

Modelovanie migračných tokov do Európy a ich súvis s klimatickou zmenou

Luby, Š.: Modelling of Migration Flows to Europe within the Context of the Climate Change. *Životné prostredie*, 2019, 53, 2, p. 116 – 122.

Definitions of economic migrants, war and climate change refugees, etc., are given. Their flow to Europe is studied as one-dimensional transport using the phenomenological theory of diffusion and by gravity model employed in urban geography. Diffusion of migrants is quantified by the diffusion coefficient expressed as [km²/day], appropriate also for the characterization of historical transfers of nations along large territories. Solutions of 2nd Fick's law applied in semiconductor technology were adapted in the work. They show that in the future, due to the climate change followed by desertification of land and sea level rise, the immigration to Europe may obey diffusion from a constant (infinite) source and it may overflow the continent. Various desertification scenarios are summarized. Simplified gravity model was used to find which economic and demographic factors attract migrants. The distance as a standard variable in the gravity model does not play any role in the present migration movement. Migrants are attracted by high GDP and partly by populations of the country of destination. The gravity model studies provide also correlations between desertification of the land and other environmental variables, like soil erosion, deforestation, etc.

Key words: migration, Europe, modelling, climate change, desertification, measures

Európska utečenecká kríza sa situuje do obdobia od roku 2015, keď do Európy prišlo mnoho utečencov a ekonomických migrantov. Používali tri základné stredomorské trasy: (1) východnú cez východný a západný Balkán; (2) centrálnu – tzv. stredomorský koridor z Afriky – Egypta a Líbye cez Maltu do Talianska; (3) západnú – z Alžírsku a Maroka do Španielska. Východobalkánska trasa je už prakticky uzavretá vybudovaním bariér a západná ožíva vzhľadom na novú politiku Talianska na centrálnej trase, ktoré začalo v roku 2018 prílev migrantov energicky brzdiť.

Utečenci (*refugees*) sú osoby, ktoré utekajú pred vojnou alebo civilnou vojnou (napr. pred vojnou v Sýrii), porušovaním ľudských práv a prenasledovaním. Katalyzátorom porušovania ľudských práv je masívna korupcia v mnohých rozvojových štátoch. Medzi utečencov počítame nielen osoby odchádzajúce do zahraničia, ale aj tie, ktoré sa presunú v rámci svojej krajiny, čo je vo veľkých krajinách bežné. Pojem *utečenci* zahŕňa aj osoby, ktoré opúšťajú svoje príbytky resp. krajinu v dôsledku environmentálnych a klimatických problémov, aj keď nezodpovedajú definícii podľa konvencie OSN (v USA sa však ohradili, keď ako utečencov označovali ľudí, ktorí opúšťali New Orleans po hurikáne Katrina v roku 2005. Hovorili o evakuácii a evakuantoch.)

Definície bude treba aktualizovať, pretože práve environmentálne problémy budú v nastávajúcich desaťročiach migráciu dramtizovať. Kontrola klimatickej zmeny je pritom nad rámec možností súčasného politicko-ekonomického systému, ktorý pulzuje v krátkych štvorročných cykloch, a navyše iba niektoré z veľkých krajín, napr. Nemecko, k riešeniu reálne prispievajú. Zostáva potom neistá

útecha, že nastane kataklizmatická, avšak nie apokalyptická situácia a že trh, a nie centrálny organizovaný zápas s klimatickou zmenou problémy vyrieši a zabezpečí aj opatrenia, ako napr. sťahovanie ľudí z pobrežných oblastí do vnútrozemia (McMaken, 2018).

Ekonomickí migranti sa usilujú o zlepšenie svojho ekonomického statusu, ich pohyb nie je spravidla vynútený. Ale ak ide o prežitie, hovoríme o humanitárnych migrantoch. Ekonomickí migranti nemajú nárok na podporu vlád či nevládných organizácií poskytovanú utečencom. Z tejto kategórie sa najviac regrutujú pracovné sily pre ekonomiku cieľových krajín, pretože na ekonomickú migráciu sa spravidla odhodlajú pripravení a podnikaví jednotlivci.

Plavby migrantov v oblasti Stredomoria si už vyžiadali mnoho obetí. Používajú lode, loďky, nafukovacie člny, ktoré často obsluhujú pašeráči osôb. Podľa nie celkom spoľahlivých štatistík v Stredozemnom a Egejskom mori zahynulo od roku 2014 do súčasnosti viac ako 18 000 ľudí, pričom mnohých zachránili organizácie, ako Mare Nostrum alebo Triton. Dlhodobý registrovaný počet utečencov do roku 2017 je podľa OSN 65,6 mil. Do roku 2008 to bolo 42 mil. osôb. Nárasty a prechodné poklesy sa zaznamenali na všetkých kontinentoch vrátane Európy, kde sa eviduje 6,2 mil. utečencov. Medziročne zvýšenie z 3,9 mil. v roku 2014 na 5,5 mil. o rok neskôr sa udialo hlavne následkom krízy na Ukrajine a úteku obyvateľov do Ruska. Najväčší nárast zaznamenala Afrika – z 2,1 mil. v roku 2009 na 21,3 mil. v roku 2017. Vedie Ázia s 31,1 mil. utečencov. Údaje o migrantoch, ktorí prišli do Európy, sa líšia, napr. v roku 2015 sa ich počet odhaduje od 1,3 do 1,8 mil. osôb. Súvisí to s duplicitným registrovaním. Hlavnou cieľovou

Tab. 1. Analógie medzi difúznymi mechanizmami a typmi migrácie

Typy migrantov/ hnaacie faktory	Motivácia, faktory ťahu	Fyzikálna analógia	Mechanizmy a podnety transportu
Ekonomickí migranti/ chudoba, populačný rast	práca, podpora, charita	izotermálna difúzia, koncentračný gradient	chaotický pohyb, „zrážky“ na trhu práce
Vojnoví utečenci/ prenasledovanie, hrozby	politická sloboda, bezpečnosť	stresmigrácia, gradient napätia	existencia únikových kanálov
Environmentálni a klimatickí utečenci/ neúroda, hlad	environmentálna bezpečnosť, voda, potrava	termomigrácia, gradient teploty	dezertifikácia, zaplavenie pobreží
Všetky tri kategórie	všetky faktory	elektromigrácia, elektrónový vietor	pašovanie ľudí, moderné otrokárstvo

krajinou v Európe je Nemecko. Nová nemecká koalícia však kvóty prijatia redukuje.

V článku z roku 2018 (Luby, 2018) som ukázal, ako sa pomocou fyzikálnych nástrojov modelujú migračné toky. Dve základné metódy sú fenomenologická teória difúzie a gravitačný model. V tejto práci budem po ukážke predošlých výsledkov uvedené nástroje aplikovať na modelovanie predpokladanej migrácie do Európy, vyvolanej klimatickou zmenou a osobitne dezertifikáciou pôdy.

Difúzia v spoločenských systémoch, prvý Fickov zákon

Teória a experimenty difúzie sa rozpracovali v polovodičovej fyzike a technológii polovodičových súčiastok a obvodov (Sze, 1988). Princípy difúzie sa aplikujú aj v sociálnych systémoch, napr. pri modelovaní šírenia inovácií (Rogers, 2003). Tento typ difúzie, na rozdiel od difúzie vo fyzike alebo chémii, je nezávislý od vzdialenosti. Ako budeme aplikovať difúzne princípy na transport ľudí? Ich pohyb po zemskom povrchu je dvojdimenzionálny (2D) problém, v praxi si však vystačíme s 1D prístupom. Ľudia sa totiž presúvajú v gradiente bohatstva alebo sociálnych istôt, ako bezpečnosť. Migráciu zo severnej Afriky do Európy možno zjednodušiť na 1D pohyb z juhu na sever, aj keď vzhľadom na morské prúdy, pohoria a pod. ide lokálne o pohyb v rozličných smeroch.

Fenomenologický opis transportu atómov v tuhej látke sa opiera o prvý Fickov zákon z roku 1855. Hovorí, že tok atómov J [$\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$] sa vyjadří ako záporne vzatý súčin difúzneho koeficienta D [m^2s^{-1}] a derivácie (gradientu) dN/dx , kde N je koncentrácia atómov [m^{-3}] a x vzdialenosť [m] (Luby, 1982). Okrem tejto základnej difúzie v gradiente koncentrácie pri konštantnej teplote (izotermálny transport) musíme v špeciálnych prípadoch uvážiť aj ďalšie difúzne mechanizmy. Ak je v systéme nerovnomerná teplota, dostaneme príspevok úmerný derivácii teploty podľa vzdialenosti dT/dx , nazývaný termomigrácia. Ak je v systéme nerovnomerne rozložené mechanické napätie σ (stres), dostaneme príspevok úmerný $d\sigma/dx$. Jav sa nazýva stresmigrácia. Ak materiálom tečie intenzívny elektrický prúd, elektróny môžu unášať atómy. Javu hovoríme elektromigrácia alebo elektrónový vietor. Použitelnosť feno-

menologickéj teórie difúzie v modelovaní migračných tokov dokresľujú analógie uvedené v tab. 1. Na ich základe a s použitím matematického aparátu (Luby, 2018) možno v budúcnosti, pokiaľ budú k dispozícii spoľahlivejšie štatistické údaje, urobiť užitočné výpočty.

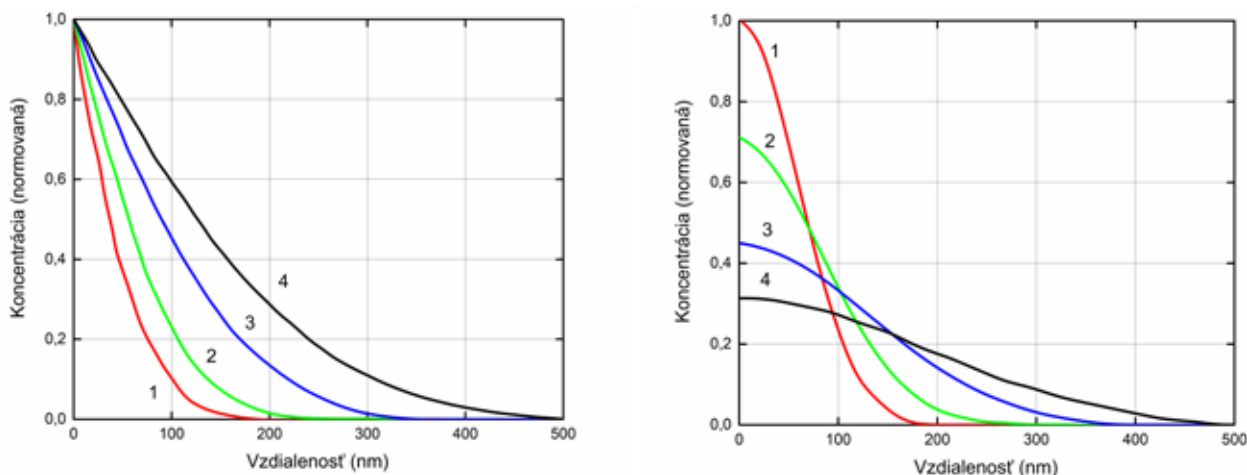
Difúzia ľudí prebieha na pevnom povrchu. Vo fyzike je to proces, ktorý sa aktivuje a urýchľuje teplotou. Difúzny koeficient D obsahuje exponenciálny člen a platí $D = D_0 \exp(-E/kT)$, kde E je aktivačná energia, k Boltzmannova konštanta a $D_0 = va^2/z$, kde v je vibračná frekvencia atómov, a – dĺžka preskoku a pre 1D difúziu $z = 2$. Luby (2018) odvodnil, že pri pohybe ľudí v gravitačnom poli Zeme môžeme exponenciálny člen zanedbať a $D = D_0$.

Sezónny charakter migrácie nie je spôsobený teplotou, ale obvyklými problémami transportu v zime – snehom, dopravnými kalamitami. Ale klimatická zmena s globálnym rastom teploty o 2 až 4 °C (koncom storočia) môže vyvolať migráciu okolo miliardy ľudí v priebehu prvej polovice 21. stor. (Laczko, Aghazman, eds., 2009). Hnaacie faktory spôsobené globálnym rastom teploty sú dezertifikácia pôdy a zaplavovanie pobreží v dôsledku stúpania hladiny morí pri rozpúšťaní polárnych a horských ľadovcov. Migrácia ľudí je potom teplotou stimulovaný efekt a smeruje od rovníka na sever, príp. na juh, a od pobreží do vnútrozemia.

Difúzia v spoločenských systémoch, druhý Fickov zákon a príklady

Druhý Fickov zákon má tvar parciálnej diferenciálnej rovnice, z ktorej vypočítame koncentračné profily difundujúcej entity a ich časový vývoj. Tu uvedieme len dve možné riešenia odvodené z difúzie dopantov do polovodičov v technológii polovodičových súčiastok, ktoré budeme v ďalšom texte potrebovať (Sze, 1988):

- na alebo pri povrchu polovodiča, v tomto prípade kremíka (Si), do ktorého difunduje prímies, v našom prípade bór (ktorý mení vodivosť materiálu na typ P), je neobmedzené množstvo/neobmedzený zdroj dopantu, napr. hrubá vrstva, alebo polovodič umiestnime v plynnom prostredí dopantu. Hovoríme aj o časovo konštantnom zdroji prímiesi;



Obr. 1. Difúzia z neobmedzeného zdroja (vľavo) a z obmedzeného zdroja (vpravo) dopantu do kremíka pri 1 100 °C, normalizovaná na jednotku (limit rozpustnosti). Zdroj: Sze (1988)

Vysvetlivky: difúzne koeficienty bóru sú $4,4 \times 10^{-17} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ (vľavo) a $0,8 \times 10^{-17} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ (vpravo), krivky 1, 2, 3, 4 zodpovedajú trvaniu difúzie 1, 2, 5 a 10 min.

Tab. 2. Charakteristiky veľkých historických transferov obyvateľstva

Proces	Časový úsek	Vzdialenosť [km]	Difúzny koeficient [km ² /deň]
Zlatá horúčka v Kalifornii	2 roky	2 000	1 370
Osídlenie Sibíri po Bajkalské jazero	85 rokov	4 200	142
Osídlenie amerického teritória po Seattle	175 rokov	3 740	55
Presun Maďarov do Karpatskej kotliny	5 storočí	2 500	9

- b. na povrchu polovodiča je obmedzené množstvo/zdroj dopantu, ktorý z povrchu difunduje do objemu a pre-rozdelí sa tam.

Týmto dvom prípadom zodpovedajú riešenia, ktoré sa vyjadrujú a) pomocou erfc, tzv. funkcie chýb, b) pomocou exponenciálnej funkcie. Difúzne profily sú na obr. 1a, 1b. Význam ohrozujúcich profilov na obr. 1a sa objasní v príklade 2.

Príklad 1:

V našej práci (Luby, 2018) sme uvažovali o príchode 1,4 mil. migrantov do Európy (v roku 2013). Rozdelili sme ich do štyroch vln po 350 000 a ako model Európy sme použili plošne ekvivalentný kruh polomeru 1 200 km. Požadovali sme, aby v blízkosti hraníc Európy hustota migrantov behom $t = 30$ dní klesla na $10/\text{km}^2$, čo je asi 11-krát menej ako priemerná hustota európskeho obyvateľstva. Z toho vyšiel difúzny koeficient migrácie $52 \text{ km}^2/\text{deň}$. Zvolený fyzikálny rozmer je pre daný účel názorný. Vyjadrovať difúzny koeficient v m^2/s ako vo fyzike, by nebolo prirodzené. Difúzna vzdialenosť l , ktorú migranti prekonajú za 30 dní smerom do vnútrozemia, sa vypočíta zo vzťahu $l = 2\sqrt{D \cdot t}$ a vychádza 79 km, čo je primerané strednej veľkosti európskych krajín. Uvedený koeficient difúzie sme v tab. 2 porovnali s hodnotami vypočítanými pre historické presuny obyvateľstva. Hodnoty difúzných koeficientov

vychádzajú rozumne.

Aj keď nie je prípustné aplikovať v makrosвете mikroskopické princípy, skúsme odhadnúť hodnotu difúzneho koeficienta $D_0 = va^2/z$. Ak použijeme dĺžku preskoku $a = 1 \text{ m}$ (krok) a frekvenciu 80 s^{-1} (ľudský pulz), dostaneme $D_0 = 3,5 \text{ km}^2/\text{deň}$. Aproximácia nie je zlá, aj keď to zodpovedá iba pätine toho, čo človek prekoná za deň chôdzou. Prekonaniu reálnych 20 km za deň zodpovedá koeficient $D_0 = 100 \text{ km}^2/\text{deň}$.

Dezertifikácia pôdy ako rezervoár migrácie

Pod dezertifikáciou rozumieme premenu územia na púšť vplyvom sucha a činnosti človeka. Tlak tu vytvára populačný rast – spásanie trávy, odlesňovanie, erózia pôdy, pokles hladiny spodnej vody, využívanie vody na priemyselné účely, zasolenie pôd. Pojem zaviedol Francúz A. Auberville v roku 1949 (Reich et al., 2001; Helldén, 2003). Medzinárodné konferencie o dezertifikácii sa konali v roku 1977 v Nairobi a v roku 1992 v Rio de Janeiro. Konvencia OSN o boji s dezertifikáciou je účinná od roku 1996. V priebehu rokov sa menila definícia dezertifikácie. Spočiatku sa za príčinu procesu pokladali iba ľudské aktivity. V roku 1992 sa prijala definícia, ktorá hovorí, že proces spôsobujú rozličné faktory, zahrnujúce aj klimatické zmeny. Osobitne v Afrike hrá úlohu aj presun piesku a pohyb dún, zasahu-

júci do púštnych oáz a kultivovaných pôd (Helldén, 2003). Situáciu zhoršuje častejší výskyt teplotných anomálií El Niño, ktoré v minulosti prichádzali približne raz za štrnásť rokov, po roku 1980 dosiahol ich výskyt štvorročnú periódu (www.downtoearth.org.in/news/natural-disasters/desertification-in-africa-10-things-you-must-know-54430). Posolstvo vtedajšej generálnej riaditeľky UNESCO ku dňu boja s dezertifikáciou 2017 (Bokova, 2017) poukazuje na to, že dnes už máme ako dôsledok klimatickej zmeny a dezertifikácie množstvo environmentálnych utečencov. Obdobie 2010 – 2020 je dekadou OSN v borbe s dezertifikáciou, ktorá je globálnym problémom.

Primárne ohniská ohrozenia sú najmä subsaharská oblasť Sahel, okolie púští Kalahari v južnej Afrike, Gobi v Číne a Latinská Amerika. Z jednotlivých štátov sú to Ghana, Etiópia, Keňa, Nigéria, Tanzánia, Turkménsko, Uzbeko a i. (Khatra, Loireau, 2017; Terminski, 2012).

Príkladom nákladnej operácie v boji s dezertifikáciou je *veľký zelený múr*, projekt zalesnenia 15 km širokého a 7 000 km dlhého pásu v oblasti Sahel s cieľom proces zastaviť (Morrison, 2016). Zrážky v tejto suchej savane dosahujú 100 – 650 mm ročne a suché obdobia sú bežné. Projekt nebol dostatočne financovaný, vyčerpal pôdu, v slabo obývaných oblastiach sa nemal o lesy kto starať, preto až 80 % stromčekov zahynulo. Projekt však priniesol do oblasti osvetu a alternatívne praktiky hospodárenia s vodou i renesanciu domorodých techník obhospodarovania pôdy. Je to veľmi potrebné, pretože populácia v tejto oblasti sa má v priebehu sto rokov (1950 – 2050) zvýšiť z 30 na 340 mil.

Porovnajme podľa rozličných zdrojov odhady, koľko ľudí bude v konkrétnych časových horizontoch dezertifikáciou ohrozených, a teda potenciálne nútených emigrovať. Údaje závisia od uhla pohľadu prognostikov, ich reálneho nazerania alebo zámeru šokovať verejnosť a politikov:

- hrozí, že do roku 2030 príde z Afriky do Európy 60 mil. ľudí, ale celkový počet ľudí, ktorých bude treba premiestniť, je dvojnásobne vyšší (Bokova, 2017);
- dezertifikácia ovplyvňuje globálne 1,5 mld. ľudí, je výzvou hlavne pre Afriku. Odhaduje sa, že 50 mil. ľudí sa môže pohnúť zo subsaharských oblastí do severnej Afriky a ďalej do Európy už okolo roku 2020 (www.downtoearth.org.in/news/natural-disasters/desertification-in-africa-10-things-you-must-know-54430);
- v Afrike, „predsieni Európy“, degradácia pôdy ovplyvňuje 485 mil. ľudí (Terminski, 2012);
- v roku 2001 sa predpokladalo, že v Afrike je dezertifikáciou v štvorstupňovej škále (od nízkeho po veľmi vysoký stupeň) ohrozených 13,6 mil. km² pôdy. To je viac ako tretina plochy Afriky a viac ako plocha Európy. K tomu pristupuje zvyšovanie miery populačného rastu z 2,5 % v roku 1960 na 3 % v roku 1990. Súčasne sa zvýšil priemerný vek dožitia zo 40 na 50 rokov (Reich et al., 2001);
- treba tiež zohľadniť, že islam je najrýchlejšie rastúce náboženstvo v Európe a moslimovia majú plodnosť

1,5-krát vyššiu ako je hladina reprodukcie (Cherribi, 2010);

- globálne sa ročne stráca 120 000 km² pôdy, teda 2-krát viac ako je plocha Slovenska. Ak by energický manažment dezertifikácie a obnovy degradovanej pôdy začal hneď, neutralita sa dosiahne v roku 2030 (Khatra, Loireau, 2017).

Príklad 2:

V práci Luby (2018) sme vychádzali z katastrofického scenára (Laczkó, Aghazman, eds., 2009), podľa ktorého klimatická zmena môže vyvolať v prvej polovici 21. stor. migráciu 1 mld. osôb. Príčinou bude dezertifikácia, ale aj stúpajúca hladina morí, ktorá ovplyvní životné podmienky na pobrežiach, pričom 44 % svetovej populácie žije do 150 km od pobrežia. Ak porovnáme tieto výhľady so súčasným historickým počtom okolo 100 mil. migrantov v Európe (UN, 2013), možno situáciu modelovať pomocou vzťahov, ktoré platia pre difúziu z neobmedzeného zdroja dopantu (obr. 1a). Vyšli sme z predpokladu, že na hranici Európy permanentne čaká 10 000 migrantov. S použitím difúzneho koeficienta 52 km²/deň a pomocou numerickej integrácie sme dostali, že v priebehu jedného roka môže prírastok migrantov v Európe dosiahnuť katastrofickú hodnotu okolo 50 mil. osôb, čo zvýši populáciu o 10 %. Súčasný prírastok 1 – 2 mil. migrantov zodpovedá 0,2 – 0,4 %.

Príklad 3:

Za uplynulých desať rokov ku katastrofe nedošlo a vzhľadom na kompetenciu OSN v problematike migrácie sa zdá reálnejší, hoci tiež ohrozujúci predpoklad, že do Európy príde do roku 2030 z Afriky 60 mil. ľudí (Bokova, 2017). Bolo by ich okolo 5 mil. ročne. Tu ešte nemožno hovoriť o difúzii z neobmedzeného zdroja a relevantná je situácia na obr. 1b. Skúsme podobne ako v príklade 1 vypočítať parametre difúzie. Predpokladáme príchod migrantov v štyroch vlnách po 1,25 mil. osôb. Požadujeme, aby v oblasti hraníc hustota migrantov behom $t = 30$ dní klesla na 20/km², čo je asi 5- až 6-krát menej ako priemerná hustota obyvateľstva Európy. Z toho dostaneme difúzny koeficient 165 km²/deň. Difúzna vzdialenosť, ktorú migranti prekonajú za 30 dní smerom do vnútrozemia $l = 2\sqrt{D \cdot t}$ vychádza 141 km, čo je ešte primerané strednej veľkosti európskych krajín. Difúzny koeficient však už prevyšuje možnosti chôdze a migrantom treba zabezpečiť dopravu, nehovoriac o ubytovaní, strave a zdravotnej starostlivosti. Špeciálnu starostlivosť vyžadujú deti a zvládať treba importované exotické infekcie. Skutočnosť, že slovenské zdravotníctvo čelí permanentne problémom, je jeden z dôvodov našich obáv z prijímania migrantov.

Scenáre regulácie migrácie

Hlavnými teritoriálnymi zdrojmi migrácie do Európy sú Afrika a Stredný východ. Extrémne prístupy k migrácii sú:

- a. tzv. *laissez passer*, benevolentné prijímanie, ktoré nedávno voči migrantom demonštrovalo Nemecko. Súviselo to údajne nielen s humanitárnym prístupom, ale aj s poklesom obyvateľstva v bývalom Východnom Nemecku (Noack, 2015). Podľa Eurostatu však populácia klesla v rokoch 2004 – 2013 aj v ďalších krajinách EÚ, napr. o 1,1 % v Chorvátsku s postupným rastom cez Estónsko, Bulharsko, Rumunsko, Lotyšsko až po Litvu, kde pokles dosiahol 13,5 %. Projekcie do budúcnosti sú ešte horšie. Tieto krajiny však zatiaľ migrácii z domácich ekonomických dôvodov nedávajú zelenú;
- b. tvrdá blokáda, ku ktorej sa odhodlali niektoré štáty na východobalkánskej trase, osobitne Maďarsko, vybudovaním plotov. Momentálne prebieha v USA spor o budovanie bariéry na hraniciach s Mexikom.

Keďže extrémne riešenia spravidla nie sú vhodné, je potrebné uvažovať o regulácii na základe:

- c. brzdenia migrácie v krajine pôvodu. Tu môžu pomôcť (1) moderné technológie, napr. nanotechnológia, a predovšetkým jej aplikácie v čistení vody s cieľom potlačenia ochorení a epidémií. Účinné je filtrovanie vody pomocou uhlíkových nanorúrok. (2) Druhým artiklom je lacná slnečná energetika, ktorú by si mohli zadovážiť krajiny, ktorých hrubý domáci produkt (HDP) je okolo 1 000 US dolárov na obyvateľa (Allhoff et al., 2010). Pri solárnych článkoch treba však brať do úvahy, že ich účinnosť s teplotou okolia klesá a problémom je zaprášenie ich povrchu. Do úvahy prichádza umiestnenie článkov na vodnej hladine, kde sú chladené a nezaberajú poľnohospodársku pôdu. Alternatívami sú tepelné kolektory a koncentrátorové elektrárne. V oblasti nových technológií ide spravidla o to, aby nerástla medzera medzi vyspelým a rozvojovým svetom. V prípade nanotechnológií tu používame pojem nanomedzera (*nano-divide*), obdobu digitálnej medzery (*digital-divide*) zo sféry informatiky. Žiaľ, ako vyplýva z podrobného štúdia zhrnutého v knihe Maclurcana (2012), súčasný ekonomický systém nedáva nádej na spravodlivejší svet a technologická závislosť a relatívne zaostávanie Juhu sa má prehĺbovať. (3) Tretím faktorom je starostlivosť o pôdu v krajinách pôvodu, jej kultivácia a ochrana. Pozitívnym krokom je snaha EÚ zahrnúť do budúceho rámcového programu Horizont Európa ako jednu z piatich kľúčových tém, tzv. misií, *zdravú pôdu a udržateľný systém produkcie potravín*. Ďalšie misie predstavujú *klimatická zmena, onkologické ochorenia, zdravá voda a inteligentné mestá*. Vidieť, že prinajmenšom tri z nich korešponujú s regulovaním migrácie a zabraňovaním dezertifikácie;
- d. stanovenia reálnej absorpčnej schopnosti a po-

treby krajiny. Tu okrem údajov v odseku a) poukazujeme na štúdiu Rakúskej akadémie vied – Wittgsteinovho centra vo Viedni (ÓAdW, 2018). Z analýzy obdobia 1980 – 2017 v Európe vyplýva, že Západ rastie, najväčšie prírastky obyvateľov má Írsko (36 %), Švajčiarsko (26 %), Nórsko (24 %), Francúzsko (18 %). Najväčší pokles má Bosna a Hercegovina (24 %) a ďalšie východoeurópske krajiny, ktoré už boli spomenuté. Patrí k nim aj Moldavsko a Kosovo. Z krajín Vyšehradskej štvorky Česko, Maďarsko a Slovensko mierne rastú o 3 – 4 %. Tieto zmeny sú podmienené prirodzeným vývojom pôrodnosti a úmrtnosti, ale hlavne migráciou. Dnes však aktivity Európanov a v rámci toho aj Slovákov nad 65 rokov v dôsledku lepšieho vzdelania rastú, čo znižuje nedostatok pracovnej sily a teda aj potrebu imigrácie.

Z uvedených poznatkov vyplýva, že krajiny EÚ vzhľadom na svoju diferencovanú históriu i veľké pretrvávajúce rozdiely v životnej úrovni, ktoré ohrozujú aj stabilitu EÚ, robia diferencovanú migračnú politiku odôvodnene.

Gravitačný model migrácie

Gravitačný model sa používa v geografii od začiatku 20. stor. na štúdium urbanizačných efektov. Je analógiou Newtonovho gravitačného zákona, ktorý zapisujeme ako $F = \kappa Mm/r^2$, kde M a m sú masy a F je sila medzi nimi, r je ich vzdialenosť a κ gravitačná konštanta. V spoločenských systémoch sa vzťah adaptuje na geografické či demografické účely a zapisuje sa v logaritmickej forme, napr. (Greenwood, 2005):

$$\ln D = a \ln P_1 + b \ln P_2 - c \ln r + \sum_{i=1}^n d_i \ln X_i$$

kde D je demografická sila, ktorá meria sociálnu interakciu, napr. migračný tok, P_1, P_2 sú populácie v interagujúcich centrách, veličiny X_i vyjadrujú ďalšie ekonomické alebo environmentálne premenné, ako HDP, zamestnanosť alebo klimatické faktory, a, b, c, d_i sú fitovacie veličiny, $c \geq 0$ a i sa mení v intervale od 1 do n . Model sa opiera o postulát, že väčšie aglomerácie priťahujú ľudí alebo komodity viac ako menšie. Použitie modelu vyžaduje voľný pohyb ľudí, zamestnanosť, ubytovanie, transportné systémy a pod. V spoločenských interakciách sa vzdialenosť niekedy nemusí uvažovať.

Vplyv klimatických faktorov na migráciu študovali Afifi, Warner (2008) a Backhaus et al. (2015). Z hľadiska nášho záujmu o vplyv dezertifikácie na migráciu významná je prvá z uvedených prác. Išlo o štúdiu migrácie medzi 172 krajinami so zahrnutím 26 určujúcich faktorov, z toho trinásť ekonomických, geografických, etnických a trinásť environmentálnych. Pre nás sú zaujímavé výsledky, ktoré v kontexte migrácie vyjadrujú korelácie medzi environmentálnymi faktormi. Môžeme ich rozdeliť do skupín:

Tab. 3. Korelácie medzi faktormi ovplyvňujúcimi migráciu. Zdroj: Afifi, Warner (2008)

Faktor	zemetrasenie	erózia pôdy	nedostatok pitnej vody	znečistenie ovzdušia
Počet korelácií	7	6	6	8
Súčet korelačných koeficientov	0,762	0,806	0,565	0,717
Faktor	dezertifikácia	zvýšenie hladiny morí	deforestrácia	vylovenie rýb
Počet korelácií	7	8	8	9
Súčet korelačných koeficientov	0,786	0,706	0,919	0,710

Tab. 4. Stredná kvadratická odchýlka distribúcií migrantov medzi krajiny podľa rozličných faktorov a ich kombinácií. Zdroj: Luby (2018)

Faktor	HDP	HDPpc	P	(HDP&P)/2	0,5HDP&P	HDP& 0,5P
RMSD	3 790	12 900	6 200	3 690	4 700	3 600

Vysvetlivky: HDP – hrubý domáci produkt, HDPpc – HDP *per capita*, HDPpc:pps – HDPpc prepočítaný na *purchasing power standard*, P – populácia a zlomkové kombinácie faktorov

- katastrofické – zemetrasenia, cunami, hurikány, záplavy;
- pôdne – erózia, zasolenie a kontaminácia pôdy;
- voda, vzduch – nedostatok pitnej vody, znečistenie ovzdušia;
- klimatické – dezertifikácia, zvýšenie hladiny morí;
- vyčerpanie zdrojov – deforestrácia, vylovenie rýb.

Korelačné koeficienty, pokiaľ sa korelácie našli, vyplňujú maticu, v diagonále ktorej ležia autokorelačné koeficienty s hodnotou 1 (Afifi, Warner, 2008). Vybrané výsledky pre faktory s počtom korelácií ≥ 6 (maximum je 12) sú v tab. 3. Prekvapujúco najväčší počet korelácií nájdeme pri vylovení rýb a najväčší súčet koeficientov vykazuje deforestrácia, ktorá bola príčinou environmentálnych katastrof dávno predtým, ako sa pojem environment začal používať (zánik rímskeho mesta Paestum). Dezertifikácia koreluje v kontexte migrácie so siedmimi faktormi a jej koeficienty klesajú od najväčšieho po najmenší v postupnosti: 1. erózia pôdy, 2. nedostatok pitnej vody, 3. zvýšenie hladiny morí, 4. zasolenie pôdy, 5. cunami, 6. deforestrácia, 7. vylovenie rýb. Sú to teda faktory, ktoré sú hnacími silami dezertifikácie i faktory, ktoré spolu s ňou pripravujú obyvateľov o zdroje prežitia.

Aplikovanie gravitačného modelu na štúdium migrácie v koridore deviatich krajín Európskej únie

Budeme aplikovať gravitačný model na migračné toky v rámci európskej migračnej krízy. Keďže pohyb migrantov je ovplyvnený politickými rozhodnutiami, umelými bariérami, náboženskými predsudkami a bezpečnostnými opatreniami, musíme predpokladať, že možnosti modelovania budú v tomto prípade obmedzené.

V období 2007 – 2011 prekročilo mnoho migrantov zo Stredného východu hranicu medzi Tureckom a Gréckom a pokračovalo do strednej Európy. Od roku 2012 sa budovali bariéry a migranti sa presmerovali na iné trasy.

Okrem toho sa začala uplatňovať detenčná prax a implementovali sa readmisné dohody. Ale pred rokom 2011 bol ešte pohyb relatívne voľný. Budeme preto gravitačný model testovať s použitím počtov žiadateľov o prvý azyl z roku 2011 v deviatich krajinách pozdĺž balkánskej trasy Grécko – Bulharsko – Rumunsko – Slovinsko – Maďarsko – Slovensko – Česká republika – Rakúsko – Nemecko (Eurostat, 2017). Tieto údaje porovnáme s modelovanými rozdeleniami podľa HDP, HDPpc (HDP *per capita*) a HDPpc:pps (*purchasing power standard*), kde sa berú do úvahy rozdiely v národných hladinách cien, ďalej s rozdelením podľa populácie a vzájomných kombinácií faktorov. Detaily výpočtov uvádza Luby (2018). Najväčšie počty žiadateľov o azyl boli 53 235 v Nemecku a 14 420 v Rakúsku, najmenšie 365 v Slovinsku a 490 na Slovensku. Celkový počet migrantov, s ktorým sme pracovali, je 83 158. Zo šiestich simulácií vyplynulo, že vzdialenosť nie je významný parameter v tomto type migrácie. Migranti svoju trasu prekonávajú spravidla raz za život alebo za dlhé obdobie. Migranti uprednostňujú krajinu s veľkým HDP, z dvojice kritérií HDPpc a HDPpc:pps sa relatívne lepšie uplatňuje prvé z nich. Veľká populácia P je podporný faktor z hľadiska absorpčnej kapacity a možnosti migrantov zotrvať vo väčších enklávach. Jednotlivé vypočítané distribúcie migrantov medzi krajiny sme porovnali s rozdelením počtu žiadateľov o prvý azyl stanovením strednej kvadratickej odchýlky RMSD (*root-mean-square deviation*) (tab. 4; v stĺpcoch 2 až 5 štyri výsledky prevzaté z práce Lubyho (2018) a ďalšie dva, ktoré sme dopočítali). Z hodnôt RMSD vyplýva, že jednoduchý faktor, ktorý priťahuje migrantov, je veľký HDP krajiny. Jeho prepočty na hlavu, ktoré hovoria o vyspelom sociálnom systéme a životnej úrovni sú druhoradé, pretože ide o výhody, ktoré sa získavajú iba časom. Populácia je podľa hodnoty RMSD na druhom mieste. V kombinácii s HDP má faktor populácie pozitívny vplyv, ale z porovnania posledných dvoch stĺpcov tab. 4 vyplýva, že redukcia HDP na úkor

populácie hodnotu RMSD zvyšuje. Naše výsledky ukazujú, že kritériá dnes už prekonaných a problematických kvót Európskej komisie, ktorá pri ich výpočte brala HDP a populáciu s rovnakou váhou, nie sú optimálne.

V práci Lubyho (2018) sme však uviedli, že dočasná migrácia z nových do starých členských krajín EÚ s cieľom zvýšenia kvalifikácie, zamestnania a pod. sa riadi autentickým gravitačným modelom zohľadňujúcim vzdialenosť, vyjadrenú v tomto prípade ako $1/r$. Súvisí to s tým, že ľudia sa pohybujú voľne a počas zahraničného pobytu navštevujú svoj domov.

* * *

Z práce vyplýva, že s použitím fyzikálnych nástrojov možno o súčasných migračných tokoch do Európy dostať aspoň semikvantitatívny obraz. Súčasne treba brať vážne varovanie pred prehĺbením migračnej krízy v dôsledku dnes už akceptovanej klimatickej zmeny vrátane jej antropologickej zložky, ktorá ohrozuje veľké územia možnou dezertifikáciou pôdy a zaplavením pobreží. Redukcia vnútrozemských ťadovcov sa nedávno dala do súvisu s poklesom lodnej dopravy na jednej z hlavných tepien Európy – na Rýne. Hlavný faktor, ktorý priťahuje migrantov, je HDP cieľovej krajiny. Aplikovanie gravitačného modelu na migráciu ukázalo, že vzdialenosť transportu nie je významný parameter. Vzdialenosť však hrá rolu pri dočasnej migrácii v rámci Európy, osobitne medzi novými a starými členskými krajinami s cieľom študovať, prehĺbiť si kvalifikácie alebo zamestnať sa. Rastúce ovplyvňovanie migrácie klimatickou zmenou môže spôsobiť, že v budúcnosti sa vnútrozemský stredoeurópsky región vzhľadom na svoje geografické prednosti stane vyhľadávaným útočiskom imigrantov nielen z rozvojového, ale aj rozvinutého sveta.

Príspevok vznikol vďaka podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja pre projekt Nanočasticové senzory pre plynné biomarkery chorôb, APVV-14-0891, a podpore Vedeckej grantovej agentúry MŠVVaŠ a SAV pre projekt Modifikácie rozhraní pre zlepšenie parametrov perovskitových solárnych článkov, VEGA 2/0081/18.

Literatúra

- Afifi, T., Warner, K.: The Impact of Environmental Degradation on Migration Flows across Countries. Working Paper No. 5. Bonn: United Nation University – Institute for Environment and Human Security, 2008, 25 p.
- Allhoff, F., Lin, P., Moore, D.: What is Nanotechnology and What Does It Matter? From Science to Ethics. Oxford: Wiley-Blackwell, 2010, 293 p.
- Backhaus, A., Martinez-Zarzoso, I., Muris, Ch.: Do Climate Variations Explain Bilateral Migration? A Gravity Model Analysis. IZA Journal of Development and Migration, 2015, 4, 3, 1 – 15 p. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40176-014-0026-3>
- Bokova, I.: Our Land. Our Home. Our Future: World Day to Combat Desertification and Drought. Brasilia: UNESCO Office, 2017, 2 p.
- Eurostat: Asylum and First Time Asylum Applicants by Citizenship, Age and Sex. Annual Aggregated Data. Brussels: European Commission, 2017. (http://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-datasets/-/MIGR_ASYAPPCTZA)
- Greenwood, M. J.: Modeling Migration. In: Kempf-Leonard, L. (ed.): Encyclopedia of Social Measurement. Volume 2. San Francisco, CA: Elsevier/Academic Press, 2005, p. 725 – 734. DOI: <https://doi.org/10.1016/B0-12-369398-5/00352-2>
- Helldén, U.: Desertification and Theories of Desertification Control: A Discussion of Chinese and European concepts. In: Guangchang, S. (ed.): Proceedings of China – EU Workshop on Integrated Approach to Combat Desertification. Beijing: China Association for International Science and Technology Cooperation, 2003, p. 94 – 104.
- Cherribi, S.: In the House of War: Dutch Islam Observed. Oxford: Oxford University Press, 2010, 288 p.
- Khatra, N. B., Loireau, M.: The Immense Challenge of Desertification in Sub-Saharan Africa. The Conversation, 2017, October 4th, 3 p. (<http://theconversation.com/the-immense-challenge-of-desertification-in-sub-saharan-africa-84439>)
- Laczko, F., Aghazman, Ch. (eds.): Migration, Environment and Climate Change: Assessing the Evidence. Geneva: IOM, 2009, 245 p.
- Luby, Š.: Elektromigrácia v tenkých kovových vrstvách. Československý časopis pro fyziku, 1982, 32, s. 452 – 469.
- Luby, Š.: Present Migration Flows into Europe in Terms of Diffusion Theory and Gravity Model. AIP Conference Proceedings, 2018, 1996, 1, p. 1 – 9. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5048880>
- Maclurcan, D.: Nanotechnology and Global Equality. Singapore: Pan Stanford Publishing, 2012, 451 p.
- McMaken, R.: Fear Global Warming? Markets Offer Our Best Chance for Survival. Mises Wire, 2018, April 23rd. (<https://mises.org/wire/fear-global-warming-markets-offer-our-best-chance-survival>)
- Morrison, J.: The “Great Green Wall” Didn’t Stop Desertification, but it Evolved into Something That Might. Smithsonian.com: The Age of Humans, 2016, August 23rd, 5 p. (www.smithsonianmag.com/science-nature/great-green-wall-stop-desertification-not-so-much-180960171/)
- Noack, R.: This Map Helps Explain why some European Countries Reject Refugees, and Others Love Them. The Washington Post, September 8th, 2015.
- ŮAdW: Westeuropa wächst durch Migration, Osteuropa schrumpft. Wien: Österreichische Akademie der Wissenschaften, 2018, 9 p.
- Reich, P. F., Numbem, S. T., Almaraz, R. A., Eswaran, H.: Land Resource Stresses and Desertification in Africa. In: Bridges, E. M., Hannam, I. D., Oldeman, L. R., Pening de Vries, F. W. T., Scherr, S. J., Sompatpanit, S. (eds.): Responses to Land Degradation. Proceedings from 2nd International Conference on Land Degradation and Desertification, Khon Kaen, Thailand. New Delhi: Oxford Press, 2001, 1 – 13 p.
- Rogers, E.: Diffusion of Innovations. 5th Edition. New York: Simon & Schuster, 2003, 576 p.
- Sze, S. M.: VLSI Technology. 2nd Edition. New York: McGraw-Hill Book Co., 1988, 676 p.
- Terminski, B.: Current Dynamics of Desertification in Africa. The Nigerian Voice, 2012, May 6th, 3 p. (www.thenigerianvoice.com/news/89273/current-dynamics-of-desertification-in-africa-facts-and-sta.html)
- UN: Trends in International Migrant Stock: The 2013 Revision – Migrants by Age and Sex. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2013, 6 p. + CD ROM.

Dr. h. c. prof. Ing. Štefan Luby, DrSc.,

stefan.luby@savba.sk

Fyzikálny ústav Slovenskej akadémie vied, Dúbravská cesta 9, 845 11 Bratislava