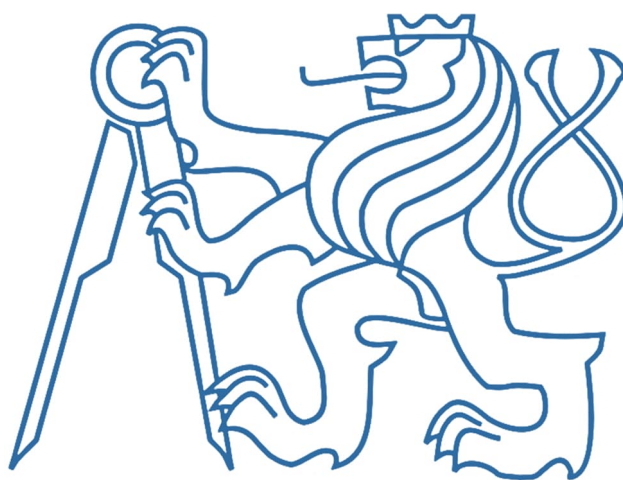


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav přístrojové a řídicí techniky



Aplikace metod umělé inteligence pro interpretaci
a predikci mikrometeorologických stavů
ekosystému

Disertační práce

Vypracoval: **Ing. Martin Novák**

Vedoucí práce: **prof. Ing. Jiří Bíla, DrSc.**

Rok: **2022**

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou doktorskou práci vypracoval samostatně a použil jsem k tomu pouze zdroje uvedené na konci práce, a to v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským.

V Praze dne:

.....

Jméno a Příjmení

Poděkování

Děkuji prof. Ing. Jiřímu Bílovi, DrSc. za vedení mé disertační práce, zvláště za jeho obrovskou trpělivost, obětavost a za veškeré podnětné návrhy, které ji obohatily.

.....

Jméno a Příjmení

Název práce: Aplikace metod umělé inteligence pro interpretaci a predikci mikrometeorologických stavů ekosystému

Autor: Ing. Martin Novák

Obor: Technická kybernetika

Druh práce: Disertační práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Jiří Bíla, DrSc.
Ústav přístrojové a řídicí techniky, Fakulta strojní, České vysoké učení technické v Praze

Konzultant: —

Abstrakt: Disertace se zabývá vývojem metod umělé inteligence pro oblast interpretace a predikce stavů komplexních ekosystémů. V práci jsou představeny dvě možnosti aplikace prostředků umělé inteligence pro interpretaci a eventuální predikci na poli ekologického modelování.

První metodou je využití teorie fuzzy množin a fuzzy modelování pro predikci maximální teploty ve sledovaném dni ve fragmentu velkoměsta. (Výsledky této metody pak lze dále využít např. pro predikci tzv. horké vlny (Heat Wave)).

Druhou metodou je postup interpretace ekologických dat a záznamů získávaných z reportů expertů nebo z koncentrovaných verbálních shrnutí stavů ekologických systémů získávaných z odborné literatury. Tato metoda pracuje se strukturálním invariantem „Matroid, báze matroidu“ v definovaném referenčním sémantickém kontextu a k interpretaci využívá situace narušení tohoto invariantu.

Klíčová slova: Ekologie, ekosystém, fuzzy, fuzzy logika, fuzzy modelování, komplexní systém, matroid, predikce, strukturální invariant, umělá inteligence.

Title: Application of artificial intelligence methods for interpretation and prediction of micrometeorological states of the ecosystem

Author: Ing. Martin Novák

Abstract: The dissertation deals with the development of artificial intelligence methods for the interpretation and prediction of states of complex ecosystems. The thesis introduces two possibilities of application of artificial intelligence means for interpretation and eventual prediction in the field of ecological modeling.

The first method is to use fuzzy set theory and fuzzy modeling to predict the maximum temperature on a monitored day in a fragment of a large city. (The results of this method can then be further used, for example, to predict the so-called Heat Wave).

The second method is the procedure for interpreting ecological data and records obtained from expert reports or from concentrated verbal summaries of the states of ecological systems obtained from professional literature. This method works with the structural invariant "Matroid, matroid bases" in a defined reference semantic context and uses the situation of violation of this invariant.

Key words: Ecology, ecosystem, fuzzy, fuzzy logic, fuzzy modeling, complex system, matroid, prediction, structural invariant, artificial intelligence

Obsah

<i>Obsah</i>	1
<i>Úvod</i>	4
<i>Kapitola 1 Aktuální stav poznání</i>	6
1.1 Interpretace a predikce	6
1.1.1 Interpretace v oblastech technických věd a umělé inteligence	9
1.1.2 Interpretace v ekologii	10
1.1.3 Predikce	10
1.2 Cíle práce	12
<i>Kapitola 2 Systémy</i>	13
2.1 Ekosystém a ekosystémy	13
2.1.1 Mikrometeorologie	14
2.1.2 Vodní cyklus	14
2.1.3 Velký vodní cyklus	15
2.1.4 Malý vodní cyklus	16
2.1.5 Oběh vodního cyklu	18
2.2 Ekosystém jako komplexní systém	19
2.2.1 Komplexní systém	21
2.2.2 Modelování komplexního systému – mraveniště	25
Model komplexního systému	28
2.3 Ekosystémy a jejich modely	28
<i>Kapitola 3 Metody interpretace a predikce</i>	30
3.1 Interpretace a Predikce	30
3.1.1 Interpretace obecně	30

3.1.2	Predikce	31
3.1.3	Přehled některých predikčních modelovacích metod.....	32
3.2	Fuzzy technologie	36
3.2.1	Fuzzy množiny.....	37
3.2.2	Kompoziční pravidlo.....	38
3.2.3	Fuzzy modelování	40
3.3	Vybrané části z teorie matroidů	41
3.3.1	Matroidy	41
3.4	Metoda aproximace interpretační funkce	44
3.4.1	Struktura modelu.....	44
3.4.2	Model reality (MR)	45
3.4.3	Interpretační prostor (IS)	45
3.4.4	Znakový model (SM)	46
3.4.5	Vztah mezi interpretačním prostorem a znakovým modelem	47
3.4.6	Interpretační metoda.....	48
<i>Kapitola 4 Aplikace interpretačních a predikčních metod</i>		<i>51</i>
4.1	Predikce maximální teploty v daném dni pomocí fuzzy modelování	51
4.1.1	Znalostní systém.....	52
4.1.2	Aplikační příklad – městská zástavba	55
4.1.3	Aplikační příklad – městská zástavba s vegetací	56
4.1.4	Aplikace KlimaVeg.....	58
4.2	Aproximace interpretační funkce – interpretace nových stavů ekosystému	62
4.2.1	Interpretační funkce.....	63
4.2.2	Interpretační funkce – První metoda	64
4.2.3	Interpretační funkce – Druhá metoda.....	67
<i>Kapitola 5 Závěr.....</i>		<i>73</i>

5.1	Splnění cílů.....	73
5.2	Diskuse výsledků.....	75
	<i>Citovaná literatura</i>	76
	<i>Seznam zkratk</i>	88
	<i>Seznam tabulek</i>	90
	<i>Seznam obrázků</i>	91

Úvod

Umělá inteligence dosahuje v posledním desetiletí svého velkého rozmachu. Díky umělé inteligenci Netflix ví, na jaký seriál se budete „pravděpodobně“ dívat příště (respektive vám ho nabídne), Facebook pozná, čím je fotografie umístěná na jeho profilu, zástupce zákaznického servisu pozná, zda budete s jeho službou spokojeni, ačkoli jste ještě nevyplnili dotazník, meteorologové tuší, jaké bude počasí a samořiditelná auta se ze sci-fi žánru pomalu dostávají do reality všedního dne. Možnosti umělé inteligence v oblasti interpretace a predikce jsou veliké a nejsou omezeny jen na výše zmíněné příklady. Ne vždy je ale jednoznačné, jakou metodu zvolit. Často bývá volba dána hlavně znalostí implementátora dané metody, což není právě zárukou úspěchu. Jednou z oblastí, kde je velmi složité zvolit správnou metodu interpretace a predikce je oblast komplexních ekosystémů.

Do jaké míry je příroda, jako taková, předvídatelná? Tato otázka je pro ekologii klíčová, ať už je jejím cílem pochopení přírody z empirického hlediska, hledání obecnějšího teoretického porozumění, nebo praktický náhled do řízení přírodních systémů. Ekologické skupiny, které provádí měření v terénu nebo v laboratořích, se snaží najít zákonitosti ve světě přírody. Přitom se opírají o pozorování a experimenty pro ověření hypotéz a teorií o tom, jaké procesy vedou ke konzistentním a předvídatelným výsledkům. A zároveň výsledky analyzují s cílem odlišit je od zákonitostí, které vznikají náhodně. Příkladů předvídatelných zákonitostí jsou plné publikace různého druhu sepsané několika generacemi přírodovědců. Formulované teorie a modely se snaží tyto poznatky abstrahovat a syntetizovat a následně generalizovat pro lepší pochopení obecných principů, které jsou základem procesu. Některé z těchto formulovaných teorií a modelů mohou dát takové předpovědi, které mohou vést k novým hypotézám ověřitelných v nových podmínkách, které tak umožní ekologům lépe přírodu pochopit.

Na ekologické modelování je možné nahlížet jako na formu, kde se střídají dvě zásadní fáze uvažování v adaptivním procesu mezi indukci a dedukcí. Na jedné straně je induktivní, konstrukční fáze, kdy rozhodujeme, co do tohoto obrazu reality, kterou je model, začlenit a jak to celé pojmout. Na druhé straně následuje fáze

deduktivní, která je spíše mechanická, kdy používáme modely a simulace. Dedukcí následně porovnááme s našimi očekáváními. V obou fázích dochází k učení. Stejně tak nás mohou překvapit mezery v našem chápání, které pokusy o syntézu obvykle odhalí. Na ekologické modelování a modelování obecně je tedy třeba pohlížet jako na velmi přirozený způsob hledání porozumění.

Jeden ze způsobů, jak prokázat znalost a porozumění přírodnímu světu v jeho chování je interpretace teorií a dat, která pak pokračuje v eventuální predikci. Cílem této práce je představit dvě možnosti aplikace prostředků umělé inteligence pro interpretaci a eventuální predikci na poli ekologického modelování. První metodou je využití teorie fuzzy množin a modelování pro predikci maximální teploty ve sledovaném dnu, který pak může pokračovat predikcí tzv. horké vlny (Heat Wave). Druhou metodou je postup interpretace ekologických dat a záznamů s využitím algebraické struktury matroidů.

Výzkum prezentovaný v této práci je motivován především aktuálními problémy modelování komplexních ekosystémů, speciálně pak problematikou interpretace dat a záznamů s cílem predikce ekologických událostí.

Kapitola 1

Aktuální stav poznání

1.1 Interpretace a predikce

V této podkapitole budeme mluvit zejména o interpretaci. Interpretace není právě frekventovanou vědní oblastí, přestože zasahuje do mnoha oborů: technických, uměleckých, právnických, a dalších. K uchopení konceptu interpretace se dostaneme několika příklady, které jednak dávají možnost odlišit starší chápání interpretace, a jednak akcentují současný posun ve vývoji kognitivní vědy. Starší způsob spojoval interpretaci s uloženými znalostmi a procesem vzpomínání. Citujme některé zajímavé výroky: „Nemůžeme nic připustit, dokud neporovnáme nazíraný fakt s předchozím faktem uchovaným v naší paměti. Naše poznání závisí na naší vzpomínce“ řekl Platón. „Člověk vidí jen to, co zná“ řekl Goethe. V našem kontextu interpretace tyto příklady naznačují, že nelze porozumět ničemu, co jsme předtím vědomě nezažili, nezapamatovali si a co si nejsme schopni vybavit. V současném vývoji kognitivní vědy je zájem opačný. Hledáme metody, jak rozšířit současné poznání o nové skutečnosti a fakty. V našem kontextu to znamená – jak se interpretací určitých vhodných faktů a dat dostat ke znalostem, se kterými jsme se dosud neseekali. (A to je také smyslem druhé interpretační metody prezentované v této práci.)

Za zakladatele teorie interpretace v moderní vědě je považován Hans-George Gadamer (1900-2002), který se představil vědou o rozumění – hermeneutikou [1]. Téma hermeneutiky, nauky o rozumění, se později ukázalo jako velmi aktuální v souvislosti s globalizací a setkáváním kultur. Gadamer měl tak veliký vliv na řadu současných filozofů, evropských i amerických. Hermeneutika se od svých počátků ukazovala jako velmi důležitá v mnoha oblastech – od výkladu biblických textů, přes výklad literárních artefaktů až po interpretaci právnických závěrů. Postupně se ale

dostávalo do popředí uplatnění nauky o rozumění ve znakových a jazykových systémech a tato část hermeneutiky pak začala náležet oblasti sémiologie (Sémiologie – nauka o znakových systémech, dnes často splývající s termínem sémiotika.) Z moderní sémiologie rozpoznáváme jednak školu evropskou (Ferdinand de Saussure [2], Luis Hjelmslev [3]) a školu americkou (Peirce [4]). Zatímco evropská škola se soustřeďovala na podstatu jevu „sémiosé“ (vznik jazykové promluvy), americká škola klasifikovala typy znaků, jejich relace a výklad. Tím byla přirozeně blíže otázkám interpretace, výkladu znaků a jejich používání v různých kontextech. Přestože v současné době je napsána řada knih věnujících se sémiologii, vlastní teorii interpretace je zpravidla věnováno málo místa, nicméně procesů interpretace se dotýkají. V tomto smyslu uvádíme práce Vilmore Voighta „Úvod do Sémiotiky“ [5] a Noama Chomskyho. [6]. Noam Chomsky se proslavil jako zakladatel popisu jazykových systémů pomocí formálních gramatik [6], je však známý teorií o univerzální jazykové struktuře, se kterou se všichni rodíme a která se pouze adaptuje do podmínek určitého prostředí, „Cognitive scientist calls for integration in language sciences“. Tvrdí tedy, že se rodíme s jistou interpretační univerzálií. V osmdesátých letech zaujala práce V.V. Martynova „Univerzální sémantický kód“ [7]. Autor koncentroval interpretaci velké části lidských promluv, (ale i lidských aktivit) do cca 45 morfologických řetězců. Interpretaci se také věnuje Umberto Eco ve své práci „Meze interpretace“ z roku 2004 [8].

Z českých autorů, kteří se dotýkají procesů interpretace v různých oblastech je možno jmenovat Ladislava Tondla „Problémy sémantiky“ [9], Zdeňka Neubauera „Přímlyvce postmoderny“ [10] a Pavla Materny „Logická analýza přirozeného jazyka“ [11]. Zcela speciální jsou práce Antona Markoše soustředěné na interpretaci z hlediska biosémiotiky [12; 13]. Práce Ladislava Kováče [14] zdůrazňuje podíl sémiotiky a biosémiotiky na evoluci člověka.

Jako práce zabývající se čistě interpretací lze uvést Josef Khola „Teorie a praxe interpretování“ [15] a Bohumila Palka „The map: Its signs and their relations, Semiotica“ [16] z roku 1986. Khol definoval proces interpretace a popsal jeho základní typy. Zde je uveden jen souhrn jeho typologie:

- Interpretace jako překlad – vychází z předpokladu, že dobrý překlad je interpretací, jelikož má zajišťovat porozumění původnímu textu. To může být například strojový překlad (Google překladač).
- Interpretace jako inference – generování nové sémantické informace z informace synsémantické je možné považovat za interpretaci, pouze pokud není realizována strojově (např. systémem formační či transformační gramatiky).
- Interpretace jako informace – je identifikace informace jako kvality, která reprezentuje určitý kus reality.
- Interpretace jako vysvětlení chování/jevu – přičemž jev je vysvětlován pomocí vnitřního mentálního (na verbální úrovni raději kognitivního) modelu.
- Interpretace jako porozumění – porozumění je subjektivní výsledek interpretace.
- Interpretace jako hodnocení – hodnocení je přiřazování hodnot objektům (jevům, vlastnostem, vztahům atd.).
- Interpretace jako identifikaci – identifikace je také interpretací, jelikož zařazuje objekt do příslušné kategorie, pojmenovává jej atd.

Pro tuto práci jsou nejdůležitější:

Interpretace jako inference a interpretace jako vysvětlení chování/jevu. V obou těchto případech je zřejmé, že interpretace není chápána jako automatický jev, ale že je v něm přítomna velká část kognitivních aktivit (na rozdíl od interpretace pro identifikaci, která může být (podle Khola) zpracována automaticky (na předem vyvinuté množině vzorů objektů a kategorií)).

Práce Bohumila Palka je vzorovou ukázkou, jak spojit sémiotické techniky a znalostní zázemí geografie při interpretaci mapových značek a symbolů.

1.1.1 Interpretace v oblastech technických věd a umělé inteligence

Z mnoha oblastí technických věd, kde se procesy interpretace objevují, jmenujme oblast diagnostiky poruch (Fault Diagnosis) v technických systémech.

V moderním pojetí diagnostiky poruch [17] rozlišujeme 4 fáze:

- Detekci poruchy,
- Lokalizaci (izolaci) poruchy,
- Interpretaci poruchy,
- Identifikaci poruchy.

Interpretace poruchy je chápána jako výklad významu poruchy, eventuálně jako výklad, jak (proč) k poruše došlo. Identifikace poruchy je pak přiřazení poruchy k některému už známému typu poruchy (od čehož se pak odvíjí eventuální zásah k odstranění poruchy). V řadě případů se k interpretaci poruchy používají znalostní systémy.

Pokud není sestaven etalon možných poruch, byly používány k interpretaci poruchy speciální míry (a metriky) – např. [18] nebo fuzzy přístupy – např. [19], kde byla použita technika lingvistické aproximace. V současné době jsou velmi moderní aplikace konvolučních neuronových sítí a techniky Deep Learning – např. [20].

Z mnoha oblastí spadajících dnes do umělé inteligence jmenujme oblast rozpoznávání obrazců (Pattern Recognition). Práci popisujících speciální interpretační programy v oblasti rozpoznávání obrazců je velká řada. Velká většina používá k interpretaci pravidlové expertní systémy, které realizují zobrazení: Rozpoznaná struktura hodnot symptomů → Výklad významu obrazce, např. v práci [21]. Zobrazení se zpravidla během aplikace na konkrétních případech doučuje.

Mimo to existují práce, které přímo nevycházejí pouze z technik rozpoznávání obrazců, ale k interpretaci užívají speciálních metod, jazyků a prostředků. Jako příklad lze uvést hybridní systém AXIS [22] nebo systém využívající speciálních algebraických struktur [23].

1.1.2 Interpretace v ekologii

Je nutno říct, že příkladů na interpretaci jevů a procesů v ekologii mnoho není. Je to jednak tím, že ekologické systémy jsou popisovány jako lokální (mokřady, vytěžená rašeliniště, fragmenty krajiny) a výklad pozorovaných jevů se expertům zdá evidentní, nebo jako velmi rozsáhlé (monsunové části Evropy) a výklad pozorovaných jevů je závislý na provázanosti mnoha složitých procesů a je velmi obtížný. Přesto existují některé vzorové příklady interpretace v ekologických systémech, z nichž uvádím dva autory, Berry Noona a Howarda Oduma. Práce Berryho Noona se zabývá konceptuálními problémy v monitorování ekologických systémů [24] a Howard Odum v práci o výkladu ekologických energetických konceptů [25]. Oba výše jmenovaní autoři využívají speciálních jazyků k popisu ekosystémů a situací v nich. Již jen zavedení využívaných znaků a symbolů vyžaduje velmi důslednou interpretaci.

Autoři kolem R. M. Larka [26] se zaměřili na interpretaci časových a prostorových variací výnosu plodin. Studie ukázala, že některé obecné vzorce sezónních variací mohou být identifikovány a souvisí s variabilitou půdy.

Nijak účelově podotýkáme, že rozvoj interpretačních technik v ekologii je potřebný, zejména takových případech, které nevyžadují hluboké statistické rozbory, ale umožňují rychlá rozhodování. Takové techniky vycházejí ze sémiotického a znalostního přístupu, a právě takové metody bylo cílem vyvinout i v předkládané disertaci.

1.1.3 Predikce

Predikce v ekologii, v této práci, není úplně typickým případem a nevychází z modelů, které známe např. z oblasti dynamických systémů. Ekologické modely vycházející z oblasti dynamických systémů jsou lokální a „jednorozměrné“, kde lze využít data a analyticky je zpracovat (Neuronové sítě, genetické algoritmy, Support vector machine, ..., až po šedé modely). Tyto modely poskytují např. predikci povodní (i když nespolehlivě), napadení lesa škůdci nebo přemnožení určitého zavlečeného druhu vodních živočichů v řekách. Druhým typem predikčních ekologických modelů jsou ekologické modely globální, které popisují stav ekosystému z hlediska více „rozměrů“. Tyto modely nejsou zpravidla analytické

a používají jiného aparátu – např. již více zmíněný jazyk použitý v [24], nebo aparátu GIS (Graphic Information System). Podobně neanalytický je i systém SIAT [27].

Predikce představovaná v této práci je operací, která pokračuje za fází interpretace. Jako případy takové predikce uveďme např: „Eva balí zavazadla“, interpretace a predikce: „Eva se chystá odjet (přestěhovat, odvézt nepotřebné oblečení do Diakonie, apod“). „Teplota v bloku A stoupá“, interpretace a predikce: „Došlo k poruše čerpadla na výstupu a může dojít k destrukci bloku A.“ V obou uvedených případech jsou závěry interpretace i predikce zatíženy silnou nejistotou. To je ale v jazykových kontextech typické.

Interpretace v našem případě je spíše sémiotická a predikce, která je jejím pokračováním je také spíše sémiotická než analytická.

1.2 Cíle práce

V návaznosti na předchozí kapitulu je tématem této práce vývoj metod umělé inteligence pro oblast interpretace a predikce stavů komplexních ekosystémů. Cílem této práce je představit dvě možnosti aplikace prostředků umělé inteligence pro interpretaci a eventuální predikci na poli ekologického modelování.

První metodou je využití teorie fuzzy množin a fuzzy modelování pro predikci maximální teploty ve sledovaném dni ve fragmentu velkoměsta, (který pak může pokračovat predikcí tzv. horké vlny (Heat Wave)).

Druhou metodou je postup interpretace ekologických dat a záznamů získávaných z reportů expertů nebo z koncentrovaných verbálních shrnutí stavů ekologických systémů získávaných z odborné literatury. Tato metoda je příkladem využití algebraické struktury matroidů v definovaném referenčním sémantickém kontextu.

Kapitola 2

Systemy

2.1 Ekosystém a ekosystémy

Jako ekosystém se nejčastěji rozumí společenství živých (biotických) a neživých (abiotických) organismů spolupracujících společně. Termín ekosystém se poprvé objevil v publikaci britského ekologa Arthura Tansleye roku 1935 [28]. Ekosystém je oblast se specifickou formou krajiny, jakou mohou být louky či lesy, ale také mokřady, oblasti pobřeží a třeba pouště. Povaha ekosystému je taktéž založena na geografických rysech jako jsou hory, kopce, nížiny (pláně, stepy) ale i jezera, rybníky či ostrovy. Je rovněž řízen klimatickými podmínkami dané oblasti jako je četnost srážek či množství slunečního osvětlení a teplota. Geografické, klimatické a zemní (půdní) charakteristiky tvoří jeho neživou (abiotickou) složku. Tyto funkce však vytvářejí podmínky, které podporují společenství živočichů a rostlin (živé části ekosystému – biotická složka), které se evolučně v daném prostředí vyvinuly a přizpůsobily na tyto konkrétní podmínky. Ekosystémy můžeme rozdělit na pozemní ekosystémy a vodní ekosystémy. To jsou dvě hlavní podmínky pro život živých organismů na Zemi. Všechny živé organismy v dané oblasti žijí ve společenstvech živočichů a rostlin. V různých časových okamžicích dochází z mnoha důvodů k jejich interakci s neživým prostředím i mezi nimi navzájem. Ekosystémy na souši i v moři vznikly evolucí, která vytvořila druhy žijící společně v určitém regionu. Ekosystémy tedy obsahují jak neživé, tak živé složky, které jsou pro danou oblast typické a dávají jí zvláštní vlastnosti, které lze snadno pozorovat.

Ekosystémy můžeme obecně dělit na přírodní a umělé. Přírodní ekosystémy jsou ty, které existují v přírodě, jinými slovy ty, které vznikly přírodním působením. Tyto ekosystémy jsou však samoregulační (samo-organizační), otevřené systémy s volnou výměnou vstupních a výstupních vlivů s jinými systémy. Naproti tomu

umělé ekosystémy jsou jednoduché a převážně vytvořené přímým působením lidského faktoru. Tyto systémy bývají nestabilní a podléhající lidským zásahům a manipulaci. Obvykle se vytvoří vymýcením části lesa nebo pastviny, např. vysazení obilí na pole či jiné zemědělské půdy.

Přírodní procesy, které se dějí uvnitř ekosystému nazýváme funkcemi ekosystému. Funkce ekosystému jsou podmnožinou ekologických procesů a struktur ekosystému. Každá funkce je výsledkem přírodních procesů celkového ekologického subsystému, jehož je součástí. Přírodní procesy jsou zase výsledkem složitých interakcí mezi biotickými (živými organismy) a abiotickými (chemickými a fyzikálními) složkami ekosystémů prostřednictvím univerzální hmoty a energie.

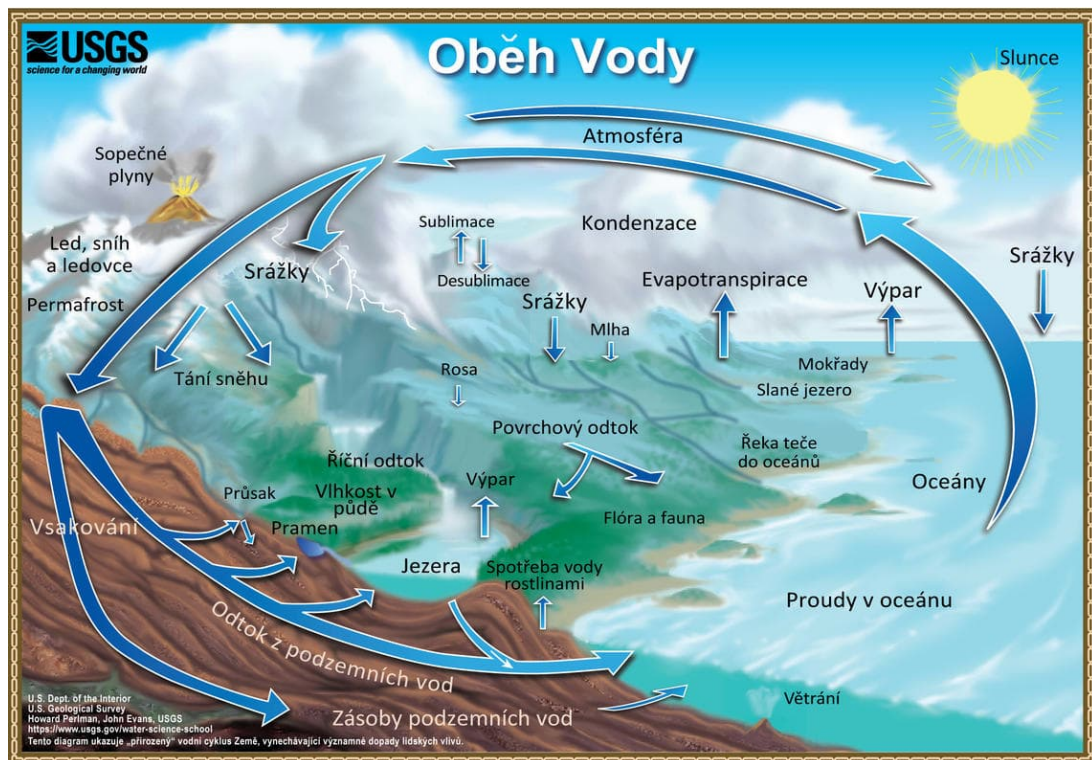
2.1.1 Mikrometeorologie

Mikrometeorologie je část meteorologie [29], která se zabývá pozorováním a procesy v malých časových měřítkách (kratší než 24 h) a prostorech čítající rozlohu desítky metrů až několik kilometrů (tj. lokálními procesy, atmosférickými jevy). Mikrometeorologické procesy jsou omezeny na jevy působící povrchově (jevy o většího rozsahu, jako je termická konvence, nejsou součástí mikrometeorologie). Předmětem mikrometeorologie je proto spodní část atmosférické mezní vrstvy, konkrétně přízemní vrstva. Důležitým tématem jsou procesy výměny energie, plynů atd. mezi atmosférou a povrchem (vodou, pevninou, rostlinami). Proto je mikrometeorologie úzce spojena s většinou lidských činností v atmosféře. Pokroku v mikrometeorologii se dosahuje experimentálním zkoumáním těchto procesů (jevů) a kvantitativním studiem, které se snaží experimentální data uspořádat. Zásadní roli v tomto úsilí hraje studium přízemního proudění vzduchu.

2.1.2 Vodní cyklus

Na obrázku (obr. 1) je znázorněn vodní cyklus (VC). Cyklus vody nemá v ideálním případě ani konec ani začátek. Jako výchozí místo popisu lze příhodně zvolit oceán. Slunce, které je hybatelem cyklu vody, vodu ohřívá v oceánech, a ta se jeho vlivem vypařuje ve formě vodní páry do vzduchu. Stoupající vzdušné proudy unášejí vodní páru výše do atmosféry, kde nižší teplota poté způsobí kondenzaci vodní páry a její přeměnu do formy mračen. Vzdušné proudy dále ženou mračna nad

zem a na zem dopadají jako srážky. Některé srážky vlivem klimatu padají jako sníh, jiné jako déšť. Většina srážek padá zpět do oceánů nebo na pevninu, odkud díky zemské tíži odtéká jako povrchová voda do potoků, řek či vodních zádrží (jezera, rybníky). Ne všechna odtékající voda končí na povrchu, ale většina vody se vsakuje do půdy a může znovu napájet povrchové vody (a moře) jako přítok z podzemní vody.



Obrázek 1: Oběh vody [30]

2.1.3 Velký vodní cyklus

Velký vodní cyklus [31] je výměna vody mezi oceánem a pevninou. Ročně se do atmosféry vypaří přibližně 550 tisíc km³ vody. Přibližně 86 % výparu ze zemského povrchu tvoří množství atmosférických srážek, které mají původ v tomto výparu, 74 % spadne nad moři a oceány a 26 % nad pevninou. Z výše uvedeného vyplývá, že moře a oceány prostřednictvím výparu a srážek obdařují pevninu určitým objemem vody, která cestou atmosférických termodynamických toků putuje na velkou vzdálenost nad kontinenty, kde pak prší (nebo padá ve formě sněhu).

Část vody ze srážek se vsákne do půdy, a pokud se dostane k hladině podzemní vody, přidá se k odtoku podzemní vody (s výjimkou oblastí bez odtoku podzemní vody). Část vody spotřebuje vegetace a část se opět vypaří. Zbytek odtéká

povrchovým odtokem do sítě řek a zpět do moří a oceánů. Tím je dokončen velký koloběh vody. Za vyvážených podmínek odtéká z kontinentů do moří a oceánů stejný objem vody, jaký na kontinenty spadne ze světových oceánů ve formě srážek. I relativně malé odchylky od tohoto rovnovážného stavu však mohou znamenat pro kontinenty velké problémy, zejména pokud se jedná o dlouhodobější odchylky a pokud zasahují většinu povodí. Pokud z kontinentů odtéká do oceánů více vody, než kolik se jí prostřednictvím srážek přeneslo z oceánů na pevninu, pevnina ztrácí vodu a vysychá. K tomu dochází například tehdy, když lidstvo svou činností (například odlesňováním, zemědělskou činností, urbanizací) systematicky snižuje infiltraci dešťové vody do půdy a odvádí tuto vodu (co nejrychleji) do řek a následně do moře. Snižuje se vlhkost půdy, klesá hladina podzemní vody, usychá vegetace a dochází k menšímu výparu. Pokud se objem vody odtékající z kontinentů do moří a oceánů zvyšuje a odpařování vody z moří a oceánů se nemění nebo se nezvyšuje adekvátně (vlivem zvýšeného odpařování v důsledku globálního oteplování), pak zvýšený odtok vody z kontinentů (včetně zvýšeného tání ledovců) přispívá ke zvyšování hladiny oceánů.

Kromě změn v globální vodní bilanci, které jsou způsobeny jevy mimo vliv lidstva (sluneční cykly, změny polohy Země vůči Slunci, sopečná činnost...), způsobuje člověk nevědomky další odchylky, a přispívá tak svou činností k dezertifikaci kontinentů. Vědomou činností v opačném směru se záměrným zachováním vody na kontinentech by se mohlo tato probíhající odvodňování zastavit a vrátit kontinentům ztracenou vodu.

2.1.4 Malý vodní cyklus

Malý vodní cyklus [31] je uzavřený oběh vody, v němž voda vypařená na souši dopadá ve formě srážek na stejné suchozemské prostředí. Stejně jako existuje malý koloběh vody na pevnině, existuje malý koloběh vody také v mořích a oceánech. Mezi jednotlivými malými vodními cykly probíhají vzájemné interakce, protože se vyskytují v prostoru a čase na velkých plochách s různou morfologií a povrchem s různou úrovní vlhkosti a povrchové vody. Oběh vody v malém vodním cyklu je tedy částečně horizontální, ale na rozdíl od velkého vodního cyklu je pro něj nejcharakterističtější vertikální pohyb. Při vzniku a vývoji oblačnosti se vzájemně spolupodílí vypařování ze sousedních ploch s různou teplotou. Snad lze také říct, že

voda nad pevninou cirkuluje současně v mnoha malých vodních cyklech, které jsou dotovány vodou z velkého vodního cyklu.

Název malý vodní cyklus není ku prospěchu věci, protože vyvolává dojem, že cyklus obsahuje jen malé množství vody. Opak je pravdou. Podívejme se na informace z předchozí kapitoly z trochu jiného úhlu. Průměrný roční úhrn srážek na pevnině je 720 mm a přítok z moří činí asi 310 mm. Z této informace vyplývá, že pevnina si větší část srážek (410 mm) zajišťuje vlastním výparem z pevniny. Srážky v dané oblasti se podílejí na nasycení půdy srážkovou vodou a prostřednictvím malého vodního cyklu přechází zhruba polovina až dvě třetiny srážkové vody (50 až 65 %) na opakovanou tvorbu srážek na pevnině. To je velmi důležitá informace, která by měla zásadně změnit náš současný přístup k hospodaření s vodou v povodích. Lidstvo nemůže neomezeně přetvářet a odvodňovat půdu, aniž by zároveň neovlivňovalo její srážky a tepelný režim. Chceme-li mít stabilní srážky na pevnině, je velmi důležité zajistit výpar z téže pevniny. Výpar z půdy je s jistým zjednodušením (pomineme-li akumulaci) rozdílem mezi srážkami a odtokem. Pokud máme velký odtok vody z území, bude to na úkor výparu a způsobí to následný pokles srážek. Objem vody v malém vodním cyklu nad pevninou se bude postupně snižovat. S poklesem odtoku naopak získáme větší výpar, a tím vlastně "zaséváme déšť".

Malý vodní cyklus, také krátký nebo uzavřený vodní cyklus, je charakteristický pro hydrologicky zdravou zemi. V zemi nasycené vodou a vodní párou cirkuluje voda v malém množství a na relativně krátké vzdálenosti. Dochází k tomu díky vodní párou vyvolanému zmírňování teplotních rozdílů mezi dnem a nocí nebo mezi lokalitami s různým tepelným režimem. Většina vody, která se vypaří, opět kondenzuje v dané oblasti nebo jejím okolí. Časté a pravidelné lokální srážky zpětně udržují vyšší hladinu podzemní vody a s ní i vegetaci a další výpar, takže se celý cyklus může znovu a znovu opakovat.

Pokud však dojde k rozsáhlému narušení vegetačního krytu (například odlesněním, zemědělskou činností, urbanizací), dopadá sluneční energie na oblast s nízkou evapotranspirací a její velká část se mění na teplo. To vede k výrazným rozdílům teplot a rozdíly teplot mezi dnem a nocí nebo mezi lokalitami s jiným tepelným režimem se zvětšují. Zvyšuje se proudění vzduchu, vodní pára je teplým vzduchem odváděna dále a většina vypařené vody se z dané oblasti ztrácí. Ubývá

lehkých a častých srážek a přibývá intenzivních a méně častých srážek. Cyklus se otevírá a začíná převládat velký vodní cyklus, který se na rozdíl od "měkkého" malého vodního cyklu vyznačuje erozí a odplavováním živin z půdy do moře. Obnovení převahy malého vodního cyklu, který je výhodný pro lidstvo, vegetaci a půdu, závisí na obnově funkčního rostlinného pokryvu území a vodních ploch v zemi.

2.1.5 Oběh vodního cyklu

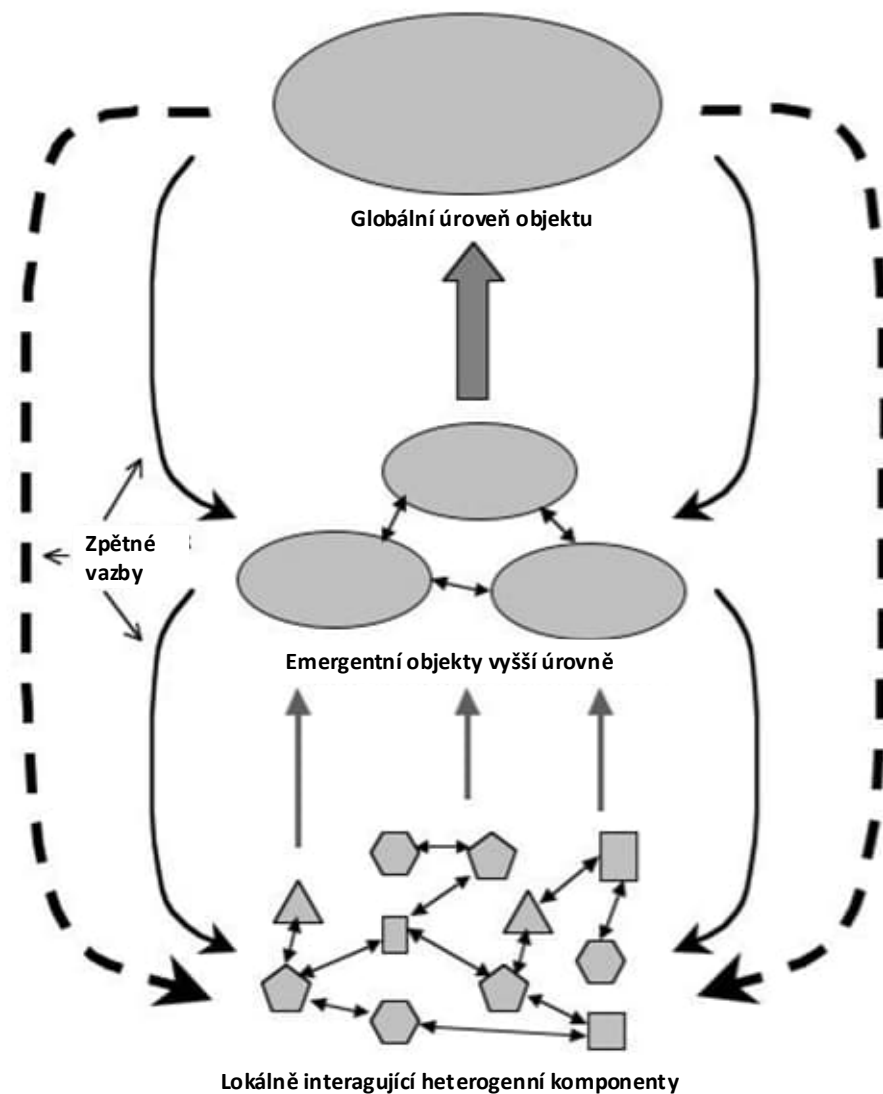
Oběh vodního cyklu neboli „vodní bilance“ [31] je charakteristický koloběh vody v určitém systému. Jeho vyjádření lze definovat podle rovnice (1.1).

$$R_y = E_y + Q_y + \Delta V_y \quad (1.1)$$

kde R_y je celkový úhrn srážek na dané ploše za rok, E_y je výpar z dané oblasti za rok, Q_y je povrchový a podpovrchový odtok vody za rok, ΔV_y je změna množství vody v daném systému za rok.

2.2 Ekosystém jako komplexní systém

Ekologická komplexita [32] je multidisciplinární oblast výzkumu, která si využívá nástroje a koncepty vědeckých poznatků o komplexních systémech (fyzika, matematika, informatika) jako prostředek ke studiu vztahů mezi procesy v přírodních systémech. Ekologická komplexita považuje ekosystém za komplexní systém. Teorie komplexity se od ostatních analytických přístupů liší tím, že je založena na konceptuálním modelu, v němž objekty modelu existují v soustavě vzájemně propojených organizačních úrovní (obr. 2). Zatímco v klasických přístupech jsou systémy popisovány pouze na jedné organizační úrovni (např. společenství nebo národ, ale ne na obou současně), teorie komplexity poskytuje rámec, v němž lze zohlednit vztahy mezi strukturami na různých úrovních soustavy.



Obrázek 2: Struktura organizačních úrovní v komplexním systému. Lokálně interagující komponenty dávají vzniknout emergentním objektům vyšší úrovně, jejichž jejich existence následně ovlivňuje chování objektů nižší úrovně. [32]

2.2.1 Komplexní systém

Komplexní systémy byly rozpoznány jako kvalitativně odlišné od nekomplexních systémů již v roce 1984, kdy byl založen výzkumný ústav Santa Fe Institute, věnující se teorii komplexity [33]. Od té doby se na toto téma vytvořilo mnoho souborů specializovaných poznatků, které se opírají o teoretická i experimentální zkoumání [34].

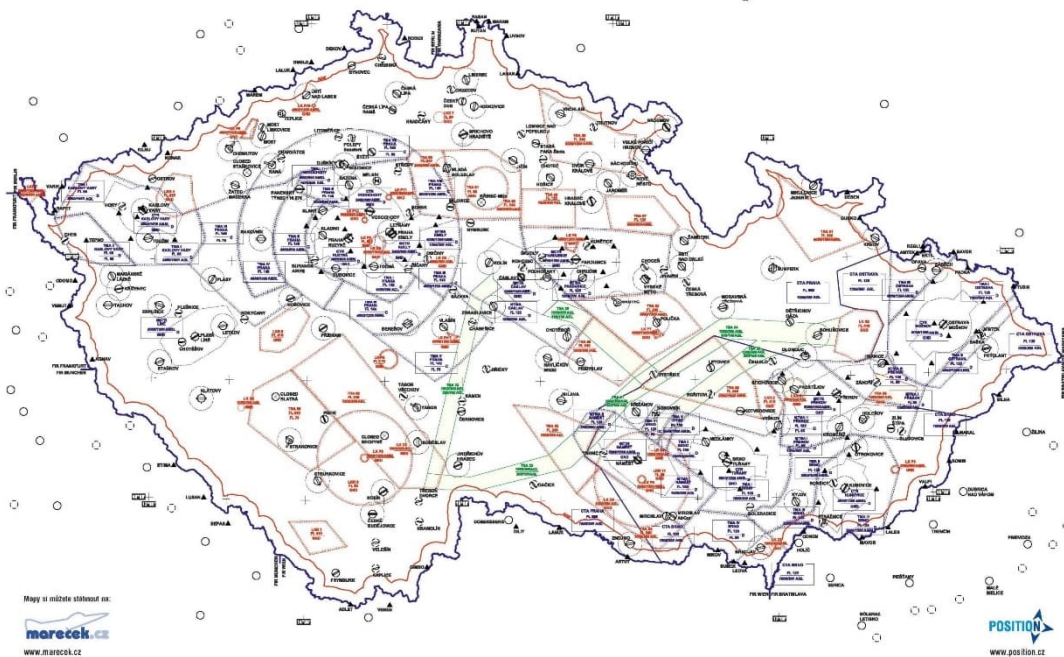
K dispozici je celá řada definic komplexních systémů. I když tyto definice nejsou zdaleka konzistentní nebo přesné jsou přesto informativní. Uvedu zde jen tři výstižné případy definice komplexního systému:

S touto definicí: „*Systém složený z (obvykle velkého) počtu (obvykle silně) interagujících entit, procesů nebo agentů, jehož pochopení vyžaduje vývoj nebo použití nových vědeckých nástrojů, nelineárních modelů, popisy nerovnováhy a počítačových simulací*“ přišel své knize [35] německý profesor Frank Schweitzer.

S touto definicí: „*Komplexní systém je takový, jehož vývoj je velmi citlivý na počáteční podmínky nebo na malé poruchy, takový, v němž je velký počet nezávislých interagujících složek, nebo takový, v němž existuje více cest, jimiž se systém může vyvíjet.*“ přišel ve svém článku [36] americký chemik George McClelland Whitesides.

S touto definicí: „*Komplexní systémy nejsou ani uspořádané, ani náhodné, ale kombinují prvky obou typů chování velmi neuchopitelným, ale nápadným způsobem.*“ přišel ve svém článku [37] sociolog Paul Stewart.

Těmto definicím odpovídají jak inženýrské, tak přírodní systémy. Systémy, které jsou považovány za komplexní jsou ilustrovány na obrázcích níže jako je mapa leteckého prostoru (obr. 3), počasí – tropická cyklóna (obr. 4) anebo Wall Street – burza cenných papírů (obr. 5).



Obrázek 3: Komplexní systém – Mapa leteckého prostoru ČR



Obrázek 4: Komplexní systém: tropická cyklóna



Obrázek 5: Komplexní systém: Wall Street – burza cenných papírů

Komplexní systémy mají určité vlastnosti, které je odlišují od ostatních systémů. Tyto vlastnosti jsou sporné, protože ne vždy každý komplexní systém musí nutně mít každou z těchto vlastností. Mnoho komplexních systémů ale bude vykazovat většinu těchto vlastností. Dohromady tyto vlastnosti definují třídu komplexních systémů a slouží k rozlišení komplexních systémů od nekomplexních. Následující vlastnosti jsou příklady takových vlastností, které již byly klasifikovány např. v publikaci od Mikela Pettyho [38]:

- Citlivost na počáteční podmínky (chaos)
- Mnoho interagujících prvků (komponent)
- Neurčité meze.
- Nelineární vztahy.
- Emergentní chování.
- Multi-rozměrnost.
- Zpětnovazebné smyčky.
- Samo-organizace

V následujících podkapitolách bych stručně rozvedl uvedené body.

2.2.1.1 Citlivost na počáteční podmínky (chaos)

Označení „počáteční podmínky“ je z hlediska popisu kontinuálního systému, kterým ekosystém samozřejmě je, je poněkud kostrbaté. Myšlenkou bodu zůstává fakt, že komplexní systém je silně nelineární, a i malá odchylka v počátečním (řekněme sledovaném) stavu může způsobit jen malé rozdíly v konečném (opět sledovaném) stavu systému (respektive v následném). Mohou existovat i případy kdy takto malá odchylka od počátečního stavu může způsobit velmi velké rozdíly v konečném stavu (důsledku).

2.2.1.2 Mnoho interagujících prvků (komponent).

Vazeb mezi prvky v komplexním systému je nekonečná řada, a ne vždy jsou na první pohled viditelné. V závislosti na počtu definovaných prvků v komplexním systému roste exponenciálně jejich vazební interakce.

2.2.1.3 Neurčité meze

Určení hranice mezi komplexním systémem a prostředím, v němž se nachází a s nímž interaguje, je komplexní.

2.2.1.4 Nelineární vztahy

Vztahy mezi komponentami komplexního systému bývají zpravidla nelineární, což znamená, že na stejný podnět (vstup) mohou reagovat různými způsoby v závislosti na svém aktuálním stavu či kontextu. I malá příčina či nenadálá událost může mít velký účinek na následek, anebo odeznít bez nějakých změn.

2.2.1.5 Emergentní chování

Podstatou emergentního chování je, že se v systému objevují náhlé stavy bez explicitní asociace se stavy předchozího relevantního kontextu v systému. (To znamená, že emergentní stav je indukován něčím, co přichází z vnějšku pozorování vztahujícího se k uvažovanému systému). Emergentní stav (situace) je předpokládán jako diskrétní významově plnohodnotný pojem v mysli pozorovatele, např. chování (skupiny termitů). Možným důvodem vzniku takového stavu je porušení nějaké struktury systému (nikoliv porušení funkce systému).

2.2.1.6 Multi-rozměrnost.

Komponenty komplexního systému mohou být samy komplexními systémy.

2.2.1.7 Zpětnovazebné smyčky

Zpětnovazebné smyčky jsou důležitým rysem komplexních systémů. Příklady zpětnovazebných smyček lze nalézt ve většině komplexních systémů v biologii, fyzice, ekonomii, sociálních systémech a inženýrství. Zpětná vazba je kruhový proces, v němž se výstup systému vrací nebo je "vracen" zpět do systému jako vstup. Existují dva druhy zpětné vazby: posilující (neboli pozitivní) a vyrovnávací (neboli negativní). V některých případech interakce jednotlivých prvků komplexního systému mohou vytvářet zpětnovazebné smyčky, které způsobují vznik emergentního chování na globální úrovni.

2.2.1.8 Samo-organizace

Samo-organizace [39] je proces, při kterém kombinované a zdánlivě neuspořádané činnosti velkého počtu lokálně interagujících prvků způsobují trvalou, v podstatě uspořádanou strukturu a kompozici na systémové nebo globální úrovni. Obvykle je samo-organizace komplexním systémem dosahována a udržována tak dlouho, dokud dochází k neustálému toku nějakého zdroje (např. energie, hmoty nebo informace) přes hranice pozorovaného systému.

2.2.2 Modelování komplexního systému – mraveniště

Jak jsme již uvedli, není vždy pravidlem, že výše jmenované obecné vlastnosti komplexních systémů musí vždy daný systém všechny obsahovat a splňovat. Pokusím se tu pro ilustraci uvedených charakteristik ukázat pouze čtyři z nich:

- Mnoho interagujících prvků (komponent).
- Samo-organizace
- Emergentní chování
- Multi-rozměrnost

Následující ilustrace je spíše snaha o popis systému jako komplexního systému nikoli o to, že by opravdu takový by. Uvedu příklad ekologického systému na obrázku 6.



Obrázek 6: Mraveniště

Na obrázku (obr. 6) je pohled na mraveniště, které můžeme považovat za systém s vlastními hranicemi, pravidly a chováním. Mraveniště se sestává z jehličí, větviček a dalších materiálů, které mravenci sehnali. Samozřejmě je obydleno mravenci, kteří jsou buď dělníci, kteří se o mraveniště starají nebo bojovníci, kteří ho mají chránit proti vnějším okolnostem. Dohromady tvoří společenství se specifickou symbiózou, kde mezi sebou mají vazby (převážně chemické) a vzájemně si vytvářejí atmosféru ku prospěchu všech jejích členů. Tyto vazby reprezentují vzájemnou interakci.

2.2.2.1 Mnoho interagujících prvků (komponent)

Pro model je mraveniště bráno jako celek, ale půjdeme-li hlouběji v popisu, tak mraveniště je tvořeno tunely a místnostmi, která má každá vlastní účel. V tomto dělení jsou to lokální komponenty (případné modely), které se vyčlenily z celku mraveniště. Jako lokální model lze uvést i mravence samotného, který interaguje s tunely (prochází jimi) nebo místnostmi (tráví tam čas při nějaké činnosti) a množství dalších lokálních modelů a jejich interakcí, které charakterizují celé mraveniště.

2.2.2.2 Samo-organizace

Samo-organizující jev je proces, při němž se vzájemným působením mezi složkami neuspořádaného systému vzniká nějaká podoba řádu. Jinými slovy samo-organizace je si udržuje vnitřní organizaci systému, aniž by byla potřeba ho nějak řídit. V případě mraveniště je samo-organizujícím procesem dálnice mraveništěm. Mravenci nechodí nahodile, jinak by do sebe vráželi, ale mají svoje dráhy stejně jako my lidé jezdíme na dálnici na jedné straně jedním směrem a na druhé druhém. Když se v mraveništi např. propadne střecha a zavalí jednu část „dálnice“, tak si mravenci za nějaký čas najdou „objížděku“.

2.2.2.3 Emergentní chování

Emergentním jevem nazýváme spontánní vznik kvalitativně nových struktur a vlastností v komplexním systému, které nelze odvodit z vlastností jejich komponent ani z historie systému. Mraveniště s mravenci jako takové je ukázkou emergentních vlastností [40]. Mravenci v mraveništi mají fyziologický a biologický vývoj, který je na jedné úrovni popisu. Ale jejich sociální chování a stavba mraveniště je vlastnost, která vychází (emerguje) ze skupiny mravenců a jejich potřeb, které musí být popsány na jiné úrovni.

2.2.2.4 Multi-rozměrnost

Komplexní systémy nelze korektně charakterizovat pohybem hodnot jediné proměnné. V případě popisovaného mraveniště se zjišťuje, měří a vypočítává, např.:

- poloha a počty jednotlivých tunelů či místností,
- hustoty osídlení mraveniště (počet mravenců),
- umístění mraveniště,
- struktura mraveniště

Hodnoty a průběhy těchto vlastností neslouží ani tak k popisu daného mraveniště se snahou o odlišení od mravenišť, ale sledují jeho začlenění do vyššího systému např. lesa (respektive z hlediska prospěšnosti mraveniště v lesním úseku).

2.2.3 Model komplexního systému

Mnoho systémů, které nás obklopují, je komplexních. Pochopení jejich vlastností je cílem a motivací pro mnoho vědců a vědeckých institucí zabývajících se jejich studiem. Každý, ač sebesložitější komplexní systém, se řídí univerzálními zákony a jevy, které jsou nezbytné pro náš výzkum a porozumění. Například myšlenka, že veškerá hmota je formována ze stejných stavebních bloků, je jedním z původních konceptů vědy. Nynější pohled na tento koncept – atomy jsou základní částice – je zásadní pro naše vnímání obecnosti mezi systémy ve vědě. Obecnost částí systému doplňuje obecnost zákonů mechaniky (klasické nebo kvantové), které řídí jejich pohyb. V biologii tvoří základ vědeckých studií společné molekulární a buněčné mechanismy nejrůznějších organismů. Ještě obecnější (univerzální) než jednotlivé části jsou však dynamické procesy variace a selekce, které nějakým způsobem vyvolávají vývoj organismů [41].

„Všechny modely jsou špatné, ale některé jsou užitečné“

(G. Box, W. Edwardson)

Tento kontroverzní citát, který je připisován statistikovi Georgi Boxovi (ačkoli někdy bývá připisován W. Edwardsovi) je poměrně výstižný. Jsou vědci, kteří se s výrokem ztotožňují, jiní ho zase zavrhnou. Model je vždy zjednodušením či abstrakcí reality. Jinak by to nebyl model. Model se vždy něčím od reality liší, ač se jí snaží napodobit sebevíc. Modely jsou užitečné zvláště díky zjednodušením, jelikož dobrý model je založen na těch důležitých bodech reality a ty nedůležité, nepodstatné skrývá. Ovšem jen některé modely jsou užitečné, jiné zase nikoli.

2.3 Ekosystémy a jejich modely

Odvětví ekologického modelování se v průběhu let stalo neuvěřitelně složitým. Na vině je fakt, že s rostoucí úrovní technologie, lze pokládat stále složitější otázky. Ovšem složitější otázka vyžaduje složitější odpověď, která následně vyvolá další otázky. Existuje celá řada metod založených na statistice [42],

zabývající se zpracováním dat a modelací velmi složitých systémů. Zásadní otázka ovšem nastává v okamžiku zjištění, jak ony metody nejlépe využít pro danou konkrétní aplikaci, protože mnohé metody nepodporují jednoduchou kvantifikaci. Následující otázkou je výsledná interpretace informací zvláště pak informací nových, které při procesu modelování vznikají.

Ekosystémy vykazují většinu charakteristických znaků, které obecně charakterizují komplexní systémy. Na druhou stranu, ne všechny modelovací nástroje vhodné pro modelování komplexních systémů jsou vhodné pro modelování ekosystémů. V následujícím malém přehledu jsou představeny některé modelovací přístupy používané v poslední době pro modelování komplexních systémů:

- Systémově ekologický přístup, např. [43],
- Konceptuální modelování, např. [44],
- Pravděpodobnostní a statistický přístup, např. [45],
- Fyzikální přístup, např. [46],
- Stavový přístup, například [47], [48],
- Simulační přístup, např. [49],
- Přístup strukturálních invariantů, např. [50], [A.1], [A.2].

Kapitola 3

Metody interpretace a predikce

Metod umělé inteligence pro interpretaci a následnou možnou predikci stavů ekosystémů je celá řada. V této kapitole bych chtěl uvést jen některé z nich. První část kapitoly se zaměřuje na pojmy interpretace a predikce z obecného pohledu a podkapitolách 3.2 a 3.4 jsou uvedeny přístupy k predikci stavů ekosystému, které byly prakticky vyzkoušeny. V kapitole 3.3 je uvedena matematická struktura matroidu, která je využita k úloze interpretace a eventuální predikce.

3.1 Interpretace a Predikce

Interpretace a predikce jsou dva pojmy velmi rozšířené na všech polích výzkumu. Interpretace je v úvodu kapitoly diskutována v obecnosti. V závěru podkapitoly jsou vyjmenovány některé predikční metody, které nejsou přímo souvislé s touto prací, ale je nutné se o nich v tomto kontextu zmínit.

3.1.1 Interpretace obecně

Slovo „Interpretace“ je poměrně velmi známý a používaným termín, leč pod kterým si každý představí něco jiného, a to hlavně na základě jeho vzdělání nebo zkušeností. Ve světě existuje i několik skupin (např: Interpretation Canada), které se zabývají interpretací jako takovou v různých odvětvích (zákony, tlumočení, technologie, environmentální a přírodní procesy, atd...) a snaží se sdružovat výzkumníky v této oblasti pořádáním konferencí.

3.1.2 Predikce

Predikcí se rozumí předpověď, jinými slovy predikujeme-li nějakou událost, myslíme tím prohlášení o tom, co se stane v budoucnosti. Predikce, chceme-li předpovědi je otázka stará jak lidstvo samo. Už odnepaměti se člověk zajímal, co bude další den, nehledě nato, že si jistě pokládal otázku, co bude jíst. to je ale už trochu jiná predikce. Ať už predikujeme počasí, měnovou reformu či vítěze mistrovství světa ve fotbale, tak předvídání nějaké události či stavu je často doprovázeno tvrzením, že k ní dojde dříve, než se stane. Tato asociace je pravděpodobně příčinnou představou, že se predikce vždy musí týkat budoucnosti.

Ve vědeckých souvislostech se však predikce často charakterizují jako její implikace nebo důsledky bez ohledu na časová omezení. Predikovat znamená tvrdit něco o věcech, které ještě nejsou známy, nikoli nutně o událostech, které ještě nenastaly. Predikce samozřejmě nemůže být tak jednoduchá, protože jedním ze způsobů, jak něco poznat, je správně to předpovědět na základě dobře potvrzené teorie. Z toho ovšem vyplývá, že úspěšná predikce je velmi cenná, protože jde nad rámec již známého, ale stejná vlastnost činí predikci ze své podstaty riskantní. Riskantností vědecké predikce se zabýval Karl Popper [51], kde označil ochotu dělat riskantní predikce za to, co odlišuje skutečnou vědu od pseudovědy. Skutečná věda, podle Poppera, vyžaduje teorie, které jsou korektní, jen pokud jsou vyvratitelné.

Pro predikci se často používá synonymum prognóza. Je to jakékoli tvrzení o tom, jaká neznámá veličina nebo stav byl, je nebo bude, založené pouze na předpokládaném porozumění fungování přírodních systémů. Vědecké chápání je jako mechanistické porozumění tomu, jak přírodní systémy fungují. V kontextu celé práce je význam predikce zaměřená na predikci v ekologických modelech.

3.1.2.1 Predikce v ekologických modelech

Kvantitativní predikce jsou v ekologii všudypřítomné, přesto se o povaze predikcí v této oblasti diskutuje jen omezeně. Je tu totiž zásadní otázka. Jak moc je příroda předvídatelná? Tato otázka je pro ekologii klíčová, ať už je jejím cílem pochopení přírody z empirického hlediska nebo z hlediska modelování (případně řízení) přírodních systémů. Ekologové provádí měření v terénu nebo v laboratořích s cílem najít zákonitosti ve světě přírody. Přitom se opírají o pozorování

a experimenty, aby ověřily hypotézy o tom, jaké procesy vedou ke konzistentním a předvídatelným výsledkům a aby je odlišili od událostí, které vznikají náhodně.

Predikce vycházejí z vědecké teorie navrženého popisu fungování enviromentálních systémů. Bez teorií a modelů, které z nich vycházejí, neexistují žádné předpovědi. I zde používáme velmi širokou definici pojmu "model" či "modelování" - model je jakýkoli popis toho, jak by mohl ekosystém (environmentální svět) fungovat. Modely mohou mít mnoho podob. Mohou to být slovní popisy, fyzikální konstrukce, logické vztahy nebo matematické rovnice, ale každý potenciálně užitečný model musí předpovídat nějaký neznámý stav tohoto systému.

3.1.3 Přehled některých predikčních modelovacích metod

Jak již jsme v úvodu této kapitoly nastínili, predikčních metod je celá řada a některé z nich jsou vyjmenované v tabulce (tab 1. - tabulka se vztahuje k úspěšnosti uvedených metod pro predikci spotřeby zemního plynu). Tyto metody jsou stručně představeny v následujících podkapitolách.

Tabulka 1: Přehledová tabulka predikčních metod

Predikční metoda	Počet zdrojů	MAPE (%)
Neuronové sítě	8	5.74
ANFIS	3	3.5
Šedé modely	4	4.22
SVM/SRM	3	3.42
Genetické algoritmy	1	2.4
Statistické modely	7	6.81
AR, ARMA, ARIMA	8	10.2
Hybridní modely	4	7.54

“Mean Absolute Percentage Error” neboli střední absolutní procentní chyba (MAPE). Je nejběžnějším měřítkem používaným pro predikci chyby a funguje nejlépe, pokud v datech nejsou žádné extrémy (a žádné nuly). Matematické vyjádření je podle rovnice:

$$M = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (3.1)$$

kde:

- n je počet přiřazených bodů,
- A_t je skutečná hodnota,
- F_t je předpokládaná hodnota.
- Σ je součtový zápis (absolutní hodnota se sčítá pro každý predikční bod v čase).

MAPE se využívá poměrně běžně, jelikož interpretace výsledku je jednoznačná. například pokud hodnota MAPE dosáhne 9,5 %, znamená to, že průměrný rozdíl mezi skutečnou a predikovanou hodnotou je 9,5 %. Z toho plyne, že čím je hodnota MAPE menší, tím je predikce modelu přesnější.

3.1.3.1 Neuronové síť

Neuronové síť [52], též také umělé neuronové síť, jsou strukturně inspirovány lidským mozkem a napodobují způsob, jakým si biologické neurony navzájem předávají signály. V kontextu práce jsou uvažovány zejména síť MLP a síť s funkcemi s radiální bází. Neuronové síť mají pro predikci výhodu v tom, že jsou schopny učit se na příkladech a po naučení jsou schopny vystihnout skryté i silně nelineární závislosti, a to i za přítomnosti šumu v trénovací množině. Nevýhoda spočívá v tom, že se mohou naučit závislost platnou pouze v určitém daném období a chybu predikce zpravidla nelze odhadnout.

3.1.3.2 ANFIS

Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System [53] neboli ANFIS fuzzy inferenční systém implementovaný v rámci adaptivních sítí. Architektura ANFIS se používá k modelování nelineárních funkcí, k on-line identifikaci nelineárních složek v řídicím systému a k predikci chaotických časových řad, což může přinášet

zajímavé výsledky. Bohužel predikce chaotických časových řad je náročná a obtížnější, pokud data nemají podobný vzorec.

3.1.3.3 Šedé modely

Šedé modely, respektive teorie šedých systémů, zahrnuje analýzu, modelování, predikci, řízení a rozhodování šedých systémů, poprvé navrhl profesor Deng na počátku 80. let [54]. Podle této teorie jsou známé, neznámé a polo-známé informace systému reprezentovány bílou, černou a šedou barvou. Termín polo-známá (semi-known) zde označuje nedostatek nebo nespolehlivost informací. Šedé predikční modely se široce používají v kontextu ekonomiky, vzdělávání, zemědělství, dopravy a meteorologie. Přestože jsou tyto modely oblíbené pro svou efektivitu při predikci časových řad s malým počtem vzorků, většina z nich je v podstatě lineární, což omezuje jejich použitelnost v praxi. V posledních letech se používají nové techniky optimalizace šedého modelu k dosažení maximální možné účinnosti predikce. Šedý model vyžaduje omezený objem dat pro odhad chování neznámého systému. Poskytuje vysoce přesné předpovědi na základě několika málo datových bodů. Na druhé straně teorie šedých modelů je nedostatečná a její matematické zdůvodnění omezené. Například šedá relační analýza není vhodná pro analýzu a výpočet negativně korelovaných řad. Šedé modelování a metoda kumulativního generování nemohou zmírnit náhodnost původních řad (viz [55]). Predikční model pomocí diferenciálních rovnic prvního řádu má nevyhnutelně určité problémy, jako jsou původní chyby, základní problémy šedé teorie, které přímo či nepřímo ovlivňují konečné výsledky modelování. Zejména některé základní obsahy šedé teorie, jako je závěr, že akumulace číselných řad může zlepšit přesnost předpovědi, nebyly ve stávající šedé teorii striktně matematicky prokázány, zatímco jako základní obsahy šedé teorie jsou tyto závěry široce aplikovány v různých aspektech námořního hospodářství a řízení a mají velký vliv na konečné výsledky a přesnost predikce.

3.1.3.4 SVM/SRM

Metody podpůrných vektorů (Support Vector Machines) a podpůrné regrese (Support Regression Machines) [56] jsou metody strojového učení s učitelem a přidruženými algoritmy učení, které analyzují data pro klasifikační a regresní analýzu. SVM/SRM jsou jednou z nejrobustnějších predikčních metod, neboť

vycházejí z rámce statistického učení a nejvíce se využívají pro klasifikaci. Výhodou SVM je efektivita ve vysoko-dimenzionálním prostoru a díky možnosti editace jádrové funkce pro rozhodovací mechanismus, je poměrně univerzální. Nevýhodou je, že z velké části záleží na vhodné volbě jádrové funkce, jelikož správnou funkci nemusí být snadné najít. Ačkoli pro lineární případ klasifikace do dvou tříd mají velkou přednost proti neuronovým sítím (teoreticky stačí pro založení klasifikátoru dva body nejbližší rozdělovací hyperpřímce), nejsou vhodné pro rozsáhlé vícedimenzionální úlohy.

3.1.3.5 Genetické algoritmy

Genetické algoritmy [57] jsou součástí evolučních algoritmů. Jsou oblíbené pro svoji jednoduchost a efektivitu se kterou dokážou řešit optimalizační problémy. Genetické algoritmy jsou inspirovány myšlenkami převzatými z biologie, kde se algoritmus používá k řešení problému strukturou ve formě chromozomu a snaží se "vypěstovat" optimální řešení za pomoci vyvíjející se populace. Výhoda genetických algoritmů spočívá v tom, že mohou být využity k různým typům optimalizačních problémů a nevyžadují důkladnou znalost o cílové funkci. Nevýhodou je jejich implementace, která není vždy přímočará. Mají také problém s nalezením přesného optima a vyžadují velké množství vyhodnocování cílové funkce.

3.1.3.6 Statistické modely

Statistické modely [58; 59], jsou matematické modely, které obsahují soubor statistických předpokladů týkajících se generování výběrových dat. Statistický model lze popsat jako statistický předpoklad (nebo soubor statistických předpokladů) s určitou vlastností. Na těchto předpokladech je založen výpočet predikce s určitou pravděpodobností. Statistický model lze je i aplikovat v případech, kde je modelovaný proces deterministický (například hod mincí je v zásadě deterministický proces, přestože se běžně modeluje jako stochastický). Nevýhodou je, že výběr vhodného statistického modelu pro reprezentaci daného procesu generování dat je někdy velmi obtížný a vyžaduje znalost jak procesu, tak příslušných statistických analýz.

3.1.3.7 AR, ARMA, ARIMA

Modely časových řad [60] AR (Autoregresní modely), ARMA (Autoregresní modely klouzavých průměrů) a ARIMA (Autoregresní integrované modely klouzavých průměrů) využívají pro predikce pozorování v $(t+1)$ na základě historických dat z předchozích časových úseků zaznamenaných pro stejné pozorování. Nicméně časová řada musí být stacionární v historických datech období přesčasů pozorování. Pokud časová řada není stacionární, pak bychom mohli na záznamy aplikovat diferenční faktor a zjistit, zda je graf časové řady stacionární přesčasové období. Tyto modely nám umožňují nahlédnout do konkrétní časové řady nebo ji alespoň dostatečně přesně predikovat. Záleží také na uživateli, který model zvolí k jeho potřebě. Pokud je pravděpodobnost chybovosti u některého z modelů menší než u ostatních, pak je výhodnější zvolit ten, který nám poskytne nejbližší odhad.

3.1.3.8 Hybridní modely

Hybridní modely jsou založeny na vytváření prediktivních modelů kombinací výše vyjmenovaných predikčních přístupů.

3.2 Fuzzy technologie

Fuzzy technologie se těší velké pozornosti výzkumníků i odborníků z praxe, kteří se zabývají zpracováním fuzzy informací. Následující kapitola se zaměřuje na některé pojmy fuzzy systémů a aproximativních uvažování. Je zaměřena především na fuzzy logiku a fuzzy modely založené na Zadehově práci. Termín "fuzzy množina" se poprvé objevil v roce 1965, když profesor Lotfi A. Zadeh z univerzity v Berkley v USA publikoval článek s názvem "Fuzzy množiny" [61]. Od té doby dosáhl mnoha významných teoretických objevů a v této oblasti se k němu rychle připojila řada výzkumných pracovníků vyvíjejících teoretické práce.

Významnou motivací pro zavedení fuzzy technologie (fuzzy množiny, fuzzy logika, fuzzy modelování) byla potřeba modelovat jevy reálného světa, které jsou ze své podstaty nepřesné a nejednoznačné. Komplexní problémy reálného světa lze do jisté míry úspěšně reprezentovat pomocí „nepřesných“ pojmů přirozeného jazyka.

3.2.1 Fuzzy množiny

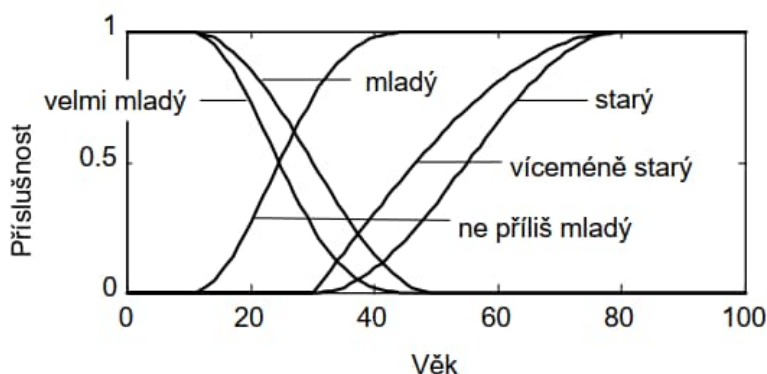
Podle Zadeha mají množiny mít více kritérií než jen kritérium „patří – nepatří“ do množiny. Vezměme si příkladem množinu mladých lidí. Dítě, kterému je 1 rok, bude dojisty patřit do této množiny a stoletý člověk členem této množiny nebude, ale co lidé ve věku 20, 30 nebo 40 let? Dalším příkladem může být zpráva o počasí týkající vysokých teplot, silného větru nebo hezkých dnů. Zadeh navrhl takovou hodnotu (stupeň) příslušnosti k dané množině, aby přechod od příslušnosti k nepříslušnosti byl spíše postupný než náhlý. Hodnota příslušnosti pro všechny její prvky (členy) tak popisuje fuzzy množinu.

Fuzzy množiny jsou rozvojem matematického pojmu množiny. Fuzzy množina je třída objektů s různými stupni příslušnosti. Taková množina je charakterizována funkcí příslušnosti (charakteristikou), která každému objektu přiřazuje stupeň příslušnosti v rozmezí od nuly do jedné.

Z výrazu (3.2) rozumíme fuzzy množinu jako množinu dvojic definovanou na univerzu $U = \{x_1, \dots, x_n\}$. Fuzzy množina A je v U charakterizována funkcí příslušnosti $\mu_A(x)$, která každému bodu v v U přiřazuje reálné číslo z intervalu $\langle 0,1 \rangle$, přičemž hodnota $\mu_A(x)$ v bodě x představuje „stupeň příslušnosti“ bodu x k množině A .

$$A = \{(x_1, \mu_1(x_1)), (x_2, \mu_2(x_2)), \dots, (x_n, \mu_n(x_n))\} \quad (3.2)$$

Funkce příslušnosti je graficky znázorněna na obrázku níže (obr. 7).



Obrázek 7: Funkce příslušnosti fuzzy množiny

Grafy funkcí příslušnosti fuzzy množin mohou mít podivné tvary, podle jejich korespondence zobrazované vlastnosti universa. Pokud ovšem zobrazují určité jazykové termíny, nejsou úplně libovolné. Pokud např. zobrazují intenzity vlastností měřených na universu reálných čísel, má velká většina těchto funkcí nemonotónní průběh. (Např. spotřeba (nafty) našeho osobního automobilu je normální, pak pro hodnoty spotřeby od nuly do tří je hodnota funkce příslušnosti nulová, pak postupně roste až k 5 l/100 km, kdy má hodnotu 1, zůstává konstantní až ke spotřebě 6.5 l/100 km a pak zase ubývá až ke spotřebě 10 l/100 km, kdy je hodnota funkce příslušnosti nulová (a nadále zůstává nulová). Druhé hledisko, které rozhoduje o možných použitelných tvarech funkcí příslušnosti, je jejich přijatelnost jako objektů manipulace při výpočtech.

Funkce příslušnosti je klíčovou součástí fuzzy množiny. Operace s fuzzy množinami jsou definované právě pomocí jejich funkcí příslušnosti. Operace s fuzzy množinou vytváří množinu novou z jedné nebo několika dalších fuzzy množin. Na fuzzy množinách definujeme tyto operace: sjednocení (3.3), průnik (3.4) a doplněk (3.5) [62].

Máme-li fuzzy množiny A a B na vzájemném univerzu, pak:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \quad (3.3)$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \quad (3.4)$$

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.5)$$

3.2.2 Kompoziční pravidlo

V tradiční výrokové logice je definováno několika inferenčních pravidel, které umožňují odvozovat na základě aktuálních dat data nová. Mezi nejznámější z nich patří modus ponens. V zobecněném tvaru lze toto pravidlo aplikovat na fuzzy množiny. Pravidlo modus ponens napodobuje lidmi nejčastěji užívaný inferenční mechanismus. Pravidlo v (3.6) lze slovně vyjádřit jako „Z vyhodnocení výroků A a implikace ($A \Rightarrow B$) lze získat závěr B“.

$$A \wedge (A \Rightarrow B) \Rightarrow B \quad (3.6)$$

Základní nevýhodou inferenčních pravidel klasické logiky je, že neumožňují pracovat s vágními či nepřesnými informacemi. Lidské uvažování je v drtivé většině založené na rozhodnutí na základě nepřesných dat. Klasická logika neumožňuje plně napodobit způsob lidského uvažování. Naproti tomu fuzzy logika se svými prostředky pracující s nepřesnými výrazy se k tomuto uvažování přibližuje.

Aby bylo možné realizovat proces usuzování i ve fuzzy logice je nutné inferenční pravidlo modus ponens zobecnit. To lze realizovat pomocí kompozičního pravidla, které představil L. Zadech ve své práci [63].

Jak již bylo zmíněno, obecné pravidlo modus ponens musí umožňovat odvezení závěru i v případě, že podmínka pravidel $A \Rightarrow B$ není zcela splněna. Zobecněné pravidlo lze zapsat jako:

$$A^* \wedge (A \Rightarrow B)^* \Rightarrow B^* \quad (3.7)$$

kde A^* a B^* jsou elementární fuzzy výroky a $(A \Rightarrow B)^*$ je implikace, která je výrokem ve fuzzy formulaci splněná jen částečně. Uvedený inferenční proces lze ve fuzzy logice realizovat s využitím operace kompozice podle rovnice:

$$B = A \circ (A \Rightarrow B) \quad (3.8)$$

Zobecněné pravidlo modus ponens lze tedy zapsat jako:

$$B^* = A^* \circ (A \Rightarrow B)^* \quad (3.9)$$

Konkrétní způsob výpočtu funkce příslušnosti prvků univerza Y do výsledné fuzzy množiny B samozřejmě závisí na způsobu realizace operace kompozice. Používá se několik kompozičních metod např, metoda Max-produkt, metoda Max-průměr a metoda Max-Min. Metoda Max-Min kompozice je však nejznámější a nejvíce používaná v aplikacích fuzzy logiky. Metoda Max-Min, jak už název napovídá, v sobě kombinuje operace sjednocení a průnik nad fuzzy množinou.

Pokud jsou univerza X a Y konečná, pak vztah definovaný podle rovnice (3.9) přechází na tvar:

$$\mu_{B^*}(y) = \max\{\min\{\mu_{A^*}(x), \mu_R(x, y)\}\}, \text{ pro } y \in Y, \forall x \in X \quad (3.10)$$

kde R je binární fuzzy implikace definovaná na kartézském součinu univerz $X \times Y$.

Fuzzy relace je důležitou operací ve fuzzy modelování. Relace jsou velmi vhodným nástrojem na popis korespondencí mezi objekty. Použití fuzzy relace vzniklo na základě pozorování, že objekty reálného života mohou být do určité míry vzájemně propojeny. Předpokladem je, že určitý objekt A je ve vztahu R s jiným objektem B do určité úrovně.

Rovnice (3.10) je předpisem pro výpočet hodnoty funkce příslušnosti k fuzzy množině B^* pro jediné y z Y . Chceme-li získat hodnoty funkce příslušnosti pro všechny prvky z univerza Y , je třeba výpočet (3.10) provést pro každý prvek z množiny y . Při aplikaci kompozičního pravidla vzniká vždy fuzzy množina.

3.2.3 Fuzzy modelování

Fuzzy modelování neboli modelování s využitím neurčitostí formalizovaných prostředků pomocí fuzzy množin a fuzzy logiky. Pojmy a metody vyvinuté v této oblasti (pověstí připisováno L. Zadehovi [61]), představují pokus o využití dobře zvládnutého formálního aparátu matematiky při popisu světa, pro operace s útvary odvíjejícími se z popisu světa pomocí přirozeného jazyka. Nejlépe tuto snahu vystihuje heslo od L. Zadeha „Počítání ve slovech“ [64], ale i názvy některých pojmů zavedených v teorii fuzzy množin, jako např. „jazyková proměnná“, „jazykový operátor“ apod. (Tento způsob modelování operací při syntéze znalostí zužuje působnost aparátu fuzzy množin a fuzzy logiky na jevy, které lze měřit – charakterizovat pomocí číselných struktur – a na jevy, které lze zachytit na úrovni přirozeného jazyka (názvy, vztahy, intenzity vztahů, pravdivost atd.). Existuje samozřejmě další velká oblast operací probíhajících při syntéze znalostí v mysli či v mozku, které „nelze vidět“ ani pomocí měřitelných kategorií ani pomocí struktur přirozeného jazyka.

3.3 Vybrané části z teorie matroidů

Teorie matroidů je velmi obsáhlá a stačila by na samostatnou jednu kapitolu. Cílem této podkapitoly je uvést speciální matematickou strukturu, která je využita v kapitole 4.

3.3.1 Matroidy

Matroidy, nezávisle na sobě, poprvé objevili Hassler [65] a van der Waerden v polovině 30. let 20. století [66]. Hassler vyvinul pojem nezávislosti a hodnosti (rank) v kontextu teorie grafů a všiml si podobnosti mezi koncepty lineární nezávislosti a dimenze z lineární algebry. Určením vlastností abstraktní "nezávislosti", díky nimž se tyto podobnosti objevily, zavedl pojem matroidu, jehož definice se ukázala jako velmi plodná. Podobně se van der Waerden zajímal o zobecnění pojmu "nezávislost" na příkladech lineární nezávislosti a algebraické nezávislosti. Krátce po počáteční práci Whitneyho a van der Waerdena si Birkhoff [67] všiml, že matroidy souvisejí s určitým typem semi-modulárních svazů, které studoval. Matroidy tak představují spojnicí mezi teorií grafů, lineární algebrou, teorií transcendent a semi-modulárními svazy. O několik desetiletí později si Edmonds povšiml významu matroidů pro obor kombinatorické optimalizace [68]. Podle Edmondse, jsou matroidy velmi blízko spjaty s pojmem hladový algoritmus (greedy algorithm). Díky tomuto vývoji se matroidy staly základem oboru lineární kombinatorické optimalizace.

Koncept matroidu je ve své podstatě spojen s pojmem "nezávislost". Hasslerova původní definice v [65] byla vedena formální podobností mezi pojmem lineární nezávislosti a grafově-teoretickou nezávislostí. Matroidy mohou být definovány několika různými ekvivalentními způsoby. V následujících podkapitolách uvedu jen některé z nich.

3.3.1.1 Nezávislé množiny

Jednou z možných definic matroidu je podle definice relace nezávislosti. Matroid je konečná množina společně se zobecněným pojmem z lineární algebry. Konečnou množinou mohou být například řádky matice a zobecňujícím pojmem

může být lineární nezávislost (resp. závislost) libovolné podmnožiny řádků matice [69].

Matroid je struktura M , která je tvořena dvojicí $M = (E, I)$, kde E je konečná množina, a I soustava podmnožin množiny E jinak zvaných nezávislé s těmito vlastnostmi:

- a) I je neprázdná
- b) Je-li $A \in I$, pak pro každou podmnožinu $B \subseteq A$ platí $B \in I$, tedy I je dědičná
- c) Jestliže $X \in I$ a $Y \in I$, a X má více prvků než Y , pak existuje prvek $x \in X - Y$, že $Y \cup \{x\} \in I$.

Množiny E a I se nazývají nosná množina a systém nezávislých množin matroidu M .

Ústředním pojmem pro konstrukci matroidu je relace nezávislosti. Relací nezávislosti byla zkonstruována celá řada. Často se pro relaci nezávislost používá relace závislosti DNT. Jen pro příklad uvádíme jednu z nich, (která bude použita v podkapitole 4.2.3.1 pro konstrukci báze matroidu).

Definice binární relace DNT: Prvky $x_1, x_2 \in Q$ jsou závislé $DNT(x_1, x_2|O)$ jestliže jedna (dvě, tři nebo čtyři) z následujících podmínek platí:

- 1) Prvky x_1, x_2 mají podíl na dosažení cíle O stejným nebo podobným způsobem, stejnými nebo podobnými prostředky a principy, s přihlédnutím k prvkům z Q . (Expertní kritérium)
- 2) Existují změny (variace) x_1 , které jsou spojeny se změnami (variace) x_2 – s přihlédnutím na cíl O a na prvky z Q .
- 3) Aplikace x_1 , implikuje aplikaci x_2 – s ohledem na cíl O a s ohledem na prvky z Q .
- 4) Aplikace x_1 , vylučuje aplikaci x_2 – s ohledem na cíl O a s ohledem na prvky z Q .

V našem případě se jedná o cíl O : "Nastavit energetickou rovnováhu v uvažovaném ekosystému"

3.3.1.2 Báze matroidu a kružnice

Pokud množina není nezávislá, nazývá se závislá. Vlastnost b) z definice matroidu v předchozím odstavci znamená, že každý matroid je jedinečně určen systémem maximálních nezávislých podmnožin, nazývajících se báze, nebo minimálních závislých podmnožin, nazývaných kružnice.

Máme-li např. matroid $M(G)$ grafu G , který odpovídá množinám hran kružnic G . Použitím vlastností a), b) a c) z definice matroidu, lze ukázat, že systém \mathcal{C} kružnic matroidu M má následující vlastnosti:

1. Prázdná množina nepatří do \mathcal{C}
2. Žádný prvek v \mathcal{C} není vlastní podmnožina jiného prvku v \mathcal{C}
3. Pokud C_1 a C_2 jsou různé prvky \mathcal{C} a $e \in C_1 \cap C_2$, pak $C_1 \cup C_2 - \{e\}$ obsahuje prvek \mathcal{C}

Máme-li množinu B , která je množinou podmnožin konečné množiny E , pak B je systém bází matroidu nad E právě tehdy, pokud B splňuje tyto následující podmínky:

1. B je neprázdná
2. Pokud B_1 a B_2 jsou prvky B a $x \in B_1 - B_2$, pak existuje prvek $y \in B_2 - B_1$ takový, že $(B_1 - \{x\}) \cup y \in B$.

Vlastnost 2. je tzv. výměnný axiom, tedy třetí vlastnost z definice matroidu.

Máme-li množinu B a dvě báze B_1 a B_2 a z báze B_1 je odebrán prvek a následně z báze B_2 přidám prvek do báze B_1 , máme opět bázi. Tato vlastnost plyne triviálně z bodů 1. a 2. Pokud množina B splňuje tuto vlastnost, pak libovolné báze jsou stejně velké. Dokazuje se sporem:

Předpokládejme $|B_1| > |B_2|$. Vezmeme-li prvek $e \in B_1 \setminus B_2$ a aplikujeme druhou podmínku, získáme opět bázi, stejně velkou. Tímto postupem pokračujeme, dokud nedojdou prvky $e \rightarrow$ vznikne něco většího než B_2 .

3.4 Metoda aproximace interpretační funkce

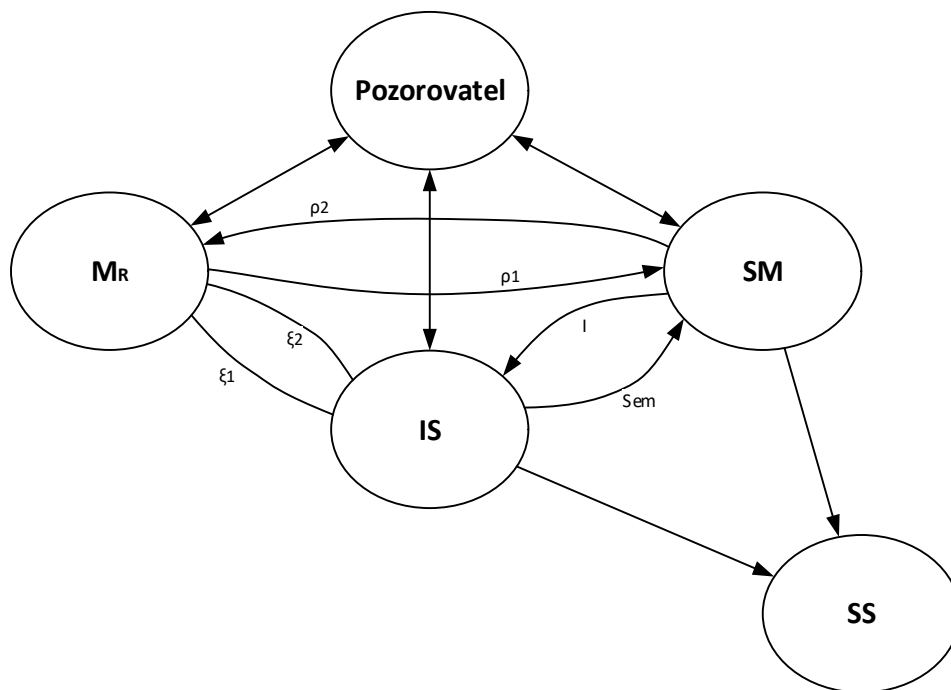
Následující podkapitoly jsou převzaty z publikací [50], [A.2] a [A.3].

3.4.1 Struktura modelu

Strukturní kvalitativní model, popisovaný v této podkapitole, reprezentuje popis světa (systému) dvěma způsoby.

- Množinou prvků
- Množinou vazeb mezi prvky

Oba způsoby jsou spojeny s určitou úrovní konceptualizace. Tyto kategorie jsou v tomto případě rozděleny do MR, IS, SM a SS.



Obrázek 8: Struktura kvalitativního modelu [50]

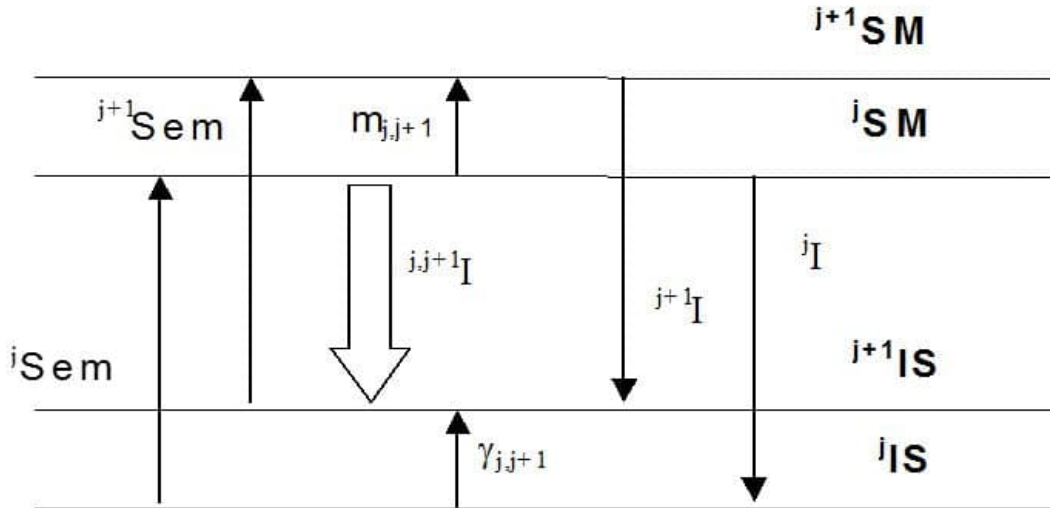
3.4.2 Model reality (MR)

Model skutečnosti je primárně určen k reprezentaci popisu světa (nebo jeho fragmentu), ve kterém se nacházíme. Tato reprezentace je podmíněna lidským vnímáním. (smysly, (mohou být zesíleny umělými senzory – brýle, čočky), kulturou, osobními zvyky a aktivitami). Model skutečnosti je v daném kontextu proveden na pozadí hlubší reality, která je považována za neznámou. Jinými slovy – Modelová skutečnosti je model „skutečné“ reality. Jako příklady lze uvést: „Les“, „Oceán“, „Křižovatka“ atd...

3.4.3 Interpretační prostor (IS)

Interpretační prostor se vyvíjí postupně jako soubor „záznamů“, které pronikají do Pozorovatele z Modelu skutečnosti. Kromě toho obsahují také naše vlastní znalosti (informace, úvahy) o těchto „záznamech“. Jejich hodnocení, vysvětlení, popisy využití atd. Množina těchto záznamů je ovšem příliš velká na jeden objekt (nebo jev). IS lze popsat jako vrstvenou strukturu s relacemi (výměnou informací) mezi vrstvami. Existence těchto „korespondencí“ (může být zobrazení) je ze zkušenosti dobře známa, neznámé jsou ale jejich vlastnosti. Kromě toho je důležité, aby naše mysl s IS nepracovala jako s celkem, ale aby si vybírala určité fragmenty, na které pak zaostřila pozornost. Interpretační prostor si představujeme jako fragmentovanou mapu obsahu, která pokrývá náš svět – IS je definována jako víceúrovňová struktura.

$$IS = \langle \{ {}^j IS, {}^j \xi \}, \{ \gamma_{j,j+1} \}, j = 1, \dots, k \rangle \quad (3.11)$$



Obrázek 9: Spojení v Interpretacním prostoru

3.4.4 Znakový model (SM)

Znakový model je také víceúrovňová struktura a je popsána jako:

$$SM = \langle \{ {}^j SM \}, \{ m_{j,j+1} \}, j = 1, \dots, k \rangle \quad (3.12)$$

kde $\{ {}^j SM \}$ je množina vrstev Znakového Modelu a $\{ m_{j,j+1} \}$ jsou transformace z vrstvy $\{ {}^j SM \}$ do vrstvy $\{ {}^{j+1} SM \}$.

Vrstva $\{ {}^j SM \}$ může mít různé formy vhodné pro konstrukci znakových struktur.

Jednou z takovýchto forem je struktura:

$$SM = \langle \langle {}^j X, {}^j F, {}^j V \rangle, \langle {}^j G, {}^j W \rangle, \langle {}^j f_1, \dots, {}^j f_m \rangle, \langle {}^j v_1, \dots, {}^j v_m \rangle, {}^j I \rangle \quad (3.13)$$

kde ${}^j X$ je množina základních znaků (symbolů), ${}^j F$ je množina symbolů operací (včetně konstant pro operace nulového řádu), ${}^j V$ je množina symbolů relací, ${}^j G$ je symbol pro gramatiku znakových formací, ${}^j W$ je množina slov sestavených gramatikou ${}^j G$. Pravidla symbolických manipulací zapsaných v procedurální podobě a ovlivňující množinu proměnných a konstant jsou obsažena v množině ${}^j f_1$. Operace ovlivňující prvky ${}^j f_1$ jsou obsaženy v množině ${}^j f_2$ atd. Množina ${}^j v_1$ obsahuje morfologické relace na množině znakových formací ${}^j W$, množina

jv_2 obsahuje morfologické relace v množině jv_1 , množina jv_3 obsahuje morfologické relace na množině jv_2 atd. jI je interpretační funkce ve vrstvě j . jI představuje interpretační proces z jSM do jIS a obsahuje nástroje na interpretaci symbolických útvarů jW do jFrag , tj:

$${}^jI: {}^jW \rightarrow {}^jFrag, \quad \text{kde } {}^jFrag \subset {}^jIS \quad (3.14)$$

Poznámka: Ve srovnání s IS není nutné věnovat pozornost fragmentové funkci ze SM. Ze zkušenosti je známo, že model zahrnující vše neexistuje. Existují tisíce modelů, a zvláště symbolických modelů, které nepotřebují vzájemné přímé propojení a naopak, že mohou cíleně figurovat ve větším systému znakových modelů.

3.4.5 Vztah mezi interpretačním prostorem a znakovým modelem

IS a SM jsou ve fázi počátečního vnímání ve vzájemném vývoji. IS je stále pod vlivem MR a adaptuje své objekty, jevy a události do vnitřních reprezentací. Podobně je SM modifikován aktivitami pozorování, experimentování a modelování reality nebo aktivitami vlastního vývoje (pozorování, experimentování, modelování a simulace). Hrubý obraz těchto vzájemných efektů a vlivů je ukázán na obrázku (obr. 8). Přidělení interní reprezentace IS ve vrstvě „j“ znakům a znakovým formacím v jSM je reprezentováno funkcí jSem (sémiotická funkce). Podobně též přiřazení znaků a znakových formací v „j“ - té vrstvě jSM do sémantického konceptu a významu v jIS je reprezentováno funkcí jI – interpretační funkce. Soubor funkcí konexe:

$$\langle {}^jSem, {}^jI, \gamma_{j,j+1}, m_{j,j+1} \rangle \quad (3.15)$$

je uveden jako „ ${}^jSem - {}^jI$ connections“ a je označen jako $\langle {}^jSem, {}^jI \rangle$. Všechna ${}^jSem - {}^jI$ connections“ jsou společně označena $\langle {}^jSem, {}^jI \rangle$ (pro všechna $j=1, \dots, k$)

$$\langle Sem, I \rangle = \langle \langle {}^j Sem, {}^j I \rangle \rangle, j = 1, \dots, k \quad (3.16)$$

Spojení jsou podrobně definována podle objektů a jevů ve vrstvách ${}^j IS$ respektive ${}^{j+1} IS$. Celý diagram týkající se spojení je na obrázku (obr. 9).

Diagram na obrázku (obr. 9) obsahuje jednu empirickou znalost, která je jedním z hlavních principů: funkce ${}^{j,j+1} I$ není obecně dosažitelná konstruktivní cestou za použití známých komponent $\gamma_{j,j+1}$, $m_{j,j+1}$, ${}^j I$ (tj. nemá následující rovnici).

$${}^{j,j+1} I = \gamma_{j,j+1} \circ {}^j I = {}^{j+1} I \circ m_{j,j+1} \quad (3.17)$$

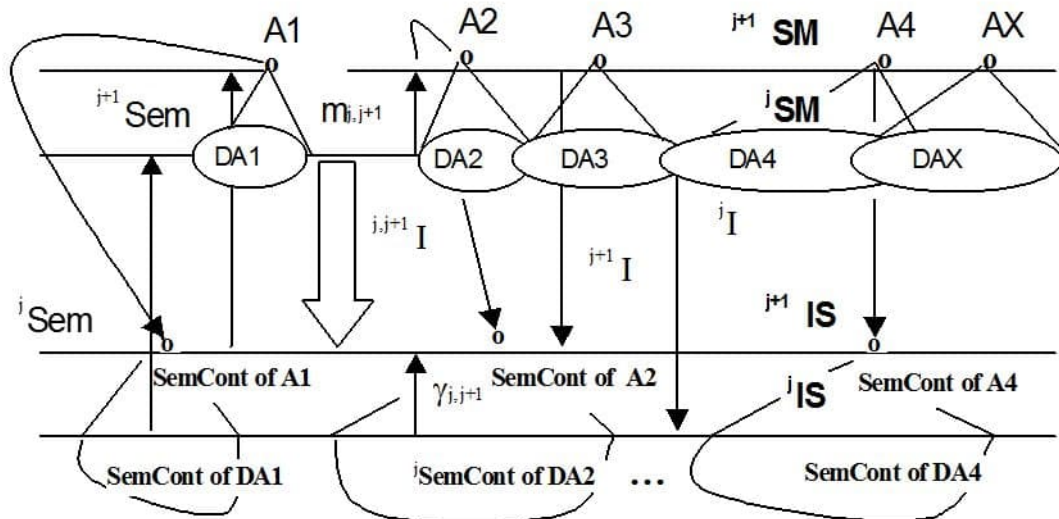
Výraz (3.17) naznačuje dvě skutečnosti:

- Pokud se nějaký neznámý znak (znaková struktura) objeví ve vrstvě ${}^j SM$, není možné zjistit jeho sémantický obsah ve vrstvě ${}^{j+1} IS$ konstruktivní cestou.
- Pokud se nějaký neznámý znak (znaková struktura) objeví ve vrstvě ${}^j SM$, není možné jej transformovat ve vrstvě ${}^{j+1} SM$ a pak zjistit sémantický obsah transformované struktury ve vrstvě ${}^{j+1} IS$.

Tyto skutečnosti jsou důsledkem emergentního procesu, který přichází zvenčí (a může být z "místní budoucnosti"). Formální a kognitivní nástroje (včetně "mapování, spojení a inferencí") poskytují cestu z historie, z minulého času, z minulých znalostí. Následující jednoduchý příklad demonstruje tento problém vzniku nějakého nového (emergentního) objektu a jeho interpretace.

3.4.6 Interpretační metoda

Uvažujme instruktivní případ (obr. 10), kde je soubor známých objektů (např. Budova univerzitního areálu) $A1, \dots, A4$ ve vrstvě ${}^{j+1} SM$. Známe jejich popisy $DA1, \dots, DA4$, jejich sémantické kontexty – $SemCont$ of $DA1, \dots, SemCont$ of $DA4$ a neznámý objekt AX s popisem DAX . Tento artefakt (znaková formace kresba, konstrukce, socha) se zdá být významná, a tudíž je zájem zjistit její funkci, sémantický obsah a význam. ($SemCont$ of AX a $SemCont$ of DAX).



Obrázek 10: Interpretace neznámé třídy AX

Objevují se zde identifikátory objektů (tříd) A_1, \dots, A_4, AX na vrstvě ^{j+1}SM a jejich popisy (DA_1, \dots, DA_4, DAX) na vrstvě jSM (Například – A_1, \dots, A_4 jsou budovy v univerzitním kampusu – Rektorát, fakulta strojní, laboratoř AŘ apod. Jejich popisy (například vektory parametrů (výška, barva, tvary)) jsou na vrstvě jSM). Ve vrstvě ^{j+1}IS je sémantický obsah objektů (tříd) $SemCont A_1, \dots, SemCont A_4$. Tyto sémantické obsahy jsou spojeny s myslí člověka, tj. závisí na jeho znalostech a nejsou reprezentovány jako znaky nebo jiné morfologické struktury („co je a jak funguje rektorát“, ..., „co je laboratoř AŘ“, ...) Podobně, ale bez morfologického znázornění, jsou uvažovány sémantické obsahy $SemCont of DA_1, \dots, SemCont of DA_4$ („jaká je výška“, „jaká je barva“, ...). Množina toho „čtyř-prvku“ typu $\langle A_i, DA_i, SemCont of A_i, SemCont of DA_i \rangle$, pro $i = 1, \dots, n$ (v tomto případě je $n = 4$) je nazývána jako **Interpretační Referenční Kontext (IRC)**

$$IRC = \left\{ \begin{array}{l} \langle A_i, DA_i, SemCont of A_i, SemCont of DA_i \rangle, \dots, \\ \langle A_n, DA_n, SemCont of A_n, SemCont of DA_n \rangle \end{array} \right\} \quad (3.18)$$

Interpretační proces je soustředěn na objekt (třidu) AX a na její znakový popis DAX . Je potřeba odkrýt její neznámý sémantický obsah ve vrstvách ^{j+1}IS a jIS . (Např. „ AX je šedý 30 m vysoký betonový sloup před FIT. Co to je?). Interpretace v tomto případě závisí na vytvoření Prostoru Syntézy (SS), který patří výhradně do kompetence lidského mozku (myšlení). Jinými slovy – je zde závislost na kvalitě lidského řešitele a na excitaci myšlení navrhovanými znakovými

formacemi od IRC. Bohužel tato cesta se ubírá do oblastí psychologie a sémiologie, a to není cílem práce.

Zůstanu-li u příkladu s obeliskem, tak pokud bude výklad proveden intuitivně a sloup nebude evidentně spojen s žádným prvkem z univerzitního areálu kontextově, tak výsledek bude velmi nejistý. Zde je nutné říct, že bude nutná zvláštní metoda interpretace.

Kapitola 4

Aplikace interpretačních a predikčních metod

Tato kapitola se zaměřuje na aplikace metod pro predikci a následnou možnou interpretaci predikčních dat.

4.1 Predikce maximální teploty v daném dni pomocí fuzzy modelování

V rámci projektu Koncept Praha 07 "Řízení vlivu chladicího efektu vegetace na klima měst" jsme se zaměřovali na vliv chladicího efektu vegetace ve městě. Koncept celého projektu měl dva základní cíle:

1. Provedení studie meteorologické situace na vybraném segmentu města a zpracování dat získaných z měření ve vybrané lokalitě.
2. Vývoj softwarového systému (KlimaVeg) pro rychlé vyhodnocení vlivu vegetace na vybraném segmentu města. Systém KlimaVeg vypočítává nárůst teploty (od 8:00 do dosažení maximální hodnoty) pro předložené zadání urbánní situace s ohledem na typ a hustotu vegetace.

Studie a zpracování dat vybraného segmentu města byly v průběhu projektu publikovány v roce 2018 [A.7] a v roce 2019 [A.8], [A.9].

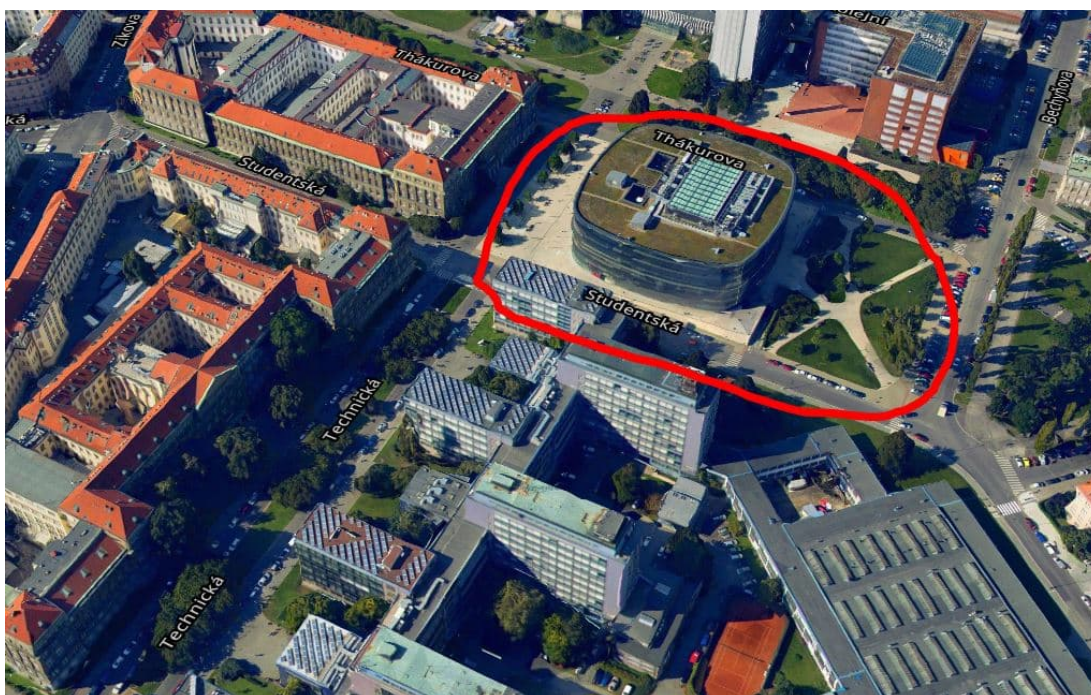
Vývoj algoritmu inferenčního modulu znalostního systému KlimaVeg, který je publikován zde [A.4], je prezentován v následujících podkapitolách.

4.1.1 Znalostní systém

Cílem výzkumu byla místa, kde došlo k zřetelnému nárůstu teplot oproti okolí, např. parkovišť, stadionů a střech domů. V celém kontextu města byla realizována měření na vybraných místech a provedena syntéza modelu. První měřicí stanice byly umístěny v areálu ČVUT v Praze označeném na obrázku (obr. 11) červeným obrysem jako první referenční segment města RSM. Byly měřeny následující veličiny:

- Čas [hodina, minuta, den],
- Teplota [$^{\circ}\text{C}$] a Vlhkost [%] ve vzdálenosti 0,3m, 1 m, 2 m od povrchu terénu,
- příchozí sluneční záření [W/m^2],
- odrazené sluneční záření [W/m^2],
- Rychlost větru (v určeném směru) [m/s].

(Všechny hodnoty veličin souvisely s časem.).



Obrázek 11: Lokality měření v kampusu ČVUT v Dejvicích

Dále byly vzaty v úvahu následující faktory související s RSM: kvalita povrchu, typ vegetace, hustota vegetace, budovy, reflexní oblasti, povrch silnic a cest, počasí, srážky v předchozích dnech, zavlažování stromů.

Po vyhodnocení vlivu těchto veličin a faktorů na rozdíl mezi maximální teplotou T_{max} a teplotou v 8:00 ráno $T_{(8:00)}$ ve dne, byl vytvořen znalostní (fuzzy) model s 20 vstupními proměnnými (s fuzzy hodnotami ve vektoru \mathbf{w}) a lingvistická proměnná C ($T_{max} - T_{(8:00)}$) s fuzzy hodnotami (**C1**, **C2**, **C3**) pokrývajícími rozdíl ($T_{max} - T_{(8:00)}$). Síť takto založená na znalostech počítá funkci:

$$C(T_{max} - T_{(8:00)}) = f(\lambda, \mathbf{w}, \mathbf{A}) \quad (4.1)$$

kde

- $C(T_{max} - T_{(8:00)})$ je fuzzy množina
- λ je vektor kvocientu důležitosti
- \mathbf{w} je vektor fuzzy množiny vstupů vztahujících se k prvkům fuzzy množiny $C(T_{max} - T_{(8:00)})$
- \mathbf{A} je pozorovací fuzzy množina, která se vztahuje k dané situaci ve vybraném sledovaném segmentu města.
- $\mu(x)$ je hodnota funkce příslušnosti pro daný prvek x

Fuzzy vektor \mathbf{w} je vypočten podle rovnice (4.2):

$$\begin{aligned} \mathbf{w} = & \{ \{ (Beton), \mu(Beton) \}, \dots, \{ (Silný vítr), \mu(Beton) \} \}. C1, \\ & \{ \{ (Beton), \mu(Beton) \}, \dots, \{ (Silný vítr), \mu(Beton) \} \}. C2, \\ & \{ \{ (Beton), \mu(Beton) \}, \dots, \{ (Silný vítr), \mu(Beton) \} \}. C3. \end{aligned} \quad (4.2)$$

Tabulka 2: Fuzzifikace proměnných

Vstupy a výstupy	Popis hodnot při 100% naplnění sémantického obsahu
Beton	Není zde žádný jiný povrch než betonový.
Tráva	Není zde žádný jiný povrch než tráva.
Keře	Není zde žádný jiný povrch než keře.
Duby	Ve vegetaci převládají duby.
Smrky	Ve vegetaci převažují smrky.
Topoly	Ve vegetaci převažují topoly.
Vysoká hustota vegetace	Na každé 4 m ² – jeden strom.
Panelové domy	Na každých 200 m ² – jeden panelový dům.
Rodinné domy	Na každých 200 m ² – čtyři rodinné domy.
Rekonstrukční budovy	Na každých 200 m ² – jedna reflexní budova.
Asfaltové cesty	Na každých 100 m ² – jedna asfaltová komunikace (šířka 10 m).
Parkové cesty	Na každých 100 m ² - 5 parkových cest (šířka 3 m).
Silné sluneční záření	1000 W/m ²
Suché předchozí období	V předchozích 2 týdnech (nebo více) nepršelo.
Vlhké přechodné období	V posledních 5 dnech (nebo více) nepřetržitě pršelo.
Počasí nyní – jasno	V posledních 6 hodinách nebyla žádná oblačnost.
T _(8.00) je vysoká	Bylo naměřeno $T_{(8.00)} \geq 22$ °C.
Vysoké albedo	50 %.
Dostatečné zavlažování vegetace	Každý strom je zavlažován 10 litry vody denně.
Silný vítr	Byla naměřena průměrná rychlost větru 15 m/sec/den.
C1 – rozdíl teplot	$(T_{\max} - T_{(8.00)}) \geq 10$ °C.
C2 – rozdíl teplot	$(T_{\max} - T_{(8.00)}) \geq 20$ °C.
C3 – rozdíl teplot	$(T_{(8.00)} - T_{\max}) \geq 1$ °C.

Inferenční modul pro funkci (4.1) je založen na pravidle fuzzy kompozice podle vzorce (3.10) uvedené v kapitole 3.2.2. V tabulce (tab. 2) jsou uvedeny vstupní a výstupní proměnné s jejich fuzzy reprezentací. Reprezentace jsou zavedeny pro naplnění sémantického obsahu proměnné.

Vlastní vyhodnocení difference teploty z fuzzy množin C1, C2 a C3 se provede výpočtem pomocí pravidla o střední hodnotě:

$$(T_{max} - T_{(8:00)}) = \frac{(\mu(C1) * C1 + \mu(C2) * C2 + \mu(C3) * C3)}{\mu(C1) + \mu(C2) + \mu(C3)} \quad (4.3)$$

4.1.2 Aplikační příklad – městská zástavba

Pro první aplikační příklad je vybrán segment města z projektu Koncept Praha, a to přímo místo Dejvice. Segment je uvažován jako oblast 200x200 m plochy, která obsahuje rozličné městské struktury. Tabulka (tab. 3) níže je vytvořena podle tabulky 2 a udává expertní odhad vlivu jednotlivých vstupních/výstupních parametrů daného segmentu města.

Tabulka 3: AP1: Funkce příslušnosti daných proměnných

	C1	C2	C3	A
Beton	0.5	0.3	0.05	0.5
Tráva	0.2	0.1	0.8	0.1
Keře	0.2	0.1	0.5	0.3
Duby	0.0	0.0	0.8	0.1
Smrky	0.05	0.0	0.4	0.2
Topoly	0.1	0.0	0.5	0.1
Vysoká hustota vegetace	0.0	0.0	0.6	0.5
Panelové domy	0.8	0.5	0.0	0.3
Rodinné domy	0.5	0.3	0.0	0.0
Rekonstrukční budovy	0.3	0.1	0.0	0.8
Asfaltové cesty	0.9	0.8	0.0	0.5
Parkové cesty	0.1	0.05	0.5	0.5
Silné sluneční záření	0.6	0.5	0.0	0.4
Suché předchozí období	0.7	0.6	0.0	0.6
Vlhké přechodné období	0.0	0.0	0.3	0.2
Počasí nyní – jasno	0.1	0.1	0.0	0.6
T _(8.00) je vysoká	1.0	0.8	0.0	0.9
Vysoké albedo	0.1	0.1	0.2	0.5
Dostatečné zavlažování vegetace	0.3	0.4	0.6	0.5
Silný vítr	0.0	0.0	0.2	0.1

Ve sloupci A jsou hodnoty jednotlivých funkcí příslušnosti $\{((\text{Beton}, \mu(\text{Beton})), (\text{Tráva}, \mu(\text{Tráva})), \dots, (\text{Silný vítr}, \mu(\text{Silný vítr})))\}$ vztahující se k naměřeným datům v části města Dejvice a ve vybraném dni pozorování. (V tomto případě 19.6.2017).

$$\mathbf{C1 - teplotní diference} \quad (T_{\max} - T_{(8.00)}) \geq 10^{\circ}\text{C}$$

$$\mathbf{C2 - teplotní diference} \quad (T_{\max} - T_{(8.00)}) \geq 20^{\circ}\text{C}$$

$$\mathbf{C3 - teplotní diference} \quad (T_{(8.00)} - T_{\max}) \geq 1^{\circ}\text{C}$$

Lingvistické proměnné pro rozdíl teplot C1, C2 a C3 kde pro C1 se T_{\max} zvyšuje o 10°C a více (v porovnání s $T_{(8.00)}$) s váhou 0.9, pro C2 se teplota zvyšuje o 20°C a více (v porovnání s $T_{(8.00)}$) s váhou 0.9 a C3 kde teplota T_{\max} klesá o 1°C a více (v porovnání s $T_{(8.00)}$) s váhou 0.5 se určí podle inferenčního pravidla (3.1). Výsledná diference teploty ($T_{\max} - T_{(8.00)}$) je vypočtena jako fuzzy průměr:

$$\begin{aligned} (T_{\max} - T_{(8.00)}) &= \frac{(\mu(C1) * C1 + \mu(C2) * C2 + \mu(C3) * C3)}{\mu(C1) + \mu(C2) + \mu(C3)} = \frac{9 + 18 - 0.5}{2.3} \\ &= 11.14^{\circ}\text{C} \end{aligned} \quad (4.4)$$

Pro $T_{(8.00)} = 22,4^{\circ}\text{C}$ znamená $T_{\max} = 33,54^{\circ}\text{C}$. Naměřená hodnota (v den 19.6.2017, 15:50, ve 2m byla $T_{\max} = 32,5^{\circ}\text{C}$.

Přestože výsledky znalostního systému je třeba brát spíše jako kvalitativní fakta, přesnost výpočtu nepřesahuje chybu 3,5 % od naměřených hodnot.

4.1.3 Aplikační příklad – městská zástavba s vegetací

Pro druhý aplikační příklad je vybrán segment města z projektu [Koncept Praha] a to místo s větším podílem vegetace než v prvním příkladě. Segment je uvažován jako oblast 200×200 m plochy, která obsahuje rozličné městské struktury. Tabulka (tab. 4) níže je obdobně vytvořena podle tabulky (tab. 2) a udává expertní odhad vlivu jednotlivých vstupních/výstupních parametrů daného segmentu města.

Tabulka 4: AP2: Funkce příslušnosti daných proměnných

	C1	C2	C3	B
Beton	0.5	0.3	0.1	0.2
Tráva	0.2	0.1	0.8	0.8
Keře	0.2	0.1	0.5	0.7
Duby	0.0	0.0	0.9	0.8
Smrky	0.05	0.0	0.6	0.5
Topoly	0.1	0.0	0.5	0.4
Vysoká hustota vegetace	0.0	0.0	0.9	0.8
Panelové domy	0.8	0.5	0.1	0.4
Rodinné domy	0.5	0.3	0.3	0.0
Rekonstrukční budovy	0.3	0.1	0.4	0.0
Asfaltové cesty	0.5	0.4	0.0	0.1
Parkové cesty	0.1	0.05	0.6	0.8
Silné sluneční záření	0.3	0.4	0.0	0.4
Suché předchozí období	0.4	0.4	0.0	0.6
Vlhké přechodné období	0.0	0.0	0.7	0.2
Počasí nyní – jasno	0.1	0.1	0.2	0.6
$T_{(8.00)}$ je vysoká	0.3	0.2	0.3	0.9
Vysoké albedo	0.1	0.1	0.2	0.5
Dostatečné zavlažování vegetace	0.3	0.4	0.3	0.4
Silný vítr	0.0	0.0	0.2	0.1

Ve sloupci B jsou hodnoty bodových funkcí příslušnosti $\{(Beton, \mu(Beton)), (Tráva, \mu(Tráva)), \dots\}$. (Silný vítr, $\mu(Silný\ vítr)$) vztahující se k části města s velkým podílem vegetace a se simulovanými podmínkami pozorovacího dne jako v případě A. Případ B ilustruje vliv chladicího efektu vegetace.

$$\mathbf{C1 - teplotní diference} \quad (T_{max} - T_{(8.00)}) \geq 1^{\circ}\mathbf{C}$$

$$\mathbf{C2 - teplotní diference} \quad (T_{max} - T_{(8.00)}) \geq 5^{\circ}\mathbf{C}$$

$$\mathbf{C3 - teplotní diference} \quad (T_{(8.00)} - T_{max}) \geq 10^{\circ}\mathbf{C}$$

Lingvistické proměnné pro rozdíl teplot C1, C2 a C3 kde pro C1 se T_{max} zvyšuje o $1^{\circ}\mathbf{C}$ a více (v porovnání s $T_{(8.00)}$) s váhou 0.9, pro C2 se teplota zvyšuje o $5^{\circ}\mathbf{C}$ a více (v porovnání s $T_{(8.00)}$) s váhou 0.9 a C3 kde teplota T_{max} klesá o $10^{\circ}\mathbf{C}$ a více (v porovnání s $T_{(8.00)}$) s váhou 0.5 se určí podle inferenčního pravidla (4.1). Výsledná diference teploty ($T_{max}-T_{(8.00)}$) je vypočtena jako fuzzy průměr:

$$\begin{aligned}(T_{max} - T_{(8:00)}) &= \frac{(\mu(C1) * C1 + \mu(C2) * C2 + \mu(C3) * C3)}{\mu(C1) + \mu(C2) + \mu(C3)} = \frac{0.4 + 2 - 8}{1.6} \\ &= -3.5^{\circ}C\end{aligned}\tag{4.5}$$

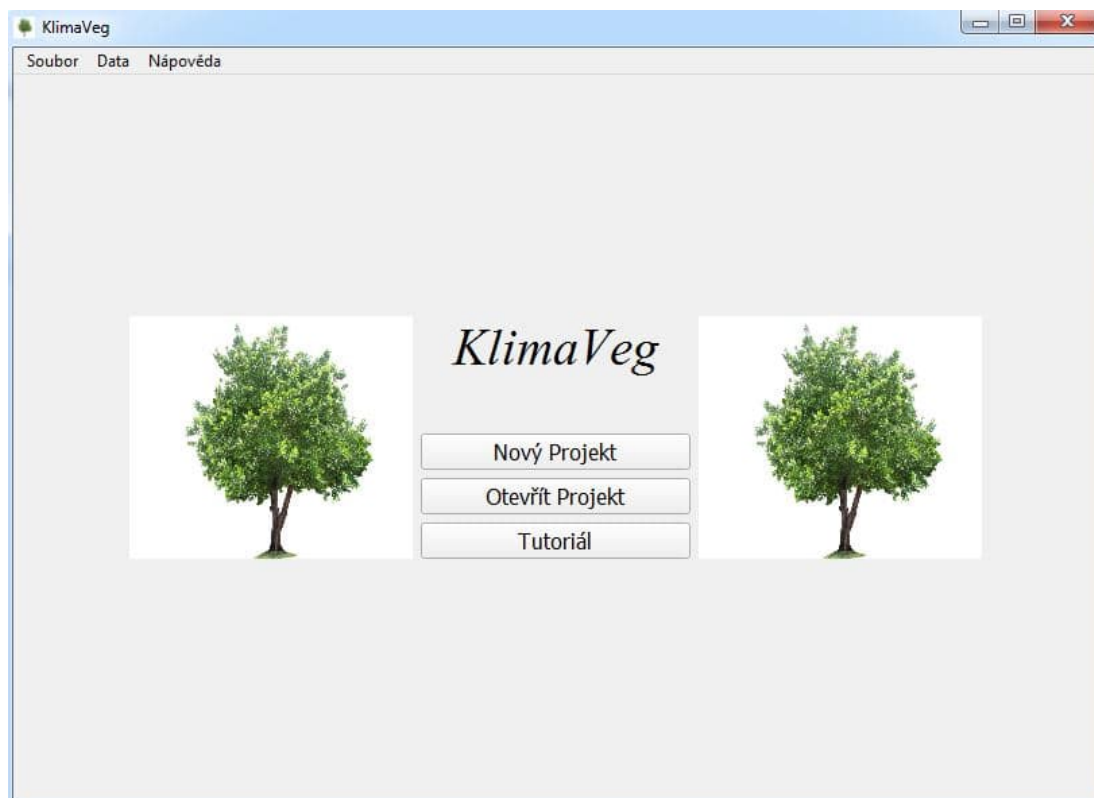
Pro $T_{(8:00)} = 22,4^{\circ}C$ znamená $T_{max} = 18,9^{\circ}C$.

Znalostní systém s nastavenými hodnotami w_A v tabulce (tab. 3) je možné použít pro fragment velkého města podobného pražským Dejvicím. Jedná se o část města s průměrným podílem vegetace a s průměrným vlivem chladícího efektu vegetace. Znalostní systém s nastavenými hodnotami w_B v tabulce (tab. 4) je možné použít pro fragment velkého města, který má více vegetace než v případě A.

4.1.4 Aplikace KlimaVeg

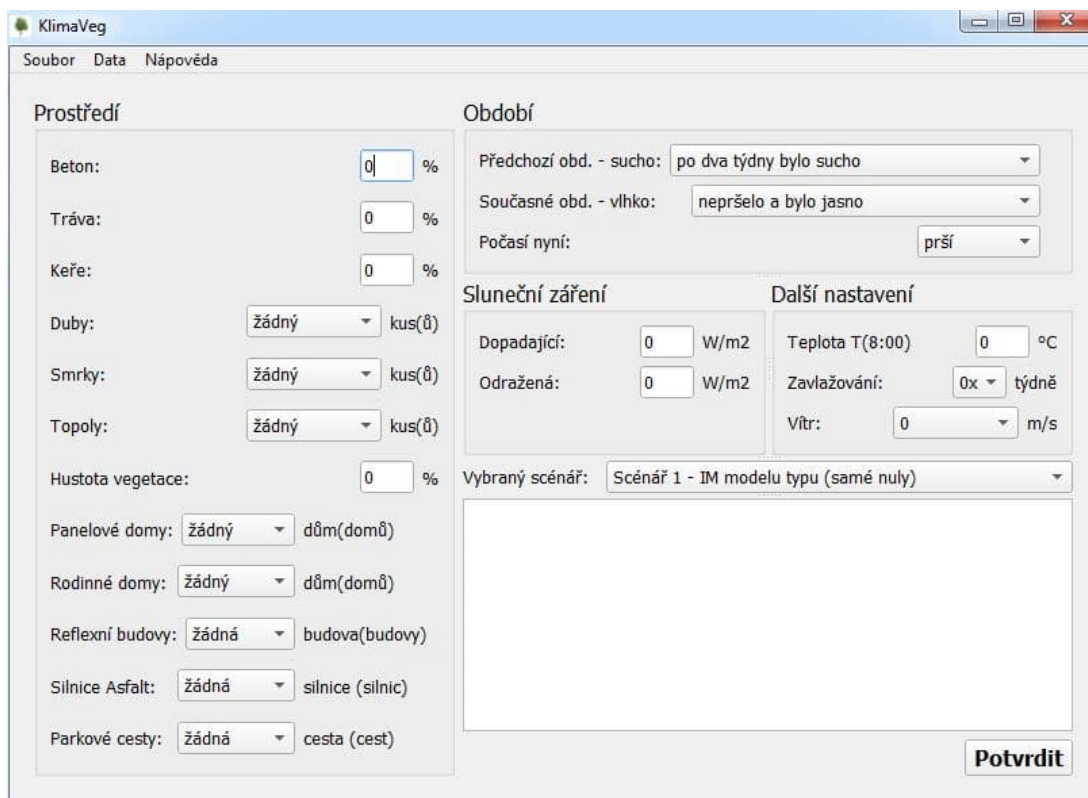
Aplikace KlimaVeg vznikla jako produkt k projektu a slouží jako rozhraní pro snadnější práci přiřazení funkce příslušnosti k daným proměnným na základě slovního popisu dané proměnné. Aplikace je implementována v jazyce Python 3.0 s využitím open source framework PySide2 pro GUI rozhraní.

Systém KlimaVeg umožňuje predikci maximální teploty potenciálně dosažitelné v daném dni. Predikce je dána s předstihem 7-10 hodin (před nastáním maximální teploty). Experimentální funkcí KlimaVegu je eventuální varování před nástupem tzv. horké vlny (Heat Wave).



Obrázek 12: Úvodní obrazovka aplikace KlimaVeg

V hlavním okně na obrázku (obr. 13) se zadávají vstupní informace o daném lokálním segmentu území města, pro které má aplikace pracovat. Pro snadnější práci bylo navrženo grafické rozhraní s expertně navrženým rozložením vstupních hodnot a referenčním rámcem jako „Vybraný scénář“.



Obrázek 13: Projektové okno aplikace KlimaVeg

Každý parametr na obrázku (obr. 13) má vlastní hodnocení (numerické anebo slovní) podle kterého je fuzzifikován a převeden na lingvistickou proměnnou s mírou funkce příslušnosti k fuzzy množině (vnitřní výpočtový algoritmus pracuje podle rovnic (4.2) a (4.3). Tabulka (obr. 5) obsahuje slovně uvedené možnosti vkladu vstupních parametrů.

Tabulka 5: Vstupní parametry aplikace KlimaVeg

Parametry KlimaVegu	Vstupní slovní hodnoty KlimaVegu
Beton	Parametr označuje poměr množství betonových objektů, které se nacházejí v USM. Patří sem např. panelové domy, silnice, náměstí atd. Zadává se v procentech %, a to poměrově oproti celku
Tráva	Parametr označuje poměr množství zatravněných objektů, které se nacházejí v USM. Patří sem např. louky, parky, trávníky, zelené střechy atd. Zadává se v procentech %, a to poměrově oproti celku.
Keře	Parametr označuje poměr množství keřů, které se nacházejí v USM. Zadává se v procentech %, a to poměrově oproti celku.
Duby	Počet dubových stromů nacházejících se v USM. Zadává se v počtu kusů.
Smrky	Počet smrkových stromů nacházejících se v USM. Zadává se v počtu kusů.
Topoly	Počet stromů topolů nacházejících se v USM. Zadává se v počtu kusů. (0-100)
Vysoká hustota vegetace	Množství vegetace, která se nachází v USM. Zadává se v procentech %. (0-100)
Panelové domy	Počet panelových domů nacházejících se v USM. Zadává se v počtu domů.
Rodinné domy	Počet rodinných domů nacházejících se v USM. Zadává se v počtu domů.
Rekonstrukční budovy	Počet reflexních budov nacházejících se v USM. Zadává se v počtu domů.
Asfaltové cesty	Počet asfaltových silnic (šířka silnice cca 4m) nacházejících se v USM. Zadává se v počtu silnic.
Parkové cesty	Počet parkových cest nacházejících se v USM. Zadává se v počtu cest.
Sluneční záření – dopadající	Dopadající sluneční radiace naměřená na měřicí stanici. Zadává se v jednotkách W/m ²
Sluneční záření – odražené	Odražená sluneční radiace naměřená na měřicí stanici. Zadává se v jednotkách W/m ²
Přechozí období – sucho	- Po dva týdny nepršelo. - po dva týdny byly vysoké teploty a nepravidelně slabě pršelo. - Dlouhotrvající sucho a vysoké teploty.
Současné období – vlhko	- Celý týden (i nyní) prší. - Po dva týdny je vlhko a nepravidelně prší. - Po dva týdny silné srážky.
Počasí nyní	- Prší, - Zataženo, - Polojasno, - Skoro jasno, - Jasno

$T_{(8.00)}$ je vysoká	Teplota změřená na měřicí stanici v 8:00. Zadává se v °C.
Dostatečné zavlažování vegetace	Týdenní zavlažování vegetace v lokaci. Zadává se v počtu za týden (0x-7x).
Silný vítr	Rychlost větru odečtená na měřicí stanici. Zadává se v m/s.
Možné scénáře	Popis scénáře
Lesopark	Park s převládající vegetací
Moderní administrativní komplex	Prosklené budovy, zeleň, nádvoří, lavičky atd.
Venkovní relaxační prostor	Prostory parků se stromy, trávníky, zatravněná sportoviště
* USM = Uvažovaný segment města	

Výpočet maximální hodnoty teploty, která bude v daném dni dosažena predikoval její hodnotu zpravidla o 6 až 8 hodin dříve, než byla dosažena. Teploty, které byly pro život ve městě důležité, se obvykle pohybovaly nad 31 °C. Takové teploty, které trvaly déle než určitou dobu (např. 3 dny) pak navozovaly nebezpečí tzv. horkých vln (Heat Waves).

Na druhé straně systém umožňoval rychlé srovnání náběhů teplot v oblasti s vegetací a bez ní.

Pro „Systém pro monitorování maximální teploty dosahované na segmentu urbánního prostředí velkoměsta v letních měsících“ byl podán a schválen užitečný vzor PUV2018-35439.

4.2 Aproximace interpretační funkce – interpretace nových stavů ekosystému

Problematika interpretace v souvislosti s vynořením emergentní situace byla publikována v článcích [23], [50], [70], [71] a [72].

V tomto případě se jedná o interpretaci inferencí nového objektu, interpretaci jako identifikaci a interpretaci jako vysvětlení. Pojem identifikace není zde přesný, protože neznáme třídu, do které bychom interpretovaný objekt zařadili. V tomto smyslu jsou typy interpretace uvedené v (3.1) stále poplatné klasické matematice, která nepracuje s objekty, pro které nemá začlenění do množin nebo tříd. Nicméně v našem případě se o takové objekty jedná („modré světélkující body na obzoru“).

Chápání interpretace jako emergence je přirozené: jev nemá cíl, nelze ho vysvětlit z jeho komponent, nemá historii.

V člancích [A.2], [A.3] a [A.5] uvažujeme detekci nebo navození emergentní situace pomocí indikace narušení strukturálního invariantu systému (komplexního systému).

Dále popsaná metoda interpretace pracuje se strukturálním invariantem „Matroid, báze matroidu“ (M, BM). Jeho narušení je zde realizováno rozšířením některé z jeho bází alespoň o jeden prvek.

Tento prvek přichází zevně matroidu a jediné, co na něm prověřujeme, je jeho nezávislost ke všem prvkům některé báze.

Tato operace činí celý proces interpretace velmi zajímavou heuristikou. Interpretant (člověk) nabízí „prověřovacímu“ systému možné kandidáty (jejichž obsah zná), které by mohly „identifikovat“ (a možná vysvětlit) interpretovaný objekt. Výsledkem interpretace je nalezený „nezávislý“ objekt.

4.2.1 Interpretační funkce

Pomocí kvalitativního popisu můžeme popsat diskrétní objekty reality pomocí diskrétních elementů (jako jsou znaky, znakové tvary, stavy, stavové trajektorie, slova, věty atd.). Z mnoha kvalitativních prostředků, které lze použít, jsou použity stavové diagramy (stavové trajektorie) a matroidy spojené do metody pro konstrukci interpretační aproximace. Pokud jde o univerzální zavedení IS a SM, jak bylo ukázáno v předešlém textu (viz kapitola 3.4), je možné odhalit aproximaci jak pro slova a věty tak pro stavy [48], [71].

V dalším textu jsou uvedeny vlastně dvě metody, které se liší interpretační otázkou.

První metoda vychází z formovaného interpretačního referenčního kontextu (IRC) a pokládá otázku: „Co tento kontext znamená?“. Z prostředí ekologického systému si uveďme příklad kontextu: „dusno, neorientované silné nárazy větru, náhlý pokles atmosférického tlaku, na obzoru temné mraky atd.“. Jinou otázkou může být: „Co tato situace znamená?“, případně s přesahem do predikce „Co bude následovat v nejbližší půl hodině?“. Laického interpretanta napadne např.: „Blíží se bouře

s možnostmi tornáda, jako v červnu 2021 na Moravě“? Metoda se, ale snaží najít interpretaci celku (i pro interpretanta, který o událostech z června 2021 neví).

Druhá metoda vychází z formovaného IRC, ale ptá se na význam (obsah) objektu (označeného v rovině ${}^{j+1}\text{SM}$ jako AXX), pro který známe jeho formu DAXX v rovině ${}^j\text{SM}$ i její interpretaci ${}^j\text{I}(\text{DAXX})$ v rovině ${}^j\text{IS}$. Cílem aplikace této druhé metody je nalezení interpretace v rovině ${}^{j+1}\text{IS}$. Tedy – „Co znamená AXX vzhledem k danému IRC?“.

4.2.2 Interpretační funkce – První metoda

Pro vysvětlení první metody není nutno zavést žádné zvláštní pojmy a vycházíme ze stavového popisu komplexního systému, z popisu matroidu, jeho bázi a Interpretačního referenčního kontextu IRC (definovaného v kapitole 3.4.6).

Stavový popis systému je dán seznamem stavů, maticí přechodů, (která odpovídá stavovému diagramu) a seznamem vyčleněných stavových trajektorií (které mají zvláštní význam). Tyto stavové trajektorie DA_i leží v rovině ${}^j\text{SM}$, známe jejich obsah SemCont of DA_i , a v rovině ${}^{j+1}\text{SM}$ mají své jméno A_i (obvykle svázané s určitým obsahem – SemCont of A_i).

Metoda je na postup velmi jednoduchá: v obou rovinách („ j “ i „ $j+1$ “) sestrojíme matroidy a jejich báze. Dále pak hledáme nové objekty (ležící mimo matroidy), které by mohly rozšiřovat báze. Pro tyto objekty prověřujeme relaci IND pro všechny prvky báze (podle počtu prvků v bázích zjistíme, kolik můžeme najít nových prvků pro rozšíření původních matroidů). Výsledkem této metody je pak celkový sémantický obsah matroidů rozšířených o nové prvky. Podrobněji v následujícím příkladu, který byl publikován v článku [A.6].

Aplikační příklad

V tomto příkladu je modelována situace narušení malého vodního cyklu ve vybraném ekosystému (třeboňská pánev v jižních Čechách). Malý vodní cyklus (popsaný v kapitole 2.1) označuje chování místního ekosystému, ve kterém se objem vody, který do ekosystému přichází, odpařuje a klesá zpět do tohoto systému. V třeboňském ekosystému odpařená voda rychle stoupá k přenosové hladině a nestihne zkondenzovat, než je přenesena mimo ekosystém do vzdálených hor, kde samovolně kondenzuje ve stoupajících proudech vzduchu (vzhledem k obrovským objemům par, které jsou přenášeny, je kondenzace velmi dynamická a někdy vede k přívalovým lijákům).

K výpočtu hledané emergentní situace přistupuje ze stavového modelu:

Stavový model – Stavý:

x1: Vysoká rychlost proudění v přenosové hladině atmosféry (200 m nad povrchem krajiny),

x2: Vysoká úroveň slunečního záření,

x3: Snížený pokryv krajiny vegetací,

x4: Nízká nasákavost půdy,

x5 Snížený objem podzemních vod,

x6: Nevhodné složení půdního podloží.

Definujeme relace $DNT(x1, x2)$, $(IND(x1, x2))$ atd.

Tabulka 6: Relační tabulka

DNT	x1	x2	x3	x4	x5	x6
x1	1	1	0	0	0	0
x2		1	1	0	0	0
x3			1	1	*	0
x4				1	1	1
x5					1	1
x6						1

Analýzou relace $DNT(x_1, x_2)$ ("1" $DNT(x_1, x_2)$ platí, "0" $DNT(x_1, x_2)$ neplatí a "*" otázka nad $DNT(x_1, x_2)$ není na místě) se získá základ matroidu.

Prohledáním tabulky (tab 6.) zjistíme jednu tříprvkovou bázi:

$$B_1 = \{x_1, x_3, x_6\} \quad (4.6)$$

To znamená "vysoká rychlost proudění v přenosové hladině atmosféry", "snížený pokryv krajiny vegetací" a "nevhodné složení půdního podloží".

Posledním krokem, který je nutné realizovat, je najít stav, který může tento základ rozšířit. Pokusíme se najít tři další stavy, které mohou přispět k narušení malého vodního cyklu a alespoň jeden rozšíří bázi B_1 .

Takovými třemi stavy mohou např. být:

x7...Snížení počtu zásobníků vod (potoky, jezera, rybníky),

x8...Nárůst antropogenních vlivů v regionu (např. průmyslová činnost),

x9 ...Dlouhodobě suchá lokální atmosféra, (suchá půda)

Z těchto tří efektů, stav x8 a pravděpodobně i stav x7 rozšiřují B_1 na B_2 a může vyvolat emergentní situaci "narušení vodního cyklu“:

$$B_2 = \{x_1, x_3, x_6, x_8\} \text{ nebo } \{x_1, x_3, x_6, x_7\} \quad (4.7)$$

Konečnou situací je možná emergence vzniku pouštní krajiny. Důsledky narušení malého vodního cyklu by mohly být považovány za příčiny a počátky vzniku narušení velkého vodního cyklu (viz kapitola 2.1.3) a může vést k devastaci krajiny, která byla původně pokryta lesy a loukami (např: Yucatan v Mexiku, jihozápadní poušť v USA, Sahara v Africe a mnoho dalších).

Závěrem je dobré poznamenat, že navrhovaná metoda umožňuje odhalit nejen "negativní" emergentní situace, ale také situace, které chápeme jako "pozitivní", např, návrat raků do našich potoků a řek.

4.2.3 Interpretační funkce – Druhá metoda

Pro vysvětlení druhé metody je ale potřeba zavést několik nových konceptů:

Uvažujme množinu jW ve vrstvě jSM , která obsahuje slova (věty) a množinu $B({}^jW)$, která obsahuje znakové formace (věty, slova, stavové diagramy).

Poznámka: Pro každé slovo, větu, stav atd. je předpokládán známý sémantický obsah – tj. je známý úplný interpretační referenční kontext IRC

- i. Uvažujme větu (stavový diagram) ${}^jw \in B({}^jW)$ s názvem X na vrstvě ${}^{j+1}SM$. Koncept reprezentace $rep({}^jw)$ je uvažován jako sub-věta (sub-stavový diagram) který aproximuje originální větu.

Poznámka: Reprezentace je ve vrstvě znakového (symbolického) modelu jSM . Je definována podle struktury nikoli podle sémantického obsahu. Nicméně ve standardní lingvistické situaci (v přirozené řeči) se tyto úrovně překrývají a lze najít reprezentaci $rep({}^jw)$ podle sémantického obsahu.

- ii. Zkonstruujeme Matroid a jeho bázi [48] (M, MB) na jW , tj. na množině slov (stavů). Báze matroidu je konstruována jako maximální množina nezávislých prvků.
- iii. Uvažujme novou větu ${}^jw_n \in B({}^jW)$ (stavová trajektorie, stavový diagram) s názvem AX ve vrstvě ${}^{j+1}SM$. Chceme interpretovat AX do vrstvy ${}^{j+1}IS$ (tj. zjistit její neznámý sémantický obsah). Pokud taková věta jw_n obsahuje slovo (stav, množinu stavů) z některých bází matroidu, deklaruje se jako představitel

$rep({}^j w_n)$ této nové věty. Pokud takové slovo neexistuje, věta není interpretovatelná do ${}^{j+1}IS$.

- iv. Interpretace reprezentace $rep({}^j w_n)$ do vrstvy jIS je dosažitelná pomocí zobrazení interpretace jI tj ${}^jI(rep({}^j w_n))$.
- v. Aproximace (*App*) interpretace X do vrstvy ${}^{j+1}IS$ se konstruuje pomocí rozšíření (*EXT*) výsledku interpretační operace ${}^jI(rep({}^j w_n))$. Takto je dosaženo hledané zobrazení ${}^{j,j+1}I$ z obrázku (obr. 9) pro neznámé $\gamma_{i,j+1}$.

Výrazem $rep({}^j w_n)$ je myšlena množina (nebo prvek), který je zároveň prvkem některé báze. Jestliže hovoříme o rozšíření báze zvnějšku, nemůže to být žádný z prvků původního matroidu.

$$\gamma_{i,j+1} \circ {}^jI({}^j w_n) = \text{EXT}({}^jI(rep({}^j w_n))). \quad (4.8)$$

a platí

$$\text{EXT}({}^jI(rep({}^j w_n))) = {}^jI(\text{EXT}(rep({}^j w_n))). \quad (4.9)$$

V případě, že systém má například „n“ bází, tak celé rozšíření je následující:

$$\text{EXT}_c(rep({}^j w_n)) = \text{EXT}_1(rep({}^j w_n)) \cup \dots \cup \text{EXT}_n(rep({}^j w_n)) \quad (4.10)$$

$${}^{j+1}IC = \text{App}({}^{j,j+1}I({}^j w_n)) = \text{Em}({}^jI(\text{EXT}_c(rep({}^j w_n)))) \quad (4.11)$$

Výraz ${}^jI(\text{EXT}(rep({}^j w_n)))$ je v tomto případě rozuměn, jako interpretace všech slov (stavů), které mohou tvořit věty s $rep({}^j w_n)$. Aplikační aproximace $\text{App}({}^{j,j+1}I({}^j w_n))$ představuje integrální obsah ${}^{j+1}IC$ z ${}^jI(\text{EXT}_c(rep({}^j w_n)))$ ve vrstvě ${}^{j+1}IS$. Symbol *Em* označuje operátor emergence.

4.2.3.1 Aplikační příklad interpretace nové stavové struktury

V této části je představena aplikace navržené metody interpretace v oblasti globálních změn klimatu.

Uvažujme jednoduchý stavový model, který popisuje trendy změn vybraných parametrů:

Stavový model – Stavý:

Q1: Nárůst množství skleníkových plynů v zemské atmosféře,

Q2: Zvýšení průměrné teploty v kritických místech Země (zemské póly, velká města),

Q3: Zvýšení chladícího účinku vegetace (pokrytí půdy mokřady, lesy a loukami),

Q4: Zvětšení reflexních ploch (parkovací plochy, střechy domů, kukuřičná pole, atd).

Cílem aplikace interpretační metody z je interpretovat neznámý stav Q5, který je asociovaný (přidružený k) se stavy $\neg Q1$ a $\neg Q2$ tzn DAAX: $\{\neg Q1, \neg Q2, Q5\}$.

V daném případě není nutno pracovat s dvouvrstevným znakovým modelem a za jména tříd ve vrstvě ^{j+1}SM lze považovat přímo stavy ve vrstvě jSM : $A_i = DA_i$.

Interpretační referenční kontext sestrojíme známým způsobem:

$IRC = \{\langle DA1, \text{SemCont of } DA1 \rangle, \dots, \langle DAN, \text{SemCont of } DAN \rangle, \langle DAX, \text{SemCont of } DAX \rangle\}$

$= \{\langle DA1: \text{Nárůst množství skleníkových plynů v zemské atmosféře} \rangle\}$:

$\langle DA2, \text{Zvýšení průměrné teploty v kritických místech Země (zemské póly, velká města)} \rangle\}$,

$\langle DA3, \text{Zvýšení chladícího účinku vegetace (pokrytí půdy mokřady, lesy a loukami)} \rangle\}$,

$\langle DA4, \text{Zvětšení reflexních ploch (parkovací plochy, střechy domů, kukuřičná pole, atd).} \rangle\}$.

Konstrukce matroidu MM

$$MM = \langle Q, IND, \{N_1, \dots, N_n\} \rangle \quad (4.12)$$

kde $Q = \{Q1, \neg Q1, Q2, \neg Q2, Q3, \neg Q3, Q4, \neg Q4\}$ a $\{N_1, \dots, N_n\}$ jsou nezávislé množiny na Q .

Relace IND je konstruována s pomocí relace DNT (uvedené v podkapitole 3.3.1):

Definice binární relace DNT: Prvky $x_1, x_2 \in Q$ jsou závislé $DNT(x_1, x_2|O)$ jestliže jedna (dvě, tři nebo čtyři) z následujících podmínek platí:

- 1) Prvky x_1, x_2 mají podíl na dosažení cíle O stejným nebo podobným způsobem, stejnými nebo podobnými prostředky a principy, s přihlédnutím k prvkům z Q . (Expertní kritérium)
- 2) Existují změny (variaci) x_1 , které jsou spojeny se změnami (variacemi) x_2 – s přihlédnutím na cíl O a na prvky z Q .
- 3) Aplikace x_1 , implikuje aplikaci x_2 – s ohledem na cíl O a s ohledem na prvky z Q .
- 4) Aplikace x_1 , vylučuje aplikaci x_2 – s ohledem na cíl O a s ohledem na prvky z Q .

V našem případě se jedná o cíl O : "Nastavit energetickou rovnováhu v uvažovaném ekosystému".

Tabulka 7 Kvalitativní matice

DNT	Q1	\neg Q1	Q2	\neg Q2	Q3	\neg Q3	Q4	\neg Q4
Q1	1	1	1	1	0	1	0	0
\neg Q1	1	1	0	1	1	0	1	0
Q2	1	0	1	0	0	1	1	0
\neg Q2	0	1	0	1	1	0	0	1
Q3	1	1	1	1	1	1	0	0
\neg Q3	1	1	1	1	1	1	0	0
Q4	0	0	0	0	1	1	1	1
\neg Q4	0	0	0	0	1	1	1	1

Postup interpretace DAAX

$$DAAX: \{\neg Q1, \neg Q2, Q5\}, \quad (4.13)$$

kde Q5 je neznámý přidružený efekt, který ale není závislý na stavech $\neg Q1$, $\neg Q2$. Tzn. může nastávat spolu se stavy $\neg Q1$, $\neg Q2$, ale není jimi zcela indukovaný.

Pokračujme bodem (ii) z kapitoly 4.2.3.

Zkonstruujeme bázi matroidu MM na množině stavů (pomocí vztahu DNT – tab. 7).

Poznámka: Vztah závislosti je definován odborníkem a splňuje algebraické podmínky pro konstrukci matroidu a pro konstrukci jeho bází.

Prohledáním tabulky zjistíme, že existuje pouze jedna tříprvková báze BB.

$$BB = \{\neg Q1, Q2, \neg Q4\} \quad (4.14)$$

Nyní hledíme reprezentaci DAAX (průniky DAAX s bází BB):

$$rep({}^j DAAX) = (DAAX \cap BB) = \{\neg Q1\}. \quad (4.15)$$

A zkonstruujeme výraz:

$EXT({}^j I(rep({}^j DAX))) = {}^j I(EXT(\{\neg Q1\})) = {}^j I(\{\neg Q1, Q5\}) = \{ \text{„Nezvětšující se množství skleníkových plynů v zemské atmosféře“, „Neznámý objekt (neznámá informace)“}.$

Nyní hledáme vhodný objekt Q5, který může rozšířit bázi BB. Tzn. hledáme stav, který je asociovaný, ale není závislý na stavu *„Nezvětšující se množství skleníkových plynů v zemské atmosféře“*.

Zformujeme například stav Q5: *„Narušení relace mezi absorpční a emisní energií skleníkových plynů“*.

$$\text{Prověříme rozšíření BB na } BB1 = \{-Q1, Q2, -Q4, Q5\} \quad (4.16)$$

{Nezvětšující se množství skleníkových plynů v zemské atmosféře, „Zvyšující se průměrné teploty v kritických místech Země“, „Zvyšování reflexních ploch (parkovací plochy, střechy domů, kukuřičná pole)“, „Narušení relace mezi absorpční a emisní energií skleníkových plynů“}

Nezávislost Q5 na $-Q1$ je dána z jeho počátečního popisu, nezávislost Q5 na Q2 je zřejmá, podobně jako nezávislost Q5 na $-Q4$. Q5 tedy může rozšířit bázi BB a jeho sémantický obsah můžeme chápat jako jeho interpretaci.

V relevantní literatuře o skleníkových plynech [73] se lze dočíst: *„Přestože tyto plyny dohromady tvoří méně než 1 % objemu zemské atmosféry, průměrná teplota Země by se snížila asi o 33 °C, kdyby se neohřívala jejich absorpčními a emisními procesy“*

Pokud budeme tuto informaci chápat jako důsledek Q5 v nastaveném interpretačním referenčním kontextu, (čili není to jen samotný Q5), přináší předložený interpretační proces novou důležitou znalost.

Kapitola 5

Závěr

V této práci jsou navrženy metody pro interpretaci nových faktů a pro eventuální pokračující predikci.

5.1 Splnění cílů

Cílem této práce bylo vyvinout metody pro interpretaci a eventuální predikci na poli ekologického modelování. („Eventuální predikce“ zde znamená, že interpretace nemusí vždy pokračovat predikcí, ale v případě, že je problémový kontext vyhovující, je predikce možná.) První navržená metoda využívala teorie fuzzy množin a fuzzy modelování pro predikci maximální teploty ve sledovaném dni ve fragmentu velkoměsta. Druhou metodou byl postup interpretace ekologických dat a záznamů získávaných z reportů expertů nebo z koncentrovaných verbálních shrnutí stavů ekologických systémů získávaných z odborné literatury.

První metoda (kapitola 4.1) využívá fuzzy kompozičního pravidla v roli fuzzy inference. Je založena na kvalitativním rozboru prostředí, pro které je aplikována na expertním výběru kvantifikovatelných proměnných jako vstupů do kompozičního pravidla. Metoda byla odzkoušena na prostředí kampusu ČVUT v Praze Dejvicích a byla prověřena simultánním experimentálním ověřením výpočtů.

Metoda byla implementována v programovém systému KlimaVeg (autor disertace je programovým tvůrcem systému), který byl kromě výzkumných účelů v projektu DP7 „Řízení vlivu chladicího efektu vegetace na klima měst“ projektu Koncept Praha, (CZ.07.1.02/0.0/0.0/16_023/0000113) představen a úspěšně odzkoušen i ve výuce v předmětu „Databázové a znalostní systémy“ pro studenty 4.ročníku fakulty strojní ČVUT v Praze. KlimaVeg je znalostní systém, který interpretuje soubor hodnot měřených proměnných jako maximální teplotu v daném

dni ve zvoleném prostředí a je připraven pro další využití v predikci možného nastání tzv. horké vlny. (Horká vlna je definována různě v různých státech. Např. v Holandsku (a podobně v Lucembursku a v Belgii) se jedná o atmosférický jev, kdy po dobu alespoň pěti po sobě jdoucích dní maximální teplota překročila 25°C, přičemž v této periodě se objevily alespoň tři dni, kdy teplota překročila hodnotu 30° C.)

Druhá metoda představená v této práci, popisuje interpretaci souboru faktů formulovaných jako soubor vět přirozeného jazyka vypovídajících o určité situaci v ekosystému nebo jako soubor stavů ekosystému. Tento soubor vět nebo stavů je transformován do struktury matroidu. Interpretace probíhá hledáním faktu nebo stavu, který by mohl rozšířit některou z bází matroidu. Popsaný přístup je konceptuálně i operačně náročnější než u první metody. Na druhé straně nevyžaduje časově náročné výpočty. Přístup je využitelný pro interpretaci neznámých situací v eko-komplexních systémech, aniž by vyžadoval velké objemy dat z databází. (Tato metoda je příkladem využití algebraické struktury matroidů v definovaném referenčním sémantickém kontextu).

Obě metody představují originální výsledky, zejména pokud jde o oblast komplexních ekosystémů, které dosud v odborné literatuře jinými autory publikovány nebyly.

5.2 Diskuse výsledků

Diskuse výsledků se týká představených metod. Snažíme se zdůraznit některé jejich vlastnosti, které by mohly případnému uživateli zkomplikovat úspěch v nasazení metody.

Metoda predikce maximální teploty:

- a) Výběr proměnných popisujících daný ekosystém. Z jedné strany musí být tyto proměnné pro daný ekosystém charakteristické (konzultace s expertem), z druhé strany musí být reprezentovatelné jako jazykové proměnné.
- b) Naladění znalostního systému je dáno empirickým přístupem. Pro každou jazykovou proměnnou a každou její jazykovou hodnotu se empiricky určuje její příspěvek k některému výstupu z kompozičního pravidla.

Metoda interpretace neznámého objektu na množině stavů:

- a) Transformace množiny stavů do struktury matroidu je mimo jiné dána definicí relace nezávislosti. V práci je uvedena pouze jediná relace nezávislosti (která je aplikovatelná v představených interpretačních referenčních kontextech). Pokud bude uživatel formulovat odlišné interpretační referenční kontexty, doporučuje se nadefinovat jiné relace nezávislosti.
- b) „Vynoření se“ obsahu neznámého objektu k dané množině stavů (resp. k objektu rozšiřujícímu některou z bází matroidu), je spojeno s menší či větší nejistotou. Uživatel metody nemusí být touto okolností překvapen. (Plyne to z vysvětlení metody v disertaci.) Jde o speciální nejistotu typickou pro emergentní situace, pro kterou nehledáme kvantitativní vyjádření (ani nemůžeme).

Citovaná literatura

Publikace vztahující se k práci:

- [1] GADAMER, Hans-Georg. *Truth and Method (Continuum Impacts)*. Neuvedeno. London: Bloomsbury Academic, 2004. ISBN 9780826476975.
- [2] SAUSSURE, Ferdinand de. *Kurs obecné lingvistiky*. 2. vyd. (1. vyd. v nakl. Academia). Praha: Academia, 1996. ISBN 80-200-0560-9.
- [3] HJELMSLEV, Louis. *O základech teorie jazyka*. Druhé, upravené a doplněné vydání (v Akademii vydání první). Praha: Academia, 2016. Europa (Academia). ISBN 978-80-200-2609-5.
- [4] PEIRCE, Charles S. *Writings of Charles S. Peirce: A Chronological Edition, Volume 2 (1867-1871)*. USA: Indiana University Press, 1984. ISBN 9780253372024.
- [5] VOIGHT, Vilmos. *Úvod do semiotiky*. První vydání. Bratislava: Tatran, 1981. ISBN 61-315-81.
- [6] CHOMSKY, Noam. *Syntactic Structures*. Dotisk vydání z roku 1957. USA: Martino Fine Books, 2015. ISBN 1614278040.
- [7] MARTYNOV, Viktor V. *Universal Semiotic Code: UCS-5*. Před-tisk N4. Bělorusko: Minsk State Linguistic University, 1995. ISBN neuvedeno.
- [8] ECO, Umberto. *Meze interpretace*. 1. české vyd. Praha: Karolinum, 2004. ISBN 80-246-0740-9.
- [9] TONDL, Ladislav, Bohumil PALEK, ed. *Problémy sémantiky*. Praha: Karolinum, 2006. Prameny k dějinám českého myšlení. ISBN 80-246-1075-2.

- [10] NEUBAUER, Zdeněk. *Přímluvce postmoderny*. 1. vyd. Praha: Hrnčířství a nakladatelství, 1994. Scientia & philosophia. ISBN 80-7111-012-4.
- [11] MATERNA, Pavel. *Logická analýzy přirozeného jazyka*. Vyd. 1. Praha: Grada, 1989. ISBN 80-200-0027-5.
- [12] MARKOŠ, Anton. *Biosémiotika*. 1. vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. Qfwfq. ISBN 978-80-244-4352-2.
- [13] MARKOŠ, Anton a Fatima CVRČKOVÁ. The Meaning(s) of Information, Code ... and Meaning. *Biosemiotics* [online]. 2013, **6**(1), 61-75 [cit. 2022-02-27]. ISSN 1875-1342. Dostupné z: doi:10.1007/s12304-012-9155-3
- [14] KOVÁČ, Ladislav. *Konec lidské evoluce: život v závěrečném věku*. První vydání. Přeložil Anton MARKOŠ. Červený Kostelec: Pavel Mervart, 2017. ISBN 978-80-7465-224-0.
- [15] KHOL, Josef. *Interpretace: nástin teorie a praxe interpretování*. 1. vyd. Praha: Academia, 1989. ISBN 80-200-0169-7.
- [16] PALEK, BOHUMIL. The map: Its signs and their relations. *Semiotica* [online]. 1986, **59**(1-2), 13-33 [cit. 2022-02-27]. ISSN 0037-1998. Dostupné z: doi:10.1515/semi.1986.59.1-2.13
- [17] PAUL FRANK, M., X. STEVEN DING a Birgit KOPPEN-SELIGER. Current Developments in the Theory of FDI. *IFAC Proceedings Volumes* [online]. 2000, **33**(11), 17-28 [cit. 2022-02-27]. ISSN 14746670. Dostupné z: doi:10.1016/S1474-6670(17)37336-6
- [18] ESCOBET, Antoni, Àngela NEBOT a François CELLIER. Model Acceptability Measure for the Identification of Failures in Qualitative Fault Monitoring Systems. *Int. Multiconf. on Modelling and Simulation ESM*. Warsaw, Poland, 1999, **99**(2), 339-347. ISSN neuvedeno. Dostupné z: doi:neuvedeno
- [19] KOHCIELNY, Jan M. Application of Fuzzy Logic for Fault Isolation in a

- Three-Tank System. *IFAC Proceedings Volumes* [online]. 1999, **32**(2), 7754-7759 [cit. 2022-02-27]. ISSN 14746670. Dostupné z: doi:10.1016/S1474-6670(17)57323-1
- [20] AZARFAR, Alireza, Cees TAAL, Sebastián ECHEVERRI RESTREPO a Menno LIEFSTINGH. On the interpretation of deep learning models in bearing vibration diagnostics. *Annual Conference of the PHM Society* [online]. 2021, **13**(1), 1-9 [cit. 2022-02-27]. ISSN 2325-0178. Dostupné z: doi:10.36001/phmconf.2021.v13i1.3047
- [21] FAN, Liuming a Ning LI. Intelligent interpretation of digital images of rock joints based on pattern recognition. *Progress in Natural Science* [online]. 2004, **14**(5), 443-447 [cit. 2022-02-27]. ISSN 1002-0071. Dostupné z: doi:10.1080/10020070412331343751
- [22] ADAMS, M. a P. ABBOTT. AXIS: Automated XRF Interpretation of Spectra. *X-Ray Spectrometry*. 1998, **26**(3), 125-131. ISSN neuvedeno. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4539(199705)26:3<125::AID-XRS222>3.0.CO;2-G
- [23] BILA, Jiri a Martina MIRONOVOVA. Interpretation of New ECG Signal Shapes for Diagnostics of Cardio-Vascular System. In: *2015 10th International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC)* [online]. Brno: IEEE, 2015, s. 386-391 [cit. 2022-02-27]. ISBN 978-1-4673-9473-4. ISSN neuvedeno. Dostupné z: doi:10.1109/3PGCIC.2015.104
- [24] NOON, Barry R. Conceptual issues in monitoring ecological systems. BUSCH, David a Joel TREXLER. *Monitoring Ecosystems: Interdisciplinary Approaches for Evaluating Ecoregional Initiatives*. Neuvedeno. Washington, DC: Island Press, 2003, s. 27-71. ISBN 9781559638517.
- [25] ODUM, Howard T. Explanations of ecological relationships with energy systems concepts. *Ecological Modelling* [online]. 2002, **158**(3), 201-211 [cit. 2022-02-27]. ISSN 03043800. Dostupné z: doi:10.1016/S0304-3800(02)00232-6

- [26] LARK, R a J STAFFORD. Classification as a first step in the interpretation of temporal and spatial variation of crop yield. *Annals of Applied Biology* [online]. 1997, **130**(1), 111-121 [cit. 2022-02-27]. ISSN 0003-4746. Dostupné z: doi:10.1111/j.1744-7348.1997.tb05787.x
- [27] VERWEIJ, P.J.F.M., M.J.R. KNAPEN, W.P. DE WINTER, J.J.F. WIEN, J.A. TE ROLLER, S. SIEBER a J.M.L. JANSEN. An IT perspective on integrated environmental modelling: The SIAT case. *Ecological Modelling* [online]. 2010, **221**(18), 2167-2176 [cit. 2022-03-15]. ISSN 03043800. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecolmodel.2010.01.006
- [28] TANSLEY, A. G. The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms. *Ecology* [online]. 1935, **16**(3), 284-307 [cit. 2021-10-26]. ISSN 00129658. Dostupné z: doi:10.2307/1930070
- [29] LEE, Xuhui, William MASSMAN a Beverly LAW, ed. *Handbook of Micrometeorology* [online]. 1st. Dordrecht: Springer Netherlands, 2005 [cit. 2021-10-26]. Atmospheric and Oceanographic Sciences Library. ISBN 978-1-4020-2264-7. Dostupné z: doi:10.1007/1-4020-2265-4
- [30] Oběh vody - The Water Cycle. In: *The USGS Water Science School* [online]. [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/oobeh-vody-water-cycle-czech>
- [31] MORAVČÍK, Michal, Jan POKORNÝ, Juraj KOHUTIAR, Martin KOVÁČ a Eugen TÓTH. *Water for the Recovery of the Climate – A New Water Paradigm (Hardcover)*. 1st. 2008. ISBN 9788089089710. Dostupné z: doi:-
- [32] L. PARROTT. COMPLEXITY AND THE LIMITS OF ECOLOGICAL ENGINEERING. *Transactions of the ASAE* [online]. 2002, **45**(5), 1697-1702 [cit. 2021-10-26]. ISSN 2151-0059. Dostupné z: doi:10.13031/2013.11032
- [33] WALDROP, M. M. *Complexity the emerging science at the edge of order and chaos*. Vyd. 1. New York: Touchstone Press, 1992. ISBN 0671872346.

- [34] LEWIN, R. *Complexity life at the edge of chaos*. Vyd. 1. Chicago: University of Chicago, 1992. ISBN 0226476553.
- [35] SCHWEITZER, Frank. *Browning [sic] agents and active particles: collective dynamics in the natural and social sciences*. 1st edition. Berlin: Springer, 2007. ISBN 3540738444.
- [36] WHITESIDES, George a Rustem ISMAGILOV. Complexity in Chemistry. *Science* [online]. 1999, **284**(5411), 89-92 [cit. 2021-10-26]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: doi:10.1126/science.284.5411.89
- [37] STEWART, Peter. Complexity Theories, Social Theory, and the Question of Social Complexity. *Philosophy of the Social Sciences* [online]. 2001, **31**(3), 323-360 [cit. 2021-10-26]. ISSN 0048-3931. Dostupné z: doi:10.1177/004839310103100303
- [38] PETTY, Mikel. Modeling and Validation Challenges for Complex Systems. *Engineering Emergence: a modeling and simulation approach*. 1st edition. Boca Raton: Taylor & Francis, CRC title, part of the Taylor & Francis imprint, a member of the Taylor & Francis Group, the academic division of T&F Informa, plc, 2018, s. 18. ISBN 9781138046412.
- [39] PARROTT, L. Complexity and the limits of ecological engineering. *Transactions of the ASAE*. 2002, **45**(5), 1697-1702.
- [40] GORDON, Deborah M. *Ants at Work: How an Insect Society is Organized*. 1st edition. New York: Free Press, 1999, 182 s. ISBN 0684857332. 9780684857336.
- [41] BAR-YAM, Yaneer. About Engineering Complex Systems: Multiscale Analysis and Evolutionary Engineering. BRUECKNER, Sven A., GIOVANNA DI MARZO SERUGENDO, ANTHONY KARAGEORGOS a RADHIKA NAGPAL, ed., Sven BRUECKNER, GIOVANNA DI MARZO SERUGENDO, ANTHONY KARAGEORGOS, RADHIKA NAGPAL. *Engineering Self-Organising Systems* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005, s. 16-31 [cit.

2021-10-27]. Lecture Notes in Computer Science. ISBN 978-3-540-26180-3.
Dostupné z: doi:10.1007/11494676_2

[42] ZUUR, Alain, Elena IENO a Graham SMITH. *Analysing Ecological Data* [online]. 1st edition. New York, NY: Springer New York, 2007 [cit. 2021-10-26]. Statistics for Biology and Health. ISBN 978-0-387-45967-7. Dostupné z: doi:10.1007/978-0-387-45972-1

[43] ODUM, Howard T. Explanations of ecological relationships with energy systems concepts. *Ecological Modelling* [online]. 2002, **158**(3), 201-211 [cit. 2021-10-26]. ISSN 03043800. Dostupné z: doi:10.1016/S0304-3800(02)00232-6

[44] NOON, Barry a Virginia DALE. Broad-Scale Ecological Science and Its Application. GUTZWILLER, Kevin J., ed., Kevin GUTZWILLER. *Applying Landscape Ecology in Biological Conservation* [online]. 1. New York, NY: Springer New York, 2002, s. 34-52 [cit. 2021-10-26]. ISBN 978-0-387-95322-9. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4613-0059-5_3

[45] VIOLA, F., L. NOTO, M. CANNAROZZO a G. LA LOGGIA. Regional flow duration curves for ungauged sites in Sicily. *Hydrology and Earth System Sciences* [online]. 2011, **15**(1), 323-331 [cit. 2021-10-26]. ISSN 1607-7938. Dostupné z: doi:10.5194/hess-15-323-2011

[46] REYES RODRÍGUEZ, Maida, Jorge MOYA RODRÍGUEZ a Cristiano DE OLIVEIRA FONTES. Thermo ecological optimization of shell and tube heat exchangers using NSGA II. *Applied Thermal Engineering* [online]. 2019, **156**(1), 91-98 [cit. 2021-10-26]. ISSN 13594311. Dostupné z: doi:10.1016/j.applthermaleng.2019.04.044

[47] STRINGHAM, Tamzen, William KRUEGER a Patrick SHAVER. State and Transition Modeling: An Ecological Process Approach. *Journal of Range Management* [online]. 2003, **56**(2), 106-113 [cit. 2021-10-26]. ISSN 0022409X. Dostupné z: doi:10.2307/4003893

- [48] BILA, J., J. JURA, J. POKORNY a I. BUKOVSKY. Qualitative modeling and monitoring of selected ecosystem functions. *Ecological Modelling* [online]. 2011, **222**(19), 3640-3650 [cit. 2021-10-26]. ISSN 03043800. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.08.002
- [49] THORNEY, John. *Grassland Dynamics: An Ecosystem Simulation Model*. First Edition. New York: CABI, 1998, 256 s. ISBN 0851992277. 9780851992273.
- [50] BÍLA, Jiří. Processing of Emergent Phenomena in Complex Systems. *International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering*. 2014, **3**(7), 1-17. ISSN 2319-7463.
- [51] HESSE, Mary a Karl POPPER. Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge. *The Philosophical Quarterly* [online]. 1965, **15**(61) [cit. 2021-10-27]. ISSN 00318094. Dostupné z: doi:10.2307/2218271
- [52] SUZUKI, Kenji, ed. *Artificial Neural Networks - Architectures and Applications* [online]. InTech, 2013 [cit. 2021-10-27]. ISBN 978-953-51-0935-8. Dostupné z: doi:10.5772/3409
- [53] PANO-AZUCENA, Ana, Esteban TLELO-CUAUTLE a Sheldon TAN. Prediction of chaotic time series by using ANNs, ANFIS and SVMs. In: *2018 7th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST)* [online]. IEEE, 2018, s. 1-4 [cit. 2021-10-27]. ISBN 978-1-5386-4788-2. Dostupné z: doi:10.1109/MOCASST.2018.8376560
- [54] JU-LONG, Deng. Control problems of grey systems. *Systems & Control Letters* [online]. 1982, **1**(5), 288-294 [cit. 2021-10-27]. ISSN 01676911. Dostupné z: doi:10.1016/S0167-6911(82)80025-X
- [55] XUEMEI, Li, Yun CAO, Junjie WANG, Yaoguo DANG a Yin KEDONG. A summary of grey forecasting and relational models and its applications in marine economics and management. *Marine Economics and Management* [online]. 2019, **2**(2), 87-113 [cit. 2021-10-27]. ISSN 2516-158X. Dostupné z: doi:10.1108/MAEM-04-2019-0002

- [56] CORTES, Corinna a Vladimir VAPNIK. Support-vector networks. *Machine Learning* [online]. 1995, **20**(3), 273-297 [cit. 2021-10-27]. ISSN 0885-6125. Dostupné z: doi:10.1007/BF00994018
- [57] MITCHEL, Melanie. *An Introduction to Genetic Algorithms*. Cambridge: MIT Press, 2002. ISBN 0262631857.
- [58] SIVAGANESAN, S. Predictive Inference: An Introduction (Seymour Geisser). *SIAM Review* [online]. 1994, **36**(3), 519-520 [cit. 2021-10-27]. ISSN 0036-1445. Dostupné z: doi:10.1137/1036131
- [59] FINLAY, Steven. *Predictive Analytics, Data Mining and Big Data* [online]. 1st. London: Palgrave Macmillan UK, 2014 [cit. 2021-10-27]. ISBN 978-1-349-47868-2. Dostupné z: doi:10.1057/9781137379283
- [60] SHUMWAY, Robert a David STOFFER. *Time Series Analysis and Its Applications* [online]. 1st. Cham: Springer International Publishing, 2017 [cit. 2021-10-27]. Springer Texts in Statistics. ISBN 978-3-319-52451-1. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-52452-8
- [61] ZADEH, L.A. Fuzzy sets. *Information and Control* [online]. 1965, **8**(3), 338-353 [cit. 2021-10-27]. ISSN 00199958. Dostupné z: doi:10.1016/S0019-9958(65)90241-X
- [62] BÍLA, Jiří, František KRÁL a Vladimír HLAVÁČ. *Informační technologie: databázové a znalostní systémy*. Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02790-2.
- [63] ZADEH, L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III. *Information Sciences* [online]. 1975, **9**(1), 43-80 [cit. 2021-10-27]. ISSN 00200255. Dostupné z: doi:10.1016/0020-0255(75)90017-1
- [64] ZADEH, Lotfi A. From Computing with Numbers to Computing with Words: From Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions. MACCRIMMON, Marilyn a Peter TILLERS, ed., Marilyn MACCRIMMON,

- Peter TILLERS. *The Dynamics of Judicial Proof* [online]. 1st. Heidelberg: Physica-Verlag HD, 2002, s. 81-117 [cit. 2021-10-27]. Studies in Fuzziness and Soft Computing. ISBN 978-3-662-00323-7. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-7908-1792-8_5
- [65] WHITNEY, Hassler. On the Abstract Properties of Linear Dependence. *American Journal of Mathematics* [online]. 1935, **57**(3), 509-533 [cit. 2021-10-27]. ISSN 00029327. Dostupné z: doi:10.2307/2371182
- [66] WILSON, R. J. An Introduction to Matroid Theory. *The American Mathematical Monthly* [online]. 1973, **80**(5), 500-525 [cit. 2021-10-27]. ISSN 00029890. Dostupné z: doi:10.2307/2319608
- [67] BIRKHOFF, Garrett. Abstract Linear Dependence and Lattices. *American Journal of Mathematics* [online]. 1935, **57**(4), 800-804 [cit. 2021-10-27]. ISSN 00029327. Dostupné z: doi:10.2307/2371015
- [68] EDMONDS, Jack. Matroids and the greedy algorithm. *Mathematical Programming* [online]. 1971, **1**(1), 127-136 [cit. 2021-10-27]. ISSN 0025-5610. Dostupné z: doi:10.1007/BF01584082
- [69] OXLEY, J. G. *Matroid Theory* [online]. New York: Oxford University Press, 2011 [cit. 2021-10-27]. ISBN 9780198566946. Dostupné z: doi:10.1093/acprof:oso/9780198566946.001.0001
- [70] BÍLA, Jiří. Detection of emergent situations by structural invariants. In: *Mendel 2011: 17th International Conference on Soft Computing: Evolutionary Computation*. Brno: Brno University of Technology, 2011, s. 534-539. ISBN 978-802144302-0. ISSN 18033814.
- [71] BILA, Jiri a Ivo BUKOVSKY. Modeling and interpretation of new solutions in problem solving. In: *2011 12th International Carpathian Control Conference (ICCC)* [online]. IEEE, 2011, s. 22-27 [cit. 2021-10-27]. ISBN 978-1-61284-360-5. Dostupné z: doi:10.1109/CarpathianCC.2011.5945808

[72] BILA, Jiri a Jan POKORNY. Modeling of complex ecosystems, extension of deserts and violation of the short water cycle. *Ecological Modelling* [online]. 2021, **461** [cit. 2022-02-28]. ISSN 03043800. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecolmodel.2021.109762

[73] AHRENS, Donald a Robert HENSON. *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*. 12th. United States: Cengage Learning, 2018. ISBN 1337616669.

Publikace autora vztahující se k práci:

- [A.1] BILA, Jiri, Ricardo RODRÍGUEZ a Martin NOVAK. Modeling of Complex Systems by Means of Partial Algebras. *MENDEL* [online]. 2019, 25(1), 103-110 [cit. 2021-10-27]. ISSN 2571-3701. Dostupné z: doi:10.13164/mendel.2019.1.103
- [A.2] BILA, Jiri a Martin NOVAK. Detection of Emergent Situations in Complex Systems by Structural Invariant (MB, M). *MENDEL* [online]. 2019, 23(1), 163-170 [cit. 2021-10-27]. ISSN 2571-3701. Dostupné z: doi:10.13164/mendel.2017.1.163
- [A.3] BÍLA, Jiří a Martin NOVÁK. Interpretation of States Structures in the Control of Development of Ecosystems. *International Journal of Engineering Research in Africa* [online]. 2015, 18, 85-94 [cit. 2021-10-27]. ISSN 1663-4144. Dostupné z: doi:10.4028/www.scientific.net/JERA.18.85
- [A.4] BILA, Jiri, Jakub JURA a Martin NOVAK. Application of Fuzzy Logic for Monitoring of Appearance of Heat Waves in Large Towns. *MENDEL* [online]. 2018, 24(1), 165-172 [cit. 2021-10-27]. ISSN 2571-3701. Dostupné z: doi:10.13164/mendel.2018.1.165
- [A.5] BILA, Jiri, Martin NOVAK a Jan VRBA. Detection of emergent situations in complex systems represented by algebras of transformations. *MATEC Web of Conferences* [online]. 2016, 76, 5 [cit. 2021-10-27]. ISSN 2261-236X. Dostupné z: doi:10.1051/matecconf/20167602035
- [A.6] BILA, Jiri a Martin NOVAK. Detection of Emergent Situations in Complex Systems by Structural Invariant (MB, M). *MENDEL* [online]. 2019, 23(1), 163-170 [cit. 2021-10-27]. ISSN 2571-3701. Dostupné z: doi:10.13164/mendel.2017.1.163

Další publikace autora

- [A.7] JURA, J., M. NOVAK, J. BILA, J. POKORNY a V. JIRKA. Hydrometeorological measurements to assess the effect of vegetation on urban microclimate. In: *2018 Smart City Symposium Prague (SCSP)* [online]. IEEE, 2018, s. 1-5 [cit. 2021-10-27]. ISBN 978-1-5386-5017-2. Dostupné z: doi:10.1109/SCSP.2018.8402653
- [A.8] JURA, Jakub, Pavel TRNKA a Martin NOVAK. Analysis of Microclimatology Data as a Dynamic System. In: *2019 22nd International Conference on Process Control (PC19)* [online]. IEEE, 2019, s. 126-130 [cit. 2021-10-27]. ISBN 978-1-7281-3758-2. Dostupné z: doi:10.1109/PC.2019.8815028
- [A.9] JURA, Jakub, Pavel TRNKA a Martin NOVAK. Empirical Identification of Surface Parameters Affecting the Microclimate. In: *2019 Smart City Symposium Prague (SCSP)* [online]. IEEE, 2019, s. 1-6 [cit. 2021-10-27]. ISBN 978-1-7281-0497-3. Dostupné z: doi:10.1109/SCSP.2019.8805684
- [A.10] BILA, Jiri, Martin NOVAK a Jan POKORNY. Smart Region as a complex system and some notes to its design. In: *2015 Smart Cities Symposium Prague (SCSP)* [online]. IEEE, 2015, s. 1-5 [cit. 2021-10-27]. ISBN 978-1-4673-6727-1. Dostupné z: doi:10.1109/SCSP.2015.7181570

Seznam zkratek

$\mu_A(x)$	Funkce příslušnosti prvku x k fuzzy množině A
A_1, \dots, A_n	Soubor známých objektů (tříd)
ANFIS	Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System
App	Funkce aproximace
AR	Autoregresní modely
ARIMA	Autoregresní integrované modely klouzavých průměrů
ARMA	Autoregresní modely klouzavých průměrů
AX	Neznámá třída
AXIS	Automated XRF Interpretation of Spectra
C_1, C_2, C_3	Fuzzy množiny teplotní difference
DA_1, \dots, DA_n	Popisy známých objektů
DAX	Popis neznámého objektu
DNT (IND)	Relace závislosti (nezávislosti)
E	Konečná množina matroidu
EXT	Funkce rozšíření báze matroidu
Ey	Výpar z dané oblasti za rok
Frag	Fragmentová funkce
G	Symbol pro gramatiku znakových formací
GIS	Graphic Information System
I	Interpretační funkce mezi SM a IS
I (kapitola 3.3)	Soustava podmnožin množiny E
IRC	Interpretační referenční kontext
IS	Interpretační prostor
jF	Množina symbolů operací
${}^j f_1, {}^j f_2, \dots, {}^j f_n$	Pravidla symbolických manipulací
jG	Množina znakových gramatik
jV	Množina symbolů relací
${}^j v_1, {}^j v_2, \dots, {}^j v_n$	Množina morfologických operací
w	Vektor fuzzy množiny vstupů (vztahující se k C)

j_w	Věta v množině jW ve vrstvě jSM
jW	Množina slov sestavených gramatikou
jX	Množina základních znaků
m	Transformace na mezi vrstvami SM
M	Matroid
$M(G)$	Matroid grafu G
MAPE	Mean Absolute Percentage Error
MB	Báze matroidu
MLP	Multilayer perceptron
MM	Model Matroidu
MR	Model skutečnosti
MVC	malý vodní cyklus
O	Pozorovatel (Observer)
o	Operace kompozice
O_1, \dots, O_n	Stanovené cíle
Q_1, \dots, Q_n	Možné nastálé stavy
Q_y	povrchový a podpovrchový odtok vody za rok
R	binární fuzzy relace
$rep(j_w)$	Funkce představitele ve znakovém modelu
RSM	Referenční segment města
R_y	Celkový úhrn srážek na dané ploše za rok
Sem	Sémiotická funkce
SemCont	Sémantický kontext
SIAT	Sustainability Impact Assessment Tool
SM	Znakový model (Sign Model)
SRM	Support Regression Machines
SS	Prostor syntézy (Synthesis Space)
SVM	Support Vector Machines
VC	Vodní cyklus
VVC	Velký vodní cyklus
γ	Funkce mezi vrstvami IS
ΔV_y	Změna množství vody v daném systému za rok
ζ, Frag	Fragmentová funkce

ξ_1, ξ_2

Funkce mezi MR a IS

ϕ_1, ϕ_2

Funkce mezi MR a SM

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehledová tabulka predikčních metod	32
Tabulka 2: Fuzzifikace proměnných.....	54
Tabulka 3: AP1: Funkce příslušnosti daných proměnných.....	55
Tabulka 4: AP2: Funkce příslušnosti daných proměnných.....	57
Tabulka 5: Vstupní parametry aplikace KlimaVeg	61
Tabulka 6: Relační tabulka.....	66
Tabulka 7 Kvalitativní matice	71

Seznam obrázků

Obrázek 1: Oběh vody [30].....	15
Obrázek 2: Struktura organizačních úrovní v komplexním systému. Lokálně interagující komponenty dávají vzniknout emergentním objektům vyšší úrovně, jejichž jejich existence následně ovlivňuje chování objektů nižší úrovně. [32]	20
Obrázek 3: Komplexní systém – Mapa leteckého prostoru ČR.....	22
Obrázek 4: Komplexní systém: tropická cyklóna	22
Obrázek 5: Komplexní systém: Wall Street – burza cenných papírů.....	23
Obrázek 6: Mraveniště.....	26
Obrázek 7: Funkce příslušnosti fuzzy množiny	37
Obrázek 8: Struktura kvalitativního modelu [50]	44
Obrázek 9: Spojení v Interpretačním prostoru.....	46
Obrázek 10: Interpretace neznámé třídy AX	49
Obrázek 11: Lokality měření v kampusu ČVUT v Dejvicích	52
Obrázek 12: Úvodní obrazovka aplikace KlimaVeg.....	59
Obrázek 13: Projektové okno aplikace KlimaVeg.....	60

