Dopravní nehoda, systémový model a shluková analýza v prostředí GIS

Traffic Accident, System Model and Cluster Analysis in GIS

Veronika Vlčková*, Pavel Hruběš*

Abstrakt

Jedním z mnoha často frekventovaných témat jak běžné publicistiky, tak odborné veřejnosti je problém dopravní nehodovosti. Tento příspěvek si vytkl za úkol nasměrovat úvahy do zatím poměrně nezkoumaných souvislostí dopravní nehodovosti, a to s pomocí nástrojů konstruktivní teorie systémů a jejích metod, vícerozměrné a shlukové analýzy i geoinformačního inženýrství. Dopravní nehoda jako systémově chápaná událost je jevem časoprostorovým, a tedy na ní lze studovat vlastnosti z pohledu technologie geografických informačních systémů. Aplikace základních systémových principů umožňuje formulaci jejího systémového modelu, uchopitelného geoinformačním inženýrstvím a zprostředkovávajícího maximální využití nástrojů vícerozměrné i shlukové analýzy.

Klíčová slova: Konstruktivní teorie systémů, geoinformační inženýrství, dopravní nehodovost, vícerozměrná analýza, shluková analýza.

Abstract

One of the many often frequented topics as normal journalism, so the professional public, is the problem of traffic accidents. This article illustrates the orientation of considerations to a less known context of accidents, with the help of constructive systems theory and its methods, cluster analysis and geoinformation engineering. Traffic accident is reframing the space-time, and therefore it can be to study with tools of technology of geographic information systems. The application of system approach enabling the formulation of the system model, grabbed by tools of geoinformation engineering and multicriterial and cluster analysis.

Keywords: Constructive theory of systems, Geoinformation engineering, Traffic accident rate, Multicriterial analysis, Cluster analysis.

1 Úvod

Jedním z mnoha často frekventovaných témat jak běžné publicistiky, tak i odborné veřejnosti je dnes kromě ostatního problém dopravní nehodovosti. Nejen, že jde jak o samotnou truchlivost samotných nehodových událostí, o zdraví a životy lidí, tak i o náklady

* Faculty of Transportation Sciences, Czech Technical University in Prague,

Konviktská 20, 110 00 Praha 1, Czech Republic

✉ vlckova@fd.cvut.cz, hrubes@fd.cvut.cz

– způsobená škoda, náprava škod, provozní náklady na související opatření, obchodní ztráty aj. To na straně jedné. Na straně druhé lze sledovat úpornou snahu dopravních policistů a jejich odborných kolegů o zvrát nepříznivého vývoje, jenž stále nic nestačí a vykazované statistické výsledky nehovoří o žádných pozitivních změnách současného trendu.

Tento příspěvek si vytkl za úkol nasměrovat úvahy i do zatím poměrně nezkoumaných souvislostí dopravní nehodovosti, a to s pomocí nástrojů konstruktivní teorie systémů a jejích metod (např. Vlček, 2002 aj.). Dopravní nehoda jako systémově chápaná událost je jevem prostorovým, a tedy na ní lze studovat vlastnosti z pohledu technologie geografických informačních systémů (dále jen „GIS“), s jejíž podporou lze nalézat další cesty způsoby vyhodnocování dopravní nehodovosti (př. Vlčková, 2014, Hruběš et al., 2009 aj.).

Samotné zacílení příspěvku je vedeno snahou vymezit vhodnější rámec úvah o vyhodnocování dopravní nehodovosti. Příspěvek si neklade za úkol tuto problematiku konečně řešit, ale - s ohledem na její komplikovanost a komplexnost - navést na systémové cesty jejího uspokojivého řešení. Výsledné efekty takového bádání mohou pomoci nejrozličnějším zúčastněným složkám - dopravní policii pro její každodenní praxi, expertům a výzkumníkům při dalším rozvíjení metod klasifikace a kvalifikace dopravní nehodovosti, v neposlední řadě i Ředitelství silnic a dálnic i krajům, obcím a dalším v rámci jejich ekonomických analýz, případně i pojišťovnám ohledně schopnosti „správně“ vyhodnotit závažnost a následnou výši narovnání škod, nakonec i státnímu a veřejnému aparátu pro zlepšení práce s občany státu v kontextu pravidel chování na nejrozličnějších typech komunikací či při řešení vlivů na životní prostředí apod.

V příspěvku autoři předkládají návrh na **základní koncept systémového modelu dopravní nehody**, využívající nástrojů a metod **řešení technologie geografických informačních systémů**, a předznamenávající následnou aplikaci **metod shlukové analýzy**.

2 Současná praxe a vybrané nástroje statistického hodnocení

2.1 Stávající způsob evidence a vyhodnocování dopravní nehodovosti

Od roku 2007, kdy se autoři tohoto příspěvku měli možnost poprvé seznámit se stavem evidence dopravních nehod, provozované Policií ČR (dále „PČR“), se toho k letošnímu roku moc nezměnilo. Z práce se zapůjčenými vybranými (a samozřejmě anonymizovanými) údaji o dopravních nehodách za roky 2007 až 2013 jsou patrné následující skutečnosti:

- **evidenci nehody vede každá složka Integrovaného záchranného systému** pro své potřeby sama **ve vlastním**, s ostatními de facto nesrovnatelným **formátu**;
- v dostupných datech PČR se objevují závažné vnitřní problémy, plynoucí opět z další úrovně roztržitosti zejména dle jednotlivých správ policejních pracovišť:
 - **odlišný způsob formátování časových údajů** (jednou středoevropský krátký formát, jinde podle americké domluvy);
 - **obměny v číslování dnů v týdnu** - neděle jednou jako 0, jindy jako 7 či 1;
 - **ne zcela stoprocentně shodné struktury** vyplňovaných tabulek (rozlišnost především pražských údajů od mimopražských) apod.;
- složitosti s **lokalizací nehod** (nejasné způsoby zjišťování souřadnic) - dopravní policista nemůže být stejně kvalifikován jako průměrný zeměměřič, a právě proto by měl mít v ruce pomocnou aplikaci s potřebnou výbavou;

- vlastní odůvodnění **struktury**, resp. konstrukce databáze policejně sledovaných dopravních nehod - jde jen o položky a jejich klíčování **pouze z pohledu vyšetřovatelů nehod**, zatímco jiné, ze systémově chápaného konceptu dopravní nehody (viz dále) nijak zjišťované nejsou (vlastnosti širšího okolí nehody ve smyslu charakteru krajiny, obvyklé, a tedy předvídatelné vzory chování příslušných komunit, z nichž se rekrutují účastníci dopravních nehod aj.);
- bohužel zásadní **časová nesrovnatelnost jednotlivých ročníků dat především z legislativních důvodů** - zavedení limitu pro alarmování PČR k dopravní nehodě ve výši 20 000,- Kč zcela znemožnilo věrohodnou, dlouhodobě profilovanou analýzu „drobných“ dopravních nehod.

Různých nepříjemností při pokusech vyrobit časově srovnatelné soubory o dopravních nehodách v uvedených letech je samozřejmě víc, ovšem zde uvedené jsou ty nejzávažnější, s nimiž se autoři tohoto příspěvku setkali.

Na tomto místě, pro hrubou ilustraci způsobu evidence dopravních nehod dnes, je čistě orientačně uveden částečný seznam položek v Tab. 1, které dopravní policista musí na místě vyplnit (a které zároveň nejsou předmětem ochrany osobních údajů):

Pracovní označení	Význam položky	Pracovní označení	Význam položky
p1	identifikační číslo	p21	dělení komunikace
p36	druh pozemní komunikace	p22	situování nehody na komunikaci
p37	číslo komunikace	p23	řízení provozu
p2a	datum ddmmrr	p24	místní úprava přednosti v jízdě
@weekday(p2a)	0=sobota, 1=neděle, 6=pátek	p27	specifická místa a objekty
p2b	čas hhmm	p28	směrové poměry
p6	druh nehody	p34	počet zúčastněných vozidel
p7	druh srážky jedoucích vozidel	p35	místo dopravní nehody
p8	druh pevné překážky	p39	druh křižující komunikace
p9	charakter nehody	p44	druh vozidla
p10	zavinění nehody	p45a	výrobní značka
p11	alkohol u viníka	p47	rok výroby vozidla
p12	hlavní příčina nehody	p48a	charakteristika vozidla
p13a	usmrcených	p49	smyk
p13b	těžce zraněných	p50a	vozidlo po nehodě
p13c	lehce zraněných	p50b	únik provozních nebo přepravovaných hmot
p14	celková škoda ve 100 Kč	p51	způsob vyproštění osob z vozidla
p15	druh povrchu vozovky	p52	směr jízdy nebo postavení vozidla
p16	stav povrchu vozovky	p53	škoda na vozidle ve 100 Kč
p17	stav komunikace	p55a	kategorie řidiče
p18	povětrnostní podmínky	p57	stav řidiče
p19	viditelnost	p58	vnější ovlivnění řidiče
p20	rozhledové poměry		

Tab. 1. Seznam vybraných zveřejnitelných položek evidence dopravních nehod. (ýtah ze zapůjčených pracovních podkladů Policie ČR (2008).

2.2 Shluková analýza nástrojem multikriteriální analýzy dopravní nehodovosti

V kontextu současné informační exploze a snahy naplnit pojmy tzv. „informační společnosti“, případně „znalostní společnosti“ je zcela nezbytné dokázat se v množství informací a znalostí orientovat a být schopni získávat navazující informace a znalosti, a to nejen „prostou“ interpretací získaného informačního materiálu, ale i odvozováním a další dedukcí či indukci nových informací, nových znalostí (data → informace → znalosti - Vlček, 1999).

Ovšem v souvislosti s tím narůstá složitost samotného „informačního“, resp. „znalostního“ prostoru, a to jak v jeho objemu, tak v „hustotě struktury“ („houstnutí prostoru“ - Vlček, 2002) a nezbyvá, než uplatňovat odpovídající metody. Roste tak potřeba účelové klasifikace, třídění, případně typologie objektů, jimiž se konkrétní úlohy zabývají a které teprve skutečně umožní uživatelsky srozumitelně a dále užitečně interpretovat získané výsledky.

Těmito objekty mohou být libovolné množiny hmotných předmětů, abstraktních prvků - př. dopravních nehod. Jejich efektivní rozdělení do skupin, tříd, vhodných pro nasazení specializovaných matematických metod je možné provést mnoha různými způsoby a s odlišným cílem, a proto je vhodné zprvu vymezit hlavní principy přístupu k obecným dekompozičním (třídícím, filtrovacím, klasifikačním aj.) postupům. Samotná „cluster analysis“ je nástrojem multikriteriálních hodnocení jako takových, kdy se vyhodnocují dostupné charakteristiky objektů jakoby současně (neměla by ovšem být zaměňována či nahrazována hierarchickými rozhodovacími stromy a postupy regresních analýz - „data mining“).

Základními skupinami úloh, vyžadujícími některý ze způsobů vytváření tříd prvků (Sovjáková, Kopecký, 1989), jsou zhruba tyto:

- etapy statistického zpracování množiny prvků, zde tedy dopravních nehod, s cílem zjistit **obecné statistické charakteristiky souboru** příslušných dat: v tomto případě vytvoření určitých tříd objektů = dopravních nehod umožní hledat vhodný způsob dekompozice systému dopravní nehodovosti;
- úlohy **optimální regulace a plánování**, kdy je třeba znát členění prvků (zde se uplatní dopravní nehoda již ve formě systémového modelu) na různých úrovních podrobností zkoumání v kontextu s posunem již do oblasti systémových strategií (Vlčková, 2014);
- **prognózování ekonomicko-sociologických situací**, kde s ohledem na systémové charakteristiky jevu dopravní nehodovosti lze dojít až k uplatnění pojmu systémové aliance (Votruba et al., 2009);
- **typologie území** pro potřeby úloh geografie, **prostorového plánování a řízení územního rozvoje**, kdy je dopravní nehodovost chápána jako vlastnost prostředí, v němž se řeší příslušné prostorové úlohy, tedy jde již o úlohy systémových strategií s uplatněním nástrojů technologie GIS (Vlčková, 2013) atd.

Zatímco **metody třídění** rozdělují prvky do podmnožin na základě jednoho kritéria, resp. opakovaně po jednom kritériu (hierarchické stromy), **metody vícerozměrné analýzy**, a tedy i shlukování využívají celého vektoru různých ukazatelů, charakteristik současně. Tím umožňují lépe získávat objektivnější členění vstupní množiny prvků, než při jednoduché klasifikaci (např. Vlčková, 1983).

Shluková analýza je metoda, která pro vytvoření rozkladu, resp. pokrytí dané množiny prvků využívá zhodnocení jejich vzájemné vzdálenosti, podobnosti, stanovené v rámci metriky definovaného prostoru charakteristik - do tříd = shluků umisťuje ty prvky, jejichž vzdálenost, podobnost dosahuje minimální, resp. maximální hodnoty. Jinými slovy jde o seskupování

prvků, které si jsou nejbližší, nejpodobnější, vykazují maximum shodných vlastností nebo jejich konkrétních hodnot (Kopecká, 1989).

Výchozím předpokladem pro užití metody shlukové analýzy (př. Ajvazjan, 1981 nebo Kopecká, 1989) je tedy existence N zkoumaných objektů - prvků, z nichž každý je popsán p charakteristikami. To znamená, že pro každý objekt existuje vektor měření $\mathbf{x}$ obsahující p složek takový, že:

$$\mathbf{x} = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_p\} \quad (1)$$

Všechny vektory $\mathbf{x}$ lze shrnout do matice dat (matice vlastností, podobností) o rozměru $N \times p$. Samotné shlukování má za úkol zkonstruovat buď pokrytí množiny shluky v případě shluků se společnými prvky, nebo rozklad množiny se zcela disjunktními shluky. Do shlukové analýzy je možno zavést i metody práce s fuzzy-množinami, kdy rozhraní shluků, daná společnými prvky, lze chápat jako úlohu zjišťování míry nejistoty náležitosti prvku do shluku.

Obecné rozhodnutí o náležitosti prvku do shluku je určeno vzájemnou vzdáleností - podobností prvků, která se v širším pojetí zavádí jako míra nepodobnosti prvků. Míra nepodobnosti prvků je nezáporná reálná funkce d , definovaná na zavedené množině všech vektorů měření $\mathbf{x}$ tak, že v daném prostoru platí:

$$\begin{aligned} \forall x_i, x_j \exists \mathbf{x} \times \mathbf{x}: d(x_i, x_j) &:= d(x_j, x_i) \\ \forall x_i \exists \mathbf{x}: d(x_i, x_i) &:= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Typy úloh shlukové analýzy je možno dělit podle typu rozkladu (Vlčková, 1983; Kopecká, 1989), a to na:

- nalezení rozkladu množiny prvků na n **shluků**, **kdy n je předem známé**;
- nalezení rozkladu množiny prvků na n **shluků**, **kdy n není předem známé**;
- vytvoření hierarchického **stromu rozkladů**,

a to buď divisivní, nebo aglomerativní metodou (analogicky např. systémové projektování shory dolů či zdola nahoru).

- Hierarchické shlukování

Principem tohoto způsobu řešení nalezení shluků podobných objektů je vytvoření **hierarchického stromu rozkladů**. Vzdálenost n prvků je definována jako normovaná vzdálenost v m -rozměrném prostoru. Množina objektů se poté rozkládá tak, že na každé úrovni rozkladů vznikají z původní množiny dvě podmnožiny, tedy na první úrovni vznikají dva shluky, na druhé čtyři a na s -té úrovni 2^s shluků.

- Frekvenční shlukování s určováním řídicích vlastností shluků

V tomto postupu jsou shluky, resp. jejich jádra určována na základě zjištění tzv. **řídicích vlastností shluků**. Řídící vlastnost je společnou charakteristikou všech objektů shluku a pro prvky tohoto shluku nabývá její hodnota výskytu maxima. Prvky shluku pak s sebou nesou i celý vektor svých ostatních vlastností, jejichž souhrn vytváří doplňující popis celého shluku. Vzájemné vyhodnocení řídicích vlastností shluků a dalších přitahovaných vlastností ostatních prvků shluku napomáhá zjištění skrytých, odvozených (tranzitivních) informací jak o prvcích, tak i o shlucích, vyplývajících právě z kombinací vlastností prvků ve výsledném rozkladu.

- Centroidní shlukování

Principem tohoto shlukovacího postupu je úvodní **stanovení center - jader shluků**, k nimž jsou ostatní prvky rozřazovány podle vybraných kritérií. Tyto centroidy, jádra shluků lze vybírat podle určitého pravidla jako představitele příslušných skupin; např. z průběhu distribučních funkcí nebo hustot rozložení atd.

Pomocí takto chápané shlukové analýzy lze podle autorů příspěvku především **zkoumat vlastnosti vybraných reálných objektů** (např. úseků silničních komunikací, souborů dat o dopravních nehodách aj.) komplexně, se zahrnutím více sledovaných charakteristik současně. V nejpodrobněji zpracovaných analýzách lze studovat na základě vytvořených shluků skryté - tranzitivní vlastnosti objektů shlukování, přičemž vzájemný vztah diferencovaně hodnocených objektů není z pouhého výčtu jejich charakteristik zřejmý.

Dalším možným způsobem interpretace výsledků shlukové analýzy podle autorů může být i např. **studium analogií vývoje**, kdy při tvoření shluků za určitých podmínek lze předpokládat, že každé dva prvky v určitém shluku budou mít shodné předpoklady, a tedy i průběh a důsledky dalšího rozvoje, podobný genetický kód, reprezentující daný abstraktní systémový model příslušného jevu - zde dopravní nehodovosti.

3 Koncept systémového prostorového modelu dopravní nehodovosti

Odůvodněním pro autory a zároveň smyslem vypracování tohoto příspěvku je demonstrovat **aplikaci systémových pojmů jako podpůrné prostředí pro systémové zkoumání jevu dopravní nehodovosti** a možnosti zúročení v praktické úloze jak hodnotit stav dopravní nehodovosti. Vhodně zkoncipovaný **systémový model dopravní nehody** je úvodním krokem. Samotný soubor **prvků systémového modelu dopravní nehody a jejich funkce** představují vstupní analýzu pro konstrukci **složek, dále vstupujících do shlukování**. Konkrétní předpis pro následné **hodnocení shluků je odvislý od odpovídajícího tvaru produkční funkce**, který předznamená i výběr metody shlukování i následně zaměření a očekávaný obsah výpovědi a podrobnost celého výsledku. Aplikace měkkého přístupu je v podstatě obrazem intenzity vnímání „okolí“ systému dopravní nehody: do jaké míry řešitel chce či je schopen rozpoznat a posléze do analýz zahrnout „měkčeji“ připojené okolí - v tomto případě např. charakter krajiny, kromě aktuálního počasí i místní klimatické podmínky. Nabízí se i **uplatnění teorie řádu efektů** (Vlček, 2002) ve vazbě na celkové ekonomické (hospodářské) prostředí (ovlivňuje např. komplexní stav komunikací apod.) či na sociální rozměry (vliv na obvyklé chování řidičů vozidel apod.) či dokonce i na udržitelnost dopravy v kontextu se škodami, působenými dopravními nehodami apod.

Systémový přístup, o jehož uplatnění se tento příspěvek v problematice dopravní nehodovosti maximálně snaží (př. Newnam, Goode, 2015; Votruba, Novák, Brandejský, Fábera, Bouchner, 2009), je možné shrnout parafrází Ludvíka Součka (Souček, 1974) ve smyslu, že systémový přístup, systémové inženýrství je vědou o „tušení souvislostí“. Cílem je nalezení těchto souvislostí a jejich deskripce na vhodné rozlišovací úrovni. Autory zaznamenané dosavadní způsoby evidence a vyhodnocování dopravních nehod systémový charakter dopravní nehodovosti poněkud pomíjejí a soustředí se na až konečnou úroveň statistického vyhodnocení.

V následující části příspěvku je tedy autory příspěvku předložen nástin možností, jak se vůči „jevu“ dopravní nehody stavět systémově, právě ve smyslu konstruktivní teorie systémů a systémového přístupu k řešení složitých vícerozměrných úloh.

3.1 Stručně k rozvinuté definici systému

Vstupem dalších úvah je aplikace tezí tzv. konstruktivní teorie systémů ve smyslu původní studie Jaroslava Vlčka Systémové inženýrství (Vlček, 2002). Autoři příspěvku vycházejí zásadně z motivu, že **dopravní nehoda je výsledkem nejen okamžité chyby řidiče či**

aktuální technické závady na vozidle nebo na dopravní cestě, ale z podstatné části i důsledkem tzv. souhry okolností - tedy právě výše zmíněných souvislostí uvnitř jevu dopravní nehody i z okolí, vně jevu dopravní nehody.

3.1.1 Základní tvar rozvinuté definice systému

Pro úplnost vyjádření a vyjasnění dále používaných termínů a odkazů je zde uvedena rozvinutá definice obecného systému (Vlček, 2002) ve tvaru:

$$S := (A/F, R/P, \gamma, \delta, E, M, I, K) \quad (3)$$

kde S značí samotný systém;

A/F je **množinou prvků** (částí) systémového modelu s jejich funkcemi;

R/P je **množina vazeb** mezi nimi a jejich parametry;

γ označuje množinu procesů genetického kódu, resp. **druhového chování**;

δ znamená množinu procesů **cílového chování**;

E je symbol **etiky systému**;

M je mohutnost množina všech procesů v/na systému;

I označuje **identitu systému** vůči jeho okolí;

K charakterizuje **kompetenci systému** (v dalších pojetích případně kapacitu systému).

Další podrobnější rozvedení této definice zde není pro účely článku nezbytné, lze je řádně dohledat v další literatuře - pro tento příspěvek slouží pouze jako formální nástroj dalších úvah.

3.1.2 Přiřazení složek rozvinuté definice systému k rozpoznaným systémovým složkám dopravní nehody

Je zřejmé, že pro vedoucí myšlenku tohoto příspěvku - na zvolené podrobnosti vyjádření - nepoužili autoři pro následující výklady všechny výše zmíněné složky definice systému, ale jen vybrané, podstatné pro předkládané úvahy.

Ve výše zmíněném kontextu tedy autoři vnímají **jev dopravní nehody** jako předlohu pro specificky zaměřený **systémový model**, v němž uvažují jeho jednotlivé složky následovně:

- **A/F , tedy množina prvků s jejich funkcemi** zahrnuje veškeré účastníky nehody, jež lze - v rovni podrobnosti, využitelné v tomto příspěvku - rozpoznat jako:
 - řidič vozidla - kontroluje pohyb vozidla, zahrnuje v to vlivy na jeho standardní způsob vedení vozidla jako např. úroveň vzdělání řidiče, absolvování kurzů bezpečné jízdy, kvalita autoškoly, případně anomálie jeho aktuálního chování jako např. jeho fyzický či psychický stav, věk, horečka aj.;
 - vozidlo - zprostředkovává transport nákladu po dopravní cestě a analogicky řidiči nosič vlivů stavu konkrétních technických parametrů vozidla;
 - dopravní cesta - omezení pohybu vozidla po určité prostorové trajektorii s počátkem cesty a cílem cesty;
 - bezprostřední okolí dopravní cesty - představuje konkrétní geofyzikální, geografické apod. vlastnosti užitá dopravní cesty;
 - krajinné prostředí - zprostředkovává ovlivnění řidiče vozidla vizuálními, emočními apod. parametry;
 - klima - určuje hydrometeorologické okolnosti jako např. aktuální počasí, světelné či teplotní poměry aj. určujícími stav a rychlost změn vlastností dopravní cesty;

- administrativně ekonomické podmínky - předurčují celkový technický stav dopravní cesty, intenzitu provozu na dotčené dopravní cestě, obvyklou technickou úroveň užívaných vozidel atd.;
- sociální podmínky - představují obvyklé individuální schopnosti účastníků nehody plynoucí z vlastností jejich sociálního prostředí; podvědomý způsob reakcí jak účastníků nehody, tak jejího okolí na konfliktní situace v dotčeném krajinném prostředí apod.
- **R/P, množina vazeb** mezi nimi **a jejich parametrů** je stručně ilustrovatelná následujícím schématem (komentáře vazeb ve schématu jsou upřesněním obsahu, významu vazeb na vybrané rozlišovací úrovni systémového modelu), který autoři stručně formulovali v Obr. 1:

Obr. 1. Schematické zobrazení konceptu systémového modelu dopravní nehody. Zdroj: Autoři.

- **M, množina všech procesů** v/na systému, může obsahovat procesy jako např.:
 - vedení vozidla řidičem;
 - poškození dopravní cesty vozidlem;
 - ovlivnění směru a způsobu pohybu vozidla dopravní cestou;
 - „uspání“ řidiče vozidla jednotvárností krajiny či naopak roztříštění jeho pozornosti mezi nadměrné množství podnětů z okolní krajiny;
 - uvedení vozidla do nežádaného způsobu pohybu po dopravní cestě v důsledku hodnot parametrů klimatu, resp. aktuálního počasí;
 - chování řidiče po události „nehoda“ ohledně míry zavinění nehody jím samým v přímém důsledku jeho sociálního zařazení a sním spojeného vnímání závažnosti dopravní nehody;
 - vypořádání následků nehody postupy specifickými pro konkrétní sociální prostředí či ve vztahu k místním administrativně ekonomickým podmínkám aj.
- **γ, z toho množina procesů genetického kódu**, resp. druhového chování (mimochoodem patrně ty procesy, které dosud zásadně formují způsob evidence dopravních nehod):
 - vzájemné poškození vozidla a dopravní cesty;
 - vzájemné poškození řidiče a dopravní cesty;
 - vzájemné poškození řidiče a vozidla.
- **δ, z toho množina procesů cílového chování**:
 - odstranění (následků nehody) „nefunkčních“ řidiče a vozidla z dopravní cesty;
 - vypořádání poškození dopravní cesty (nelze vždy počítat s tím, že bude tzv. „opravena“ dopravní cesta, čili uvedena do alespoň takového stavu, „bezprostředně“ předcházejícího jevu dopravní nehody).
- **E, etika systému** - kromě vysloveně negativní klasifikace jevu dopravní nehody jako takové (ekonomická újma, zdravotní újma či újma na životech atp.) lze nalézt i určité pozitivní přínosy - byť to zní nepřístojně - např. ve smyslu:
 - další obohacení vstupů pro žádané upřesnění statistických vyhodnocování;
 - morální naučení pro široké okolí jevu dopravní nehody;
 - možnost klasifikace dalších, doposud nerozpoznaných souvislostí a možností vzniku jevu dopravní nehody atd.
- **I, identita systému** vůči jeho okolí - tuto složku lze pro daný účel tohoto příspěvku chápat ve smyslu „významnosti“ různých úrovní jevů dopravních nehod ve vztahu ke krajině, ke klimatu, k administrativně ekonomickému či sociálnímu okolí aj.;
- **K, kompetence systému** zahrnuje v podstatě míru působení důsledků jevu dopravní nehody na další, již skutečně ve vnějším okolí dopravní nehody probíhající zdánlivě nezávislé procesy (př. výuka dopravní bezpečnosti v základních školách, kácení alejí podél silničních komunikací atd.).

3.2 Naplnění vybraných vstupních předpokladů identifikace systému a projekce do GIS

3.2.1 Produkční funkce a řády efektů

Uplatnění teorie produkčních funkcí (Vlček, 2002) znamená pro systémovou úlohu zjištění a přiřazení funkcí k prvkům využití obecný předpis funkčního vztahu:

$$S_{a_i} := f(\mathbf{x}) \rightarrow \mathbf{y}, (\text{v jiném tvaru např. } \forall a_i \in \mathbf{A} \exists \mathbf{y}_j = f_j(\mathbf{x}_1 \dots \mathbf{x}_n), f_j \in \mathbf{F}) \quad (4)$$

kde $a_i \in \mathbf{A}$ množiny částí (prvků) celku (modelu) pro $i=1, 2, \dots, n$ celkového počtu částí celku;
 f je tvar funkce, schopnosti jednotlivého prvku;
 $\mathbf{x}$ jsou argumenty funkce, resp. vstupy do schopnosti prvku;
 $\mathbf{y}$ je hodnota výsledků schopnosti prvku.

Pro další úvahy autoři pro přehlednost užili (na velmi hrubé rozlišovací úrovni) pro systémový model dopravní nehody základní tvar produkční funkce:

$$\mathbf{y} := f(\mathbf{x}) \quad (5)$$

v němž:

- f reprezentuje samotný jev dopravní nehody;
- $\mathbf{x}$ jsou vstupní argumenty, činitele, jejichž konkrétně nabyté hodnoty způsobí událost = dopravní nehoda; tedy strukturální složky výše zmíněného systémového modelu dopravní nehody;
- $\mathbf{y}$ je v tomto případě „kvalita“ výsledku uskutečnění jevu dopravní nehody; tedy důsledky, dopady na okolí systému - kromě známých výstupních parametrů jako jsou počet mrtvých, počet zraněných či finanční škoda i třeba ztráty hospodaření, zamoření krajiny či poškození životního prostředí nebo i např. rozvoj specializovaných zdravotnických oborů, způsob organizace záchranných složek apod.

Odkazy na teorii řádu efektů (Vlček, 2002, Vlčková, 2011) autoři demonstrují pro řešení systémové struktury dopravní nehody a jejího okolí v Tab. 2:

Prvek systémové struktury dopravní nehody	Funkce	Odpovídající řád efektu
řidič vozidla	kontroluje pohyb vozidla atd.	bod
vozidlo	zprostředkovává transport nákladu po dopravní cestě	úsečka
dopravní cesta	omezení pohybu vozidla po určité prostorové trajektorii s počátkem cesty a cílem cesty	linie
bezprostřední okolí dopravní cesty	představuje konkrétní geofyzikální, geografické apod. vlastnosti užití dopravní cesty	plocha
krajinné prostředí	zprostředkovává ovlivnění řidiče vozidla vizuálními, emočními apod. parametry	„3D“ ve smyslu doplnění dalších rozměrů uzlům sítě, tvořících plochu
klima	určuje hydrometeorologické okolnosti jako např. aktuální počasí, světelné či teplotní poměry aj. určujícími stav a rychlost změn vlastností dopravní cesty	„4D“ ve smyslu zavedení dynamiky chování prostředí dopravní nehody
sociální podmínky	představují obvyklé individuální schopnosti řidičů, podvědomý způsob reakcí na konfliktní situace v dotčeném krajinném prostředí apod.	sociální prostředí

administrativně ekonomické podmínky	předurčují celkový technický stav dopravní cesty, intenzitu provozu na dotčené dopravní cestě, obvyklou technickou úroveň užívaných vozidel atd.	udržitelnost dopravy
-------------------------------------	--	----------------------

Tab. 2. Ilustrace možného uplatnění tezí teorie řádů efektu na systémový model dopravní nehody. Zdroj: Autoři.

3.2.2 Užití technologie GIS jako systémového nástroje modelování dopravní nehodovosti

Další uplatnění pojmu technologie geografických informačních systémů a s ním související konceptu tzv. geoinformačního inženýrství (Vlčková, 2010a a 2011) vyžaduje úvodní připomenutí základních systémově infromatických pojmů z teorie znalosti (např. Vlček, 2002) a jejich průmět do technologie GIS (Vlčková, 2011):

- data: **prostorově orientovaná data čili geodata** - pořízena přímo z terénních šetření, lokalizující vybraný (homogenní) územní jev, v tomto případě dopravní nehodu;
- informace: **prostorová informace čili geoinformace** - geodata, vybavená uživatelskou kvalitou ve vztahu k řešiteli a dalšími připojenými (relačními) vlastnostmi či charakteristikami, rozšiřující původní pořízená geodata o další vlastnosti;
- znalost: **prostorová znalost čili geoznalost** - výslednice propojování, relací mezi geodaty a geoinformacemi, přičemž toto propojení lze konstruovat nejen datově, ale i prostorově, tedy **vztahem vzdálenosti v prostoru v definované souřadné soustavě**.

Přepis obecného tvaru produkční funkce systémového modelu prostorového jevu (zde dopravní nehodovosti) lze uvést ve formulkách (Vlčková, 2012) - pro názornost zde autoři užívají slovní vyjádření namísto písmenných zkratk:

$$\text{geoznalost} := \text{geoinformační vztah}(\text{geodata}) \quad (6)$$

Tento koncept dále posunuje úvahy směrem k představě **dopravní nehodovosti jako určité funkce území**, vyjádřenou **nástroji geoinformačního inženýrství**:

- samotnými **geodaty** jsou argumenty **x**, rozpoznané prvky územního jevu dopravní nehodovosti, vybavené příslušnou databází - (geo)data dopravních nehod
 - údaje o nehodě ve smyslu systémového modelu dopravní nehody
- **geoinformacemi** lze rozumět postup jejich zpracování:

$$\mathbf{y} := f(\text{údaje o nehodě; údaje o komunikaci ...}) \quad (7)$$

- čili samotné zpracování vzniku dopravní nehody ve vazbě na konkrétní hodnoty vstupních parametrů (systémového modelu) dopravní nehody
- **geoznalostí** se stává výstup příslušné produkční funkce:

$$(\text{kvalifikace dopravní nehody, důsledky} \quad (8)$$

do okolí dopravní nehody) $:= f(\text{údaje o nehodě; údaje o komunikaci ...})$

4 Diskusní koncept využití shlukové analýzy pro klasifikaci úseků komunikací

Autory navrhovaný základní koncept využití shlukové analýzy pro vícerozměrnou klasifikaci komunikací z hlediska nebezpečnosti jejích úseků nástroji geoinformačního inženýrství především kromě jiného předpokládá i **roztřídění dosud evidovaných položek podle systémového modelu s uvážením výhod možností práce v prostředí GIS** (mj. Cope, Elwood, 2009; Li, Leung, 2011; Miller, 2001; Rybansky, 2014). Takové úvodní seřídění dovolí pregnantně formulovat jak zdroje externích dat (RÚIAN - Registr územní identifikace a adres nemovitostí, NDIC – Národní dopravní informační centrum apod.), tak i úlohy, které za řešitele „provede“ účelová aplikace GIS (lokalizace v síti komunikací, zahrnutí do celostátních statistik a generelů aj.).

Souvisejícím důsledným odlišením funkcí prvků systémového modelu autoři dospěli mj. až k představě samostatné funkce „dopravního koronera“. I to by též znamenalo další pomoc při optimalizaci práce zúčastněných složek: zkráceně řečeno nechat policistům řešení deliktů s trestněprávními důsledky, zatímco ohledání, zaevidování a celou úřední a evidenční agendu následně přesunout na úředníka - zmíněného „dopravního koronera“, který provede kompletní ohledání místa a dopadů nehody, její fundovanou jednotnou lokalizaci, zaevidování atd., včetně zavedení konkrétní dopravní nehody do celého projektu dopravní nehodovosti v GIS pro její další zapracování do propojených ostatních statistik, modelů atp.

Kompletní koncept diskutovaného propojení zmíněných metodologií, metodik autoři shrnuli do obr. 2 níže:

Obr. 2. Koncept uplatnění nástrojů technologie GIS a shlukové analýzy v problematice dopravní nehodovosti. Zdroj: Autoři.

5 Závěr

V závěrečném shrnutí autoři dospěli k přesvědčení, že významnou pomocí pro snižování dopravní nehodovosti je kvalifikované **využití metod a nástrojů** jednak **systémového přístupu** – vede ke kvalitnějšímu vyhodnocení skutečných příčin vzniku dopravních nehod, jednak **shlukové analýzy** - v souladu se systémovým přístupem efektivněji zvládá vnitřní propojenost zahrnutých faktorů, jednak **technologie GIS** ve smyslu oboru geoinformačního inženýrství (navazující pojem za termínem geoinformatika (Vlčková, 2010a), zahrnujícího podle autorů jen základ práce s prostorovými informacemi na rozdíl od inženýrských principů obecně dle Vlčka (2001)) - optimalizace jak analytických prací, tak i jejich interpretace i vizualizace moderními informačními technologiemi (např. Hrubeš, 2010). Dosavadní postupy, založené víceméně jen na jednoduchých početních úkonech typu součet či aritmetický průměr počtu nehod na vybraných úsecích, zdaleka již neodpovídají významnosti, rozsahu i komplikovanosti celé problematiky. Přitom zmíněné tři obory a jejich metodické nástroje dávají dostatek možností, jak lépe vyhodnocovat stav i věrohodněji a účinněji hledat možnosti nápravy. Doporučením ze strany autorů je jednak **zavedení zmíněných postupů při klasifikaci a kvalifikaci dopravní nehodovosti**, tak případné úpravy ve **způsobu práce dopravní policie** s cílem systémově zkvalitnit práci policistů s **odlišením podle obsahu jejich agendy** - trestněprávní odpovědnost vůči evidenčním a analytickým činnostem.

Seznam použitých zdrojů

- Ajvazjan, B. S. (1981). *Metody vícekritériální analýzy*. Praha: SNTL.
- Bašta, A. (1986). *Kvantifikace a měření ve společenských vědách*. Praha: VÚVTR.
- Cope, M., Elwood, S. (2009). *Qualitative GIS, A Mixed Method Approach*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Dale, P. (2005). *Introduction to Mathematical Techniques used in GIS*. Boca Raton: CRC Press.
- Hrubeš, P. (2010). *Analýza statistických dat silniční nehodovost* [Habilitační práce]. Praha: ČVUT.
- Sovjáková, E., & Kopecký, A. (1989). *Moderní matematické disciplíny v územním plánování*. Praha: TERPLAN - Státní ústav pro územní plánování.
- Li, R., & Leung, Y. (2011). Multi-objective route planning for dangerous goods using compromise programming. *Journal of Geographical Systems*, 13(3): 249-271. doi: 10.1007/s10109-010-0124-6
- Mazaheri, A., Montewka, J., Nisula, J., Kujala, P. (2015). Usability of accident and incident reports for evidence-based risk modeling - A case study on ship grounding reports. *Safety Science*. 2015, 76: 202-214. doi: 10.1016/j.ssci.2015.02.019
- Míchal, I. (1992). *Ekologická stabilita*. Brno: Veronica pro Ministerstvo životního prostředí České republiky.
- Miller, H. (2001). *Geographic Information Systems for Transportation: principles and applications*. New York: Oxford University Press.
- Newnam, S., & Goode, N. (2015). Do not blame the driver: A systems analysis of the causes of road freight crashes. *Accident Analysis*, 76: 141-151. doi: 10.1016/j.aap.2015.01.016
- Policie ČR (2008). Vybrané položky evidence dopravních nehod. *Výtah ze zapůjčených pracovních podkladů*. Praha: MV ČR.
- Rybansky, M. (2014). Modelling of the optimal vehicle route in terrain in emergency situations using GIS data. In *8th International Symposium of the Digital Earth (ISDE)* (pp. 1755-1307). doi: 10.1088/1755-1315/18/1/012131
- Souček, L. (1974). *Tušení stínů*. Praha: Československý spisovatel.

- Viček, J.** (1996). Doprava jako věda. In *Doprava předmět vědeckého zkoumání – sborník příspěvků, kolokvium*. Praha: ČVUT.
- Viček, J.** (2001). *Systémové inženýrství*. Praha: ČVUT.
- Viček, J.** (2002). *Znalostní inženýrství*. Praha: ČVUT.
- Viček, J.** (2002). *Informační výkon*. Praha: ČVUT.
- Vičková, V., Hrubeš, P. et al.** (2010). *Harmonizace výuky geoinformačního inženýrství na fakultách ČVUT* [studie pro Fond celoškolských aktivit ČVUT]. Praha: ČVUT.
- Vičková, V.** (2010a). Geoznalost a geoinformační inženýrství. In *GIS na ČVUT* (pp. 6-12). Praha: ČVUT.
- Vičková, V.** (2010b). *Kudy tudy systémovým inženýrstvím*. [Upravený přepis Viček Jaroslav: Systémové inženýrství]. Praha: ČVUT.
- Vičková, V.** (2011). *Kudy kam geoinformačním inženýrstvím*. Praha: ČVUT.
- Vičková, V.** (2013). *Kudy dál systémovými strategiemi*. Praha: ČVUT.
- Vičková, V., & Votruba, Z.** (2010). The Synergy Transportation. *Transactions on Transport Sciences*, 3(4):179-186. doi: 10.2478/v10158-010-0024-y
- Votruba Z., Kaliková J., & Kalika, M.** (2008). *Systémová analýza*. Praha: ČVUT.
- Votruba, Z., Novák, M., Brandejský, T., Fábera, V., Bouchner, P., Zelenka, J., Vysoký, P., Bělinová, Z., & Sadil, J.** (2009). *Theory of System Alliances in Transportation Science*. Praha: ČVUT.