



Definice dopravně-telematického systému

*Doc. Ing. Pavel Příbyl, CSc.
Fakulta dopravní ČVUT
Konviktská 20, 110 00 Praha 1
e-mail: pribyl@fd.cvut.cz*

Abstract

There are a few definitions of traffic telematics system. The new definition based on decomposition to the telematics sub-systems and evaluation of the generic target function is discussed. The decisive tool for successful implementation of the traffic telematics systems is well elaborated architecture. The article is oriented to describe the importance of architecture and the process how to elaborate it is defined.

Abstrakt

Existuje několik definic dopravně-telematického systému. Je diskutována nová definice založená na dekompozici na telematické sub-systémy a stanovení zobecnělé cílové funkce. Rozhodující nástroj pro úspěšnou implementaci dopravně telematického systému je dobře zpracovaná architektura. Článek je dále zaměřen na popis architektury dopravně-telematického systému a přístup k jejímu vytváření.

Úvod do problematiky

Doprava se stala fenoménem, který ovlivňuje nejenom ekonomiku státu, ale má řadu dalších pozitivních a negativních funkcí. Evropská unie ve své Zelené knize udává, že 2% hrubého národního produktu je zmařeno díky kongescím. Údaje o spotřebě energie pro realizaci dopravního procesu jsou spíše alarmující, než zajímavé - například v Německu 28% z celkové vyrobené energie „spotřebuje“ doprava.

V posledním desetiletí se objevuje řada inovativních technologií, které jsou nasazovány v dopravních systémech pro co nejefektivnější realizaci dopravního procesu. Může se jednat o řídicí systémy v městských aglomeracích a na dálnicích nebo o navigační systémy optimalizující logistiku dopravního procesu.

Tyto vysoce sofistikované systémy jsou často nasazovány bez ohledu na to, aby splňovaly požadavky na jejich efektivní využívání v jednotném telematickém prostředí. Disproporce mezi vývojem nových technologií a koordinovaným přístupem v jejich nasazování často vede ke špatné funkční a fyzické propojitelnosti systémů nejenom na území regionu nebo města, ale často i na území státu.

Definice dopravně-telematického systému

Základní definice telematiky, lit. [4], zjednodušeně řečeno říká, že systémy, které lze označovat jako telematické pracují ve sdíleném informatickém a telekomunikačním prostředí.

Toto sdílené prostředí se využívá pro zlepšení a zefektivnění dopravy. Z hlediska formálního je tato definice v pořádku, neboť představuje technický stav vedoucí ke sdílení informací v libovolném místě i čase systému, označovaném jako telematický. Pojem telematický systém se však často nadužívá a jsou jím označovány složité systémy, které v principu realizují pouze jeden proces. Typickým příkladem může být adaptivní řízení rozlehlé dopravní sítě, kde jsou informace z dopravních detektorů k dispozici v jednotném telekomunikačním prostředí v libovolném místě a libovolném čase. Přesto nelze mluvit jednoznačně o telematickém systému, neboť je zde realizován pouze jeden proces: na základě údajů ze senzorů vstupujících do dopravního a optimalizačního modelu je optimalizována propustnost dopravní sítě změnou dob zelených, délky cyklu a časového offsetu mezi dopravními uzly adaptivním algoritmem. Proces řízení dopravní sítě je realizován subsystémem: *Subsystém řízení dopravy prostřednictvím dopravních uzlů*.

Aby bylo možné mluvit o dopravní telematice v řízení této dopravní sítě, je nutné **asociovat další procesy**, které zvyšují její propustnost. Procesy mohou být například realizovány subsystémy: *Subsystém řízení dopravy prostřednictvím informování řidičů* nebo subsystémem: *Subsystém optimálního navádění na parkoviště* v dané dopravní síti.

Z uvedeného je patrné, že systém můžeme považovat za telematický, pokud využívá pro realizaci daného procesu P více subsystémů, které jsou v různých úrovních funkčně, informaticky a komunikačně *sjednoceny* ve smyslu dosažení požadované cílové funkce Ψ .

Telematický systém S realizující jistý proces P je tedy tvořen J subsystémy dle vztahu.

$$S^P = \sum_{i=1}^J S_i^P \quad (1)$$

Ve výše uvedené příkladu jsou pro optimalizaci propustnosti městské dopravní sítě použity tři subsystémy ($J=3$). Každý ze subsystémů je vhodné popsat množinou funkcí F a relací mezi nimi R . Pro první subsystém S_1^P realizující proces P lze napsat

$$S_1^P = [F_{1k}^I, R_1^I] \quad (2)$$

kde F_{1k}^I je množina N funkcí prvního subsystému nejvyšší hierarchické roviny I

$$F_{1k}^I = \{f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1k}; k = N\} \quad (3)$$

a R_1^I je množina relací neboli vazeb mezi nimi

$$R_1^I = \{r_{jk} | r_{jk} = (f_j, f_k), \quad f_j, f_k \in N\} \quad (4)$$

Funkce nejvyšší úrovně F_{1k}^I se také nazývají makrofunkce a jsou hierarchicky rozloženy do vrstev na funkce druhé F_{1l}^{II} a dalších úrovní, které mají své interní a externí vazby. Obvyklá je dokompozice do tří až čtyř vrstev, kdy nejnižší vrstva realizuje elementární funkce typu: „*Funkce zajišťuje měření a filtraci dat z detektorů v časovém rastru 90 s*“. Tyto funkce se nazývají *p-funkcemi*.

Počet **asociovaných subsystémů** je dán požadavky na komplexnost řešení a z hlediska horní meze není omezen. Pro dolní mez platí, že musí být $n > I$, pokud se jedná o dopravně-telematický systém. Ve výše uvedeném příkladu se jedná o tři subsystémy a tedy $J=3$. Každý ze subsystémů na základě vektoru vstupních veličin $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$ a vektoru stavových proměnných $\mathbf{z} = (z_1, \dots, z_n)$ poskytuje výstupní veličiny $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_n)$, které jsou využívány

jednak pro realizaci dané cílové funkce a zároveň jsou poskytovány dalším funkcím jako vstupní veličiny. Telematický subsystém tedy **generuje informace a data** pro další asociované subsystémy.

Vazby mezi funkcemi jsou dány přenosem informací v jednotném telekomunikačním prostředí. Zjednodušeně řečeno funkce f_j poskytuje y_l až y_l informací funkci f_k asociovaném ve stejném dopravně-telematickém systému.

Upravená definice telematického systému z lit. [4]:

Systém můžeme považovat za telematický, pokud využívá pro realizaci daného procesu P více subsystémů, které jsou *sjednoceny* ve smyslu dosažení požadované cílové funkce Ψ . Mezi subsystémy a jejich funkcemi jsou realizovány relace pro přenos dat a informací v jednotném telekomunikačním prostředí.

Cílová funkce

Z výše uvedeného vyplývá, že při realizaci procesu P lze dělit telematický systém vertikálně na subsystémy, a že zde také existuje jasné horizontální hierarchické dělení z hlediska funkcí, které má subsystém vykonávat. Jasná hierarchická struktura s jasně definovanými funkcemi činí systém velmi robustní, neboť se řídicí procesy odehrávají na nižší úrovni, kde lze lépe optimalizovat dekomponovanou úlohu a je zde i efektivnější propojení se senzory i aktory. Při vhodné asociaci funkcí do ucelené formy realizované v jednom fyzickém zařízení lze zaručit úplnou nebo částečnou realizaci procesu i při výpadku komunikace s vyššími vrstvami.

Každý ze subsystémů J tvořený funkcemi f_i a relacemi r_{jk} vykonává řídicí nebo optimalizační úlohu, v rovnici (5) označenou operátorem přiřazení \otimes směřující k dosažení dílčí cílové funkce Ψ_p^J

$$\langle f_i; r_{jk} \rangle \xrightarrow{\otimes} \Psi_p^J \quad (5)$$

Jednou z možností, jak definovat cílovou funkci je vytvořit ji jako lineární kombinaci charakteristických kritérií, které mají význam pro danou část dopravního systému, tvořeného různým topologickým uspořádáním. Jiná cílová funkce je definována pro městskou dopravní síť a jiná pro trans-evropské dálnice. Suma všech vážených a normalizovaných charakteristických kritérií vytváří kvalitativní index (Performance Index PI), které je základem pro optimalizaci dané dopravní sítě. Cílová funkce dopravně telematického systému realizujícího proces P hledá tedy optimální hodnoty kvalitativního indexu

$$\Psi_p = \text{opt}(PI) \quad (6)$$

Dá se prokázat, že hledání cílové funkce pro celý komplexní dopravně-telematický systém je neefektivní, a proto se hledají cílové funkce pro jednotlivé subsystémy. Při hledání kritérií pro ohodnocení je nutné vycházet ze stanovených dopravně politických cílů, které se mohou lišit od optimalizace procesu ve smyslu systémové analýzy.

Zatímco ohodnocení

$$\min! PI = \sum_{\text{subsystém } i} c_i \quad (7)$$

kde PI ... kvalitativní index
 c_i ... průměrná cena

může vést k dopravní situaci, která nerespektuje dopravně politické cíle, například tím, že hlavní trasy se neprojedou plynule, může vést pouze systémová optimalizace

$$\min! PI = \sum_i c_i \cdot q_i = \sum C_i \quad (8)$$

kde q_i ... intenzita dopravy
 c_i ... průměrná celková cena

k nepatřičné akceptanci průměrného účastníka dopravy. Proto je vhodné volit cílovou funkci tak, že akceptuje význam jednotlivých účastníků procesu a zároveň akceptuje požadavky na celý systém. S takto vytvořenou funkcí lze definovat systémové optimum dopravně telematického systému jako:

$$\min! PI = \sum_i \sum_j \alpha_{ij} \cdot C_{ij} \quad (9)$$

kde i ... řídicí/optimalizační funkce
 j ... úsek komunikace
 α_{ij} ... koincidenční matice úseků a funkcí
 $\alpha_{ij} = \begin{cases} > 0 & \forall i \in j \\ = 0 & \forall i \notin j \end{cases}$

Takto definované systémové optimum umožňuje hledat optimální řešení i pro určité úseky dopravní sítě. Ty jsou při optimalizaci reprezentovány svými váhami α_{ij} . Při dosud formulované úloze je cílová funkce reprezentována cenou C za ne-dokonalou realizaci procesu P . Cena může být tvořena různými složkami, například jako:

- Dobou zdržení individuální a veřejné dopravy a dobou zdržení chodců při realizaci přepravního procesu;
- Délkou kolon, která sice koreluje s dobou zdržení, ale na zřetel jsou brány další vyvolané účinky;
- Počet zastavení a rozjezdů vozidel individuální a veřejné dopravy;
- Produkce exhalací vozidel individuálních vozidel;
- Spotřeba pohonných hmot.

Jako příklad stanovování kvalitativního indexu PI lze uvést všesměrovou optimalizaci propustnosti vozidel v městské síti prostřednictvím světelné signalizace, která využívá metodu TRANSYT, lit. [4]. Jako kritérium řízení dopravy slouží v TRANSYT vážená lineární kombinace zpoždění a počtu zastavení vozidel ve všech liniích ohodnocované dopravní sítě. Kvalitativní index (Performance Index PI) je definován následovně:

$$PI = \sum_{i=1}^N \left(W \cdot w_i \cdot d_i + \frac{K}{100} k_i \cdot s_i \right) \quad (10)$$

kde N - počet linií,
 W - cena průměrné pcu¹-hodiny zpoždění,
 K - celková cena 100 pcu-zastavení,
 w_i - zpoždění vážené na linii i ,
 d_i - zpoždění v linii i ,
 k_i - počet zastavení vážený na linii i ,
 s_i - počet zastavení v linii i .

¹ pcu = jednotkové vozidlo

Modul optimalizace se pokouší o minimalizaci PI. Jestliže by bylo možné zmenšit zpoždění a počet zastavení na nulu, pak by každé vozidlo které se přiblíží ke světelné signalizaci projelo na zelenou bez zpoždění nebo zastavení a s minimálním časem jízdy. Proto optimalizační algoritmus TRANSYTU hledá všesměrové „zelené vlny“. Z principu není možné odstranit všechna zpoždění nebo počet zastavení v dopravní síti, ale TRANSYT bude automaticky hledat minimální hodnoty.

TRANSYT oceňuje PI v penězích. Uživatel vybere cenu koeficientů W a K , která bude nejlépe vystihovat místní podmínky. Vzorce spotřeby paliva jsou odvozeny experimentálně. Uživatelé programu se znalostmi specifických podmínek mohou vzorec (10) modifikovat.

Pojem modelu dopravně-telematického systému

Cílem budování dopravně-telematického systému je realizovat cílovou funkci, přinášející uživatelům přidanou hodnotu oproti „standardním“ řešením. Hledání systému, který by řešil uživateli daný problém je poměrně složitá a nepřehledná záležitost díky komplexnosti těchto systémů. Proto se pracuje s jistým zjednodušením, které modeluje daný problém. Prvním krokem ve zjednodušování přístupu je zavedení **kategorizace**. Kategorizace třídí a shlukuje dopravně-telematické procesy do *uživatelských oblastí* s podobnými vlastnostmi, které realizují shodné nebo podobné cílové funkce. Původní návrh kategorizace orientovaný na optimalizaci dopravních procesů podle oblastí, které zajímají uživatele je v lit. [9]. V knize „ITS Handbook 2000“, lit. [3], je například definováno 32 oblastí, na jejichž řešení se telematika podílí.

Zkoumejme konkrétní telematickou uživatelskou oblast, kterou může být řízení a monitorování silničního tunelu T . Ten je charakterizován dopravním řešením, ventilačním systémem, řídicím systémem s jeho vazbami na management města apod.

Pro co nejvěrnější popis telematické uživatelské oblasti „Management silničního tunelu“ je proveden rozklad na subsystémy (prvky), které jsou následně modelovány. Jedním z nejdůležitějších subsystémů z hlediska cílové funkce, je optimální řízení dopravy. To lze popsat na různých úrovních ve formě dopravních řešení, řešení mimořádných a havarijních stavů apod. Tyto popisy mohou být modelem řídicího systému dopravy M_1 a M_2 .

Při jízdě v tunelu vzniká množství škodlivin, které musí být změřeny a ventilační systém musí zabezpečit jejich odvedení mimo tunel. Ventilační systém je tvořen vzduchovody, klapkami, ventilátory, výfukovými komíny a dalšími komponentami. Popisy činností celého řetězce pro různé situace typu normální provoz, kongesce v tunelu nebo požár, popisují modely M_3 a M_4 . Podobným způsobem by bylo možné popsat zásobování elektrickou energií (M_4), vazby na řízení světelnými křižovatkami apod.

Výše popisovaná telematická aplikace může být popsána **modely s různým stupněm zjednodušení**. Popis telematického systému ve formě množinového sjednocení jednotlivých modelů se může nazývat *projektem dané aplikace* P , který lze formálně vyjádřit jako

$$P = M_1 \cup M_2 \cup M_3 \cup \dots \cup M_n \quad (11)$$

Projekt telematického systému tedy ve formě různých modelů poskytuje názor na řešení dané uživatelské oblasti. Jednotlivé modely mohou být vyjádřeny v různých formách.

Pojem architektura telematického systému

Podobně jako se při stavbě domů a hotelů používá jednotný přístup, kde jsou tyto objekty vytvořeny (modelovány) nejprve ve formě stavebních výkresů nebo se při tvorbě složitého programového vybavení používá jednotná objektově orientovaná metodika je nutné zvolit i pro popis telematických systémů jednotný přístup. Ten je vytvořen použitím jednotného popisu jakéhokoli telematického systému ve formě unifikovaného modelu. Tímto modelem je *architektura systému*. Lze definovat:

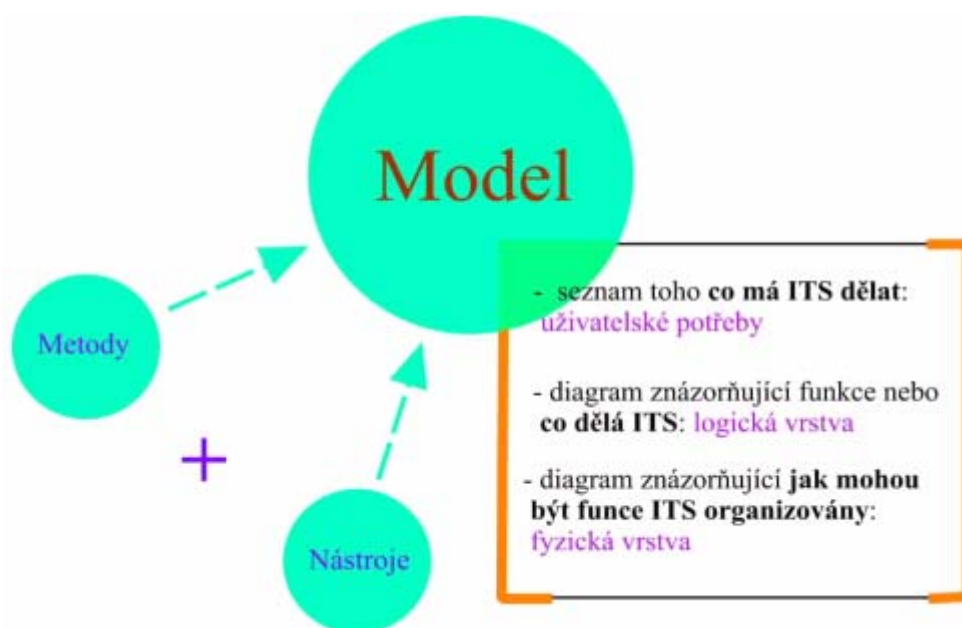
Architektura dopravně telematického systému popisuje uživatelské oblasti ve formě komplexního modelu tvořeném funkčním, informačním, fyzickým, organizačním a telekomunikačním modelem.

Proces vytváření architektury začíná řízenou diskusí s budoucím uživatelem, resp. zadavatelem úkolu, neboť je nutné v prvním kroku definovat *potřeby uživatele* a pravidla, která musí systém respektovat. Pro pozdější úvahy je vhodné zpracovat dokument „*Systémové požadavky*“, který definuje nejenom funkční specifikace, ale i další požadavky na kvalitu, bezpečnost apod. Následně pak lze zpracovat architekturu dopravně-telematického systému.

Při tvorbě modelu telematického systému ve formě architektury je nutné použít vhodné **metody**, Obr. 1. Jak již bylo řečeno, metodou pro vytvoření modelu bude rozklad na následující dílčí modely:

1. Funkční architektura
2. Informační architektura
3. Fyzická architektura
4. Organizační architektura
5. Telekomunikační architektura

Obvyklé je, a to hlavně v případě popisů architektury USA a Kanady, sloučení funkční a informační architektury do jedné vrstvy nazývané *logická* vrstva a stejně tak sloučení fyzické, organizační a telekomunikační architektury do tzv. *fyzické* vrstvy. Tento přístup však není nutné používat u nás a je uveden pro informaci.



Obr. 1: Přístup k tvorbě modelu telematického systému

Samostatnou a velmi významnou kapitolou při vytváření modelu telematického systému je nalezení *nástrojů* pro popis jednotlivých dílčích modelů. Pro popis *funkčního* modelu se s výhodou používá grafické vyjádření ve formě tzv. bublinových diagramů, kde jsou jednotlivé funkce ve své „bublině“ a mezi jednotlivými funkcemi jsou vyznačené informační vazby. Tyto vazby vytváří *informační* model, jehož základem je databázový systém a popis informací v konvenci UML, lit. [5].

Fyzický model je popisován ve velmi zjednodušené podobě ve vrstvách a není vázán na konkrétní zařízení. V oddělené levé části grafického znázornění jsou naznačeny vazby na terminátory², ve střední části je znázornění fyzického uspořádání a v pravé části jsou uvedeny názvy funkcí realizované v daném fyzickém zařízení. Podrobnější informace lze nalézt v lit. [6]. *Organizační* model je zobrazen v symbolice UML a je doprovázena příslušným popisem organizačního zajištění realizace dané oblasti, včetně stanovení zodpovědností. Pro tvorbu *telekomunikačního* modelu neexistuje přímé doporučení, ale grafické vyjádření by mělo být ve formě přehledných schémat znázornit proces přenosu informací. Tento model využívá výstupů informačního modelu a určuje, jakým způsobem a v jakém prostředí jsou informace přenášeny. Samozřejmostí je použití nástrojů cost-benefit analýzy pro nalezení vhodného prostředí nejenom z hlediska investic, ale i budoucích provozních nákladů.

Samostatným problémem je volba vhodných programových prostředků. Popis v „papírové“ podobě se nemůže dlouhodobě osvědčit, neboť jakákoli změna znamená překreslovat různé obrázky, provádět změny v databázích a podchytit všechny vazby. V rámci projektů EU byly vyvinuty programy, které by bylo možné použít, ale zatím nejsou volně k dispozici a pro naše uživatele jsou nevýhodné v tom, že jsou výhradně anglicky. Proto je zajímavé sledovat projekt [1], v jehož rámci je vyvíjeno i programové prostředí a přístup zpracovatelů je prostřednictvím Internetu.

Vytvořená architektura dopravně-telematického systému slouží jako návod a pomůcka pro vytváření konkrétních aplikací.

Závěr

Na závěr příspěvku jsou uvedena témata, která by si vyžádala samostatnou diskusi. První se dotýká otázky, zda standardizované propojení systémů vytváří úplné podmínky pro vytvoření telematického systému a druhé téma se týká vhodnosti používání názvů „telematický“ nebo „inteligentní“ systém.

K prvnímu tématu: Při budování telematických systémů jsou možné dva přístupy. V prvním, který je možné označit jako „volný průběh“ se budují telematické systémy, které jsou sice fyzicky propojitelné díky použití standardizovaných sběrnic, ale z hlediska uživatele nesplňují podmínky funkčního propojení. Druhý přístup, který je možné označit jako „kontrolované řešení“ zaručuje, že systémy splňují předpoklady uživatele a jsou plně funkčně propojitelné a zároveň využívají standardizovaných rozhraní. Právě vytváření architektury telematických systémů zaručuje funkční i fyzickou propojitelnost.

V poslední době se také často nadužívá pojmu „inteligentní systém“. Řada aplikací, které neunesou prvky umělé inteligence se označuje jako inteligentní systém. Příklady definicí a aplikací inteligentních systémů lze najít například v lit. [7] a [8]. Zjednodušeně řečeno zařízení je inteligentní, pokud jeho vnitřní chování napodobuje chování inteligentní bytosti, tedy člověka. Proto je obecně vhodnější používat pojmu telematický systém pro zařízení, které poskytuje nebo zpracovává informace a využívá jednotné telekomunikační prostředí a o

² Vnější prvky, se kterými je telematický systém propojen na úrovni informatiky

inteligenci mluvit tam, kde se skutečně vyskytuje, tedy ve vyšších vrstvách dopravně-telematického systému.

V České republice je realizován pod vedením Fakulty dopravní ČVUT projekt národní architektury „ITS v dopravně-telekomunikačním prostředí České republiky“, lit. [1]. Tento projekt řeší telematiku pro všechny druhy dopravy. V roce 2002 byla dokončena tvorba funkční architektury. Pro Prahu byla zpracována rozsáhlá studie, lit. [2], která v 11 oblastech popisuje dopravně-telematickou architekturu města.

Literatura

- [1] Svítek M. a kol.: „ITS v podmínkách dopravně telekomunikačního prostředí České republiky“, FD ČVUT, Výroční zpráva za rok 2002
- [2] Příbyl P. a kol.: „Studie dopravní telematiky pro hl. m. Prahu“, Eltodo EG, Praha, listopad 2001, 2 díly
- [3] Chen K., Miles J.: „ITS Handbook 2000“, Artech House, 2000, str. 423, ISBN 1580531032
- [4] Příbyl P., Svítek M.: „Inteligentní dopravní systémy“, BEN, Praha, 2001, str. 543, ISBN 80-7300-029-6
- [5] Příbyl P. a kol.: Dopravní informační a řídicí centra-Požadavky na výměnu dat a informatiku, technické podmínky-1. návrh, MDS, prosinec 2002
- [6] Příbyl P.: Dopravní telematika v hlavním městě Praze, ÚDI Praha, 2003, ISBN 80-903263-0-7, str. 78
- [7] Mařík V. a kol.: „Umělá inteligence“, Academia, Praha, 1997, ISBN 80-200-0504-1
- [8] Balažovičová, M., Spalek, J.: “Applications of Artificial Intelligence in Safety-Related Critical Processes Controlling, CeTra-workshop ”Radiobased Operation on Branch Lines”, Žilinská univerzita, Žilina, október 2001, ISBN 80-7100-914-8
- [9] Příbyl P.: “Inteligentní dopravní systémy”, Sdělovací technika č. 9 (str. 3-6), 10 (str. 33-35), 11 (str. 5-7), 1999, ISSN 0036-9942