

Vývoj, současný stav a hodnocení míry fragmentace krajiny v Česku

VLADIMÍR ZÝKA^{1,2}, IVO DOSTÁL³, DUŠAN ROMPORTL¹

¹ Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, Česko (Charles University, Faculty of Science, Department of Physical Geography and Geoecology, Prague, Czechia); e-mail: zykav@natur.cuni.cz, dusan.romportl@natur.cuni.cz

² Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Průhonice, Česko (The Silva Tarouca Research Institute for Landscape and Ornamental Gardening, Průhonice, Czechia)

³ Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, Fakulta prírodných vied a informatiky, katedra ekológie a environmentalistiky, Nitra, Slovensko (Constantine the Philosopher University in Nitra, Faculty of Natural Sciences and Informatics, Department of Department of Ecology and Environmental Science, Nitra, Slovakia); e-mail: ivo@darksnest.cz

ABSTRACT **The development, current state, and evaluation of landscape fragmentation in Czechia** – Landscape fragmentation refers to the division of originally continuous landscapes into smaller, disconnected segments. This study aims to assess the current state of and trends in landscape fragmentation in Czechia using the Effective Mesh Size metric, with a particular focus on the role of migration corridors. The analysis considers anthropogenic factors, including road networks and urban areas, with fragmentation measurements taken on a regular grid of square cells. Four different fragmentation scenarios (A, B, C, D) were created, reflecting combinations of current conditions, projected future states, and the presence of migration corridors. Results indicate a slight increase in landscape fragmentation since the 1920s, with the Effective Mesh Size reaching an average of 36.9 km² (median of 15.2 km²) in 2022. The impact of migration corridors was found to be significant only in their immediate surroundings, decreasing with distance.

KEY WORDS landscape fragmentation – Effective Mesh Size – landscape permeability – Czechia – anthropogenic infrastructure

ZÝKA, V., DOSTÁL, I., ROMPORTL, D. (2024): Vývoj, současný stav a hodnocení míry fragmentace krajiny v Česku. *Geografie*, 129, 4, 435–456.

<https://doi.org/10.37040/geografie.2024.017>

Do redakce došlo v březnu 2024, přijato do tisku v listopadu 2024.

1. Úvod

Fragmentace krajiny představuje proces, při kterém jsou původně celistvá území rozdělována do více či méně izolovaných segmentů (Jaeger 2000). Jedná se o pojem, který se používá od poloviny 20. století v kontextu rozvoje dopravních sítí, rozrůstající se městské zástavby (EEA 2011) a zejména v souvislosti s výrazným nárůstem těchto antropogenních bariér v posledních desetiletích (Anděl, Mináriková, Andreas 2010; Torres, Jaeger, Alonso 2016; Kubacka a kol. 2022). Fragmentace krajiny rozrušuje ekologické vazby mezi různými místy a zhoršuje pohyb živočichům (Taylor a kol. 1993; Dufek, Adamec, Jedlička 2004). Na přírodní oblasti se pak může v silně fragmentované krajině nahlížet jako na izolované ostrůvky na moři (teorie ostrovní biogeografie, MacArthur, Wilson 1967; Jongman, Kùlvik, Kristiansen 2004), které se v důsledku rostoucího využívání půdy a rozvoje silniční sítě stále zmenšují a izolují. Fragmentace krajiny může být zapříčiněna jednak bariérami přírodní povahy, jako jsou např. vodní toky, hluboká údolí apod., ale zdaleka největší problém představuje rostoucí význam nových antropogenních struktur.

Antropogenní struktury vedoucí k fragmentaci krajiny se dělí do dvou skupin, a to na plošné a liniové (Anděl, Mináriková, Andreas 2010). Klíčovou úlohu ve fragmentaci krajiny antropogenními strukturami hraje zástavba, kam se zahrnují nejen sídla, ale i průmyslové a rekreační areály. Především zakládání nových průmyslových areálů tzv. na zelené louce (Bičík 2010) a výstavba nových satelitních městeček (Ouředníček 2008) vede nejen k záboru půdy, ale i k propojování jednotlivých antropogenních ploch mezi sebou. Další významnou plošnou fragmentační bariérou v krajině představuje oplocení, u něhož vždy záleží na typu materiálu, ze kterého je vybudované (pletivo, elektrický ohradník, dřevěná ohrada) a významu konkrétního areálu (lesní obora, pastvina zabezpečená proti velkým šelmám, dočasná pastvina atd.). V neposlední řadě je důležité vnímat také intenzivní zemědělské využití krajiny (včetně velkých vodních ploch) a s ním spojenou strukturu krajiny, především mozaiku lesních a nelesních biotopů umožňující překonávat antropogenně ovlivněnou krajinu (Anděl, Mináriková, Andreas 2010).

Mezi liniové antropogenní struktury vedoucí k fragmentaci krajiny se řadí silniční (dálniční) a železniční síť a upravené vodní toky (Jaeger a kol. 2008; Anděl, Mináriková, Andreas 2010; EEA 2011). Železnice přispívají k fragmentaci krajiny především ve spojení se silnicemi a zástavbou jako kumulativní bariéry. Problém nastává, pokud trať lemují ochranné ploty nebo protierozní zdi. Vodní toky fungují v krajině spíše jako migrační koridory. V některých případech se však mohou stát migrační bariérou, např. zpevněním břehů opěrnou zdí, výstavbou vodních děl a intenzivním využitím přilehlé krajiny např. formou rekreace (Anděl, Mináriková, Andreas 2010).

Fragmentace krajiny s sebou přináší také řadu ekologických efektů, které lze rozdělit na primární a sekundární (Iuell a kol. 2003). Mezi primární efekty patří plošný zábor půdy antropogenní stavbou či dopravní komunikace jako fyzická bariéra, která je pro řadu živočichů nepřekonatelnou překážkou (Jaeger a kol. 2005). Dalším negativním primárním dopadem jsou střety živočichů s vozidly (Mikátová, Vlašín 2002; Tillmann, 2005; Rico, Kindlamnn, Sedláček 2007; Bíl, Bartonička 2022), které společně s bariérovým efektem mohou vést k úplné nepropustnosti komunikace a tím způsobit až genetickou degradaci dotčených subpopulací (Dufek, Adamec, Jedlička 2004; Jaeger a kol. 2005). Mezi primární ekologické efekty se také řadí hlukové a světelné znečištění, znečištění vzduchu, fyzické změny (vlastnosti půdy, reliéfové, hydrologické a mikroklimatické poměry atd.) v okolí dopravních staveb či případně otevření prostoru pro invazivní druhy rostlin (Iuell a kol. 2003; Jaeger a kol. 2005; Zielińska 2007; Šerá 2008; Neher, Asmussen, Lovell 2013; Polak a kol. 2013). Za sekundární jsou považovány nepřímé efekty spojované nejčastěji se změnami ve využívání krajiny v zázemí komunikace (Iuell a kol. 2003 nebo např. Janík a kol. 2024). Jedná se často o tzv. pozitivní zpětnou vazbu, kdy s novou silnicí se utváří nabídka pro další rozvoj rezidenční či komerční zástavby, která opět vyžaduje rozšíření silnice (Anděl, Mináriková, Andreas 2010).

Míra fragmentace krajiny se po celém světě hodnotí různými přístupy na všech prostorových úrovních (např. Hobbs 1993; Girvetz a kol. 2008). Fragmentační metriky se vyvinuly z nástrojů hodnotících ekologické procesy (Li, Wu 2004). Jaeger (2002) porovnával 22 fragmentačních metrik z hlediska spolehlivosti pro kvantifikaci fragmentace krajiny, z nichž jako nejvhodnější metriku vyhodnotil *Effective mesh size* (Efektivní velikost oka, zkr. EVO, Jaeger 2000). Ta vyhodnocuje plochu, která je přístupná organismům při zahájení pohybu v náhodně zvoleném bodě uvnitř posuzované části krajiny, aniž by narazili na fyzickou překážku. Podle Girvetze a kol. (2008), kteří původní metriku EVO modifikovali tak, aby pracovala také s krajinou v okolí prostorové jednotky výpočtu, vyjadřuje hodnota EVO pomyslnou schopnost dvou organismů náhodně umístěných v krajině se navzájem potkat. Tato metrika díky svým vlastnostem umožňuje posoudit vliv změny fragmentace části regionu na celkovou fragmentaci regionu a při posuzování fragmentace kombinovat regiony s různou velikostí (Jaeger 2000; Moser a kol. 2007; Girvetz a kol. 2008).

Řešením fragmentace krajiny a ochrany její prostupnosti je zachování a obnova tzv. ekologické konektivity. Hlaváč a kol. (2019) definují ekologickou konektivitu jako vzájemné propojení ekologických prvků v krajině a biologických koridorů mezi nimi z hlediska jedince, druhu, populace nebo společenstev těchto jednotek. Tradičním nástrojem ochrany či obnovy ekologické konektivity v krajině jsou ekologické sítě, které se skládají z jádrových území, kde živočichové žijí, a migračních koridorů, kterými jsou jádrová území propojena (Anděl, Mináriková, Andreas

2010). Křížení ekologické sítě a antropogenní především liniové infrastruktury bývá označováno za problémové či kritické místo, které ztěžuje prostupnost krajinou a jehož průchodnost bývá zajištěna budováním migračních objektů (zelené mosty, podchody, upravené propustky apod.) vždy s ohledem na danou skupinu živočichů (Anděl a kol. 2011).

Cílem tohoto článku je analyzovat vývoj od 20. let 20. století a současný stav (pro rok 2022) míry fragmentace krajiny Česka s využitím metriky EVO. Dále je cílem článku zjistit efekt vybudovaných migračních průchodů na zmírnění míry fragmentace, jakožto velmi důležitého mitigačního opatření k zachování ekologické konektivity krajiny Česka. U vývoje míry fragmentace krajiny lze hypoteticky očekávat její postupné zhoršování (čili snižování průměrné hodnoty efektivní velikosti oka). Migrační průchody naopak míru fragmentace snižují, projeví se jejich vliv ale v širším okolí? Článek také představuje jednoduše aplikovatelnou a opakovatelnou metodu analýzy současné míry fragmentace, kterou by bylo možné využít pro pravidelné hodnocení stavu krajiny.

2. Metodika hodnocení fragmentace

Analýza míry fragmentace krajiny Česka vycházela ze studie Girvetze a kol. (2008), kteří nejprve vypočetli pomocí stejnojmenného nástroje efektivní velikost oka (EVO) a následně vyhodnocovali míru fragmentace krajiny. Výpočet EVO probíhal podle vzorce (1):

$$m_{eff}^{CBC}(j) = \frac{1}{A_j} \sum_{i=1}^n A_{ij} A_{ij}^{cmpi} \quad (1)$$

Výsledná proměnná $m_{eff}^{CBC}(j)$ představuje hodnotu efektivní velikost oka (EVO) pro zvolenou jednotku, n je celkový počet plošek zasahujících do jedné jednotky, A_j je celková rozloha jednotky, A_{ij} je dílčí rozloha plošky, která zasahuje do dané jednotky, a A_{ij}^{cmpi} je celková rozloha plošky (včetně plochy mimo území jednotky). Tímto postupem se překonává tzv. přeshraniční efekt (*cross-boundary connection*, Moser a kol. 2007), díky němuž lze objektivně vyhodnotit rozsáhlé nefragmentované plochy s minimem bariér. Hodnoty EVO vyjadřují pomyslnou schopnost vzájemného propojení dvou náhodně umístěných bodů (organismů) v krajině. To znamená, že čím větší je hodnota EVO, tím vyšší je možnost setkání a zároveň tím menší je míra fragmentace krajiny (a naopak).

Postup výpočtu EVO byl poměrně jednoduchý. Sestavená vrstva fragmentační geometrie se vyřízla do plochy zájmového území. Nad vzniklými nefragmentovanými plochami se následně dle uvedeného vzorce vypočetla EVO a pomocí klasifikace hodnot EVO se nakonec vyhodnotila míra fragmentace krajiny. Jako zájmové území může být zvolena kterákoli část zemského povrchu na lokální,

regionální, nadregionální či globální úrovni. Stejně tak prostorové jednotky může tvořit nejrozličnější prostorová vrstva přírodních (např. povodí) či administrativních jednotek (katastrálních území, obce atd.), ale i uměle generované pravidelné sítě (blíže viz Zýka 2016).

Příprava fragmentační geometrie musí ale vždy vycházet ze zadání konkrétního úkolu, na jehož základě je posléze míra fragmentace analyzována a interpretována. Platí, že dvě vypočtené hodnoty EVO jsou souměřitelné pouze tehdy, byla-li fragmentační geometrie pro oba výpočty vytvořena dle shodných pravidel. V případě tohoto článku se zájmovým územím stalo celé Česko se dvěma pravidelnými sítěmi čtverců, jelikož do pravidelných sítí je možné generovat další informace o území a získávat tím novou přidanou hodnotu informací (např. Romportl a kol. 2021). Vývoj míry fragmentace krajiny Česka od 20. let 20. století byl zachycen do hrubší sítě čtverců se stranou 1 km. Za prostorové jednotky výpočtů pro současnost (data k roku 2022) byla zvolena jemnější síť čtverců o straně 500 m. V hraničních oblastech státu, kde státní hranice omezuje čtverce na menší rozlohu, byly vybrány pouze čtverce s rozlohou minimálně 250 m² (tedy 0,1 % rozlohy celého čtverce).

Fragmentační geometrie čili soubor migračních bariér v krajině, může obsahovat mnoho krajinných prvků a částí. V případě tohoto článku zahrnovala především liniové a plošné prvky antropogenní infrastruktury. Pro analýzu historického vývoje míry fragmentace krajiny Česka byly využity vektorové vrstvy silniční sítě, zpracované nad mapovými podklady v rozpětí měřítek 1 : 200 000 až 1 : 500 000 z let 1920, 1936, 1950, 1960, 1971, 1985, 1991, 2001 a 2012 z bakalářské práce Churaně (2010) a disertační práce Hudečka (2008) a prvky plošných bariér z databází CORINE Land Cover z let 1970, 1990, 2000 a 2006 (konkrétně: souvislá městská zástavba, nesouvislá městská zástavba, průmyslové a obchodní areály, silniční síť s okolím, železniční síť s okolím, letiště, městské zelené plochy a sportovní a rekreační plochy).

Analýza současné míry fragmentace krajiny využívala podrobnější prostorová data. Jednalo se o vektorizovanou plochu sídel (intravilán obcí) pro rok 2014 (Skokanová, Zýka 2017) a dále pak o antropogenní plochy z databáze ZABAGED pro rok 2022 (konkrétně – areál účelové zástavby, areál železniční stanice a zastávky, budova a blok budov, elektrárna, heliport, hrad, hřbitov, chladicí věž, kůlna/skleník/foliovník/přístřešek, letiště, letiště asfaltové, okrasná zahrada/park, ostatní plocha v sídlech, parkoviště/odpočívka, přečerpávací stanice, rozvodna/transformovna, silnice a dálnice, silnice ve výstavbě, silo, stavební objekt zakrytý, usazovací nádrž, zámek). Z databáze ZABAGED byla použita i vrstva ovocných sadů a zahrad tak, že byly vybrány pouze polygony s plochou nad 0,5 ha (očekávané intenzivní ovocnářské využití) anebo ve vzdálenosti do 10 m od sídel a antropogenních ploch. Ostatní sady a zahrady s menší rozlohou a větší vzdáleností od antropogenních ploch byly považovány za neoplocené čili s minimálním bariérovým efektem. Nesouvislá městská zástavba byla do fragmentační geometrie

přiřazena ještě pomocí dat z Konsolidované vrstvy ekosystémů (kategorie 33–37, AOPK ČR).

Dopravní infrastruktura byla vyjádřena vrstvou silniční sítě ze ZABAGED a pro výpočty nástrojem EVO ji bylo nutné převést na plochu čili přiřadit silnicím a dálnicím obalovou zónu. Pro účely článku byla velikost obalové zóny nastavena jako odhadovaný průměrný plošný zábor půdy. Dálnice a silnice pro motorová vozidla měly průměr obalové zóny 26 m; silnice I. tř. – 16 m; silnice II. tř. – 10 m a silnice III. tř. – 8 m. Cesty, ať už udržované či neudržované, do analýz nevstupovaly.

Pro odhad budoucího vývoje míry fragmentace v Česku byly v další fázi do fragmentační geometrie zahrnuty ze ZABAGED také silnice ve výstavbě (mnohé jsou již v určité fázi výstavby) a také zastavitelné plochy získané z dokumentací krajských úřadů (územně analytické podklady). Data o zastavitelných plochách byla se souhlasem jednotlivých krajských úřadů připravena v rámci projektu „Biologický výzkum a monitoring na úrovni krajiny ČR – zajištění odborné podpory pro činnost resortu životního prostředí“, část – D: Změny v krajině a trendy ve vývoji krajiny, poskytnutým Ministerstvem životního prostředí ČR (Janík a kol. 2022). Zastavitelné plochy mají v rámci krajů rozdílnou úroveň zpracování a práce s nimi je tak velmi komplikovaná. Do fragmentační geometrie byly vybrány zastavitelné plochy typu bydlení, smíšené výrobní, občanského vybavení, veřejného prostranství, plochy smíšené, technické a dopravní infrastruktury a skladování včetně např. územní rezervy pro přeložky silnic.

Posledním prvkem fragmentační geometrie byly migrační průchody (Dostál, Hlaváč, Svoboda 2017) doplněné dle aktuální ortofotomapy a údajů ŘSD o nově vybudované. Migrační objekty (celkem 358 bodů) v analýze fragmentace působí jako spojnice nefragmentovaných ploch a snižují míru fragmentace území. V kontextu celého Česka byly vybrány migrační objekty splňující svými parametry průchodnost pro středně velké živočichy (od velikosti srnce) až po velké savce. Migračním objektům byla vytvořena obalová zóna s průměrem 80 m, která zajistila dostatečné propojení nefragmentovaných ploch (přesné plošné vymezení migračních objektů nehraje v kontextu výpočtů pro celé Česko zásadní roli).

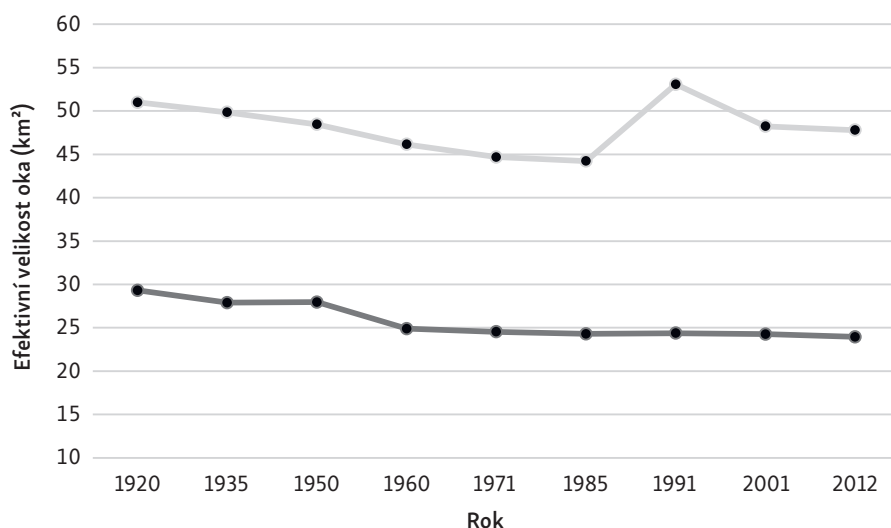
Ze zmíněných dat byly připraveny dvě sady fragmentační geometrie (současnost a plánovaná budoucnost), které byly vždy rozšířeny o zahrnutí migračních objektů čili průchodů skrz bariéru. Jedná se tedy o fragmentační geometrii (A) s využitím dat o současných antropogenních bariérách (tzn. především zastavěné plochy a silnice) a o (B) jejich doplnění, resp. částečném zprůchodnění migračními objekty. V podobném duchu byla vytvořena i druhá verze fragmentační geometrie zahrnující (C) současný, ale i budoucí stav (k verzi A byly přidány silnice ve výstavbě a zastavitelné plochy), která byla následně opět rozšířena o migrační objekty (D). Průnikem fragmentační geometrie (vždy samostatně pro jednotlivé varianty A, B, C, D) s územím Česka byla vytvořena vrstva nefragmentovaných ploch čili vstup pro výpočet efektivní velikosti oka.

Jak je uvedeno výše, míra fragmentace byla vypočtena pro čtvercovou síť o délce strany čtverce 500 m (současnost) a 1 km (vývoj). Tento způsob zohledňuje nerovnoměrné rozložení faktorů ovlivňujících fragmentaci krajiny a lépe vykresluje lokální roztržitost krajiny (EEA 2011). Výstupem je totožná čtvercová síť obsahující spočtené hodnoty efektivní velikosti oka (EVO) v km². Data a výsledky byly zpracovány v prostředí GIS, konkrétně programu ESRI ArcMap 10.x. Výpočty EVO pro současnost proběhly s využitím programovacího jazyka Python.

3. Fragmentace krajiny Česka

Výsledky analýzy nejprve popisují vývoj míry fragmentace krajiny Česka od 20. let 20. století do roku 2012 a poté podrobněji rozebírají analýzu současného stavu fragmentace a budoucího vývoje se zahrnutím migračních objektů.

Míra fragmentace krajiny se od 20. let 20. století nepochybně zvyšovala (viz tmavě šedá linie mediánu EVO na obr. 1). Začátkem 20. století mělo zásadní vliv na míru fragmentace krajiny formování silniční sítě (průměr EVO 50,9 km², medián 29,3 km²). Ve 20. a 30. letech 20. století měla silniční síť ale prakticky nulový bariérový efekt, přestože hustota cestní sítě dosahovala vyšších hodnot (převažovaly ale prašné a nebezpečné silnice, Musil 1987). Menší rozměry vozovky odpovídaly velikosti a rychlosti projíždějících automobilů. Nízká intenzita provozu navíc nevyžadovala zásadní prvky bezpečnosti na komunikacích (například



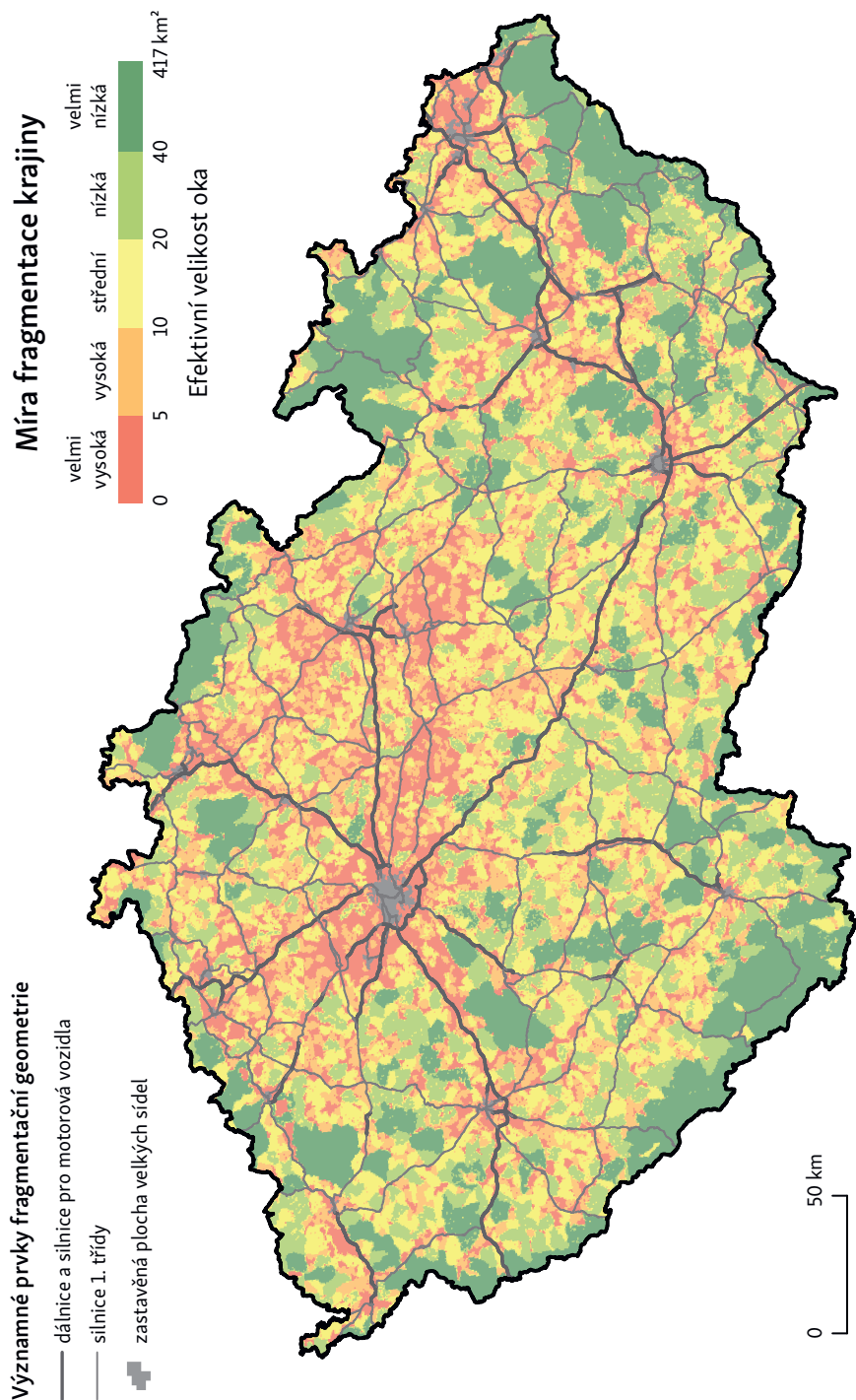
Obr. 1 – Vývoj EVO (efektivní velikost oka) vyjádřený hodnotou průměru (světle šedá) a mediánu (tmavě šedá) za celé Česko. Zdroj: vlastní zpracování.

svodidla, oplocení). Po druhé světové válce došlo ke zdánlivému poklesu míry fragmentace vzhledem k odlišné klasifikaci silniční sítě. Zároveň se však na celkové změně projeví i reálné výstavby nových komunikací. K zakládání nových komunikací docházelo po celé republice, nejvíce v okolí Prahy, Českých Budějovic, Brna a Náchoda (Musil 1987). Poměrně markantně se v 50. letech 20. století projevoval nárůst fragmentace ve východních Čechách a východní části středních Čech (průměr EVO 48,4 km², medián 27,9 km²). Vytvořil se tak pás velmi fragmentovaného území s nedostatečnou prostupností krajiny. V jižních Čechách byly naopak některé silnice zrušeny či přeloženy kvůli výstavbě přehrad Vltavské kaskády (Lídl a kol. 2009). Na dalších místech byly zakládány vojenské újezdy (Kozel 1998). V 70. letech se poprvé projeví náznaky suburbanizace a změna míry fragmentace vlivem rozvoje povrchové těžby v Severočeské pánvi. S otevřením první dálnice v Česku v roce 1971 (Lídl a kol. 2009) započala éra rozvoje dálniční sítě, který dodnes nebyl dokončen.

Zásadní progres v nárůstu fragmentace započal v 90. letech 20. století s rozvojem suburbanizace (Ouředníček 2002), kdy mediánová hodnota EVO pro celé Česko činila 24,4 km² a nadále vykazovala klesající trend. Například do té doby zaostávající okresy Praha-východ a Praha-západ se proměnily v centrum rozvoje suburbaní výstavby (Perlín 2002). Nemalou roli ve vývoji fragmentace krajiny měly hlavní dopravní koridory (dálnice). Důsledky jejich výstavby byly patrné již roku 1985, kdy byl v provozu kompletní dálniční tah Praha-Brno-Bratislava a zároveň probíhalo postupné zprovoznování jednotlivých úseků dalších tahů ve směru z Prahy (R4, D5, R7, D8, R10, D11) i na Moravě (R46, R35) (Musil 1987; Lídl a kol. 2009). Významný skok v nárůstu průměrné EVO v roce 1991, který je zobrazen na obrázku 1, byl, jak později ukázala detailní kontrola vstupních dat, způsobený nedostatečným propojením silniční sítě na území vojenského újezdu Libavá, kde se tímto míra fragmentace skokově snížila. Mediánová hodnota, rovněž zobrazena na obr. 1, tuto chybu ve svém vývoji nezohledňuje, nejedná se tudíž o významnou změnu v kontextu vývoje míry fragmentace Česka.

Později v 90. letech 20. století a nultých letech století současného narůstal význam dalších dopravních os ve směru Praha-Plzeň-Norimberk, či Praha-Mladá Boleslav-Liberec, které podobně jako dálnice D1 nabízely snadnou a rychlou cestu do hlavního města (Lídl a kol. 2009). Obdobný vliv bude mít jistě nedávno dokončená dálnice D8 (Praha-Drážďany) a předpokládá se, že i dálnice D3 (Praha-České Budějovice) a D35 spojující Olomouc a Hradec Králové.

Průměrná hodnota EVO v Česku, která byla spočtena nad podrobnějšími daty a v pravidelné síti o straně čtverce 500 m, dosahovala v roce 2022 pro variantu fragmentační geometrie A hodnoty 36,9 km², avšak mediánová hodnota EVO nabývala hodnot méně než polovičních (15,2 km²). Rozdíl průměrné a mediánové hodnoty upozorňuje na nerovnoměrné rozložení EVO, a tedy i míry fragmentace krajiny, při kterém se na území Česka nacházela území s maximální možnou



Obr. 2 – Míra fragmentace krajiny způsobená zastavěnými plochami včetně přilehlých zahrad a sadů, dálnicemi, silnicemi pro motorová vozidla a silnicemi I. až III. třídy v Česku, stav k roku 2022. Míra fragmentace je klasifikována do 5 intervalů metodou kvantilů, jejichž krajní hodnoty byly upraveny na celá čísla. Zdroj: podkladových dat ČÚZK, vlastní zpracování.

mírou fragmentace (plochy velkých sídel, EVO je 0 km²) a zároveň s velmi nízkou mírou fragmentace (příhraniční pohoří), kde EVO dosahovala hodnot přes 400 km² (obr. 2).

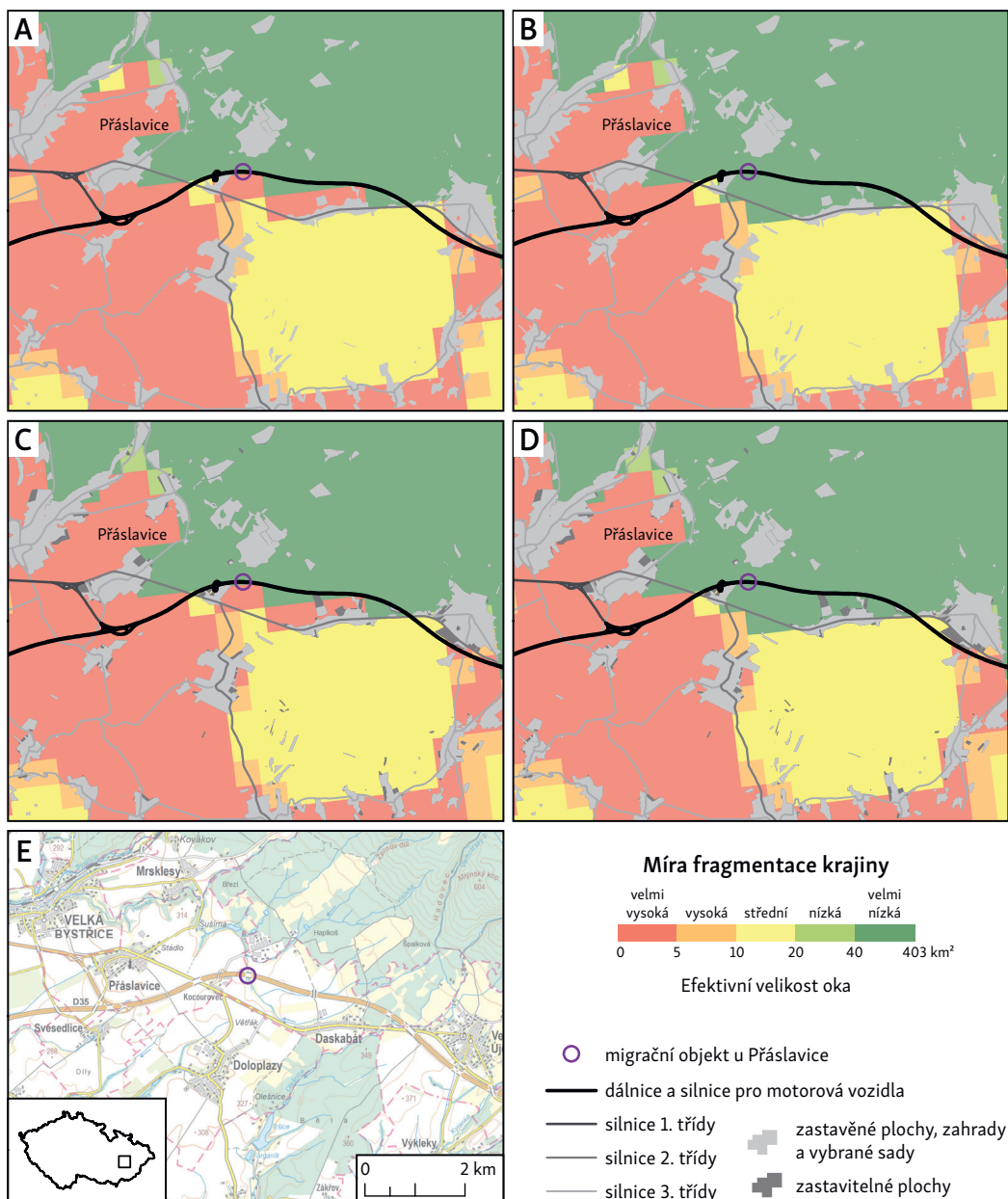
Nejvíce fragmentovaná území se v současnosti nacházejí v okolí městských aglomerací. Jedná se o velmi suburbanizovaná území s vysokou hustotou sídel a silniční sítě. Další místa s vysokou mírou fragmentace se nacházejí podél dálničních a silničních koridorů a na ně vázaných logistických a průmyslových zón. Největší míru fragmentace vykazují střední, severní (kromě oblasti Ralska) a východní Čechy, na Moravě okolí Brna a ve Slezsku Ostravsko. Velkou část krajiny Česka ovšem tvoří mozaika více či méně fragmentovaných ploch. Jedná se například o vnitřní periferie na rozmezí Čech a Moravy a okrajové oblasti vzdálenější od regionálních center.

Na druhou stranu nejméně fragmentované oblasti představují vysoká pohoří. Oblasti Krkonoš, Šumavy, Hrubého Jeseníku a Moravskoslezských Beskyd odolávají fragmentaci díky menšímu potenciálu ve využití krajiny (hornatý reliéf, řídké osídlení, téměř bez průmyslu). Navíc zde bujarý stavební rozvoj usměrňují velkoplošná zvláště chráněná území. Druhou významnou část méně fragmentované krajiny tvoří bývalé či současné vojenské výcvikové prostory vyhlášené v roce 1949 (Kozel 1998). Hradiště, Libavá, Dědice či Boletice jsou svou rozlohou v české krajině unikátní. Jejich specifický vojenský management umožňuje relativně přirozený vývoj krajiny, kde převažuje pozitivní aspekt antropogenního vlivu (např. Havlíček a kol. 2018).

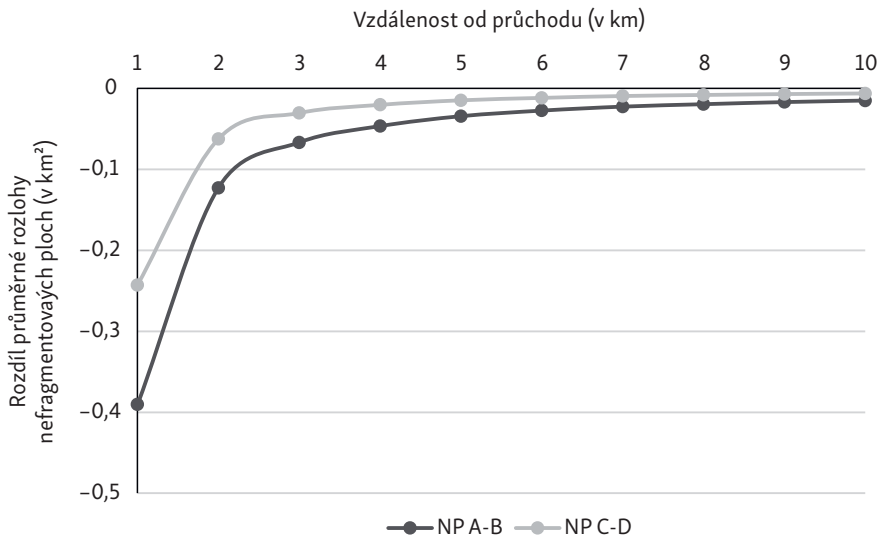
V současnosti každá nová stavba dopravní liniové infrastruktury prochází hodnocením vlivu na životní prostředí, v jehož rámci dochází i k řešení prostupnosti budoucí migrační bariéry, často stavbou migračního objektu (nadchody známé jako ekodukty, podchody, mostní estakády atp.). Současná fragmentační geometrie v této studii proto byla rozšířena o průchody na dálnicích a silnicích pro motorová vozidla (viz metodická část) a to tak, aby migrační průchody propojovaly území, která byla fragmentační geometrií rozdělena. EVO vypočtená nad fragmentační geometrií (FG) s průchody (varianta FG B) dosahuje v průměru za celé Česko jen nepatrně vyšších hodnot (průměr 37,2 km², medián 15,4 km²).

Současný stav míry fragmentace krajiny Česka zachycený na obrázku 2 logicky nemůže být aktuální, neboť se silniční (dálniční) síť a zástavba neustále rozvíjejí. Snaha o zachycení budoucího stavu míry fragmentace s využitím silnic ve výstavbě a zastavitelných ploch je podchycena variantou fragmentační geometrie (FG C) a ukazuje, že průměrná hodnota EVO v Česku může teoreticky dosáhnout 36,3 km², což je o 0,6 km² (1,6 %) méně oproti současnému stavu. I do tohoto odhadovaného budoucího stavu byly přidány průchody (FG D), které míru fragmentace krajiny, resp. průměrnou a mediánovou hodnotu snižují jen nepatrně (o 0,3 km²).

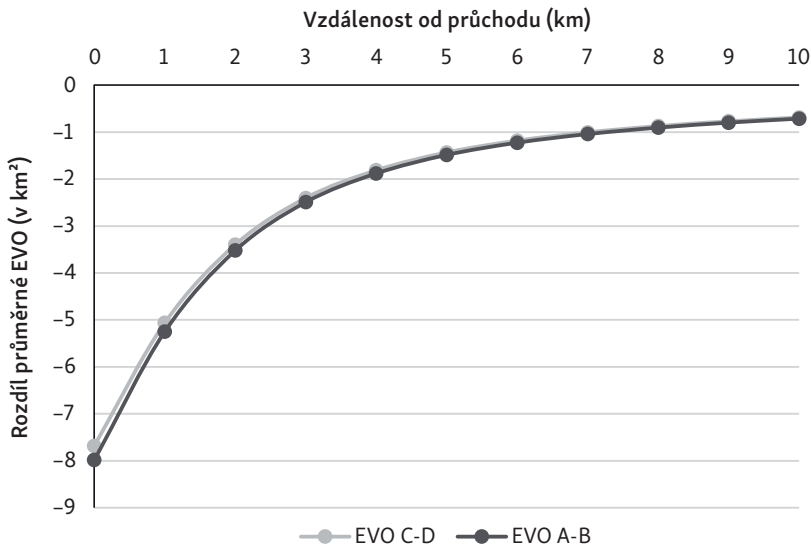
Vliv plánované výstavby, ale i zprůchodnění migračních bariér, se lépe ukázalo na regionálním měřítku. Obrázek 3 přináší výřez části Česka východně



Obr. 3 – Ukázka analýzy míry fragmentace krajiny na lokální úrovni pro jednotlivé varianty fragmentační geometrie: A – současný stav, B – současný stav doplněný o průchody, C – budoucí stav, D – budoucí stav doplněný o průchody. Obrázek E zobrazuje migrační objekt (podchod) na dálnici D35 u Přáslavic nad Základní mapou ČR. Orientace a měřítko jsou pro všechny obrázky stejné. Zdroj podkladových dat ČÚZK, vlastní zpracování.



Obr. 4 – Porovnání vlivu přítomnosti průchodu na průměrnou velikost nefragmentovaných ploch v rozšiřujícím se okolí průchodů. Graf ukazuje rozdíl mezi průměrnou rozlohou nefragmentovaných ploch pro současnost (A) a současnost s využitím průchodů (B), obdobně také pro plánovaný stav (C) a plánovaný stav s průchody (D). Zdroj dat: vlastní zpracování.



Obr. 5 – Porovnání vlivu přítomnosti průchodu na průměrnou EVO v rozšiřujícím se okolí průchodů. Graf ukazuje rozdíl průměrné EVO pro současnost (A) a současnost s využitím průchodů (B), obdobně také pro plánovaný stav (C) a plánovaný stav s průchody (D). Zdroj dat: vlastní zpracování.

od Olomouce, kde je patrná jak plánovaná výstavba, tak přítomnost migračního objektu. Stavbou migračního objektu na dálnici D35 se povedlo propojit jižní část území („pod“ dálnicí) se severní částí, kde se nachází vojenský výcvikový prostor Libavá.

Vliv průchodů (migračních objektů) se projevil především v jejich těsném okolí. Pokud se vypočte rozdíl mezi průměrnou rozlohou nefragmentovaných ploch pro současnost (FG A) a pro současnost se zahrnutím průchodů (FG B) v různé vzdálenosti od průchodů (1 až 10 km), vychází nejvyšší rozdíl logicky v těsném okolí průchodů (obr. 4). Rozdíl v rozloze nefragmentovaných ploch dosahuje však jen desetin čtverečního kilometru a s přibývajícím vzdáleností se podstatně snižuje a blíží k nule. Podobný trend vykazuje také křivka zobrazující rozdíl mezi průměrnou rozlohou nefragmentovaných ploch se zahrnutím silnic ve výstavbě a zastavitelných ploch (FG C) a obdobně s průchody (FG D). Stejně je na tom také rozdíl v průměrné efektivní velikosti oka (obr. 5). Rozdíl průměrné hodnoty EVO pro FG A a FG B, a podobně pro FG C a FG D, dosahuje sice 8 km² v místě průchodu (na obrázku označeno fialovým kroužkem), postupně se však snižuje a klesá pod hodnotu 1 km². Migrační objekty tedy zprůchodnily významnou migrační překážku, ukazuje se však, že v jejím okolí se nacházely další fragmentující prvky, a proto je důležité řešit průchodnost bariéry v kontextu využití okolní krajiny.

4. Diskuse

Analýza fragmentace krajiny metodou efektivní velikosti oka byla využita také v celoevropské studii EEA (2011), která Česko zařadila mezi státy s vyšší mírou fragmentace. Přesto není v nejfragmentovanějších regionech (střední, severní a východní Čechy) dosahováno hodnot států Beneluxu, či Německa. Jedno z možných řešení, jak udržet alespoň současnou míru fragmentace krajiny, je poučit se z vývoje těchto zemí a respektovat zachování (či obnovu) průchodnosti migračních bariér (příkladem může být výstavba migračních objektů v rámci modernizace dálnice D1). Méně fragmentované oblasti jižní části Čech a Moravy vykazují podobné hodnoty srovnatelné se severním Německem, či Polskem. Území s nejmenší mírou fragmentace (příhraniční pohoří, vojenské újezdy) se dají srovnávat například s oblastmi Slovenska a Maďarska. Jako velmi vysokou hodnotí míru fragmentace krajiny západní a střední Evropy také koncept tzv. *roadless areas* čili jednoduché protnutí povrchu se sítí silnic vyjádřené obalovou zónou 1 km a spočtení rozlohy zbylých ploch (Ibishi a kol. 2016).

Hodnotit míru fragmentace krajiny Česka by bylo možné také dalšími metrikami, např. metodou nefragmentovaných ploch (*Unfragmented Area with Traffic*, zkr. UAT; Gawlak 2001; Anděl a kol. 2005; Dostál, Anděl, Havlíček 2017). Polygony UAT jsou vymezovány na základě intenzity provozu (nad 1 000 vozidel za 24 hod.)

nebo vícekolejnými železnicemi. Druhou podmínkou je jejich rozloha nad 100 km². Metoda UAT se využívá například k hodnocení stavu fragmentace krajiny Česka ve Zprávách o životním prostředí ČR. V letech 2000–2020 klesla rozloha nefragmentované krajiny o 15 % z 54,1 tis. km² v roce 2000 (68,6 % území) na 47,8 tis. km² v roce 2016 (60,6 % území) a dále na 46 tis. km² (58,3 % území) v roce 2020 (CENIA 2022). Porovnání map UAT a výsledků analýz EVO ukazuje podobné trendy. Například obě metody vymezují shodná místa s nízkou mírou fragmentace (oblasti Šumavy, Beskyd, Brd, Krkonoš a severní části Jeseníků). Výhodu metody UAT představuje zahrnutí intenzity provozu na dálnicích a vybraných úsecích silniční sítě a tím možná přesnějšího objasnění této části fragmentační geometrie. Metoda EVO naopak lépe zohledňuje další antropogenní prvky zejména rozšiřování zastavěných ploch.

Další výzkumy se zaměřují spíše na hodnocení struktury krajiny Česka či obecněji na politiku krajiny (např. Petřík, Fanta, Petrtýl 2015), na vývoj vlastnictví půdy (Sklenička a kol. 2017), či tradičně na vývoj využití ploch (Bičík 2010). K analýze (vývoje) struktury krajiny autoři využívají metody FRAGSTATS (McGarigal, Marks 1994), přičemž počítají nejrůznější indexy typu velikost plošky, délka okrajů, Shannonův index diverzity apod. Např. Pechanec a kol. (2013) také zjistili postupný nárůst míry fragmentace krajiny stepních lokalit v české panonii na základě indexu celkového kontrastu hran okrajů.

Využití dat vztahujících se k historii s sebou přináší otázku kvality jejich zpracování, zvláště pokud se jedná o mapové podklady a z nich odvozované informace. Podrobnější data v období přípravy prezentované analýzy vývoje fragmentace krajiny nebyla dostupná, i když dnes by bylo nejspíše možné částečně využít historická silniční data vznikající na půdě Centra dopravního výzkumu. Využití databáze CORINE LC pro rok 1970 a jejího spojení se staršími časovými horizonty má jednoduché vysvětlení, a to veřejnou dostupnost a otevřenost dat. Analýza vývoje fragmentace krajiny se snažila především prokázat vliv rozvoje dopravní sítě, navíc proces suburbanizace vedoucí k významnému nárůstu plochy zástavby započal až v 90. letech (Ouředníček 2002). Pro časový horizont současnosti (2022) již existují přesnější prostorová data o zástavbě a silnicích, proto jsme analýzu fragmentace krajiny rozdělili na část historického vývoje a na část označovanou jako současnost, pro kterou navíc bylo vhodnější stran dalšího výzkumu využít podrobnější síť prostorových jednotek.

Samotná metoda výpočtu efektivní velikosti oka využitá v tomto článku má samozřejmě také řadu omezení. Například obalová zóna kolem silnice vyjadřuje průměrný fyzický zábor půdy dle třídy silnice. V článku chybí detailnější pohled na samotnou konstrukci silnice, například její skutečnou šířku, umístění protihlukových stěn či oplocení, které jsou velmi významnou migrační překážkou, a tedy i fragmentační bariérou. Míru vlivu silnice by bylo možné vyjádřit také informací ze sčítání dopravy, které se na vybraných silnicích pravidelně koná, nebo jejími

primárními ekologickými vlivy (světelný smog, hluk z dopravy, změna chemismu okolní půdy, mortalita živočichů apod.). Fragmentační geometrie neobsahuje železnici, jejíž některé úseky by se daly považovat dle intenzity provozu za významné migrační bariéry (např. trať v úseku Praha–Kolín). V Česku se v poslední době mluví také o budování vysokorychlostních tratí (Marec 2011; Bínová, Kaňka 2017), které by měly být zcela uzavřené a bez mitigačních opatření špatně průchodné. Pokud se začne s jejich realizací, bude řešení průchodnosti jedním z klíčových aspektů ochrany konektivity krajiny. Na regionálních železnicích se za bariéru jistě mohou považovat opěrné zdi, vysoké železniční násypy, či protihlukové stěny. Samostatnou složitou kapitolou je využití zastavitelných ploch, jejichž získání z územní plánovací dokumentace krajů je poměrně komplikovaným procesem, i když v poslední době se přístup krajských úřadů v poskytování informací zlepšuje. Plánované zastavitelné plochy se skládají jednak z výstavby rodinných či bytových domů, u nichž lze jejich územní rozložení poměrně přesně předvídat. V druhém případě se jedná o rozvojové plochy pro průmysl či územní rezervy pro přeložky silnic (a železnic), u kterých je často „rezervováno“ větší území a není jasné, kdy a za jakých podmínek bude plánovaná výstavba probíhat.

Do fragmentační geometrie by bylo možné zařadit mnoho dalších prostorových informací. Za fragmentační bariéru lze v některých případech považovat například velké vodní plochy, oplocené pastviny, nevhodné biotopy (intenzivně využívanou ornou půdu), energetickou infrastrukturu, ale třeba i limity využití území (ochranná pásma, zábory půdy pro již naplánované investice atd.). Přitom ovšem vždy záleží na konkrétním zadání úkolu.

Představovanou metodu výpočtu EVO a následného vyhodnocení míry fragmentace krajiny lze využít opakovaně, vždy s aktualizací podkladových dat, nebo například při plánování velkých infrastrukturních záměrů. Pro dlouhodobé srovnání a následnou interpretaci hodnot je však nezbytné pro všechny časové řezy dodržet shodnou metodiku stanovení fragmentační geometrie. Důležité je nejen obnovit či zachovat průchodnost migračních bariér, jak ukazují obrázky 3, 4 a 5, ale pracovat také s okolní navazující krajinou tak, aby zprůchodnění migrační bariéry (často finančně nákladné) nebylo za několik let znehodnoceno další antropogenní činností.

5. Závěr

Míra fragmentace krajiny Česka se od 20. let minulého století podle očekávání postupně zvyšovala především vlivem výstavby dálniční a silniční sítě, v posledních desetiletích ale také vlivem rozvoje zastavěných ploch. V současnosti dosahuje míra fragmentace krajiny (resp. EVO) průměrné hodnoty 36,9 km² (medián 15,2 km²). Rozdíl průměrné a mediánové hodnoty upozorňuje na nerovnoměrné

rozložení míry fragmentace krajiny, při kterém se na území Česka nachází území s maximální možnou mírou fragmentace (sídla), ale zároveň také území s velmi nízkou mírou fragmentace (příhraniční pohoří, vojenské výcvikové prostory). Vliv migračních objektů se nejvíce projevil v těsném okolí zprůchodněných fragmentačních bariér (řádově v jednotkách km²). Na celkových hodnotách pro Česko je jejich vliv však minimální.

Největší ohrožení doposud málo fragmentovaných území představují změny ve využití krajiny směrem k antropogenně ovlivněným plochám a rozvoj dopravní, především dálniční a silniční infrastruktury. Státní investiční politika jako by se řídila římským příslovím „*Via vis – via vita*“ (Silnice je moc, silnice je život; Musil 1987, s. 46), plánuje se proto vybudování řady nových dálničních úseků (MD ČR 2024). Naštěstí je v dnešní době, nejen na těchto hospodářsky významných stavbách, běžným standardem provádět posouzení vlivu záměru na životní prostředí (tzv. EIA, *Environmental Impact Assessment*). Součástí posuzování záměru je mimo jiného migrační studie, ve které se zjišťuje výskyt potenciálně dotčených organismů v krajině společně s návrhem pro ně vyhovujícím řešením průchodnosti navrhované migrační bariéry. V ideálním případě by tato mitigační opatření měla být harmonizována s plánovaným využitím krajiny v územně plánovací dokumentaci tak, aby byla zachována konektivita krajiny v širším měřítku než pouze v případě průchodnosti samotné liniové stavby.

Data o míře fragmentace krajiny představují důležitý podklad pro tvorbu dalších analýz, např. druhových distribučních modelů (Franklin 2009). Výsledky analýz fragmentace krajiny je dále možné propojit s informacemi o kvalitě prostředí a upozornit tak na oblasti, které by bylo možné vyhlásit jako nová zvláště chráněná území. Omezení dopadů zhoršující se fragmentace krajiny je potřeba hledat v přístupu ke krajině jako k celku. Pouze komplexní geografický pohled může ovlivnit směřování krajinného a územního plánování tak, aby využití krajiny bylo přínosné pro všechny organismy, samotného člověka nevyjímaje.

Literatura

- ANDĚL, P., BELKOVÁ, H., GORČICOVÁ, I., HLAVÁČ, V., LIBOSVÁR, T., ROZÍNEK, R., ŠIKULA, T., VOJAR, J. (2011): Průchodnost silnic a dálnic pro volně žijící živočichy. Evernia, Liberec.
- ANDĚL, P., GORČICOVÁ, I., HLAVÁČ, V., MIKO, L., ANDĚLOVÁ, H. (2005): Hodnocení fragmentace krajiny dopravou. Metodická příručka. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.
- ANDĚL, P., MINÁRIKOVÁ, T., ANDREAS, M. (2010): Ochrana průchodnosti krajiny pro velké savce. Evernia, Liberec.
- BIČÍK, I. a kol. (2010): Vývoj využití ploch v Česku. Geographica, 3, ČGS, Praha.

- BÍL, M., BARTONIČKA, T. (2022): Zvířata na silnicích. Masarykova univerzita, Brno. <https://doi.org/10.5817/CZ.MUNI.M210-8470-2022>
- BÍNOVÁ, H., KAŇKA, M. (2017): Koncepce vysokorychlostních tratí (vrt) a územní plánování. *Acta Scientifica Academiae Ostroviensis. Sectio A, Nauki Humanistyczne, Społeczne i Techniczne*, 10, 2, 51–62.
- CENIA (2022): Zpráva o životním prostředí České republiky v roce 2022. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha.
- DOSTÁL, I., ANĎEL, P., HAVLÍČEK, M. (2017): New maps of the transport infrastructure's impact on biodiversity. In: Svobodová, H. (ed.): Proceedings of 25th Central European conference "Useful geography: transfer from research to practice", 12–13th October 2017, Masarykova univerzita, Brno, 259–269.
- DOSTÁL, I., HLAVÁČ, V., SVOBODA, J. (2017): Průchodnost dálnic pro faunu. In: Romportl, D. (ed.): Atlas fragmentace a konektivity terestrických ekosystémů v České republice. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha, s. 26.
- DUFEK, J., ADAMEC, V., JEDLIČKA, J. (2004): Fragmentace lokalit dopravní infrastrukturou: ekologické efekty a možná řešení v projektu COST 341. Centrum dopravního výzkumu, Brno.
- EEA (2011): Landscape fragmentation in Europe: Joint EEA-FOEN Report. European Environment Agency, Schultz Grafisk, Copenhagen.
- GAWLAK, CH. (2001): Unzerschnittene Verkehrsarme Räume in Deutschland 1999. *Natur und Landschaft*. 76, 11, 481–484.
- GIRVETZ, E. H., THORNE, J. H., BERRY, A. M., JAEGER, J. A. G. (2008): Integration of landscape fragmentation analysis into regional planning: A statewide multi-scale case study from California, USA. *Landscape and Urban Planning*, 86, 3–4, 205–218. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.02.007>
- FRANKLIN, J. (2009): Mapping species distributions spatial inference and prediction. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511810602>
- HAVLÍČEK, M., SKOKANOVÁ, H., DOSTÁL, I., VYMAZALOVÁ, M., PAVELKOVÁ, R., PETROVIČ, F. (2018): The consequences of establishing military training areas for land use development: A case study of Libavá, Czech Republic. *Land Use Policy*, 73, 84–94. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.01.039>
- HLAVÁČ, V., ANĎEL, P., MATOUŠOVÁ, J., DOSTÁL, I., STRNAD, M., BASHTA, A. T., GÁLIKOVÁ, K., IMMEROVÁ, B., KADLEČÍK, J., MOŤ, R., PAPP, C. R., PAVELKO, A., SZIRÁNYI, A., THOMPSON, T., WEIPERTH, A. (2019): Wildlife and traffic in the Carpathians. Guidelines how to minimize the impact of transport infrastructure development on nature in the Carpathian countries. The State Nature Conservancy of the Slovak Republic, Banská Bystrica.
- HOBBS, R. J. (1993): Effects of landscape fragmentation on ecosystem processes in the Western Australian wheatbelt. *Biological Conservation*, 64, 3, 193–201. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(93\)90321-Q](https://doi.org/10.1016/0006-3207(93)90321-Q)
- HUDEČEK, T. (2008): Akcesibilita a dopady její změny v Česku v transformačním období: vztah k systému osídlení. Univerzita Karlova, Praha.
- CHURAŇ, R. (2010): Analýza vývoje silniční a dálniční sítě v jednotlivých dekádách 20. stol. pomocí GIS. Univerzita Karlova, Praha.
- IBISCH, P. L., HOFFMANN, M. T., KREFT, S., PE'ER, G., KATI, V., BIBER-FREUDENBERGER, L., DELLASALA, D. A., VALE, M. M., HOBSON, P. R., SELVA, N. (2016): A global map of roadless areas and their conservation status. *Online. Science*, 354, 6318, 1423–1427. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7166>

- IUELL, B., BEKKER, G. J., CUPERUS, R., DUFEK, J., FRY, G., HICKS, C., HLAVÁČ, V., KELLER, V., ROSELL, C., SANGWINE, T., TØRSLØV, N., WANDALL, B. M. (2003). *Wildlife and traffic: a european handbook for identifying conflicts and designing solutions*. European co-operation in the field of scientific and technical research, Brusel.
- JAEGER, J. A. G. (2000): Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*, 15, 115–130. <https://doi.org/10.1023/A:1008129329289>
- JAEGER, J. A. G. (2002): *Landscape fragmentation: A transdisciplinary study according to the concept of environmental*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- JAEGER, J. A. G., BERTILLER, R., SCHWICK, CH., MÜLLER, K., STEINMEIER, CH., EWALD, K. C., GHAZOUL, J. (2008): Implementing Landscape Fragmentation as an Indicator in the Swiss Monitoring System of Sustainable Development (Monet). *Journal of Environmental Management*, 88, 4, 737–751. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.043>
- JAEGER, J. A. G., BOWMAN, J., BRENNAN, J., FAHRIG, L., BERT, D., BOUCHARD, J., CHARBONNEAU, N., FRANK, K., GRUBER, B., VON TOSCHANOWITZ, K. T. (2005): Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological Modelling*, 185, 2–4, 329–348. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.12.015>
- JANÍK, T., ANDREAS, M., BOROVEC, R., HAVLÍČEK, M., HOUŠKA, J., JIRÁČKOVÁ, K., LACHOVÁ, B., LICHOVÁ, A., ROMPORTL, D., SIMERSKÁ, D., STEHNO, J., TICHOPÁDOVÁ, E., VOJTA, J., VRÁNOVÁ, T., ZÝKA, V. (2022): *Změny v krajině a trendy ve vývoji krajiny – výzkumná zpráva za rok 2022*. VÚKOZ, v.v.i., Průhonice.
- JANÍK, T., ZÝKA, V., DEMKOVÁ, K., HAVLÍČEK, M., BOROVEC, R., LICHOVÁ, A., MRKVOVÁ, B., ROMPORTL, D. (2024). Anthropogenic pressure in Czech protected areas over the last 60 years: A concerning increase. *Landscape and Urban Planning*, 250, 105146. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105146>
- JONGMAN, R. H. G., KÜLVIK, M., KRISTIANSEN, I. (2004): European ecological networks and greenways. *Landscape and Urban Planning*, 68, 2–3, 305–319. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(03\)00163-4](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(03)00163-4)
- KOZEL, P. (1998): K některým vojensko-ekologickým aspektům vojenských újezdů. *Geografie-Sborník ČGS*, 103, 3, 221–224. <https://doi.org/10.37040/geografie1998103030221>
- KUBACKA, M., ŻYWICA, P., SUBIRÓS, J. V., BRÓDKA, S., MACIAS, A. (2022): How do the surrounding areas of national parks work in the context of landscape fragmentation? A case study of 159 protected areas selected in 11 EU countries. *Land Use Policy*, 113, 105910. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105910>
- LI, H. B., WU, J. G. (2004): Use and misuse of landscape indices. *Landscape Ecology*, 19, 389–399. <https://doi.org/10.1023/B:LAND.0000030441.15628.d6>
- LÍDL a kol. (2009): *Silnice a dálnice v České republice*. Agentura Lucie, Praha.
- MACARTHUR, R. H., WILSON, E. O. (1967): *The theory of island biogeography*. Princeton University Press, Princeton.
- MAREC, P. (2011): *Vysokorychlostní železnice v ČR*, <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/vysokorychlostni-zeleznice-v-cr/> (19. 1. 2024).
- MCGARIGAL, K., MARKS, B. J. (1995): FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA Forest Service General Technical Report PNW-351, Corvallis. <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351>
- MIKÁTOVÁ, B., VLAŠÍN, M. (2002): *Obojživelníci a doprava*. ČSOP Veronica, Brno.

- MD ČR (2024): Investice do výstavby. Tisková zpráva. Ministerstvo dopravy ČR, <https://www.mdcr.cz/getattachment/Media/Media-a-tiskove-zpravy/PREHLEDNE-Novinky-v-doprave-pro-rok-2024/2024-INVESTICE-DO-VYSTAVBY.pdf.aspx> (31. 1. 2024).
- MOSER, B., JAEGER, J. A. G., TAPPEINER, U., TASSER, E. (2007): Modification of the effective mesh size for measuring landscape fragmentation to solve the boundary problem. *Landscape Ecology*, 22, 3, 447–459. <https://doi.org/10.1007/s10980-006-9023-0>
- MUSIL, J. F. (1987): Po stezkách k dálnicím. Nakladatelství dopravy a spojů, Praha.
- NEHER, A. D., ASMUSSEN, D., LOVELL, S. T. (2013): Roads in northern hardwood forests affect adjacent plant communities and soil chemistry in proportion to the maintained roadside area. *Science of the Total Environment*, 449, 320–327. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.062>
- OUŘEDNÍČEK, M. (2002): Suburbanizace v kontextu urbanizačního procesu. In: Sýkora, L. (ed.): Suburbanizace a její sociální, ekonomické a ekologické důsledky. Ústav pro ekonomiku, Praha, 39–54.
- OUŘEDNÍČEK, M. (2008): Suburbanizace.cz. Univerzita Karlova, Praha.
- PECHANEC, V., JELÍNKOVÁ, E., KILIANOVÁ, H., MACHAR, I. (2013): Analysis of fragmentation of selected steppe sites in the Pannonian region of the Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 61, 3, 765–775. <https://doi.org/10.11118/actaun201361030765>
- PERLÍN, R. (2002): Nízkopodlažní výstavba v územních plánech obcí v zázemí Prahy. In: Sýkora, L. (ed.): Suburbanizace a její sociální, ekonomické a ekologické důsledky. Ústav pro ekonomiku, Praha, 141–156.
- PETŘÍK, P., FANTA, J., PETRTÝL, M. (2015): It is time to change land use and landscape management in the Czech Republic. *Ecosystem Health and Sustainability* 1, 9, 1–6. <https://doi.org/10.1890/15-0016.1>
- POLAK, M., WIĄCEK, J., KUCHARCZYK, M., ORZECZOWSKI, R. (2013): The effect of road traffic on a breeding community of woodland birds. *European Journal of Forest Research*, 132, 931–941. <https://doi.org/10.1007/s10342-013-0732-z>
- RICO, A., KINDLMANN, P., SEDLÁČEK, F. (2007): Barrier effects of roads on movements of small mammals. *Folia Zoologica*, 56, 1, 1–12.
- ROMPORTL, D., ANDREAS, M., CHUMANOVÁ, E., JANÍK, T., LACHOVÁ, B., TICHOPÁDOVÁ, E., VOJTA, J., ZÝKA, V. (2021): Metodika komplexního hodnocení druhové a habitatové diversity v krajině ČR. VÚKOZ, v. v. i., Průhonice.
- SKLENIČKA, P., ZOUHAR, J., TRPÁKOVÁ, I., VLASÁK, J. (2017): Trends in land ownership fragmentation during the last 230 years in Czechia, and a projection of future developments. *Land Use Policy*, 67, 640–651. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.06.030>
- SKOKANOVÁ, H., ZÝKA, V. (2017): Vývoj sídel od 50. let 20. století do současnosti. In: Romportl D. (ed.): Atlas fragmentace a konektivity terestrických ekosystémů v České republice. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, s. 16.
- ŠERÁ, B. (2008): Road vegetation in Central Europe – an example from the Czech Republic. *Biologia*, 63, 1085–1088. <https://doi.org/10.2478/s11756-008-0152-6>
- TAYLOR, P. D., FAHRIG, L., HENEIN, K., MERRIAM, G. (1993): Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 68, 571–573. <https://doi.org/10.2307/3544927>
- TILLMANN, J. E. (2005): Habitat Fragmentation and Ecological Networks in Europe. *GAIA: Ecological Perspectives for Science and Society*, 14, 2, 119–123. <https://doi.org/10.14512/gaia.14.2.11>

- TORRES, A., JAEGER, J. A. G., ALONSO, J. C. (2016): Multi-scale mismatches between urban sprawl and landscape fragmentation create windows of opportunity for conservation development. *Landscape Ecology* 31, 2291–2305. <https://doi.org/10.1007/s10980-016-0400-z>
- ZIELIŃSKA, K. (2007): The influence of roads on the species diversity of forest vascular flora in Central Poland. *Biodiversity Research and Conservation*, 5–8, 71–80. <https://doi.org/10.14746/biorc.2007.5-8.9>
- ZÝKA, V. (2016): Fragmentace krajiny ČR dopravními stavbami: vývoj, současný stav a priority územní ochrany. Academia, Praha.

SUMMARY

The development, current state, and evaluation of landscape fragmentation in Czechia

This article discusses the development and current state of landscape fragmentation in Czechia and the effect of migration objects. Landscape fragmentation is a process in which originally continuous areas are divided into isolated segments. Landscape fragmentation disrupts the ecological links between different places and impairs the movement of animals. Landscape fragmentation is caused by natural barriers, such as watercourses and deep valleys, but by far the biggest factor is the growing impact of new anthropogenic structures. The solution to landscape fragmentation and the protection of landscape permeability is the preservation and restoration of so-called ecological connectivity. A traditional tool for protecting or restoring ecological connectivity is ecological networks.

An analysis of the degree of landscape fragmentation in Czechia was carried out using the Effective Mesh Size (EMS) tool. EMS values express the ability to connect two randomly located points (or organisms) in the landscape. Three types of spatial data were used in this analysis: a territory layer (the whole of Czechia), a regular network of 1 km squares for the development of fragmentation and 500 m squares for the current state, and a layer of fragmentation geometry. The fragmentation geometry is a set of migration barriers and includes linear and surface elements of anthropogenic infrastructure (the road network, settlements, and other anthropogenic areas). Both current and past road networks have been converted to area for the purposes of the analysis to represent average land use. To estimate the development of the degree of fragmentation in Czechia, in the next phase, roads under construction (ZABAGED) and buildable areas obtained from documentation from regional authorities were also included in the fragmentation geometry. The last element of fragmentation geometry was the migration objects. A total of four sets of fragmentation geometry were prepared from the data (A – present, B – present with migration objects, C – future, D – future with migration objects).

Analysis results indicate a slight increase in landscape fragmentation since the 1920s. At the beginning of the 20th century the formation of the road network with a predominance of unpaved roads had a major influence on the level of landscape fragmentation (mean EMS was 50.9 km², median 29.3 km²). In the 1970s, signs of suburbanisation and the influence of motorway construction appeared for the first time. A fundamental increase in fragmentation began in the 1990s when suburbanisation developed significantly and the median EMS value for the whole of Czechia was 24.4 km² and continued to show a downward trend. Later in the 1990s, and in the first decade of the following century, there were the important transport axes from Prague.

The average EMS value in Czechia in 2022, which was calculated based on more detailed data, was 36.9 km² for the FG A variant, but the median EMS value was less than half of that (15.2 km²). The difference between the average and median values indicates an uneven distribution of EMS and thus of the degree of landscape fragmentation, as there were areas in Czechia with the maximum possible degree of fragmentation (areas of large settlements, where EMS is 0 km²) and at the same time with a very low degree of fragmentation (state border mountain ranges) where EMS reached values of over 400 km². EMS calculated for the fragmentation geometry with migration objects (variant FG B) achieves only slightly higher values on average for the whole of Czechia (average 37.2 km², median 15.4 km²). The effort to capture the future state of the degree of fragmentation using roads under construction and buildable areas was captured by the FG C variant; it shows that the average value of EMS in Czechia can theoretically reach 36.3 km², which is 0.6 km² (1.6%) less compared to the current state. Migration objects (FG D) were also added to this estimated future state, which measure landscape fragmentation, or they reduce the average and median value only slightly (by 0.3 km²).

In conclusion, the biggest threats to thus far less-fragmented territories are changes in landscape use towards anthropogenically affected areas and the development of transport, especially motorway and road infrastructure. Limiting the effects of worsening landscape fragmentation is desirable as an approach to landscape protection.

- Fig. 1 The development of Effective Mesh Size expressed by the value of the average (light grey) and median (dark grey) for the whole of Czechia. Data source: authors' calculations.
- Fig. 2 The degree of landscape fragmentation caused by settlements including adjacent gardens and orchards, motorways, roads for motor vehicles and first- to third-class roads in Czechia (in 2022). The degree of fragmentation is classified into five intervals using the quantile method, the peripheral values of which have been adjusted to whole numbers. Source of background data: ČÚZK, authors' calculations.
- Fig. 3 Example of analysis of the level of landscape fragmentation at the local level for four variants of the fragmentation geometry: A – current state, B – current state with migration corridors, C – future state, D – future state with migration corridors. Figure E shows the migration object (underpass) on the D35 motorway near Přáslavice. Orientation and scale are the same for all images. Source of background data: ČÚZK, authors' calculations.
- Fig. 4 Comparison of the effect of migration corridor presence on the average size of unfragmented areas in the vicinity of migration corridors. The graph shows the difference between the average area of unfragmented areas for the present (A) and the present with the use of corridors (B), similarly also for the planned state (C) and the planned state with corridors (D). Data source: authors' calculations.
- Fig. 5 Comparison of the effect of migration corridor presence on average Effective Mesh Size in the vicinity of migration corridors. The graph shows the difference in average Effective Mesh Size for the present (A) and the present with use of corridors (B), similarly also for the planned state (C) and the planned state with corridors (D). Data source: authors' calculations.

PODĚKOVÁNÍ / ACKNOWLEDGEMENT

Vznik článku byl podpořen projektem SVV 244-2606941.
This article was supported by the project SVV 244-2606941.

ORCID

VLADIMÍR ZÝKA

<https://orcid.org/0000-0002-3338-8545>

IVO DOSTÁL

<https://orcid.org/0000-0002-1187-1800>

DUŠAN ROMPORTL

<https://orcid.org/0000-0002-3533-5623>