

# MOŽNOSTI VYUŽITÍ NEURONOVÝCH SÍTÍ PRO MODELOVÁNÍ DYNAMIKY CESTUJÍCÍCH V TERMINÁLU LETIŠTĚ

## POSSIBILITY OF USING NEURAL NETWORKS FOR MODELLING THE PASSENGER DYNAMICS INSIDE THE AIRPORT TERMINAL

Pavčina Hlavsová<sup>1</sup>

---

*Anotace: Neustále narůstající počet titulů s problematikou neuronových sítí svědčí o jejich důležitosti pro technickou i netechnickou praxi. Cílem tohoto článku je nastínit možnost využití neuronových sítí pro modelování toku cestujících v terminálu letiště. Článek demonstruje vliv určitých znaků cestujících na rychlost chůze v terminálu. Navržený model může být využit při řízení toku cestujících terminálem letiště, kde je nezbytná přesná předpověď dynamiky cestujících.*

*Klíčová slova: neuronové sítě, terminál letiště, tok cestujících.*

*Summary: The number of titles focusing on the neural networks is still increasing, and so is the importance of neural networks usage in both technical and non-technical practice. The aim of this paper is to illustrate the usage of neural networks for passenger flow modelling in the airport terminal environment. It demonstrates the impacts of some passenger features on pedestrian dynamics in the terminal. This model could be used in airport passenger flow management, where the accurate prediction of passenger dynamics is necessary.*

*Key words: neural networks, airport terminal, passenger flow.*

### ÚVOD

Neustále narůstající počet titulů s problematikou neuronových sítí svědčí o zvýšení zájmu z řad odborníků a o jejich důležitosti pro technickou i netechnickou praxi. Oblastí využití neuronových sítí je většinou problematika aproximace funkcí, klasifikace do tříd, problémy řízení procesů, transformace a analýza signálů, rozpoznávání obrazců nebo simulace paměti. Jako častý příklad využití lze jmenovat modelování ekonomických a finančních procesů, jejich identifikace, kvantifikace a predikce. (1) Cílem tohoto článku je ilustrovat možnost využití neuronových sítí pro modelování toku cestujících v terminálu letiště, a to v závislosti na vlivu určitých jejich individuálních znaků. Tento model by měl mít zásadní využití při řízení toku cestujících terminálem letiště, kde se dotčená úroveň managementu potýká s problémem predikce dynamiky cestujících. Vybranými znaky jsou věk cestujícího a shlukování cestujících do skupin.

---

<sup>1</sup> Ing. Pavčina Hlavsová, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, katedra Technologie a řízení dopravy, Studentská 95, 53210 Pardubice, tel.: +420466036121, e-mail: [pavlina.hlavsova@student.upce.cz](mailto:pavlina.hlavsova@student.upce.cz)

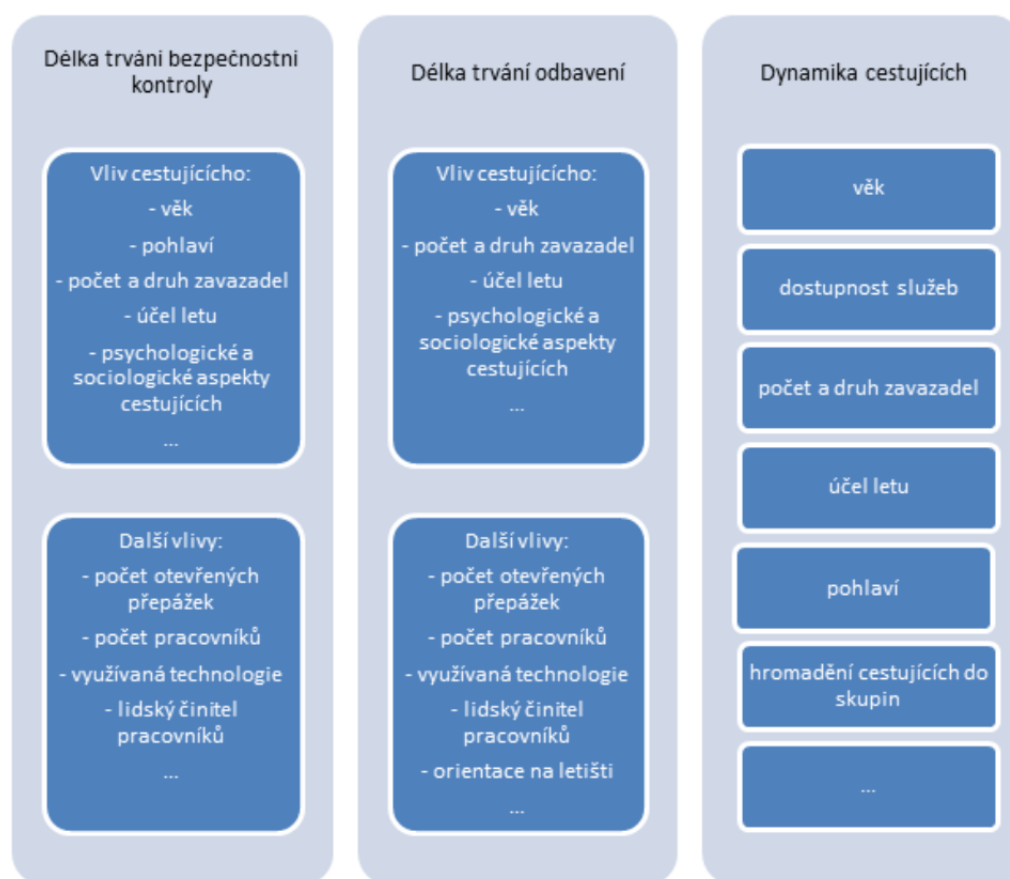
## 1. UMĚLÁ INTELIGENCE A NEURONOVÉ SÍTĚ

Cílem moderních přístupů k paralelním výpočtům je modelovat chování nervové soustavy živočichů, zejména pak chování lidského mozku. Vytvoření umělého lidského mozku se všemi jeho schopnostmi je vzhledem k počtu neuronů a synapsí v šedé kůře mozkové obtížně realizovatelné. Je však možné simulovat alespoň některé jeho funkce. Principem je modelování struktury a činnosti biologických neuronových sítí. Jakožto systém umělé inteligence musí neuronové sítě splňovat základní požadavky, kterými jsou Knowledge Representation, tedy schopnost uložení znalostí, Reasoning (uvažování), tj. aplikace znalostí na řešení problému a Learning (učení), spočívající v získávání nové znalosti v průběhu experimentů. (2) Mezi základní vlastnosti neuronových sítí tedy patří schopnost učit se, nacházet závislosti v „trénovacích“ datech, reprezentovat je pomocí synaptických vah a naučené znalosti zevšeobecňovat na neznámých vstupech. Přínosy neuronových sítí jsou nelinearita, vstupně-výstupní zobrazení, adaptivita synoptických vah vzhledem k okolnímu prostředí, odolnost vůči chybám, zajištěná výpočetní technikou, jednotnost analýzy a návrhu sítě (základním prvkem jsou neurony), analogie s neurobiologií a s tím spojená rychlost výpočtu a účinnost systému. (1)

## 2. PROBLEMATIKA ROZHODOVÁNÍ V OBLASTI ŘÍZENÍ TOKU CESTUJÍCÍCH TERMINÁLEM LETIŠTĚ A VYUŽITÍ SIMULACE PRO PODPORU MANAŽERSKÉHO ROZHODOVÁNÍ

Řízení toku cestujících terminálem je už vzhledem k charakteru letecké dopravy samo o sobě velmi náročným problémem. Do rozhodovacího procesu vstupuje mnoho vlivů, ať už je to sezónnost dopravy, vliv lidského činitele ze strany pracovníků bezpečnostní kontroly a odbavení nebo nepředvídatelnost chování jednotlivců, resp. různorodost faktorů ovlivňujících samotný průchod cestujících terminálem letiště. Pro efektivní plánování provozu letiště, otevírání přepážek odbavení a bezpečnostní kontroly a pro odhad využití kapacity terminálu je žádoucí co možná nejpřesnější znalost dynamiky cestujících a charakteru procesů spojených s jejich odbavením. Z tohoto důvodu jsou na letištích prováděny analýzy délky trvání jednotlivých dílčích procesů odbavení a bezpečnostní kontroly a s jejich využitím pak modelovány a simulovány toky cestujících. V případě velkých letišť má využití v dnešní době moderních simulačních modelů nezbytné opodstatnění. Jejich výhodou je možnost předpovědi efektu manažerského rozhodnutí, aniž by muselo být uplatněno v reálu, a to prostřednictvím simulace jednotlivých scénářů provozu. Na základě výsledků simulace pak manažer porovnává jednotlivé varianty a hledá variantu z nich nejvhodnější, tedy suboptimální.

Jak je patrné z Obrázku 1, vlivů vstupujících do tvorby modelu potažmo i samotného procesu rozhodování a řízení v dané oblasti může být velké množství. Tento článek demonstruje použití neuronových sítí pro modelování dynamiky chůze cestujících.



Zdroj: Autorka

Obr. 1 - Vybrané faktory ovlivňující tok cestujících terminálem letiště

Vedle charakteru dopravního uzlu jsou letiště často centrem dalších služeb, a to zejména obchodů. Chování cestujících v prostředí letiště se však liší od chování v běžných podmínkách, jako je např. nákup v obchodním domě. Důvodem je zejména časový limit cestujícího, daný časem odbavení a nutností podrobit se bezpečnostní kontrole, která je pro mnoho cestujících částečně stresujícím faktorem. Pro účely tohoto článku jsou využita data ze zdroje (3). Návrh neuronové sítě zohledňuje vliv věku cestujících a shlukování cestujících do skupin rychlost chůze cestujících. Mezi další faktory, jejichž vliv na dynamiku cestujících by bylo žádoucí zkoumat, patří bezesporu psychologie cestujících, povědomí o bezpečnostních předpisech, příjem domácnosti, dosažené vzdělání, frekvence jejich cestování, národnost a pohlaví cestujícího, typ letu (business, leisure), počet a typ zavazadel či možnosti nakupování a dalších služeb v terminálu letiště. Vzhledem k rozsahu článku bylo od těchto vlivů abstrahováno.

### 3. VYUŽITÍ NEURONOVÝCH SÍTÍ K PREDIKCI DYNAMIKY CESTUJÍCÍCH V PROSTŘEDÍ TERMINÁLU LETIŠTĚ

Cílem této kapitoly je za pomoci neuronové sítě ilustrovat vliv věku cestujících a shlukování cestujících do skupin na rychlost pohybu cestujících. Veškerá využitá data v této kapitole byla čerpána ze zdroje 3 a doplněna o data z vlastního měření.

### 3.1 Vliv věku cestujících na rychlost chůze

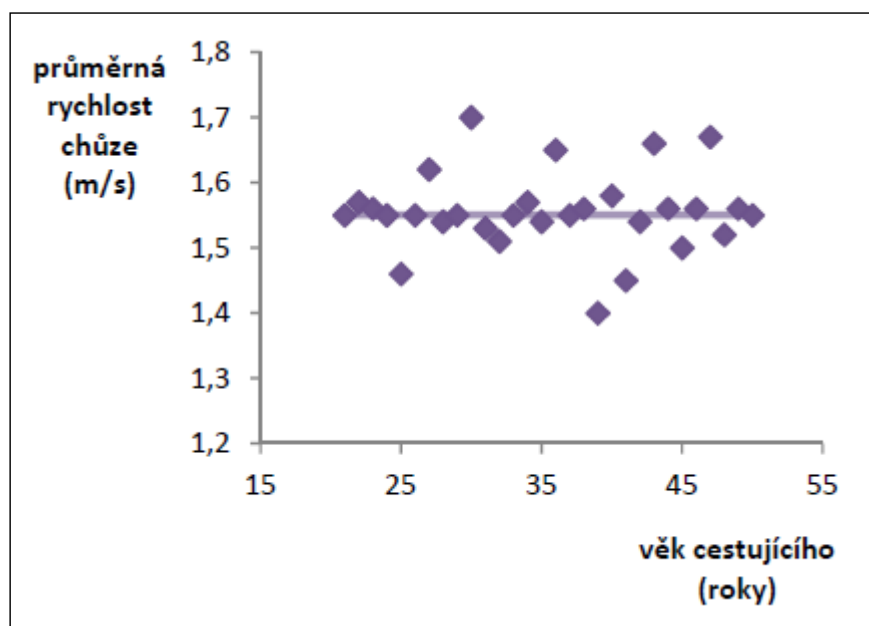
Podle (3) je průměrná rychlost pohybu cestujících v letišti  $\bar{v} = 1,36$  m/s. Rychlosti by se měly pohybovat v intervalu  $\langle 1,1; 2 \rangle$  m/s, což jsou hraniční hodnoty pro pohyb chodců pro odpočinkové aktivity a pohyb chodců se záměrem cestovat. (3) Uvedená data odpovídají průměrným rychlostem cestujících ve věku od 5 do 80 let. Věková struktura analyzovaného vzorku cestujících je uvedena v Tabulce 1.

Tab. 1 – Struktura vzorku cestujících podle věku

věk	≤20	21-30	31-40	41-50	51-60	≥60
podíl cestujících (%)	1,3	19,4	28,3	25,1	16,4	9,5

Zdroj: (3)

Na základě dat získaných ze zdroje (3) a samotným měřením bylo zjištěno, že cestující ve věku od 20 do 50 let se pohybují rychlostí v intervalu  $\langle 1,4; 1,7 \rangle$  m/s, v průměru rychlostí 1,55 m/s. Průměrné rychlosti cestujících jsou uvedeny v grafu na Obrázku 2. Pro přesnější proložení křivky by bylo zapotřebí většího statistického vzorku dat. Vzhledem k rozsahu tohoto článku bylo od dalšího měření upuštěno, pro potřeby práce je postačující nahrazení aritmetickým průměrem, tedy průměrnou rychlostí 1,55 m/s.



Zdroj: Autorka, (3)

Obr. 2 - Průměrné rychlosti cestujících v závislosti na věku (cestující od 20 do 50 let)

Vliv věku cestujícího na rychlost chůze je vyjádřen pro zjednodušení pomocí dvou neuronů, přičemž jeden z nich reprezentuje vliv věku nižšího než 20 let na rychlost chůze, druhý pak vliv věku nad 50 let. Měřením a analýzou dostupných dat bylo ověřeno, že se v případě statistického rozdělení pravděpodobnosti rychlosti cestujících určitého věku jedná o normální rozdělení pravděpodobnosti. Aritmetické průměry dávají střední hodnotu rozdělení pravděpodobnosti. Co se týče směrodatné odchylky, pohybuje se okolo hodnoty 0,25.

Grafy na Obrázku 3 udávají regresní funkce závislosti průměrných rychlostí chůze cestujících na věku pro cestující ve věku do 20 a nad 50 let. Obě regresní funkce respektují 95% interval spolehlivosti. Regresní funkce závislosti průměrných rychlostí chůze cestujících na věku pro cestující ve věku do 20 let je dána vzorcem (1).

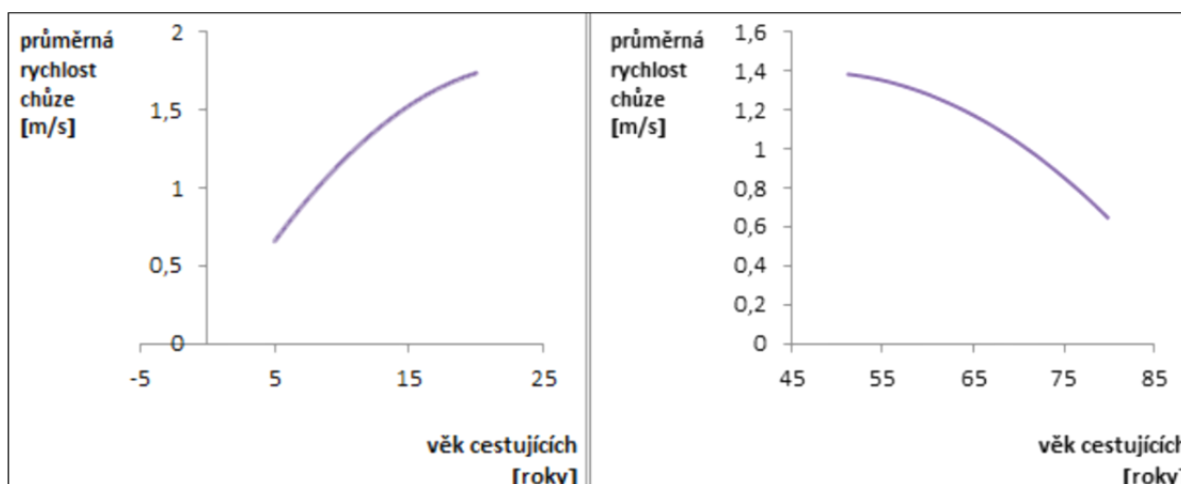
$$f(x) = -0,003x^2 + 0,147x - 0,0025; x \in \langle 5; 20 \rangle \quad (1)$$

- k.....koeficient radiální přenosové funkce (-)
- x.....diference věku od hranice 20 let;  $x = 20 - s$  (roky)
- s.....věk cestujícího (roky)

Regresní funkce závislosti průměrných rychlostí chůze cestujících na věku pro cestující ve věku do 20 let je dána vzorcem (2).

$$f(x) = -0,0007x^2 + 0,661x - 0,1562; x \in \langle 50; 70 \rangle \quad (2)$$

- k.....koeficient radiální přenosové funkce (-)
- x.....diference věku od hranice 20 let;  $x = 20 - s$  (roky)
- s.....věk cestujícího (roky)



Zdroj: Autorka, (3)

Obr. 3 - Průměrná rychlost cestujících v závislosti na věku

V návaznosti na regresní funkce uvedené na Obrázku 3 byly stanoveny přenosové funkce neuronů. Pro cestující ve věku do 20 let byla stanovena funkce přenosová radiální funkce s koeficientem  $k = 0,0043$ . Funkce je dána vzorcem (3), kde  $x$  je rozdíl věku cestujícího oproti hraniční hodnotě 20 let a znázorněna na Obrázku 4. Funkční hodnotou v bodě  $x$  je příslušný koeficient růstu rychlosti pohybu cestujícího oproti průměrné rychlosti  $\bar{v} = 1,55$  m/s, ve vzorci (3) označený jako  $r_s^-$ . Rychlost  $v_s$  odpovídá průměrné rychlosti chůze cestujícího ve věku  $s$ .

$$f(x) = e^{-kx} = e^{-0,0043(20-s)^2}; x \in \langle 1; 15 \rangle \quad (3)$$

- k.....koeficient radiální přenosové funkce (-)
- x.....diference věku od hranice 20 let;  $x = 20 - s$  (roky)

s.....věk cestujícího (roky)

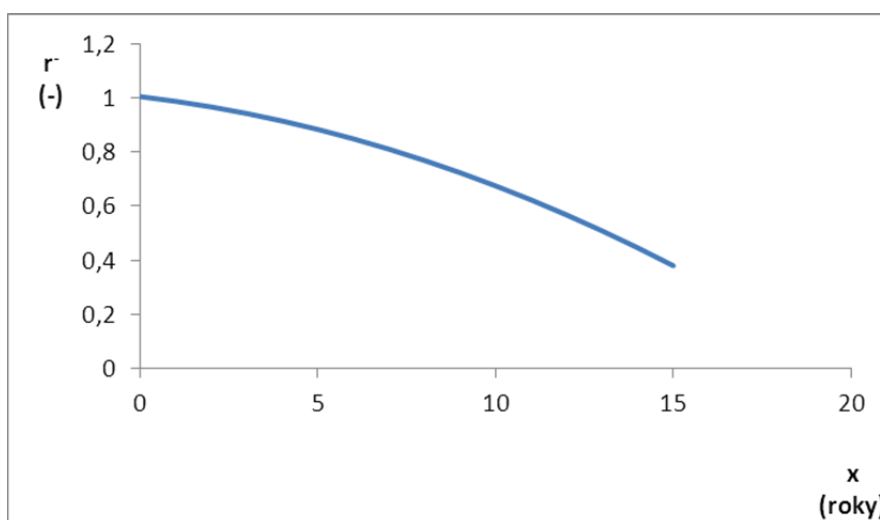
Pro průměrnou rychlost cestujících ve věku s platí vztah ve vzorci (4).

$$r_s^- \cdot \bar{v} = v_s \quad (4)$$

$v_s$ .....průměrná rychlost cestujících ve věku s (m/s)

$\bar{v}$  .....průměrná rychlost cestujících ve věku 20-50 let,  $\bar{v} = 1,55$  m/s

$r_s^-$ .....koeficient růstu průměrné rychlosti cestujících v závislosti na diferenci roku (cestující do 20 let) (-)



Zdroj: Autorka, (3)

Obr. 4 – Koeficient růstu průměrné rychlosti cestujících v závislosti na diferenci věku (cestující do 20 let)

Pro věk nad 50 let byla zvolena taktéž přenosová funkce radiální báze, kde  $k = 0,00083$ . Předpis funkce je dán vzorcem (5), kde x je diference věku cestujícího oproti hraniční hodnotě 50 let a znázorněna na Obrázku 5. Práh funkce = 1 pro oba uvedené neurony.

$$f(x) = e^{-kx} = e^{-0,83(50-s)^2}; x \in \langle 1; 30 \rangle \quad (5)$$

k.....koeficient radiální přenosové funkce (-)

x.....diference věku od hranice 50 let;  $x = 50 - s$  (roky)

s.....věk cestujícího (roky)

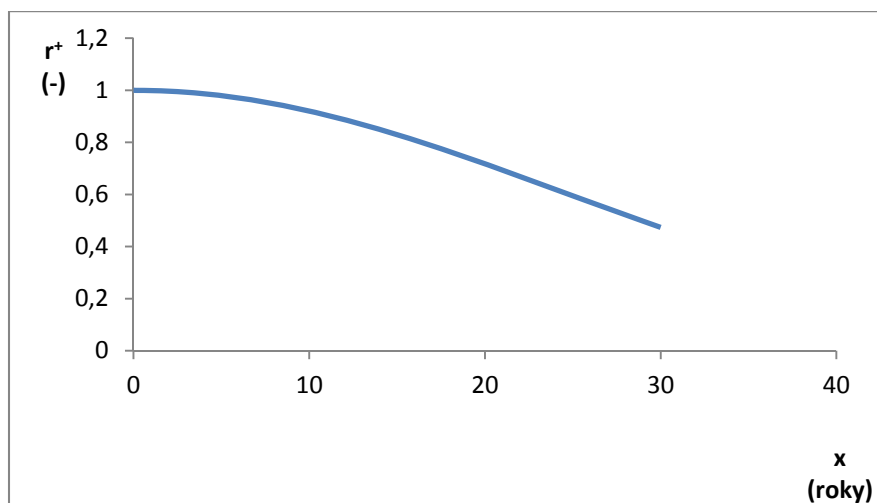
Obdobně jako pro  $r_y^-$  platí pro  $r_y^+$  vztah (3-4), kde  $v_s$  je průměrná rychlost cestujících ve věku s.

$$r_s^+ \cdot \bar{v} = v_s$$

$v_s$ .....průměrná rychlost cestujících ve věku s (m/s)

$\bar{v}$  .....průměrná rychlost cestujících ve věku 20-50 let,  $\bar{v} = 1,55$  m/s

$r_s^+$  ..... koeficient růstu průměrné rychlosti cestujících v závislosti na diferenci roku (cestující nad 50 let) (-)

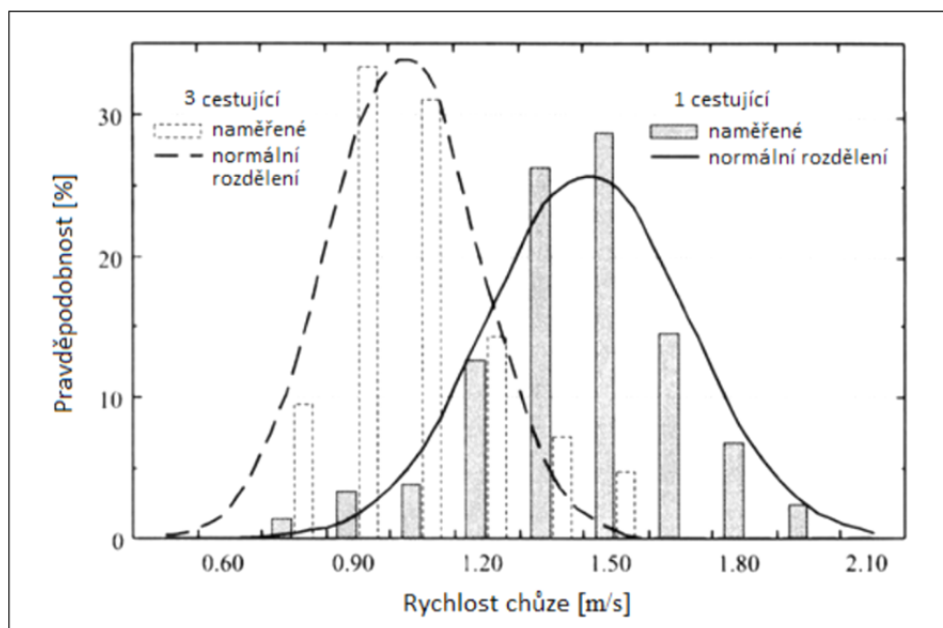


Zdroj: Autorka, (3)

Obr. 5 – Koeficient růstu průměrné rychlosti cestujících v závislosti na diferenci věku (cestující nad 50 let)

### 3.2 Vliv sdružování cestujících do skupin na rychlost chůze

Obdobně jako věk cestujících byl zkoumán vliv sdružování cestujících do skupin na rychlost chůze. Schopnost koordinace a směřování skupiny ovlivňuje rychlost pohybu. Skupiny o čtyřech či více cestujících mají tendence se dělit na dvojice či skupiny o třech cestujících. Pohyb v menších skupinách snižuje možnost kolize cestujících. Cestující pohybující se samostatně jsou v průměru o 22 % rychlejší, než skupiny o dvou cestujících a o 30 % rychlejší než skupiny o třech cestujících. V grafu na Obrázku 6 je zobrazeno statistické rozdělení rychlosti chůze cestujících pro jednotlivce a pro skupiny o 3 cestujících.



Zdroj: (3)

Obr. 6 – Rozdělení pravděpodobnosti rychlosti chůze skupiny cestujících a jednotlivců

Jak je patrné z Obrázku 6, funkce znázorňující pravděpodobnostní rozdělení rychlosti chůze skupin cestujících mají odlišné parametry rozdělení pravděpodobnosti. Tyto parametry jsou shrnuty v Tabulce 2.

Tab. 2 - Parametry normálního rozdělení rychlosti chůze skupiny cestujících v závislosti na počtu členů

Velikost skupiny (cestující)	1	2	3
Střední hodnota	1,36	1,06	0,96
Směrodatná odchylka	0,23	0,21	0,19

Zdroj: (3)

Vliv počtu členů skupiny na rychlost její chůze je dán dvěma neurony se skokovou aktivační funkcí. Definičním oborem funkcí je interval  $x \in \langle 1,3 \rangle$ , kde  $x$  je celé číslo,  $x \in \mathbb{Z}$ . Přenosová funkce je dána vztahem ve vzorci (6) a udává změnu střední hodnoty pravděpodobnostního rozdělení rychlosti chůze cestujících na počtu cestujících ve společně se pohybující skupině, kde  $x$  je počet cestujících ve skupině. Práh aktivační funkce je roven 2.

$$f(x) = -0,295 * x + 1,845 \quad (6)$$

Vzorec (7) udává předpis přenosové funkce, reprezentující změnu směrodatné odchylky normálního rozdělení pravděpodobnosti rychlosti chůze cestujících v závislosti na počtu cestujících ve společně se pohybující skupině. Proměnná  $x$  opět reprezentuje počet cestujících ve skupině, i zde je práh aktivační funkce je roven hodnotě 2. Oba zmiňované neurony mají stejnou hodnotu synaptické váhy.

$$f(x) = -0,02 * x + 0,25 \quad (7)$$

### 3.3 Návrh jednoduché neuronové sítě

Na základě návrhů neuronů v kapitolách 3.1 a 3.2 byl navrhnut základ jednoduché neuronové sítě, kdy se věk cestujících a četnost hromadění do skupin odráží na střední hodnotě normálního rozdělení pravděpodobnosti rychlosti chůze, potažmo i na hodnotě směrodatné odchylky tohoto rozdělení. Síť je vhodné doplnit o neurony reagující na další charakteristické znaky cestujících, jako jsou pohlaví cestujícího, typ letu (business, leisure), počet a typ zavazadel, psychologie cestujících, povědomí o bezpečnostních předpisech, příjem domácnosti, dosažené vzdělání, frekvence jejich cestování, národnost cestujících či možnosti nakupování a dalších služeb v terminálu letiště. Velkou roli v úloze fungování neuronové sítě hraje nastavení vah neuronů, které je výsledkem úspěšného učení neuronové sítě. Pro ten se použije trénovacího souboru, ve kterém jsou známé hodnoty rychlostí cestujících včetně složení vzorku cestujících v závislosti na zmiňovaných aspektech. Při učení neuronové sítě se nejprve signály vyšlou směrem dopředu, následně se výstupní neurony porovnají s požadovanými výstupy a zjištěné chyby se použijí ke změně nastavení vah v síti. Tento proces se opakuje, dokud není chyba mezi požadovaným a aktuálním výstupem minimální. K učení neuronových sítí je vhodné využít některý softwarový produkt. Pro tento případ autorka doporučuje využít software Statistica. Data získaná reálným měřením a z dostupných zdrojů by pak sloužila jako trénovací soubor.



## ZÁVĚR

Článek se zabývá možností využití neuronových sítí pro modelování toku cestujících terminálem. Modely toku cestujících, zejména pak simulační modely, jsou v současné době zejména na velkých letištích nezbytnou záležitostí, jedná se nástroj pro management, sloužící jako podpora pro rozhodovací proces. Pomocí simulačních modelů lze kvantifikovat efekty manažerského rozhodnutí, aniž by muselo být reálně uskutečněno. Porovnáním důsledků jednotlivých rozhodnutí se pak efektivně volí optimální (resp. suboptimální) varianta. Vzhledem k rozsahu článku byla zvolena ilustrace využití neuronových sítí pro modelování toku cestujících na příkladu modelování dynamiky chůze cestujících, tedy rychlosti chůze, a to v závislosti na zvolených kritériích. Těmi jsou věk cestujících a sdružování cestujících do skupin. Analýzou dostupných dat bylo zjištěno, že rychlost chůze cestujících má normální statistické rozdělení pravděpodobnosti. Přenosovými funkcemi byl kvantifikován vliv zmíněných znaků cestujících na střední hodnotu náhodného rozdělení, potažmo i směrodatnou odchylku. Takto navrženou jednoduchou neuronová síť by bylo vhodné rozšířit o další neurony, reagující na faktory ovlivňující dynamiku cestujících. Mezi znaky cestujících, jejichž vliv na dynamiku cestujících by bylo žádoucí zkoumat, patří psychologie, povědomí o bezpečnostních předpisech, příjem domácnosti, dosažené vzdělání, frekvence jejich cestování, národnost a pohlaví cestujícího, typ letu (business, leisure), počet a typ zavazadel či možnosti nakupování a dalších služeb v terminálu letiště. Vzhledem k rozsahu článku bylo od těchto vlivů abstrahováno. Implementací této neuronové sítě do celkového modelu toku cestujících terminálem letiště by přispělo k zpřesnění odhadů toku cestujících terminálem a tedy ke zkvalitnění řízení toku cestujících, což je výchozí pro efektivní manažerská rozhodování.

## POUŽITÁ LITERATURA

- (1) MARČEK, D., MARČEK, M. *Neurónové siete a ich aplikácie*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline / EDIS vydavateľstvo ŽU, 2006.
- (2) OLEJ, V., HÁJEK, P. *Úvod do umělé inteligence. Moderní přístupy*. Univerzita Pardubice, 2010. ISBN 978-80-7395-307-2.
- (3) SCHULZ, M., FRICKE, H., *Passenger Dynamics at Airport Terminal Environment*, Dresden: Technische Universität Dresden, 2010.
- (4) *Simulation of the Frankfurt Airport*. In: [online]. [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: <http://www.anylogic.com/case-studies/simulation-of-the-frankfurt-airport>.