET} \rangle \rightarrow \langle \text{PREDLOŽKA} \rangle \langle \text{PODSTATNÉ MENO} \rangle$.

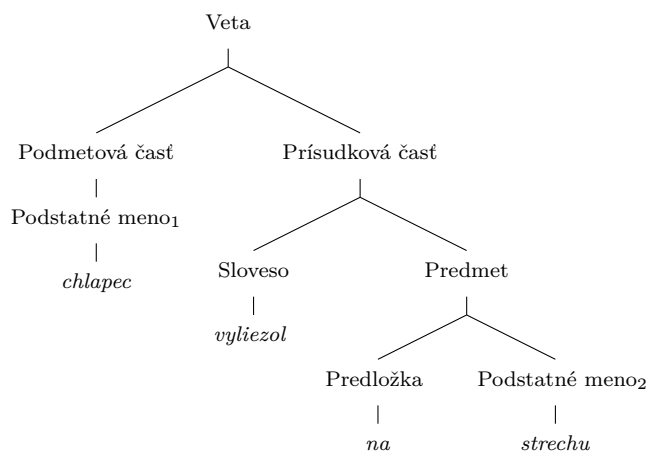
Prepisovacie pravidlá sú písané v určitom poradí, môžu byť aj rekurzívne, napr. $\langle \text{PREDMET} \rangle = \langle \text{VETA} \rangle$.

Na ľavej strane pravidla je práve jeden symbol, na pravej strane je neprázdny reťazec symbolov. Frázové bezkontextové gramatiky definujeme nasledujúcim spôsobom: Majme $\alpha \rightarrow \beta$, potom platí, že existujú X, σ také, že $X \rightarrow \sigma$. Táto gramatika je považovaná za generatívne silnejšiu, lebo jej použitím je možné vytvárať aj vety s tzv. sebazapúšťaním, kedy je rekurzívny symbol obklopený inými symbolmi, napr. $X \rightarrow aXa$. Keďže prirodzené jazyky toto spomínané zapúšťanie obsahujú, ukazuje sa predchádzajúca, konečnosťová gramatika, ako nedostačujúca. Frázová gramatika však ešte stále nezachytáva to, že viacero gramatických štruktúr môže reprezentovať ten istý význam.

Na prezentovanie použijeme ako príklad vetu: "Chlapec vyliezol na strechu". Odvodzujeme ju nasledujúcim spôsobom:

$\langle \text{VETA} \rangle \rightarrow \langle \text{PODMETOVÁ ČASŤ} \rangle \langle \text{PRÍSUDKOVÁ ČASŤ} \rangle$
 $\langle \text{PODMETOVÁ ČASŤ} \rangle \rightarrow \langle \text{PODSTATNÉ MENO}_1 \rangle$
 $\langle \text{PRÍSUDKOVÁ ČASŤ} \rangle \rightarrow \langle \text{SLOVESO} \rangle \langle \text{PREDMET} \rangle$
 $\langle \text{PREDMET} \rangle \rightarrow \langle \text{PREDLOŽKA} \rangle \langle \text{PODSTATNÉ MENO}_2 \rangle$
 $\langle \text{PODSTATNÉ MENO}_1 \rangle \rightarrow \text{chlapec}$
 $\langle \text{SLOVESO} \rangle \rightarrow \text{vyliezol}$
 $\langle \text{PREDLOŽKA} \rangle \rightarrow \text{na}$
 $\langle \text{PODSTATNÉ MENO}_2 \rangle \rightarrow \text{strechu}$

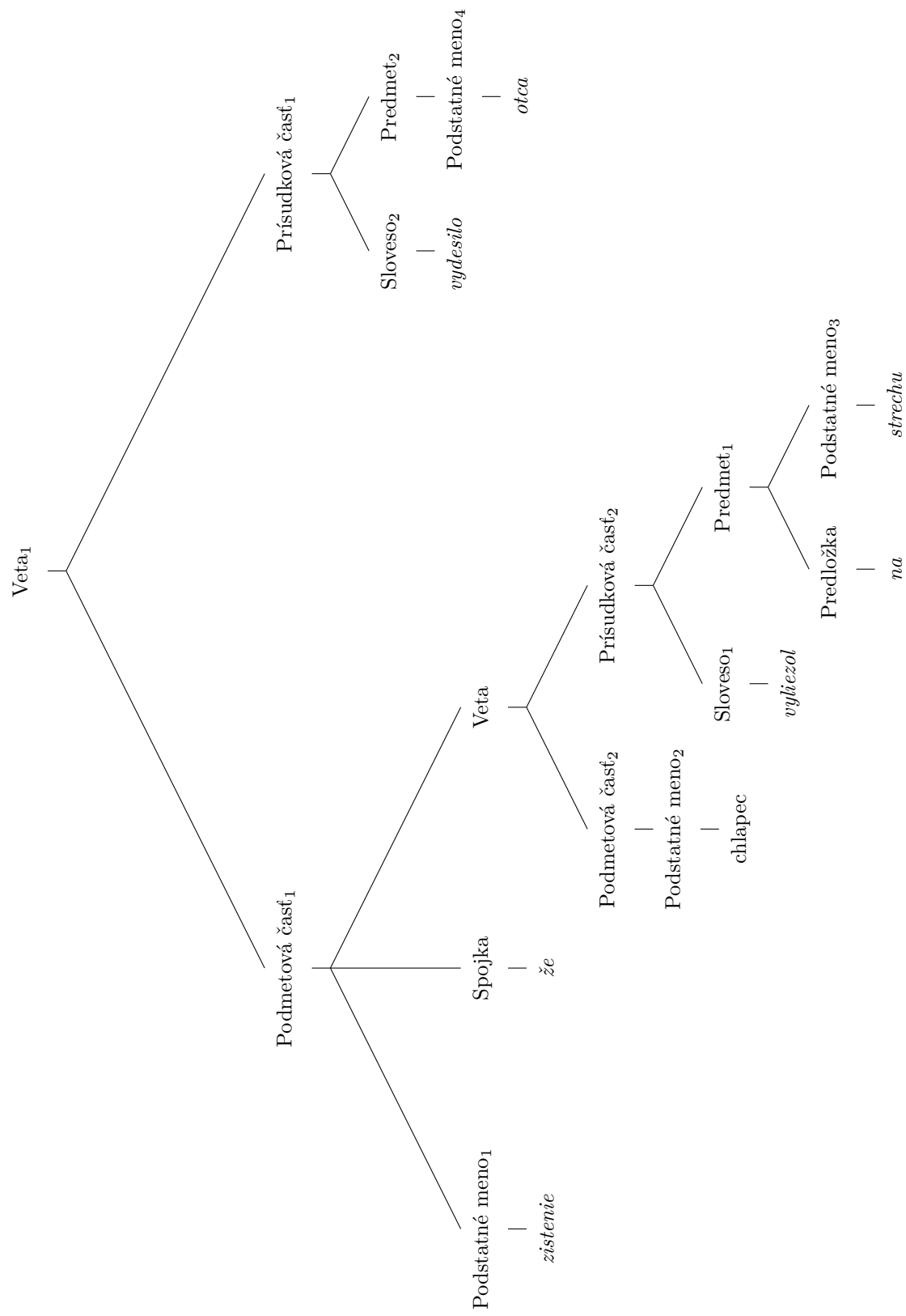
Derivácie viet je možné názorne vyjadrovať grafom stromu (viď Obrázok 2–1), pričom získame štruktúrnu charakteristiku.



Obrázok 2–1 Odvodenie zvolenej vety vyjadrené stromovým grafom 1

Pôvodnú vetu modifikujeme na: "Zistenie, že chlapec vyliezol na strechu, vydesilo otca.", aby sme ukázali princíp sebazapúšťania, pričom stromový graf zvolenej vety je znázornený na Obrázku 2–2.

<VETA₁> → <PODMETOVÁ ČASŤ₁> <PRÍSUDKOVÁ ČASŤ₁>
 <PODMETOVÁ ČASŤ₁> → <PODSTATNÉ MENO₁> <SPOJKA> <VETA₂>
 <VETA₂> → <PODMETOVÁ ČASŤ₂> <PRÍSUDKOVÁ ČASŤ₂>
 <PODMETOVÁ ČASŤ₂> → <PODSTATNÉ MENO₂>
 <PRÍSUDKOVÁ ČASŤ₂> → <SLOVESO₁> <PREDMET₁>
 <PREDMET₁> → <PREDLOŽKA> <PODSTATNÉ MENO₃>
 <PRÍSUDKOVÁ ČASŤ₁> → <SLOVESO₂> <PREDMET₂>
 <PREDMET₂> → <PODSTATNÉ MENO₄>
 <PODSTATNÉ MENO₁> → zistenie
 <SPOJKA> → že
 <PODSTATNÉ MENO₂> → chlapec
 <SLOVESO₁> → vyliezol
 <PREDLOŽKA> → na
 <PODSTATNÉ MENO₃> → strechu
 <SLOVESO₂> → vydesilo
 <PODSTATNÉ MENO₄> → otca



Obrázok 2 – 2 Odvodenie zvolenej vety vyjadrené stromovým grafom 2

(b) **Frázová kontextová gramatika**

Táto gramatika sa veľmi podobá na frázovú bezkontextovú gramatiku, no obsahuje navyše pravidlá zahrňujúce reťazce symbolov, ktorých funkciou je byť kontextom obmedzujúcim možnosť použitia určitého pravidla. Frázovou kontextovou gramatikou sa dajú generovať vety, v ktorých sa mení poradie symbolov v reťazci. Nevýhodou je, že ňou nie je možné dobre zachytávať gramatické štruktúry viet.

Platí pre ňu definícia: Majme $\alpha \rightarrow \beta$, potom platí, že existujú $A, \alpha_1, \alpha_2, \sigma$ také, že $\alpha == \alpha_1 X \alpha_2$ a $\beta == \alpha_1 \sigma \alpha_2$, pričom X sa dá prepísať na σ iba v kontexte $\alpha_1 \dots \alpha_2$.

3. **Transformačné gramatiky**

Jedná sa o mimoriadne zložitý, ešte úplne nedodefinovaný aparát, ktorý je všeobecnejší ako predchádzajúce spomínané gramatiky, ktoré Chomsky nepovažoval za dostatočné k adekvátnemu popisu prirodzeného jazyka.

Zatiaľ čo frázová gramatika vyjadruje základnú štruktúru vety, transformačná gramatika ide ďalej a zavádza aj pravidlá, prostredníctvom ktorých je možné meniť poradie fráz vo vete. Menia sa do inej prípustnej formy, s rovnakým - činný trpný tvar, či rozdielnym významom - otázka. Frázové pravidlá sú jednou zo zložiek transformačných gramatík, používajú sa na deriváciu terminálnych reťazcov. Po aplikácii morfonologických pravidiel a určitých základných transformácií, vznikajú jadrové vety obsahujúce určité selektívne obmedzenia. Fakultatívne transformácie následne umožňujú ďalšie operácie, napr. vytvorenie zložitejšej vety z dvoch jednoduchších, prevod viet z aktíva do pasíva dokonca dovoľujú permutácie a odstraňovanie prvkov.

Ilustrujeme 2 aplikačné príklady, prvý vzorový v angličtine, na ktorom sú demonštrované základné princípy transformačnej gramatiky, preto, že je z lingvistického hľadiska neporovnateľne jednoduchším jazykom ako slovenčina.

Následne pre porovnanie bude uvedený aj jednoduchý príklad v slovenskom jazyku kvôli znázorneniu obtiažnosti aplikácie daných princípov na slovenčinu.

Príklad 1. Majme vetu "Peter shot a deer.", ktorá predstavuje hĺbkovú štruktúru. Dá sa opísať gramatickými pravidlami :

$\langle \text{VETA} \rangle \rightarrow \langle \text{PODMETOVÁ ČASŤ} \rangle \langle \text{PRÍSUDKOVÁ ČASŤ} \rangle$

$\langle \text{PRÍSUDKOVÁ ČASŤ} \rangle \rightarrow \langle \text{SLOVESO} \rangle \langle \text{PREDMET} \rangle$

Postupujeme nasledujúcimi krokmi:

- presunieme predmet na začiatok vety,
The deer...
- pridáme vhodnú formu slovesa TO BE,
The deer was...
- pridáme činné sloveso (povrchová štruktúra),
The deer was shot...
- vložíme časticu BY,
The deer was shot by...
- nakoniec presunieme podstatné meno na koniec vety.
The deer was shot by Peter.

Príklad 2. Majme pôvodnú vetu preloženú do slovenčiny, "Peter zastrelil jeleňa.", ktorú opäť budeme z aktíva prevádzať do pasíva. "Peter zastrelil jeleňa." rovno prepíšeme, bez použitia frázových pravidiel ako: $\langle \text{VETA}_a \rangle \rightarrow \langle \text{PODSTATNÉ_MENO}_1 + \text{koncovka}_1 \rangle \langle \text{SLOVESO}_{tr} \rangle \langle \text{PODSTATNÉ_MENO}_2 + \text{koncovka}_4 \rangle$,

kde:

- VETA_a je veta v aktíve,
- PODSTATNÉ_MENO_1 je "Peter",

- koncovka₁ je koncovka podstatného mena v 1. páde - nominatívne,
- SLOVESO_tr je tranzitívne (prechodné) sloveso, ktoré má priamy predmet v bezpredložkovom akuzatívne, v tomto prípade "zastretil",
- PODSTATNÉ_MENO₂ je "jeleň",
- koncovka₄ je koncovka podstatného mena v 4. páde - akuzatívne.

Pasívum "Jeleň bol zastrelený Petrom." bude vyzerat nasledovne: $\langle \text{VETA}_p \rangle \rightarrow \langle \text{PODSTATNÉ_MENO}_2 + \text{koncovka}_1 \rangle \langle \text{pomocné_sloveso} + \text{SLOVESO}_t r \rangle \langle \text{PODSTATNÉ_MENO}_1 + \text{koncovka}_6 \rangle$,

kde:

- VETA_p je veta v pasíve,,
- PODSTATNÉ_MENO₂ je "Jeleň",
- koncovka₁ je koncovka podstatného mena v 1. páde - nominatívne,
- pomocné_sloveso je pomocné sloveso "bol",
- SLOVESO_tr je tranzitívne (prechodné) sloveso, ktoré má priamy predmet v bezpredložkovom akuzatívne, v tomto prípade "zastrelený",
- PODSTATNÉ_MENO₁ je "Petrom",
- koncovka₆ je koncovka podstatného mena v 6. páde - inštrumentáli.

Zhrňujúco povedané: Chomského cieľom v teórii jazyka bolo vytvorenie pravidiel, ktoré rekurzívne generujú množinu viet tvoriacich jazyk. Syntaktická štruktúra frázy u Chomského predstavuje spôsob, akým bola fráza generovaná a tento generačný aparát je rozšírený o transformačný komponent (generatívna zložka generuje základné vety a transformačná zložka umožňuje vyvárať z nich iné vety). Ako bolo spomenuté, Chomského prístup kladie dôraz na syntaktickú oblasť. Žiadne sémantické pravidlá neexistujú a práve tento Chomského názor býva kritizovaný. V rámci

generatívnej gramatiky napriek tomu vznikli 2 prístupy k sémantike - generatívna sémantika a interpretatívna sémantika. Obe tieto školy mali veľmi odlišný spôsob ako nazerať na sémantiku a jej vzťah k syntaxi a spor medzi nimi občas býva označovaný aj ako "lingvistické vojny". Určité riešenie priniesol až Montagueho prístup, ktorému sa podarilo spojiť najlepšie časti z oboch spomínaných teórií a zároveň ich rozšíriť o nové aspekty.

2.2 Montagueova gramatika

Na počiatku tohoto lingvistického prístupu stojí Richard Montague (vychádzajúc z publikácie [42] Alaina Lecomta) americký matematik a filozof, žiak pána Tarského. Zaujímal sa o logický prístup k sémantike prirodzeného jazyka, čo bolo základom pre vednú disciplínu výpočtová lingvistika.

Montague sa domnieval, že medzi formálnymi jazykmi a jazykmi, ktorými sa prirodzene dorozumievajú ľudia, nie je žiaden rozdiel a môže byť s nimi zaobchádzané rovnakým spôsobom. V svojich prácach ([49], [50], [51], zhrňujúco v [52]) tiež ukazuje možnosť doplniť gramatiky o sémantickú zložku vyjadriteľnú v určitom formálnom jazyku. Napriek tomu, že Montague bol v danej oblasti priekopníkom, vydal len 3 publikácie a to medzi rokmi 1970 až 1973, v ktorých sa opieral o pojmy intenzionálnej logiky a Kripkeho modelov.

Montagueove myšlienky boli ale často napádané, lebo zatiaľ čo prirodzené jazyky neboli konštruované ľuďmi vedome, formálne jazyky sú cielavedome navrhnuté ľuďmi. Navyše boli vytvorené so zámerom sledovať rozličné ciele, či už išlo o formuláciu algoritmov, vyjadrenie matematických viet, abstraktnú reprezentáciu poznania a.i. Napriek tomu pre potreby tejto práce budú Montagueove názory zaujímavé, pretože obsahujú exaktné metódy umožňujúce dedukciu logicko - sémantických foriem vetnej analýzy.

2.2.1 Úvod do problematiky

Montagueova gramatika, vychádzajúc z práce [70] Danice Sloukovej, predstavuje jeden z prúdov generatívnej lingvistiky. V 70. rokoch 20. storočia presadzuje Montague, hlavný predstaviteľ intenzionálnej logiky, formálnu analýzu jazyka. Navrhol v rámci jedinej tzv. univerzálnej gramatiky konštruovať syntax aj sémantiku formálnych jazykov. Montague tak vo svojej teórii tvrdí, že syntax a sémantika prirodzeného jazyka a formálnych jazykov sú opísateľné jedinou teóriou, ktorá je matematicky presná. Vychádzajúc z princípov pravdivostnej predikátovej logiky, Montague sa pokúša o sémantickú analýzu slovných tried.

Montagueova gramatika podľa Davida R. Dowtyho a jeho publikácie [15] obsahuje dve zložky – syntaktickú a sémantickú – obe sú navzájom v jednoznačnom vzťahu. Presne definované syntaktické kategórie sú zjednotené tzv. kategoriálnymi pravidlami a operáciami, ktoré konštruujú frázovú gramatiku. Vety, formulované zodpovedajúcimi sémantickými pravidlami, sú ďalej reprezentované na základe princípov mnohých predikátových výpočtov (jedným z najdôležitejších v intenzionálnej logike je tzv. lambda-calculus, ktorý umožňuje konverziu či kombináciu viacnásobného predikátu).

Montague tak vytvára sémantickú teóriu, ktorá popisuje vzťah jazyka k mimojazykovým entitám - špecifikuje pojem pravdivosti vety a spôsob "vyplývania" (resp. vyvodzovania) medzi vetami. Aplikuje sa tzv. korešpondenčná teória pravdy, podľa ktorej je určitá veta pravdivá, ak význam (alebo obsah) predstavy osoby, ktorá pravdivosť vety posudzuje je zhodný s reálnym svetom - napr. veta "Morčatá nemajú chvost." je pravdivá len vtedy, keď jej obsah súhlasí so skutočnosťou. Montague v svojej teórii využíva pojem možných svetov, kde sa do úvahy sa berú aj potenciálne stavy všetkých možných svetov, nie len konkrétny stav aktuálneho sveta. Montagueova sémantika sa niekedy popisuje aj ako modelovo - teoretická, lebo sú v nej pomocou teórie množín vytvárané abstraktné matematické modely. V nich sú výrazy

prirodzeného jazyka interpretované ako prvky množín, množiny, prípadne funkcie (v rámci týchto modelov).

Na rozdiel od Chomského paradigmy (viď 2.1), však v Tichého intenzionálnej logike a Montagueovej intenzionálnej logike zohráva sémantika kľúčovú úlohu, nie je len prostriedkom pre interpretáciu celkových syntaktických reprezentácií, ale pri identifikovanej viacznačnosti vo význame viet sa ju snaží eliminovať, a to prostredníctvom rozdielu v syntaktickom odvodení danej vety. Syntax je tak nástrojom použiteľným pre zápis celkovej sémantickej interpretácie. Každé sémantické pravidlo je tak aplikované v spojitosti (paralelne) s príslušným syntaktickým pravidlom.

Systematický vzťah medzi syntaxou a sémantikou v Montagueovom prístupe je zachytený princípom kompozicionality ([79], kapitola Compositionality in Montague Grammar od Marcusa Krafťa). Podľa neho sú syntaktické pravidlá reflektované sémantickými pravidlami (resp. pravidlami pre určenie pravdivostných podmienok). Význam výrazu je potom závislý od toho, akým spôsobom vznikol. Pomocou spomínaného princípu je tiež možné rekurzívne generovať vety jazyka za predpokladu, že správne vytváraným vetám prislúchajú určité pravdivostné podmienky.

Chomskému však nemožno uprieť skutočnosť, že sa mu podarilo na jazyk z hľadiska syntaxe nazerať ako na matematickú štruktúru. Podľa [32] generoval jazyk z elementárnych prvkov pomocou súboru pravidiel, čím vznikla určitá gramatika, resp. slovník. Montague sa ale pokúsil zachytiť i intuitívne vnímanie významu doplnením pôvodnej (syntactickej) štruktúry o paralelnú štruktúru sémantických objektov [50]. Základnou myšlienkou bolo pristupovať k tomu ako k procesu, ktorý sa skladá z dvoch krokov:

1. elementárnym výrazom slovníka sa priradia elementárne významy,
2. gramatickým pravidlám sa následne dodávajú sémantické ekvivalenty (to umožní skladať významy paralelne so skladaním výrazov).

Pôvodná matematická štruktúra Chomského sa tak rozšíri u Montagueho o ďalšie

komponenty. Sú to:

- *slovník*, ktorý predstavuje konečnú množinu elementárnych výrazov,
- *gramatika*, ktorá predstavuje konečnú množinu pravidiel, ktoré umožňujú z jednoduchších výrazov slovníka vytvárať zložitejšie výrazy,
- *priradenie významu* elementárnym výrazom (pomocou základných množinových objektov),
- *pravidlá* určené pre zistenie významu zloženého výrazu sú realizované pomocou významu jednotlivých zložiek zloženého výrazu.

Prvé dva body sa týkajú syntaktickej oblasti - umožňujú konečným spôsobom zachytávať nekonečnú množinu všetkých možných viet, ďalšie dva body pojednávajú o sémantickej časti - umožňujú konečným spôsobom priradiť všetkým výrazom jazyka ich významy.

2.2.2 Montagueovský prístup k intenziál

Podľa knihy Pavla Tichého [74] je najjednoduchší model prirodzeného jazyka možné vytvoriť pomocou predikátovej logiky, kde meno označuje predmet a predikát funkciu, ktorá predmetom priraduje pravdivostné hodnoty. Samotná oznamovacia veta teda označuje pravdivostnú hodnotu, ktorá vzniká aplikáciou funkcie predikátu na konkrétne indvíduum. Príkladom môže byť veta "Janík je hľadač", kde "Janík" je predmet, predikát "je hľadač" je funkcia priradujúca všetkým predmetom majúcim vlastnosť "hľadač" pravdivostnú hodnotu pravda a všetkým ostatným pravdivostnú hodnotu nepravda.

Pomocou tohto modelu ale nie je možné modelovať význam (lebo nemožno povedať, že všetky pravdivé, resp. nepravdivé vety majú rovnaký význam), preto predikátovú logiku možno pri sémantickej analýze prirodzeného jazyka používať len obmedzene.

Známy, často parafrázovaný príklad, ktorý vytvoril sám Montague s cieľom poukázať na nedostatky tejto logiky je veta "John seeks a unicorn" [38]. V predikátovej logike by sme podobnú slovenskú vetu "Janík hľadá draka" zapísali nasledujúcim spôsobom:

$\exists x.Hlada(Janik, x) \wedge Drak(x)$, z čoho ale jednoznačne možno usúdiť, že platí

$\exists x.Drak(x)$, teda, že draka možno hľadať len vtedy, ak by draci existovali.

Najlepším spôsobom, ako sa tomuto problému vyhnúť, je namiesto extenzionálnej paradigmy používať intenzionálny prístup. Montagueova gramatika / Montagueova intenzionálna logika je podľa publikácie [27] Hermana Hendrixa kontextuologický systém, ktorého sémantická analýza vyzerá tak, že výraz má kontexty, kde označuje svoju extenziu a kontexty, kde označuje svoju intenziu. V Montagueovej teórii sa využíva lokálne intenzionálny prístup, kde sa logická analýza jazyka uskutočňuje v dvoch stupňoch:

1. V prvom kroku, nazývanom Montagueova gramatika, je rekonštruovaný prirodzený jazyk prostredníctvom formálneho kategoriálneho jazyka bez sémantiky.
2. V druhom kroku, nazývanom Montagueova intenzionálna logika, sa tento jazyk prekladá do iného formálneho jazyka, ktorý už ale má sémantiku. Tento jazyk je jazykom intenzionálnej logiky. Základným princípom pri tom je, že všetky výrazy sa pri preklade najprv "intenzionalizujú", avšak časť z nich s neskôr spätne "extenzionalizuje".

Motívom Montagueovej intenzionálnej logiky je extenzionálnu sémantiku len minimálne rozširovať o intenzie (viď už spomínaný princíp, intenzie len tam, kde je to nutné). Definujú sa 2 operátory:

- unárny operátor $\wedge$ na zvýšenie rádu intenzie, - modifikuje výraz E na výraz, ktorého extenziou je intenzia E . Možno povedať, že operátor $\wedge$ "intenzionalizuje",

- unárny operátor $\vee$ (inverzný k $\wedge$) na zníženie rádu intenzie.

Platia nasledovné vzťahy:

$$\text{ext } \|\wedge E\| = \text{int } \|E\|,$$

$$\text{int } \|\vee E\| = \text{ext } \|E\|,$$

$$\|\wedge \vee E\| = \|\vee \wedge E\| = \|E\|, \text{ kde } E \text{ je výraz.}$$

V analýze spomínanej vety "Janík hľadá draka" už nebudeme hovoriť o extenzii výrazu "Drak", ale použitím Montagueovho operátora $\wedge$ dostaneme extenziu $\wedge \text{Drak}$, čím sa vyhneme spomínanému sémantickému problému a už môžeme hovoriť o intenzii výrazu "Drak". Montagueovská analýza tejto vety môže vyzeráť nasledovne (v tejto chvíli si stačí všimnúť použitie operátorov extenzie a intenzie, ostatné princípy použité v tomto zápise budú vysvetlené v podkapitole 2.2.3):

$$\text{Hľadá}(\wedge \text{Janík}, \lambda P \exists u [\text{Drak}(u) \wedge (\vee P)(\wedge u)])$$

Nutno povedať, že i keď Montague všetky výrazy pokladá za extenzionálne a intenzie používa len v nevyhnutných prípadoch, výrazy majú v niektorých kontextoch striktne intenzionálny ("Janík hľadá draka") alebo extenzionálny ("Janík zjedol draka") charakter, pričom sa rozlišuje supozícia de dicto alebo de re (ktoré sú vysvetlené v podkapitole 2.2.4).

2.2.3 Aplikácia Montagueovej teórie

Doteraz sme sa venovali prevažne popisu Montagueových kľúčových teoretických ideí, ktorým sa venoval v svojej knihe *Universal Grammar* [50]. Častejšie citovanou (a z praktického hľadiska zaujímavejšou literatúrou) je však jeho publikácia *The Proper Treatment of Quantification in Ordinary English* [51], skrátene PTQ, ktorá Montagueove predošlé myšlienky rozširuje a dáva im reálnejší rozmer tým, že ich aplikuje na fragment angličtiny.

Syntax v PTQ

V Montagueovej teórii syntax pozostáva zo slovníka, zo základných kategórií (a z nich odvodených kategórií) a zo syntaktických pravidiel a operácií.

Slovník

Pre fragment angličtiny, s ktorým Montague v PTQ pracuje, je potrebné definovať používaný slovník. Zavádza sa pojem množina B_{A_C} , ktorá predstavuje množinu lexikálnych jednotiek pre kategóriu A_C (pojem kategória je vysvetlený nižšie). Slovník v takomto ponímaní obsahuje zjednotenie všetkých B_{A_C} pre všetky kategórie. Montague však používa len veľmi obmedzený slovník pre modelovanie svojich princípov, ktorý obsahuje len niekoľko slov (napríklad používa menej ako 10 podstatných mien).

Príklady lexikálnych jednotiek Montagueovho slovníka PTQ sa nachádzajú v Tabulke 2–1. Vzhľadom na danú kategóriu, možno prvky slovníka zapisovať 2 spôsobmi, viď prvky kategórie podstatných mien B_{CN_C} :

- $B_{CN_C} = \{\text{man, woman, park, fish, pen, unicorn, price, temperature}\}$, prístup preferovaný v tejto práci,
- $CN_C = [_{CN_C} \text{man}], [_{CN_C} \text{woman}], [_{CN_C} \text{park}], [_{CN_C} \text{fish}], [_{CN_C} \text{pen}], [_{CN_C} \text{unicorn}], [_{CN_C} \text{price}], [_{CN_C} \text{temperature}]$.

Kategórie

Na vyjadrenie výrazov prirodzeného jazyka je použitá tzv. kategoriálna gramatika (vytvorená pánmi Ajdukiewiczom a Bar-Hillelom, podrobne popísaná napr. Davidom Lewisom v práci [44]). Podľa Hendrixa [27] sa rozlišujú 2 základné kategórie - kategória e_C individuálnych výrazov a kategória výrazov pravdivostných hodnôt t_C , ktorá je zároveň kategóriou deklaratívnych viet.

Tabuľka 2 – 1 Množina *Cat* Montagueovej gramatiky

Kategória	Definícia	Typ	Skratka	Pomenovanie kategórií v PTQ	Ling. ekvivalent	Slovník (príklady)
t_C	t	t	Zákl. kat.	Kat. výrazov pravdivost. hodnôt	Veta	-
e_C	e	e	Zákl. kat.	Kat. individuál. výrazov	(Menná fráza)	-
t_C/e_C	t/e	$\langle\langle s, e \rangle, t \rangle$	IV_C	Kat. neprechodných slovies	Slovesná fráza	{run, walk, talk, rise, change}
t_C/IV_C	t/(t/e)	$\langle\langle s, \langle\langle s, e \rangle, t \rangle \rangle, t \rangle$	T_C	Kat. termov	Menná fráza	{John, Mary, Bill, ninety, he ₀ , he ₁ , he ₂ , ...}
IV_C/T_C	(t/e)/(t/(t/e))	$\langle\langle s, \langle\langle s, \langle\langle s, e \rangle, t \rangle \rangle, t \rangle \rangle, \langle\langle s, e \rangle, t \rangle \rangle$	TV_C	Kat. prechodných slovies	Prechodné slovesá	{find, lose, eat, love, date, be, seek, conceive}
IV_C/IV_C	(t/e)/(t/e)	$\langle\langle s, \langle\langle s, e \rangle, t \rangle \rangle, \langle\langle s, e \rangle, t \rangle \rangle$	IAV_C	Kat. slovesných prísloviek	Príslovky	{rapidly, slowly, voluntarily, allegedly}
t_C/e_C	t//e	$\langle\langle s, e \rangle, t \rangle$	CN_C	Kat. podstatných mien	Podstatné mená, nominály	{man, woman, park, fish, pen, unicorn, price, temperature}
t_C/t_C	t/t	$\langle\langle s, t \rangle, t \rangle$	-	Kat. vetných prísloviek	Podstatné mená, nominály	{necessarily}
IAV_C/T_C	$((t/e)/(t/e))/(t/(t/e))$	$\langle\langle s, \langle\langle s, \langle\langle s, e \rangle, t \rangle \rangle, t \rangle \rangle, \langle\langle s, \langle\langle s, e \rangle, t \rangle, \langle\langle s, e \rangle, t \rangle \rangle \rangle$	-	Kat. príslovko-tvorných predložiek	Predložky	{in, about}
IV_C/t_C	(t/e)/t	$\langle\langle s, t \rangle, \langle\langle s, e \rangle, t \rangle \rangle$	-	Kat. slovies uvádzajúcich vedľajšiu vetu	Sloveso + častica "that"	{believe that, assert that}
IV_C/IV_C	(t/e)/(t/e)	$\langle\langle s, \langle\langle s, e \rangle, t \rangle \rangle, \langle\langle s, e \rangle, t \rangle \rangle$	-	Kat. pomocných slovies	Sloveso + častica "to"	{try to, wish to}

Kategória t_C neobsahuje lexikálne položky, pozostáva z viet vytvorených rekurzívnymi pravdlami. Kategória e_C je niekedy nazývaný aj prázdna kategória, v tom zmysle, že žiadne slovo ani fráza anglického jazyka do nej nepatria, no reprezentuje sémantickú informáciu a spolu s kategóriou t_C je použitá na definovanie odvodených kategórií. Pre definíciu odvodených kategórií platí, že ak A_C , B_C sú kategórie, tak aj A_C/B_C , $A_C//B_C$ sú kategórie. Znamená to, že ak výraz z týchto kategórií bude mať ako argument výraz kategórie B_C , táto aplikácia bude mať ako výsledok výraz kategórie A_C . Množina všetkých (teda základných aj odvodených) kategórií je nazývaná *Cat*.

Vychádzajúc z definície zložených kategórií A_C/B_C , $A_C//B_C$, je možné konštruovať nekonečne veľkú množinu odvodených kategórií, no v praxi ich Montague zavádza pre svoj fragment angličtiny len zopár. Ako popisuje Amy Kao kao, pre kategórie A_C/B_C , $A_C//B_C$ tiež platí, že sú sémanticky na rovnakej úrovni, no umožňujú rozlíšiť syntaktické kategórie, ktoré majú rovnaký sémantický typ. Napr. rozlíšenie kategórie IV_C a CN_C z Tabuľky 2–1, ktoré obe po aplikácii e vracajú pravdivostnú hodnotu t . Odlišujú sa v zápise počtom lomítok - t/e a $t//e$, pričom lomítok môže byť teoreticky nekonečne veľa, no v pôvodnej Montagueovej teórii sa nachádzajú najviac 2. Tiež je dôležité podotknúť, že ak by sa vytváral model pre iný jazyk ako angličtinu, bol by iný aj počet zložených kategórií A_C/B_C a $A_C//B_C$.

Syntaktické pravidlá

Pre daný fragment angličtiny, ktorý okrem elementárnych výrazov z B_{A_C} obsahuje aj zložené výrazy, zavádza Montague v PTQ syntaktické pravidlá ktoré definujú, akým spôsobom sú zložené výrazy vytvárané. Na označenie zložených výrazov je ustanovený pojem fráza kategórie A_C , resp. množina výrazov P_{A_C} , ktorá je rekurzívne definovaná za pomoci syntaktických pravidiel. Montague používa 17 syntaktických pravidiel, delených do nasledovných skupín:

- základné pravidlá (S1 - S3),

- pravidiel funkčnej aplikácie (S4 - S10),
- pravidiel pre konjunkciu a disjunkciu (S11 - S13),
- pravidiel pre kvantifikáciu (S14 - S16),
- pravidiel času a negatívu (S17).

Fragment pravidiel (v tvare názov pravidla: definícia pravidla), spracovaný podľa Montagua [51]:

S1: Pre každú kategóriu A_C platí, že $B_{A_C} \subseteq P_{A_C}$

- S1 znamená, že všetky lexikálne jednotky kategórie A_C sú zároveň frázou tejto kategórie.

S2: Ak $\theta \in P_{CN_C}$, potom $F_0(\theta)$, $F_1(\theta)$, $F_2(\theta) \in P_{T_C}$, pričom platí, že

1. $F_0^2(\theta) = \text{every } \theta$,
2. $F_1(\theta) = \text{the } \theta$,
3. $F_2(\theta) = \text{a/an } \theta$ (v závislosti od prvého slova v θ).

- $Det_C^3 \times CN_C \rightarrow T_C$,
- S2 umožňuje z výrazov kategórie CN_C vytvárať výrazy kategórie T, teda popisuje ako z podstatných mien zretazením vzniknú termy, napr. $F_2(a, woman) = awoman$.

S3: Ak $\theta \in P_{CN_C}$ and $\vartheta \in P_{t_C}$, potom $F_{3,n}(\theta, \vartheta) \in P_{CN_C}$, kde $F_{3,n}(\theta, \vartheta) = \theta$ such that ϑ' , pričom ϑ' vznikla z ϑ nahradením každého výskytu:

²Montague používa v syntaktických pravidlách funkciu F_i , ktorá reprezentuje syntaktické operácie. Funkcia F_0 , ktorej argumentom je prvok patriaci P_{CN_C} , zretazí výraz *every* so vstupom, čím sa vytvorí prvok množiny P_{T_C}

³Det označuje determinant. V angličtine sú to napríklad členy *a/an*, *the*, niektoré častice a pod. Niektorí lingvisti (viď. Hendrix [27]) považujú determinanty za samostatnú kategóriu, ktorej definícia je T/CN .

1. he_n výrazom z množiny {he, she, it},
 2. him_n výrazom z množiny {him, her, it} v závislosti od rodu,
 3. {mužského, ženského, stredného} prvého B_{CN_C} , ktorý sa vyskytol v θ .
- $CN_C \times t_C \rightarrow CN_C$,
 - S3 znamená, že ak je vo fráze θ prvý výraz množiny B_{CN_C} mužského rodu, všetky výskyty v ϑ premennej he_n sú nahradené výrazom he , analogicky sú všetky výskyty premennej him_n nahradené výrazom him .

Pre ilustráciu sú v hlavnej časti práce popísané prvé tri Montagueove (základné) syntaktické pravidlá. Kompletný zoznam všetkých syntaktických pravidiel, ktoré Montague predstavuje a ktoré sú použité v podkapitole 2.2.4 pri syntaktickej analýze viet prirodzeného jazyka, možno nájsť v Prílohe A.

Jazyk intenzionálnej logiky

Teraz budeme pracovať s Montagueovou kategóriou predložiek $B_{IAV_C/T_C} = \{\text{in, about}\}$. Vytvoríme z nich náhodné vety s použitím slovníka PTQ:

- Mary runs in a park.
- Mary talks about a park.

Zatiaľ čo z prvej vety možno usúdiť, že park niekde existuje park, v ktorom behá Mary, z druhej existencia parku nie je taká jednoznačná, Mary môže hovoriť o vymyslenom mieste (podobný príklad s vetou "Janík hľadá draka." bol načrtnutý v podkapitole 2.2.2). Montague zámerne umiestnil do slovníka PTQ lexikálne jednotky, napr. aj dvojice $B_{TV_C} = \{\text{eat, seek}\}$, $B_{IAV_C} = \{\text{rapidly, allegedly}\}$, ktoré čitateľa nútia uvažovať o extenzii resp. intenzii výrazu.

V Montagueovom PTQ je báзовý prirodzený jazyk interpretvaný nepriamo prostredníctvom umelo vytvoreného jazyka intenzinálnej logiky. V sémantickom procese

prekladu je preto každému výrazu danej kategórie východiskového jazyka priradená určitá množina výrazov intenzionálneho logického jazyka. Pred preložením výrazov fragmentu angličtiny do intenzionálneho jazyka je potrebné definovať jeho syntax a sémantiku.

Syntax intenzionálnej logiky

Najprv definujeme systém intenzionálnych typov $Type$ a následne množinu konštánt a premenných nad danými typmi, a množinu zmysluplných výrazov.

Množina $Type$ je podľa publikácie [28] spoluautorov Jerryho Hobbsa a Stanleyho Rosenscheina, najmenšia množina taká, že $e_T, t_T \in Type$ a pokiaľ:

- $x_T, y_T \in Type$, potom $\langle x_T, y_T \rangle \in Type$, a v náväznosti na túto definíciu platí, že ak
- $x_T \in Type$, potom $\langle z_T, x_T \rangle \in Type$, pričom objekt z_T predstavuje napríklad $\langle x_T, y_T \rangle$, viď Tabuľka 2 – 1.

Pre každé $x_T \in Type$ existuje nekonečne veľká množina konštánt typu x_T nazývaná Con_{x_T} . Vychádzajúc z definície tiež platí, že existuje nekonečná množina premenných Var_{x_T} , kde pre ľubovoľné $n \in \mathbb{N}_O$ je s_{n,x_T} n -tá premenná typu x_T .

Syntax intenzionálnej logiky definujeme pomocou množiny zmysluplných výrazov typu x_T označenej ako ME_{x_T} (kde každá premenná a konštanta typu x_T je prvkom množiny ME_{x_T}). Slovník intenzionálnej logiky pozostáva z:

- logických prvkov:
 - logické spojky $\wedge, \vee, \Rightarrow, \Leftrightarrow, \neg$ - pokiaľ $X_T, Y_T \in ME_{t_T}$, potom $[X_T \wedge Y_T], [X_T \vee Y_T], [X_T \Rightarrow Y_T], [X_T \Leftrightarrow Y_T], \neg X_T \in ME_{t_T}$,
 - identita $=$ - pokiaľ $X_T, Y_T \in ME_{x_T}$, potom $X_T = Y_T \in ME_{t_T}$,
 - kvantifikátory $\forall, \exists$ - pokiaľ $X_T \in ME_{t_T}$ a u je premenná, potom $\forall u X_T, \exists u X_T \in ME_{t_T}$,

- λ -abstrakcia - pokiaľ $X_T \in MEx_T$ a u je premenná typu y_T , potom $\lambda ux_T \in ME_{\langle y_T, x_T \rangle}$
- modálne operátory: nevyhnutnosti $\Box$, budúcnosti W , minulosti H - pokiaľ $X_T \in ME_{t_T}$, potom $\Box X_T, W X_T, H X_T \in ME_{t_T}$
- operátor na zvýšenie rádu intenzie $^\wedge$ - pokiaľ $X_T \in ME_{x_T}$, potom $[\wedge X_T] \in ME_{\langle z_T, x_T \rangle}$,
- operátor na zníženie rádu intenzie $^\vee$ - pokiaľ $X_T \in ME_{\langle z_T, x_T \rangle}$, potom $[\vee X_T] \in ME_{x_T}$,
- syntaktických symbolov:
 - zátvorky $(,), [,]$ - pokiaľ $X_T \in ME_{\langle x_T, y_T \rangle}$ a $Y_T \in ME_{x_T}$, potom $X_T(Y_T) \in ME_{\langle y_T \rangle}$
- nelogických prvkov - pre každé $x_T \in Type$:
 - existuje Con_{x_T} ,
 - existuje $Var_{x_T} = s_{n, x_T} : n \in \mathbb{N}_O$,

Množinu zmysluplných výrazov jazyka intenzionálnej logiky tvorí zjednotenie zmysluplných výrazov všetkých typov $\cup_{x_T \in Type} ME_{x_T}$.

Sémantika intenzionálnej logiky

Zmysluplným výrazom jazyka je potrebné priradiť jedinečný denotát. Montague v PTQ zavádza nasledujúce neprázdne množiny - množinu individuí A_M , množinu možných svetov I_M a množinu časových momentov J_M . Ak $x_T \in Type$, potom množinu možných denotátov typu x_T v súlade s A, I, J označíme ako $D_{x_T, A, I, J}$ a podľa Barbary Partee a Paula Portnera [60] rekurzívne definujeme nasledujúcim spôsobom:

- $D_{e_T, A, I, J} = A$, pre objekty základného typu e_T je množinou možných denotátov

množina A ,

- $D_{t_T, A, I, J} = \{0, 1\}$, pre objekty základného typu t_T je množinou možných denotátov množina pravdivostných hodnôt $\{0, 1\}$,
- $D_{\langle x_T, y_T \rangle A, I, J} = D_{y_T, A, I, J}^{D_{x_T, A, I, J}}$, resp. množina funkcií zobrazená z $D_{x_T, A, I, J}$ do $D_{y_T, A, I, J}$ (pre výrazy zložených typov),
- $D_{\langle z_T, x_T \rangle A, I, J} = D_{x_T, A, I, J}^{IxJ}$, resp. množina funkcií zobrazená z IxJ do $D_{x_T, A, I, J}$ (pre výrazy zložených typov)

Množinu $D_{\langle z_T, x_T \rangle A, I, J}$ z posledného bodu definície nazýva Montague množinou zmyslov typu x_T a označuje ju $S_{\langle z_T, x_T \rangle A, I, J}$.

Interpretácia U ktorá je intenzionálnym modelom u Montagua predstavuje päťicu $\langle A, I, J, \leq, F \rangle$, kde prvky A, I, J sú neprázdne množiny, $\leq$ znázorňuje jednoduché lineárne usporiadanie na množine časových okamihov J a F je funkcia, ktorá priraduje nelogickým konštantám všetkých typov ich denotát z $S_{\langle x_T, A, I, J \rangle}$. Pre funkciu F teda platí, že pre ľubovoľný typ $x_T \in Type$ $X_T \in Con_T$ je $F(X_T) \in S_{\langle x_T, A, I, J \rangle}$. Podobným spôsobom je ešte potrebné definovať funkciu g (nazývanú aj U -priradenie), ktorá priradí denotát aj premenným. Pre ľubovoľnú premennú u typu x_T platí, že $g(u) \in D_{x_T, A, I, J}$. Následne je možné pomocou interpretácie U a funkcie g rekurzívne definovať denotáty zmysluplných výrazov:

- pre logické prvky:

- ak $X_T \in ME_{t_T}$, potom $[[\neg X_T]]^{U, i, j, g} = 1 \iff [[X_T]]^{U, i, j, g} = 0$
- ak $X_T, Y_T \in ME_{t_T}$, potom $[[X_T \wedge Y_T]]^{U, i, j, g} = 1 \iff [[X_T]]^{U, i, j, g} = 1$ a súčasne $[[Y_T]]^{U, i, j, g} = 1$. Pre ostatné spojky - $[[X_T \vee Y_T]]$, $[[X_T \Rightarrow Y_T]]$, $[[X_T \Leftrightarrow Y_T]]$, možno ich sémantiku v intenzionálnej logike definovať obdobným spôsobom, vychádzajúc z [14], kde je popísaná sémantika predikátovej logiky prvého rádu,
- ak $X_T, Y_T \in ME_{x_T}$, potom $[[X_T = Y_T]]^{U, i, j, g} = 1 \iff [[X_T]]^{U, i, j, g}$

nadobúda rovnakú hodnotu ako $[[Y_T]]^{U,i,j,g}$.

- ak $X_T \in ME_{t_T}$ a u je premenná typu x_T , potom $[[\forall u X_T]]^{U,i,j,g} = 1$ *iff* ak pre každé $x \in D_{x_T,A,I,J}$, pre ktoré platí $[[X_T]]^{U,i,j,gw} = 1$, kde gw sa podobá na U -priradie g , ale platí, že $gw(u) = x$ resp. $gw(u/x)$. Podobne $[[\exists u X_T]]^{U,i,j,g} = 1$ *iff* ak existuje $x \in D_{x_T,A,I,J}$, pre ktoré platí $[[X_T]]^{U,i,j,gw} = 1$,
- ak $X_T \in ME_{x_T}$ a u je premenná typu Y_T , potom $[[\lambda u X_T]]^{U,i,j,g}$ predstavuje funkciu h s definičným oborom v $D_{y_T,A,I,J}$, ktorá ľubovoľnému x z tohto definičného oboru priradí $h(x) = [[X_T]]^{U,i,j,gw}$,
- ak $X_T \in ME_{t_T}$, potom $[[\Box X_T]]^{U,i,j,g} = 1$ *iff* $[[X_T^{U,i,j,g}]] = 1$ pre každé $i \in I, j \in J$. Podobne $[[WX_T]]^{U,i,j,g} = 1$ *iff* $[[X_T^{U,i,j,g}]] = 1$, ak existuje $j \in J$ také, že $j' < j, j \neq j'$ a $[[HX_T]]^{U,i,j,g} = 1$ *iff* $[[X_T^{U,i,j,g}]] = 1$, ak existuje $j \in J$ také, že $j < j', j \neq j'$,
- ak $X_T \in ME_{x_T}$, potom $[[\wedge X_T]]^{U,i,j,g} = h$ funkcií s definičným oborom $I \times J$, kde $\langle i', j' \rangle \in I, J$ a $h(\langle i, j \rangle) = [[X_T]]^{U,i',j',g}$,
- ak $X_T \in ME_{\langle x_T \rangle}$, potom $[[\vee X_T]]^{U,i,j,g} = [[X_T]]^{U,i,j,g}(\langle i, j \rangle)$,
- pre syntaktické symboly:
 - ak $X_T \in ME_{\langle z_T, x_T \rangle}$ a zároveň ak $Y_T \in ME_{x_T}$, potom $[[X_T(Y_T)]]^{U,i,j,g} = [[X_T]]^{U,i,j,g}([Y_T])^{U,i,j,g}$,
- pre nelogické prvky:
 - ak X_T je nelogická konštanta, potom $[[X_T]]^{U,i,j,g} = F(X_T)(\langle i, j \rangle)$, podobne ak X_T je premenná, potom $[[X_T]]^{U,i,j,g} = g(X_T)$.

V tejto chvíli je možné prieročiť k skúmaniu sémantickej časti Montagueovho systému vo fáze zobrazovania výrazov fragmentu anglického jazyka do formúl intenzi-
onálnej logiky.

Sémantika v PTQ (preklad do jazyka intenzionálnej logiky)

Kedže syntaktická kategória výrazov sa odráža na ich sémantickej funkcii, tak podľa článku Reinharda Muskensa [53] je úvodom k predstaveniu Montagueovho translačného systému PTQ funkčné zobrazenie syntaktických kategórií fragmentu prirodzeného jazyka do sémantických typov logického jazyka. Pre zobrazenie f z množiny kategórií prirodzeného jazyka Cat do množiny typov logického intenzionálneho jazyka $Type$ platí, že ak $f : Cat \rightarrow Type$, tak:

- $f(e_C) = e_T$,
- $f(t_C) = t_T$,
- $f(A_C/B_C) = f(A_C // B_C) = \langle \langle t, f(B_T) \rangle, f(A_T) \rangle$.

Takýmto spôsobom je možné výraz akejkoľvek kategórie X_C preložiť do výrazu typu $f(X_T)$. Typy objektov sú pre jednotlivé kategórie jazyka zachytené v Tabuľke 2 – 1⁴. Je dôležité všimnúť si, že medzi druhým a tretím stĺpcom tejto tabuľky je zjavná súvislosť, napríklad:

$$\begin{aligned} f(IV) &= f(t/e) = \langle \langle s, e \rangle, t \rangle, \\ f(T_C) &= f(t/(t/e)) = \langle \langle s, \langle \langle s, e \rangle, t \rangle \rangle, t \rangle, \\ f(TV_C) &= (t/e)/(t/(t/e)) = \langle \langle s, \langle \langle s, \langle \langle s, e \rangle, t \rangle \rangle, t \rangle \rangle, \langle \langle s, e \rangle, t \rangle \rangle. \end{aligned}$$

Pri preklade je potrebné najprv preložiť lexikálne prvky prirodzeného jazyka, ktoré sa preložia do určitej konštanty logického jazyka zodpovedajúceho typu (podľa zobrazenia f) pomocou prekladovej funkcie. Prekladová funkcia g^t má ako definičný obor množinu základných výrazov s výnimkou jednotiek kategórie termov T_C a výrazov necessarily, be.

Napríklad, slovo temperature z Montagueovho slovníka bude prekladané (vychádzajúc zo zvyklosti označovať konštanty veľkými písmenami) ako:

$$g^t(\text{temperature}) = TEMPERATURE \in Con_{\langle \langle s, e \rangle, t \rangle}$$

⁴Existuje aj zjednodušené zobrazenie typov logického jazyka z kategórií prirodzeného jazyka. Postaral sa oň Bennett a upresnil ho Dowty, nájsť ho možno v publikácii [16].

Sémantické prekladové pravidlá

Montague používa 17 prekladových pravidiel, ktoré sú úzko prepojené s jeho syntaktickými pravidlami, ktorým zodpovedajú (napríklad sú delené v rovnakom poradí do rovnakých skupín). Pravidlá kvôli analógiám so syntaktickými pravidlami neobsahujú podrobné vysvetlenia, iba vybrané príklady ich použitia. Montagueova fráza "je preložené do", ktorá sa vyskytuje v každom pravidle je nahradená symbolom $\mapsto$. Symboly θ', ϑ' reprezentujú preklad θ, ϑ . Montague kvôli zjednodušeniu používa nasledujúce špecifické premenné - u, v , sú premenné entít typu e_T , p , sú premenné typu $\langle s, \langle \langle s, e \rangle, t \rangle \rangle$ kategórií IV_C, CN_C, P , sú premenné vlastností entít typu $\langle s, \langle \langle s, e \rangle, t \rangle \rangle$, PP , sú premenné vlastností entít druhého rádu typu $\langle s, \langle s, \langle \langle s, e \rangle, t \rangle \rangle \rangle$. Fragment sémantických pravidiel, je podľa publikácie [15] spracovaný nasledovne:

T1: Ak $\theta \in D(g^t)$, potom $\theta \mapsto g^t(a)$

- T1 prekladá lexikálne jednotky θ , ktoré sú v definičnom obore g^t do logického jazyka. Napr. preklad lexikálnej jednotky $man \mapsto g^t(man)$ ako $man \mapsto man'$. Výnimku tvoria jednotky kategórie termov T_C a výrazy necessarily, be, ktoré su prekladané prostredníctvom častí 1., 2., 3., 4. pravidla T1.

1. $necessarily \mapsto \lambda p \Box^\vee p$,
2. $be \mapsto \lambda PP \lambda u^\vee PP(\vee \lambda v(\vee u = v))$,
3. $Bill, John, Mary, ninety \mapsto \lambda P(P\{b\}), P(P\{j\}), P(P\{m\}), P(P\{n\})$ ⁵,
4. $he_n \mapsto \lambda P(P\{u_n\})$.

T2: Ak $\theta \in P_{CN_C}$, tak potom:

1. $F_0(\theta) \mapsto \lambda P \forall u(\theta'(u) \Rightarrow P(u))$,
2. $F_1(\theta) \mapsto \lambda P \exists u(\forall v(\theta'(v) \Leftrightarrow u = v) \wedge P(u))$,
3. $F_2(\theta) \mapsto \lambda P \exists u(\theta'(u) \wedge P(u))$.

⁵Symboly b, j, m, n predstavujú konštanty.

- Napríklad preklad výrazu "the temperature" pomocou funkcie F_1 (temperature) $\mapsto \lambda P \exists v (\forall u (\text{temperature}'(u) \Leftrightarrow u = v) \wedge P(v))$.

T3: Ak $\theta \in P_{CN_C}$ and $\vartheta \in P_{t_C}$, potom $F_{3,n}(\theta, \vartheta) \mapsto \lambda u_x (\theta'(u_x) \wedge \vartheta'')$, pričom u_x sa nevyskytuje v θ' ani ϑ' a ϑ'' vzniká substitúciou u_n za u_x vo ϑ' .

V hlavnej časti práce sú popísané len prvé tri Montagueove (základné) sémantické pravidlá, analogické k syntaktickým pravidlám, ktoré boli uvedené. Kompletný zoznam všetkých sémantických prekladových pravidiel, ktoré Montague zavádza a ktoré sú použité v podkapitole 2.2.4 pri preklade viet prirodzeného jazyka do intenzionálnej logiky, možno nájsť v Prílohe A.

Po stručnom popísaní základných princípov, ktoré Montague uplatňuje v PTQ, je vhodné aplikovať ich na konkrétnych príkladoch z fragmentu anglického jazyka vymedzeného Tabuľkou 2–1.

2.2.4 Vetný rozbor v PTQ

Kategoriálne vymedzenie základných výrazov v rámci Montagueovej kategoriálnej gramatiky predurčuje ich kombinačné možnosti s ďalšími výrazmi fragmentu PTQ. Pre každé syntaktické pravidlo Montague vytvoril jedinečné prekladové pravidlo, pričom syntaktické pravidlá sa aplikujú do syntaktických štruktúr a prekladové pravidlá do prekladových štruktúr, ako vysvetľuje Emmon Bach [3]. Všetky pravidlá sú striktne lokálne, žiadne pravidlo preto nepristupuje k predošlým, alebo nadchádzajúcim etapám derivácie.

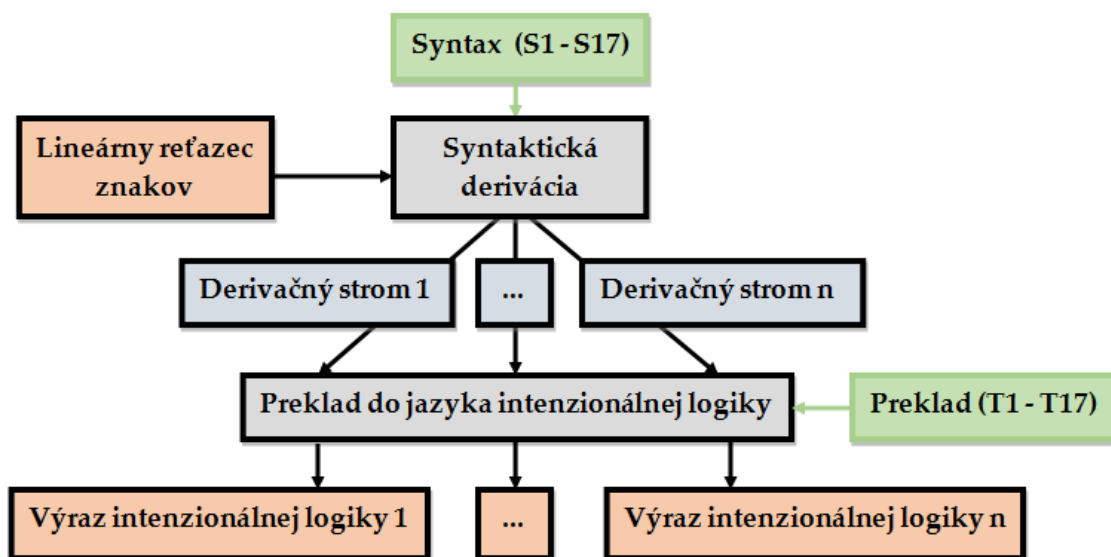
Zhrnuto povedané, preklad prebieha v 3 fázach:

1. Do procesu prekladu vstupuje korektný výraz, ktorý je akceptovaný gramatikou prirodzeného jazyka.
2. Skúma sa derivačná história výrazu, v ktorej sa zisťuje aké lexikálne jednotky obsahuje výraz a ak je výraz zložený, skúma sa aj to, ktoré konkrétne syntak-

tické pravidlá boli použité. Túto fázu možno graficky reprezentovať derivačným stromom (počet stromov závisí od počtu významov výrazu).

3. Prekladá sa z analytického stromu do intenzionálneho logického jazyka.

Vstupom pre preklad je tak syntaktická derivácia výrazu ako lineárneho reťazca znakov, jeho výstupom je preklad daného výrazu do intenzionálneho jazyka. Proces prekladu výrazu prirodzeného jazyka je zachytený na Obrázku 2–3.



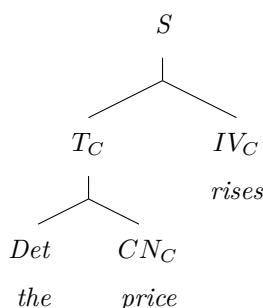
Obrázok 2–3 Fázy spracovania prirodzeného jazyka v Montagueovej teórii

Uvedme nasledujúce príklady prekladov výrazov, aby sme demonštrovali spôsob, akým sa použitím prekladových pravidiel prekladá do intenzionálneho jazyka:

- $Bill\ rises \mapsto rise'(\wedge b)$ (resp. $rise'_*(b)$, tento spôsob zápisu je použiteľný aj pre všetky ostatné spomenuté prípady),
- $price\ rises \mapsto rise'(\wedge price')$,
- $ninety\ is\ price \mapsto price'(\wedge ninety')$,
- $a\ price\ rises \mapsto \exists u(price'(\wedge u) \wedge rise'(\wedge u))$,
- $every\ price\ rises \mapsto \forall u(price'(\wedge u) \Rightarrow rise'(\wedge u))$,

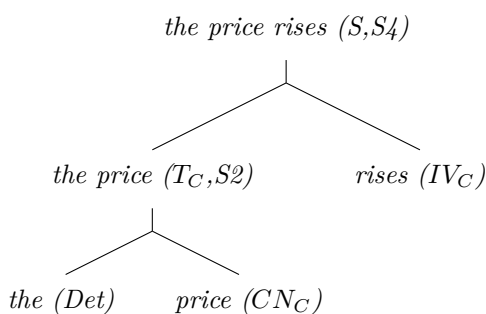
- $the\ price\ rises \mapsto \exists v(\forall u(price'(\wedge u) \Leftrightarrow u = v) \wedge rise'(\wedge v))$.

S výrazom "the price rises" budeme pracovať aj naďalej. V prvej fáze vytvoríme jeho derivačný strom podobným spôsobom, akým boli stromy vytvárané aj v Chomského transformačno - generatívnej gramatike s použitím Montagueových označení kategoriálnej gramatiky, viď Obrázok 2–4. Okrem toho je použité značenie S pre vetu/výraz a Det pre determinant.



Obrázok 2–4 Výraz "the price rises" zachytený pomocou prístupu Chomského

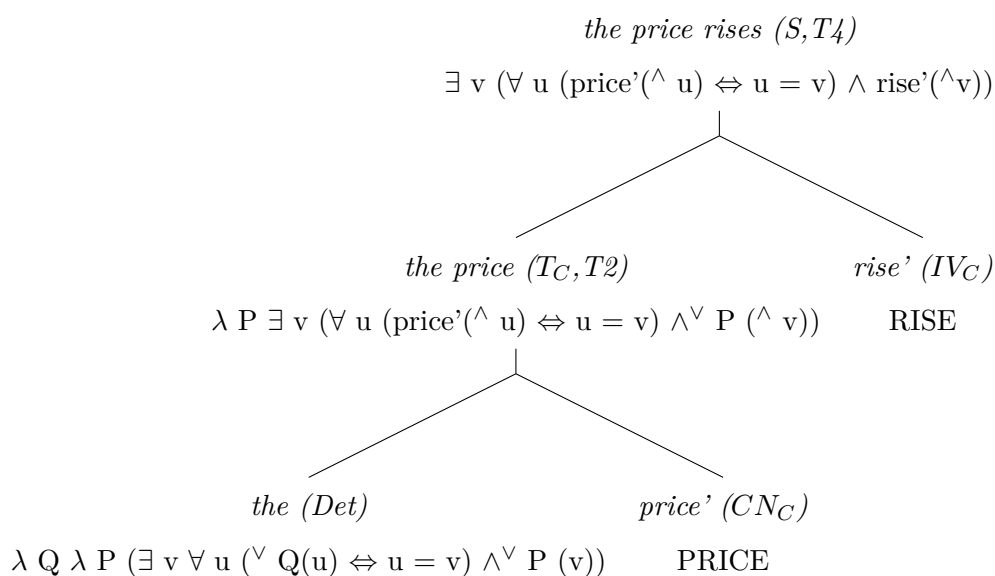
Tomuto stromu možno dodať "montagueovský" charakter, ak bude prepísaný do podoby zachytenej na Obrázku 2–5. Tu sú už použité syntaktické pravidlá, ktoré určujú, akým spôsobom sú základné syntaktické jednotky zlučované do väčších celkov. Daný strom reprezentuje derivačnú históriu vstupného výrazu, ktorý sa nachádza v jeho koreni, pričom sa postupuje smerom zhora nadol. V uzloch stromu sa nachádzajú syntaktické frázy s ich kategóriou a syntaktickým pravidlom, pomocou ktorého boli vytvorené, listy stromu tvoria lexikálne jednotky fragmentu PTQ.



Obrázok 2–5 Syntaktická derivácia výrazu

Ďalším ekvivalentným zápisom, ktorý sa v montagueovom prístupe využíva je deri-

vačný strom znázornený na Obrázku 2–6. Podobá sa na syntaktický strom derivácie, no postupuje sa pri ňom zdola nahor. Obsahuje informácie o preklade výrazu do jazyka intenzionálnej logiky, prekladové pravidlá odpovedajú syntaktickým pravidlám použitým pri derivácii výrazu. Derivačný strom môže a nemusí obsahovať preklady jednotlivých výrazov a lexikálnych jednotiek, proces prekladu môže byť zapísaný aj lineárne, mimo stromovej konštrukcie.



Obrázok 2–6 Preklad výrazu do logického jazyka

Ako už bolo viackrát spomenuté, Montague pri analýze prirodzeného jazyka kladie veľký dôraz na sémantiku. Používa supozície *de dicto* a *de re*, ktoré umožňujú zachytenie niektorých dôležitých rozdielov v intenzionálnej logike. Na základe [7] znázorníme princípy supozícií na nasledovnom príklade:

Majme vetu "Every man loves a woman.", kde $M(u)$ znamená, že u je muž, $W(v)$ znamená, že v je žena a $L(u, v)$ znamená, že u miluje v . Vete možno priradiť nasledujúce významy:

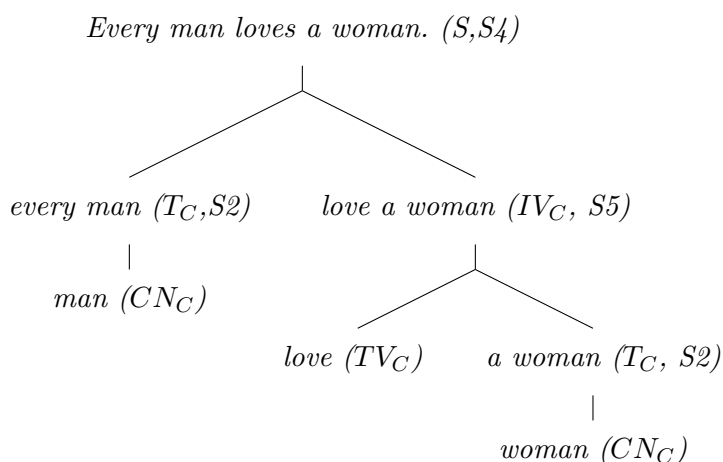
1. Každý muž miluje nejakú ženu, pričom nezáleží na tom, aká je to žena, ani nemusí existovať. Ide o formu *de dicto*.

- $\forall u (M(u) \Rightarrow \exists v (W(v) \wedge L(u, v)))$.

2. Existuje konkrétne individuum žena, ktorú muž miluje. Ide o formu de re.

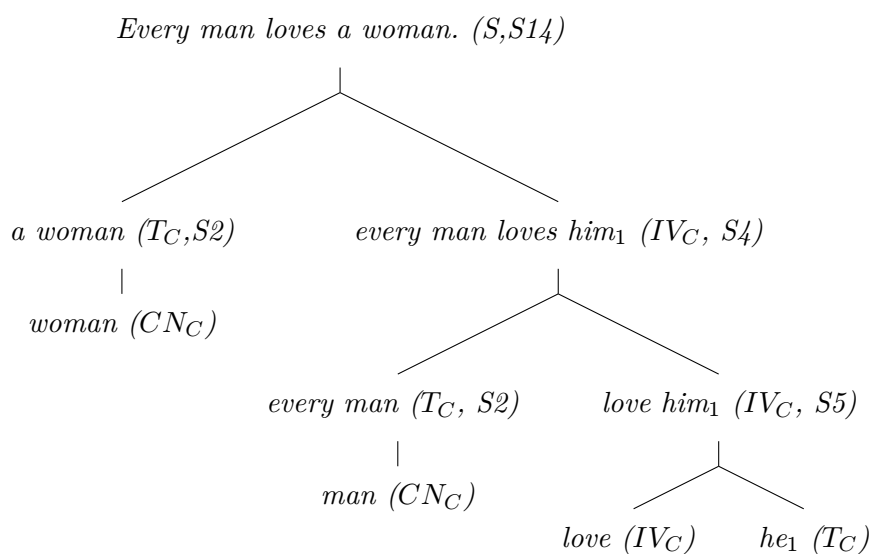
- $\exists v(W(v) \wedge \forall u(M(u) \Rightarrow L(u, v)))$.

Obrázok 2–7 predstavuje syntaktickú analýzu PTQ vety "Every man loves a woman." formou de dicto.



Obrázok 2–7 De dicto rozklad vety "Every man loves a woman."

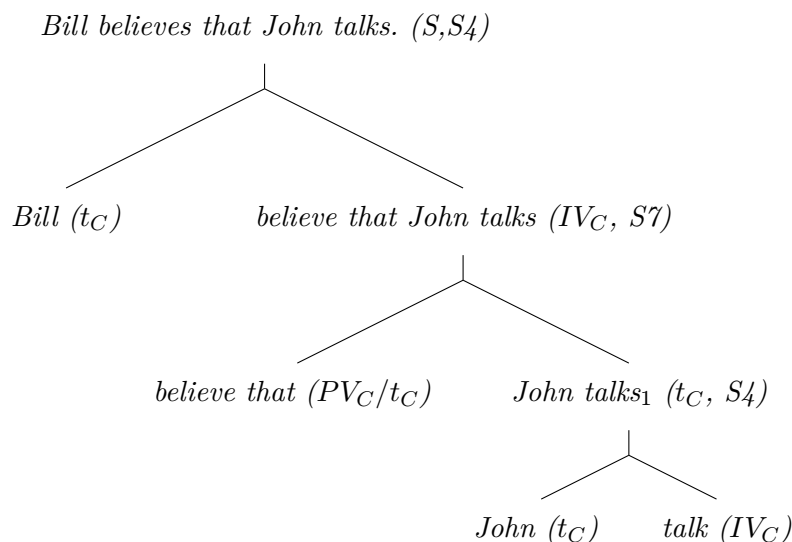
Rovnakú vetu syntakticky analyzujeme formou de re tak, ako je to znázornené na Obrázku 2–8.



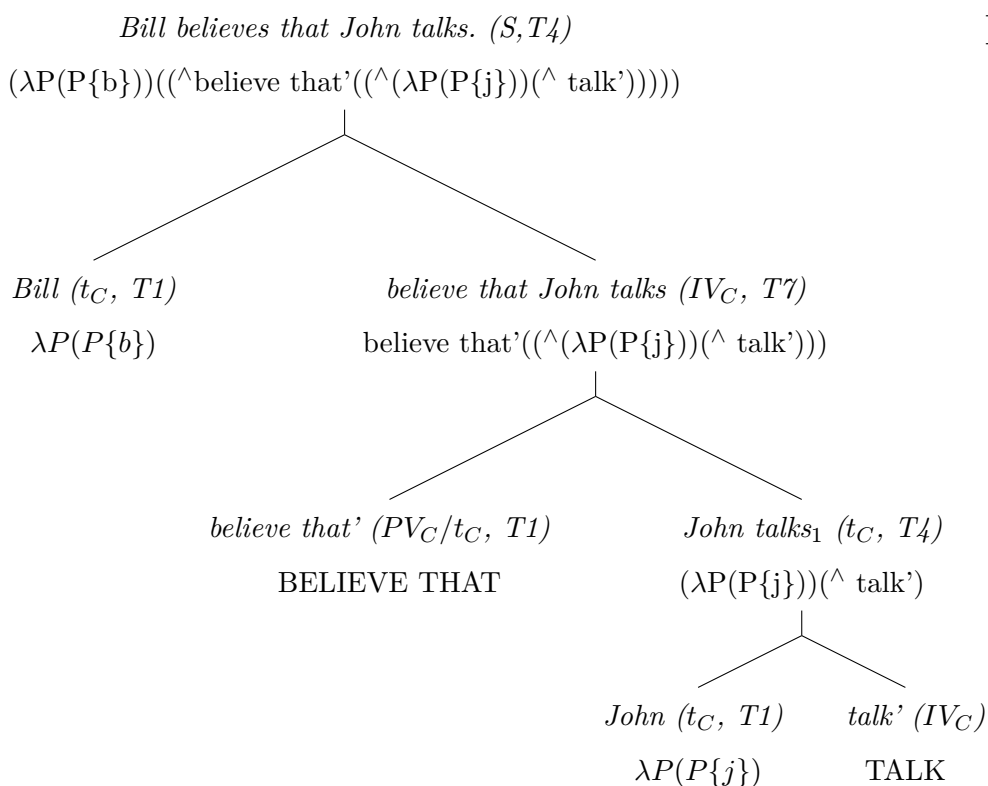
Obrázok 2–8 De re rozklad vety "Every man loves a woman."

Analogicky určujeme význam viet de dicto a de re všade, kde je to potrebné, majú na pamäti, že niektoré vety majú len jeden význam, no iné ich môžu mať mnoho (jedna veta napríklad môže mať 3 de re významy a podobne). Takýmto spôsobom môže v rámci syntaktickej derivácie vety vzniknúť viacero derivačných stromov a im zodpovedajúcich prekladov do formálneho jazyka tak, ako je to znázornené na Obrázku 2–3. Bez ohľadu na to, koľko syntaktických derivácií má skúmaná veta, jej interpretáciou sa vždy dopracujeme k rovnakej pravdivostnej hodnote. Kvôli kompletizácii nadobudnutých poznatkov bude uvedený ešte jeden príklad - veta "Bill believes that John talks."

Veta je v rámci fragmentu PTQ korektne vytvorená, čiže je akceptovaná syntaxou. Má len jeden význam (de dicto), preto bude existovať práve jeden syntaktický strom (Obrázok 2–9) a práve jeden derivačný strom na znázornenie prekladu do logického jazyka (Obrázok 2–10).



Obrázok 2–9 Syntaktická derivácia vety "Bill believes that John talks."



Obrázok 2–10 Preklad vety "Bill believes that John talks." do logického jazyka

V tejto chvíli, keď je Montagueova teória komplexne spracovaná, si stručne predstavíme jedinú ďalšiu teóriu v rámci oblasti logickej analýzy prirodzeného jazyka, ktorá jej zdarne konkuruje (dokonca ju v niektorých ohľadoch prevyšuje), a to transparentnú intenzionálnu logiku.

2.3 Transparentná intenzionálna logika

Jej autorom je prof. Pavel Tichý (o transparentnej intenzionálnej logike napísal viacero prác, napríklad [73]) a za jej propagátora sa považuje profesor Pavel Materna. Vznikla rok po publikovaní prvej z Montagueových zásadných prác, teda roku 1971. I keď teda obidva zásadné prístupy k logickej analýze prirodzeného jazyka vznikli v približne rovnakej dobe, Montagueove myšlienky boli všeobecne prijaté ako paradigma intenzionálnej logiky a sémantiky, zatiaľ čo Tichého logike sa venovalo len

málo priestoru. Tichého prístup však rozširuje Montagueovu intenzionálnu logiku a jeho poňatie intenzionálnej logiky sa považuje za vhodnejšie, lebo odstraňuje niektoré nedostatky Montagueovho prístupu.

Montague, vychádzajúc z práce Jaroslava Peregrina [61], sa vo svojej lokálnej intenzionálnej logike držal predstavy, že v "štandardných" prípadoch význam predstavuje extenziu a k intenzii pristupuje len v "neštandardných" prípadoch, kedy je to nevyhnutné. Podľa toho platí, že každý výraz má extenziu, intenzia je nečinná okrem špeciálnych prípadov intenzionálnych kontextov, kedy extenziu nahrádza. Okrem tohto problematického charakteru Montagueovej sémantiky, ju to technicky značne komplikuje kvôli používaniu operátorov $\wedge$ a $\vee$, ktoré ale nemožno považovať za kompozicionálne. Tento nesmierne zložitý formalizmus komplikuje ešte aj fakt, že premenné sa v Montagueovom systéme správajú inak ako konštanty (premenné nemajú intenzie). Montague tiež upravoval (úpravou pravidiel) extenzionálny model s cieľom premietnuť do sémantiky možné svety. Tichého prístup bol pokrokovejší, lebo množinu možných svetov považoval za gramatickú kategóriu. Tichého logika je globálne intenzionálna, čo znamená, že považuje za významy ľubovoľných výrazov ich intenzie, čím pre sémantiku prestávajú byť také dôležité, ako to bolo u Montagua a Tichého logika je vďaka tomu oveľa prehľadnejšia a jednoduchšia na pochopenie. Intenzie sú modelované pomocou λ -termov, ktoré determinujú funkcie z možných svetov (teda intenzie), napr. $\lambda w [\dots w \dots]$, čo sa nazýva aj explicitná intenzionalizácia. Rozšírenie extenzionálnej logiky na intenzionálnu logiku možno u Tichého považovať za transparentné.

Jazyk montagueovskej intenzionálnej logiky je jazykom predikátového počtu nekonečného rádu (resp. jazykom teórie typov), kde v sémantike sú každému výrazu priradené dve hodnoty - extenzia a intenzia. Viacerí logici, ktorí sa snažili s Montagueovou logikou pracovať a dať jej systematické matematické základy, prišli s novým prístupom k nej - tzv. "*dvojtypovou teóriou typov*", popísanou napríklad Danielom Gallinom [22]. Vďaka redukcii na dvojsortovú teóriu typov (teda štandardný, ne-

modálny predikátový počet nekonečného rádu) sa Montagueova logika správa, ako keby bola postavená na princípoch globálnej intenzionálnej logiky pána Tichého a často je považovaná za jej "dvojsortovú" variantu. Intenzionálny predikátový počet rádu n možno preložiť do dvojsortového extenzionálneho predikátového počtu rádu n nasledujúcimi prekladovými pravidlami:

$$\begin{aligned}\text{ext } \llbracket \wedge E \rrbracket^* &= \lambda w \llbracket E^* \rrbracket, \\ \text{int } \llbracket \vee E \rrbracket^* &= E^* \llbracket w \rrbracket,\end{aligned}$$

Logici nazývajúci intenzionálnu logiku priamo dvojsortovou teóriou typov, prakticky dávajú za pravdu Tichému, ktorý tak svoju logiku nazýval od začiatku, než Montagueovi, s ktorého teóriou sa pracuje optimálne práve vtedy, keď sa k nej pristupuje pomocou dvojsortvej teórie typov, no tieto princípy v jej pôvodnej verzii zakotvené nie sú.

Aj keď Transparentná intenzionálna logika nepredstavuje stredobod tejto práce, ktorá sa zaoberá primárne logickou analýzou prirodzeného jazyka založenou na Montagueových prácach, budú spomenuté niektoré jej základné charakteristiky:

- ide o metódu (patriacu medzi hyperintenzionálne teórie) umožňujúca reprezentovať v prirodzených jazykoch štruktúry výrazov,
- výrazne expresívny systém, v ktorom sa ale expresívnosť spája s nemožnosťou úplného kalkulu a úplnej automatizácie manipulovania s výrazmi prirodzeného jazyka. Výrazy nie sú chápané kontextualisticky - nie každý výraz má svoju extenziu a svoju intenziu a tiež neplatí, že výraz má kontexty, kde označuje svoju extenziu a kontexty, kde označuje svoju intenziu,
- táto logika je založená na (nekonečnej) hierarchii typov, preto pre ňu nemôže existovať úplný logický dôkazový kalkul,
- využíva globálne intenzionálny prístup, kde zmyslom výrazu je vždy intenzia (extenzia je pre sémantiku nepodstatná). Obsahuje operácie (v tomto prístupe

operácie predstavujú "zmysly") prevzaté z teórie typov, potrebné pre konštruovanie objektov s intenzionálnym charakterom (hodnoty objektov sú závislé na čase a možnom svete).

- dokáže riešiť aj niektoré problémy, s ktorými si klasický Montagueov formalizmus neporadí, efektívne sa využíva napríklad ako špecifikačný jazyk čiastočne implementovaný v jazykoch typu Prolog. Otvára prístup k inferenčnému mechanizmu Prologu (čo umožňuje k určitej množine otázok nachádzať odpovede), no ako je popísané v [12], toto prepojenie transparentnej intenzionálnej logiky a Prologu má aj určité obmedzenia,
- v teoretickej informatike sa používa najmä v oblasti konceptuálneho modelovania v softvérovom inžinierstve, kde je táto teória pre formálne korektnú transformáciu používateľských požiadaviek na údajový model informačného systému (podrobnejšie v [18], spracované Mariou Duží).

Geniálnu jednoduchosť Tichého logiky načrtneme analýzou vety "*Janík hľadá draka*", ktorá bola analyzovaná aj pomocou Montagueovho prístupu v podkapitole 2.2.2. Jej zápis by v tomto prípade vyzeral nasledovne:

$\lambda w.Hlada(w)(Janik, Drak)$, kde w predstavuje množinu možných svetov.

Tichý v svojich neskorších prácach zavádza aj výrazy typu τ predstavujúce časové okamihy, čím vzniká temporálna verzia tejto logiky.

Po komplexnom spracovaní oblasti logickej analýzy prirodzeného jazyka nadviažeme zavedením ďalšieho teoretického aparátu, a to predikátovej lineárnej logiky. Tá predstavuje nevyhnutný teoretický základ, prostredníctvom ktorého bude v nasledujúcich častiach práce možné prepojiť Montagueovu teóriu aplikovanú na vetu prirodzeného jazyka s časopriestorovým kalkulom teórie Ludics.

3 Predikátová lineárna logika

Predikátovej lineárnej logike (definovanej zavedením paradigiem predikátovej logiky 1. rádu a lineárnej logiky) bola venovaná ústredná časť mojej bakalárskej práce [14], v ktorej sa danou témou podrobne zaoberám a pri písaní tejto kapitoly sa na ňu budem odvolávať.

Rozdiel medzi tradičnými logikami a predikátovou lineárnou logikou je možné ilustrovať na jednoduchom príklade, vychádzajúc z diplomovej práce Dale Millera [47]. Majme jednoduchú formulu $A \Rightarrow B$, tento zápis čítame A implikuje B . Nech A označuje výrok "mám koláč" a B označuje "zjem koláč". Z hľadiska tradičných logík, ktoré sa zaoberajú pravdivosťou tvrdení je tento zápis (označujúci vetu "Ak mám koláč, tak potom ho zjem.") v poriadku, a to aj keď ho budem chcieť použiť opätovne, resp. ak by sme mali ďalšiu formulu $A \Rightarrow C$ označujúcu výrok "Ak mám koláč, potom ho darujem kamarátovi.", tiež je možné použiť ho a stále bude pravdivý. Ale bolo by možné použiť formulu A (teda zjesť koláč) opätovne aj v reálnom živote? V reálnom živote, ak som koláč zjedol, tak je zjedený a teda už neexistuje, nemôžem zjedený koláč opäť zjesť a ani ho darovať, či inak použiť, lebo zjedením som ho už spotreboval. V tradičných logikách ostáva tvrdenie pravdivé bez ohľadu na to, či sa opakovane používa (preberané fatky sú nemenné a vždy pravdivé), čo nereflektuje skutočný svet. Formuly predikátovej lineárnej logiky, ktorá ktorá v sebe zahŕňa dostupnosť zdrojov a problémy spojené s ich obmedzeným množstvom, to dokážu. Zavádza nové logické spojky, napríklad spomínaný príklad $A \Rightarrow B$ by použitím lineárnej implikácie vyzeral nasledovne: $A \multimap B$ a tento zápis by sme čítali ako spotrebovanie A poskytuje B .

Lineárna logika bola ako formalizmus popisujúci problémy s obmedzeným množstvom zdrojov, ktorý umožňuje popísať spotrebu zdrojov formulovaná francúzskym logikom Jean-Yves Girardom [24] v roku 1987. Predstavuje neklasickú logiku akcií a zdrojov, je zovšeobecnením výrokovej, predikátovej a intuicionistickej logiky. Phi-

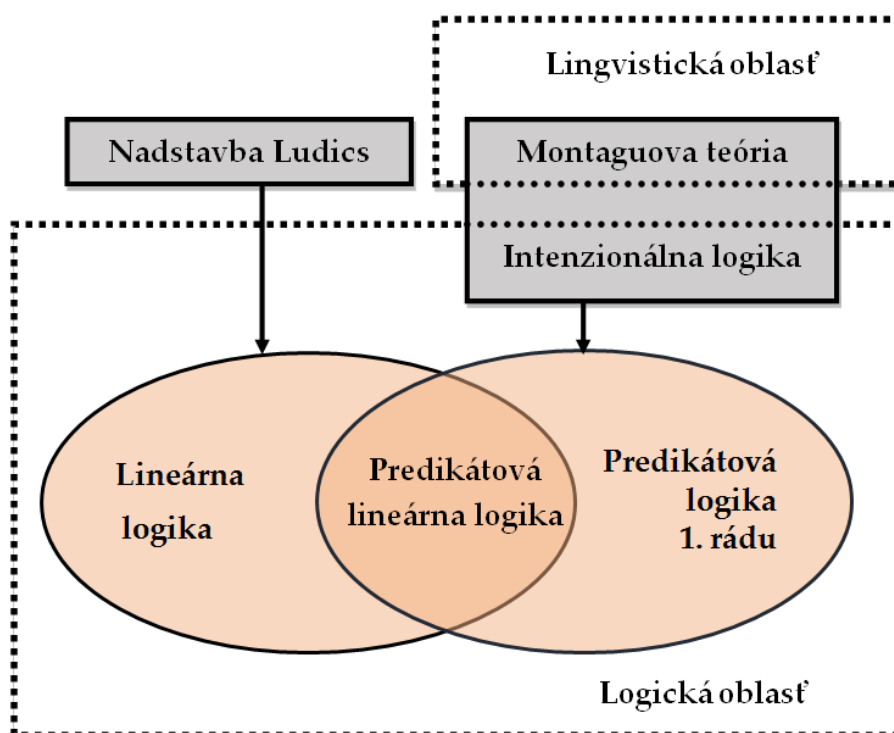
lip Wadler ju v jednej zo svojich prác [78] výstižne popísal ako: *”Tradičná logika podporuje bezstarostné využívanie zdrojov. Lineárna logika však so zdrojmi narába šetrnejšie, je novodobou logikou, pričom ju jednak možno považovať za logiku realističného účtovníctva, kedy žiadne predpoklady nie sú zadarmo a jednak je ekologická, zdroje v nej musia byť zachované.”* Ako aj na tomto citáte vidno, táto logika už krátko po svojom uvedení vzbudila mimoriadny záujem, najmä vďaka širokej škále oblastí teoretickej informatiky, v ktorej ju možno uplatniť, či už sa jedná o modelovanie Petriho sietí (spracované napríklad v publikácii [19] od Engberga a Winskela), lineárne logické programovanie (napríklad článok [56] Valerie Novitzkej a Daniela Mihályiho) a mnohé iné.

Ďalšie významné vlastnosti lineárnej logiky, popísané v prednáške [54] p. Novitzkej:

- Formuly sú chápané ako akcie alebo zdroje, práve práca so zdrojmi umožňuje popisovať prostredníctvom lineárnej logiky dynamické procesy prebiehajúce v prírode a teda aj reálny svet.
- Uvádza nové logické operátory - $\otimes$, $\&$, $\oplus$, $\wp$, $\multimap$, $?$, $!$, čo je v podkapitole 3.1 popísané podrobnejšie.
- Pravidlá zoslabenia a kontrakcie v rámci dokazovacieho kalkulu nie sú kvôli vlastnosti lineárnej logiky kontrolovať zdroje prípustné vo všeobecnosti. Zavádzajú sa len v reštriktívnom tvare pomocou exponenciálov $!$ a $?$, čo je v podkapitole 3.3 popísané podrobnejšie.

Pre túto diplomovú prácu je však potrebné namiesto výrokovej lineárnej logiky [25] zaviesť predikátovú lineárnu logiku (rozšíriť lineárnu logiku o predikáty - premenné, konštanty, termy; a kvantifikátory). Nosná literatúra, z ktorej sa pri písaní práce vychádza ([42] od Alaina Lecomta) pracuje s lineárnou logikou a ako jeden z prínosov diplomovej práce oproti spomínanej literatúre je možné považovať práve rozšírenie na predikátovú lineárnu logiku. Tiež je vhodné preto, že vďaka predikátom a kvantifikátorom má predikátová lineárna logika väčšiu vyjadrovaciu silu než

výroková lineárna logika. Navyše, celá práca pojednáva o pokuse prepojiť logickú a lingvistickú sféru, reprezentovanú primárne Montagueovou gramaticko-prekladovou teóriou. Tá stavia práve na predikátovej logike 1. rádu, takže i z tohoto hľadiska je prepojenie predikátovej a lineárnej logiky nevyhnutné tak, ako je to znázornené na Obrázku 3 – 1.



Obrázok 3 – 1 Prepojenie lingvistiky a (zdrojovo orientovanej) logiky

3.1 Syntax lineárnej predikátovej logiky

Prípustné tvary formúl predikátovej lineárnej logiky môžu byť podľa publikácie Yvesa Lafonta [41] nasledujúce:

- elementárnych formúl p a metapremennej A , ktorá vyjadruje akciu, reakciu, literál alebo zdroj,
- logických konštánt $1, 0, \perp, \top$, nulárnych funkčných symbolov, ktoré predsta-

vujú neutrálne prvky binárnych logických spojok,

- atomických predikátov $P(t, \dots, t)$, ktoré predstavujú aplikáciu predikátového symbolu P na konečný počet termov t ,
- binárnych intenzionálnych logických spojok $\otimes, \wp$, ktorých neutrálne prvky sú 1 (pre $\otimes$) a $\perp$ (pre $\wp$),
- binárnych extenzionálnych logických spojok $\oplus, \&$, ktorých neutrálne prvky sú 0 (pre $\oplus$) a $\top$ (pre $\&$),
- binárnej lineárnej implikácie $\multimap$,
- unárnej negácie $(.)^\perp$,
- exponenciálov (resp. modálnych operátorov) - "samozrejme" $!$ a "prečo nie" $?$,
- kvantifikátorov - univerzálny kvantifikátor $\forall$ a k nemu duálny existenčný kvantifikátor $\exists$, aplikované na premennú x .

Použitím predchádzajúcich definícií je syntax predikátovej lineárnej logiky (ktorá predstavuje výrokovú lineárnu logiku rozšírenú o predikáty $P(t, \dots, t)$ a kvantifikátory $\forall, \exists$) popísateľná nasledujúcou gramatikou v tvare:

$$A = p \mid 1 \mid 0 \mid \perp \mid \top \mid P(t, \dots, t) \mid A \otimes A \mid A \& A \mid A \oplus A \mid A \wp A \mid A \multimap A \mid A^\perp \mid !A \mid ?A \mid (\forall x)A, \mid (\exists x)A.$$

Syntax termov je podľa prednášky [55] prof. Novitzkej možné zapísať nasledovne:

$t = x \mid c \mid f(t, \dots, t)$, kde x je premenná, c konštanta a $f(t, \dots, t)$ predstavujú funkčné symboly aplikované na termy.

Podrobná charakteristika spomínaných lineárnych spojok (vrátane lineárnej negácie) a modálnych operátorov je uvedená v mojej bakalárskej práci [14]. Za podstatné však považujem spomenúť skutočnosť, že k zdroju/akcii A je duálny spotrebovaný zdroj/reakcia $A^\perp$ a platí ekvivalencia $(A^\perp)^\perp \equiv A$. Podobne možno použitím vlast-

ností negácie a modálnych operátorov uviesť nasledujúce ekvivalencie, vrátane De Morganových zákonov:

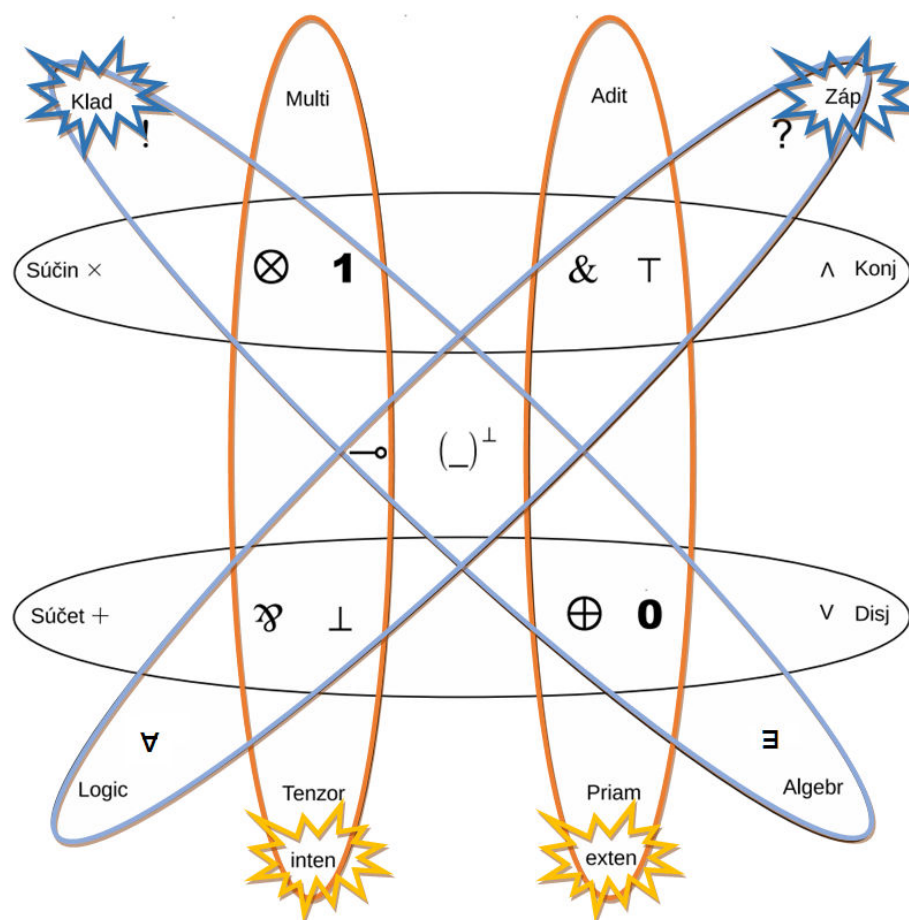
$$\begin{array}{ll}
1^\perp \equiv \perp & (?A)^\perp \equiv !(A^\perp) \\
\top^\perp \equiv 0 & (!A)^\perp \equiv ?(A^\perp) \\
\perp^\perp \equiv 1 & A \multimap B \equiv A^\perp \wp B \\
0^\perp \equiv \top & A \multimap B \equiv (A \otimes B^\perp)^\perp \\
(A \otimes B)^\perp \equiv A^\perp \wp B^\perp & !A \multimap B \equiv A \Rightarrow B \\
(A \wp B)^\perp \equiv A^\perp \otimes B^\perp & (\forall x.A)^\perp \equiv \exists x.A^\perp \\
(A \oplus B)^\perp \equiv A^\perp \& B^\perp & (\exists x.A)^\perp \equiv \forall x.A^\perp \\
(A \& B)^\perp \equiv A^\perp \oplus B^\perp &
\end{array}
\tag{3.1}$$

3.2 Fragmentácia a sémantika lineárnej predikátovej logiky

Prehľad možných fragmentov lineárnej logiky, obsahujúcich jej prípustné syntaktické tvary, je znázornený na Obrázku 3–2, ktorý vznikol v rámci štúdia výskumnej skupiny sústredenej okolo prof. Novitzkej [54]. V prospech tejto práce je postačujúce zamerať sa na 4 fragmenty lineárnej logiky:

- extenzionálny resp. intenzionálny fragment (vyznačený oranžovou farbou), Tarského resp. Heytingov prístup, ktorý je zaujímavý z hľadiska sémantiky lineárnej logiky,
- kladný resp. záporný fragment (vyznačený modrou farbou), algebraický resp. logický štýl vzhľadom na vlastnosti fokalizácie resp. invertibility, čo v kapitole Ludics 4 podrobnejšie popisujem.

I keď na sémantiku lineárnej logiky možno nazerať viacerými spôsobmi (z pohľadu jej sémantických úrovní), v rámci extenzionálneho a intenzionálneho fragmentu lineárnej logiky možno rozlíšiť jej sémantiku podľa Girarda [25] na:



Obrázok 3–2 Fragmentácia lineárnej logiky

- extenzionálny fragment - sémantika fázových priestorov (sémantická tradícia Tarského),
- intenzionálny fragment - koherentná sémantika (sémantická tradícia Heytinga),

Sémantická tradícia Tarského sa zaoberá významom formúl, resp. pravdivosťou akcie, ktorá sa dá zistiť pomocou vyhodnotenia pravdivostných hodnôt formúl (**1** pre lineárne true $\perp$ pre lineárne false). Ako je uvedené v diplomovej práci Jána Perháča [62], extenzionálny fragment lineárnej logiky možno popísať nasledujúcim produkčným pravidlom:

$$A = p \mid 0 \mid \top \mid A \& A \mid A \oplus A \mid A \multimap A \mid A^\perp \mid !A \mid ?A.$$

Sémantická tradícia Heytinga sa zasa zaoberá zmyslom formúl, resp. myšlienkou, ktorú štruktúra danej akcie stváraňuje ($\top$ pre lineárny zmysel $\mathbf{0}$ pre lineárny nezmysel). Intenzionálny fragment lineárnej logiky možno popísať nasledujúcim produkčným pravidlom:

$$A = p \mid \top \mid \perp \mid A \wp A \mid A \otimes A \mid A \multimap A \mid A^\perp \mid !A \mid ?A.$$

V tejto práci budeme používať extenzionálny resp. intenzionálny fragment (a nie multiplikatívny a aditívny fragment, ako býva zvykom) a takisto budeme analogicky pomenúvať binárne logické spojky napr. intenzionálna konjunkcia, extenzionálna disjunkcia a pod. Takýto posun v myslení ohľadne fragmentovania lineárnej logiky bol možný hlavne po naštudovaní princípov relevantnej logiky, ktorá predstavuje predchodcu lineárnej logiky (Príloha B).

Viac o samotnej podstate extenzionálnej a intenzionálnej sémantiky je možné prečítať si v kapitole 2, venovanej logickej analýze prirodzeného jazyka (presnejšie na strane 8), a zároveň je dôležité uvedomiť si, že ide o jednu z mnohých oblastí, ktoré lingvistickú časť práce prepájajú s tou logickou.

3.3 Dokazovací kalkul predikátovej lineárnej logiky

Podľa publikácie [6] pána Torbena Braunera, predstavil Gerhard Gentzen sekventy ako základné prvky lineárneho deduktívneho systému. Tieto prvky sú zapísateľné ako výrazy v tvare sekventu

$$\Gamma \vdash \Delta$$

kde $\Gamma = (A_1, \dots, A_n)$, $\Delta = (B_1, \dots, B_m)$, $m, n \in \mathbb{N}_0$, predstavujú konečné postupnosti formúl lineárnej logiky.

Zápis $\Gamma \vdash \Delta$ znamená, že postupnosť formúl Γ , nazývaná antecedent, pozostáva z množiny predpokladov, z ktorých je odvoditeľná postupnosť formúl Δ , nazývaná sukcedent. Ak si množinu Γ predstavíme ako intenzionálnu konjunkciu predpokladov

$A_1 \otimes \dots \otimes A_n$ a nad množinou Δ zasa uvažujeme ako nad extenzionálnou disjunkciou záverov $B_1 \oplus \dots \oplus B_n$, sekventový zápis má nasledujúci tvar:

$$A_1 \otimes \dots \otimes A_n \vdash B_1 \oplus \dots \oplus B_n,$$

čo znamená, že ak platia všetky formuly sekventu na strane ľavej, musí platiť aspoň jedna formula zo strany pravej.

Dôkazy sa v sekventovom kalkule vytvárajú pomocou odvodzovacích stromov. Tie majú v koreni dokazovaný sekvent, pričom použitím odvodzovacích pravidiel (v tvare $\frac{\text{predpoklady}}{\text{záver}}$) vznikajú vrcholy dokazovacieho stromu, tzv. inštancie dôkazu a axiómy predstavujú listy stromu. Rozdiel medzi tradičnou implikáciou, lineárnou implikáciou, sekventovým zápisom a odvodzovacím pravidlom je podľa Jonathana Skoweru [69] nasledovný:

- $A \Rightarrow B$ predstavuje vyhlásenie typu: ak A je pravdivé, potom aj B musí byť pravdivé,
- $A \multimap B$ predstavuje vyhlásenie typu: spotrebovanie zdroja A poskytuje B ,
- $A \vdash B$ predstavuje vyhlásenie typu: z predpokladu A je dokázateľné B (ak B predstavuje postupnosť $B_1, \dots, B_m$, tak platí: z predpokladu A je dokázateľný aspoň jeden člen postupnosti $B_1, \dots, B_m$),
- $\frac{A \vdash B}{C \vdash D}$ predstavuje vyhlásenie typu: vzhľadom na dôkaz B z A je dokázateľné D z C .

Pre lineárnu logiku a špecifický spôsob, akým sa kladie dôraz na spotrebu zdrojov, nie je možné vo všeobecnosti používať pravidlá zoslabenia a kontrakcie. Tieto pravidlá s predpokladmi (teda zdrojmi) pracujú nešetrne - pravidlo zoslabenia spôsobuje strácanie zdrojov a pravidlo kontrakcie naopak spôsobí pridávanie zdrojov, čo samozrejme v lineárnej logike, ktorá so zdrojmi zaobchádza veľmi šetrne, nie je povolené. Dané pravidlá je preto možné použiť len v ich reštriktívnom tvare prostredníctvom modálnych operátorov $!$, $?$, ktoré umožňujú zachovať kompatibilitu

medzi lineárnym fragmentom a tradičnými logikami tým, že vytvoria akýsi "most" medzi nimi a umožnia nám použiť vlastnosti oslabenia a kontrakcie aj v lineárnej logike. Zaujímavý dôkaz tejto skutočnosti možno nájsť v diplomovej práci [36] Lukáša Chrupu na strane 9.

Odvodzovacie pravidlá sekventového kalkulu predikátovej lineárnej logiky sú spracované na základe publikácie Dala Millera a Roberta Di Cosmu [48] a publikácie Yvesa Lafonta [41]. V mojej bakalárskej práci [14] som sa podrobnejšie venovala popisu jednotlivých pravidiel, ako aj ďalším informáciám o sekventovom kalkule predikátovej lineárnej logiky.

Axiómy

Axióma identity a axiomy konštant

$$\frac{}{A \vdash A} (id) \qquad \frac{}{\vdash 1} (1_r) \qquad \frac{}{\perp \vdash} (\perp_l)$$

$$\frac{}{\Gamma \vdash \top, \Delta} (\top_r) \qquad \frac{}{\Gamma, 0 \vdash \Delta} (0_l)$$

Pravidlá

Štrukturálne pravidlá

Pravidlo rezu

$$\frac{\Gamma \vdash A, \Delta \quad \Sigma, A \vdash \Pi}{\Gamma, \Sigma \vdash \Delta, \Pi} (rez)$$

Pravidlá výmeny

$$\frac{\Gamma, A, B, \Delta \vdash \Sigma}{\Gamma, B, A, \Delta \vdash \Sigma} (vym_l) \qquad \frac{\Gamma \vdash \Delta, A, B, \Pi}{\Gamma \vdash \Delta, B, A, \Pi} (vym_r)$$

Pravidlá zoslabenia:

$$\frac{\Gamma \vdash \Delta}{\Gamma, !A \vdash \Delta} (!zosl_l) \qquad \frac{\Gamma \vdash \Delta}{\Gamma \vdash ?A, \Delta} (?zosl_r)$$

Pravidlá kontrakcie:

$$\frac{\Gamma, !A, !A \vdash \Delta}{\Gamma, !A \vdash \Delta} (!\text{kon}_l)$$

$$\frac{\Gamma \vdash ?A, ?A, \Delta}{\Gamma \vdash ?A, \Delta} (? \text{kon}_r)$$

Pravidlá podpory:

$$\frac{! \Gamma, A \vdash ? \Delta}{! \Gamma, ?A \vdash ? \Delta} (? \text{podp}_l)$$

$$\frac{! \Gamma \vdash A, ? \Delta}{! \Gamma \vdash !A, ? \Delta} (! \text{podp}_r)$$

Pravidlá derelikcie:

$$\frac{\Gamma, A \vdash \Delta}{\Gamma, !A \vdash \Delta} (! \text{der}_l)$$

$$\frac{\Gamma \vdash A, \Delta}{\Gamma \vdash ?A, \Delta} (? \text{der}_r)$$

Pravidlá pre logické spojky

Pravidlá pre negáciu

$$\frac{\Gamma \vdash A, \Delta}{\Gamma, A^\perp \vdash \Delta} ((.)^\perp_l)$$

$$\frac{\Gamma, A \vdash \Delta}{\Gamma \vdash A^\perp, \Delta} ((.)^\perp_r)$$

Pravidlá pre intenzionálne logické spojky:

$$\frac{\Gamma, A, B \vdash \Delta}{\Gamma, A \otimes B \vdash \Delta} (\otimes_l)$$

$$\frac{\Gamma \vdash A, \Delta \quad \Sigma \vdash B, \Pi}{\Gamma, \Sigma \vdash A \otimes B, \Delta, \Pi} (\otimes_r)$$

$$\frac{\Gamma, A \vdash \Delta}{\Gamma, A \& B \vdash \Delta} (\&_{l_1})$$

$$\frac{\Gamma, B \vdash \Delta}{\Gamma, A \& B \vdash \Delta} (\&_{l_2})$$

$$\frac{\Gamma \vdash A, \Delta \quad \Gamma \vdash B, \Delta}{\Gamma \vdash A \& B, \Delta} (\&_r)$$

Pravidlá pre extenzionálne logické spojky:

$$\frac{\Gamma, A \vdash \Delta \quad \Sigma, B \vdash \Pi}{\Gamma, \Sigma, A \wp B \vdash \Delta, \Pi} (\wp_l)$$

$$\frac{\Gamma \vdash A, B, \Delta}{\Gamma \vdash A \wp B, \Delta} (\wp_r)$$

$$\frac{\Gamma, A \vdash \Delta \quad \Gamma, B \vdash \Delta}{\Gamma, A \oplus B \vdash \Delta} (\oplus_l) \quad \frac{\Gamma \vdash A, \Delta}{\Gamma \vdash A \oplus B, \Delta} (\oplus_{r_1})$$

$$\frac{\Gamma \vdash B, \Delta}{\Gamma \vdash A \oplus B, \Delta} (\oplus_{r_2})$$

Pravidlá pre implikáciu

$$\frac{\Gamma \vdash A, \Delta \quad \Sigma, B \vdash \Pi}{\Gamma, \Sigma, A \multimap B \vdash \Delta, \Pi} (\multimap_l)$$

$$\frac{\Gamma, A \vdash B, \Delta}{\Gamma \vdash A \multimap B, \Delta} (\multimap_r)$$

Pravidlá pre konštanty

$$\frac{\Gamma \vdash \Delta}{\Gamma, 1 \vdash \Delta} (1_l)$$

$$\frac{\Gamma \vdash \Delta}{\Gamma \vdash \perp, \Delta} (\perp_r)$$

Pravidlá pre kvantifikátory

$$\frac{\Gamma, A[t/x] \vdash \Delta}{\Gamma, (\forall x)A \vdash \Delta} (\forall_l)$$

$$\frac{\Gamma, A \vdash \Delta}{\Gamma, (\exists x)A \vdash \Delta} (\exists_l)$$

$$\frac{\Gamma \vdash A, \Delta}{\Gamma \vdash (\forall x)A, \Delta} (\forall_r)$$

$$\frac{\Gamma \vdash A[t/x], \Delta}{\Gamma \vdash (\exists x)A, \Delta} (\exists_r)$$

Nasledujúca kapitola je venovaná ďalšiemu nadväzujúcemu teoretickému aparátu - teórii Ludics, ktorá predstavuje nadstavbu lineárnej logiky.

4 Ludics

Teória Ludics (z franc. Ludique) podľa Eugénie Sironi [68] predstavuje časopriestorovú nadstavbu lineárnej logiky. Disponuje časopriestorovým dokazovacím kalkuлом použitím sekventov Gentzenovského štýlu, ktorý rozširuje možnosti lineárnej logiky. Autorom tejto teórie je J.Y. Girard, ktorý ju prezentoval pod názvom Locus Solum [26] ("záleží len na pozícii"). Základným princípom tohoto kalkulu je narábanie s pozíciami formúl lineárnej logiky, pričom sa ignoruje ich obsah, význam aj zmysel.

4.1 Čas v lineárnej logike

Vychádzajúc z prednášok p. Novitzkej [54] čas v lineárnej logike predstavuje zmenu polarizácie jednotlivých blokov (nazývaných klastre) v rámci dôkazového stromu.

Polarizáciu možno vysvetliť ako kategorizáciu logických spojok na kladné a záporné spojky lineárnej logiky (viď Obrázok 3–2). Logické spojky a konštanty lineárnej logiky možno deliť nasledujúcim spôsobom ⁶ :

1. Algebraický štýl - kladné spojky a konštanty

- $\otimes, \oplus, 1, 0$ (patrí tu aj exponenciál $!$ a kvantifikátor $\exists$),

2. Logický štýl - záporné spojky a konštanty

- $\&, \wp, \top, \perp$ (patrí tu aj exponenciál $?$ a kvantifikátor $\forall$).

⁶V Prílohe B som sa zamýšľala nad tým, či namiesto lineárnej logiky nebude vhodné použiť relevantnú logiku. Relevantná logika však vzhľadom na polarizáciu obsahuje len kladný fragment s nasledujúcimi logickými spojkami: $t, \wedge, \vee, \Rightarrow$. Vzhľadom na túto skutočnosť nemožno na relevantnú logiku aplikovať teóriu Ludics, ktorá pri konštruovaní dôkazových stromov používa práve zmenu polarizácie z kladnej na zápornú a naopak. Keďže Ludics predstavuje premostenie medzi vybranou logikou a Montagueovými lingvistickými princípmi, relevantná logika (ktorá dokonca ani nepracuje s predikátmi) sa ako východisková logika ukázala byť nevhodnou.

Vychádzajúc z článku Valerie Novitzkej a Daniela Mihályiho [56], lineárna implikácia $\multimap$ predstavuje závislú polaritu a lineárna negácia $(.)^\perp$ spôsobuje preklápanie polarity. Treba podotknúť, že formula lineárnej logiky sa považuje za kladnú / zápornú, ak je kladná / záporná jej "najvonkajšejšia" logická spojka (z angl. outermost connective) v odvodzovacom strome, napr:

- formula $((A \otimes B) \oplus C)$ je kladná (kvôli $\oplus$),
- formula $((A \otimes B) \wp C)$ je záporná (kvôli $\wp$).

Toto rozdelenie lineárnych spojok umožňuje používať pravidlá s rovnakou polaritou v rámci jedného kroku dôkazu, čím vzniká polarizovaný strom (Böhm tree). Množina postupne aplikovaných pravidiel v tomto strome s rovnakou polaritou môže byť vykonávaná ako jediné pravidlo. Zápornú množinu pravidiel musí bezpodmienečne nasledovať kladná množina.

Platí, že:

1. Pri kladných spojkách sa stretávame s nedeterministickou (slobodnou) voľbou.
2. Naopak záporné spojky sú reverzibilné, tzn. že pravidlo pre ich dekompozíciu (zospodu nahor) je deterministickou (závislou) voľbou.

Fokalizácia vs. invertibilita

Fokalizácia a invertibilita sú vychádzajúc z článku Andrei Polákovej [63] navzájom duálne vlastnosti. Fokalizáciu nazývame aj dvojité vlastníctvo (resp. dvojité invertibilita). Pri sekvente pozostávajúcom z kladných formúl existuje aspoň jedna, ktorá predstavuje tzv. focus. Ten môže byť vybraný ako aktívny v poslednom pravidle a potom rozložený na svoje záporné podformuly. Toto umožňuje progres pri hľadaní dôkazu, kde záporné pravidlá sú vykonané okamžite a kladné pravidlá sú aplikované až po dosiahnutie ich záporných podformúl. Fokalizácia teda umožňuje uzavrieť niekoľko (za sebou nasledujúcich) krokov dôkazu, vzniknutých aplikovaním odvo-

dzovacích pravidiel zavádzajúcich kladnú logickú spojku, ako jeden krok dôkazu. O tomto kroku dôkazu hovoríme ako o klastri kladných hodnôt formúl. Kladné logické spojky nazývame aj syntetické.

Pre invertibilitu platí, že ak dedukčné pravidlo sekventového kalkulu lineárnej logiky zavádza zápornú logickú spojku, je invertibilné. Invertibilita umožňuje uzavrieť niekoľko (za sebou nasledujúcich) krokov dôkazu, ktoré uvádza zápornú logickú spojku, ako jeden krok dôkazu. O tomto kroku dôkazu hovoríme ako o klastri záporných hodnôt formúl.

Zhrňujúco povedané, zoskupenie pravidiel rovnakej polaroty môže byť aplikované ako jedno pravidlo, či už prostredníctvom fokalizácie alebo invertibility. Formula teda predstavuje striedanie kladných a záporných klastrov. Zmena polaroty z kladnej na zápornú resp. zo zápornej na kladnú v dôkaze sa považuje za prírastok (inkrementáciu) logického času alebo striedanie ťahov hráča/protihráča hernej stratégie, ktorú takýto strom vyjadruje.

4.2 Priestor v lineárnej logike

Priestor v lineárnej logike podľa knihy Alaina Lecomta a Samuela Troncona [43] predstavuje dôkazy lineárnych formúl bez pravidla rezu a všetkých logických informácií.

Formula v lineárnej logike sa môže vyskytovať a rôznych miestach, pričom ak zmeníme jej pozíciu, hovoríme o delokácii (izomorfnej kópii) a teda sa už nepracuje s totožnou formulou. Ako bolo povedané v úvode kapitoly, pri nadstavbe Ludics nie je podstatná pravdivosť ani obsah formuly, ale jej umiestnenie (z angl. location) v dôkazovom strome, označované ako ξ . Takýto typ dôkazového stromu, ktorý obsahuje len údaje o umiestnení (teda sa nepracuje s formulami, ale s adresami) a neaplikuje sa v ňom pravidlo rezu označujeme ako dizajn (z angl. design).

Počet bezprostredných podformúl danej formuly A je spočítateľný, pričom môžeme viacero bezprostredných podformúl označiť ako $B_i, B_{ij}, B_{ijk}...$, kde i, j, k sú prirodzené čísla - biasy a i, ij, ijk sú zretazenia partikulárnych biasov i, j, k . Po tomto zavedení notácie môžeme povedať, že adresa (nazývaná aj locus) predstavuje konečnú postupnosť biasov. Množina biasov je pomenovaná ramifikácia, štandardne býva označovaná veľkými písmenami $I, J, K...$. Adresy bývajú označované malými gréckymi písmenami $\sigma, \tau, \nu...$, kde $\sigma = \langle i_1, i_2, i_3... \rangle$.

Ak A má adresu σ a podformula B bias i , adresou podformuly B bude $\sigma * i$. Symbol $*$ znamená konkatenáciu, teda zretazenie (tento symbol sa v dôkazových stromoch vynecháva). Podľa toho platí, že ak máme locus formuly σ , potom $\sigma * \tau$ je sublocus, t.j. locus bezprostrednej subformuly. Tento sublocus je striktný, ak τ je neprázdna sekvencia a je okamžitý, ak τ obsahuje len jeden bias. Adresy sú (v rámci jednej vetvy) lineárne usporiadané v poradí adresa $\rightarrow$ podadresa $\rightarrow$ podpodadresa atď. Preto pre adresy definujeme reláciu usporiadania $\subseteq$. Platí tu vzťah: $\sigma \subseteq \sigma * \tau$.

Kalkul vidly

Ak sú v sekventoch používaných pri dôkazoch odstránené všetky údaje okrem adries formúl, hovoríme podľa Pierra Luisa Curiena [10] o výraze nazývanom vidly (z angl. pitchfork), v tvare:

$$\xi \vdash \Lambda,$$

kde ξ predstavuje jednu adresu (teda jeden locus, ktorý môže byť aj prázdny), kontext Λ je konečná množina adries. Platí, že locus Ξ a kontext Λ sú párovo disjunktné (z angl. pairwise disjoint).

V zápornej vidle $\xi \vdash \Lambda$ sa jednoprvková množina ξ nazýva rukoväť (z angl. handle). V kladnej vidle $\vdash \Lambda$ sa rukoväť nenachádza, no nachádzajú sa tam hroty (z angl. tines), ktoré predstavujú umiestnenia v Λ .

Zavedieme pojem kalkul vidly (z angl. pitchfork calculus), pre ktorý platia nasle-

dovné tvrdenia:

- kalkul vidly predstavuje nástroj, ktorý pracuje výlučne s umiestnením formúl lineárnej logiky, preto pri ňom nie je možné realizovať nijaké akcie ani logické spojky,
- priestor je dôkazový strom zostrojený z vidiel, kde sa vidly na prvej pozícii stromu nazývajú báza a vidly na poslednej pozícii stromu bývajú označované ako konklúzia,
- ak vidly obsahujú práve jednu adresu, označujeme ich ako atomické,
- v kalkule vidly sa používajú nasledovné pravidlá: jedna axióma démon a dve polarizované pravidlá (kladné a záporné pravidlo). Všetky vidly v priestore sú konklúziou niektorého z týchto pravidiel.

Vychádzajúc z Girardovej publikácie [26], na znázornenie času a priestoru v Ludicse sú použité nasledujúce pravidlá kalkulu vidly:

Axióma:

- Démon

$$\overline{\vdash \Lambda}^{(\boxtimes)},$$

používa sa, ak nastala chyba a nie je možné použiť kladné ani záporné pravidlo, spôsobí zastavenie vykonávania.

Pravidlá:

- Kladné pravidlo

$$\frac{\dots \xi * i \vdash \Lambda_i \dots}{\vdash \Lambda, \xi} (+, \vdash, \xi, I),$$

pričom ξ je adresa formuly, I je množina biasov relatívnych adries podformúl, kde každé $i \in I$ je zahrnuté v Λ , teda Λ_i je konečná množina adries podformúl.

Dvojica (ξ, I) sa nazýva akcia.

- Záporné pravidlo

$$\frac{\dots \vdash \Lambda_I, \xi * I \dots}{\xi \vdash \Lambda} (-, \xi \vdash N),$$

pričom N je množina ramifikácií (resp. adresár), kde pre každé $I \in N$ platí $\Lambda_1 \subseteq \Lambda$ a $\xi * I$ predstavuje rozvetvenie.

Locus ξ býva nazývaný aj ako focus kladného a záporného pravidla. Vychádzajúc z týchto definícií, predstavuje dizajn sekvenciu kladných a záporných pravidiel, ktoré môžu byť uzavreté démonom, berúc do úvahy to, že dizajn môže byť nekonečný, podobne ako môže byť nekonečný Bohmov strom. Vzájomný vzťah dvoch adries (podľa relácie usporiadania $\sigma \sqsubseteq \sigma * i$) v dizajne môže byť:

- časový, kedy sa adresy nachádzajú v tej istej vetve dôkazového stromu a teda sú porovnateľné,
- priestorový, kedy sa adresy nachádzajú v rozličných vetvách dôkazového stromu a preto sú porovnateľné.

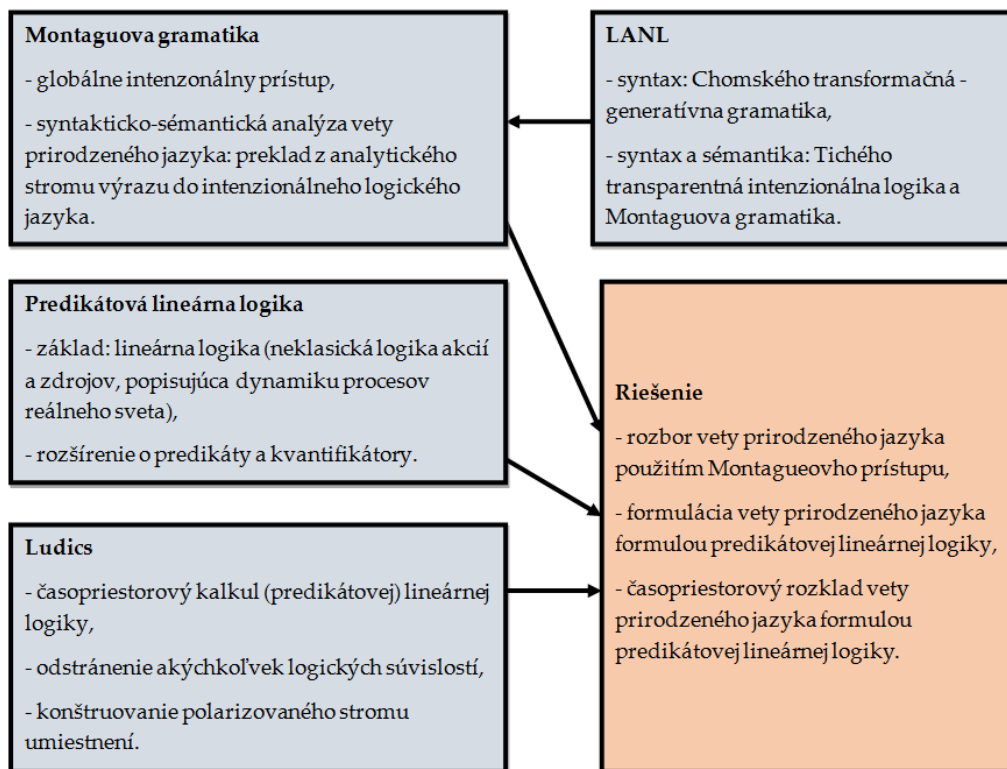
Praktickú aplikáciu teoretických princípov aparátu Ludics, ktoré boli v tejto kapitole načrtnuté, možno nájsť v podkapitole 6.2.

5 Syntéza riešenia

Predchádzajúce kapitoly boli venované podrobnej teoretickej analýze troch oblastí, na ktorých táto diplomová práca stavia, a to:

- logickej analýze prirodzeného jazyka (kapitola 2) so zameraním na Montagueovu gramatiku (podkapitola 2.2),
- predikátovej lineárnej logike (kapitola 3),
- teórii Ludics (kapitola 4).

V kontexte tejto práce by sme dané oblasti nemali vnímať ako samostatné celky, naopak je dôležité uvedomiť si súvislosti medzi nimi a získané poznatky uceliť a hierarchizovať. Spomínané súvislosti sú schematicky zachytené na Obrázku 5–1, ktorý predstavuje jednoduchý model konceptuálneho návrhu riešenia.



Obrázok 5–1 Konceptuálny návrh riešenia

Riešenie problematiky diplomovej práce stavia na zavedení **predikátovej lineárnej logiky**. Pôvodná Montagueova teória pracuje s predikátmi a predikátovou logikou 1. rádu, Ludics zasa umožňuje formálne popisovať spotrebu zdrojov - logického priestoru a času, teda vychádza priamo z lineárnej logiky. Zámerom práce je kombinovať lingvistickú oblasť (Montagueove princípy) so zdrojovo orientovaným charakterom logických spojok lineárnej logiky a polarizovaným stromom lokusov v rámci teórie Ludics. Predikátová lineárna logika sa javí ako vhodný nástroj, ktorý toto skombinovanie umožňuje, ako je vidno v Tabuľke 5 – 1. V tej je jednoznačne znázornené, že predikátová lineárna logika jediná spomedzi vybraných logík spĺňa všetky požadované atribúty - umožňuje prácu s predikátmi, má zdrojovo-orientovaný charakter a modeluje význam pomocou extenzií/intenzií, pričom všetky tieto vlastnosti sú nevyhnutné na prepojenie teórie Ludics s Montagueovskými princípmi. Taktiež možno za jej výhodu považovať aj skutočnosť, že vďaka tomu, že je kombináciou logických symbolov výrokovej lineárnej logiky a predikátovej logiky 1. rádu, tak má (podľa [14]) oproti nim väčšiu vyjadrovaciu silu.

Tabuľka 5 – 1 Porovnanie vybraných logík

	Predikáty	Zdroj.-orient. char.	Intenzie/extenzie
Výroková logika	-	-	- (extenzie, Tarski)
Predikátová logika 1. rádu	+	-	- (extenzie, Tarski)
Intenzionálna logika	+	-	- (intenzie, Heyting)
Relevantná logika	-	-	+
Lineárna logika	-	+	+
Predikátová lineárna logika	+	+	+

Časopriestorový kalkul **Ludics** umožňuje explicitne narábať so zdrojmi. Deje sa tak pomocou konštruovania dôkazových stromov, v ktorých (vychádzajúc z vlastností fokalizácie a invertibility, podkapitola 4.1) zmena polarít vyjadruje časovú inkrementáciu a ak považujeme sa podstatné len umiestnenie formúl v rámci dôkazového stromu (podkapitola 4.2), môžeme hovoriť o ich pozícii v logickom priestore. Skutoč-

nosť, či sú dve umiestnenia v rámci stromu umiestnení v časovej alebo priestorovej závislosti, určuje relácia usporiadania.

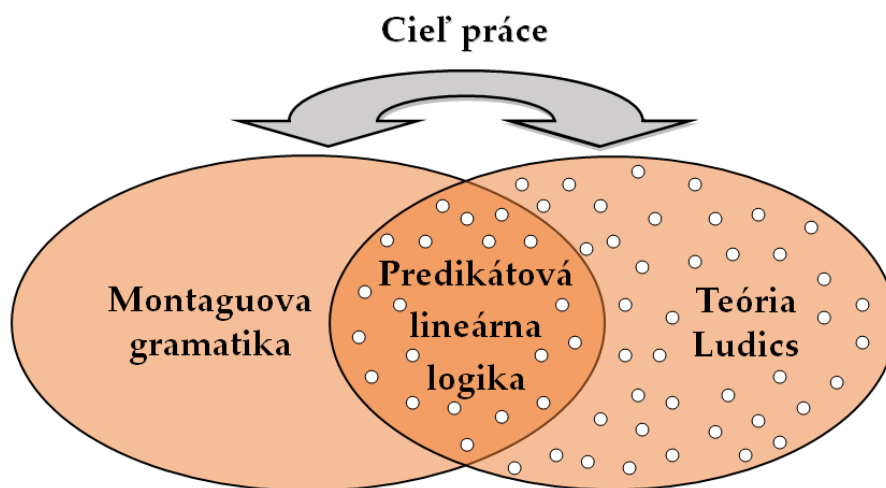
Logická analýza prirodzeného jazyka (LANL) sa primárne zaoberá interpretáciou významov prirodzeného jazyka. Do tejto oblasti patria dva pomerne podobné prístupy - Montagueova gramatika a Tichého transparentná intenzionálna logika, ktoré sa líšia predovšetkým spôsobom, ktorým narábajú s intenziami (Montague - lokálne intenzionálny prístup, Tichý - globálne intenzionálny prístup). Ja som sa pri písaní práce rozhodla vychádzať z Montagueovej gramatiky, ktorá je rozšírenejšia napriek tomu, že viacerí lingvisti sa zhodujú na tom, že globálne intenzionálny prístup Tichého je jednoduchší a prehľadnejší. Hlavnou motiváciou na uprednostnenie Montagueovej teórie oproti Tichého prístupu bola hlavne skutočnosť, že keďže je Montagueova teória celosvetovo rozšírená, venuje sa jej väčšie množstvo vedeckých prác (vrátane nosnej literatúry tejto práce - [42]), vďaka čomu je možné nazerať na túto problematiku v širších súvislostiach a vytvoriť do nej komplexnejší pohľad. Do tej to kapitoly však bola zaradená aj Chomského transformačná-generatívna gramatika (podkapitola 2.1), aj keď do nej priamo nepatrí, keďže sa venuje výhradne syntaktickej analýze vetných konštrukcií pri rozbere a formulovaní viet formálnych jazykov. V práci jej bol venovaný určitý priestor z dvoch dôvodov:

- Chomského hierarchia tried formálnych jazykov má nezastupiteľné miesto v teoretických základoch informatiky (táto hierarchia je vyučovaná aj na našej univerzite, v diplomovej práci sa ale venujem generatívnej gramatike, kde je hierarchia jazykov trochu pozmenená, namiesto frázovej, kontextovej, bezkontextovej a regulárnej, sú gramatiky delené na gramatiku s konečným počtom stavov, frázovú bezkontextovú, frázovú kontextovú a transformačnú gramatiku),
- Montagueova gramatika je jedným z prúdov generatívnej lingvistiky, ktorej zakladateľom bol práve Chomsky. Montague v jednom zo svojich najznámejších výrokov povedal: *"Podľa mňa neexistuje žiaden významný rozdiel medzi pri-*

rodzenými jazykmi a umelými logickými jazykmi, domnievam sa, že je možné pochopiť syntax a sémantiku oboch typov jazyka v rámci jedinej, prirodzenej a matematicky presnej teórie. V tomto ohľade sa líšim od mnohých filozofov, no súhlasím a verím Chomskému a jeho spolupracovníkom.” [50], priamo uznal, že súhlasí s Chomského teóriou, rovnako ako to opakovane písal v svojich publikáciách ([49], [50], [51]), ktoré z Chomského princípov častokrát vychádzali.

Primárne sa teda v práci zaoberám **Montagueovou gramatikou**, v ktorej sa Montague pokúša o syntatico-sémantickú analýzu viet pomocou princípov kompozicionality a pravdivostnej predikátovej logiky a špecifickým prístupom k intenziám (podkapitoly 2.2.1 a 2.2.2). Montagueova gramatika je v práci popísaná detailným spracovaním jej teoretických princípov, ako aj aplikácii Montagueovej teórie (podkapitola 2.2.3) na viacerých modelových príkladoch (podkapitola 2.2.4).

Zavedenie týchto troch teoretických prístupov umožňuje spracovať cieľ práce, čo je schematicky znázornené na Obrázku 5–2.



Obrázok 5–2 Cieľ práce

Teória Ludics a predikátová lineárna logika (na Obrázku 5–2 farebne odlíšené), predstavujú súvisiacu východiskovú teoretickú bázu, ktorej bol určitý priestor venovaný aj na našej univerzite (napr. [54]) v rámci štúdia výskumnej skupiny sústrede-

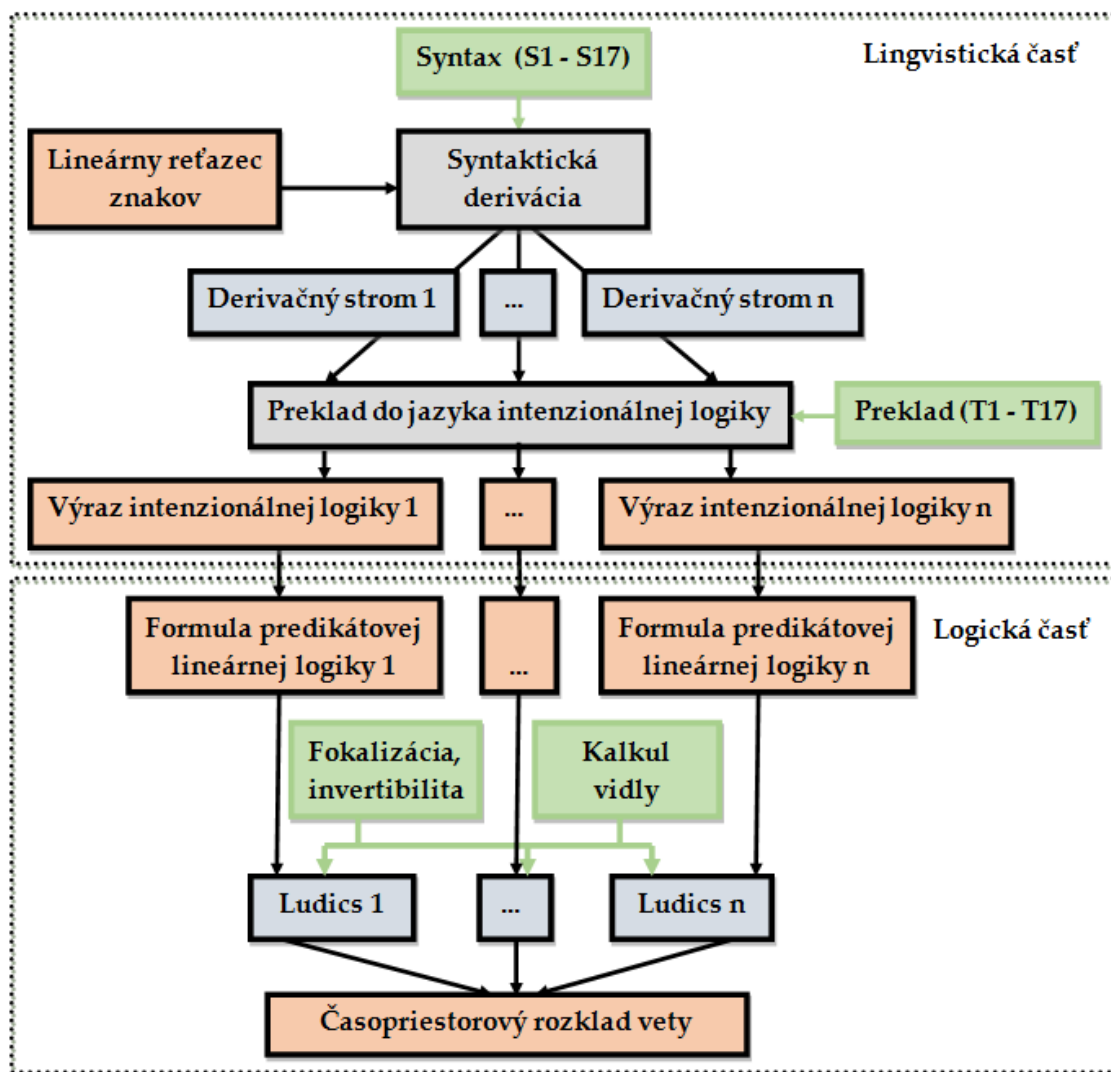
nej okolo prof. Novitzkej. Montagueove princípy, ktoré na Slovensku nie sú tradične vyučované (v Českej republike sčasti áno, ale tam sa výskumníci skôr zaoberajú Tichého prístupom, napr. [61], [45]), naopak predstavujú nový netradičný spôsob, akým možno použiť vlastnosti logických symbolov predikátovej lineárnej logiky pri formulovaní vety prirodzeného jazyka. Ako už bolo povedané, predikátová lineárna logika predstavuje vhodný systém, na ktorom je možné modelovať použitie Montagueových princíпов, ktoré stavajú na predikátoch, preto je súvislosť medzi týmito dvoma oblasťami zjavná (tak ako je zjavná medzi predikátovou lineárnou logikou a Ludicsom), no premostenie teórie Ludics a Montagueovej gramatiky, ktoré je cieľom tejto práce nie je triviálne. Prepojiť tieto oblasti bude možné, ak sa na konkrétnom príklade bude realizovať rozbor vety prirodzeného jazyka použitím Montagueho prístupu v rámci formuly predikátovej lineárnej logiky umiestnenej v časopriestorovom kalkule. Takýmto spôsobom bude spojená (použitím predikátovej lineárnej logiky) Montagueova lingvistická oblasť s logickou teóriou Ludics a bude tak možné umiestniť konkrétnu vetu prirodzeného jazyka do logického priestoru a času.

6 Aplikácia Ludics na vetu prirodzeného jazyka

Proces prekladu a interpretácie výrazu prirodzeného jazyka pomocou Montagueových princípov znázornený na Obrázku 2–3 kvôli prepojeniu s Ludicsom mierne pozmeníme. Stále platí, že vstupný výraz prirodzeného jazyka, ktorý má podobu lineárneho reťazca znakov najskôr podrobíme syntaktickej derivácii, v ktorej bude prostredníctvom syntaktických pravidiel nájdený derivačný strom pre každý význam daného výrazu. Pomocou sémantických prekladových pravidiel vykonáme preklad do formálneho jazyka, kde výsledkom budú výrazy umelého jazyka pre každý derivačný strom, ktorý vznikol pri syntaktickej derivácii.

Zatiaľ čo na Obrázku 2–3 mal tento proces končiť prekladom výrazu do intenzionálneho jazyka, pri prepojení Montagueovho prístupu s teóriou Ludics tento krok nebude konečný, nadviažeme naňho náš ďalší postup. Nebudeme pracovať s výrazmi intenzionálnej logiky, ale transformujeme ich do tvaru predikátových lineárnych forml. Pre tie je potrebné vytvoriť ich dôkaz v Gentzenovom sekventovom kalkule a následne na nich pomocou vlastností fokalizácie a invertibility, a kalkulu vidly aplikujeme časo-priestorový preklad vety v teórii Ludics.

Vychádzajúc z popisu tohoto procesu, riešenie práce pozostáva z dvoch častí - lingvistickej a na ňu nadväzujúcej logickej. Výsledkom takéhoto riešenia bude vytvorenie časopriestorovej charakteristiky konkrétnej vety prirodzeného jazyka, analyzovanej Montagueovou gramatikou a Montagueovou intenzionálnou logikou tak, ako je to znázornené na Obrázku 6–1.



Obrázok 6 – 1 Popis aplikácie Ludics na formulu vytvorenú pomocou LANL

6.1 Lingvistická časť - preklad vety do formálneho jazyka

Východiskovým krokom tejto kapitoly bude vhodne si zvoliť vetu prirodzeného jazyka, s ktorou bude možné ďalej pracovať. Montagueov fragment angličtiny PTQ je veľmi obmedzený a tvorbu vhodnej vety by značne limitoval, preto mierne rozšírime jeho slovník, syntaktické a prekladové pravidlá, no vyhneme sa zavedeniu nových kategórií a typov (tieto úpravy už nie sú triviálne a znamenali by komplexné pre-

pracovanie princípov uvedených v podkapitole 2.2.3). Rozhodla som sa pracovať s anglickou vetou "Every adventurer seeks a glory and some adventurer finds a death."

Prvky kategórie podstatných mien B_{CN_C} v PTQ vyzerali pôvodne:

$B_{CN_C} = \{\text{man, woman, park, fish, pen, unicorn, price, temperature}\}$, kvôli zvolenej vete som ich rozšírila na:

$B_{CN_C} = \{\text{man, woman, park, fish, pen, unicorn, price, temperature, adventurer, glory, death}\}$.

Kvôli skutočnosti, že vo vete sa vyskytuje častica "some", s ktorou sa v PTQ nepracuje, je potrebné pre ňu zaviesť syntaktické a prekladové pravidlo. V prednáške Stefana Thatera [75] je však uvedené, že častiacu "some" je ekvivalentná časticiam "a/an", a je pre nich možné použiť rovnaké pravidlá, preto platí:

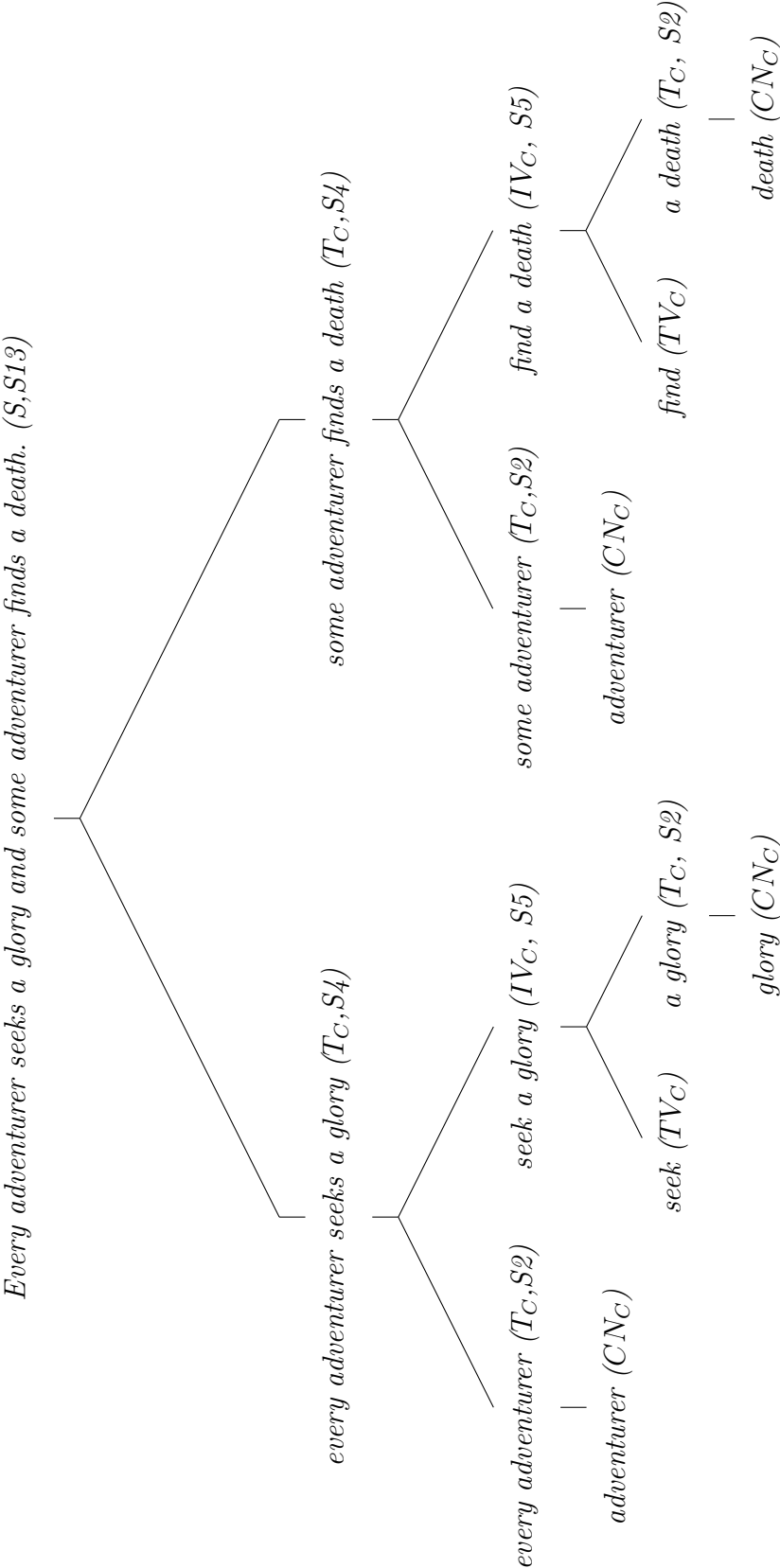
S2: Ak $\theta \in P_{CN_C}$, potom $F_0(\theta), F_1(\theta), F_2(\theta) \in P_{T_C}$, pričom platí, že

1. $F_0(\theta) = \dots$,
2. $F_1(\theta) = \dots$,
3. $F_2(\theta) = \text{a/an } \theta \text{ resp. some } \theta$.

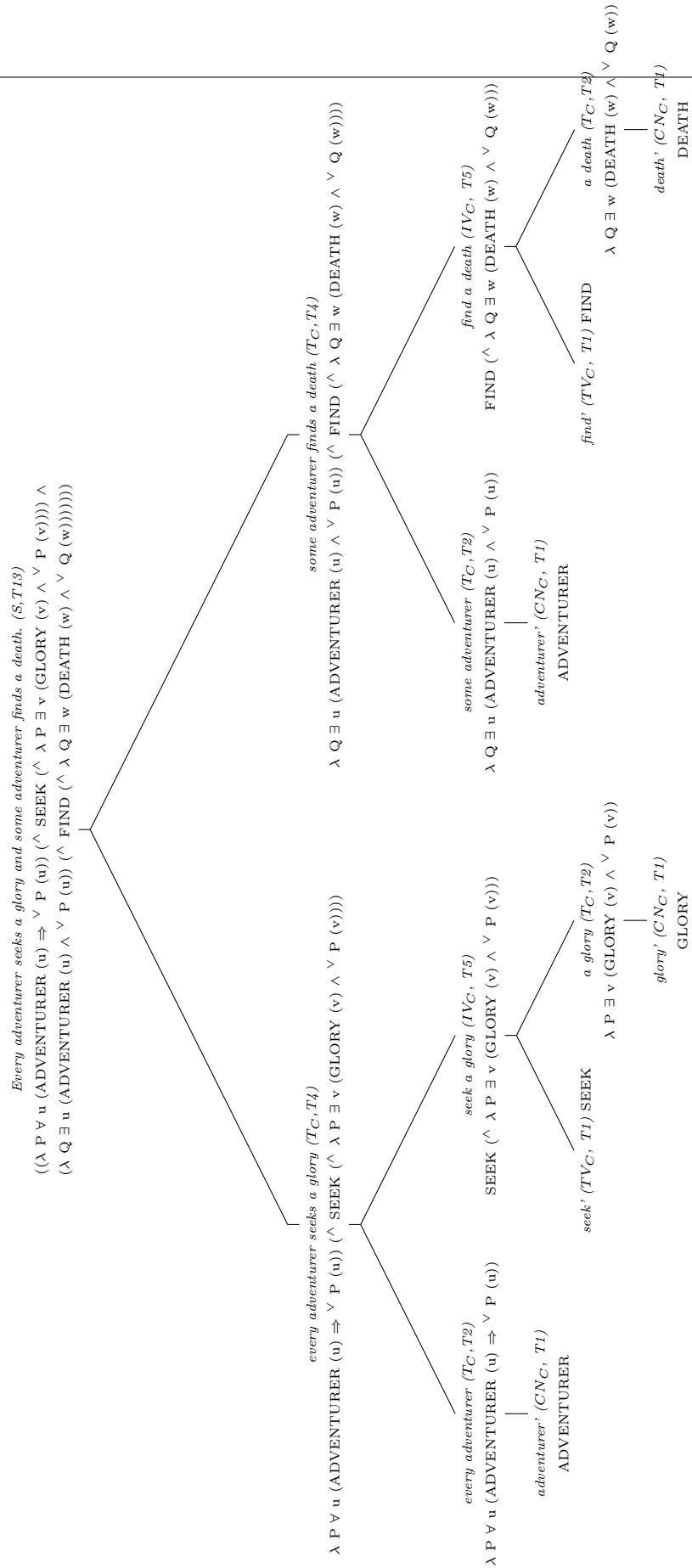
T2: Ak $\theta \in P_{CN_C}$, tak potom:

1. $F_0(\theta) \mapsto \dots$,
2. $F_1(\theta) \mapsto \dots$,
3. $F_2(\theta) \mapsto \lambda P \exists u (\theta'(u) \wedge P(u))$.

Veta "Every adventurer seeks a glory and some adventurer finds a death." je v rámci PTQ fragmentu korektne vytvorená, čiže je akceptovaná syntaxou. Má viac významov, no bude postačujúce, ak bude priestor venovaný len jednému z nich - vyberiem si formu de dicto, pre ktorú bude existovať práve jeden syntaktický strom (Obrázok 6–2) a práve jeden derivačný strom na znázornenie prekladu do logického jazyka (Obrázok 6–3).



Obrázok 6 – 2 Syntaktická derivácia vety "Every adventurer seeks a glory and some adventurer finds a death."



Obrázok 6 – 3 Preklad vety "Every adventurer seeks a glory and some adventurer finds a death." do logického jazyka

Zameriame sa na preklad zvolenej vety do logického jazyka, ktorý má nasledovnú podobu: *every adventurer seeks a glory and some adventurer finds a death* $\mapsto ((\lambda P \forall u (ADVENTURER (u) \Rightarrow \vee P (u)) (\wedge SEEK (\wedge \lambda P \exists v (GLORY (v) \wedge \vee P (v)))) \wedge (\lambda Q \exists u (ADVENTURER (u) \wedge \vee P (u)) (\wedge FIND (\wedge \lambda Q \exists w (DEATH (w) \wedge \vee Q (w)))))))))$

Je očividné, že logický výraz, ktorý vznikol po preklade danej vety do jazyka intenzionálnej logiky je príliš komplikovaný a ďalej by sa s ním pracovalo naozaj ťažkopádne. Montague, ktorý si tento problém uvedomoval však ponúka riešenie, ktorým sú ekvivalentné úpravy vzniknutých logických výrazov. Preložený výraz pomáhajú zjednodušiť a modifikovať jeho tvar tak, aby bol prijateľnejší a vhodný k ďalšiemu spracovaniu. Význam logických výrazov však zostáva zachovaný, pričom tieto úpravy je možné použiť v ľubovoľnej fáze prekladu. Jeden syntaktický strom tak môže byť preložený do viacerých rovnocenných výrazov.

Použitím daných ekvivalentných úprav (ktoré rozsiahlo popísal kolektív autorov píšucich pod pseudonymom Gamut v publikácii *Logic, Language, and Meaning: Intensional logic and logical grammar* [23]; o niečo zrozumiteľnejšie ich spracoval Seth Cable [7]) by spomínaný logický výraz vyzeral nasledovne:

$$((\lambda P \forall u (ADVENTURER (u) \Rightarrow \vee P (u)) (\wedge SEEK (\wedge \lambda P \exists v (GLORY (v) \wedge \vee P (v)))) \wedge (\lambda Q \exists u (ADVENTURER (u) \wedge \vee P (u)) (\wedge FIND (\wedge \lambda Q \exists w (DEATH (w) \wedge \vee Q (w))))))))) \equiv$$

$$(\forall u (ADVENTURER (u) \Rightarrow SEEK (u, \wedge \lambda P \exists v (GLORY (v) \wedge \vee P (v)))))) \wedge (\exists u (ADVENTURER (u) \wedge FIND (u, \wedge \lambda Q \exists w (DEATH (w) \wedge \vee Q (w)))))$$

Ešte pôsobivejšie zjednodušenie logického výrazu ponúka Alain Lecomte v [42]. Vďaka nemu môžeme formulovať nasledovnú ekvivalenciu:

$$(\forall u (ADVENTURER (u) \Rightarrow SEEK (u, \wedge \lambda P \exists v (GLORY (v) \wedge \vee P (v)))))) \wedge (\exists u (ADVENTURER (u) \wedge FIND (u, \wedge \lambda Q \exists w (DEATH (w) \wedge \vee Q (w))))) \equiv$$

$$(\forall u (ADVENTURER (u) \Rightarrow \exists v (GLORY (v) \wedge SEEK (u,v)))) \wedge (\exists u (ADVEN-$$

$$\text{TURER}(u) \wedge \exists w (\text{DEATH}(w) \wedge \text{FIND}(u, w)))$$

Výsledná logická reprezentácia vety "Every adventurer seeks a glory and some adventurer finds a death.", je teda zapísateľná v tvare:

$$(\forall u (A(u) \Rightarrow \exists v (G(v) \wedge S(u, v)))) \wedge (\exists u (A(u) \wedge \exists w (D(w) \wedge F(u, w)))), \text{ kde}$$

- $A(u)$ znamená "u je adventurer", teda "u je dobrodruh",
- $G(v)$ znamená "v je glory", teda "v je sláva",
- $S(u, v)$ znamená "u seek v", teda "u hľadá v",
- $D(w)$ znamená "w je death", teda "w je smrť",
- $F(u, w)$ znamená "u find w", teda "u nachádza w".

6.2 Logická časť - Ludics

Formula, ktorá je výsledkom aplikácie Montagueových princípov, je formulou predikátovej logiky 1. rádu, ktorú nie je možné prepojiť s teóriou Ludics. Symboly predikátovej logiky 1. rádu preto prepíšeme na symboly predikátovej lineárnej logiky využijúc pritom jej intenzionálny fragment znázornený na Obrázku 3–2 (kvôli skutočnosti, že Montague pracuje s lokálne intenzionálnou logikou) tak, ako je to zachytené v Tabuľke 6–1.

Tabuľka 6–1 Prepis symbolov predikátovej logiky 1. rádu do intenzionálneho fragmentu predikátovej lineárnej logiky

Predikátová logika 1. rádu	Predikátová lineárna logika
$\wedge$	$\otimes$
$\vee$	$\wp$
$\Rightarrow$	$\multimap$

Na základe tejto Tabuľky je možné prepísať formulu predikátovej logiky 1. rádu na tvar predikátovej lineárnej logiky:

$$(\forall u (A(u) \Rightarrow \exists v (G(v) \wedge S(u,v)))) \wedge (\exists u (A(u) \wedge \exists w (D(w) \wedge F(u, w)))) \equiv \\ (\forall u (A(u) \multimap \exists v (G(v) \otimes S(u,v)))) \otimes (\exists u (A(u) \otimes \exists w (D(w) \otimes F(u, w))))$$

Na Obrázku 6–4 je znázornený dôkaz formuly $(\forall u (A(u) \multimap \exists v (G(v) \otimes S(u,v)))) \otimes (\exists u (A(u) \otimes \exists w (D(w) \otimes F(u, w))))$ v Gentzenovom sekventovom kalkule predikátovej lineárnej logiky pomocou odvodzovacích pravidiel popísaných v kapitole 3.3. V dôkaze sú použité nasledujúce kontexty:

- $\Gamma = \{(A(u))^\perp, (G(v))^\perp, (S(u,v))^\perp, (A(u))^\perp, (D(w))^\perp, (F(u,w))^\perp\},$
- $\Sigma = \{(A(u))^\perp, (D(w))^\perp, (F(u,w))^\perp\},$
- $\Delta = \{(A(u))^\perp, (G(v))^\perp, (S(u,v))^\perp\},$
- $\Theta = \{(G(v))^\perp, (S(u,v))^\perp\},$
- $\Lambda = \{(D(w))^\perp, (F(u,w))^\perp\}.$

Niekedy sa vytvára sekventový dôkaz ortogonálneho tvaru predikátovej lineárnej formuly, ktorá vznikla aplikovaním De Morganových zákonov. Majme formulu lineárnej logiky podobnú formule zo známeho Lafontovho menu (spracované napr. v [9]), ktorá obsahuje informáciu o zozname jedál, ktoré si zákazník objednáva v reštaurácii, zapísanú v tvare lineárnej logiky. Takýto tvar formuly prezentuje danú informáciu z pohľadu aktéra, teda zákazníka. Keby sme vytvorili jej ortogonálny tvar, formula by prezentovala "pohľad" prostredia, ktorým je v tomto prípade reštaurácia a jej personál. Takýto tvar formuly sa vytvára preto, lebo zvyčajne sú na ňom princípy Ludicsu názornejšie viditeľné.

Sekventový dôkaz ortogonálneho tvaru predikátovej lineárnej formuly bol vytvorený aj v tejto práci (spracovaný je v Prílohe C), no vzhľadom k tomu, že sa nezdá byť vhodný na demonštrovanie aplikácie Ludicsu, použijeme sekventový dôkaz pôvodnej formuly. Začneme tým, že v dôkazovom strome vyznačíme miesta, kde sa polarita mení z kladnej na zápornú a naopak (viď Obrázok 6–4), čím z obyčajného derivačného stromu vytvoríme tzv. polarizovaný strom.

[illegible]

Obrázok 6–4 Dôkazový strom formuly predikátovej lineárnej logiky

Červené znamienka $+$ a $-$ v zátvorkách naľavo od čiary oddeľujúcej kroky dôkazového stromu označujú polaritu danej formuly (tá závisí od polarity jej najvonkajšej spojky). Upozorňujem, že na polarizovanom strome z Obrázku 6–4 sa vrchol dôkazu $A(u)$, $(A(u))^\perp \vdash G(v) \otimes S(u,v)$, Θ použitím odvodzovacieho pravidla $\otimes_r$ rozdelí na dve vetvy, kde ľavá vetva $A(u)$, $(A(u))^\perp \vdash G(v)$, $(G(v))^\perp$ nemení polaritu (teda polarita ostáva záporná), ale polarita pravej vetvy $\vdash S(u,v)$, $S(u,v)^\perp$ je zmenená na kladnú. Táto skutočnosť je označená symbolmi $(-/ +)$ pre danú vetvu stromu.

Tento dôkazový strom zjednodušíme uzavretím formúl s rovnakou polaritou do klas-trov, čím vznikne redukovaný strom znázorňujúci postupnú časovú inkrementáciu, znázornený na Obrázku 6–5.

V redukovanom dôkazovom strome sú použité nasledujúce:

- substitúcie pre formuly a podformuly:

$$- A = (\forall u (A(u) \multimap \exists v (G(v) \otimes S(u,v)))) \otimes (\exists u (A(u) \otimes \exists w (D(w) \otimes F(u, w)))),$$

$$- B = (G(v) \otimes S(u,v)),$$

- kontexty:

$$\begin{aligned} - \Gamma &= \{(A(u))^\perp, (G(v))^\perp, (S(u,v))^\perp, & - \Gamma_4 &= \{D(w)\}, \\ & (A(u))^\perp, (D(w))^\perp, (F(u,w))^\perp\}, & - \Gamma_5 &= \{F(u,w)\}, \\ - \Gamma_1 &= \{(A(u))^\perp\}, & - \Gamma_6 &= \{(A(u))^\perp, (G(v))^\perp\}, \\ - \Gamma_2 &= \{(G(v))^\perp, (S(u,v))^\perp\}, & - \Gamma_7 &= \{(S(u,v))^\perp\}, \\ - \Gamma_3 &= \{A(u)\}, & - \Gamma_8 &= \{S(u,v)\}. \end{aligned}$$

Z redukovaného stromu reprezentujúceho logický čas vzniká priradením adries formulám a podformulám strom adries reprezentujúci logický priestor (Obrázok 6–6). Obsah a všetky logické informácie o pôvodných formulách a podformulách sú nahradené ich umiestneniami, pričom každý sekvent v dizajne predstavuje vidly.

Pre Obrázok 6–6 platí, že:

- $\Delta = \xi$,
- $\Delta_1 = \xi_1$,
- $\Delta_2 = \xi_2$,
- $\Delta_3 = \xi_3$,
- $\Delta_4 = \xi_4$,
- $\Delta_5 = \xi_5$,
- $\Delta_{11} = \xi_{11}$,
- $\Delta_{21} = \xi_{21}$,
- $\Delta_{211} = \xi_{211}$.

Po vytvorení redukovaného stromu a stromu adries považujem za dôležité uviesť, že klastre v nich boli identifikované na základe použitia odvodzovacieho pravidla sekventového kalkulu pre negáciu v pôvodnom dôkazovom strome. Ťahy v polarizovanej hre iniciované lineárnou negáciou možno vidieť aj na zmene sekventu z obojstranného na pravostranný (a naopak) v dôkazovom strome predikátovej lineárnej formuly.

V tejto chvíli je možné konštatovať, že cieľ diplomovej práce bol splnený, lebo sa podarilo prepojiť Montagueovu lingvistickú teóriu s teóriou Ludics vychádzajúcim z predikátovej lineárnej logiky. Čelíme však situácii, kedy môžeme zmeniť náš pohľad na dizajny. Môžeme na nich nahliadať (vychádzajúc z [42]) ako na "syntaktické" objekty v tvare dôkazov (tzv. i-dizajny) - a tak sme to robili v tejto práci, alebo ako na "sémantické" objekty v tvare stratégií v hrách (tzv. e-dizajny). To už však používame pojmy zo sémantiky hier [20] (čo nie je predmetom tejto diplomovej práce), no vedie to k otázke, aký zmysel malo zaoberanie sa problematikou použitia predikátovej lineárnej logiky v lingvistike. Stručne sa to pokúsim objasniť v nasledujúcej podkapitole.

6.3 Počítačové spracovanie prirodzeného jazyka a Ludics

Po podrobnej analýze troch teoretických aparátov - LANL, predikátovej lineárnej logike a teórie Ludics a ich následnému prepojeniu v rámci riešenia diplomovej práce, je logické položiť si otázku, aký význam práca mala, na čo sme ňou chceli upozorniť a aké sú jej možné praktické rozšírenia a využitie v budúcnosti.

Logickou analýzou prirodzeného jazyka sa nezaoberajú len filozofi, jazykovedci a sémantici, ale svoje miesto si našla aj vo sfére teoretickej informatiky, najmä v rámci inteligentných systémov, multiagentových systémov, reprezentácie znalostí (znalostné inžinierstvo), simulácie procesov a predikcie, inferenčných strojov, manažmente, kontrole a koordinácii procesov ⁷ a pod.

Počítačové spracovávanie prirodzeného jazyka (z angl. Natural language processing), tiež nazývané ako počítačová lingvistika je podľa Petra Strossu [71] interdisciplinárny odbor na pomedzí informatiky a lingvistiky, ktorý skúma prirodzený jazyk ako matematický systém a zaoberá sa porozumením prirodzeného jazyka strojom. Pri počítačovom spracovaní prirodzeného jazyka sa vychádzajúc z [59] informatici pokúšajú dosiahnuť primárne nasledujúce ciele:

- Vytvorenie sémantického stroja - stroj mechanicky vykoná LANL tak, že priradí výrazu v prirodzenom jazyku formulu logického aparátu v umelom jazyku (z Montagueovho alebo Tichého formalizmu), kde je daný jazyk modelovaný ako zobrazenie zo syntaxe výrazov do ich významov. Tento cieľ sa pokúsil dosiahnuť Aleš Horák [29], ktorého sémantický stroj pracujúci s aparátom transparentnej intenzionálnej logiky dokáže spracovávať cca 90% korpusu českého jazyka.
- Vytvorenie inferenčného stroja - stroj uskutočňuje počítačovo spracovávanú dedukciu na úrovni syntaxe výrazov a na úrovni ich významov. Nájdenie dôkazu k danému tvrdeniu je možné vykonať prostredníctvom vyplývania záveru z konkrétnych predpokladov.
- Vytvorenie translačného stroja - stroj umožňuje automatizovaný preklad medzi dvoma prirodzenými jazykmi, vychádzajúc z predstavy, kde výraz zapísaný v rôznych prirodzených jazykoch vyjadruje ten istý význam v každom z nich -

⁷Z množstva inštitúcií, ktoré sa zmieneným oblastiam venujú spomeniem napríklad Laboratórium spracovania prirodzeného jazyka na Masarykovej Univerzite v Čechách, pod vedením Karla Palu [58]

k nemu je možno sa dopracovať logickou analýzou. Stroj sémanticky spracuje výraz v prvom prirodzenom jazyku, prehľadá databázu analyzovaných výrazov druhého prirodzeného jazyka a po nájdení zhody poskytne zodpovedajúci výraz v druhom prirodzenom jazyku.

Jedinec pracujúci s danou oblasťou musí byť "bilingválny" - musí rozumieť prirodzenému jazyku aj umelému intenzionálnemu jazyku, pričom platí, že štruktúry formálneho jazyka sú na konkrétnych prirodzených jazykoch nezávislé. Východiskovou ideou pri počítačovom spracovaní prirodzeného jazyka (a všeobecne pri LANL) je odstránenie viacznačností jednotlivých výrazov na všetkých úrovniach, čím je reprezentácia výrazu vo formálnom jazyku presná a jednoznačná. Sám Montague v [51] k jednoznačnosti výrazu preloženého do formálneho jazyka v rámci jeho aparátu povedal: *"Zdôrazňujem, že sa nejedná o vágne intuície, s akými pracujeme bežne v základných logických predmetoch, ale o tvrdenia, ktorým bol priradený presný význam matematickou metódou."* Práve revolučné matematické a logické metódy, ktoré Montague zaviedol, nastavili štandardy pre určenie jednoznačnosti v teórii sémantiky, čo viedlo k novým inováciám vo výpočtovej sémantike (napr. vytvorenie metód pre manipuláciu s nejednoznačnosťami). Prelomové bolo aj novátorské charakterizovanie spôsobu, akým sa jazyk vzťahuje k mimojazykovým entitám, špecifikovanie pojmu pravdivosti vety a vzťah "vyplývania" medzi vetami v modelovo - teoretickej montagueovskej sémantike (tento pojem je zavedený v [16]). Aj keď Montagueovi slávu priniesla jeho sémantická teória, jeho princípy kategorizácie slovníkov v gramatike výrazne ovplyvnili vývoj známej teórie generatívnej gramatiky HPSG (z angl. Head-driven phrase structure grammar) vytvorenej spoluautormi Carlom Pollardom a Ivanom Sagom [64]. Existuje množstvo ďalších prác vybudovaných na pilieroch položených Montagueom, ktoré rozširujú možnosti pôvodných teórií. Neustála živá diskusia o obmedzeniach a nevyriešených otázkach v tomto prístupe vedie lingvistov a logikov čoraz bližšie k Montagueovej myšlienke univerzálnej gramatiky, ktorá disponuje schopnosťou vyjadriť akýkoľvek prirodzený i umelý jazyk.

Zatiaľ čo opodstatnenosť rozšíreného používania Montagueových princípov (a LANL všeobecne) bola vysvetlená, stále nie je jasné, prečo sme sa tieto oblasti pokúsili prepojiť s logickou teóriou Ludics. Ludics podľa Alaina Lecomta a Samuela Troncona v [43] prekonáva vzdialenosti medzi syntaxou a sémantikou - už nepracuje s obsahom logických formúl, ale s ich pozíciami. Možno naň nazerať aj ako na herný model, kde určité objekty interagujú s inými objektami a vedú medzi sebou dialóg. Dialóg je sekvenciou herných ťahov a objekty predstavujú aktérov (hráč, protihráč) v hre, v ktorej na seba reagujú. Dve dizajny môžu byť v interakcii, ak obsahujú rovnaké umiestnenia, ale s opačnou polaritou - interakcie tak predstavujú súhru dvoch duálnych umiestnení v dvoch rozdielnych dizajnoch. Pre pravidlá kalkulu vidíel platí, že:

- kladné pravidlo môže byť interpretované ako skutočnosť, že hráč si vybral umiestnenie na vykonanie interakcie a z tohoto umiestnenia sa môže pýtať konečnú množinu otázok,
- záporné pravidlo môže byť interpretované ako skutočnosť, že hráč po tom, čo dostal otázku zvažuje odpoveď z adresára možných odpovedí pre jeho protihráča.

Tieto dialógy v sémantike hier môžu samozrejme predstavovať dialógy viet prirodzeného jazyka medzi dvoma osobami. Ak by z týchto viet boli vytvorené formuly predikátovej lineárnej logiky a z nich následne dizajny v interakcii, dalo by sa takýmto spôsobom popísať vyplývanie skutočností z viet (napr. 1. Idem na hory. 2. Rada sa sánkujem. Vyplynutie: Budem sa sánkovať.), otázky (1. Máš auto? 2. Áno. Otázka: Aké auto?), spornosť (1. Každý ľúbi zmrzlinu. Spor: Existuje niekto, kto zmrzlinu neľúbi) a pod. Ludics tak predstavuje rámec, ktorým môžeme preskúmať mnohé akty hovorenej reči prostredníctvom dvoch paralelných komunikujúcich procesov v dynamických dôkazoch.

7 Záver (zhodnotenie riešenia)

Vedný odbor logická analýza prirodzeného jazyka sa zaoberá pokusmi o formalizáciu a algoritmizáciu prirodzeného jazyka prostredníctvom syntaktickej a sémantickej vetnej analýzy. Priekopníkmi v týchto pokusoch boli Richard Montague a Pavel Tichý, ktorí v 70. rokoch minulého storočia spôsobili revolúciu oblasti v teórii sémantiky, keď pomocou exaktných logických a matematických metód odstránili nejednoznačnosti vetných konštrukcií a umožnili prepojenie prirodzeného jazyka s jazykom formálnym. No zatiaľ, čo na Tichého transparentnú intenzionálnu logiku vo väčšine sveta sadá prach (s výnimkou jeho rodnej zeme), Montaguove prelomové myšlienky boli všeobecne prijaté ako paradigma intenzionálnej logiky a sémantiky. Práve na nich staviam vo svojej záverečnej práci, pričom sa tento lingvistický mechanizmus snažím prepojiť s logickými aparátmi predikátovej lineárnej logiky a s teóriou Ludics.

Montague vo svojej teórii (pre ktorú je zaužívané všeobecné pomenovanie Montagueova gramatika, aj keď sa jedná o syntakticko-sémantickú náuku) pracuje s predikátovou logikou 1. rádu. Ja však v práci zavádzam predikátovú lineárnu logiku, ktorá možnosti pôvodnej teórie rozširuje o možnosť manipulácie so zdrojmi a má aj väčšiu vyjadrovaciu silu. Zároveň tým rozvíjam aj Lecomtov prístup, v ktorom sa nemanipulovalo s predikátovou lineárnou logikou, ale s výrokovou lineárnou logikou. Výber zdrojovo-orientovanej logiky mi tiež umožnil realizovať časopriestorový rozklad vety prirodzeného jazyka, čo bolo cieľom práce. Aby som tento cieľ splnila, musela som uspokojivo spracovať Montaguov lokálne intenzionálny prístup vrátane jeho aplikácie na konkrétne vety fragmentu anglického jazyka a stručne ho porovnať Tichého globálnym intenzionálnym prístupom. Určitý priestor som venovala aj Chomského transformačno-generatívnej gramatike, ktorá síce priamo do oblasti logickej analýzy prirodzeného jazyka nepatrí, no možno ju považovať za východiskový stavebný pilier, o ktorý sa Tichý i Montague opierali pri vytváraní svojich teórií.

Po charakterizovaní predikátovej lineárnej logiky (pričom sa krátko zamýšľam, či existuje iný vhodný systém, pomocou ktorého by som dosiahla cieľ práce) som skúmanú logickú a lingvistickú oblasť premostila pomocou teórie Ludics. Tá umožňuje prekonať vzdialenosť medzi syntaxou a sémantikou, na ktorú som narážala v častiach venovaných logickej analýze prirodzeného jazyka, umožňuje nadobnúť určitý nadhľad nad danou problematikou, lebo podstatné v nej sú len umiestnenia v rámci dôkazového stromu formuly, pričom samotný význam logických formúl je zanedbaný.

V práci som sa striktne držala postupnosti naznačenej na Obrázku 6–1, ktorý popisuje chronológiu dosiahnutia riešenia dipomovej práce. Tejto postupnosti, ktorá je z hľadiska pochopenia práce dôležitá, som sa nedržala len pri samotnom riešení, ale aj pri sukcesívnej analýze mechanizmov LANL, predikátovej lineárnej logiky a Ludicsu.

Za prínos tejto záverečnej práce považujem najmä skutočnosť, že cieľ práce bol úspešne dosiahnutý. Stalo sa tak prostredníctvom použitia predikátovej lineárnej logiky, čo považujem za novátorské, keďže sa jednalo o prvý pokus o takéto prepojenie stavajúc na spomínanej logike. Za dôležité pokladám aj kompletizáciu spracovaných poznatkov prostredníctvom hľadania a vytvárania súvislostí medzi nimi (prepojenie skúmaných oblastí cez ich intenzionálny charakter, použitie predikátov, aplikácia časopriestorového kalkulu ai.). Zaujímavým prvkom práce bolo aj mierne pozmenenie pôvodnej Montaguovej teórie (jej rozšírenie o nové lexikálne jednotky v slovníku PTQ a nové pravidlá S2/T2), čo mi umožnilo vedomosti nadobudnuté pri štúdiu Montaguovej gramatiky aplikovať na novú, nikdy nespracovanú vetu prirodzeného jazyka. Keďže táto veta bola použitá ako nosný príklad v práci prepojujúci tri spomínané teoretické aparáty, možno prácu považovať za nanajvýš originálnu.

Do budúca ostáva otvorených viacero možností, kam sa s poznatkami získanými touto prácou možno posunúť. Pracujúc s Montagueovou gramatikou, považujem za pútavé ďalej rozširovať pôvodný fragment PTQ anglického jazyka v Montagueovej teórii alebo vytvorenie obdobného vlastného fragmentu slovenčiny (pre ktorý by boli

zavedené vlastné kategórie, typy a príslušné syntaktické a sémantické pravidlá). V rámci komplexnej logickej analýzy prirodzeného jazyka je možnosťou porovnať Montagueov a Tichého prístupy, vychádzajúc zo skutočnosti, že i keď je Tichého transparentná intenzionálna logika často krát prehliadaná, býva považovaná za pokročilejšiu (keďže množinu možných svetov Tichý považoval za gramatickú kategóriu a zaviedol dvojtypovú teóriu typov). S počítačovou lingvistikou je možné pracovať aj v oblasti umelej inteligencie, lebo je s ňou spätá budúcnosť automatizovaného počítačového spracovania prirodzených jazykov. Zamerajúc sa na Ludics, prirodzeným pokračovaním tejto práce by bolo modelovať dialógy prirodzenej reči pomocou interakcií vo forme ťahov aktérov v herných arénach.

Zoznam použitej literatúry

- [1] ANDERSON, Alan Ross – BELNAP, Nuel: *The Logic of Relevance and Necessity*. Entailment, Vol. 1. Princeton University Press. 1976. 578 s. ISBN-10: 0691071926. ISBN-13: 978-0691071923
- [2] AVRON, Arnon: *The Semantics and Proof Theory of Linear Logic*. Theoretical Computer Science. Vol. 57. Issues 2–3. 1988. s. 161–184. DOI: 10.1016/0304-3975(88)90037-0.
- [3] BACH, Emmon: *An Extension of Classical Transformational Grammar*. In: Problems of Linguistic Metatheory (Proceedings of the 1976 Conference). Michigan State University. 1976. s. 183-224. [online] [cit. 01-11-2015] Dostupné na internete: <http://people.umass.edu/ebach/papers/extcl.htm>
- [4] BENEŠOVÁ, Eva: *O matematické lingvistice*. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, vol. 9 (1964), issue 6, s. 335-343 MSC: 91F20
- [5] BEDNÁRIKOVÁ, Mária: *Úvod do kognitívnej lingvistiky*. Filozofická fakulta Trnavskej univerzity v Trnave. 2013. 84 s. ISBN: 978-80-8082-621-5
- [6] BRAUNER, Torben: *Introduction to linear logic*. BRICS - Basic Research in Computer Science. 1996. 66 s. ISSN: 1395-2048
- [7] CABLE, Seth: *From Logic to Montague Grammar: Some Formal and Conceptual Foundations of Semantic Theory*. Course Notes. University of Massachusetts Amherst. 2014. 345 s. ISBN-10: 9027711429.
- [8] CMOREJ, Pavel: *Od Extenzionálnej sémantiky k intenzionálnej*. In: Jazykovedný časopis. Vol.41 No.2 1990. s. 121-135
- [9] CURIEN, Pierre Luis: *Introduction to linear logic and ludics, part I*. In: Advances in Mathematics (China). Vol.34 No.5 2005. s. 513-544 doi: 10.11845/sxjz.2005.34.05.0513

-
- [10] CURIEN, Pierre Luis: *Introduction to linear logic and ludics, part II*. In: *Advances in Mathematics (China)*. Vol.35 No.1 2005. s. 1-44
doi:10.1016/j.tcs.2010.12.026
- [11] ČERMÁK, František: *Jazyk a jazykověda. Přehled a slovníky*. Univerzita karlova v Praze. Praha. 2011. 379 s. ISBN: 978-80-246-1976-0 ISBN: 978-80-246-2360-3
- [12] ČÍHALOVÁ, Martina – DUŽÍ Marie: *TIL and Logic Programming*. In: *Raslan*. Brno. 2008. s. 17-30 ISBN: 978-80-210-4741-9
- [13] DOLNÍK, Juraj: *Všeobecná jazykoveda. Opis a vysvetľovanie jazyka*. Slovenská akadémia vied. Jazykovedný ústav Ľudovíta Štúra. Bratislava. 2009. 375 s. ISBN: 978-80-224-1078-6.
- [14] DORKINOVÁ, Zuzana: *Použitie programovacích jazykov na báze lineárnej logiky v informatike*. Technická Univerzita v Košiciach. 2014. 59 s.
- [15] DOWTY, David R.: *Word Meaning and Montague Grammar. The Semantics of Verbs and Times in Generative Semantics and in Montague's PTQ*. Berlin. 1979. 448 s. ISBN-13: 978-90-277-1009-3.
- [16] DOWTY, David R. – WALL, Robert E. – PETERS Stanley: *Introduction to Montague Semantics*. Reidel Publishing Company. 1981. 316 s. ISBN-10: 9027711429. ISBN-13: 978-9027711427.
- [17] DUNN, J. Michael – RESTALL, Greg.: *Relevance logic*. IN: Vol. 6 of the *The Handbook of Philosophical Logic*. Kluwer. 2002. 136 s. ISBN 1-4020-0583.
- [18] DUŽÍ, Marie.: *Konceptuální modelování - datový model HIT*. Opava. 2000. 98 s. ISBN: 8072480626 9788072480623.
- [19] ENGBERG, Uffe H. – WINSKELL, Glynn.: *Linear Logic on Petri Nets*. BRICS RS-94-3. University of Aarhus. Denmark. 1994. 57 s. ISSN 0909-0878.
-

-
- [20] FAGGIAN, Claudia – HYLAND, Martin: *Designs, disputes and strategies*. United Kingdom. University of Cambridge. 2002. 21 s. ISSN:1476-2986
- [21] FINTEL, Kai Von – HEIM, Irene: *Intensional semantics*. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge. 2011. 133 s. [online] [cit. 01-11-2015] Dostupné na internete: <http://web.mit.edu/fintel/fintel-heim-intensional.pdf>
- [22] GALLIN, Daniel: *Intensional and Higher-Order Modal Logic, With Applications to Montague Semantics*. North-Holland Mathematics Studies. Vol.19 1975. 148 s. ISBN-10: 044411002X. ISBN-13: 978-0444110022
- [23] GAMUT, L.T.F.: *Logic, Language, and Meaning, Volume II: Intensional logic and logical grammar*. University of Chicago Press. 1991. 349 s. ISBN: 0226280853. ISBN: 9780226280851.
- [24] GIRARD, Jean-Yves: *Linear logic*. Theoretical Computer Science. Volume 50. Issue 1. 1987. s. 1-101 DOI:10.1016/0304-3975(87)90045-4
- [25] GIRARD, Jean-Yves: *Linear Logic: Its Syntax and Semantics*. Advances in Linear Logic. Proc. of the Workshop on Linear Logic. Cornell University. June 1993. London Mathematical Society Lecture Note Series. 222. Cambridge University Press. 1995. 42 s.
- [26] GIRARD, Jean-Yves: *Locus Solum: From the rules of logic to the logic of rules*. in: Journal Mathematical Structures in Computer Science. Vol. 11, Issue 3. 2001. s. 301 - 506. doi:10.1017/S096012950100336X
- [27] HENDRIX, Herman: *Flexible Montague grammar*. Department of Philosophy. University of Amsterdam. 1990. 57 s. ISSN 0924-2082.
- [28] HOBBS, Jerry R. – ROSENSCHEIN, Stanley J.: *Making computational sense of Montague's intensional logic*. New York University. 2011. 50 s. ISBN-10: 1179078268. ISBN-13: 978-1179078267.
- [29] HORÁK, Aleš.: *The Normal Translation Algorithm in Transparent Intensi-*
-

-
- onal Logic for Czech*. Brno. 2002. 160 s. [online] [cit. 07-04-2016] Dostupné na internete: <http://www.fi.muni.cz/~hales/disert/thesis.pdf>
- [30] HUDÁK, Štefan: *Teoretická informatika*. Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2002. 148 s.
- [31] CHOMSKY, Noam: *Aspects of the Theory of Syntax*. Massachusetts: MIT Press. Cambridge. 1965. 261 s. ISBN: 9780262030113.
- [32] CHOMSKY, Noam: *Logical Structure of Linguistic Theory*. MIT Humanities Library. Microfilm. 1955. 919 s. OCLC Number: 136849882.
- [33] CHOMSKY, Noam: *The Minimalist Program*. MIT Press. Cambridge. 1995. 420 s. ISBN 10: 0262531283. ISBN 13: 9780262531283.
- [34] CHOMSKY, Noam: *Studies on Semantics in Generative Grammar*. The Hague: Mouton. 1972. 207 s. ISBN: 90 279 7964 2.
- [35] CHOMSKY, Noam : *Syntactic Structures. Second Edition With an Introduction by David W. Lightfoot*. Mouton de Gruyter. Berlin, New York. 2002. 117 s. ISBN: 3-11-017279-8.
- [36] CHRPA, Lukáš: *Lineárni logika*. Přírodovědecká fakulta univerzity Palackého. Katedra matematické informatiky. 2005. 46 s. Dostupné na internete: <http://ktiml.mff.cuni.cz/~chrpa/docs/linearnilogika.pdf>
- [37] JANOUSEK, Jaromír: *Psychologické základy verbální komunikace*. Praha. 2015. 384 s. ISBN:978-80-247-4295-3.
- [38] JANSSEN Theo M. V.: *Montague Semantics*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy. 2016. ISSN:1095-5054.
- [39] KOPČO, Norbert: *Úvod do kognitívnych vied*. 2003. 38 s. [online] [cit. 21-06-2015] Dostupné na internete: <http://neuron.tuke.sk/kopco/kui337/kui337p3speechhear.pdf>
-

-
- [40] KVASNIČKA, Vladimír: *Úvod do logiky pre informatikov*. 2012. 252 s. [online] [cit. 01-11-2015] Dostupné na internete: http://www2.fiit.stuba.sk/~kvasnicka/Logika/Book_all.pdf
- [41] LAFONT, Yves: *Linear Logic Pages*. 1999. 17 s. [online] [cit. 21-06-2015] Dostupné na internete: <http://iml.univ-mrs.fr/~lafont/pub/llpages.pdf>
- [42] LECOMTE, Alain: *Meaning, Logics and Ludics*. Imperial College Press. 2011. 388 s. ISBN-10: 1848164564. ISBN-13: 978-1848164567.
- [43] LECOMTE, Alain – TRONCON, Samuel: *Ludics, Dialogue and Interaction*. PRELUDE Project 2006-2009. Berlin. 2011. 221 s. ISBN:978-3-64219210-4. ISSN:0302-9743.
- [44] LEWIS, David: *General Semantics*. IN: Synthese. Volume 22. 1970. s. 18–67. DOI:10.1007/BF00413598.
- [45] MATERNA, Pavel: *Logická analýza přirozeného jazyka*. Brno. Masarykova univerzita. 2007. 42 s. ISSN: 1802-128X.
- [56] MIHÁLYI, Daniel – NOVITZKÁ, Valerie: *What about Linear Logic in Computer Science?*. In: Acta Polytechnica Hungarica. Vol. 10. No. 4. 2013. 14 s. [online] [cit. 28-04-2016] Dostupné na internete: https://uni-obuda.hu/journal/Mihalyi_Novitzka_42.pdf
- [47] MILLER, Dale: *Sequent Calculus and the Specification of Computation*. The Pennsylvania State University. 2001. 48s. [online] [cit. 05-01-2016] Dostupné na internete: <http://www.lix.polytechnique.fr/~dale/papers/scsc.pdf>
- [48] MILLER, Dale – COSMO, Roberto Di: *Linear Logic*. Stanford University. 2015. ISSN: 1095-5054
- [49] MONTAGUE, Richard: *English as a Formal Language*. In Visentini, Bruno et al. (eds.) *Linguaggi nella società e nella tecnica*. Milan. 1970. s. 189-224 ISBN:
-

-
- [50] MONTAGUE, Richard: *Universal grammar*. Theoria 36. s.373-398
- [51] MONTAGUE, Richard: *The proper treatment of quantification in ordinary English*. In: Hintikka, K.J.J., Moravcsik, J.M.E., & Suppes, P. (eds.) *Approaches to Natural Language*. Dordrecht: Reidel. 1973. s. 221-242
- [52] MONTAGUE, Richard: *Formal Philosophy. Selected Papers of Richard Montague*. Edited and with an introduction by Richmond H. Thomason. London. Yale University Press. 1974. 370 s. ISBN-10: 0300015275 ISBN-13: 978-0300015270
- [53] MUSKENS, Reinhard: *Going Partial in Montague Grammar*. In book: *Semantics and Contextual Expression*. Vol. 11. 175-220 s. 1989. [online] [cit. 12-03-2016] Dostupné na internete: <https://pure.uvt.nl/ws/files/842242/GOINGPAR.PDF> ISBN-13: 978-0300015270
- [54] NOVITZKÁ, Valerie: *Logika pre informatikov*. 2014. 25 s. [online] [cit. 03-07-2015] Dostupné na internete: <http://hornad.fei.tuke.sk/predmety/lpi/Prednasky/lpi7.pdf>
- [55] NOVITZKÁ, Valerie: *Logika pre informatikov*. 2015. 24 s. [online] [cit. 17-04-2016] Dostupné na internete: <http://hornad.fei.tuke.sk/predmety/lpi/Prednasky/lpi4.pdf>
- [56] NOVITZKÁ, Valerie – Daniel Mihalyi: *Resource-oriented Programming Based on Linear Logic*. In: *Acta Polytechnica Hungarica*. Volume 4. Issue 2. Hungary. 2007. 157 - 166 s. ISSN: 1785-8860.
- [57] ORLOV, Ivan: *The Logic of Compatibility of Propositions*. 1928. In: *Matematicheskii Sbornik* 35 (3-4). s. 263-286. (in Russian)
- [58] PALA, Karel – MATERNA, Pavel – ZLATOUŠKA, Jiří: *Logická analýza přirozeného jazyka*. Academia. 1989. 143 s. ISBN: 80-200-0027-5.
- [59] PALA, Karel: *Počítačové zpracování přirozeného jazyka*. Brno. 2002. 131 s.
-

- [online] [cit. 11-04-2016] Dostupné na internete: https://nlp.fi.muni.cz/poc_lingv/pala_zprac.pdf
- [60] PARTEE, Barbara H. – PORTNER, Paul H.: *Formal Semantics: The Essential Readings*. 2002. 500 s. ISBN: 978-0-631-21542-4. DOI: 10.1002/9780470758335.
- [61] PEREGRIN, Jaroslav: *Podíl TIL na posvětování české filosofické logiky*. 2015. 15 s. [online] [cit. 11-12-2015] Dostupné na internete: <http://jarda.peregrin.cz/mybibl/PDFTxt/644.pdf>
- [62] PERHÁČ, Ján: *Koalgebraické modelovanie správania sa IDS na zdrojovo orientovanom základe*. Diplomová práca. 2015. 74 s.
- [63] POLÁKOVÁ, Andrea – STEINGARTNER, William – NOVITZKÁ, Valerie – PRAZŇÁK, Peter: *Linear logic in computer science*. In: Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics. 2015. s. 91-100. ISSN 2299-9965. ISSN 2353-0588.
- [64] POLLARD, Carl – SAG, Ivan A.: *Head-driven Phrase Structure Grammar*. Stanford. The University of Chicago Press. 1994. 440 s. ISBN 0-226-67447-9.
- [65] READ, Stephen: *Relevant Logic: A Philosophical Examination of Inference*. 1989. 208 s. ISBN-10: 0631161848. ISBN-13: 978-0631161844.
- [66] SGALL, Petr: *Generativní systémy v lingvistice*. Slovo a slovesnost, ročník 25., číslo 4. 1964. 274-282 s. [online] [cit. 21-06-2015] Dostupné na internete: <http://sas.ujc.cas.cz/archiv.php?art=1315>
- [67] SIKORA, Tomáš: *Perspektívna klasifikácia logík s prvkami modalít*. Diplomová práca. Technická univerzita v Košiciach. 2011. 46 s.
- [68] SIRONI, Eugenia: *From Linear Logic to Ludics. A zoom on record's representation*. Università degli Studi Roma. 2012. 29 s. [online] [cit. 11-12-2015] Dostupné na internete: http://www.mat.uniroma3.it/scuola_orientamento/alumni/laureati/sironi/SintesiSironi.pdf

-
- [69] SKOWERA, Jonathan: *What is...Linear Logic?* 2012. 13 s. [online] [cit. 13-12-2015] Dostupné na internete: <https://people.phys.ethz.ch/~jskowera/whatisll.pdf>
- [70] SLOUKOVÁ, Danica: *Úvod do filozofie jazyka*. Filozofická fakulta v Trnave. 2013. 151 s. ISBN: 978-80-8082-648-2.
- [71] STROSSA, Petr: *Počítačové zpracování přirozeného jazyka*. 2011. 316 s. ISBN: 978-80-245-1777-3.
- [72] TAKÁČ, Martin: *Jazykové univerzálie a stelesnená kognícia*. In Rybár, J. et al (eds.), *Kognitívne paradigmy*, Europa. 2012. s. 151-166
- [73] TICHÝ, Pavel: *An Approach to Intensional Analysis*. In: *Noûs*. Vol.5 No.3 1971. s. 273–297
- [74] TICHÝ, Pavel: *O čem mluvíme? Vybrané stati k logice a sémantice*. Praha. 1996. 164 s. ISBN: 80-7007-087-0
- [75] THATER, Stefan: *Montague Grammar*. Blockseminar "Underspecification". 2006. 36 s. [online] [cit. 07-03-2016] Dostupné na internete: <http://www.coli.uni-saarland.de/courses/underspecification-06/slides/01-mg.pdf>
- [76] THIRD, Allan: *Logical Analysis of Fragments of Natural Language*. University of Manchester. 2006. 160 s. [online] [cit. 07-01-2016] Dostupné na internete: <http://www.cs.man.ac.uk/~ipratt/theses/third.pdf>
- [77] VESELOVSKÁ, Ludmila: *Od bariér k minimalismu: Některé aspekty poslední vývojové změny chomskyánského modelu jazyka*. 52 s. [online] [cit. 21-06-2015] Dostupné na internete: <http://web.archive.org/web/20060214115937/http://www.anglistika.upol.cz/bar.pdf>
- [78] WADLER, Philip: *A taste of linear logic?*. Mathematical Foundations of Computer Science 1993. 1993. 185-210 s. ISBN: 978-3-540-57182-7. ISSN: 0302-9743
-

- [79] WERNING, Markus – HINZEN, Wolfram – MACHERY, Edouard: *The Oxford Handbook of Compositionality*. 2012. 766 s. ISBN: 9780199541072
- [80] ZOUHAR, Marián: *Teória kvantifikácie a extenzionálna sémantika*. Filozofický ústav SAV. Bratislava. 2009. 167 s. ISBN: 978-80-969770-5-5.