

ZRANITELNOST VŮČI TEPLOTNÍM EXTRÉMŮM: ČEKÁ NÁS ŽIVOT V ROZPÁLENÉM MĚSTĚ?

Simeon Vaňo, Petr Bašta, Lenka Suchá, Jan Geletič, Martin Jančovič, Helena Duchková

Klimatická změna a s ní spojené teplotní extrémy představují pro města zásadní výzvu, která ohrožuje nejen budoucí prosperitu, ale i zdraví a celkovou kvalitu života městského obyvatelstva. Adaptace na změnu klimatu je proto jedno z předních témat v souvislosti s udržitelným rozvojem měst a společnosti jako takové. Tento článek představuje metodiku hodnocení zranitelnosti městské populace vůči teplotním extrémům do roku 2050 a výsledky její aplikace na příkladu města Brna. Na základě hodnocení, které zahrnuje několik variantních scénářů klimatického a socioekonomického vývoje a míry zavádění adaptačních opatření, byl identifikován vývoj zranitelnosti městské populace jednotlivých území napříč městem. Všeobecně platí, že zranitelnost se odvíjí od vývoje globálního klimatu, míry zastavěnosti, hustoty osídlení území a podílu zranitelné populace, přičemž implementace adaptačních opatření má na tento vztah významný zmírňující vliv. Tato metodika hodnocení zranitelnosti vůči teplotním extrémům tak představuje významný podpůrný nástroj pro městské plánování poskytující komplexní informace o možném budoucím vývoji města v souvislosti se změnou klimatu a možnostmi adaptačních intervencí.

Klíčová slova: klimatická změna, adaptace měst, teplotní extrémy, metodika, Brno

Klimatická změna a adaptace měst

Klimatická změna (KZ) představuje pro lidstvo významný environmentální, ekonomický a společenský problém. Přitom jak ukazuje poslední zpráva Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC), KZ je zcela prokazatelně způsobena vlivem člověka [IPCC, 2022]. Městské oblasti a jejich populace jsou nejvíce ohroženy projevy KZ, na které však většinou nejsou dostatečně připraveny. Na druhou stranu města patří mezi největší producenty skleníkových plynů, čímž dále výrazně přispívají k zesílení dopadů KZ, kterými jsou například extrémní teploty a vlny horka, které představují v Evropě jeden z nejrizikovějších přírodních hazardů s ohledem na počet obětí [EEA, 2017] a celkový vliv na zdraví a produktivitu populace [Kjellstrom et al., 2009]. Především vlny horka a extrémní teploty mají největší vliv na městské obyvatelstvo, což jej činí zranitelným vůči negativním vlivům KZ. Podle expertů působících v IPCC jsou to právě města, která hrají i další klíčovou roli – produkují nové přístupy, inovace a změny společenských postojů [Bazaz et al., 2018].

Zranitelnost městské populace (dále jen zranitelnost) z hlediska teplotních extrémů spolu s adaptací na KZ jsou proto v současnosti jednou z klíčových otázek udržitelného plánování, které představuje specifickou a interdisciplinární prob-

lematiku. V Evropě je adaptace na KZ řízena „klimaticky“ laděnou politikou [EC, 2013, 2015], která vyústila přijetím Zelené dohody (*Green Deal*) [EC, 2019] jakožto zastřešující strategie energetické, hospodářské a společenské transformace. Tento trend je znatelný i v České republice, kde během posledního desetiletí sledujeme vlnu nově vznikajících adaptačních strategií na městské úrovni. Ty se opírají především o Strategii přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR [MŽP ČR, 2015] a Národní akční plán adaptace na změnu klimatu [MŽP ČR, 2017]. Postup jejich tvorby je ale spíše fragmentovaný a výsledné strategie se většinou týkají relativně krátkého časového horizontu [Lorencová et al., 2021]. Tento deficit je částečně způsoben tím, že doposud neexistoval žádný jednotný koncept, který by na základě relevantního výzkumu popisoval rizika, příčiny, možná řešení a budoucí vývoj KZ ve střednědobém až dlouhodobém horizontu.

V tomto ohledu se jako kvalitní nástroj strategického adaptačního plánování jeví hodnocení rizik a analýza zranitelnosti vůči klimatickým extrémům [Třebický a Novák, 2015]. Analýza zranitelnosti vyžaduje širokou datovou základnu nejen o současných a budoucích klimatických trendech, ale i o trendech územní a společenské dynamiky rozvoje, a to včetně stavu zástavby a rozložení populace v čase a prostoru, s cílem vyprodukovat podklady pro tvorbu strategií udržitelné-

ho rozvoje měst [Parsae et al., 2019]. Tento komplexní přístup umožňuje reflexi trendů souvisejících s budoucím vývojem a pomáhá městům lépe předvídat možné nejistoty spojené s KZ, čímž posiluje územní plánování a rozhodování [Haasnoot et al., 2013]. V současnosti nevidujeme podobný, prakticky využitelný metodický postup, který by městům umožňoval nastavení priorit adaptačního plánování na základě identifikace zranitelných lokalit [např. Kumar et al., 2016] jak pro současnost, tak pro budoucnost.

Cílem tohoto článku je přinést komplexní pohled na hodnocení zranitelnosti městské populace vůči teplotním extrémům do roku 2050, který je výsledkem integrace scénářů budoucího vývoje v oblasti klimatu, společnosti a územního rozvoje. Výstupy této analýzy jsou využitelné zejména pro identifikaci zranitelných lokalit a navrhování vhodných adaptačních opatření s ohledem na současnou a budoucí zranitelnost vůči teplotním extrémům. Výsledky analýzy demonstrováme na městě Brně, výsledky pro Prahu a Ostravu jsou k prohlédnutí ve formě „mapy s příběhem“ (<https://arcg.is/1rm5r>). Článek vznikl na základě projektu **Adaptační výzvy měst: podpora udržitelného plánování s využitím integrované analýzy zranitelnosti** (TA ČR TL01000238), jehož hlavním výstupem byla metodika **Adaptace na změny klimatu: hodnocení zranitelnosti vůči teplotním extrémům** [Suchá et al., 2021]

certifikovaná Ministerstvem životního prostředí. Hlavní komponenty certifikované metodiky jsou představeny v následující kapitole.

Metodika

Globální klimatické a socioekonomické scénáře

Tvorba scénářů zranitelnosti je zasazena v kontextu trajektorií globálního vývoje klimatických a socioekonomických poměrů, které byly uzpůsobené na regionální, respektive místní, kontext. Budoucí vývoj globálního klimatu reflektují scénáře reprezentativních směrů vývoje koncentrací skleníkových plynů (z angl. „*Representative Concentration Pathways*“, dále jen RCPs) v atmosféře během 21. století (www.ipcc.ch). IPCC definuje pro období 1950–2100 tři základní scénáře, které zahrnují optimistickou variantu RCP2.6 (oteplení kolem 1,5 °C), realistickou variantu RCP4.5 (oteplení o 2–3 °C) a pesimistickou variantu globálního oteplování RCP8.5 (oteplení o více než 3 °C). Pesimistická varianta

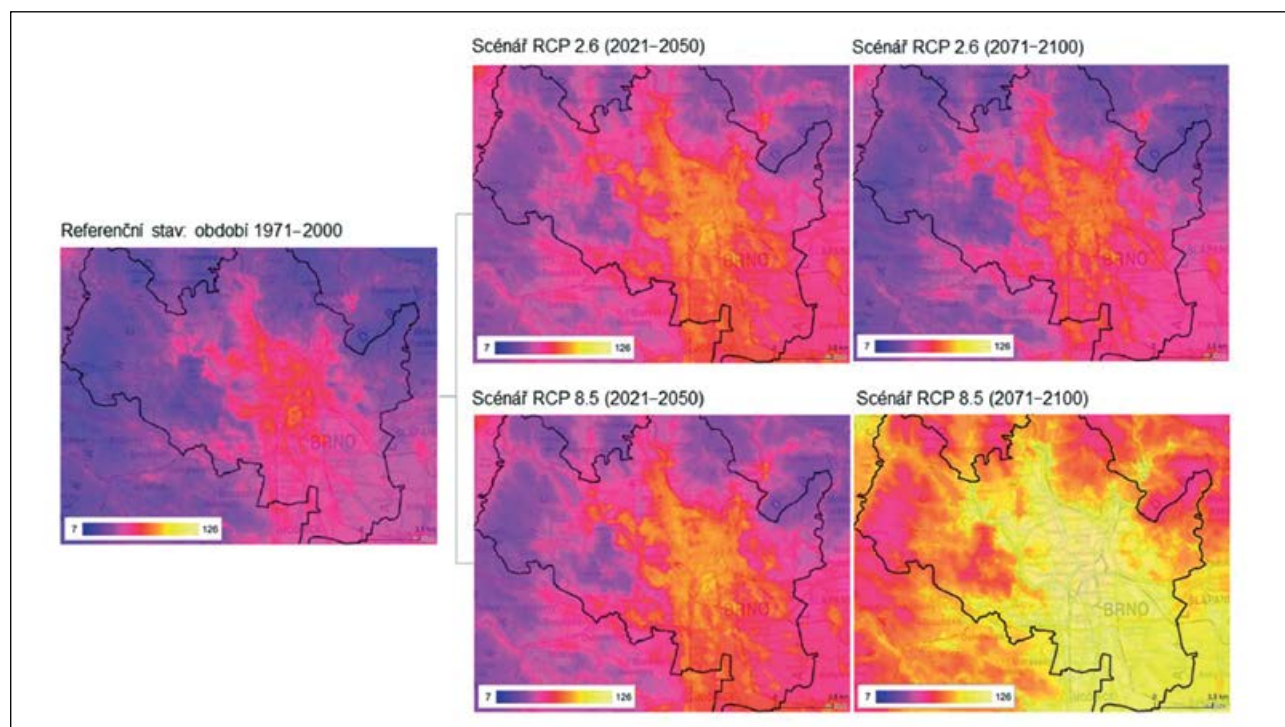
RCP 8.5 by v případě města Brna znamenala nárůst počtu letních dnů (jako vybraný teplotní indikátor)¹⁾ – tj. dnů, kdy denní maximální teplota vzduchu přesahuje 25 °C – z referenčního období 1971–2000 (66 dnů v centru města) o 25 % na 83 dnů v období 2021–2050, přičemž v období 2071–2100 model předpokládá nárůst o více než 75 %, na více než 116 dnů. Model pro období 2071–2100 na většině zastavěného území města Brna předpovídá více než 100 letních dnů ročně (obr. 1). Naopak, v případě optimistického scénáře RCP2.6 jde o mírný pokles počtu letních dnů mezi obdobími 2021–2050 a 2071–2100.

Protože RCPs popsané výše jsou ovlivněny socioekonomickým a populačním vývojem, existují také scénáře socioekonomického vývoje (z angl. „*Shared Socioeconomic Pathways*“, dále jen SSPs), které vyhodnocují pravděpodobné společenské trendy na globální úrovni, a to včetně populačního růstu, ekonomických aktivit, aplikace technologií či politických rozhodnutí. Všechny tyto trendy v budoucnu povedou k různým výzvám v oblasti adaptace a mitigace změny kli-

matu [O’Neil et al., 2017]. Ačkoliv existuje celkem pět trajektorií SSPs, pro praktické účely jsme v níže prezentovaném metodickém postupu použili pouze scénáře SSP1 – Cesta k udržitelnosti a SSP2 – Střední cesta. Zatímco SSP1 představuje radikální posun ve vzorcích spotřeby a výroby směrem k udržitelnému rozvoji, SSP2 vyjadřuje mírné přetrvávání současných trendů bez zásadních změn v oblasti využívání přírodních zdrojů. Tyto dva scénáře jsou základním narativem v souladu s globálními trajektoriemi společenského a ekonomického vývoje, přičemž mají přímý vliv na způsob nakládání s územím (*land use*) a na půdní pokryv, včetně zastoupení adaptačních opatření (*land cover*). Narativy SSPs také osvětlují specifický sociopolitický kontext (např. důraz na ekonomický růst nebo spíše pro-environmentální rozvoj a s tím související politiky).

Hodnocení zranitelnosti vůči teplotním extrémům

Hodnocení, respektive scénáře zranitelnosti vůči teplotním extrémům, před-



Obr. 1: Ukázka výsledků modelování vývoje letních dnů ($T_{max} \geq 25 \text{ °C}$) pro město Brno. Barevná škála indikuje počet letních dnů v uvedeném klimatickém období.

1) Pro hodnocení dlouhodobých dopadů klimatické změny se, z pohledu teploty vzduchu, používá řada tzv. klimatologických indexů, např. počty letních dnů nebo nocí, tropických dnů, dnů s tropickou nocí [Suchá et al., 2021; strana 20–21]. Tyto počty se vztahují ke klimatickému období, nejčastěji třicetiletému, aby se eliminovaly krátkodobé extrémní výkyvy a reflektovaly stav klimatu, nikoli počasí.

stavuje syntézu výše popsaných scénářů změny klimatu a socioekonomického vývoje s řadou dalších dat [Suchá et al., 2021; str. 40]. Jde zejména o:

- modelování městského klimatu na základě výše uvedených scénářů RCP2.6, 4.5 a 8.5,
- scénáře SSP1 a SSP2 vyjadřující možný budoucí socioekonomický vývoj, uzpůsobené na městskou úroveň v prostředí ČR (tzv. *downscaling*),
- scénáře budoucích změn využití území a půdního pokryvu (*land use and land cover*, LULC) vyjádřeného měrou zavádění adaptačních opatření, které odrazí buď narativ SSP1, nebo SSP2,
- modelování demografických scénářů na základě údajů o věkové struktuře a hustotě obyvatel podle základních sídelních jednotek jak v současnosti [Balcar et al., 2013], tak pro roky 2030 a 2050.

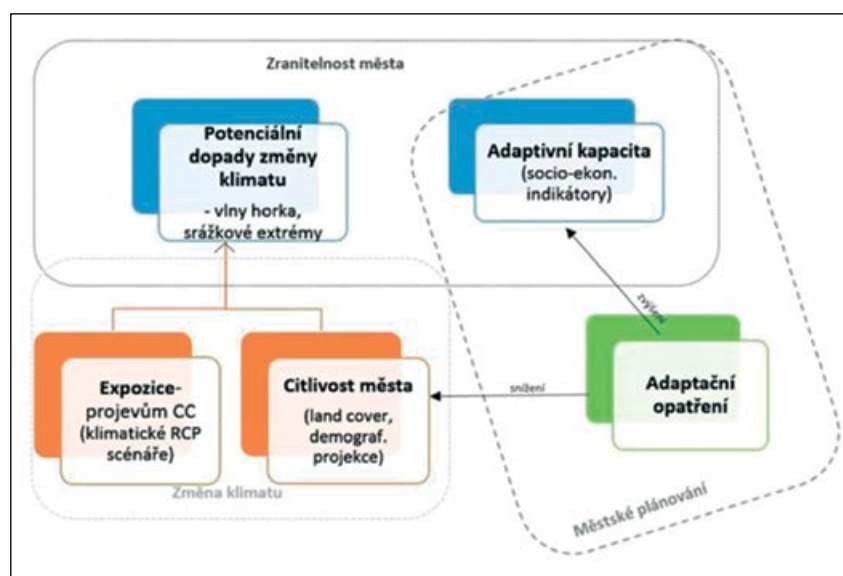
Tato vstupní data byla zpřesňována a validována za účasti aktérů městské samosprávy a dalších zájmových skupin během participativního procesu, a to na základě společné tvorby vize územního rozvoje.

Tvorba finálních scénářů zranitelnosti je založena na metodickém rámci [dle Swart et al., 2012; Fussler a Klein, 2006; Luckenkotter et al., 2013], který zahrnuje vážení tří hlavních komponentů: (1) expozici vůči projevům změny klimatu (včetně klimatických scénářů RCP), (2) senzitivitu, tedy citlivost města vůči dopadům změny klimatu a (3) adaptivní kapacitu popisující schopnost společnosti reagovat na měnící se klima (obr. 2). Analýza a vyhodnocení zranitelnosti se provádí na datech vybraných indikátorů v prostředí nástrojů GIS na základě konceptuálního rámce $Z = (E + C) - AK$ [Suchá et al., 2021, str. 40], kde Z je zranitelnost vůči konkrétním dopadům, E je expozice území, C je citlivost území a AK je adaptivní kapacita. Čím je suma expozice a citlivosti vyšší, tím vyšší jsou celkové potenciální dopady, a tedy i zranitelnost v daném území. Adaptivní kapacita území má na zranitelnost naopak tlumící vliv.

Expozice, citlivost a adaptivní kapacita jsou tvořeny dílčími indikátory [viz Suchá et al., 2021; str. 42], nebo veličinami, které byly standardizované na relativizovanou škálu od 0 do 1 podle minimál-

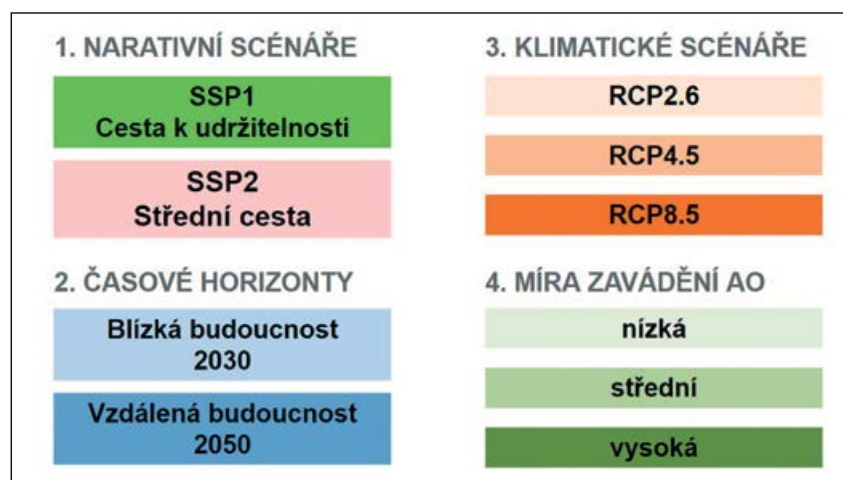
ni a maximální hodnoty charakterizující daný jev. Hodnoty blízké se 0 značí příznivý stav daného fenoménu vedoucí k nízké zranitelnosti (např. minimální potenciální dopady změny klimatu, vysokou adaptivní kapacitu území apod.), zatímco hodnoty blízké se 1 naopak nepříznivý stav vedoucí k vysoké zranitelnosti (např. vysoké dopady změny klimatu, nízkou adaptabilitu území). Proces standardizace je prováděn v ArcGIS Pro aplikací funkce Raster Calculator [viz Suchá et al., 2021; str. 44–45]. Výsledná zranitelnost prostředí je charakterizována indexem zranitelnosti, jež má rovněž podobu relativizované veličiny nabývající hodnot v intervalu od 0 (minimální zranitelnost) do 1 (maximální zranitelnost).

Integrace datových vstupů představuje univerzální metodický postup, který se provádí jednotlivě pro každou kombinaci (1) scénářů LULC, populačních a socioekonomických scénářů přizpůsobených na místní kontext (SSP1 – Cesta k udržitelnosti vs. SSP2 – Střední cesta), (2) časového horizontu (blízká budoucnost – rok 2030 vs. vzdálená budoucnost – rok 2050), (3) aplikovaných klimatických scénářů (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) a (4) míry zavádění adaptačních opatření (nízká, střední, vysoká), která indikuje plošný rozsah opatření na budovách nebo v otevřeném prostranství. Pro modelované zájmové území (město) tedy vzniklo 36 scénářů zranitelnosti vůči vlnám horka (obr. 3).



Zdroj: obrázek zpracován podle autorů Krkoška–Lorenecová et al., 2018

Obr. 2: Metodický rámec hodnocení zranitelnosti vůči teplotním extrémům. Podrobnosti o výpočtech najdete v certifikované metodice [Suchá et al., 2021; str. 40].



Obr. 3: Přehled modelových variant scénářů zranitelnosti území (celkem 36 kombinací pro každé město)

Výsledky: Scénáře zranitelnosti na příkladu města Brna

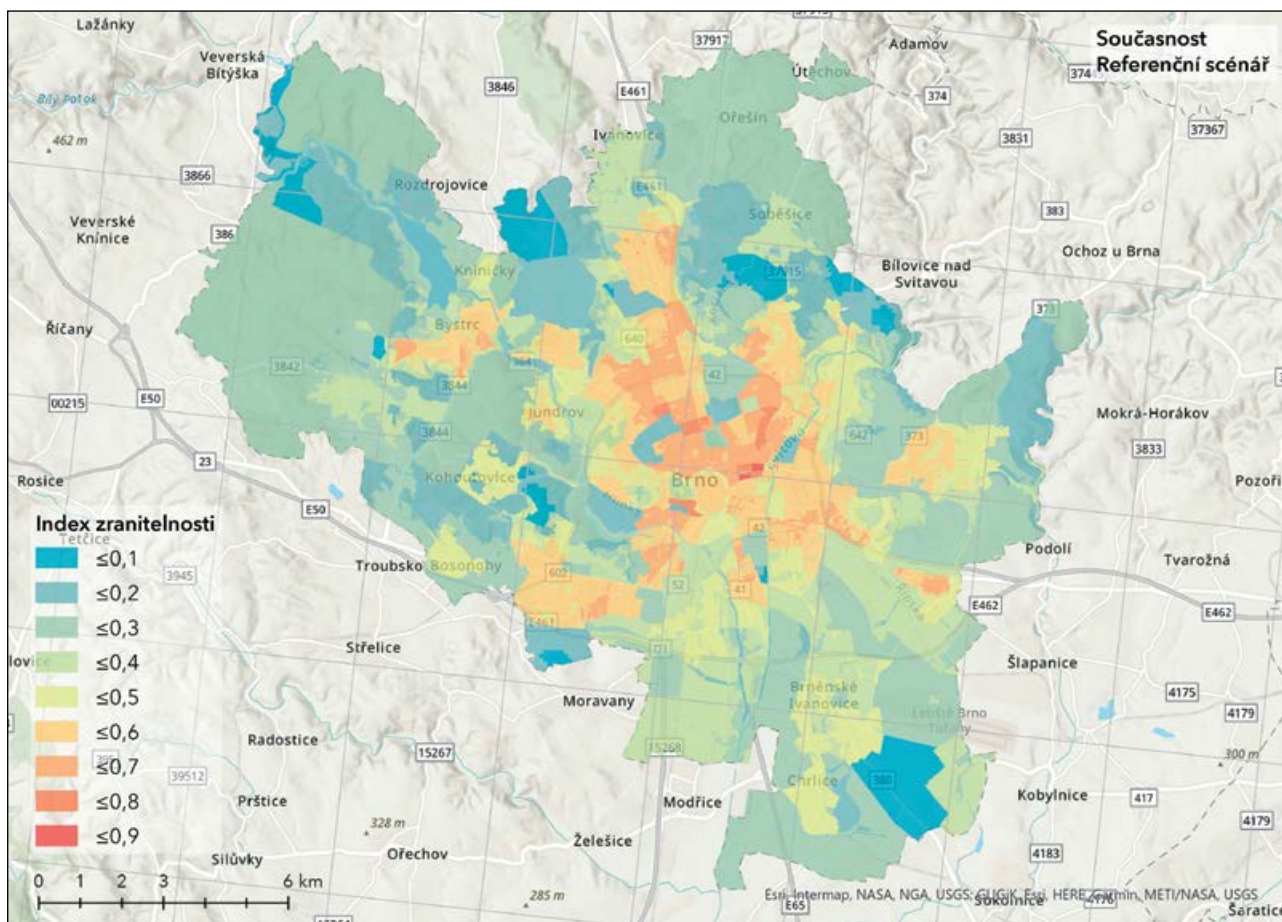
Při srovnávání scénářů zranitelnosti, které vznikly na základě kombinace různých variant dle obrázku 3, lze pozorovat několik trendů chování zranitelnosti vůči teplotním extrémům. Z hlediska teplotních indikátorů, kterými je např. nárůst počtu letních dnů (viz kapitolu „Globální klimatické a socioekonomické scénáře“), má negativní vliv na zranitelnost městské populace vůči horku obecně se zvyšující koncentrace skleníkových plynů v kombinaci se vzdálenější budoucností (rok 2050). U nízkoemisních klimatických scénářů (RCP2.6) ale naopak existují i případy, kdy je klimatický index pro rok 2050 příznivější, což má vliv i na výslednou zranitelnost. Bohužel, podle současných predikcí se jako nejpravděpodobnější jeví vývoj dle pesimistického vysokoemisního scénáře RCP8.5.

V rámci scénářů socioekonomického vývoje vykazuje optimističtější vývoj sada scénářů SSP1 (Cesta k udržitelnosti), a to především díky předpokladu většího zastoupení zeleně a dalších adaptačních opatření, které je výsledkem pro-environmentální společenské a politické tranzice. Nicméně proti tomuto stanovisku stojí předpoklad vyššího zahuštění obyvatel ve městě vlivem omezení rozrůstání města do okolí (předpokládaný vývoj pro scénář SSP1), a tedy i vyšší hustoty zranitelné populace ve vybraných lokalitách. Zároveň platí, že čím vyšší je v daném místě míra zavádění adaptačních opatření, tím je výsledná zranitelnost nižší. Obrázek 4 ilustruje srovnání současného stavu s optimistickým a pesimistickým scénářem pro rok 2050.

Ve výchozím stavu a ve všech scénářích jsou nejzranitelnější lokality soustředěny především v širším centru města (obr. 4a). Zranitelnost koresponduje s vysokou mí-

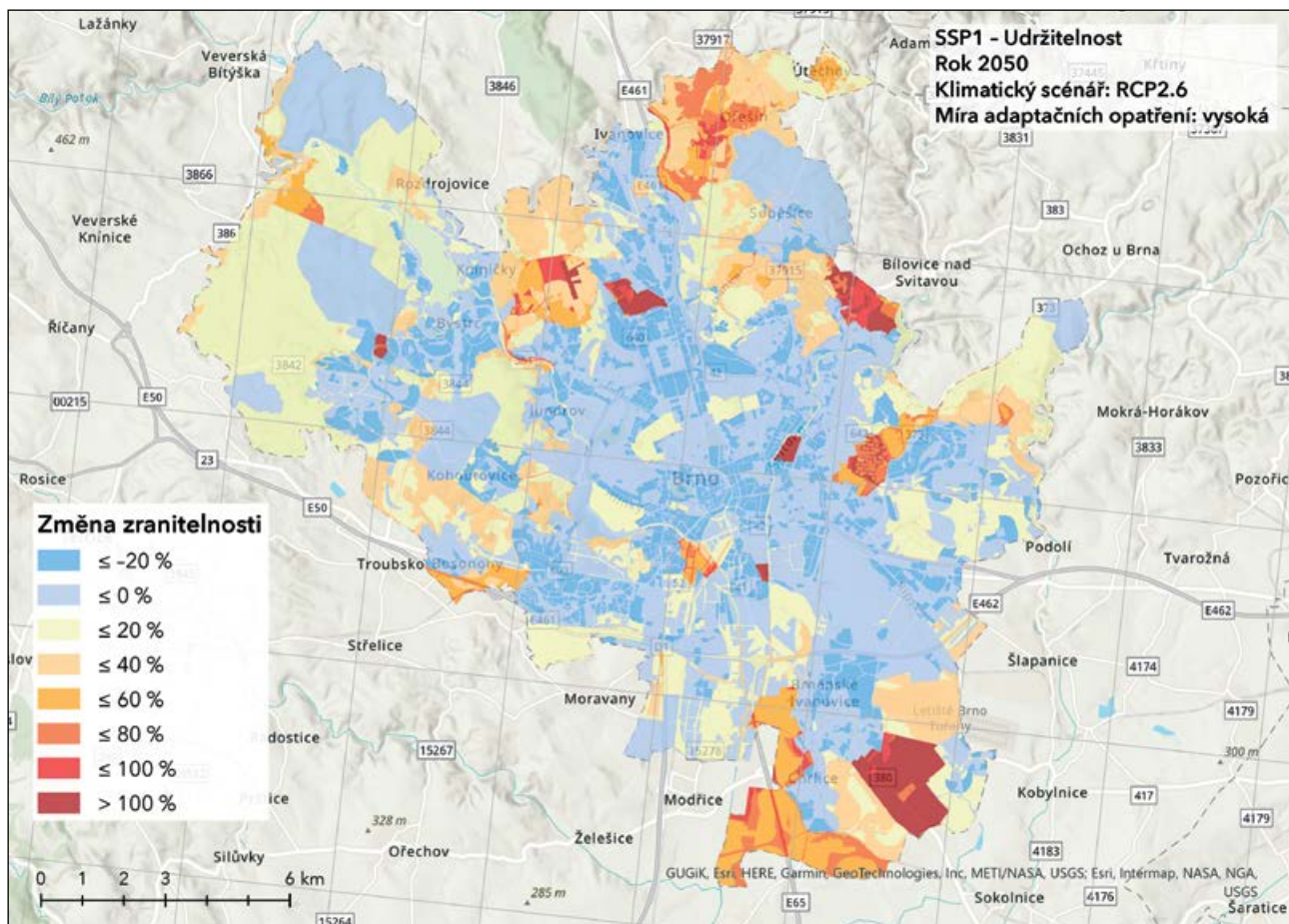
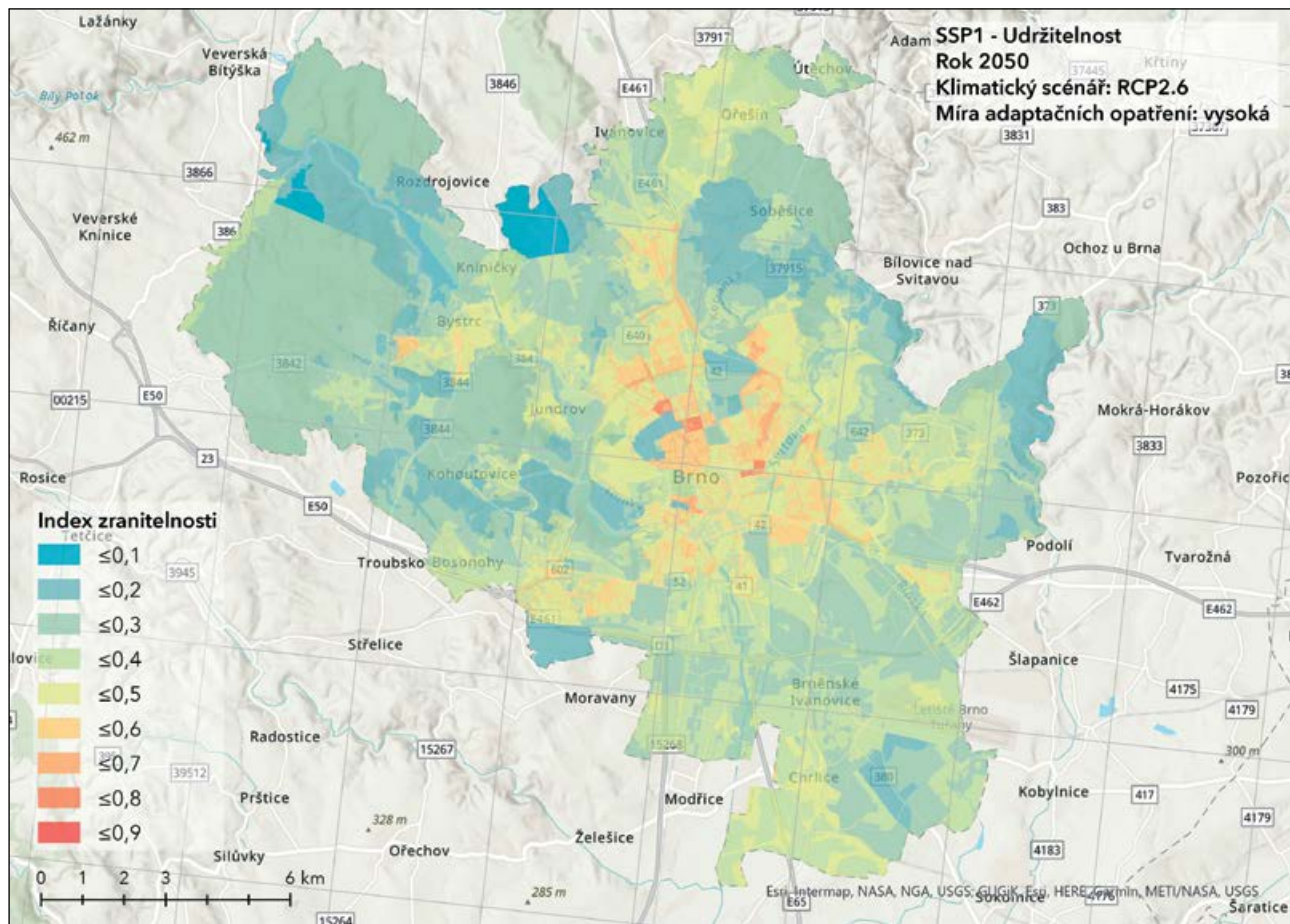
rou zastavění území, a tedy nižším podílem zeleně. Z hlediska budoucího vývoje sice pozorujeme, že v centru měst dochází v některých lokalitách napříč scénáři k mírnému poklesu zranitelnosti (obr. 4b a 4c, mapy dole), nicméně s ohledem na v současnosti vysokou míru zranitelnosti nejde o zcela uspokojivou změnu. Důvodem výrazného poklesu zranitelnosti na úrovni celého města v případě optimistického scénáře (obr. 4b) je důsledné zavádění adaptačních opatření proti negativním dopadům vln horka. V oblastech sídlišť a obytných částí mimo centrum byl s ohledem na dnes už hustě zastavěné a obývané území očekáván mírný nárůst zranitelnosti. V případě implementace adaptačních opatření v budoucnu však tyto oblasti vykazují mírný pokles zranitelnosti (až o 20 %) ve srovnání s oblastmi širšího centra.

Periferní části města, charakteristické vyšším podílem zeleně a nižší hustotou zalid-

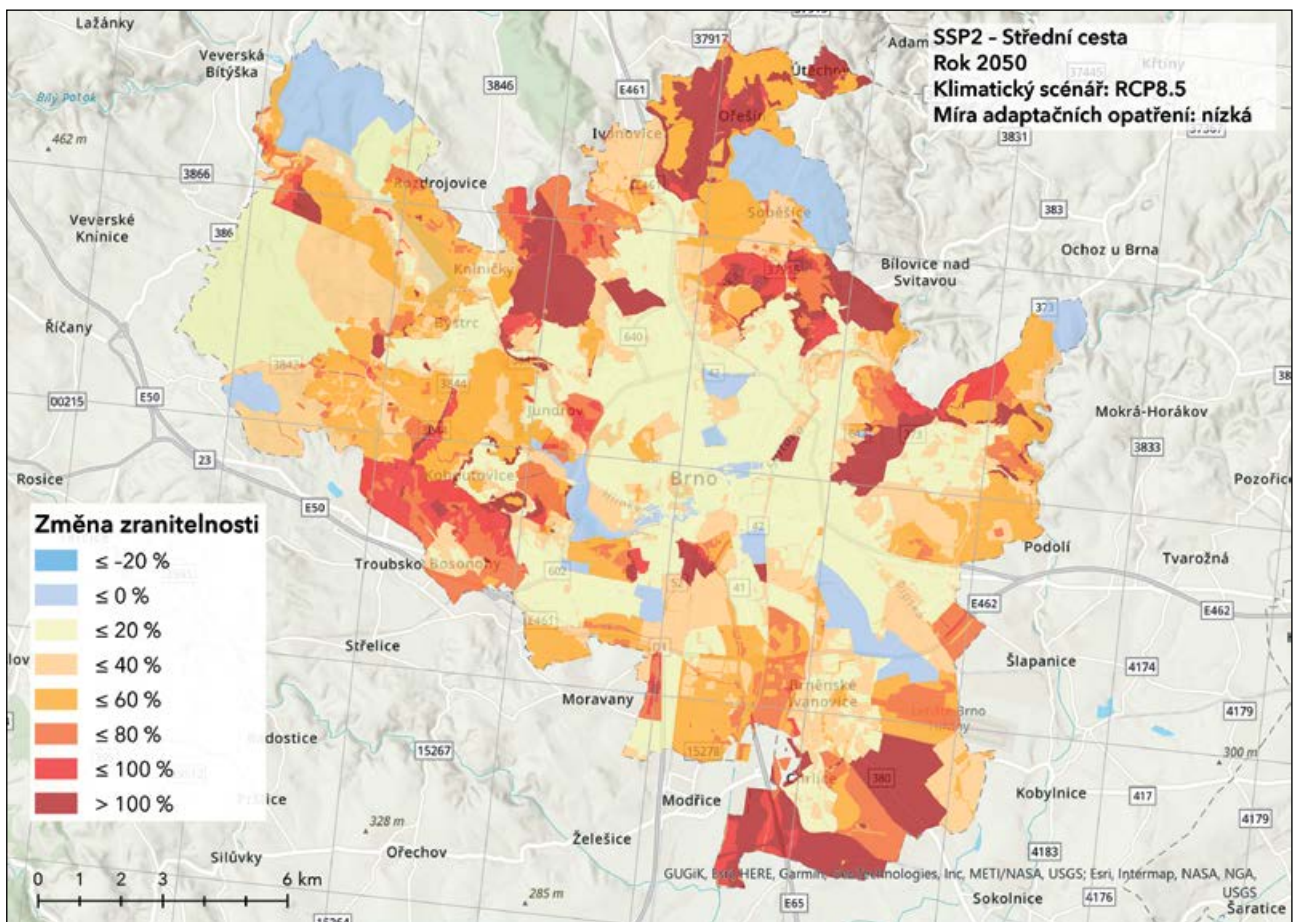
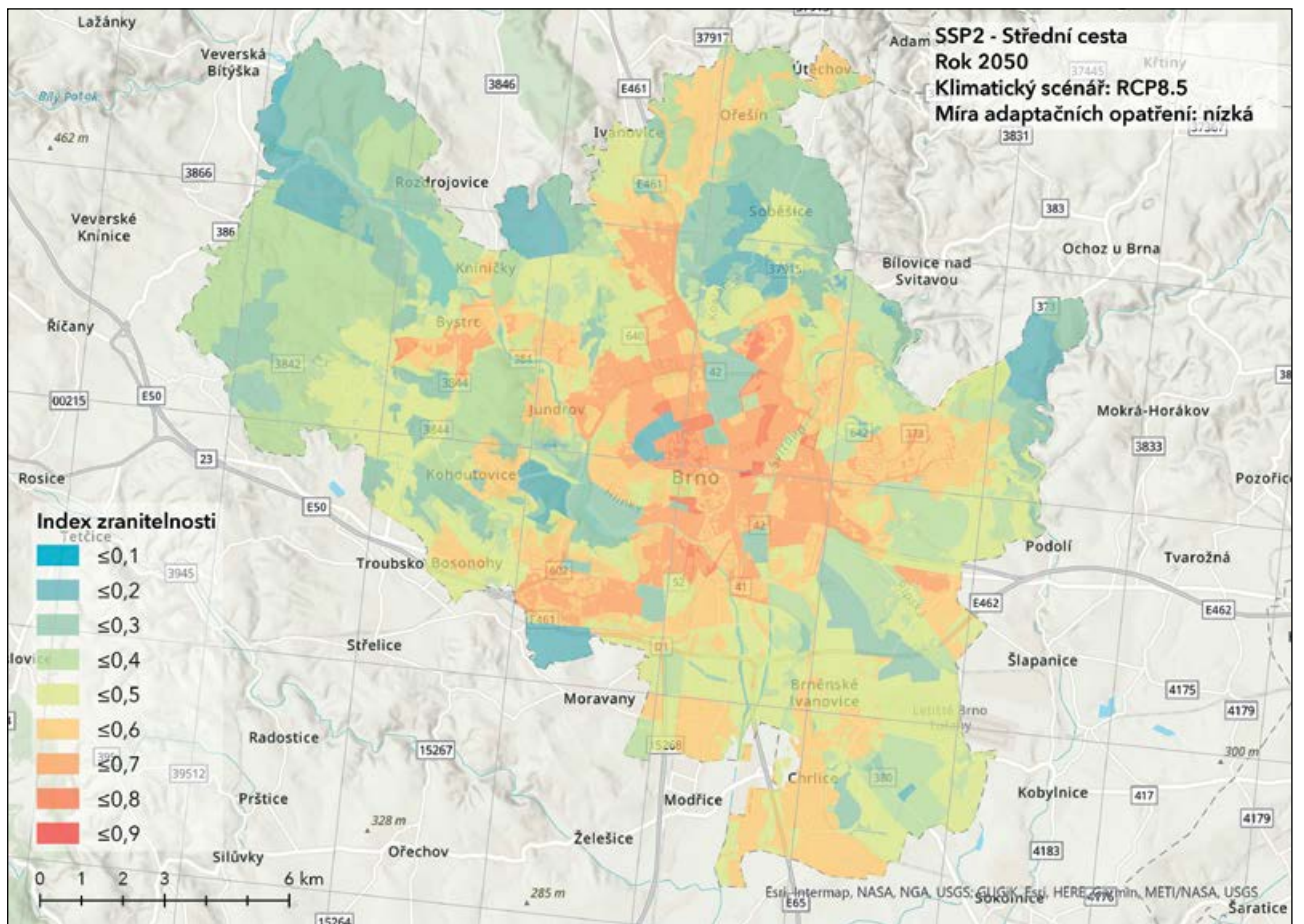


Obr. 4a–c: Současnost, optimistický a pesimistický scénář pro rok 2050. Vybrané scénáře znázorňují index zranitelnosti (mapy nahoře) a relativní změnu zranitelnosti (mapy dole) vůči teplotním extrémům. Červené odstíny indikují vyšší indexy nebo nárůsty zranitelnosti (indexy jsou vysvětlené v kapitole „Hodnocení zranitelnosti vůči teplotním extrémům“).

Obr. 4a: Současnost – referenční scénář



Obr. 4b: Optimistický scénář: SSP1 – Udržitelnost, RCP2.6, vysoká míra AO



Obr. 4c: Pesimistický scénář: SSP2 – Střední cesta, RCP8.5, nízká míra AO

nění, jsou v současnosti ve srovnání s centrem zranitelné znatelně méně (obr. 4a). Avšak z hlediska budoucího vývoje zde lokálně dochází k výrazným nárůstům zranitelnosti, řádově o 10 % až o více než 100 %, a to i v případě optimistického scénáře a vysoké míry adaptačních opatření (obr. 4b). Důvodem je vznik nové výstavby na úkor brownfieldů, volných prostranství či orné půdy a následný příliv nových obyvatel – tedy zvýšení míry zastavěnosti a populace. Avšak jak je vidět na příkladě pesimistického scénáře (obr. 4c), nízká míra zavádění adaptačních opatření významně ovlivňuje výslednou zranitelnost městské populace v daném území.

Závěr

Metodika představená v tomto článku nabízí v kontextu ČR nový a ucelený pohled na tvorbu scénářů zranitelnosti městské populace vůči teplotním extrémům, který je postaven na klimatických, geografických, socioekonomických a demografických datech [Suchá et al., 2021]. Novost metodiky spočívá především v zpracování globálních klimatických scénářů (www.ipcc.ch), socioekonomických scénářů [např. O'Neil et al., 2017] a demografických scénářů [Balcar et al., 2013] na úrovni města, které vstupují do modelování scénářů zranitelnosti městské populace. Dalším důležitým prvkem je dlouhodobý horizont – scénáře byly modelovány pro rok 2050. Většina adaptačních strategií je nastavena na desetiletý či kratší časový horizont [viz SFŽP, 2020], což je opodstatněné s ohledem na akční kroky a potřeby spojené s rychlou implementací a monitoringem adaptačních opatření. Tvorba politik zaměřených (nejen) na udržitelný rozvoj měst by však na druhou stranu měla vycházet právě z dlouhodobě orientovaných scénářů [např. Haasnoot et al., 2013], které dokáží lépe zohlednit různé dynamiky socioekonomického a sociopolitického vývoje (vč. vývoje daného území). Pouze takový přístup totiž umožňuje městům pružně a včas reagovat na výzvy a příležitost spojené s postupující KZ a navazujícími jevy [Haasnoot et al., 2013; Parsaee et al., 2019].

Výsledky ukazují, že zavádění různé míry adaptačních opatření má významný vliv na zranitelnost, kdy včasná identifikace v budoucnu zranitelných oblastí podporuje optimální plánování, a tím i zvyšování klimatické odolnosti měst. Důležité je přitom zohledňovat neustále se vyvíjející demografickou dynamiku, stejně jako vývoj urbanizace území [např. O'Neil et al., 2017]. Takové znalosti možného budoucího vývoje podporují rozhodování o konkrétních adaptačních akcích s ohledem na jejich efektivitu v dlouhodobém časovém horizontu. Zde mohou scénáře podat pomocnou ruku ke správnému nastavení politik orientovaných na městskou udržitelnost a související vizi a strategií v oblasti adaptačního a územního plánování, například ve formě podpory vyšších norem pro zavádění adaptačních opatření, a to alespoň u nové výstavby [např. Lorencová et al., 2021].

V souvislosti s výslednými scénáři je potřeba brát v potaz, že skladba a dynamika obyvatelstva a jeho potřeb vychází výhradně z údajů o trvalém pobytu obyvatel. V představených modelech není zachycena například denní mobilita obyvatelstva za prací a za volným časem, jejíž implementace do modelu by pravděpodobně vedla k vyšší zranitelnosti městské populace v některých lokalitách především v širším centru města, které jsou častým cílem obyvatel žijících v jeho okrajovějších částech. Taková data prozatím nejsou dobře dostupná pro všechna města, nebo je jejich získávání časově a finančně náročné.

Závěrem, řešení tak komplexní problematiky, jakou je adaptace na klimatickou změnu, vyžaduje systémový a integrovaný přístup plánování, který se dotýká jak změn fyzického prostředí měst, tak změn ve společenských a politických oblastech [IPCC, 2022]. Pro správné nastavení a plnění těchto strategií je proto nutné mobilizovat dostupné lidské a materiální kapacity [Bazaz et al., 2018]. Představená práce tak přispívá do mezioborové diskuse zaměřené na problematiku adaptace měst na klimatickou změnu a zároveň přispívá k vývoji nástrojů, které jsou reálně uplatnitelné v územním plánování a přínosné pro celkové nastavení vizi a politik měst.

Použité zdroje:

- ARAYA-MUNOZ, D., METZGER, M. J., STUART, N., MERIWETHER, A., WILSON, W., ALVAREZ, L. 2016. Assessing urban adaptive capacity to climate change. In: *Journal of Environmental Management*, č. 183, s. 314–324, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.060>.
- BALCAR, V., ČTRNÁCT, P., HALÁSEK, J., RADOLFOVÁ, M., SOUČEK, J., ŠANDA, R., UDRŽALOVÁ, Z., VEJRYCH, J., MÜLLER, J., RYS, R. 2013. *Statistický lexikon obcí České republiky*. Český statistický úřad, Praha. ISBN 978-80-250-2394-5.
- BAZAZ, A., BERTOLDI, P., BUCKERIDGE, M. et al. 2018. *Summary for urban policymakers: What the IPCC Special Report on global warming of 1.5°C means for cities*. Indian Institute for Human Settlements.
- European Environmental Agency (EEA). 2017. *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016: An indicator-based report*. ISSN 1977-8449.
- European Commission (EC). 2013. *The EU Strategy on Adaptation to Climate Change*. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/index_en.
- European Commission (EC). 2015. *Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities. Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on 'Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities'*. ISBN 978-92-79-46051-7.
- European Commission (EC). 2019. *A European Green Deal*. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/index_en.
- FUSSEL, H. M., KLEIN, R. J. T. 2006. Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking. In: *Climatic Change*, č. 75, s. 301–329, <https://doi.org/10.1007/s10584-006-0329-3>.
- GELETIČ, J., LEHNERT, M., JUREK, M. 2020. Spatiotemporal variability of air temperature during a heat wave in real and modified landcover conditions: Prague and Brno (Czech Republic). In: *Urban Climate*, č. 31, 100588, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100588>.
- HAASNOOT, M., KWAKKEL, J. H., WALKER, W. E., & TER MAAT, J. 2013. Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. In: *Global Environmental Change*, 23 (2), 485–498, <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2012.12.006>.
- IPCC. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- KJELLSTROM, T., HOLMER, I., LEMKE, B. 2009. Workplace heat stress, health and productivity – an increasing challenge for low and middle-income countries during climate change. In: *Global Health Action*, 2:1, <https://doi.org/10.3402/gha.v2i0.2047>.
- KUMAR, P., GENELETTI, D., NAGENDRABA, H. 2016. Spatial assessment of climate change vulnerability at city scale: A study in Bangalore, India. In: *Land Use Policy*, č. 58, s. 514–522, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.08.018>.
- LORENCOVÁ, E. K., WHITHAM, CH. E. L., BAŠTA, P., HARMÁČKOVÁ, Z. V., ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., FARDA, A., VAČKÁŘ, D. 2018. Participatory Climate Change Impact Assessment in Three Czech Cities: The Case of Heatwaves. In: *Sustainability*, č. 10, s. 1906, <https://doi.org/10.3390/su10061906>.

LORENCOVÁ, E. K., SLAVÍKOVÁ, L., EMER, A., VEJCHODSKÁ, E., RYBOVÁ, K., & VAČKÁŘOVÁ, D. 2021. Stakeholder engagement and institutional context features of the ecosystem-based approaches in urban adaptation planning in the Czech Republic. In: *Urban Forestry & Urban Greening*, 58, 126955, <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2020.126955>.

Luckenotter, J., Lindner, C., Greiving, S. 2013. Methodology for an integrated climate change vulnerability assessment. In: *European climate vulnerabilities and adaptation: a spatial planning perspective*. Schmidt-Thomé, P., Greiving, S. (ed.), <https://doi.org/10.1002/9781118474822.ch2>.

MŽP ČR. 2015. *Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR*. Dostupné z: <https://www.databaze-strategie.cz/cz/mzp/strategie/>.

MŽP ČR. 2017. *Národní akční plán adaptace na změnu klimatu: Implementační dokument Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR*. Dostupné z: <https://www.databaze-strategie.cz/cz/mzp/strategie/>.

O'NEIL, B. C., KRIEGLER, E., EBI, K. L., KEMP-BENEDICT, E., RIAHL, J., ROTHAM, D. S. et al. 2017. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. In: *Global Environmental Change*, č. 42, s. 169–180, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>.

PARSAEE, M., JOYBARI, M. M., MIRZAEI, P. A., HAGHIGHAT, F. 2019. Urban heat island, urban climate maps and urban development policies and action plans. In: *Environmental Technology & Innovation*, č. 14, 100341, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100341>.

Text je publikačním výstupem projektu Adaptační výzvy měst: podpora udržitelného plánování s využitím integrované analýzy zranitelnosti (TA ČR TL01000238).

SFŽP. 2020. *Seznam podpořených projektů v rámci výzvy SGS 3 – OSLO pro tvorbu adaptačních a mitigačních strategií*. [on-line]. Dostupné z: https://www.sfzp.cz/files/documents/storage/2021/01/12/1610439948_Schvalene_projekty-OLSO_verze%202.pdf.

SUCHÁ, L., GELETIČ, J., VAŇO S., BAŠTA, P., JANČOVIČ, M., DUCHKOVÁ, H. 2021. *Adaptace na změnu klimatu: hodnocení zranitelnosti města vůči teplotním extrémům*. Certifikovaná metodika MŽP (ENV/2022/54714). Dostupné z: <http://www.ecosystems-services.cz/userfiles/page/323/0fe2c576078dc91229a5d0a3972a925a.pdf>.

SWART, R., FONS, J., GEERTSEMA, W. 2012. *Urban Vulnerability Indicators: A joint report of ETC-CCA and ETC-SIA. ETC-CCA and ETC-SIA Technical Report 01/2012*. European Environmental Agency, ETC CCA.

TŘEBICKÝ, V., NOVÁK, J., 2015. *Metodika tvorby místní adaptační strategie na změnu klimatu*. CI2, o. p. s. ISBN:978-80-906341-0-7.

UNDESA. 2018. *World Urbanization Prospects*. Dostupné z: <https://population.un.org/wup/Country-Profiles/>.

MSc. Simeon Vaňo, Ph.D.

✉ vano.s@czechglobe.cz

Oddělení společenského rozměru globální změny
Ústav výzkumu globální změny AV ČR
Fakulta přírodních věd a informatiky
Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre

Ing. Petr Bašta

✉ bastap@fzp.czu.cz

Fakulta životního prostředí
Česká zemědělská univerzita v Praze

Mgr. Lenka Suchá, Ph.D.

✉ sucha.l@czechglobe.cz

Oddělení společenského rozměru globální změny
Ústav výzkumu globální změny AV ČR

Mgr. Jan Geletič, Ph.D.

✉ geletic@cs.cas.cz

Oddělení složitých systémů
Ústav informatiky AV ČR

Mgr. Martin Jančovič, Ph.D.

✉ martin.jancovic01@gmail.com

Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky
Fakulta prírodných vied a informatiky
Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre

MSc. Helena Duchková

✉ duchkova.h@czechglobe.cz

Oddělení společenského rozměru globální změny
Ústav výzkumu globální změny AV ČR
Fakulta humanitních studií UK v Praze

ENGLISH ABSTRACT

Vulnerability to extreme temperatures: shall we expect to live in hot cities? by Simeon Vaňo, Petr Bašta, Lenka Suchá, Jan Geletič, Martin Jančovič, Helena Duchková

Climate change and especially extreme heat represent an unprecedented challenge for cities, threatening future prosperity, health and wellbeing of urban populations. Climate adaptation is therefore one of the central topics for sustainable cities and societies. This article introduces a methodological approach for assessment of urban population vulnerability to extreme heat until the year 2050, presented on the example of the city of Brno. The assessment, based on the variety of future climate and socioeconomic scenarios and on the extent of implementation of adaptation measures, led to identification of vulnerable localities across the city. Results suggest that global climate scenarios, extent of built up area and population density have major effects on overall vulnerability to extreme heat, although extensive implementation of adaptation measures can reduce vulnerability substantially. The introduced vulnerability assessment represents an important tool in support of urban planning, as it provides complex data on possible future developments including adequate adaptation options.